UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

T E S I S

ANÁLISIS DE CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE SUELO USANDO IMÁGENES SATELITALES DURANTE EL PERIODO 2002 – 2022, EN EL DISTRITO DE CELENDÍN

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por el Bachiller:

ISRAEL INTOR VARGAS

Asesor:

Ph. D. MANUEL ROBERTO RONCAL RABANAL
Dr. AGUSTÍN EMERSON MEDINA CHÁVEZ

Cajamarca – Perú

2025

Universidad Nacional de Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:

   INTOR VARGAS ISRAEL

   DNI N°: 46702665

   Escuela Profesional/Unidad UNC:

   DE INGENIERÍA AMBIENTAL

2. Asesor:

   Ph. D. MANUEL ROBERTO RONCAL RABANAL

   Facultad/Unidad UNC:

   FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

3. Grado académico o título profesional

   ☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad

   ☐ Maestro ☐ Doctor

4. Tipo de investigación

   ☒ Tesis ☐ *Trabajo de investigación* ☐ *Trabajo de suficiencia profesional*

   ☐ Trabajo académico

5. Título de trabajo de investigación

   ANÁLISIS DE CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE SUELO USANDO IMÁGENES SATELITALES DURANTE EL PERIODO 2002 – 2022, EN EL DISTRITO DE CELENDÍN.

6. Fecha de evaluación: 12/05/2025
7. Sofware antiplagio: ☒ **TURNITIN** ☐ **URKUND (ORIGINAL) (*)**
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **17%**
9. Código documento:
10. Resultado de la evaluación de Similitud:

    ☒ **APROBADO** ☐ **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Fecha de Emisión: 22/10/2025

Firma y/o Sello
Emisor Constancia

.....

Ph. D. MANUEL ROBERTO RONCAL RABANAL
DNI: 26717244

*En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Celendín, a los dos días del mes de octubre del año dos mil veinticinco, se reunieron en el **aula 102** de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental - Sede Celendín, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 327-2025-FCA-UNC, de fecha 16 de junio del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"ANÁLISIS DE CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE SUELO USANDO IMÁGENES SATELITALES DURANTE EL PERIODO 2002 – 2022, EN EL DISTRITO DE CELENDÍN"**, realizada por el Bachiller **ISRAEL INTOR VARGAS** para optar por el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL.**

A las **DIECISIETE** horas con **CINCO** minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con calificativo de **DIECISIETE (17)** por tanto, el Bachiller queda expedido para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **DIECIOCHO** horas y **TREINTA** minutos del mismo día, el presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

.

Ing° M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
PRESIDENTE

Ing° M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna
SECRETARIO

Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Aylas
VOCAL

Ph.D. Manuel Roberto Roncal Rabanal
ASESOR

Dr. Agustín Emerson Medina Chávez
ASESOR

COPYRIGHT © 2025 by

ISRAEL INTOR VARGAS

Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

A mis queridos padres Patrociñía y Elías, por su gran amor, apoyo incondicional y motivación para alcanzar mis objetivos durante mi formación universitaria, y ser una mejor persona en el ámbito personal y profesional. A mi hijo Rodrigo, a su madre Yudy y a todos mis hermanos por su respaldo y cariño que me impulsaron día a día para salir adelante.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, salud y permitir alcanzar uno de mis metas anhelados.

A cada uno de los docentes de nuestra alma mater la Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental – Celendín, por los conocimientos brindados a lo largo de mi formación profesional.

A mis asesores, Ph, D. Manuel Roberto Roncal Rabanal y Dr. Agustín Emerson Medina Chávez por brindarme los conocimientos necesarios y por todo el apoyo en el transcurso del desarrollo de la presente investigación de tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA....iv

AGRADECIMIENTO....v

ÍNDICE GENERAL....vi

ÍNDICE DE TABLAS....x

ÍNDICE DE FIGURAS....xi

RESUMEN....xiv

ABSTRACT....xv

CAPITULO I....1

INTRODUCCIÓN....1

CAPITULO II....3

REVISIÓN DE LITERATURA....3

2.1. Antecedentes de la Investigación....3

2.1.1. *A nivel internacional*....3

2.1.2. *A nivel nacional*....5

2.1.3. *A nivel local*....6

2.2. Bases Teóricas....7

2.2.1. *Cobertura del suelo*....7

2.2.2. *Uso de suelo*....7

2.2.3. *Cambio de cobertura y uso de suelo*....7

2.2.4. *Clasificación Corine Land Cover (CLC)* 7

2.2.5. *Teledetección* 11

2.2.6. *Proceso de la teledetección* 12

2.2.7. *Espectro electromagnético.* 12

2.2.8. *Resolución de sensores remotos.* 14

2.2.9. *Imágenes satelitales* 15

2.2.10. *Combinación de bandas de imágenes satelitales* 17

2.2.11. *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)* 18

2.2.12. *Unidad espacial y Unidad Mínima Cartografiable (UMC)* 19

2.3. Definición de Términos Básicos 21

2.3.1. *Suelo* 21

2.3.2. *Corrección atmosférica y radiométrica* 21

2.3.3. *Clasificación supervisada* 21

2.3.4. *Clasificación no supervisada* 21

2.3.5. *Mapa de cobertura y uso de suelo* 22

2.3.6. *Infrarrojo cercano (NIR)* 22

2.3.7. *Rojo Visible (VIS)* 22

CAPITULO III 23

MATERIALES Y MÉTODOS 23

3.1. Ubicación Geográfica 23

3.2.1. *Material y equipo de campo* 25

3.2.2. *Materiales y equipos de gabinete* 25

3.2.3. *Programas informáticos* 25

3.3. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos 26

3.3.1. *Fase de gabinete* 26

3.3.2. *Fase de campo* 33

3.3.3. *Fase de gabinete* 34

CAPITULO IV 35

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 35

4.1. Cobertura y Uso de Suelo Según CLC Identificados en el Área de Estudio 35

4.1.1. Usos del suelo según CLC identificados en el área de estudio 35

4.1.2. Coberturas del suelo según CLC identificados en el área de estudio 39

4.2. Cambio de Cobertura y Uso de Suelo en los Periodos de 2002, 2012 y 2022 48

4.2.1. Periodo I (2002 al 2012) 48

4.2.2. Periodo II (2012 al 2022) 51

4.3. Tasa de Cambio de Cobertura y Uso de Suelo en los Periodos de 2002, 2012 y 2022 54

4.3.1. Tasa de cambio de uso del suelo 54

4.3.2. Tasa de cambio de cobertura del suelo 56

4.4. Análisis de Cambio y No Cambio de Cobertura y Uso del Suelo 60

4.4.1. Cambio y no cambio de uso de suelo 60

4.4.2. Cambio y no cambio de coberturas de suelo 61

CAPÍTULO V 64

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 64

5.1. Conclusiones 64

5.2. Recomendaciones 66

CAPÍTULO VI 67

REFERENCIAS 67

CAPÍTULO VII 75

ANEXOS 75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de bandas del sensor ETM+ del satélite Landsat-7 16

Tabla 2 Características de bandas del sensor OLI y TIRS del satélite Landsat-8. 17

Tabla 3 Combinación de bandas de imágenes satelitales 18

Tabla 4 Área mínima cartografiable para diferentes escalas. 20

Tabla 5 Unidades mínimas cartográficas según la resolución espacial de algunos sensores. 20

Tabla 6 Satélites a ser utilizados en la investigación científica. 27

Tabla 7 Rangos de clasificación para las coberturas de la tierra en relación al valor de NDVI. 29

Tabla 8 Matriz de confusión para el proceso de validación con imágenes de alta resolución. 30

Tabla 9 Valoración del coeficiente kappa. 31

Tabla 10 Valores de NDVI adaptada a las categorías de CLC. 32

Tabla 11 Categorías identificadas según CLC adaptada para el distrito de Celendín. 47

Tabla 12 Cambio y no cambio de uso de suelo. 61

Tabla 13 Cambio y no cambio de cobertura de suelo. 62

Tabla 14 Matriz de confusión con las categorías de NDVI para el año 2002. 76

Tabla 15 Matriz de confusión con las categorías de NDVI para el año 2012. 77

Tabla 16 Matriz de confusión con las categorías de NDVI para el año 2022. 78

Tabla 17 Matriz de incremento y pérdida (cambio) de cobertura y uso de suelo 2002 – 2012. 79

Tabla 18 Matriz de incremento y pérdida de cobertura y uso de suelo 2012 – 2022. 80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Rangos de espectro electromagnético 13

Figura 2 Ubicación de la zona de estudio. 24

Figura 3 Tejido Urbano Continuo del distrito de Celendín 36

Figura 4 Tejido Urbano Discontinuo de la ciudad de Celendín 36

Figura 5 Zona de extracción de material de agregados - sector Las Arenas – Bellavista. 37

Figura 6 Área de Disposición de Residuos Sólidos de la ciudad de Celendín 38

Figura 7 Zona de pastos en la localidad de Molinopampa 38

Figura 8 Zona de áreas Agrícolas en el sector Bellavista y 22 de Mayo. 39

Figura 9 Zona de bosque denso bajo - ruta a Llanguat 40

Figura 10 Bosque abierto bajo en la zona de Llanguat 41

Figura 11 Bosque Fragmentado en el sector la Masma 41

Figura 12 Plantaciones forestales en el sector Santa Rosa 42

Figura 13 Herbazal Denso en el sector Chacapampa alta 42

Figura 14 Herbazal Abierto Rocoso en el sector Eugeniopampa 43

Figura 15 Arbustal Denso en el sector Chuclalas 44

Figura 16 Arbustal Abierto en el sector de Las Tres Zanjas 44

Figura 17 Arbustal Abierto Rocoso en el sector de Llanguat 45

Figura 18 Tierras Desnudas y Degradadas en el sector de la parte baja de Poyunte Cucho . 46

Figura 19 Cuerpos de agua superficial en el rio Marañón 46

Figura 20 Incremento y pérdida (cambio) de uso de suelo 2002 - 2012 49

Figura 21 Incremento y pérdida (cambio) de cobertura de suelo 2002 - 2012 50

Figura 22 Incremento y pérdida (cambio) de uso de suelo 2012 - 2022 52

Figura 23 Incremento y pérdida (cambio) de cobertura de suelo 2012 - 2022 53

Figura 24 Tasa de cambio de áreas artificializadas 54

Figura 25 Tasa de cambio de áreas agrícolas 55

Figura 26 Tasa de cambio de plantaciones forestales.....56

Figura *27* Tasa de cambio de bosques 57

Figura 28 Tasa de cambio de vegetación herbácea.....57

Figura 29 Tasa de cambio de vegetación arbustiva 58

Figura 30 Tasa de cambio de tierras desnudas y cuerpos de agua.....59

Figura 31 Cambio y no cambio de uso de suelo. 61

Figura 32 Cambio y no cambio de cobertura de suelo. 62

Figura 33 Cambio y no cambio de uso y cobertura de suelo en los periodos de evaluación..63

Figura 34 Niveles de clasificación de cobertura y uso del suelo de CLC 75

Figura 35 Cambio y no cambio de uso de suelo para el periodo 2002 al 2012. 81

Figura 36 Cambio y no cambio de uso de suelo para el periodo 2012 al 2022. 81

Figura 37 Cambio y no cambio de uso de suelo para el periodo 2002 al 2022. 82

Figura 38 Cambio y no cambio de cobertura de suelo para el periodo 2002 al 2012.....83

Figura 39 Cambio y no cambio de cobertura de suelo para el periodo 2012 al 2022.....84

Figura 40 Cambio y no cambio de cobertura de suelo para el periodo 2002 al 2022.....85

Figura 41 Mapa de áreas artificializadas para el año 2022.....86

Figura 42 Mapa de Áreas agrícolas para el año 2022.....87

Figura 43 Mapa de plantaciones forestales para el año 2022 88

Figura 44 Mapa de bosques y áreas mayormente naturales (coberturas) para el año 2022....89

Figura 45 Mapa de bosques y áreas mayormente naturales (Herbazal) para el año 2022.....90

Figura 46 Mapa de bosques y áreas mayormente naturales (arbustal) para el año 2022.....91

Figura 47 Mapa de tierras desnudas/ degradadas y superficies de a gua para el año 2022 92

Figura 48 Coberturas y usos de suelo en las tres temporadas de estudio 93

Figura 49 Verificación en campo de la cobertura Arbustal Abierto Rocoso – Cerro el APRA 94

Figura 50 Verificación en campo a la cobertura de Tierras Desnudas y Degradadas en la zona de Chuclalas 94

Figura 51 Verificación en campo de la cobertura de Arbustal Abierto Rocoso - Llanguat ..94

Figura 52 Verificación en campo de la cobertura de Arbustal Denso en la Zona de Chuclalas 95

Figura 53 Verificación en campo del uso de suelo de Áreas Agrícolas Heterogéneas - Zona de la Laguna 95

Figura 54 Verificación de Campo al uso de suelo de Áreas Agrícolas Heterogéneas – Zona de Cashaconga 95

RESUMEN

En los últimos años, se ha venido realizando múltiples análisis de los cambios de cobertura y uso de suelo en muchos países, siendo una de las principales causas de la degradación de los recursos naturales. En este trabajo se determinó los cambios de cobertura y usos de suelo en la superficie territorial del distrito de Celendín, mediante el método de síntesis de observación no opinada, haciendo uso de una ficha de recolección de datos, mapa de cobertura y uso de suelo del MINAM y el uso de las imágenes satelitales con las herramientas de los sistemas de información geográfica, realizando puntos de muestreo en campo (observación directa) y mediante clasificación supervisada y no supervisada de dichas imágenes en los periodos 2002 – 2012 y 2012 – 2022. Así mismo, se efectuó un análisis estadístico y comparativo de las variables para la determinación de los cambios de la población (tipos de coberturas y usos de suelo).

Los resultados muestran que los cambios de uso de suelo hacen una extensión superficial de 857.99 ha que representa el 11.75% y el 2.20% respecto al área de estudio. Mientras que el área de cambio de coberturas de suelo es de 1,012.73 ha que representa el 3.06% de las mismas y el 2.51% respecto a la superficie del distrito de Celendín. Se identificó que la tasa de crecimiento de los usos de suelo en especial las áreas artificializadas se obtuvo un mayor crecimiento en el segundo periodo de análisis, tal es el caso de Tejido Urbano Discontinuo que va a una velocidad de crecimiento de 15.25 ha/año.

Palabras clave: Cambio de cobertura, Uso de suelo, Imágenes satelitales, NDVI, Corine Land Cover.

ABSTRACT

In recent years, multiple analyses of land cover and land use changes have been conducted in many countries, as these are one of the main causes of natural resource degradation. This study determined land cover and land use changes in the Celendín district using the non-observational observation synthesis method. A data collection form, a MINAM land cover and land use map, and satellite imagery with geographic information system tools were used. Field sampling points were conducted (direct observation) and these images were classified using supervised and unsupervised classification methods for the periods 2002–2012 and 2012–2022. A statistical and comparative analysis of the variables used to determine population changes (land cover types and land uses) was also performed.

The results show that land-use changes cover an area of 857.99 ha, representing 11.75% and 2.20% of the study area. The area of land cover change is 1,012.73 ha, representing 3.06% and 2.51% of the area of the Celendín district. The growth rate of land uses, especially in artificially developed areas, was found to be highest in the second analysis period. This is the case of the Discontinuous Urban Fabric, which is growing at a rate of 15.25 ha/year.

Keywords: Coverage change, Land use, Satellite images, NDVI, Corine Land Cover.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La superficie de la tierra es un mosaico de paisajes naturales y culturales, interconectadas desde los ecosistemas naturales relativamente vírgenes hasta las zonas urbanas e industriales completamente ocupadas por el ser humano para cultivos y entre otras actividades económicas (USGS, 2013). Los cambios ambientales ocurren de manera natural o por actividades antropogénicas (SEMARNET, 2018). Estos cambios modifican un lugar con diferente intensidad de acuerdo con el caso, pero la intervención humana es la que ha producido mayores transformaciones sobre la superficie terrestre (FAO, 1996). Las consecuencias generales se ven reflejadas en cambios de cobertura vegetal y uso del suelo que traen consigo efectos que empobrecen el acervo biológico y cultural. (Lambin y Turner, 2001, como se citó en Morales et al., 2016).

Márquez (2004), La población humana cada día va en aumento y por ende también aumenta la extracción o depredación de los recursos naturales empobreciendo los suelos, alterando los factores climáticos como la temperatura, humedad y precipitación, siendo estos fundamentales para el desarrollo y equilibrio de los ecosistemas y la biodiversidad, siendo los recursos más amenazados aquellos de fácil acceso para el ser humano, aunque se genere grandes riquezas en los procesos de extracción, sin embargo, las poblaciones o sociedad en su conjunto cada vez son más pobres.

En la actualidad se han realizado diversos estudios sobre la cobertura y uso de suelo en toda la superficie terrestre a escalas menores, haciendo uso de la teledetección y los sistemas de información geográfica combinando diversas metodologías cada vez más

precisas, a tiempo real y más económica, sin embargo, para los análisis locales son poco estudiados debido a que se requiere más detalle y precisión (Rojas et al., 2019).

El objetivo general fue determinar el cambio de cobertura y uso de suelo durante los periodos 2002, 2012 y 2022, haciendo uso de imágenes satelitales en el distrito de Celendín, los objetivos específicos fueron los siguientes:

Determinar el cambio de cobertura del suelo durante los periodos 2002, 2012 y 2022, haciendo uso de imágenes satelitales en el distrito de Celendín.

Determinar el cambio del uso de suelo durante los periodos 2002, 2012 y 2022, haciendo uso de imágenes satelitales en el distrito de Celendín.

Para ello se utilizó “las técnicas de teledetección que en los últimos años se han desarrollado de manera impresionante y tienen aplicación en casi todas las áreas de las ciencias de la tierra” (Fabregat, 1999). El gran incremento de la libre disponibilidad de las imágenes satelitales vía internet sin sesgos, hoy en día se encuentra al alcance de muchos investigadores que permite de manera ventajosa el uso de estas herramientas a diversas escalas regionales o mayores (Saavedra y Mannaerts, 2003, p. 4). En tal sentido, los resultados de la presente investigación son de gran utilidad para la toma de decisiones sobre planificación territorial, gestión ambiental y desarrollo sostenible, además es una herramienta que ayuda a mitigar la deforestación, proteger la biodiversidad, la seguridad alimentaria y fomentar políticas públicas eficientes (Copernicus, 2024).

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. *A nivel internacional*

Morales et al. (2016), realizaron un análisis del cambio de cobertura vegetal en una serie de tiempos en tres municipios de México, utilizando las herramientas de teledetección, puntos de control y capas vectoriales de cobertura vegetal y uso de suelo, logrando identificar tres tipos de coberturas vegetales: Selva Baja Caducifolia, Selva Mediana Caducifolia y Zonas de Bosques; más dos usos de suelos: Suelos Urbanos y Zonas Agrícolas. En los resultados observaron los procesos de cambios y reposición de coberturas y usos del suelo, siendo los principales cambios originados por las actividades humanas, son la conversión de selva baja caducifolia a áreas agrícolas, de selva baja caducifolia y áreas agrícolas a zonas urbanas y la recuperación de áreas agrícolas a áreas boscosas y selva baja caducifolia. De estas conversiones o cambios detectaron que el mayor crecimiento se dio en los usos relacionados con la agricultura, a expensas de zonas boscosas y selvas, ocasionando una mayor tasa de deforestación en las últimas fechas de su investigación.

Santi (2018), estudió el uso del suelo por un periodo de 17 años, utilizando una clasificación supervisada mediante el uso de las herramientas del Sistema de Información Geográfica (SIG) y 60 puntos de control, luego de esta clasificación calculó los índices espectrales: Índice de Vegetación Normalizada (NDVI), Índice

de Vegetación Ajustado con el Suelo (SAVI) y el Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad (NDMI), logrando determinar 7 tipos de usos de suelo: bosques, cuerpos de agua, plantaciones, zona urbana, cultivos perennes y otros cultivos, obteniendo una variación significativa en las áreas de cultivos, que ha aumentado en un 20.7%, mientras que en las zonas de plantaciones forestales y bosques han reducido en sus extensiones del 14.7% y el 8.3% respectivamente, concluyendo que, en el periodo de los 17 años evaluados, la agricultura se ha expandido a las zonas de plantaciones forestales y bosques, realizando una tala indiscriminada.

Copernicus (2024), realizó la clasificación de coberturas y usos de suelo en el año 2023 en américa Latina y el Caribe, utilizando las herramientas de teledetección con imágenes satelitales de Sentinel-2, para su leyenda utilizó la metodología de Corine Land Cover (CLC), logrando identificar a cuatro categorías del nivel I, a las áreas artificializadas, áreas agrícolas, bosques y áreas mayormente naturales y a superficies de agua, mientras que, en el nivel II identificaron a bosques, áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva y a las áreas sin o con poca vegetación, donde que para el distrito de Celendín resulta que el 92.56% está conformada por áreas con vegetación herbácea y/arbustiva, seguido de la cobertura de bosques con un 3.40%, nubes con un 2.61% y otras coberturas y usos representan superficies inferiores al 1%.

ESRI (2024), realizaron un monitoreo geoespacial global del planeta tierra sobre una serie temporal de uso y cobertura del suelo, haciendo uso de imagen satelital Sentinel-2, en las temporalidades de los años 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023, utilizando metodología de CLC para la leyenda, en la cual la

clasificación para el área de estudio se identificó a cuatro categorías del nivel I, siendo las áreas artificializadas, áreas agrícolas, bosque y áreas mayormente naturales y superficies de agua y cuatro categorías del nivel II, siendo el uso de suelo de pastos o pastizales, áreas agrícolas heterogéneas, bosques y áreas sin o con poca vegetación, de esta clasificación se evidencia que el 92.89% de la superficie del distrito de Celendín está conformada por pastos o pastizal, seguido por áreas artificializadas con un 3.38% y el resto de coberturas y usos de suelo representan un porcentaje inferior al 1.3%.

2.1.2. *A nivel nacional*

Maquera (2020), realizó una evaluación de los cambios de cobertura y uso de suelo en la región de Tacna de un periodo de 10 años (2007 - 2017) a través de la fotointerpretación de imágenes satelitales Landsat, efectuó una clasificación supervisada de los diferentes tipos de coberturas a través del sistema de clasificación Corine Land Cover (CLC), utilizó principalmente las categorías del nivel I, debido a su similitud con los tipos de coberturas de rasgos naturales y antrópicos de dicha región: áreas artificializadas, áreas agrícolas, bosques y áreas mayormente naturales, áreas húmedas y superficies de agua, logrando determinar una tendencia de incremento de superficies relacionadas con las actividades antrópicas como las áreas agrícolas y las artificializadas con las tazas de cambio de 3.5% y de 9.71% respectivamente, concluyendo que las superficies de los bosques y áreas mayormente naturales disminuyeron en 0.21 % de la tasa anual.

2.1.3. *A nivel local*

Campos (2018), analizó los cambios de cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales durante el periodo de 1990 al 2018, utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud y la metodología CLC en el distrito de Baños del Inca, en el proceso realizó la clasificación semiautomatizada para la obtención del mapa preliminar de coberturas y constatar esta información con la de campo, logrando identificar de la clasificación de CLC, áreas artificializadas, áreas agrícolas, bosques y áreas mayormente naturales y otras áreas, resultando en su totalidad a 57 tipos de cambios de cobertura que representa el 43.09% de la superficie del distrito.

Alcántara (2014), realizó el análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra bitemporal de los años 2001 y 2013 como parte de la implementación de la Zonificación Ecológica Económica – ZEE de la región de Cajamarca, utilizaron las herramientas SIG, imágenes satelitales, procedimientos, guías sugeridos por el MINAM y el uso de la metodología de CLC adaptada para Perú, para el distrito de Celendín logró identificar nueve categorías entre coberturas y usos de la tierra como tejido urbano continuo, cultivos transitorios, pastos o pastizales, áreas agrícolas heterogéneas, Bosque abierto bajo, herbazal, arbustal, vegetación arbustiva/herbácea y ríos, según su clasificación, la superficie del distrito de Celendín esta copada principalmente de las coberturas de herbazal y arbustal que representaron el 84.71% en el año 2001 y en el año 2013 el 78.81% disminuyendo o con una pérdida del 6%. Mientras que, el uso de las áreas agrícolas en el año 2001 representaba el 13.62% y en el año 2013 un 19.61% incrementando en un 6% de extensión superficial.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. *Cobertura del suelo*

La cobertura del suelo se refiere a la capa de suelo que cubre la superficie de la Tierra y desempeña un papel vital en las interacciones entre las rocas, el suelo, el agua, el aire y los organismos vivos en la zona crítica (Jordanova, 2017).

