

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



T E S I S

**ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA BOSCOsa Y CAMBIO DE USO
DEL SUELO, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES,
PERÍODO 2000 AL 2018; EN EL DISTRITO DE CHADÍN, CHOTA.**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

JOSÉ CARLOS REQUELME VIGO

ASESOR:

Dr. WILFREDO POMA ROJAS

Cajamarca – Perú

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Norte de la Universidad Peruana
Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS


En Cajamarca, a los cuatro (04) días del mes de noviembre del Año dos mil diecinueve, se reunieron en el ambiente 2C – 211 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 414-2019-FCA-UNC, Fecha 28 de Agosto del 2019, con el objeto de Evaluar la sustentación de la Tesis titulada: **“ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA BOSCOSA Y CAMBIO DE USO DEL SUELO, MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES, PERIODO 2000 AL 2018; EN EL DISTRITO DE CHADÍN , CHOTA”**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**, del Bachiller: **JOSÉ CARLOS REQUELME VIGO**.

A las once (11) horas y diez (10) minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición del trabajo de Tesis, la formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado, el Presidente anunció la aprobación por unanimidad con el calificativo de catorce (14)

Por lo tanto, el graduando queda expedito para que se le expida el **Título Profesional** correspondiente.

A las doce (12) horas y cincuenta y cinco minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, 04 de noviembre del 2019.



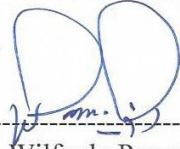
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
PRESIDENTE



Ing. Luis Dávila Estela
VOCAL



Ing. Honorio Sangay Martos
SECRETARIO



Dr. Wilfredo Poma Rojas
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fuerza y fortaleza para alcanzar mis propósitos y por permitirme llegar a este momento tan especial de mi vida.

A mis padres Claudelinda Vigo Díaz y Leonidas Requelme Cortez, por sus consejos, su apoyo incondicional, su paciencia, por ser la base fundamental para mi desarrollo como persona, todo lo que soy es gracias a ellos.

A mis hermanos Elga, Humberto, María, Gabriel, Leonel y Diego por su apoyo y compañía en todo momento.

A mis abuelos María y Herminio, quienes me apoyaron y enseñaron muchas cosas vitales para la vida, y me encaminaron por el buen sendero. Sus canas son sinónimo de sabiduría. Gracias abuelos.

A toda mi familia que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarme y darme fortaleza en los momentos de debilidad, por permitirme culminar este trabajo.

A mis padres, abuelos, tíos y hermanos por brindarme su apoyo incondicional, a todos que de una u otra manera han contribuido a la realización de este trabajo.

A mi asesor el Dr. Wilfredo Poma Rojas, por sus orientaciones y sabios consejos durante el desarrollo de este trabajo.

Al M. Sc. Juan Linares Zelada, por apoyarme desde el inicio hasta el fin de la investigación, por sus valiosos aportes a este trabajo.

A la familia Bustamante Mires, por recibirnos amablemente en su hogar, por apoyarnos en la etapa de la recolección de datos de campo, en especial al sr. Reymundo Bustamante Quintana quien fue nuestro guía de campo.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación	2
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Hipótesis de la investigación	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Bases teóricas.....	5
2.2.1. Cobertura boscosa en el mundo.....	5
2.2.2. Cobertura boscosa en el Perú	6
2.2.3. Cobertura boscosa en Cajamarca	8
2.2.4. Cobertura del terreno.....	10
2.2.5. Cobertura vegetal	10
2.2.6. Cobertura boscosa	11
2.2.7. Uso del suelo	11
2.2.8. Sistema de Información Geográfica.....	15
2.2.9. Teledetección	15

2.2.10.	Satélites Landsat.....	17
2.2.11.	Satélite Sentinel 2A	22
2.2.12.	Imágenes satelitales.....	24
2.2.13.	Realce y mejoramiento visual de imagen satelital	26
2.2.14.	Pre procesamiento de imágenes satelitales	26
2.2.15.	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).....	27
2.2.16.	Unidad mínima cartografiada (UMC)	31
2.3.	Definición de términos.....	32
2.3.1.	Deforestación.....	32
2.3.2.	Clasificación Digital.....	32
2.3.3.	Filtro.....	32
2.3.4.	Multiespectralidad.....	32
2.3.5.	Leyenda Corine Land Cover	33
2.3.6.	DEM.....	33
2.3.7.	Fases por pendientes	33
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1.	Descripción general del área de estudio	34
3.1.1.	Ubicación.....	34
3.1.2.	Demografía	36
3.1.3.	Vías de comunicación.....	36
3.1.4.	Hidrografía	36
3.1.5.	Clima	36
3.1.6.	Suelos.....	37
3.1.7.	Orografía.....	37
3.2.	Materiales y equipos	40