2.2.2. *Uso de suelo*

El uso del suelo, son actividades que realiza la población utilizando insumos, herramientas para producir cambios, mantener o conservar la cobertura de la tierra (Di Gregorio y Jansen 2000). Las actividades incluyen a los ecosistemas de flora y fauna natural, superficies hidrológicas o fuentes de agua, campos agropecuarios o zonas agrícolas, poblaciones humanas y zonas urbanas, vestigios arqueológicos, puertos, presas, entre otras estructuras o actividades humanas pasadas y presentes (FAO, 1999).

2.2.3. *Cambio de cobertura y uso de suelo*

Es la comparación de cobertura y uso de suelo de fechas diferentes, mediante la superposición de mapas cartográficos obteniendo información de tipos de cambio, superficie y localización (Francois et al., 2009).

2.2.4. *Clasificación Corine Land Cover (CLC)*

CORINE Land Cover es un programa de la Agencia Europea de Medioambiente (EEA), proporciona información sobre la cubierta terrestre, el uso del suelo y sus cambios temporales, siendo sus principales aplicaciones; en la gestión

del territorio, la gestión forestal, la gestión del agua, la gestión de emergencias, toma de decisiones medioambientales, entre otros. Su nomenclatura jerárquica contiene 44 clases divididas en subniveles temáticos, en el primer nivel se definieron cinco grandes grupos de clases: zonas artificiales, áreas agrícolas, vegetación y zonas naturales, zonas húmedas y zonas de agua (Copernicus, 2018).

4.1.1.1. Áreas artificializadas

Comprende las áreas de las ciudades y las poblaciones y, aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos (Catellanos, 2010)

a) Zona poblada urbana y rural. Es un espacio geográfico poblado por el hombre, donde existe agrupamiento de construcciones de acuerdo con una traza urbana, a la que se le designa un nombre (INEGI, 1998).

b) Zona de minería no metálica y estructuras. De acuerdo al Reglamento de protección y gestión ambiental para las actividades de explotación, beneficio, labor general, transporte y almacenamiento minero, del decreto supremo N.º 040-2014-EM (Energía y Minas). Detalla que un componente es el yacimiento minero: así como los equipos, infraestructuras, instalaciones, complejo metalúrgico, excavaciones superficiales o subterráneas, refinerías y espacios necesarios para el desarrollo de las actividades de explotación. (EM, 2014).

4.1.1.2. Áreas agrícolas

La agricultura es una actividad del cultivo de los suelos para la producción y recojo de cosechas, explotación de bosques, cría y desarrollo de la ganadería, siendo el sector primario de cada nacionalidad y el recurso más importante para la

subsistencia del hombre; una parte de estos productos es consumida directamente y el restante en productos derivados, que es transformada por la industria (SEDEMA, 2022).

a) Pastos naturales o pastizal. Son ecosistemas cubiertos por una vegetación herbácea diversa, predominantemente de gramíneas, ciperáceas y rosáceas y que varían en su composición fundamentalmente de acuerdo a la humedad del suelo, exposición y características edafológicas como textura y contenido de materia orgánica (Tapia y Flores, 1984). Asimismo, "Los pastizales son buenos ecosistemas como reguladores de los recursos acuíferos, hábitats de especies vegetales y animales y protegen el suelo de erosiones" (Núñez et al., 2018).

b) Áreas agrícolas heterogéneas. Las unidades agrícolas en la región de la sierra en su mayoría son áreas productivas de pequeñas hectáreas (< 1 ha) a medianas (entre 2 a 50 ha), las limitaciones para ser zonas agrícolas potenciales son la topografía accidentada que limita las tierras agrícolas, disponibilidad de agua y bajas temperaturas, los factores socioeconómicos también es una limitante sobresaliente que no permite realizar inversiones en tecnologías e insumos, consecuentemente conlleva bajos rendimientos en la productividad y rentabilidad de los productos agrarios (Helfgott et al., 2010). Los cultivos más comunes de esta región son cómo el trigo, la cebada que ocupan las laderas al secano considerados cosechas anuales; la papa y el maíz ocupan los suelos más profundos y bajo riego, por ello se utilizan fertilizantes químicos y/o abonos orgánicos en su gran mayoría; los cultivos de ocas, ollucos y avena, generalmente usan suelos marginales. (Alcántara, 2012).

4.1.1.3. Bosques

Se considera a la cubierta de la tierra con especies arbóreas (bosques

naturales o plantaciones forestales), con copa de más del 10% de superficie y superior a 0.5 hectáreas (ha). Estos deben de alcanzar una altura mínima de 5 metros (m) al llegar a su madurez. Los bosques pueden ser de formación cerrada, siendo los árboles de diversos tamaños y existencia de sotobosques; o de formación forestal abierta, con cubierta de vegetación continua (FAO, 2001).

a) Bosque natural. "Son ecosistemas nativos, con predominancia de especies arbóreas o arbustivas, intervenido o no por el hombre, siendo capaz de autorregenerarce naturalmente. Además, se puede utilizar diversas técnicas o prácticas de conservación para la regeneración natural en caso lo requiera" (MIDAGRI, 2015).

b) Plantaciones forestales. Son superficies arboladas que se han obtenido de forma artificial, mediante plantación o siembra. Los árboles pertenecen en general a una misma especie (ya sea nativa o introducida), tienen los mismos años de vida y presentan una separación homogénea, además, pueden tener como objetivo la producción de productos madereros o no madereros (plantaciones forestales productivas) o como el suministro de servicios de los ecosistemas de plantaciones forestales protectoras (Green Facts, 2001).

4.1.1.4. Áreas mayormente naturales

a) Áreas con vegetación herbácea. Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, los cuales forman una cobertura densa mayor al 70% de ocupación o abierta entre el 30% y 70% de ocupación (Catellanos, 2010). Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su

intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 1999).

b) Áreas con vegetación arbustal. Son coberturas de especies arbustivas naturales con una cubierta de copa entre un 5 y 10 por ciento de árboles que pueden alcanzar a una altura de 5 metros en su etapa de madurez (FAO, 2001). Esta unidad puede ser dividida en las siguientes clases: Arbustal denso, arbustal abierto y arbustal abierto rocoso.

a) Zonas desnudas o con poca vegetación

Afloramiento rocoso. Es una unidad geográfica que por sus mismas características se encuentran con poca o casi nada de vegetación; la poca cobertura vegetativa es herbácea y arbustiva; las herbáceas crecen gracias a los líquenes que rodean o cubren las rocas; las arbustivas se desarrollan entre las fisuras de las rocas (Villareal, 2000).

Tierras desnudas y degradadas. Espacios geográficos con escasa vegetación o con una cobertura vegetal considerablemente baja, debido a la ausencia de las especies vegetativas puede ser por diferentes factores naturales o antrópicos: como climas muy áridos, suelos salinos, o por las actividades humanas con instalaciones de estructuras, minerías, sobrepastoreo, entre otras que genera la degradación de suelos por el escurrimiento superficial de las aguas y por efecto de los vientos (INEGI, 1998).

2.2.5. *Teledetección*

Es una técnica que genera imágenes o datos digitales, con diferentes resoluciones, de la superficie terrestre por medio de sensores remotos, debido a la

radiación que emiten los objetos de la superficie terrestre y son captados por sensores satelitales, estos captan la información mediante radiaciones reflejadas de los objetos y trasforman en imágenes multiespectrales (Fernández et al., 2012).

2.2.6. *Proceso de la teledetección*

Para la adquisición de las imágenes satelitales son fundamental los siguientes elementos; la fuente de energía solar encargada de emitir propiamente dicha energía hacia la superficie terrestre, está la refleja o emite de acuerdo a sus características de los factores que la conforman hacia un sistema de sensores que se encuentra a bordo de un satélite, con la finalidad de codificar, grabar y enviar la información directamente a un sistema de recepción donde se realizan correcciones oportunas y es enviado a un intérprete en un formato apropiado para ser analizado en forma de imágenes analógicas o digitales, convirtiéndola la información temático o cuantitativa y facilitar al usuario que realice evaluaciones del problema en estudio y toma de decisiones (Chuvieco, 1995).

2.2.7. *Espectro electromagnético.*

Los sensores de los satélites de teledetección captan la información a través de las radiaciones electromagnéticas de las regiones no visibles, el ultravioleta hasta las microondas (Rupay, 2021).

Copernicus (2018), describe las partes del espectro electromagnético más utilizadas en teledetección según su longitud de onda, siendo los siguientes:

El espectro visible. Es la única radiación electromagnética que el ojo humano puede percibir. Dentro de este espectro se divide en tres franjas; el azul (400nm a 500nm), verde (500nm a 600nm) y el rojo (600nm a 700nm).

Infrarrojo cercano (NIR). Con este tipo de infrarrojo se puede discriminar principalmente masas vegetales y concentraciones de humedad porque estas cubiertas tienen picos de reflectancia entre 700nm a 1300nm.

Infrarrojo medio (SWIR). Es apto para estimar contenidos de humedad en la vegetación y para detección de focos de temperatura, está comprendida entre 1.3 y 8 micrómetros.

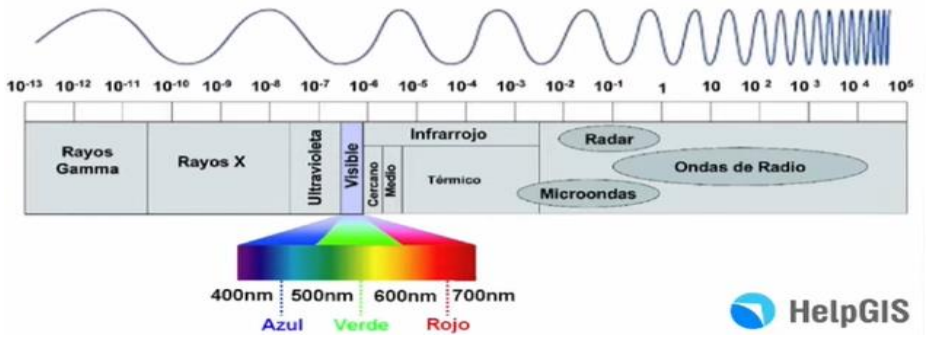
Infrarrojo térmico (TIR). Detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres. Se encuentra comprendida entre 8 y 100 micrómetros.

Microondas. Es un tipo de radiación bastante transparente a las cubiertas nubosas que comprende la región del espectro a partir de 1mm hasta 1 metro.

Se suele llamar **dominio óptico** del espectro a la parte visible e infrarroja, hasta el SWIR, puesto que es la parte que comúnmente capturan los sensores ópticos.

Figura 1

Rangos de espectro electromagnético



Fuente. (Rupay, 2021).

2.2.8. *Resolución de sensores remotos.*

a) Resolución espacial. Indica el tamaño mínimo de los elementos discriminables en la imagen. Cuanto menor es el tamaño del pixel, mejor resolución tiene la imagen, es posible discriminar más objetos. No obstante, el tamaño del pixel no siempre establece el umbral de elementos discriminables, hay otros factores (geometría, contraste de radiación entre objetos próximos, claridad de la atmósfera) que introducen matizaciones, como la imagen Landsat TM con una resolución espacial de 30 m, es posible discriminar carreteras cuya anchura sea inferior a este umbral ya que se trata de un elemento lineal (Sobrino, 2000).

b) Resolución espectral. Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. Un sensor será tanto más idóneo cuanto mayor número de bandas proporcione, ya que facilita la caracterización espectral de las distintas cubiertas (Chuvieco, 1995).

c) Resolución radiométrica. Hace referencia a la sensibilidad de un sensor y expresa su aptitud en una banda espectral dada para diferenciar señales electromagnéticas de energía diferente. El número máximo de niveles digitales de la imagen suele identificarse en la resolución radiométrica que oscila entre 64, 128, 256, 1024. Este rango de codificación varia con los distintos sensores. Cuanto mayor sea el número de niveles mejor es la resolución radiométrica y mejor la información (Sobrino, 2000). La resolución radiométrica en imágenes digitales es comparable al número de tonos de gris en una fotografía en blanco y negro, ya que ambos se relacionan con el contraste (Rupay, 2021).

d) Resolución temporal. Mide el tiempo de paso del satélite sobre una misma porción de superficie. Con ello se determina la periodicidad de adquisición de imágenes de una misma zona, pudiendo cuantificar la capacidad que tiene un sistema sensor para registrar los cambios temporales acaecidos sobre una determinada cubierta, lo cual es de vital importancia a la hora de abordar estudios evolutivos (Pérez y Muñoz, 2006).

2.2.9. *Imágenes satelitales*

a) Imagen del satélite Landsat-7. Satélite estadounidense que fue lanzado a la órbita en el año de 1999, encargado de adquirir imágenes de todo el planeta. En el cual ha realizado el seguimiento de cambios notorios de la superficie terrestre. Este satélite trabaja con el sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper +) que es capaz de captar información con 8 bandas, de las cuales seis (6) bandas (1,2,3,4,5 y 7) desde el espacio visible al infrarrojo con una resolución de treinta metros por píxel (30 m/píxel), la banda seis (6) posee un registro espectral de infrarrojo térmico de sesenta metros por píxel (60 m/píxel) y la banda ocho (8) de registro espectral pancromático de quince metros por píxel (15 m/píxel) que permite fusionar las imágenes multiespectrales, en la Tabla 1 se presentan las características de bandas (Labrador et al., 2012).

Tabla 1

Características de bandas del sensor ETM+ del satélite Landsat-7

LANDSAT 7 ETM+		
Banda	**Ancho (µm)**	**Resolución**
Banda 1 azul	0.441 - 0.514	30 m
Banda 2 verde	0.519 - 0.601	30 m
Banda 3 rojo (VIS)	0.630 - 0.692	30 m
Banda 4 NIR (infrarrojo cercano)	0.772 - 0.898	30 m
Banda 5 infrarrojo de onda corta	1.547 - 1.749	30 m
Banda 6 infrarrojo térmico	10.31 - 12-36	60 m
Banda 7 infrarrojo de onda corta	1.547 - 1.749	30 m
Banda 8 pancromática	0.515 - 0.896	15 m

Fuente: (Franco, 2017)

b) Imagen del satélite Landsat-8. Fue lanzado a órbita el 11 de febrero del 2013, con la finalidad de adquirir imágenes en un periodo de 5 a 10 años. Trabaja con dos sensores, el OLI (Operational Land Imager) y el TIRS (Thermal Infrared Sensor), el primer sensor colecta imágenes en nueve (9) bandas (1,2,3,4,5,6,7 y 9) espectrales de resolución espacial de treinta metros por píxel (30 m/píxel) a excepción de la imagen pancromática con 15 metros (banda 8), como se muestra en la Tabla 2 que permite identificar zonas urbanas, cultivos, bosques, usos del suelo, entre otros elementos de la superficie terrestre, mientras que, el segundo sensor colecta escenas térmicas con dos bandas (10 y 11) de infrarrojo de onda larga, con una resolución espectral de 100 m/píxel, con facilidad de fusionar con la banda 8 del sensor OLI bajando su resolución a 30 m/píxel que nos permite realizar mediciones de temperatura y evapotranspiración de la superficie terrestre. Finalmente, ambos sensores tienen un nivel de confianza al 90% (Franco, 2017).

Tabla 2

Características de bandas del sensor OLI y TIRS del satélite Landsat-8.

LANDSAT 8 OLI-TIRS		
Banda	**Ancho (µm)**	**Resolución**
Banda 1 aerosol costero	0.43 - 0.45	30 m
Banda 2 azul	0.45 - 0.51	30 m
Banda 3 verde	0.53 - 0.59	30 m
Banda 4 rojo (VIS)	0.64 - 0.67	30 m
Banda 5 infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30 m
Banda 6 infrarrojo de onda corta (SWIR) 1	1.57 - 1.65	30 m
Banda 7 infrarrojo de onda corta (SWIR) 2	2.11 - 2.29	30 m
Banda 8 pancromática	0.50 - 0.68	15 m
Banda 9 Cirrus	1.36 - 1.38	30 m
Banda 10 Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 m
Banda 11 Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100 m

Fuente: (USGS, 2013).

2.2.10. *Combinación de bandas de imágenes satelitales*

Las imágenes satelitales cuentan con una cierta cantidad de bandas dependiendo al tipo de satélite con la finalidad de mejor los análisis de la información geoespacial de las imágenes satelitales es justamente combinando las diferentes bandas (Tabla 3). Al realizar este procedimiento ayuda a identificar las características de la tierra como la vegetación, agua, áreas urbanas, entre otros, también a realizar un análisis de cambio en el tiempo de estas características, a identificar objetos de la superficie terrestre como vehículos, edificios y por último para mejorar la calidad de las imágenes (Pucha-Cofrep y Fries, 2023).

Tabla 3

Combinación de bandas de imágenes satelitales

APLICACIÓN	LANDSAT 5 y 7	LANDSAT 8
Color natural	B3-B2-B1	B4-B3-B2
Infrarrojo y rojo	B4-B3-B2	B5-B4-B3
Tierra y agua	B4-B5-B3	B5-B6-B4
Vegetación	B5-B4-B3	B6-B5-B4
Infrarrojo	B7-B4-B3	B7-B5-B4
Área urbana	B7-B5-B3	B7-B6-B4
Geología	B7-B3-B1	B7-B4-B2
Agricultura	B5-B4-B1	B6-B5-B2
Nieve y nube	B1-B5-B7	B2-B6-B7

Fuente: (Mora, 2022)

2.2.11. *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)*

El término de índice de vegetación se puede definir como el parámetro que permite calcular, a partir de los valores de reflectancia de distintas longitudes de onda, para extraer la información relativa de la vegetación más precisa posible, a pesar de las interferencias de las nubes y el tipo de suelo, en el ámbito del análisis de las imágenes satelitales, la cobertura vegetal es un elemento fundamental y primordial por sus características de sus colores que permiten identificar rápidamente con la ayuda de muchos parámetros de identificación de la vegetación, siendo uno de ellos el NDVI que nos permite captar la información de diferentes zonas vegetativas con sus actividades (Olaya, 2014).

Cálculo de NDVI

$\boldsymbol{NDVI} = \frac{NIR-VIS}{NIR+VIS}$; Donde: **VIS:** Rojo Visible y **NIR:** Infrarrojo Cercano

Las bandas de infrarrojo visible y de infrarrojo cercano son las fundamentales para este cálculo de NDVI, debido a su capacidad de captar información gracias a los pigmentos de la clorofila de las plantas que absorben la luz roja visible, así como también a la estructura celular de las mismas que refleja de la luz del infrarrojo cercano, el DVI toma valores del -1 a 1, donde los valores negativos corresponden a áreas con superficies de agua, estructuras hechas por el hombre, rocas, nubes o nieve; el suelo desnudo suele estar dentro del rango de 0.1 a 0.2 y las plantas siempre tendrán valores positivos entre 0.2 y 1, donde que el dosel de la vegetación densa y saludable debería estar por encima de 0.5, y la vegetación dispersa muy probablemente estará dentro del rango de 0.2 a 0.5, sin embargo, es solamente una regla general y siempre hay que tener en cuenta la estación, el tipo de planta y las peculiaridades regionales para saber la interpretación de los valores del NDVI correcta (EOS, 2020).

2.2.12. *Unidad espacial y Unidad Mínima Cartografiable (UMC)*

Es el polígono o superficie de terreno delimitado que está definido por una clase particular de Cobertura de la Tierra, que se puede considerar como homogénea o una combinación de varias coberturas, haciéndola claramente distinguible de las unidades que le rodean, del mismo modo, el polígono interpretado debe cumplir con una UMC (Tabla 4), que se define como el área más pequeña en un mapa que puede ser identificada y delimitada (IGAC, 2021).

Tabla 4

Área mínima cartografiable para diferentes escalas.

Escala	1 cm equivale a		Unidad mínima cartografiable (4x4 mm)	
	m	**km**	m^2	ha
1:5.000	50	0.05	400	0.04
1:10.000	100	0.1	1600	0.16
1:25.000	250	0.25	10000	1
1:50.000	500	0.5	40000	4
1:100.000	1000	1	160000	16

Fuente: (Priego et al., 2010)

Tabla 5

Unidades mínimas cartográficas según la resolución espacial de algunos sensores.

Satélite	Resolución (m)	Escala cartográfica máxima	Área mínima cartografiable (ha)
ASTER	15	1:30.000	2.25
	30	1:50.000	6.25
Sentinel 2	10	1:15.000	0.5
	20	1:25.000	1.5
	60	1:100.000	25
Landsat 8	15	1:30.000	2.25
	30	1:50.000	6.25

Fuente: (CVC, 2021)

2.3. Definición de Términos Básicos

2.3.1. *Suelo*

Es el Conjunto de partículas naturales sobre la corteza terrestre que sirve de soporte a las plantas, con un límite inferior con material orgánico donde se han desarrollado horizontes impermeables a las raíces, así como también, tiene una relación directa entre el clima, organismos vivos, roca madre y relieve (Hodgson, 1987).

2.3.2. *Corrección atmosférica y radiométrica*

La corrección radiométrica trata de corregir problemas mecánicos en el sensor que generan valores erróneos en píxeles concretos y la corrección atmosférica trata de evaluar y eliminar las distorsiones que la atmósfera introduce en los valores de radiancia que llegan al sensor desde la superficie terrestre. (SIG y Teledetección de la Universidad de Murcia [SIGMUR], 2003).

2.3.3. *Clasificación supervisada*

Se denomina clasificación supervisada; 1) para ejecutar el etiquetado de las clases espectrales se procede manualmente; 2) para clasificar los parámetros, en función a la densidad de cada clase definida y 3) para el proceso de clasificación se ejecuta de manera supervisada basándose en dichos parámetros. (Lira, 2010).

2.3.4. *Clasificación no supervisada*

Tal como refiere Olaya (2014), “la única entrada son las capas y el número de clases a definir. Las características de dichas clases se establecen en función del conjunto de valores con los que se trabaja”. (Monterroso, 2013).

2.3.5. *Mapa de cobertura y uso de suelo*

Es una representación gráfica indispensable que permite visualizar determinados campos espaciales mediante un mapa para cuantificar los recursos físicos, humanos y económicos; mostrar los riesgos ambientales y las expansiones urbanísticas; ordena el territorio (Gago et al., 2012, como se citó en Membrado, 2015).

2.3.6. *Infrarrojo cercano (NIR)*

"También se denomina infrarrojo próximo, reflejado o fotográfico, puesto que parte de él puede detectarse a partir de películas dotadas de emulsiones especiales. Resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad". (Chuvieco, 2002).

2.3.7. *Rojo Visible (VIS)*

Este rango es útil para generar imágenes en color verdadero, es decir, imágenes que representan los colores como lo percibe el ojo humano. Es útil para la identificación de cuerpos de agua, áreas urbanas, suelos y vegetación sana gracias a los pigmentos de la clorofila de las plantas. (Robalo et al., 2024).