3.2.1.	Materiales de campo	40
3.2.2.	Equipos de campo	40
3.2.3.	Materiales y equipos de gabinete	40
3.2.4.	Material cartográfico	40
3.2.5.	Software.....	40
3.3.	Metodología.....	41
3.3.1.	Fase inicial de gabinete	41
3.3.2.	Fase de campo	49
3.3.3.	Fase final de gabinete	50
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
3.4.	Coberturas del suelo en el distrito de Chadín, Chota, período 2000 – 2018.....	52
3.4.1.	Descripción de las coberturas del suelo del distrito de Chadín.....	52
3.4.2.	Áreas de las coberturas obtenidas para los años 2000 y 2018	56
3.4.3.	Variación de las coberturas ocurridas durante el período 2000 – 2018. 63	
3.5.	Cambio de uso del suelo período 2000 – 2018.....	66
3.6.	Pérdida de cobertura boscosa.....	69
3.7.	Tasa promedio anual de deforestación (TMAD).....	71
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
VI.	LITERATURA CITADA	73
VII.	ANEXOS.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Países con mayor cobertura boscosa a nivel mundial.....	6
Tabla 2. Superficie de las unidades cartográficas de cobertura vegetal y usos del suelo de Cajamarca - Unidades puras.	13
Tabla 3. Superficie de las unidades cartográficas de cobertura vegetal y usos del suelo de Cajamarca – Asociaciones.....	14
Tabla 4. Bandas de Landsat 5.....	19
Tabla 5. Aplicaciones principales de las bandas en Landsat 5.	19
Tabla 6. Bandas de Landsat 8 Sensores OLI y TIRS.....	20
Tabla 7. Aplicaciones principales de las bandas en Landsat 8	21
Tabla 8. Comparación entre las bandas espectrales Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI TIRS.....	22
Tabla 9. Bandas del satélite Sentinel 2A.....	23
Tabla 10. Descripción de las bandas de los satélites Sentinel 2A y Landsat 5, 7 y 8 usadas para la combinación.	29
Tabla 11. Área mínima cartografiable según la escala.....	31
Tabla 12. Clasificación de fases por pendiente.	33
Tabla 13. Tipos de suelo en el distrito de Chadín.	37
Tabla 14. Clasificación de fases por pendiente.	38
Tabla 15. Características de las imágenes satelitales utilizadas.....	42
Tabla 16. Matriz de transiciones.....	51
Tabla 17. Cobertura del suelo para el año 2000.	57
Tabla 18. Cobertura del suelo en el año 2018.....	61
Tabla 19. Cobertura del suelo en los años evaluados según categorías.	63
Tabla 20. Transición de coberturas 2000 – 2018.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Superficie y tipos de bosques en el Perú (Geobosques 2018).....	7
Figura 2. Área boscosa del Perú 2001 – 2017 (Geobosques 2018).....	8
Figura 3. Área boscosa del departamento de Cajamarca 2001 – 2017 (Geobosques 2017).....	9
Figura 4. Pérdida de cobertura boscosa en el departamento de Cajamarca 2001 – 2017(Geobosques 2017).....	9
Figura 5. Distribución porcentual de las categorías de uso de la ZEE (Quispe 2017).	12
Figura 6. Elementos de un sistema de Teledetección.	16
Figura 7. Características de los satélites Landsat (Ariza 2013).	18
Figura 8. Índice de vegetación y formulas según cada satélite (Picone 2017).28	
Figura 9. Mapa de Ubicación del Área de estudio.	35
Figura 10. Orografía del distrito de Chadín (Elaboración propia)	39
Figura 11. Descarga de imágenes Landsat.....	42
Figura 12. Descarga de imágenes Sentinel 2 ^a	43
Figura 13. Recorte del área del distrito de Chadín.	44
Figura 14. Aplicación del NDVI.....	45
Figura 15. Proyección del archivo raster.	46
Figura 16. Clasificación por coberturas.	46
Figura 17. Filtrado del archivo raster.	47
Figura 18. Conversión del archivo raster a vector.	48
Figura 19. Generalización de polígonos con áreas menores a 4 ha.	49
Figura 20. Infraestructura urbana - distrito de Chadín (imagen Pleiades 2018).52	
Figura 21. Infraestructura urbana – centro poblado La Palma.	53
Figura 22. Zonas de derrumbe – centro poblado La Unión.	53
Figura 23. Afloramientos rocosos – caserío La Soledad.	53
Figura 25. Cultivo de yuca – caserío Santa Rosa.	54
Figura 26. Pastos en el centro poblado La Palma.	55
Figura 27. Bosque fragmentado – Caserío Nuevo Oriente.....	55

Figura 28.	Bosque denso – Caserío La Soledad.....	56
Figura 29.	Cobertura del suelo para el año 2000.	58
Figura 30.	Mapa de cobertura del distrito de Chadín para el año 2000.....	59
Figura 31.	Cobertura del suelo en el año 2018.	61
Figura 32.	Mapa de cobertura del distrito de Chadín en el año 2018.....	62
Figura 33.	Variación de las coberturas del distrito de Chadín, 2000 – 2018.	65
Figura 34.	Mapa de Cambio de uso de suelo 2000 – 2018.....	68
Figura 35.	Tendencia de la cobertura boscosa 2000 - 2018.	69
Figura 36.	Verificación de la información en campo (caserío La Soledad).....	84
Figura 37.	Infraestructura urbana (caserío Vista Hermosa).....	84
Figura 38.	Identificación de especies representativas de la zona.	84
Figura 39.	Extracción de madera del bosque denso (caserío La Soledad). ...	84
Figura 40.	Cobertura pastos (caserío La Soledad).....	85
Figura 41.	Erosión del suelo a causa de precipitaciones extremas (caserío San Juan).	85
Figura 42.	Transición de cobertura bosque denso a pastos (caserío Jelelip)....	85
Figura 43.	Bosque fragmentado (caserío San Martín).	85
Figura 44.	Bosque denso (caserío La soledad).....	86
Figura 45.	Cobertura pastos (caserío Nuevo Oriente).....	86
Figura 46.	Bosque fragmentado con vegetación secundaria (caserío San Martin).....	86
Figura 47.	Afloramientos rocosos (caserío Santa Ros	86

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Mapa de cobertura año 2005.	81
Anexo 2. Mapa de cobertura año 2010.	82
Anexo 3. Mapa de cobertura año 2015.	83
Anexo 4. Panel fotográfico.	84

RESUMEN

Se realizó el estudio de análisis de pérdida de cobertura boscosa y cambio de uso de suelo del distrito de Chadín, ubicado en la provincia de Chota, con una superficie total de 6 486.26 ha, y diferentes tipos de vegetación, principalmente pastos naturales y relictos de bosque. Con el objetivo de determinar el cambio de uso del suelo y la pérdida de cobertura boscosa en un periodo de 18 años. Para ello se realizó una evaluación de cambio de uso de suelo entre los años 2000 y 2018 a través de herramientas de teledetección con la ayuda de imágenes satelitales de mediana resolución tomadas por el satélite Landsat, generando como producto mapas de coberturas para los años 2000 y 2018. El mapa de coberturas del año 2018 fue comparado con imágenes Pleiades de alta resolución y validado con visitas a campo para aumentar su confiabilidad. En los mapas se registraron los principales cambios que experimentaron las 6 coberturas identificadas, de manera general todas las categorías presentaron cambios en aumento o disminución de su cobertura, siendo las más notables pastos, que incrementó en 470.94 ha y suelos desnudos que se redujo en 348.51 ha para el 2018. Además se obtuvo una pérdida de cobertura boscosa para todo el período evaluado de 323.53 ha, siendo la tasa promedio anual de deforestación para el periodo evaluado de 17.97 ha año⁻¹. Así mismo se obtuvieron las transiciones o cambio de uso de suelo ocurrido en el período evaluado, identificándose 14 tipos de transiciones más significativas.