CAPITULO III

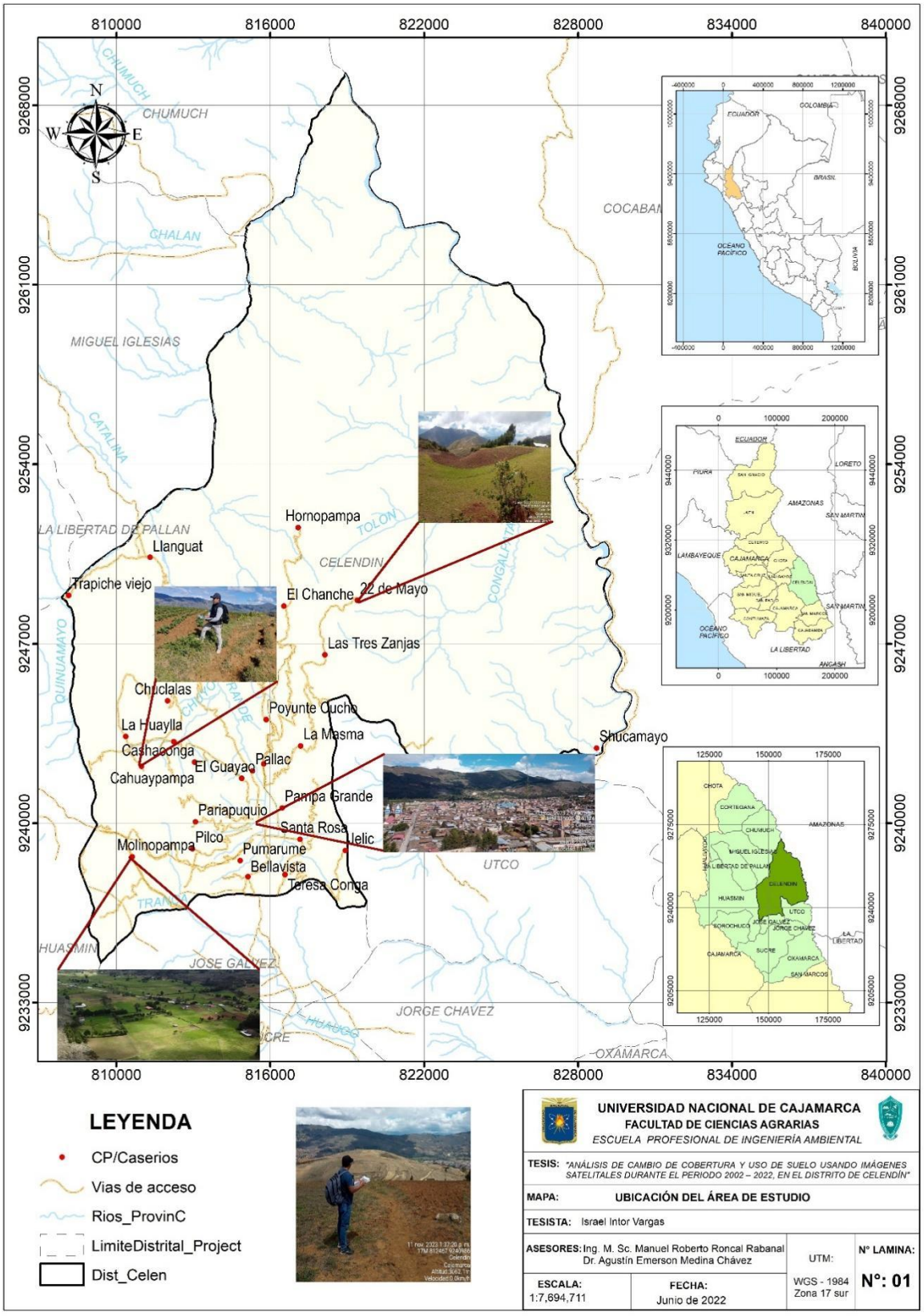
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación Geográfica

La investigación se realizó en la región andina al norte del Perú, en el distrito y provincia de Celendín, departamento de Cajamarca (aproximadamente entre las coordenadas UTM de 9234500 y 9269170 m Norte y entre 808000 y 829974 m Este) del sistema de coordenadas WGS 84, zona 17S. Limita con los distritos de Chumuch, y Miguel Iglesias por el Norte, con La libertad de Pallán y Huasmín por el Oeste, con Utco y José Gálvez por el sur y por el Este con la región de Amazonas, como se muestra en la Figura 2.

El distrito de Celendín abarca una extensión de, 40 378.77 hectáreas que representa el 15.21% de la superficie provincial, se encuentra comprendido entre las altitudes de 800 (marginal del río Marañon) y 3500 (Parte alta de Hornopampa) metros sobre el nivel del mar, presenta climas variados como semiárido tropical, templado, semifrío y frío, las temperaturas generalmente varían entre 5 °C a 21 °C y raras veces baja a menos de 3 °C o sube a más de 24 °C. Estas características hacen que el área de estudio se encuentre dentro de la cordillera de los Andes que se identifica por su alta diversidad geográfica, biológica y cultural.

Figura 2 *Ubicación de la zona de estudio.*



3.2. Materiales

3.2.1. *Material y equipo de campo*

- Libreta de campo
- Material cartográfico del distrito de Celendín
- Cámara fotográfica
- Dron fotográfico
- Ficha de evaluación de categorías
- Wincha
- Receptor GPS

3.2.2. *Materiales y equipos de gabinete*

- Útiles de escritorio
- Hojas Bond A4
- Fólderes manila A4
- Internet
- Laptop
- Impresora
- Disco duro externo DW 2TB

3.2.3. *Programas informáticos*

- Microsoft Office (Word, Excel y PowerPoint)
- ArcMap, ArcGIS Pro
- Google Earth Pro y SASPlanet

3.3. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Para la identificación y análisis de cambios de las coberturas y usos de suelo en el área de estudio se realizó en la fase de gabinete y de campo.

3.3.1. *Fase de gabinete*

Se utilizó imágenes satelitales Landsat 7 con sensor ETM+ y Landsat 8 con sensores de OLI y TIRS como se detalla en la Tabla 5 y el polígono distrital del área de estudio en formato vectorial.

A. Cargado de bandas. Se realizó el cargado de bandas requeridas de cada imagen satelital al software de ArcGIS Pro con la herramienta de "Agregar Datos" para realizar las combinaciones de las mismas y calcular el NDVI, haciendo uso las imágenes georreferenciadas en Datum al Sistema Geodésico Mundial (WGS) 1984 en la proyección cartográfica Universal Transversal Mercator (UTM) (Rojas, 2022).

B. Corrección de radiométrica. Se realizó este tipo de procesamiento a la imagen satelital de Landsat 7, que presentaba errores de líneas en las ocho bandas. Para ello se utilizó la herramienta de extensión de Fix Landsat 7 Scanline Errors en el sofware de ArcGIS Pro.

C. Corrección atmosférica. Se realizó la conversión de los Niveles Digitales (ND) almacenados por el sensor en Valores de Radiancia, con la herramienta de bandas compuestas "Composite Bands" del software ArcGIS Pro (Mora, 2022), generando como producto una imagen compuesta por las ocho bandas de tipo Raster con una resolución de 30 metros.

D. Mejora de resolución espacial. Mediante la herramienta de crear un conjunto de datos ráster con enfoque panorámico (Create Pansharpened Raster Dataset) del sofware de ArcGIS Pro y la banda 8 (pancromática – 15 m) se redujo el tamaño de pixel de 30 metros a 15 metros y mejorando la resolución espacial.

E. Combinación de bandas. La imagen ya mejorada su resolución (15 metros de píxel), se procede a la combinación de las diferentes bandas como se muestra en la Tabla 6, con la finalidad de identificar características de las coberturas y usos de suelo (Pucha-Cofrep y Fries, 2023).

Tabla 6

Satélites a ser utilizados en la investigación científica.

Satélite	Año	Sensor	Bandas
Landsat 7	2002	ETM+	Banda del 1 al 8
Landsat 7	2012	ETM+	Banda del 1 al 8
Landsat 8	2022	OLIS y TIRS	Banda del 1 al 8

F. Cálculo de NDVI. Esta clasificación muestra el verdor de biomasa relativa de la cobertura del suelo. Se realizó el cálculo mediante la herramienta de "Índice de Vegetación" del software ArcGIS Pro con las bandas 4 (roja) y 5 (infrarrojo cercano) de las imágenes satelitales, generando un archivo Raster con valores limitados entre -1 y 1. (Mora, 2022)

Para realizar el cálculo del NDVI en ArcGIS se cargó la imagen satelital y se utilizó la calculadora Ráster aplicando una de las siguientes fórmulas dependiendo al sensor de la imagen.

$$\text{NDVI (Landsat 5 ó 7)} = \frac{\text{Banda 4} - \text{Banda3}}{\text{Banda 4} + \text{Banda 3}}$$

$$\text{NDVI (Landsat 8)} = \frac{\text{Banda 5} - \text{Banda4}}{\text{Banda 5} + \text{Banda 4}}$$

Luego de realizar los respectivos cálculos se verificó sus propiedades de la nueva capa generada, sus valores de intervalo de -1 a +1, siendo uno de los indicadores característicos de esta metodología para constatar que se ha realizado correctamente el proceso.

G. Designación de sistema de coordenadas. A la capa (RASTER) anteriormente creada se le designó el sistema de coordenadas de WGS 1984 UTM Zona 17S que corresponde al área de estudio.

H. Corte de raster o delimitación del área de estudio. Haciendo uso de la de la herramienta de Extraer por máscara (Extract by Mask) del software de ArcGIS se delimitó o cortó el Raster de NDVI al área de estudio.

I. Determinación de leyenda simplificada con valores de NDVI. Teniendo en cuenta el rango que toma este índice de -1 a 1. Se realizó un muestreo poligonal de categorías en la imagen procesada (raster), de acuerdo a la categorización de los valores de NDVI de la Tabla 7 que muestra una relación con las coberturas y usos de la tierra, Clases no vegetales, tierras desnudas, vegetación dispersa, vegetación abierta y vegetación cerrada.

Tabla 7

Rangos de clasificación para las coberturas de la tierra en relación al valor de NDVI.

Clase	Valores de NDVI	Cobertura y uso de la tierra	Descripción
1	< -0.358	Clases no vegetales	Infraestructuras, nubes, ríos, quebradas, lagunas y sombra de nubes.
2	(-0.358) - (-0.255)	Tierra desnuda	Tierras degradadas, asentamientos, infraestructura vial y suelos sin cobertura vegetal.
3	(-0.255) - 0.25	Vegetación dispersa	Matorral xerófilo, tierras cultivadas, pastizales, herbazales, arbustos dispersos, cultivos irrigados y tierras aradas por cultivas.
4	0.25 - 0.40	Vegetación abierta	Cultivo arbóreo, vegetación leñosa, plantación arbustiva, plantación de escasos crecimiento y bosque xerófilo.
5	>0.40	Vegetación cerrada	Plantas densas en crecimiento, bosque húmedo siempre verde, algunas especies deciduas y semi-deciduas.

Fuente: (Cartaya et al., 2014)

J. Matriz de confusión. Es la herramienta que permitió la visualización del desempeño de un logaritmo de aprendizaje supervisado, analizando los aciertos y errores del modelo de estudio durante el proceso de evaluación de los años 2002, 2012 y 2022, tal como se muestra en la Tabla 8 la distribución de clases: las filas representan clases de referencia, las columnas las clases del mapa clasificado, los datos de referencia y por último las marginales indican los errores de asignación (MINAM, 2014).

Con la ayuda de esta herramienta permitió el muestreo de las cinco categorías de cobertura y uso de la tierra (Tabla 7) haciendo una totalidad de 250 áreas de entrenamiento en las tres temporalidades de estudio, obteniéndose bajos errores de comisión y omisión (Tablas 14, 15 y 16 de Anexo).

Tabla 8

Matriz de confusión para el proceso de validación con imágenes de alta resolución.

		REFERENCIA DE RESULTADOS						
		Clases del mapa clasificado				Total	Exactitud del usuario	Error de comisión
RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN	Clases de referencia	A1	A2	A3	…	(A1+A2+A3) =X	EU1	EC1
		B1	B2	B3	…	(B1+B2+B3) =Y	EU2	EC2
		C1	C2	C3	…	(C1+C2+C3) =Z	EU3	EC3
		…	…	…	…	…	…	…
	Total	(A1+B1+C1) =R	(A2+B2+C2) =S	(A3+B3+C3) =T	…	M		
	Exactitud del productor	EP1	EP2	EP3				
	Error de omisión	EO1	EO2	EO3				

Fuente: (MINAM, 2014).

K. Índice kappa. Es una medida de diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación con un software y la exactitud de lograr una clasificación correcta mediante la clasificación visual (en campo o con imágenes de alta resolución). Vindell (2021) interpreta que el índice kappa puede tomar valores entre −1 y +1. Los valores que tienden a +1 mayor será el grado de concordancia inter- observador y si los valores tiendan a -1 la concordancia será lo contrario.

Para el cálculo e interpretación de los resultados del índice de Kappa se utilizó la siguiente fórmula y la escala de valoración, como se muestra en la Tabla 10 planteado por Landis y Koch (1977), como se citó en MINAM (2014).

$K = \frac{Po-Pe}{1-Pe}$; Donde: Po = Número de aciertos/ Número total de clases y Pe = Calculo generado desde la matriz de confusión.

Tabla 9

Valoración del coeficiente kappa.

Coeficiente de kappa (k)	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 - 1.00	Casi perfecto

Fuente: (Landis y Koch, 1977, p. 165)

La clasificación de las imágenes satelitales de los años de 2002, 2012 y 2022, obtuvieron una concordancia casi perfecta resultando con 0.98, 1 y 0.97 respectivamente (Tabla 14, 15 y 16 de Anexos).

L. Clasificación no supervisada. Se realizó la clasificación según el tipo de cobertura y uso de suelo, seleccionando los píxeles representativos de cada clase con la herramienta de Training Samples Manager del software ArcGIS Pro, luego se etiqueta a cada pixel según la clase de elemento que exista en la superficie, hasta obtener el mapa temático clasificado. (Lira, 2010)

M. Determinación de leyenda de Corine Land Cover. Se utilizó la metodología de CLC adaptada a la comunidad andina del Perú, ya que presenta cuatro niveles de clasificación (I, II, III y IV) como se muestra en la Tabla 11, de los cuales se empleó 1) áreas artificializadas, 2) áreas agrícolas, 3) Bosques y áreas mayormente naturales y 5) cuerpos de agua superficial (MINAM, 2014).

N. Adaptación de categorías de NDVI a CLC. Con la ayuda de las imágenes satelitales de ArcGIS. Imagery y de Google, se logró identificar y delimitar las categorías de CLC con los valores de NDVI que adoptan cada polígono de este índice (Tabla 10).

Tabla 10

Valores de NDVI adaptada a las categorías de CLC.

Valor de NDVI	Código	NIVEL	Símbolo
-0.05 - 0.27	1.1.1	Tejido urbano continuo	Tu-C
-0.05 - 0.43	1.1.2	Tejido urbano discontinuo	Tu-D
-0.96 - 0.22	1.3.1	Minería no metálica	Mn-M
-	1.3.2	Área de disposición de RRSS	Ad-RRSS
0.22 - 0.69	2.3	Pastos	Pts
-0.05 - 0.43	2.4	Áreas agrícolas heterogéneas	Áa-H
-0.05 - 0.43	3.1.1	Bosque denso bajo	Bd-B
-0.05 - 0.22	3.1.2	Bosque abierto bajo	Ba-B
0.22 - 0.69	3.1.5	Bosque fragmentado	Bf-F
0.22 - 0.69	3.2	Plantaciones forestales	Pf-F
-0.05 - 0.27	3.3.1.1	Herbazal denso	Hd-D
-0.05 - 0.27	3.3.1.2	Herbazal abierto rocoso	Ha-R
0.22 - 0.43	3.3.2.1	Arbustal denso	Ad-D
-0.05 - 0.27	3.3.2.2	Arbustal abierto	Aa-A
-0.05 - 0.43	3.3.2.3	Arbustal abierto rocoso	Aa-R
-0.96 - 0.22	3.4.3	Tierras desnudas	Td-D
-0.96 - 0.22	5.1.1	Cuerpos de agua	Cd-A

O. Conversión de raster a vector. Se realizó la clasificación de las clases de coberturas del NDVI de formato Raster a vectorial (shapefile) mediante reclasificación, para luego proceder una limpieza vectorial, eliminando polígonos que no cumplan con la Unidad Mínima Cartografiable (UMC) de mapeo (Maquera, 2020, p. 48). Se realizó la eliminación a superficies inferiores a 0.1 hectáreas, siendo una primera limpieza de superficies mínimas.

P. Unión. Se efectuó la unión de todas las clases de coberturas y uso de suelo, utilizando de la herramienta de superposición “Unión” de ArcGIS Destock, que une geométricamente los vectores clasificados, de manera que las entidades y atributos se reflejen en la capa de salida (GEASIG, 2018).

Q. Eliminación de polígonos falsos o espacios entre polígonos. Los falsos polígonos o espacios entre polígonos se producen cuando se crean polígonos nuevos sin utilizar alineación, tanto falsos polígonos como espacios impiden que el dataset forme una estructura continua y por lo tanto deben identificarse y arreglarse como corresponde (ESRI, 2021). Para eliminar estos errores se realizó una consulta de selección por atributos para aquellos polígonos que tiene una UMC de 2.25 hectáreas para las clases referentes a Bosques y Áreas Mayormente Naturales de coberturas; excepto para aquellos elementos importantes de ser identificados con mayor detalle, se valoró áreas mínimas para cada clase (cuerpos de agua, plantaciones forestales, áreas artificializadas y tierras desnudas o degradadas) (Maquera, 2020).

3.3.2. *Fase de campo*

El trabajo de campo se realizó con la finalidad de identificar y verificar en terreno las unidades de cobertura y uso de la tierra presentes en el área de estudio. Esta fase se realizó con dos (2) tipos de salidas, de reconocimiento y de verificación. La primera consiste en la identificación preliminar del terreno como las vías de acceso, los posibles puntos críticos para la delimitación de coberturas dominantes, los cuales servirán para ubicar los puntos estratégicos e interpretar la realidad de la zona de la mejor manera. En las salidas de verificación se realizó la identificación y constatación de los tipos de coberturas y uso de suelo, en base a la información obtenida en gabinete para su posterior corrección de las categorías que presenten alguna incertidumbre en su delimitación (IGAC, 2021).

3.3.3. *Fase de gabinete*

Con la información obtenida en campo, se realizó la clasificación supervisada a la base de datos derivada de la primera fase, obteniendo las categorías definitivas de las coberturas y usos de suelo presentes en el área de estudio

Edición de mapa final. Para concluir con el procesamiento de información, corrección de errores y análisis de datos, los archivos se convierten a formato vectorial con la finalidad de cortar, unir, etiquetar, simbolizar, clasificar y exportar como mapa final a las coberturas y uso de suelo en las tres temporadas de estudio.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cobertura y Uso de Suelo Según CLC Identificados en el Área de Estudio

Haciendo uso de las imágenes satelitales de Landsat 7 (2002 y 2012), Landsat 8 (2022), de Google Earth Pro, SASPlanet y la metodología de NDVI se logró identificar 17 categorías de la metodología de CLC adaptada para Perú. Los cuales sirvieron para realizar los análisis cualitativos y cuantitativos en las tres temporadas de estudio del distrito de Celendín – Cajamarca. Como se muestra en la Tabla 11.

4.1.1. Usos del suelo según CLC identificados en el área de estudio

A. Tejido urbano continuo (1.1.1 Tu-C)

En la clasificación de CLC se encuentra en el nivel III, perteneciendo a los niveles de áreas artificializadas (Nivel I), como se muestra en la Tabla 11. Está conformada únicamente por el casco urbano de la ciudad de Celendín (Figura 3), incluye los espacios cubiertos en su totalidad de infraestructuras urbanas y vías de acceso (calles y veredas). El material predominante de las infraestructuras es de material “noble” ladrillo, cemento y acero, mientras que sus calles están construidas a base de concreto simple o pavimento.

Figura 3

Tejido Urbano Continuo del distrito de Celendín

B. Tejido urbano discontinuo (1.1.2 Tu-D)

Esta categoría se encuentra en el nivel III, perteneciendo a los mismos niveles I y II de la categoría antes mencionada (Tabla 11). Está conformada por la combinación de infraestructuras periurbanas en proceso de urbanización con espacios verdes, calles o vías de acceso sin pavimentar con cercos vivos (árboles de eucalipto, entre otras especies vegetativas).

Figura 4

Tejido Urbano Discontinuo de la ciudad de Celendín

C. Minería no metálica (1.3.1 Mn-M)

Con respecto a esta categoría pertenece al nivel III de las áreas artificializadas (Nivel I). Esta comprende únicamente en la extracción de material de agregados destinados (Figura 5) para la construcción de edificaciones de la ciudad de Celendín.

Figura 5

Zona de extracción de material de agregados - sector Las Arenas – Bellavista.

D. Área de disposición de residuos sólidos (1.3.2 Ad-RRSS)

Pertenece al mismo nivel de las categorías antes mencionadas. Esta categoría es denominada como botadero controlado (Figura 6) destinado para la disposición final de residuos sólidos producto de la generación de la población del distrito.

E. Pastos (2.3 Pts)

Este tipo de uso de suelo identificada pertenece a la categoría de áreas agrícolas (Tabla 11), comprende superficies con pastos naturales de la zona principalmente el ray gras (*Lolium multiflorum Lam.*) asociados con trébol blanco (*Trifolium repens L.*), predominantes en superficies húmedas y de bajas pendientes (Figura 7), son utilizados para el pastoreo de animales mayores y como forraje para animales menores.

Figura 6

Área de Disposición de Residuos Sólidos de la ciudad de Celendín

Figura 7

Zona de pastos en la localidad de Molinopampa

F. Áreas agrícolas heterogéneas (2.4 Áa-H)

Pertenece a la misma categoría y nivel de pastos en la clasificación de CLC (Tabla 11). Están conformadas por asociaciones de cultivos para consumo local y mosaicos de pastos que se representan por pequeñas superficies o parcelas que impide su representación individual a escala de estudio (Figura 8). Los principales cultivos encontrados en estas áreas son: maíz, papa, oca, olluco, trigo, cebada, lenteja, frijol y yuca.

Figura 8

Zona de áreas Agrícolas en el sector Bellavista y 22 de Mayo.

4.1.2. Coberturas del suelo según CLC identificados en el área de estudio

A. Bosque denso bajo (3.1.1 Bd-B)

Pertenece a la tercera categoría del Nivel I en la clasificación de CLC de Bosques y áreas mayormente naturales, tal como se muestra en la Tabla 11. Esta es una cobertura constituida por una comunidad vegetativa dominante de especies arbóreas naturales (Figura 9), los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más del 70% del área total de la unidad, y con altura del dosel superior a 5 metros. Este tipo de formaciones vegetales presentes en el área de estudio no han sido intervenidas por actividades antrópicas o si lo ha sido, pero limitadas o selectivas, conservando siempre su estructura original y sus características fundamentales.

Figura 9

Zona de bosque denso bajo - ruta a Llanguat

B. Bosque abierto bajo (3.1.2 Ba-B)

Pertenece al Nivel II de Bosques (Tabla 11). Son áreas ocupadas por cobertura natural de tipo arbóreo regularmente distribuidos, con un estrato de copas de manera discontinua y una proporción entre el 30% y 70% del área total de la unidad. Incluye mosaicos de coberturas de herbáceas, cactáceas, áreas degradadas y afloramientos rocosos (Figura 10). Su altura se considera inferior a 10 metros. Las principales especies características de esta cobertura es el pate, (*Eriotheca sp.), Armatocereus rauhii, Melocactus bellavistensis y Espostoa mirabilis (Chávez, 2020).*

C. Bosque fragmentado (3.1.5 Bf-F)

Esta cobertura comprende espacios geográficos cubiertos por bosques naturales densos y abiertos cuya continuidad horizontal viene siendo afectada por la inclusión de otros tipos de usos de suelos como pastos, cultivos o vegetación en transición (Murcia, et al. 2009). La especie característica de esta cobertura es el aliso (*Alnus sp*).

Figura 10

Bosque abierto bajo en la zona de Llanguat

Figura 11

Bosque Fragmentado en el sector la Masma

D. Plantaciones forestales (3.2 Pf-F)

Es un tipo de uso de suelo que pertenece al nivel II de clasificación de CLC (Tabla 11) que está conformada por plantaciones vegetativas del tipo arbórea, introducidas por la actividad antrópica, con fines económicos y servicios medio ambientales. Las plantaciones principalmente son de las especies de pino y eucalipto.

Figura 12

Plantaciones forestales en el sector Santa Rosa

E. Herbazal denso (3.3.1.1 Hd-D)

Es un tipo de cobertura perteneciente al nivel IV de la clasificación de CLC (Tabla 11) que está constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, los cuales forman una cobertura densa mayor al 70% de ocupación de la superficie (MINAM 2014).

Figura 13

Herbazal Denso en el sector Chacapampa alta

F. Herbazal abierto rocoso (3.3.1.2 Ha-R)

Este tipo de cobertura que también pertenece a las áreas mayormente naturales como herbazales que se clasifica en el nivel IV de CLC (Tabla 11) y que consta de la combinación entre herbáceas y afloramiento rocoso, lo cual forma una cobertura abierta que ocupa del 30% de superficie.

Figura 14

Herbazal Abierto Rocoso en el sector Eugeniopampa

G. Arbustal denso (3.3.2.1 Ad-D)

Está conformada por elementos típicamente de arbustos leñosos y naturales de alturas que no supera los 5 metros (Figura 15), los cuales forman un dosel irregular, pero que puede presentar elementos arbóreos dispersos cuya cubierta representa más del 70% del área total de la unidad (IGAC, 1999).

H. Arbustal abierto (3.3.2.2 Aa-A)

Perteneciente al cuarto nivel de las áreas tipo arbustal (Tabla 11). Esta unidad de cobertura está conformada por especies arbóreas con una densidad del 30% al 70% de superficie analizada.

Figura 15

Arbustal Denso en el sector Chuclalas

Figura 16

Arbustal Abierto en el sector de Las Tres Zanjas

I. Arbustal abierto rocoso (3.3.2.3 Aa-R)

Es un tipo de cobertura clasificada en el nivel IV de la categoría de bosques y áreas mayormente naturales, tal como se muestra en la Tabla 11. En el área de estudio se ha identificado parches de arbustos dispersados con una densidad entre el 30% y 70% combinadas con afloramientos rocosas de tipo caliza.

Figura 17

Arbustal Abierto Rocoso en el sector de Llanguat

J. Tierras desnudas y degradadas (3.4.3 Td-D)

Es considerada como un tipo de cobertura clasificada en el tercer nivel de CLC (Tabla 11). Comprende aquellos territorios en los cuales la vegetación es escasa o nula, compuestos por suelos desnudos a causa de erosión del suelo, afloramientos rocosos o arenales (Figura 18) y con pendientes superiores al 25% en su gran mayoría y otros parches superficiales con pendientes de lomajes (25 – 45%), cerros (45 – 60%) y montañas (>60%).

K. Cuerpos de agua superficial (5.1.1 Cd-A)

Considerada como uso y cobertura, perteneciente a la quinta categoría del nivel I y en el tercer nivel como tal (Tabla 11). Esta categoría comprende la presencia de cuerpos de agua superficial del río Marañón, río Las Yangas, río Grande y laguna el suro (Figura 19), así como también se encuentra una superficie de cuerpo de agua artificial de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Celendín.

Figura 18

Tierras Desnudas y Degradadas en el sector de la parte baja de Poyunte Cucho

Figura 19

Cuerpos de agua superficial en el rio Marañón

Tabla 11

Categorías identificadas según CLC adaptada para el distrito de Celendín.

NIVEL I	COD NIVEL II	COD NIVEL III	COD NIVEL IV	SIMBOLOGÍA	COBERTURA/USO
1. Áreas artificializadas	1.1 Zonas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo		Tu-C	USO
		1.1.2 Tejido urbano discontinuo		Tu-D	USO
	1.3 Zonas de extracción de mineras y escombras	1.3.1 Minería no metálica		Mn-M	USO
		1.3.2 Área de disposición de RRSS		Ad-RRSS	USO
2. Áreas agrícolas	2.3 Pastos			Pts	USO
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas			Áa-H	USO
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque denso bajo		Bd-B	COBERTURA
		3.1.2 Bosque abierto bajo		Ba-B	COBERTURA
		3.1.5 Bosque fragmentado		Bf-F	COBERTURA
	3.2 Plantaciones forestales			Pf-F	USO
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.3.1 Herbazal	3.3.1.1 Herbazal denso	Hd-D	COBERTURA
			3.3.1.2 Herbazal abierto rocoso	Ha-R	COBERTURA
		3.3.2 Arbustal	3.3.2.1 Arbustal denso	Ad-D	COBERTURA
			3.3.2.2 Arbustal abierto	Aa-A	COBERTURA
			3.3.2.3 Arbustal abierto rocoso	Aa-R	COBERTURA
	3.4 Áreas sin o con poca vegetación	3.4.3 Tierras desnudas y degradadas		Td-D	COBERTURA
5. Superficies de agua	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Cuerpos de agua superficial		Cd-A	COBERTURA/USO

4.2. Cambio de Cobertura y Uso de Suelo en los Periodos de 2002, 2012 y 2022

4.2.1. Periodo I (2002 al 2012)

4.2.1.1. Cambio de uso de suelo

1. Áreas artificializadas *(1)*

Esta categoría está conformada por cuatro usos de suelo; tejido urbano continuo (Tu-C) y discontinuo (Tu-D), minería no metálica (Mn-M) y área de disposición de residuos sólidos (Ad-RRSS). De los cuales, solo el uso de Tu-D presentó un cambio a Tu-C abarcando una superficie de 43.64 ha que representa el 69.28% del mismo. Mientras que, el Tu-C y Mn-M no presentaron cambios solo incrementos de sus áreas en un 28.28% y 72.60% respectivamente.

2. Áreas *agrícolas (2)*

Está conformada por los usos de pastos (Pts) y áreas agrícolas heterogéneas (Áa-H), ambos presentan cambios de 160.26 ha (21.92%) y 163.22 ha (2.71%) respectivamente. El primer uso cambia principalmente a las Áa-H (78.6 ha) y a Tu-D (57.1 ha) y el segundo en su gran mayoría a la categoría de las áreas artificializadas (72.4 ha) y a las de bosques (90.3 ha), como se muestra en la figura 20.

3. Bosques *y áreas mayormente naturales (3)*

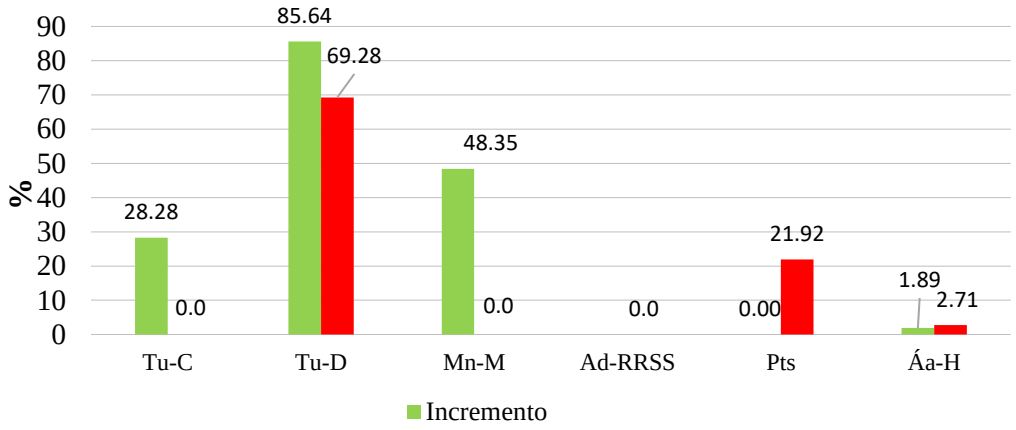
Para esta categoría está considerada únicamente las Plantaciones forestales (Pf-F) como uso de suelo, presenta un cambio de 44.26 ha que representa el 13.25% del mismo. Este uso presenta un cambio principalmente a las Áa-H en 34 ha.

4. Superficie *de agua*

En este primer periodo se ha logrado identificar a la laguna de la planta de tratamiento de aguas residuales que representa una extensión superficial de 3.42 ha que en el año 2002 fue una zona de pastos.

Figura 20

Incremento y pérdida (cambio) de uso de suelo 2002 - 2012



4.2.1.2. Cambio de cobertura de suelo

1. Bosques *y áreas mayormente naturales (3)*

- **Bosques (3.1)**

Las coberturas de bosque denso bajo (Bd-B), bosque abierto bajo (Ba-B) y bosque fragmentado (Bf-F) presentan cambios de 242.06 ha (1.53%), 111.24 ha (1.62%) y 163 ha (25.30%) independientemente (Figura 21). Estas tres coberturas fueron intervenidas principalmente por las Áa-H, con superficies de 77.7 ha, 54.1 ha y 102 ha respectivamente.

- **Áreas con vegetación herbácea (3.3)**

Para esta categoría se ha identificado a las coberturas de herbazal denso (Hd-D) y herbazal abierto rocoso (Ha-R), ambas presentaron cambios mínimos de 37.41 ha (2.97%) y 5.98 ha (2.61%) respectivamente. La primera cobertura presento mayor diversidad de cambios, convirtiéndose en su gran mayoría a plantaciones forestales (12.1 ha) y tierras desnudas y degradadas (13.2 ha).

➢ **Áreas con vegetación arbustiva (3.3)**

En este periodo las coberturas de arbustal denso (Ad-D), arbustal abierto (Aa-A) y arbustal abierto rocoso (Aa-R) fueron intervenidas en su gran mayoría por las áreas agrícolas heterogéneas (Áa-H) en superficies de 40.6 ha, 39 ha y 73.9 ha independientemente. De estas, la cobertura de Aa-A sufrió más cambios de pérdida respecto a su área como tal.

➢ **Áreas sin o con poca vegetación (3.4)**

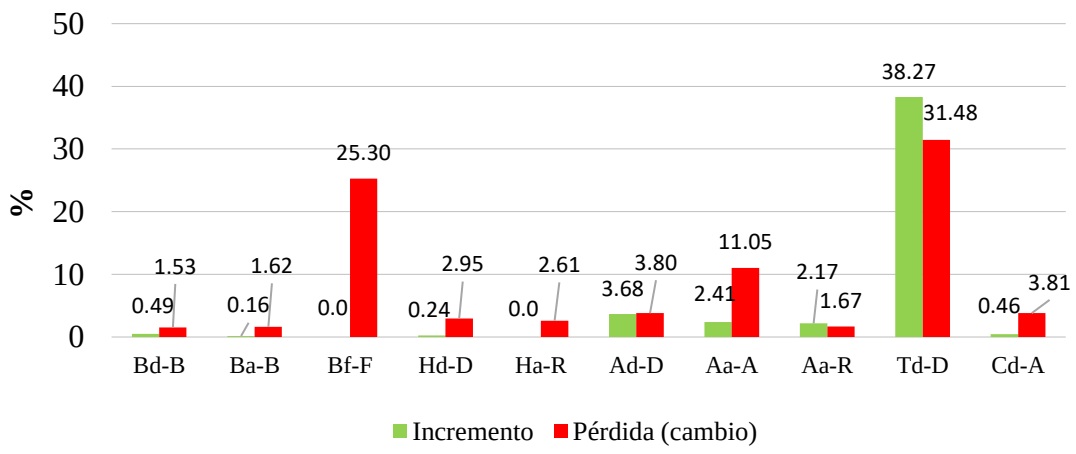
Tierras desnudas y degradadas (Td-D) presentó un cambio de 103.37 ha, que representa un 31.48% del mismo. En este periodo se ha mejorado o regenerado 77.5 ha de bosque denso bajo (Bd-B) y 25.1 ha de herbazal y arbustal (Figura 21).

2. *Superficie de agua (5)*

Cuerpos de agua superficial (Cd-A). En este periodo se ha identificado un cambio de 12.67 ha (3.81%). Esto indica que disminuyó los causes de ríos ocupando 11.1 ha de la cobertura de bosque abierto bajo (Ba-B) y 1.5 ha de plantaciones forestales (Pf-F).

Figura 21

Incremento y pérdida (cambio) de cobertura de suelo 2002 - 2012



4.2.2. Periodo II (2012 al 2022)

4.2.2.1. Cambio de uso del suelo

1. Áreas *artificializadas (1)*

En este segundo periodo para esta categoría no se generaron cambios a excepción del tejido urbano discontinuo (Tu-D) que cambio 21.75 ha a tejido urbano continuo (Tu-C) que representa el 16.14% del mismo (Figura 22).

2. Áreas agrícolas *(2)*

Para esta categoría las áreas agrícolas heterogéneas (Áa-H) presento mayor diversidad de cambios, convirtiéndose en Tu-D 122 ha, Hd-D 100.9 ha, Pts 84.6 ha, entre otros, haciendo un total de 407.84 ha, representando 6.41% del mismo. Mientras que el uso de pastos (Pts) presentó un cambio de 100.35 ha (17.48%) principalmente a Tu-D (49.9 ha) y a las Áa-H (49.7 ha)

3. Bosques *y áreas mayormente naturales (3)*

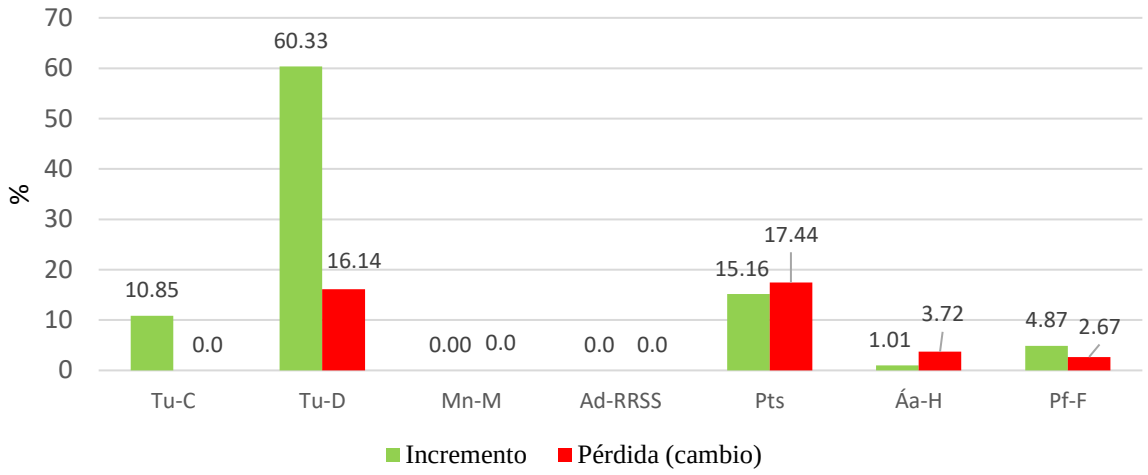
Las plantaciones forestales (Pf-F) presento un cambio de 11.68 ha (2.82%) en su gran mayoría se convirtió a las Áa-H (11.1 ha)

4. Superficie *de agua (5)*

En este periodo no se ha logrado identificar ningún cambio, manteniéndose la misma superficie de la PTAR de Celendín.

Figura 22

Incremento y pérdida (cambio) de uso de suelo 2012 - 2022



4.2.2.2. Cambio de cobertura del suelo

1. Bosques y áreas mayormente naturales (3)

- **Bosques (3.1)**

La***s*** coberturas de bosque denso bajo (Bd-B), bosque abierto bajo (Ba-B) y bosque fragmentado (Bf-F), en esta segunda temporada obtuvieron cambios inferiores a la temporada I de 61.74 ha, 36.45 ha y 32.03 ha individualmente, pero si coincidiendo en el cambio al mismo uso en su gran mayoría a las Áa-H con 10.2 ha, 14.8 ha y 27.2 ha respectivamente.

- **Áreas con vegetación herbácea (3.3)**

En esta categoría, solo la cobertura de herbazal denso (Hd-D) presenta un cambio significativo de 40.15 ha, representando un 3.23 % y cambiando en su gran mayoría (32.1 ha) a plantaciones forestales (Pf-F).

➢ **Áreas con vegetación arbustiva (3.3)**

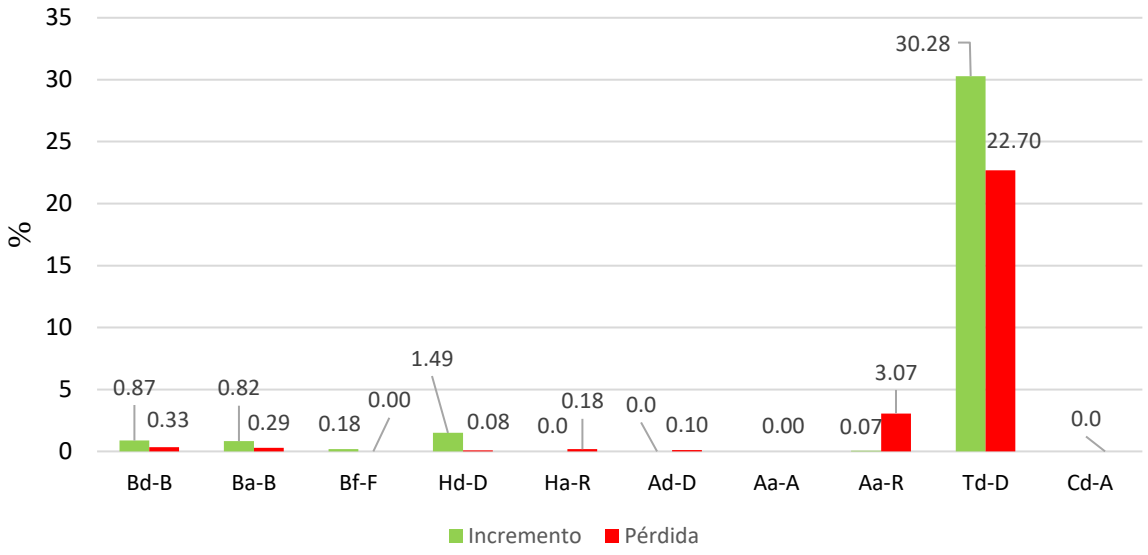
En este segundo periodo, la cobertura de arbustal denso (Ad-D) y arbustal abierto rocoso (Aa-R) presentaron cambios considerables con 39.36 ha y 199.56 ha respectivamente. La cobertura de Ad-D cambió 36.4 ha a las Áa-H, mientras que la cobertura de Aa-R cambió a bosque denso bajo (Bd-B) en 114.9 ha y 68.7 ha en tierras desnudas y degradadas.

➢ **Áreas sin o con poca vegetación (3.4)**

Tierras desnudas y degradadas (Td-D). Se ha registrado 130.89 ha de incremento (30.28%) y 84.41 ha (22.7%) que fueron restauradas (Figura 23), de las cuales 55.7 ha se convirtió a bosque abierto bajo (Ba-B). Esta es la cobertura que más cambios presentó como tal, respecto al resto de coberturas.

Figura 23

Incremento y pérdida (cambio) de cobertura de suelo 2012 - 2022



4.3. Tasa de Cambio de Cobertura y Uso de Suelo en los Periodos de 2002, 2012 y 2022

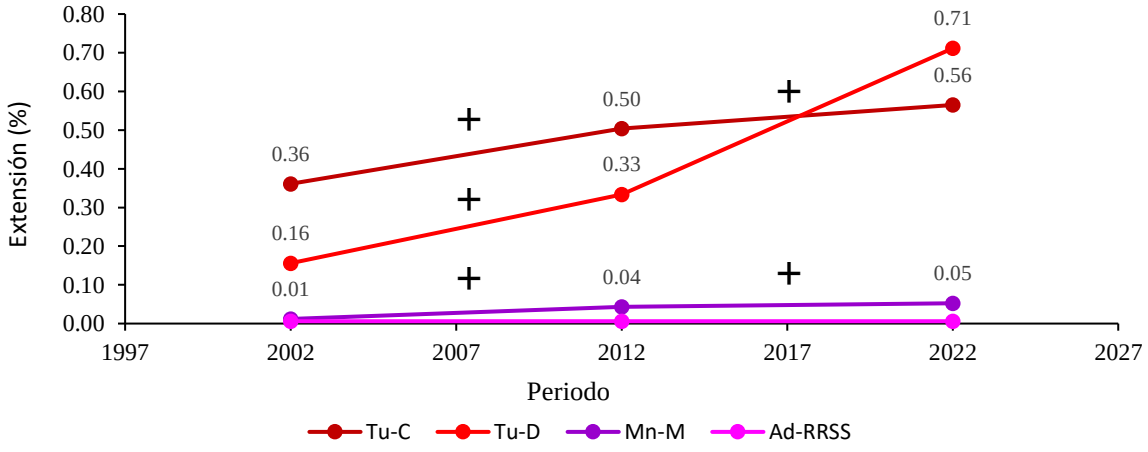
4.3.1. Tasa de cambio de uso del suelo

1. Áreas artificializadas (1)

En este análisis general de 20 años divididos en dos periodos de 10 años cada uno, resulta que el Tu-C, Tu-D y Mn-M tienen una tendencia de crecimiento en ambos periodos, a excepción del Ad-RR. SS que ha permanecido su área en ambos periodos de estudio. El Tu-C en el primer periodo tuvo una tasa de crecimiento de 5.75 ha/año y en el segundo disminuyendo a 2.47 ha/año. Tal es el caso similar para la Mn-M que su tasa de crecimiento va de 1.27 ha/año a 0.36 ha/año. En cambio, el Tu-D presenta una tasa de crecimiento continuo que va de 7.18 ha/año a 15.25 ha/año.

Figura 24

Tasa de cambio de áreas artificializadas

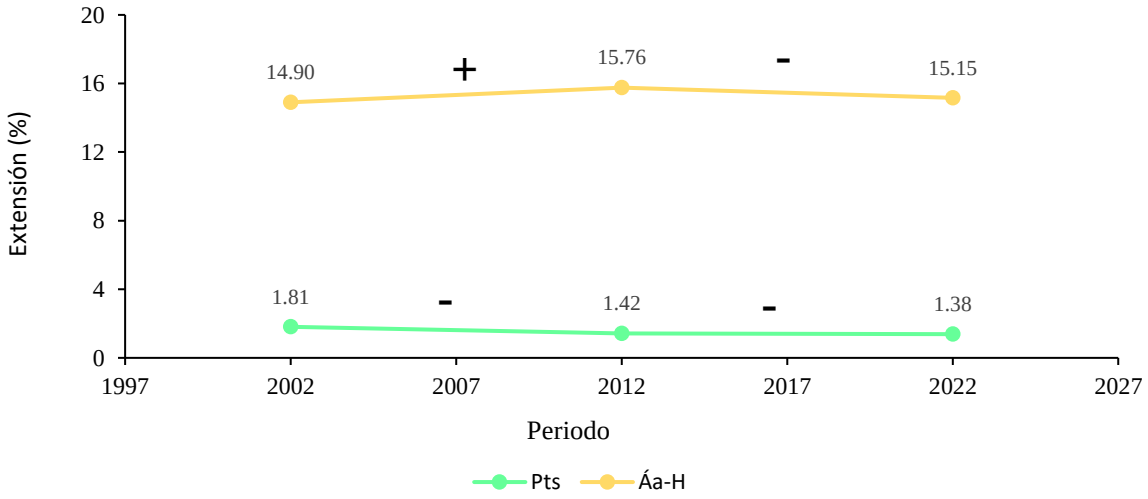


2. Áreas agrícolas (2)

La superficie de pastos presento una tendencia de decrecimiento, en el primer periodo tuvo un decrecimiento de 15.71 ha/año y en el segundo de 1.53 ha/año. Las Áa-H en el primer periodo tuvo una tasa de crecimiento de 34.53 ha/año, mientras que para el segundo periodo presento una tasa de decrecimiento de 24.34 ha/año.

Figura 25

Tasa de cambio de áreas agrícolas

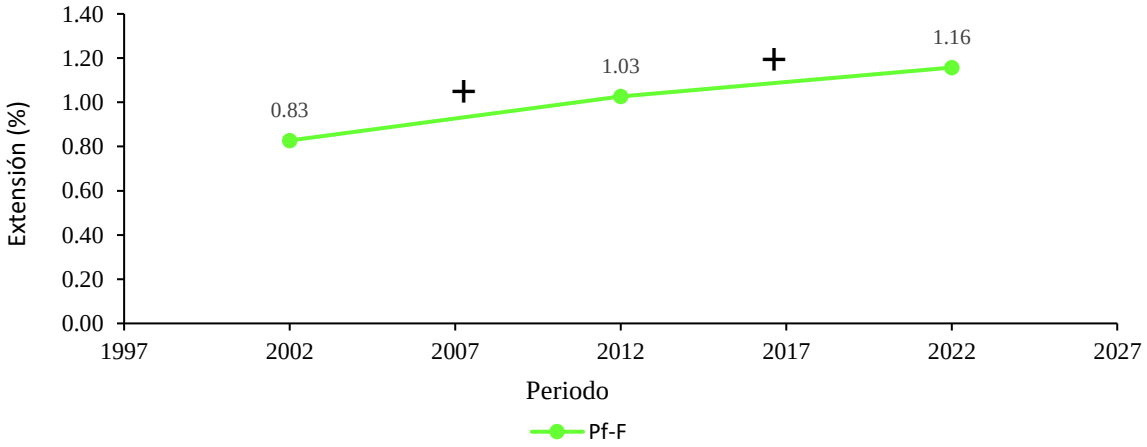


3. Bosques y áreas mayormente naturales (3)

La superficie de plantaciones forestales (Pf-F) en el primer periodo tuvo una tasa de crecimiento de 8.03 ha/año y en el segundo también presento una tasa de crecimiento de 5.29 ha/año, disminuyendo la tendencia de crecimiento para este periodo.