Palabras clave: Cobertura boscosa, Cambio de uso de suelo, Teledetección, Análisis de imágenes satelitales, Chadín, Chota.

ABSTRACT

The study of analysis of loss of forest cover and change of land use of the district of Chadín, located in the province of Chota, with a total area of 6 486.26 ha, and different types of vegetation, mainly natural pastures and relics of forest. With the objective of determining the change in land use and the loss of forest cover over a period of 18 years. For this purpose, an evaluation of land use change between 2000 and 2018 was carried out through remote sensing tools with the help of medium-resolution satellite images taken by the Landsat satellite, generating coverage maps for the years 2000 and 2018. The coverage map of the year 2018 was compared with high resolution Pleiades images and validated with field visits to increase its reliability. In the maps, the main changes experienced by the 6 hedges identified were recorded, in general all categories presented changes in increase or decrease in their coverage, the most notable being pastures, which increased by 470.94 ha and bare soils that decreased by 348.51 ha for 2018. In addition, a loss of forest cover was obtained for the entire period evaluated of 323.53 ha, with the average annual deforestation rate for the period evaluated being 17.97 ha year⁻¹. Likewise, the transitions or change of land use occurred during the period evaluated were obtained, identifying 14 types of more significant transitions.

Keywords: Forest cover, Land use change, Remote sensing, Satellite image analysis, Chadín, Chota.

I. INTRODUCCIÓN

La influencia del hombre sobre el territorio es decisiva y determina en gran medida los modos de vida y las distintas formas de ocupación y usos del bosque por parte de este, en muchos casos de carácter informal, sin ningún criterio técnico, lo que ha contribuido en los últimos años al desarrollo de diversas dinámicas de uso y transformación inadecuadas (deforestación, actividades agropecuarias, etc.) dando como resultado un paisaje heterogéneo y fragmentado, amenazando de este modo la pérdida de sus diversos atributos y las funciones eco sistémicas que estos ofrecen (Rodríguez *et al.* 2005).

Para poder analizar el cambio de uso de suelo se requiere de herramientas precisas y consistentes. Los sensores remotos y los Sistemas de Información Geográfica son una opción, para cuantificar los cambios ocurridos en un territorio (Duarte *et al.* 2015).

Las imágenes satelitales y las fotografías aéreas tienen un papel preponderante en la generación de mapas. Estas imágenes contribuyen a proporcionar un efecto visual interesante de la realidad. A la vez expresan una base para la adquisición de datos relevantes del área analizada. Cabe señalar que estos datos pueden definir del territorio su topografía, relieve, cantidad de vegetación, infraestructura, canales, cuerpos de aguas, etc. Es decir características físicas del territorio seleccionado. (Martínez *et al.* 2010).

Entender las causas que originan el cambio de uso y cobertura del terreno, significa estudiar factores ambientales y socioeconómicos que afecta su uso. En el presente trabajo de investigación se estimó la pérdida de cobertura boscosa y cambio de uso del suelo en el distrito de Chadín a través de análisis multitemporal de imágenes satelitales, en el período 2000 - 2018.

1.1. Problema de investigación

El cambio de uso de suelo y por ende la pérdida de cobertura boscosa, es uno de los principales problemas que se afronta hoy en día; ya que la deforestación lleva a dañar los ecosistemas, a una pérdida de biodiversidad y a la aridez de los suelos, con ello además se evita la fijación de dióxido de carbono (CO₂), por lo que se contribuye al cambio climático. Así mismo, se relaciona con la seguridad en la producción de alimentos, la salud humana, la urbanización, la biodiversidad, la calidad del agua y del suelo (López y Bocco 2006).

La intensificación de las actividades antrópicas, como la agricultura extensiva, ganadería, crecimiento poblacional, construcción de infraestructuras viales, etc. Supera la capacidad de resiliencia de los ecosistemas, trayendo como consecuencia empobrecimiento del suelo, disminución de recursos y deterioro de la calidad de agua (Rodríguez *et al.* 2005).

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son los cambios de uso del suelo y cuánto es la pérdida de cobertura boscosa del distrito de Chadín – Chota, en el período 2000 - 2018?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Estimar el cambio de uso del suelo y la pérdida de cobertura boscosa período 2000 – 2018, del distrito de Chadín, Chota.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las coberturas del suelo existentes en el distrito de Chadín, Chota en el periodo 2000 – 2018.