Figura 26

Tasa de cambio de plantaciones forestales



4. Superficie *de agua (5)*

No se presentó cambio alguno, permaneciendo la laguna de la PTAR de Celendín con una superficie de 3.4 ha.

4.3.2. Tasa de cambio de cobertura del suelo

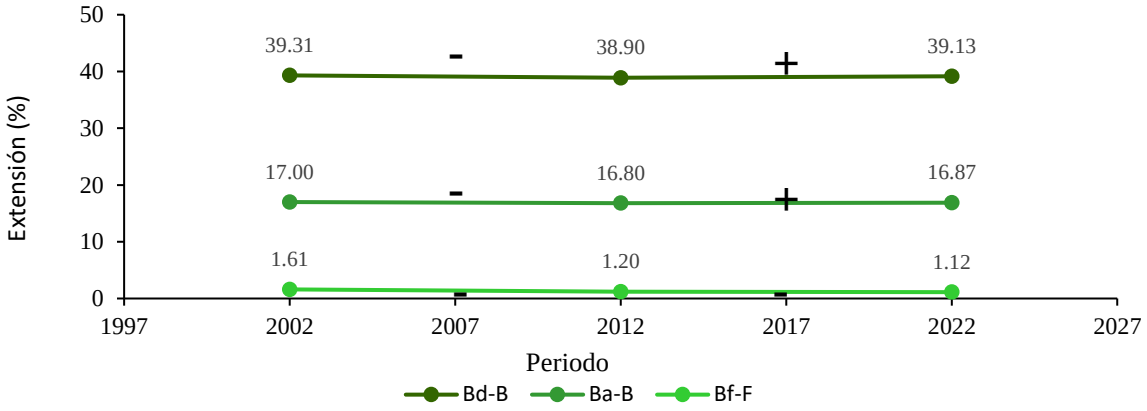
1. Bosques y áreas mayormente naturales (3)

- **Bosques (3.1)**

En el primer periodo las tres coberturas obtuvieron tasas de decrecimiento de 16.46 ha/año para Bd-B, 8.07 ha/año para Ba-B y 16.40 ha/año para Bf-F, esta última en el segundo periodo también tuvo un decrecimiento de 3.12 ha/año. Mientras que las dos primeras coberturas obtuvieron una tasa de crecimiento de 9.35 ha/año y 2.82 ha/año respectivamente.

Figura *27*

Tasa de cambio de bosques

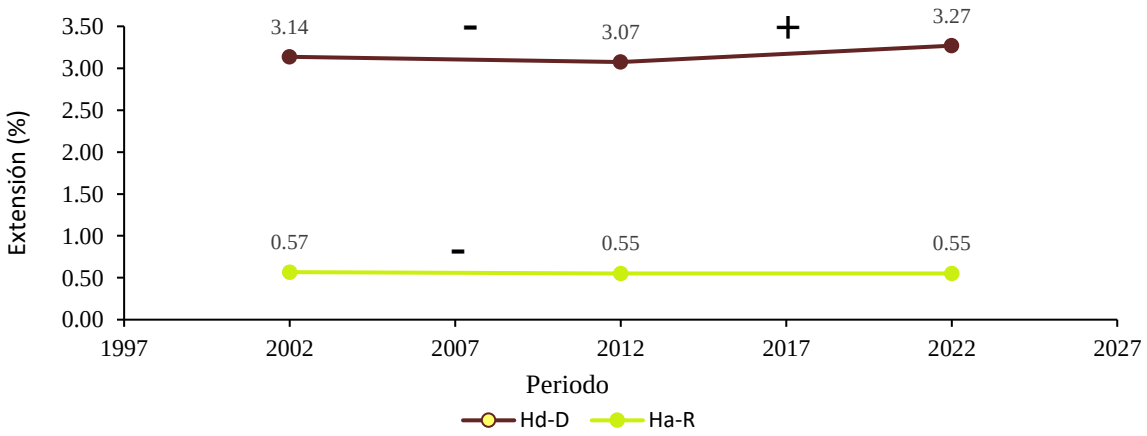


- **Áreas con vegetación herbácea (3.3)**

La cobertura de herbazal abierto rocoso (Ha-R) presento en las dos temporadas una tasa de decrecimiento de 0.6 ha/año y 0.04 ha/año respectivamente de cada periodo. Mientras que la cobertura de herbazal denso (Hd-D), en su primer periodo obtuvo una tasa de decrecimiento de 2.53 ha y en el segundo obtuvo una tasa de crecimiento de 7.89 ha/año.

Figura 28

Tasa de cambio de vegetación herbácea

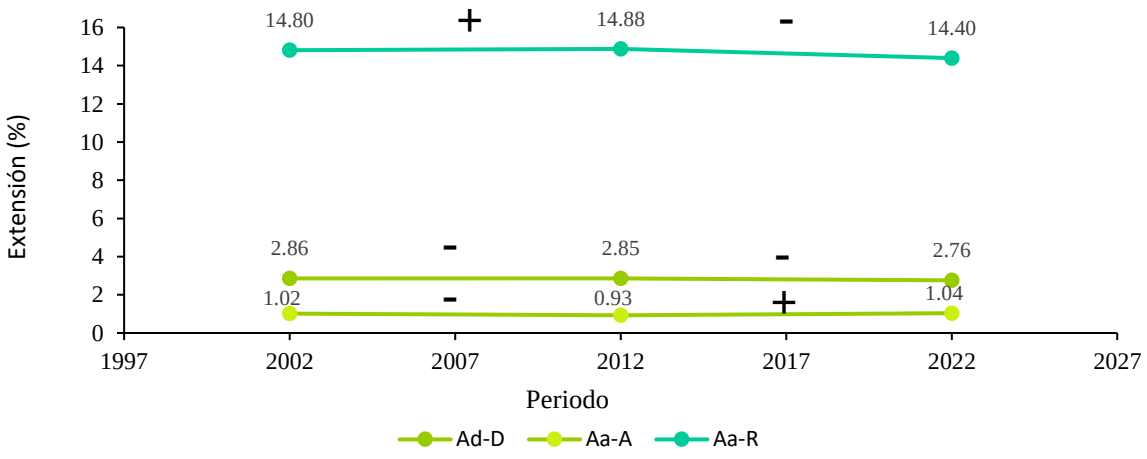


- **Áreas con vegetación arbustiva (3.3)**

En este periodo, las coberturas de Ad-D presentó una tasa de decrecimiento de 0.10 ha/año y 3.94 ha/año respectivamente en cada periodo. La cobertura de Aa-A presentó una tasa de decrecimiento de 3.61 ha/año en el primer periodo y en el segundo obtuvo una tasa de crecimiento de 4.38 ha/año. Mientras que la cobertura de Aa-R en el primer periodo obtuvo una tasa de crecimiento de 3.06 ha/año y en el segundo periodo se registró una tasa de decrecimiento de 19.49 ha/año.

Figura 29

Tasa de cambio de vegetación arbustiva



- **Áreas sin o con poca vegetación (3.4)**

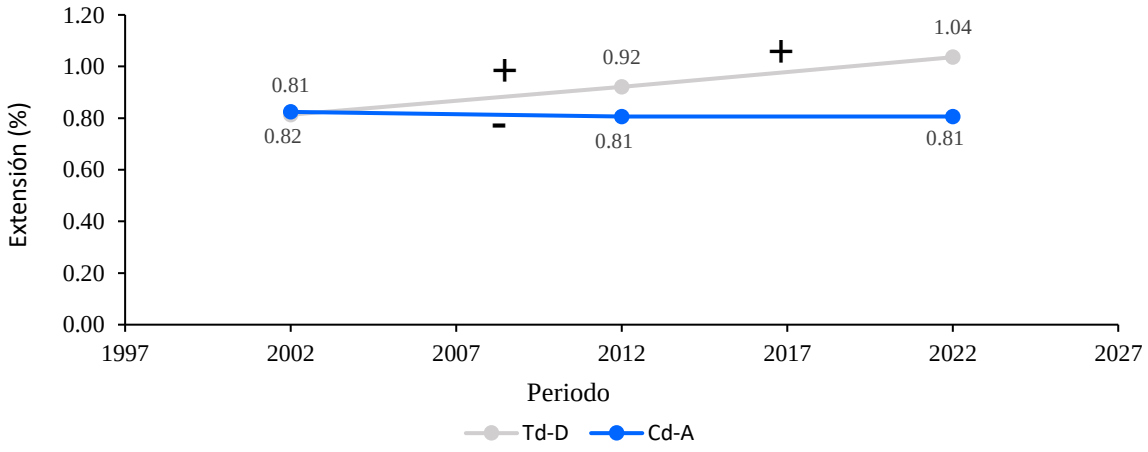
La cobertura de Td-D tuvo una tasa de crecimiento pronunciado que va desde 4.35 ha/año a 4.65 ha/año.

2. Superficie de agua (5)

La superficie de Cd-A, en el primer periodo presentó una tasa de decrecimiento de 0.72 ha/año y en el segundo periodo se mantiene constante.

Figura 30

Tasa de cambio de tierras desnudas y cuerpos de agua



4.4. Análisis de Cambio y No Cambio de Cobertura y Uso del Suelo

4.4.1. Cambio y no cambio de uso de suelo

Áreas con cambio. En el primer periodo de estudio se logró identificar cambios de usos de suelo del Tu-D, Pts, Áa-H y Pf-F, logrando el incremento o expansión principalmente de las zonas urbanas (Tu-D y Tu-C) y Áa-H (Figura 35) en las localidades aledañas a la ciudad de Celendín, como Santa Rosa, Pampa Grande, Pallac, San Isidro y Bellavista (Figura 33), obteniendo un cambio de 411.39 ha que representa el 5.64% de la superficie total de esta categoría (Tabla 12). En el segundo periodo se incrementó la superficie de cambios a 541.63 ha (7.02%), en su gran mayoría las Áa-H que fueron intervenidas por la expansión territorial del Tu-D (Figura 36) en las mismas localidades del periodo anterior, mientras que en las zonas rurales fueron usadas como pastos en las localidades de La Masma, Poyuntecucho, el Chanche, Llanguat, Cahuaypampa y Molinopampa (Figura 33). Finalmente, en el periodo de 20 años se logró identificar a 857.99 ha (11.75%) que tuvieron cambios relevantes, en la gran mayoría por el incremento de las áreas urbanas (Tu-D y Tu-C) en la ciudad de Celendín que va en aumento la concentración de poblaciones provenientes de las zonas rurales (Figura 33).

Áreas sin cambio. Son las superficies de los usos de suelo que permanecieron como tal, sin ser intervenidos por otros usos ni coberturas de suelo.

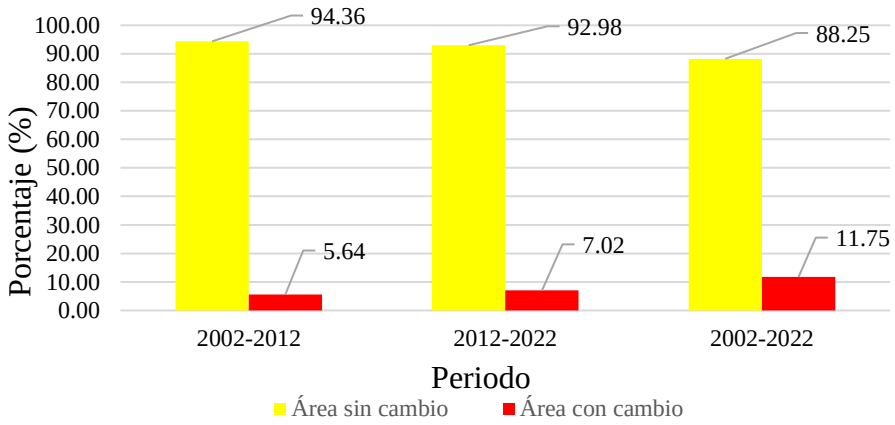
Tabla 12

Cambio y no cambio de uso de suelo.

Cambio	2002 - 2012		2012 - 2022		2002 - 2022	
	ha	%	ha	%	ha	%
Área con cambio	411.39	5.64	541.63	7.02	857.99	11.75
Área sin cambio	6,887.25	94.36	7,171.08	92.98	6,444.08	88.25
Total	7,298.65	100.00	7,712.71	100.00	7,302.07	100.00

Figura 31

Cambio y no cambio de uso de suelo.



4.4.2. Cambio y no cambio de coberturas de suelo

Área con cambio. Con respecto a los cambios de las coberturas de suelo, en el primer periodo se registró los cambios de Bd-B, Bf-F, Ad-D y Aa-R, siendo las coberturas más relevantes y que fueron intervenidas mayormente por las Áa-H y Td-D (Figura 38) en las localidades de Molinopampa, La Masma, Poyuntecucho, el Chanche, hornopampa, Trapiche viejo y chuclalas (Figura 33), registrándose 865.59 ha representado el 2.62% de estas categorías (Tabla 13). En el segundo periodo se registró cambios mínimos de coberturas (Figura 39), en su gran mayoría fue a causas de superficies desnudas o degradadas (derrumbes), siendo una totalidad de 495.47

ha (1.52%). En el análisis general de todo el periodo en estudio se registró los cambios de las coberturas identificadas para el primer periodo siendo ocupadas por áreas agrícolas y por deslizamientos o derrumbes, se generó un cambio del 3.06% (Figura 32) que viene a representar 1,012.73 ha.

Área sin cambio. Para las coberturas identificadas en el periodo de los 20 años de análisis se determinó que permanecieron como tal más del 95% de superficie.

Tabla 13

Cambio y no cambio de cobertura de suelo.

Cambio	2002 - 2012		2012 - 2022		2002 - 2022	
	ha	%	ha	%	ha	%
Área con cambio	865.59	2.62	495.47	1.52	1,012.73	3.06
Área sin cambio	32,214.53	97.38	32,170.60	98.48	32,063.97	96.94
Total	33,080.12	100.00	32,666.06	100.00	33,076.70	100.00

Figura 32

Cambio y no cambio de cobertura de suelo.

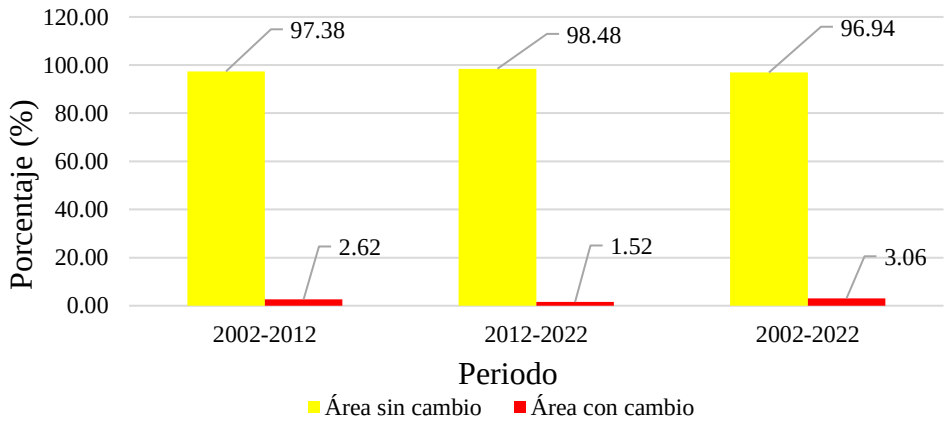
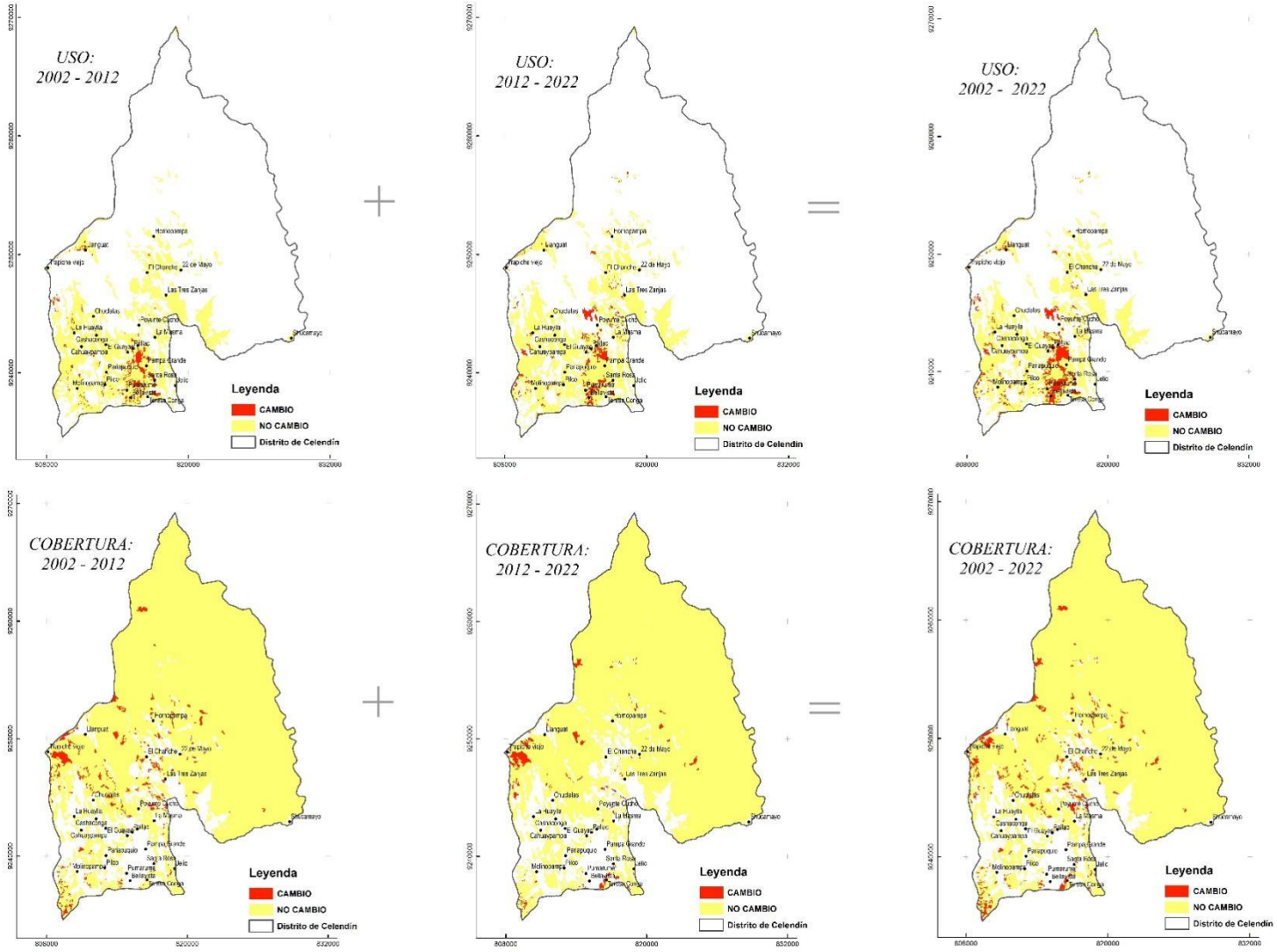


Figura 33 *Cambio y no cambio de uso y cobertura de suelo en los periodos de evaluación*



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En el territorio del distrito de Celendín (40,378.77 ha) como área de estudio, se logró identificar a 17 tipos de coberturas y uso de suelo de 44 según la clasificación de CLC, siendo 9 tipos de coberturas, 7 usos de suelo y 1 categoría que pertenece a ambas clases. Para esta identificación se usó imágenes satelitales de Landsat 7 y 8 de las temporalidades de 2002, 2012 y 2022.

En la categoría de usos de suelo, se ha logrado identificar al Tu-D presentar mayor cambio en ambos periodos. En el primer periodo tuvo un cambio del 69.28% (43 ha) y en el segundo del 16.4% (21.75 ha) cambiando principalmente al Tu-C. Así mismo, este tipo de uso presenta un crecimiento constante, tal es el caso que en el segundo periodo logra una tasa de crecimiento de 15.25 ha/año. Las Áa-H en el primer periodo presentó una tasa de cambio (+) más alta para esta categoría de 34.53 ha/año, mientras que en el segundo periodo presentó un decrecimiento de 24.34 ha/año obteniendo más pérdidas que el resto de usos. Los Pts también es una clase que ha presentado cambios principalmente negativos, en el primer periodo presentó una tasa de cambio de 15.71 ha/año y en el segundo de 1.53 ha/año, convirtiéndose estas superficies principalmente en Áa-H y Tu-D.

En la categoría de cobertura del suelo con cambios significativos, se ha identificado a la cobertura de Bf-F presentar cambios significativos en ambos periodos de estudio, en el primer tuvo un cambio del 25.30% (163 ha) y en el segundo de 6.61% (32.03ha), logrando tasa de cambio negativo (-) que van de 16.40 ha/año (periodo I) y de 3.12 ha/año (periodo II). Así mismo se ha identificado a Bd-B con una tasa de cambio negativa (-) de 16.46 ha/año para el primer periodo y una tasa de cambio positivo de 9.35 ha/año en el segundo periodo.

Durante el periodo de 20 años de análisis se obtuvo una variación del 11.75% (858 ha) de los usos de suelo y un 3.06% (1012.73 ha) de las coberturas de suelo.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda a las autoridades locales a implementar y ejecutar planes de desarrollo urbano considerando técnicas de diseño para un adecuado ordenamiento territorial, protección, conservación y manejo de áreas verdes y arboladas en la ciudad de Celendín, tal como lo contempla la Ley Nº 31313, Ley de Desarrollo Urbano Sostenible y el Reglamento de la Ley N° 31199 que cumplen muchas funciones importantes dentro del Tejido Urbano Continuo y Discontinuo, ayudando a mejorar la calidad del aire, controlando el nivel del ruido, sirven como lugares de recreación, hábitats de fauna silvestre (Roncal et al., 2022), regulan los microclimas, disminuye las islas de calor producto de las planchas de concreto impermeable, mejora la calidad paisajística de la ciudad, entre otros beneficios para la salud y el ambiente.

Se recomienda a las autoridades de diversos niveles y sectores de gestión pública y privada de impulsar la conservación de las coberturas de suelo, especialmente de bosque fragmentado (Bf-F), bosque denso bajo (Bd-B) y bosque abierto bajo (Ba-B), realizando campañas de reforestación con las mismas especies de cada cobertura, con la finalidad de conservar los mismos sin generar cambios.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS

Alcántara Bacón, G.H. (2012). *Cobertura vegetal y uso actual departamento de Cajamarca.* https://goo.su/hH6UO3

Alcántara Bacón, G.H. (2014). *Estudio especializado: Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra*. Gobierno Regional de Cajamarca. https://goo.su/8Jso5o

Campos Herrera, J.Y. (2018). *Análisis de cambios de cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales del distrito de los baños del inca periodo 1990 – 2018.* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional. http://hdl.handle.net/20.500.14074/3167

Catellanos Quiroz, H.O.A. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia. Escala 1:100.000.*

Cartaya Rios, S., Zurita Alfaro, S., Rodríguez Ríos, E. y Montalvo Párraga, V. (2014). *Comparación de técnicas para determinar cobertura vegetal y usos de la tierra en áreas de interés ecológico, Manabí,* [Archivo PDF]. Ecuador. https://doi.org/10.14483/23448407.7883

Copernicus. (2024). *Cobertura y uso de suelos en América Latina y el Caribe. Copernicus LAC. Chile.* https://www.copernicuslac-chile.eu/uso-y-cobertura-de-suelos/

Copernicus. (2018). *El programa Copérnico aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial. CORINE Land Cover.* https://goo.su/2tYkBzw

Copernicus. (2018). *El programa Copérnicus aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial. Fundamentos de teledetección aplicada.* https://goo.su/RJWMV|

Chávez Chávez, C.A. (2020). *Diversidad y distribución de la avifauna en dos gradientes altitudinales en los distritos de Utco – Cajamarca y Balsas – Amazonas.* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional. http://hdl.handle.net/20.500.14074/4079

Chuvieco Salinero, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial.* https://goo.su/YKxs4

Chuvieco Salinero, E. (mayo de 2002). *Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde es el espacio.*

Corporación Autónoma Regional del Valle del Colca [CVC]. (2021). *Guía: lineamientos para el levantamiento de información cartográfica generada en la CVC.* https://bit.ly/3N0gbbY

Di Gregorio, A. y Jansen, L.JM. (2000). *Sistema de Clasificación de Cobertura Terrestre (LCCS): conceptos de clasificación y manual de usuario. Para la versión de software 1.0.* https://www.fao.org/3/x0596e/X0596e00.htm#P-1_0

Energía y Minas [EM]. (12 de noviembre de 2014). *Reglamento de protección y gestión ambiental para las actividades de explotación, beneficio, labor general, transporte y almacenamiento minero.* Decreto supremo N° 040-2014-EM.

EOS Data Análytics [EOSDA]. (28 de septiembre de 2020). *NDVI: preguntas frecuentes y qué necesita saber.* https://eos.com/es/blog/ndvi-preguntas-frecuentes/

Environmental Systems Research Institute [ESRI]. (2021). *Eliminación de polígonos falsos o espacios entre polígonos.* https://goo.su/vSEzjT

Environmental Systems Research Institute [ESRI]. (2024). *Explorador de cobertura terrestre Sentinel-2.* https://goo.su/Waiyb

Especialistas en SIG y Medio Ambiente [GEASIG]. (14 de septiembre 2018). *Herramientas de superposición con ArcGIS.* https://goo.su/BiICkT

Fabregat Ventura, V. (1999). *Fundamentos teóricos del control de las extracciones mediante teledetección.* https://goo.su/y4Fl5GF

Fernández Freire, C., Del Bosque Gonzales, I., Forero Morente, LM y Pérez Asensio, E. (2012). *Los sistemas de información geográfica y la investigación en ciencias humanas y sociales.*

Franco, R. (2017). *Composiciones Landsat en ArcGIS: guía básica.* http://wp.me/p2IwQU-1bh

Francois Mas, J., Velásquez, A. y Couturier, S. (2009). *La evaluación de los cambios de cobertura/ uso del suelo en la República Mexicana.* https://goo.su/x0byMm3

Green Facts. (2001). *Bosques y recursos forestales.* https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/bosque-recursos-forestales.htm

Helfgott, S., Vargas, S., Gutiérrez, AC. y Salvatore, M. (2010). *Aptitud de tierras y oportunidades para el desarrollo rural en Perú* [Archivo PDF]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fao.org/4/i1712s/i1712s03a.pdf

Hodgson, J.M. (1987). *Muestreo y descripción de suelo.* https://goo.su/xUThF4N

Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (1999). *Paisajes fisiográficos de Orinoquia-Amazonia (ORAM) Colombia*.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2021). *Elaboración del mapa de cobertura de la tierra, escala 1:25.000. https://cutt.ly/iJ5iUqH*

Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática [INEGI]. (1998). *Diccionario de datos de uso del suelo y vegetación. (Vectorial). Esc. 1: 1 000 000. Sistema Nacional de Información Geográfica. https://books.google.com.pe/books?id=FafdDAAAQBAJ&source=gbs_navlinks_s*

Jordanova, N. (2017). *Cobertura del suelo. Ciencias de la tierra y planetarias. SCienceDirect.* https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/soil-cover

Labrador García, M., Évora Brondo, J.A. y Arbelo Pérez, M. (febrero de 2012). *Satélites de teledetección para la gestión del territorio* [Archivo PDF]. https://goo.su/hc93Ww

Landis, JR. y Koch, GG. (1977). *The measurement of observer agreement for categorical data*. https://dionysus.psych.wisc.edu/iaml/pdfs/landis_1977_kappa.pdf

Ley 31313 de 2025, *Ley de Desarrollo Urbano Sostenible*. 25 de julio de 2025. Normas Legales.

Decreto Supremo 001 de 2023 [Ministerio de Vivienda]. *Aprueban el reglamento de la Ley 31199, Ley de Gestión y Protección de los Espacios Públicos*. 03 de marzo de 2023.

Lira Chávez, J. (2010). *Tratamiento digital de imágenes multiespectrales.* Universidad Nacional de México [Archivo PDF]. https://goo.su/Ib6M

Maquera Callo, EA. (2020). *Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo en el departamento de Tacna, periodo 2007, 2012 y 2017.* [Tesis de Maestría, Universidad

Nacional Jorge Basadre Grohmann - Tacna]. Repositorio institucional. https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/2361

Márquez, J. (2004). *Transformación de ecosistemas y condiciones de vida en Colombia.* [Tesis de Doctorado, Universidad de los Andes - Colombia].

Membrado, JC. (2015). *El lenguaje cartográfico en los mapas temáticos.* https://core.ac.uk/download/pdf/71052916.pdf

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI]. (2015). *Bosques*. https://www.midagri.gob.pe/portal/49-sector-agrario/recurso-forestal/352-bosques

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2014). *Informe final del proyecto: análisis de las dinámicas de cambio de cobertura de la tierra en la comunidad andina.* https://bit.ly/3aUsmd6

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2014). *Protocolo: evaluación de la exactitud temática del mapa de deforestación* [Archivo PDF]. *https://goo.su/x2lJ*

Monterroso, MF. (2013). *Guía práctica: clasificación de imágenes satelitales* [Archivo PDF]. https://acolita.com/guia-practica-clasificacion-de-imagenes-satelitales-ilwis/

Mora Gonzales, S.R. (2022). *Índice de vegetación*. Escuela ambiental SIG [Archivo video].

Morales Hernandez, J.C., Carrillo Gonzales, F.M., Farfán Molina, L.M. y Cornejo López, V.M. (2016). *Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México.* http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v38n1/v38n1a2.pdf

Núñez, E., De la Cruz, H. y Proaño, R. (2018). *Buenas prácticas para la recuperación de pastizales de altura.* Consorcio para el desarrollo sostenible de la ecorregión andina.

Olaya, V. (16 de octubre de 2014). *Sistema de información geográfica: procesado de imágenes.*

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (1999). El Futuro de nuestra tierra enfrentando el desafío: guías para la planificación integrada para el desarrollo sostenible de los recursos de la tierra. https://www.fao.org/4/X3810S/x3810s04.htm#g

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2001). *Los árboles fuera del bosque: hacia una ordenación integrada del espacio rural y urbano.* Departamento de Montes [Archivo PDF]. https://www.fao.org/3/y1785s/y1785s.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2001). *Situación de los bosques del mundo 2001. Anexo 1 definiciones y siglas.* https://goo.su/BRisJ

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (1996). *La influencia humana. Los seres humanos y el medio ambiente.* https://n9.cl/vhxn8

Pérez Gutiérrez, C. y Muñoz Nieto, A.L. (2006). *Teledetección. Nociones y aplicaciones.* https://goo.su/spVQw

Priego, A., Bocco, G., Mendoza, M. y Garrido, A. (2010). *Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de aprendizaje.* https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/propuestaSemi.pdf

Pucha Cofrep, F. y Fries, A. (2023). *Manual de ArcGIS Pro.* https://goo.su/BdHzYI

Rojas Briceño, N.B., Barboza Castillo, E., Maicelo Quintana, J.L., Oliva Cruz, S.M. y Salas López, R. (2019). *Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG.* https://bage.age-

geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/2538/2555

Rojas, L. (27 de abril de 2022). *Cálculo de NDVI con Arcmap, ArcGIS Pro y Qgis* [Archivo de Vídio]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=SRSW5wmUsEI&t=484s

Roncal Rabanal, M., Chávez Chávez, C.A., Guevara Cohayla, J. y Saldaña, I.S. (2022). *Aves de Celendín Cajamarca – Perú.*

Robalo, I., Aguilar, M.A. y Manzano, F. (2024). *Introducción a la teledetección en agronomía y ciencias afines.* https://goo.su/EZRpH

Rupay, R. (2021). *Sesión 01. Fundamentos de TELEDETECCIÓN. RETO Introducción a la Teledetección con ArcGIS.* Help GIS [Archivo video]. https://www.youtube.com/watch?v=80gWtktLT7c

Saavedra, CP y Mannaerts, C. (2003). *Evaluación y monitoreo de modelos de erosión y sedimentación a escala regional usando sensores remotos y SIG. Caso de estudio en la región Andina, Cochabamba, Bolivia* [Archivo PDF]. https://goo.su/Cz9enS

Santi Ruiz, N.A. (2018). *Análisis de uso del suelo a partir de las imágenes Landsat en el cantón el Empalme, provincia del Guayas, en el periodo 1998 – 2015* [Tesis de Titulación, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3961

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNET]. (2018). *Impacto ambiental y tipos de impactos ambientales.* https://n9.cl/1jlj7

SEDEMA. (2022). *Glosario definición: agricultura.* http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/glosario-definicion/Agricultura

Sobrino, J.A. (2000). *Teledetección.* https://goo.su/LuCxPEK

Tapia, M.E y Flores, JA. (1984). *Pastoreo y pastizales de los andes del sur del Perú.* Instituto nacional de investigación y promoción agropecuaria. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAR371.pdf

SIG y Teledetección de la Universidad de Murcia [SIGMUR]. (2003). *Apuntes de la asignatura teledetección en geografía.* https://www.um.es/geograf/sigmur/

Servicio Geológico de Estados Unidos [USGS]. (2013). *¿Cuáles son las designaciones de banda para los satélites Landsat?* https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites#faq

Vindell, J.J. (12 de junio de 2021). *Kappa de Cohen en R.* https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/780808_72bf307f744448aea37e4496446f14c9.html

Villareal, J. (2000). *Cucunubá: modelo para un desarrollo sostenible*. Ed. Tadeo UJ. https://goo.su/Yqdpd

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Figura 34

Niveles de clasificación de cobertura y uso del suelo de CLC

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV
1. Áreas Artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo 1.1.2 Tejido urbano continuo	
	1.3 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos 1.3.2 Áreas de disposición de residuos	
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios 2.2 Cultivos permanentes 2.3 Pastos 2.4 Áreas agrícolas heterogéneas		
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosque	3.1.1 Bosque denso bajo 3.1.2 Bosque abierto bajo 3.1.3 Bosque denso alto 3.1.4 Bosque abierto alto 3.1.5 Bosque fragmentado	
	3.2 Bosques Plantados		
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Herbazal	3.3.1.1 Herbazal denso 3.3.1.2 Herbazal abierto
		3.3.2 Arbustal	3.3.2.1 Arbustal denso 3.3.2.2 Arbustal abierto
		3.3.3 Vegetación secundaria o transición	
		3.3.4 Vegetación arbustiva/ herbases	3.3.4.1 Vegetación arbustiva / herbácea densa 3.3.4.2 Vegetación arbustiva / herbácea abierta
		3.3.5 Arbustal / área intervenida 3.3.6 Herbazal / área intervenida 3.3.7 Arbustal - Herbazal / área intervenida	
	3.4 Áreas sin o con poca vegetación	3.4.1 Áreas arenosas naturales 3.4.2 Afloramientos rocosos 3.4.3 Tierras desnudas (incluyen áreas erosionadas naturales y también degradadas) 3.4.4 Áreas quemadas 3.4.5 Glaciares 3.4.6 Solares	
4. Áreas	4.1 Áreas húmedas continentales	4.1.1 Áreas pantanosas 4.1.2 Tuberas y bofedales 4.1.3 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	

Fuente: (MINAM, 2014, pp. 47-51).

Tabla 14

Matriz de confusión con las categorías de NDVI para el año 2002.

		Referencia (categorías asignadas a la imagen)							
	Categorías	1. Clases no vegetales.	2. Tierras desnudas.	3. Vegetación dispersa.	4. Vegetación abierta.	5. Vegetación cerrada.	**Total**	Exactitud del usuario (%)	Error de comisión (%)
Clasificación de categorías	1. Clases no vegetales.	**50**	0	0	0	0	**50**	100	0
	2. Tierras desnudas.	0	**49**	0	0	0	**49**	100	0
	3. Vegetación dispersa.	0	1	**48**	0	0	**49**	98	2
	4. Vegetación abierta.	0	0	2	**50**	1	**53**	94	5.7
	5. Vegetación cerrada.	0	0	0	0	**49**	**49**	100	0
	Total	**50**	**50**	**50**	**50**	**50**	**250**		
	Exactitud del productor (%)	100	98	96	100	98			
	Error de Omisión (%)	0	2	4	0	2			

Cálculo del índice de concordancia KPPA de Cohen para el año 2002.

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

$$\mathrm{Po} = \frac{50 + 49 + 48 + 50 + 49}{250} = 0.98$$

$$\mathrm{Pe} = \frac{50x50 + 50x49 + 50x49 + 50x53 + 50x49}{250^2} = 0.20$$

$$\mathrm{K} = \frac{(0.98 - 0.20)}{(1 - 0.20)} = 0.98$$

La clasificación de la imagen para el año 2002 tiene una concordancia casi perfecta resultando con un 98% mejor de lo esperado al azar.

Tabla 15

Matriz de confusión con las categorías de NDVI para el año 2012.

		Referencia (categorías asignadas a la imagen)							
	Categorías	1. Clases no vegetales.	2. Tierras desnudas.	3. Vegetación dispersa.	4. Vegetación abierta.	5. Vegetación cerrada.	**Total**	Exactitud del usuario (%)	Error de comisión (%)
Clasificación de	1. Clases no vegetales.	**50**	0	0	0	0	**50**	100	0
	2. Tierras desnudas.	0	**50**	0	0	0	**50**	100	0
	3. Vegetación dispersa.	0	0	**50**	0	0	**50**	100	0
	4. Vegetación abierta.	0	0	0	**50**	0	**50**	100	0
	5. Vegetación cerrada.	0	0	0	0	**50**	**50**	100	0
	Total	**50**	**50**	**50**	**50**	**50**	**250**		
	Exactitud del productor (%)	100	100	100	100	100			
	Error de Omisión (%)	0	0	0	0	0			

Cálculo del índice de concordancia KPPA de Cohen para el año 2012.

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

$$Po = \frac{50 + 50 + 50 + 50 + 50}{250} = 1.00$$

$$Pe = \frac{50x50 + 50x50 + 50x50 + 50x50 + 50x50}{250^2} = 0.20$$

$$A = \frac{(1 - 0.20)}{(1 - 0.20)} = 1.00$$

La clasificación de la imagen para el año 2012, se logró una concordancia casi perfecta, obteniendo un resultado del índice de concordancia de KPPA de 1. Es decir que los resultados obtenidos en la clasificación de la imagen coinciden al 100%.

Tabla 16

Matriz de confusión con las categorías de NDVI para el año 2022.

		Referencia (categorías asignadas a la imagen)							
	Categorías	1. Clases no vegetales.	2. Tierras desnudas.	3. Vegetación dispersa.	4. Vegetación abierta.	5. Vegetación cerrada	**Total**	Exactitud del usuario (%)	Error de comisión (%)
Clasificación de categorías	1. Clases no vegetales.	**50**	0	0	0	0	**50**	100	0
	2. Tierras desnudas.	0	**50**	0	0	0	**50**	100	0
	3. Vegetación dispersa.	0	0	**47**	1	0	**48**	98	2
	4. Vegetación abierta.	0	0	3	**48**	1	**52**	92	8
	5. Vegetación cerrada.	0	0	0	1	**49**	**50**	98	2
	Total	**50**	**50**	**50**	**50**	**50**	**250**		
	Exactitud del productor (%)	100	100	94	96	98			
	Error de Omisión (%)	0	0	6	4	2			

Cálculo del índice de concordancia KPPA de Cohen para el año 2022.

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

$$\mathrm{Po} = \frac{50 + 50 + 47 + 48 + 49}{250} = 0.976$$

$$\mathrm{Pe} = \frac{50x50 + 50x50 + 50x48 + 50x52 + 50x50}{250^2} = 0.20$$

$$\mathrm{A} = \frac{(0.976 - 0.20)}{(1 - 0.20)} = 0.97$$

La clasificación de la imagen para el año 2022 tiene una concordancia casi perfecta resultando con un 97% mejor de lo esperado al azar.

Tabla 17

Matriz de incremento y pérdida (cambio) de cobertura y uso de suelo 2002 – 2012.

			2012																			
	Cobertura de suelo		1 Tu-C	2 Tu-D	3 Mn-M	4 Ad-RRSS	5 Pts	6 Áa-H	7 Bd-B	8 Ba-B	9 Bf-F	10 Pf-F	11 Hd-D	12 Ha-R	13 Ad-D	14 Aa-A	15 Aa-R	16 Td-D	17 Cd-A	Total	Pérdida	Cambio (%)
2002	1	Tu-C	**145.9**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**145.88**	0.00	0.00
	2	Tu-D	43.6	**19.3**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**62.99**	43.64	69.28
	3	Mn-M	0	0	**4.8**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**4.81**	0.00	0.00
	4	Ad-RRSS	0	0	0	**2.4**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**2.44**	0.00	0.00
	5	Pts	3.1	57.1	0	0	**570.7**	78.6	0	0	0	10.3	0	0	0	0.3	0	7.5	3.4	**731.00**	160.26	21.92
	6	Áa-H	10.8	58.3	3.3	0	0	**5,854.2**	0	19.5	0	70.8	0	0	0	0	0	0	0.6	**6,017.45**	163.22	2.71
	7	Bd-B	0	0	0	0	0	77.7	**15,629.7**	0	0	0	0	0	0	0	111.3	53.1	0	**15,871.75**	242.06	1.53
	8	Ba-B	0	0	0	0	0	54.1	0	**6,751.6**	0	9.1	0	0	0	0	0	46.5	1.5	**6,862.82**	111.24	1.62
	9	Bf-F	0	0	0	0	2.7	102.0	0	0	**484.2**	13.6	0	0	42.4	3.2	0	0	0	**648.18**	163.96	25.30
	10	Pf-F	0	0	1.2	0	0	34.0	0	0	0	**289.8**	9.1	0	0	0	0	0	0	**334.08**	44.26	13.25
	11	Hd-D	0	0	3.8	0	0	8.3	0	0	0	12.1	**1,229.0**	0	0	0	0	13.2	0	**1,266.44**	37.41	2.95
	12	Ha-R	0	0	4.0	0	0	0	0	0	0	2.0	0	**223.1**	0	0	0	0	0	**229.03**	5.98	2.61
	13	Ad-D	0	0	0	0	0	40.6	0	0	0	0.4	0	0	**1,109.6**	2.8	0	0	0	**1,153.40**	43.84	3.80
	14	Aa-A	0	0	0	0	0.3	39.0	0	0	0	0	0	0	0	**365.0**	0	6.0	0	**410.37**	45.33	11.05
	15	Aa-R	0	0	0.4	0	0	73.9	0	0	0	4.7	0	0	0	0	**5,877.2**	20.7	0	**5,976.95**	99.73	1.67
	16	Td-D	0	0	0	0	0	0.8	77.5	0	0	0	3.0	0	0	3.0	19.1	**225.0**	0	**328.39**	103.37	31.48
	17	Cd-A	0	0	0	0	0	0	0	11.1	0	1.5	0	0	0	0	0	0	**320.1**	**332.79**	12.67	3.81
	Total		**203.4**	**134.8**	**17.6**	**2.4**	**573.7**	**6,363.3**	**15,707.2**	**6,782.2**	**484.2**	**414.4**	**1,241.1**	**223.1**	**1,152.0**	**374.3**	**6,007.6**	**372.1**	**325.6**	**40,378.8**		
Incremento		ha	57.52	115.41	12.75	0.0	2.96	509.06	77.46	30.59	0.0	124.59	12.07	0.0	42.41	9.26	130.38	147.04	5.47			
		%	28.28	85.64	72.60	0.0	0.52	8.00	0.49	0.45	0.0	30.07	0.97	0.0	3.68	2.47	2.17	39.52	1.68			

Tabla 18

Matriz de incremento y pérdida de cobertura y uso de suelo 2012 – 2022.

			2022																			
		Cobertura de suelo.	1 Tu-C	2 Tu-D	3 Mn-M	4 Ad-RRSS	5 Pts	6 Áa-H	7 Bd-B	8 Ba-B	9 Bf-F	10 Pf-F	11 Hd-D	12 Ha-R	13 Ad-D	14 Aa-A	15 Aa-R	16 Td-D	17 Cd-A	Total	Pérdida ha	Pérdida %
2012	1	Tu-C	**203.4**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**203.40**	0.00	0.00
	2	Tu-D	21.8	**113.0**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**134.78**	21.75	16.14
	3	Mn-M	0	0	**17.6**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**17.56**	0.00	0.00
	4	Ad-RRSS	0	0	0	**2.4**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**2.44**	0.00	0.00
	5	Pts	0	49.9	0	0	**473.6**	49.7	0	0	0	0.4	0	0	0	0.3	0	0	0	**573.93**	100.35	17.48
	6	Áa-H	3.0	122.0	0	0	84.6	**5,954.9**	17.3	8.9	0	20.2	100.9	0	0	44.9	0	6.0	0	**6,362.76**	407.84	6.41
	7	Bd-B	0	0	0	0	0	10.2	**15,645.4**	0	0	0	0	0	0	0	0	51.6	0	**15,707.13**	61.74	0.39
	8	Ba-B	0	0	0	0	0	14.8	15.6	**6,745.7**	0	2.2	0	0	0	0	0	3.9	0	**6,782.16**	36.45	0.54
	9	Bf-F	0	0	0	0	0	27.2	0	0	**452.2**	4.8	0	0	0	0	0	0	0	**484.21**	32.03	6.61
	10	Pf-F	0	0	0	0	0	11.1	0	0	0	**402.7**	0	0	0	0	0.6	0	0	**414.42**	11.68	2.82
	11	Hd-D	0	1.6	3.3	0	0	2.2	0	0	0	32.1	**1,201.0**	0	0	0	1.0	0	0	**1,241.17**	40.15	3.23
	12	Ha-R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**222.7**	0	0	0	0.4	0	**223.05**	0.40	0.18
	13	Ad-D	0	0	0	0	0	36.4	0	0	0.8	1.9	0	0	**1,113.1**	0	0	0.3	0	**1,152.41**	39.36	3.42
	14	Aa-A	0	0	0	0	0.4	1.0	0	0	0	0	0	0	0	**372.9**	0	0	0	**374.29**	1.38	0.37
	15	Aa-R	0	0.7	0.3	0	0	11.8	114.9	0	0	3.0	0	0	0	0	**5,808.0**	68.7	0	**6,007.59**	199.56	3.32
	16	Td-D	0	0	0	0	0	0	7.4	55.7	0	0	18.2	0	0	0	3.0	**287.4**	0	**371.86**	84.41	22.70
	17	Cd-A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**325.6**	**325.60**	0.00	0.00
Total			**228.14**	**287.23**	**21.18**	**2.44**	**558.60**	**6,119.35**	**15,800.66**	**6,810.40**	**452.99**	**467.30**	**1,320.07**	**222.65**	**1,113.05**	**418.11**	**5,812.64**	**418.33**	**325.60**	**40,378.77**		
Incremento		ha	24.74	174.21	3.63	0.00	85.02	164.43	155.26	64.69	0.81	64.57	119.05	0.00	0.00	45.19	4.61	130.89	0.00			
		%	10.85	60.65	17.12	0.0	15.22	2.69	0.98	0.95	0.18	13.82	9.02	0.0	0.0	10.81	0.08	31.29	0.0			

Figura 35

Cambio y no cambio de uso de suelo para el periodo 2002 al 2012.