- Determinar el cambio de uso del suelo del distrito de Chadín, Chota, período 2000 – 2018.
- Estimar la pérdida de cobertura boscosa del distrito de Chadín, Chota, en el período 2000 – 20018.
- Estimar la deforestación promedio anual para el periodo 2000 – 2018 en el distrito de Chadín, Chota.

1.4. Hipótesis de la investigación

Existe cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura boscosa en el distrito de Chadín, Chota, en el período 2000 - 2018.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Según Alcántara (2014) en su estudio especializado; “Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra”, realizado en el departamento de Cajamarca, indica que para la elaboración de ese estudio se basó en la metodología según lo dispuesto por el Ministerio del Ambiente (R.M. N° 135-2013-MINAM), que consistió en el procesamiento digital de imágenes satelitales utilizando los software ENVI y ArcGIS que permitieron generar cartografía temática de cobertura y uso de la tierra para los períodos 2001 – 2013, cuyas unidades fueron clasificadas de acuerdo con la metodología CORINE Land Cover–CLC.

Los resultados indicaron que, el cambio total de la cobertura y uso de la tierra en Cajamarca corresponde a un área de 599,236.15 hectáreas que representa el 18.18%, mientras que la permanencia del paisaje a una superficie de 2'696,027.69 hectáreas que representa el 81.82% del área departamental, lo cual significa la fragmentación paulatina del paisaje en perjuicio de la superficie de hábitats naturales y en el aislamiento de los mismos. Además señala la identificación de cuarenta y siete cambios por cobertura de los cuales, el cambio de vegetación herbácea y/o arbustiva a áreas agrícolas heterogéneas fue el que más impactos generó, debido a que estos espacios fueron transformados a terrenos agrícolas destruyendo la cubierta vegetal en perjuicio de la oferta de importantes servicios ecosistémicos; razón por la cual constituyen zonas de tratamiento especial que permitieron proponer medidas de gestión para promover dinámicas convenientes de cobertura y uso sostenible de la tierra.

Saldaña (2010) muestra información procesada en la determinación del cambio de cobertura vegetal en el Área de Conservación Municipal “Bosques de Huamantanga” utilizando imágenes del satélite, donde se tuvo como área de evaluación una superficie total de 12,236.83 has y el área de estudio está ubicada en la región Cajamarca, provincia de Jaén, distrito de Jaén. Se usaron dos períodos

comparativos, un primer período para los años 1989 al 2000 y un segundo período para los años 2000 al 2006, determinándose que un 75% de las áreas cambiaron de uso de los suelos con el paso de los años, mientras que el otro 25% se mantuvo intacto. Se analizó que el área cubierta por nubes y sombras es una condicionante para hacer variar las áreas, mayormente en el área correspondiente a vegetación natural, debido a que estos bosques están casi siempre cubiertos de neblina; a esto se debió que el área cubierta por vegetación natural aumentara del año 1989 al año 2000 y disminuyera al año 2006.

Según Tantaleán (2016) el análisis de cambio de cobertura y uso del suelo permite mostrar cambios entre diferentes fechas de referencia, siguiendo las consecuencias de la acción humana sobre el medio. El propósito de este estudio fue realizar un análisis del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo en el distrito de “Chota” en un período de 24 años (1989-2013), mediante la utilización de imágenes satelitales. La investigación detalla que los cambios de la cobertura vegetal y uso de la suelo están determinados por las actividades antrópicas, las cuales son las principales modeladoras y responsables como el cambio de pastos a áreas agrícolas heterogéneas, con un crecimiento considerable en su área inicial de estudio, lo que implica la pérdida de áreas de otras clases de cobertura.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Cobertura boscosa en el mundo

Según FAO (2016) en el año 1990 existían 4 128 millones de hectáreas de cobertura boscosa a nivel mundial, en el 2015 esa superficie se había reducido a 3 999 millones de hectáreas, lo que corresponde al 31% de la superficie total de la tierra. Según la evaluación realizada entre 1990 y 2015 se registró una pérdida neta de unos 129 millones de hectáreas de bosque, que representa una tasa anual de pérdida de 0,13%.

Así mismo señala que, entre 2010 y 2015 hubo una pérdida anual de 7,6 millones de hectáreas de bosque y una ganancia anual de 4,3 millones de ha año⁻¹, lo que equivale a una reducción neta anual de bosque de 3,3 millones de ha año⁻¹.