Símbolo	Uso de suelo 2002	Superficie ha	Cambio de uso de suelo 2012	Superficie		Gráfico
				ha	%	
Tu-D	Tejido urbano discontinuo	62.99	Tejido urbano continuo	43.64	10.61	
Tu-C	Tejido urbano continuo	145.88		0.00	0.00	
Mn-M	Minería no metálica	4.81		0.00	0.00	
Ad-RRSS	Área de disposición de RRSS	2.44		0.00	0.00	
Pts	Pastos	731.00	Áreas agrícolas heterogéneas	78.57	19.10	
			Tejido urbano discontinuo	57.07	13.87	
			Plantaciones forestales	10.33	2.51	
			Tierras desnudas	7.53	1.83	
			Cuerpos de agua	3.42	0.83	
			Tejido urbano continuo	3.09	0.75	
			Arbustal abierto	0.25	0.06	
Áa-H	Áreas agrícolas heterogéneas	6,017.45	Plantaciones forestales	70.80	17.21	
			Tejido urbano discontinuo	58.34	14.18	
			Bosque abierto bajo	19.47	4.73	
			Tejido urbano continuo	10.79	2.62	
			Minería no metálica	3.27	0.79	
			Cuerpos de agua	0.56	0.14	
Pf-F	Plantaciones forestales	334.08	Áreas agrícolas heterogéneas	33.97	8.26	
			Herbazal denso	9.06	2.20	
			Minería no metálica	1.24	0.30	
	Superficie total	**7,298.65**		**411.39**		

Figura 36

Cambio y no cambio de uso de suelo para el periodo 2012 al 2022.

Símbolo	Uso de suelo 2012	Superficie ha	Cambio de uso de suelo 2022	Superficie		Gráfico
				ha	%	
Tu-D	Tejido urbano discontinuo	134.78	Tejido urbano continuo	21.75	4.02	
Tu-C	Tejido urbano continuo	203.40		0.00	0.00	
Mn-M	Minería no metálica	17.56		0.00	0.00	
Ad-RRSS	Área de disposición de RRSS	2.44		0.00	0.00	
Pts	Pastos	573.93	Áreas agrícolas heterogéneas	49.70	9.18	
			Tejido urbano discontinuo	49.95	9.22	
			Plantaciones forestales	0.42	0.08	
			Arbustal abierto	0.28	0.05	
Áa-H	Áreas agrícolas heterogéneas	6,362.76	Tejido urbano discontinuo	121.96	22.52	
			Herbazal denso	100.87	18.62	
			Pastos	84.60	15.62	
			Arbustal abierto	44.92	8.29	
			Plantaciones forestales	20.22	3.73	
			Bosque denso bajo	17.30	3.19	
			Bosque abierto bajo	8.94	1.65	
			Tierras desnudas	6.04	1.11	
			Tejido urbano continuo	2.99	0.55	
Pf-F	Plantaciones forestales	414.42	Áreas agrícolas heterogéneas	11.07	2.04	
			Arbustal abierto rocoso	0.62	0.11	
Cd-A	Cuerpos de agua (PTAR)	3.42		0.00	0.00	
	Superficie total	**7,712.71**		**541.63**		

Figura 37

Cambio y no cambio de uso de suelo para el periodo 2002 al 2022.

Símbolo	Uso de suelo 2002	Superficie ha	Cambio de uso de suelo 2022	Superficie		Gráfico
				ha	%	
Tu-D	Tejido urbano discontinuo	62.99	Tejido urbano continuo	54.65	6.37	
Tu-C	Tejido urbano continuo	145.88			0.00	
Mn-M	Minería no metálica	4.81			0.00	
Ad-RRSS	Área de disposición de RRSS	2.44			0.00	
Pts	Pastos	731.04	Áreas agrícolas heterogéneas	90.14	10.51	
			Cuerpos de agua	3.42	0.40	
			Herbazal denso	20.20	2.35	
			Tierras desnudas	0.18	0.02	
			Tejido urbano continuo	14.37	1.67	
			Tejido urbano discontinuo	114.32	13.32	
			Plantaciones forestales	12.23	1.43	
			Arbustal abierto	0.25	0.03	
Áa-H	Áreas agrícolas heterogéneas	6,017.38	Tejido urbano discontinuo	157.13	18.31	
			Herbazal denso	88.04	10.26	
			Pastos	77.42	9.02	
			Arbustal abierto	29.88	3.48	
			Plantaciones forestales	84.31	9.83	
			Bosque denso bajo	30.19	3.52	
			Bosque abierto bajo	6.49	0.76	
			Arbustal denso	0.31	0.04	
			Cuerpos de agua	0.56	0.07	
			Minería no metálica	3.27	0.38	
			Tierras desnudas	6.48	0.75	
			Tejido urbano continuo	13.24	1.54	
Pf-F	Plantaciones forestales	334.10	Áreas agrícolas heterogéneas	36.51	4.26	
			Herbazal denso	8.02	0.93	
			Minería no metálica	1.24	0.14	
			Tejido urbano discontinuo	5.15	0.60	
Cd-A	Cuerpos de agua (PTAR)	3.42		0.00	0.00	
	Superficie total	**7,302.07**		**857.99**		

Figura 38

Cambio y no cambio de cobertura de suelo para el periodo 2002 al 2012.

Símbolo	Cobertura de suelo 2002	Superficie ha	Cambio de cobertura de suelo 2012	Superficie		Gráfico
				ha	%	
Bd-B	Bosque denso bajo	15,871.75	Arbustal abierto rocoso	111.28	12.86	
			Áreas agrícolas heterogéneas	77.67	8.97	
			Tierras desnudas	53.10	6.13	
Ba-B	Bosque abierto bajo	6,862.82	Áreas agrícolas heterogéneas	54.14	6.26	
			Tierras desnudas	46.49	5.37	
			Plantaciones forestales	9.11	1.05	
			Cuerpos de agua	1.49	0.17	
Bf-F	Bosque fragmentado	648.18	Áreas agrícolas heterogéneas	102.02	11.79	
			Arbustal denso	42.41	4.90	
			Plantaciones forestales	13.63	1.57	
			Arbustal abierto	3.22	0.37	
			Pastos	2.68	0.31	
Hd-D	Herbazal denso	1,266.44	Tierras desnudas	13.17	1.52	
			Plantaciones forestales	12.10	1.40	
			Áreas agrícolas heterogéneas	8.31	0.96	
			Minería no metálica	3.83	0.44	
Ha-R	Herbazal abierto rocoso	229.03	Minería no metálica	4.01	0.46	
			Plantaciones forestales	1.97	0.23	
Ad-D	Arbustal denso	1,153.40	Áreas agrícolas heterogéneas	40.60	4.69	
			Arbustal abierto	2.83	0.33	
			Plantaciones forestales	0.42	0.05	
Aa-A	Arbustal abierto	410.37	Áreas agrícolas heterogéneas	39.04	4.51	
			Tierras desnudas	6.02	0.70	
			Pastos	0.28	0.03	
Aa-R	Arbustal abierto rocoso	5,976.95	Áreas agrícolas heterogéneas	73.92	8.54	
			Tierras desnudas	20.73	2.40	
			Plantaciones forestales	4.68	0.54	
			Minería no metálica	0.40	0.05	
Td-D	Tierras desnudas	328.39	Bosque denso bajo	77.46	8.95	
			Arbustal abierto rocoso	19.10	2.21	
			Herbazal denso	3.02	0.35	
			Arbustal abierto	2.96	0.34	
			Áreas agrícolas heterogéneas	0.83	0.10	
Cd-A	Cuerpos de agua	332.79	Bosque abierto bajo	11.12	1.28	
			Plantaciones forestales	1.55	0.18	
	Superficie total	**33,080.12**		**865.59**		

Figura 39

Cambio y no cambio de cobertura de suelo para el periodo 2012 al 2022.

Símbolo	Cobertura de suelo 2012	Superficie ha	Cambio de cobertura de suelo 2022	Superficie		Gráfico
				ha	%	
Bd-B	Bosque denso bajo	15,707.13	Tierras desnudas	51.56	10.41	
			Áreas agrícolas heterogéneas	10.18	2.05	
Ba-B	Bosque abierto bajo	6,782.16	Bosque denso bajo	15.58	3.14	
			Áreas agrícolas heterogéneas	14.80	2.99	
			Tierras desnudas	3.89	0.79	
			Plantaciones forestales	2.18	0.44	
Bf-F	Bosque fragmentado	484.21	Áreas agrícolas heterogéneas	27.24	5.50	
			Plantaciones forestales	4.78	0.97	
Hd-D	Herbazal denso	1,241.17	Plantaciones forestales	32.07	6.47	
			Minería no metálica	3.30	0.67	
			Áreas agrícolas heterogéneas	2.24	0.45	
			Tejido urbano discontinuo	1.58	0.32	
			Arbustal abierto rocoso	0.95	0.19	
Ha-R	Herbazal abierto rocoso	223.05	Tierras desnudas	0.40	0.08	
Ad-D	Arbustal denso	1,152.41	Áreas agrícolas heterogéneas	36.44	7.36	
			Plantaciones forestales	1.85	0.37	
			Bosque fragmentado	0.81	0.16	
			Tierras desnudas	0.26	0.05	
Aa-A	Arbustal abierto	374.29	Áreas agrícolas heterogéneas	0.96	0.19	
			Pastos	0.42	0.08	
Aa-R	Arbustal abierto rocoso	6,007.59	Bosque denso bajo	114.94	23.20	
			Tierras desnudas	68.74	13.87	
			Áreas agrícolas heterogéneas	11.79	2.38	
			Plantaciones forestales	3.05	0.62	
			Tejido urbano discontinuo	0.72	0.14	
			Minería no metálica	0.32	0.07	
Td-D	Tierras desnudas	371.86	Bosque abierto bajo	55.75	11.25	
			Herbazal denso	18.18	3.67	
			Bosque denso bajo	7.44	1.50	
			Arbustal abierto rocoso	3.04	0.61	
Cd-A	Cuerpos de agua (cobertura)	322.18		0.00	0.00	
	Superficie total	**32,666.06**		**495.47**		

Figura 40

Cambio y no cambio de cobertura de suelo para el periodo 2002 al 2022.

Símbolo	Cobertura de suelo 2002	Superficie ha	Cambio de cobertura de suelo 2022	Superfici		Gráfico
				ha	%	
Bd-B	Bosque denso bajo	15,871.67	Tierras desnudas	97.62	9.64	
			Herbazal denso	0.24	0.02	
			Áreas agrícolas heterogéneas	81.66	8.06	
Ba-B	Bosque abierto bajo	6,862.83	Cuerpos de agua	1.49	0.15	
			Áreas agrícolas heterogéneas	67.75	6.69	
			Tierras desnudas	26.96	2.66	
			Plantaciones forestales	10.05	0.99	
Bf-F	Bosque fragmentado	648.14	Áreas agrícolas heterogéneas	113.18	11.18	
			Pastos	2.93	0.29	
			Arbustal abierto	18.15	1.79	
			Arbustal denso	37.40	3.69	
			Plantaciones forestales	24.09	2.38	
Hd-D	Herbazal denso	1,266.43	Plantaciones forestales	43.13	4.26	
			Minería no metálica	7.13	0.70	
			Áreas agrícolas heterogéneas	10.55	1.04	
			Tierras desnudas	3.84	0.38	
			Tejido urbano discontinuo	1.58	0.16	
			Arbustal abierto rocoso	0.95	0.09	
Ha-R	Herbazal abierto rocoso	229.03	Tierras desnudas	0.40	0.04	
			Minería no metálica	4.01	0.40	
			Plantaciones forestales	1.97	0.19	
Ad-D	Arbustal denso	1,153.46	Áreas agrícolas heterogéneas	74.01	7.31	
			Arbustal abierto	2.83	0.28	
			Plantaciones forestales	0.42	0.04	
			Bosque fragmentado	0.60	0.06	
			Tierras desnudas	0.26	0.03	
Aa-A	Arbustal abierto	410.36	Áreas agrícolas heterogéneas	38.36	3.79	
			Tierras desnudas	5.89	0.58	
			Pastos	2.06	0.20	
Aa-R	Arbustal abierto rocoso	5,976.95	Bosque denso bajo	6.95	0.69	
			Tierras desnudas	83.77	8.27	
			Áreas agrícolas heterogéneas	85.55	8.45	
			Plantaciones forestales	7.11	0.70	
			Pastos	0.16	0.02	
			Tejido urbano discontinuo	0.72	0.07	
			Minería no metálica	0.73	0.07	
Td-D	Tierras desnudas	328.47	Bosque abierto bajo	36.22	3.58	
			Arbustal abierto	2.96	0.29	
			Áreas agrícolas heterogéneas	0.83	0.08	
			Pastos	0.09	0.01	
			Herbazal denso	4.34	0.43	
			Bosque denso bajo	71.37	7.05	
			Arbustal abierto rocoso	19.75	1.95	
Cd-A	Cuerpos de agua (Cobertura)	329.37	Bosque abierto bajo	11.12	1.10	
			Áreas agrícolas heterogéneas	0.73	0.07	
			Plantaciones forestales	0.81	0.08	
	Superficie total	**33,076.70**		**1,012.73**		

Figura 41 *Mapa de áreas artificializadas para el año 2022*

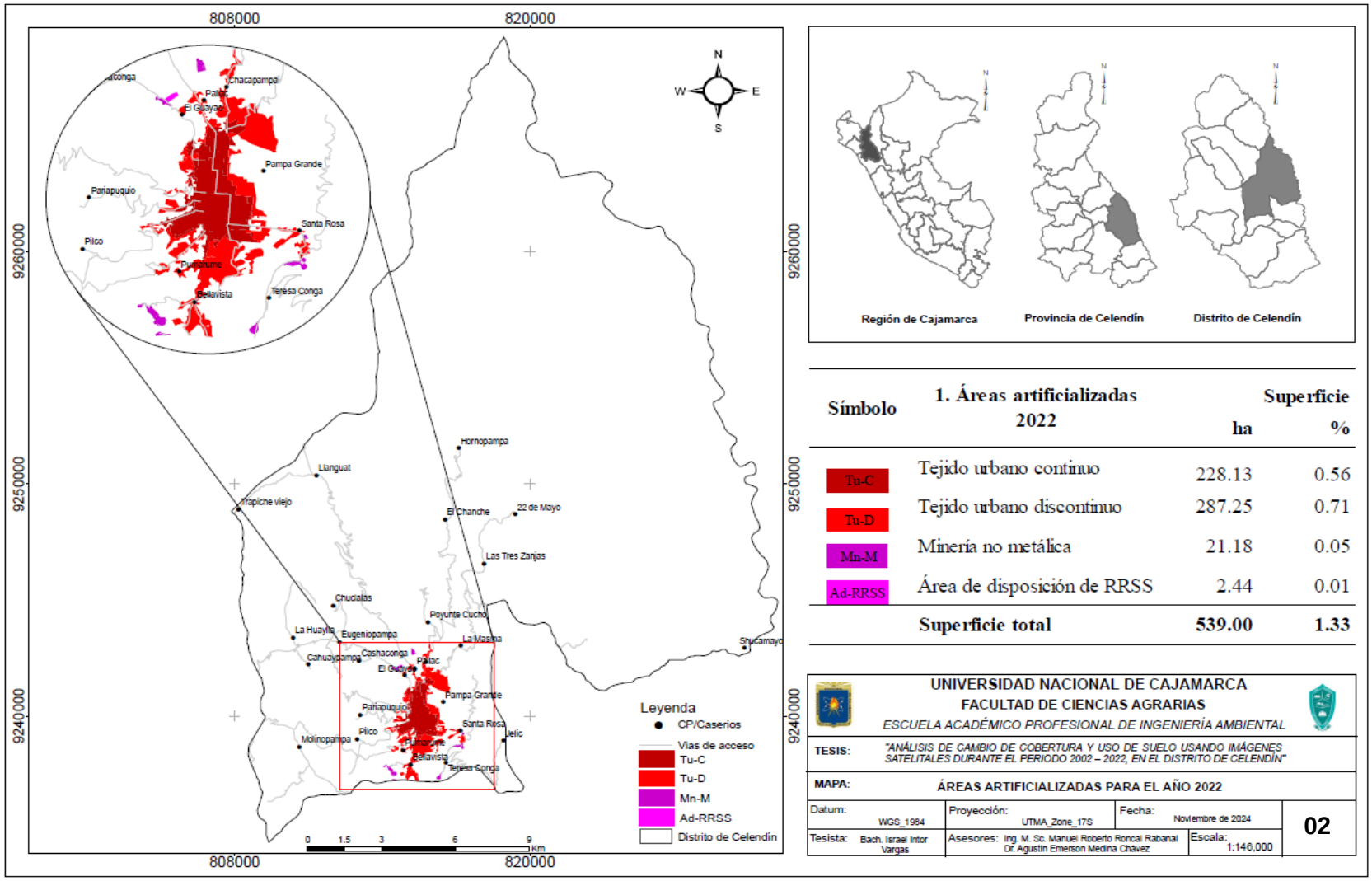


Figura 42 *Mapa de Áreas agrícolas para el año 2022*

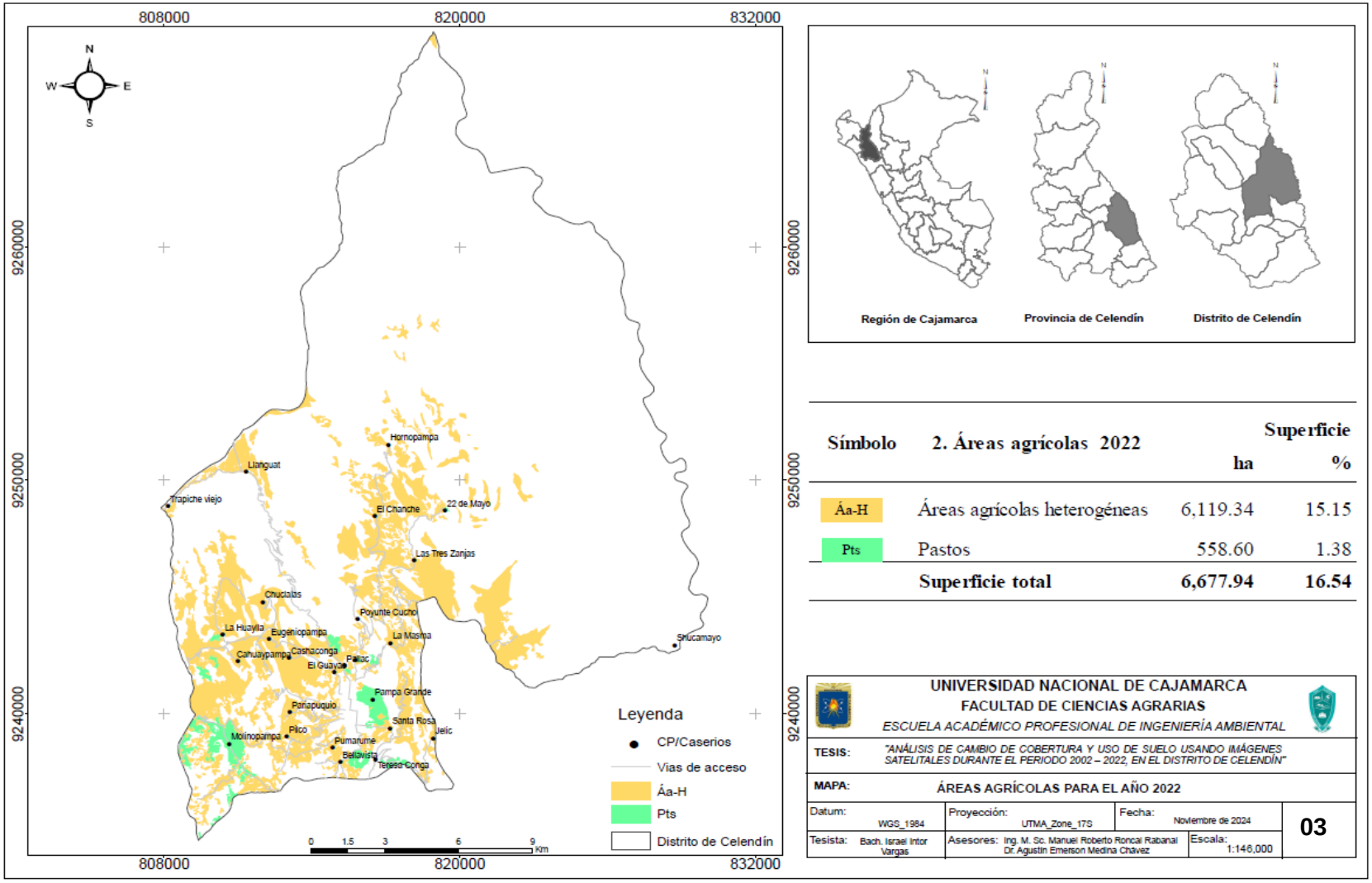


Figura 43 *Mapa de plantaciones forestales para el año 2022*

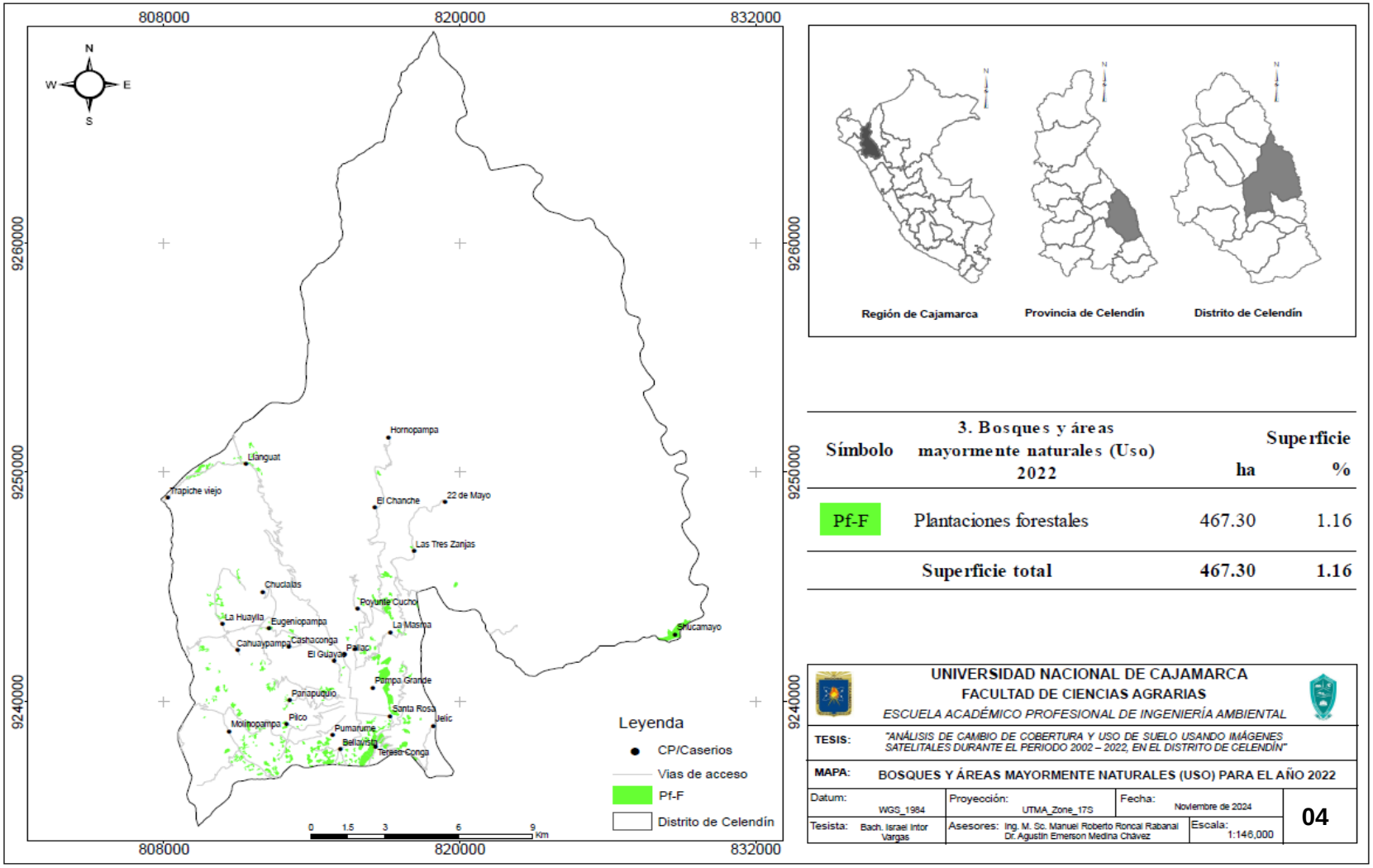
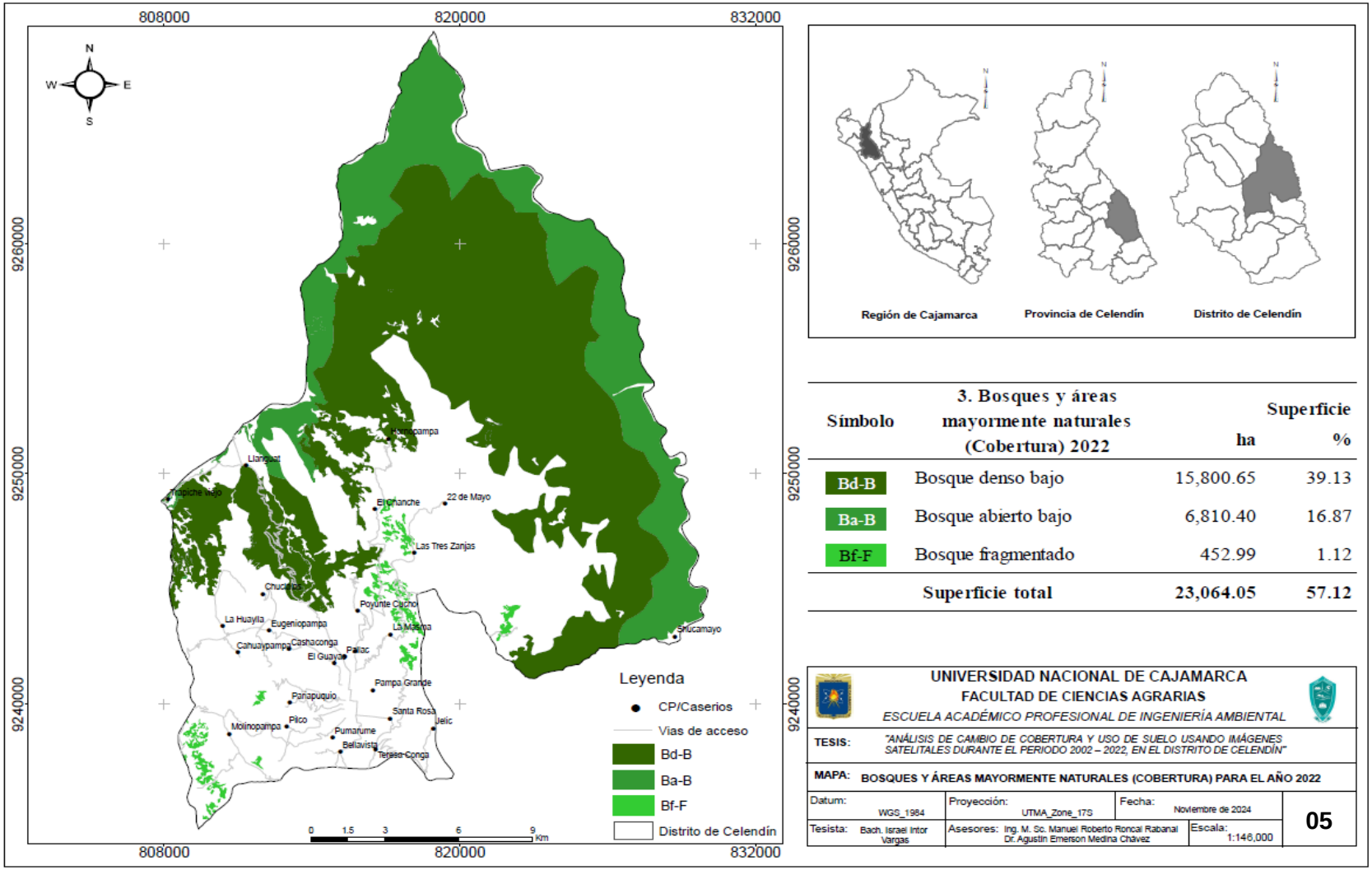


Figura 44 *Mapa de bosques y áreas mayormente naturales (coberturas) para el año 2022*



Símbolo	3. Bosques y áreas mayormente naturales (Cobertura) 2022	Superficie ha	Superficie %
Bd-B	Bosque denso bajo	15,800.65	39.13
Ba-B	Bosque abierto bajo	6,810.40	16.87
Bf-F	Bosque fragmentado	452.99	1.12
	Superficie total	**23,064.05**	**57.12**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS: *"ANÁLISIS DE CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE SUELO USANDO IMÁGENES SATELITALES DURANTE EL PERIODO 2002 – 2022, EN EL DISTRITO DE CELENDÍN"*

MAPA: BOSQUES Y ÁREAS MAYORMENTE NATURALES (COBERTURA) PARA EL AÑO 2022

Datum:	Proyección:	Fecha:	
WGS_1984	UTMA_Zone_17S	Noviembre de 2024	05
Tesista: Bach. Israel Intor Vargas	Asesores: Ing. M. Sc. Manuel Roberto Roncal Rabanal Dr. Agustin Emerson Medina Chávez	Escala: 1:146,000	

Figura 45 *Mapa de bosques y áreas mayormente naturales (Herbazal) para el año 2022*

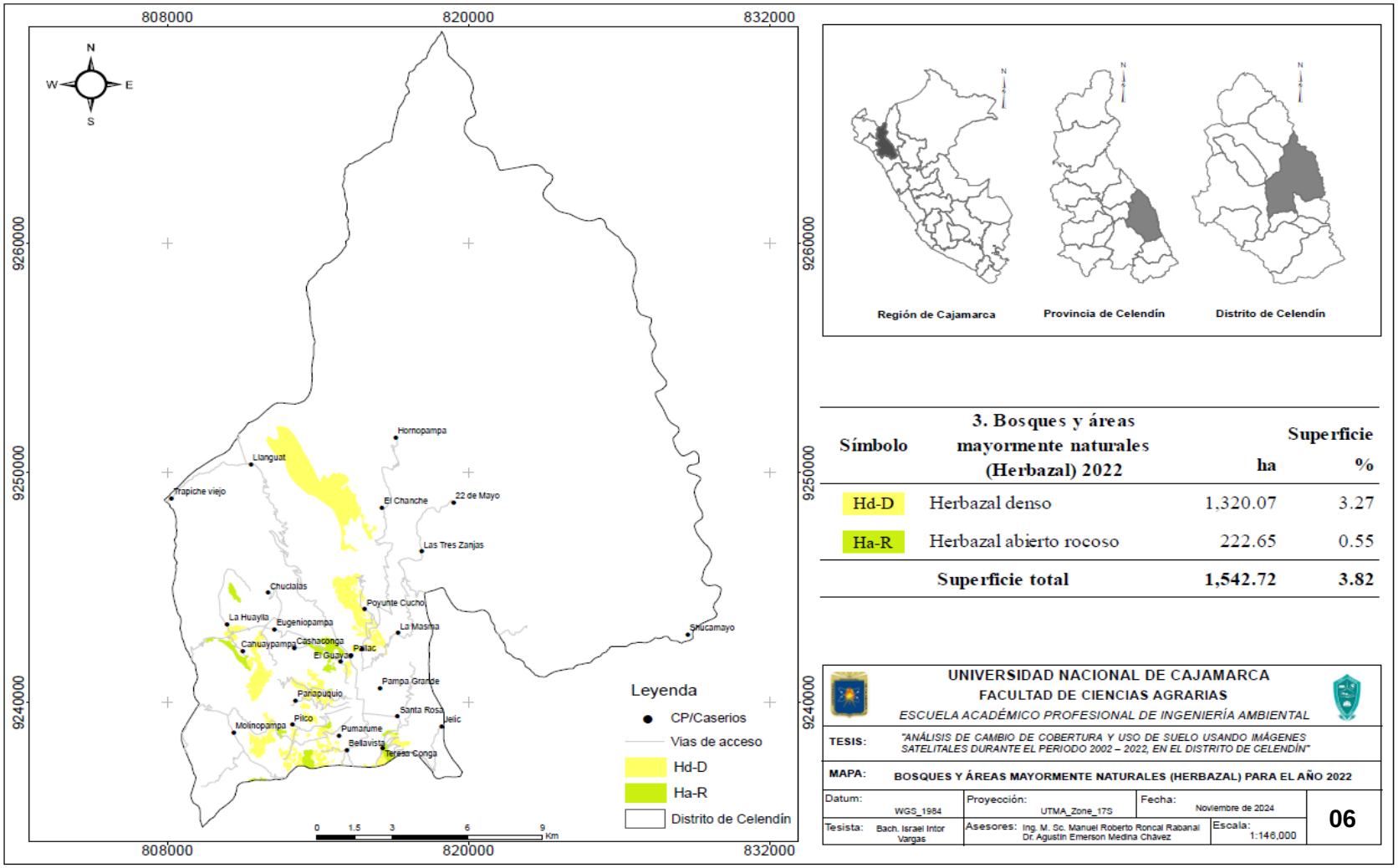


Figura 46 *Mapa de bosques y áreas mayormente naturales (arbustal) para el año 2022*

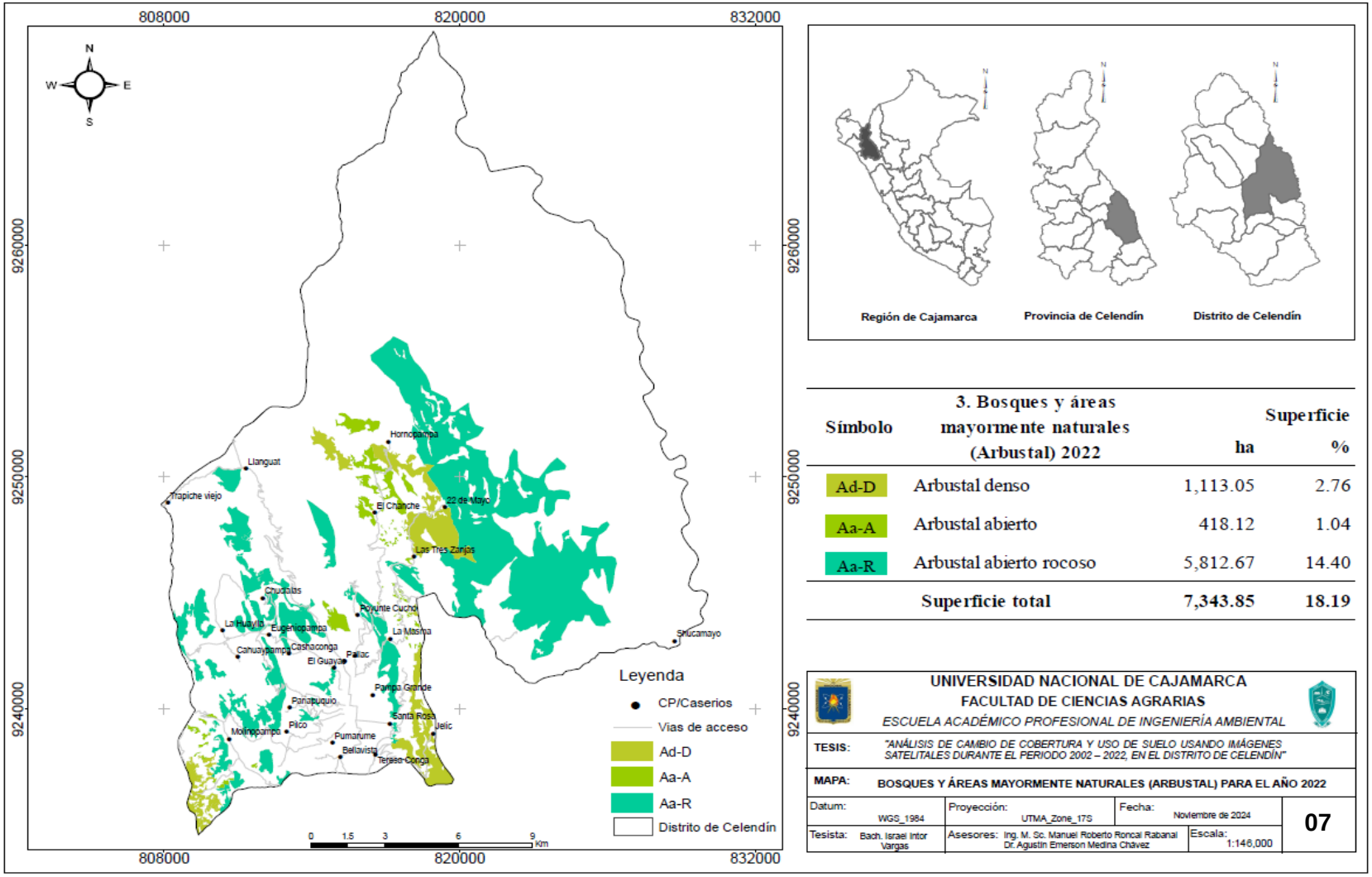
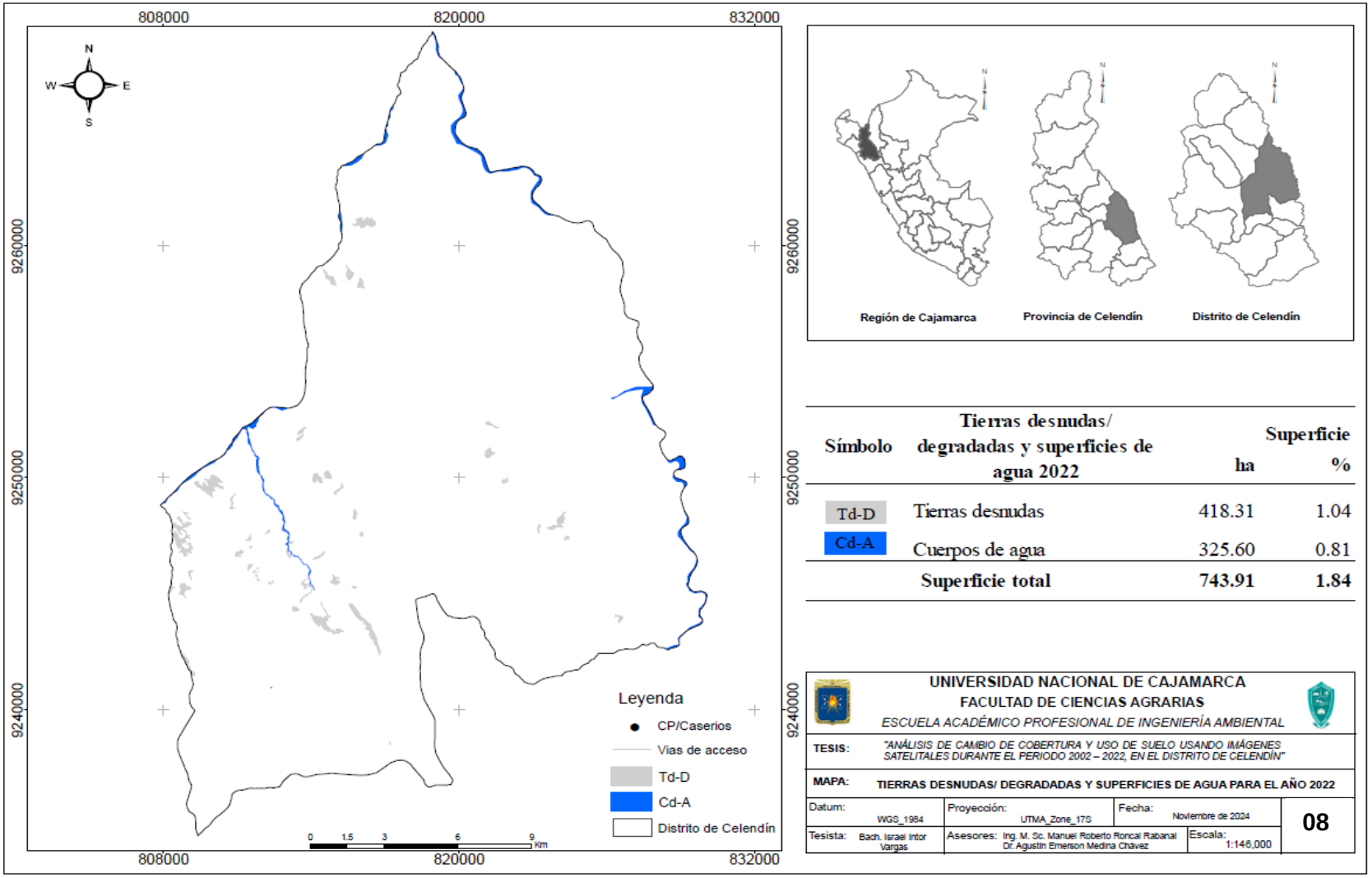


Figura 47 *Mapa de tierras desnudas/ degradadas y superficies de a gua para el año 2022*



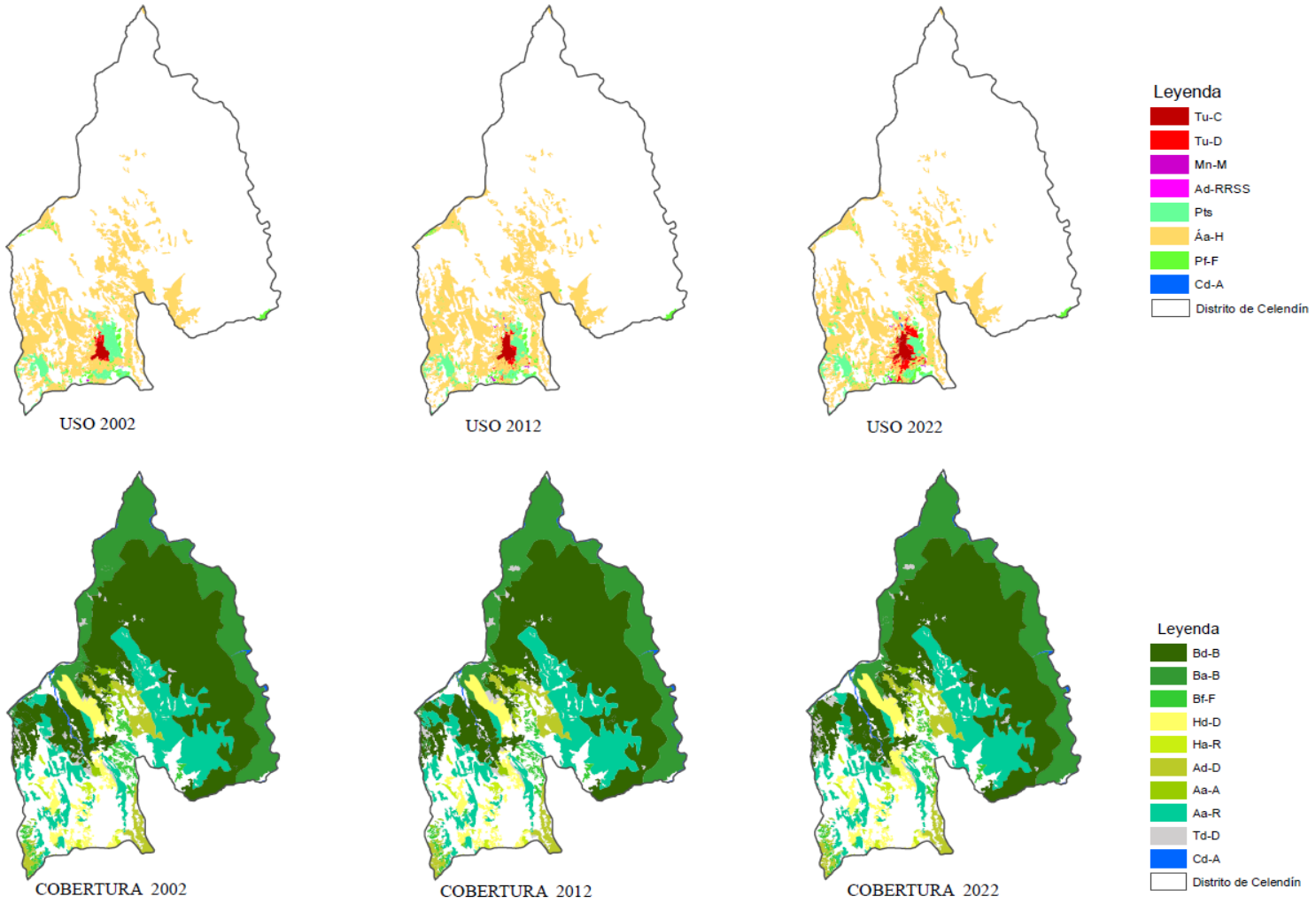
Símbolo	Tierras desnudas/ degradadas y superficies de agua 2022	Superficie ha	Superficie %
Td-D	Tierras desnudas	418.31	1.04
Cd-A	Cuerpos de agua	325.60	0.81
	Superficie total	**743.91**	**1.84**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS:	*"ANÁLISIS DE CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE SUELO USANDO IMÁGENES SATELITALES DURANTE EL PERIODO 2002 – 2022, EN EL DISTRITO DE CELENDÍN"*
MAPA:	TIERRAS DESNUDAS/ DEGRADADAS Y SUPERFICIES DE AGUA PARA EL AÑO 2022

Datum: WGS_1984	Proyección: UTMA_Zone_17S	Fecha: Noviembre de 2024	08
Tesista: Bach. Israel Intor Vargas	Asesores: Ing. M. Sc. Manuel Roberto Roncal Rabanal Dr. Agustín Emerson Medina Chávez	Escala: 1:146,000	

Figura 48 *Coberturas y usos de suelo en las tres temporadas de estudio*



Panel Fotográfico del Área de Estudio – Distrito de Celendín

Figura 49

Verificación en campo de la cobertura Arbustal Abierto Rocoso – Cerro el APRA

Figura 50

Verificación en campo a la cobertura de Tierras Desnudas y Degradadas en la zona de Chuclalas

Figura 51

Verificación en campo de la cobertura de Arbustal Abierto Rocoso - Llanguat

Figura 52
Verificación en campo de la cobertura de Arbustal Denso en la Zona de Chuclalas

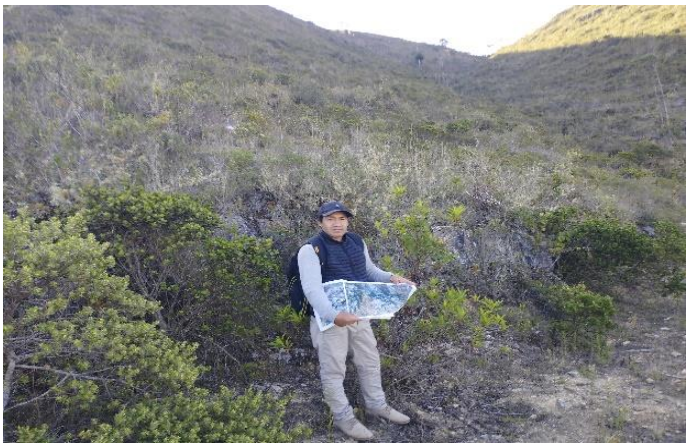


Figura 53
Verificación en campo del uso de suelo de Áreas Agrícolas Heterogéneas - Zona de la Laguna

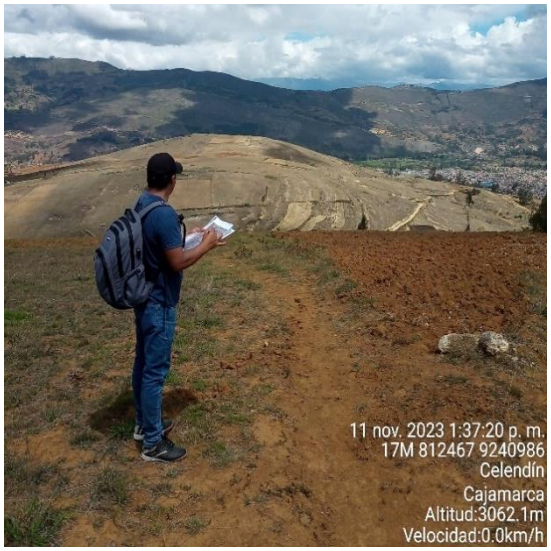


Figura 54 *Verificación de Campo al uso de suelo de Áreas Agrícolas Heterogéneas – Zona de Cashaconga*