En todo el mundo, los bosques han modificado su superficie de manera dinámica y diversificada, esto de acuerdo a los cambios medioambientales ocurridos y principalmente a la presión que el hombre ejerce hacia ellos. Las naciones cuentan en la actualidad con conocimientos sobre sus propios recursos forestales de forma muy superior a como se venía manejándolos en el pasado y, por tanto, contamos con un panorama más claro de las tendencias que poseen los bosques del mundo (FAO 2016).

Tabla 1. Países con mayor cobertura boscosa a nivel mundial.

Posición	País	Área (1000 ha)	% de la superficie de su territorio	% de bosque a nivel mundial
1	Rusia	814931	50	20
2	Brasil	493538	59	12
3	Canadá	347069	38	9
4	Estados Unidos	310095	34	8
5	China	208321	22	5
6	República Democrática del Congo	152578	67	4
7	Australia	124751	16	3
8	Indonesia	91010	53	2
9	Perú	73973	58	2
10	India	70682	24	2
11	Otros países	1312186	---	33
Total	---	3999134	---	100

Fuente: FAO (2016).

2.2.2. Cobertura boscosa en el Perú

Según MINAM (2016) los bosques en el Perú constituyen el ecosistema de mayor superficie, con 73 280 424 hectáreas, que representan el 57,3 % del territorio

nacional. Se clasifican de manera general en bosques húmedos amazónicos (cubre el 53,9 % del país y significa el 94,1 % del total de bosques), bosques secos de la costa (3,2 % del país y el 5,6 % de los bosques), y bosques húmedos relictos andinos (0,2 % del país y 0,3 % de los bosques).

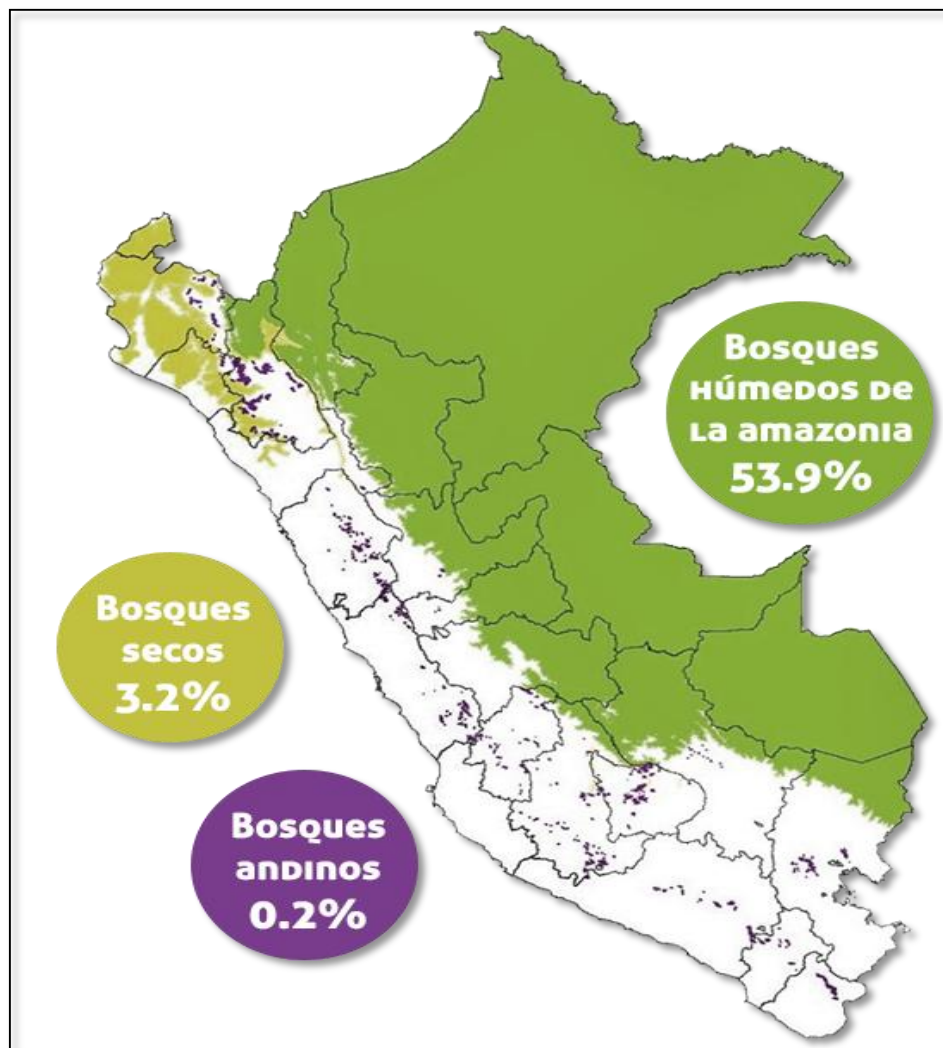


Figura 1. Superficie y tipos de bosques en el Perú (Geobosques 2018).

Así mismo SERFOR y FAO (2017) señalan que la pérdida de cobertura boscosa en el Perú, supera las 120 mil ha año⁻¹ principalmente por el desarrollo de actividades como la agricultura migratoria y ganadería, iniciativas privadas empresariales como el aprovechamiento maderable del bosque y actividades mineras generalmente ilegales.

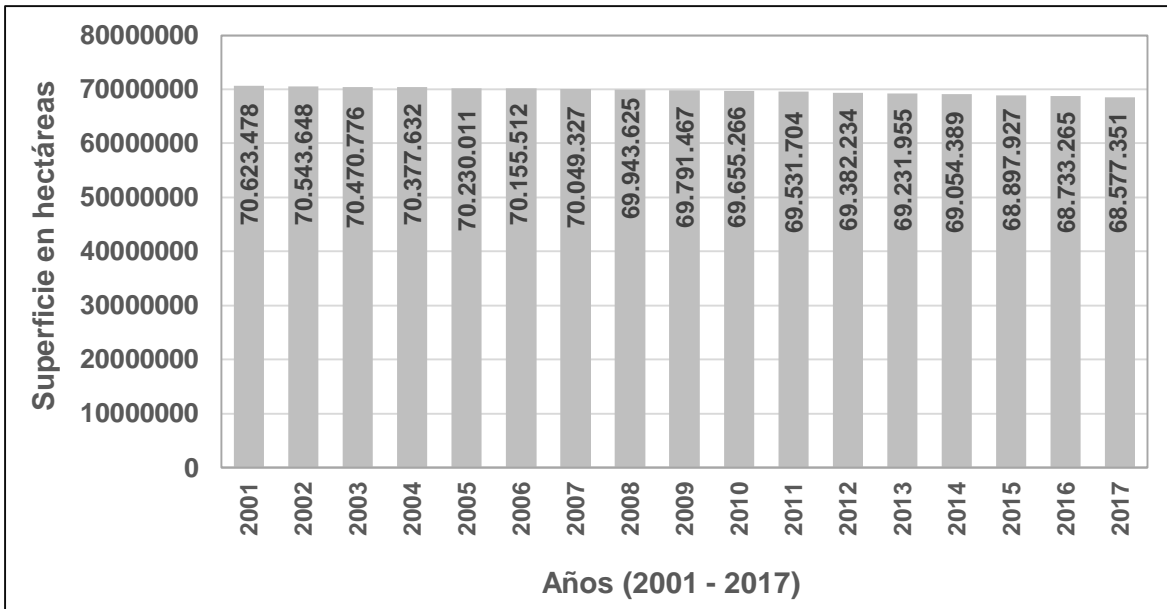


Figura 2. Área boscosa del Perú 2001 – 2017 (Geobosques 2018).

2.2.3. Cobertura boscosa en Cajamarca

Según el MINAM (2017) los bosques húmedos amazónicos en el departamento de Cajamarca abarcan una área de 350 260 hectáreas, lo que representa el 11 % del departamento, distribuido principalmente en las provincias de Jaén y San Ignacio.

Los bosques relictos montanos andinos abarcan una extensión de 121 562.19 hectáreas, 3.69 % del departamento de Cajamarca, y están distribuidos en las provincias de Cajabamba, Celendín, Contumazá, San Miguel, San Pablo, Santa Cruz, Chota, y Cutervo, la diversidad es alta debido que estos bosques van desde el límite de los bosques secos hasta el límite con la jalca (Sánchez 2015).

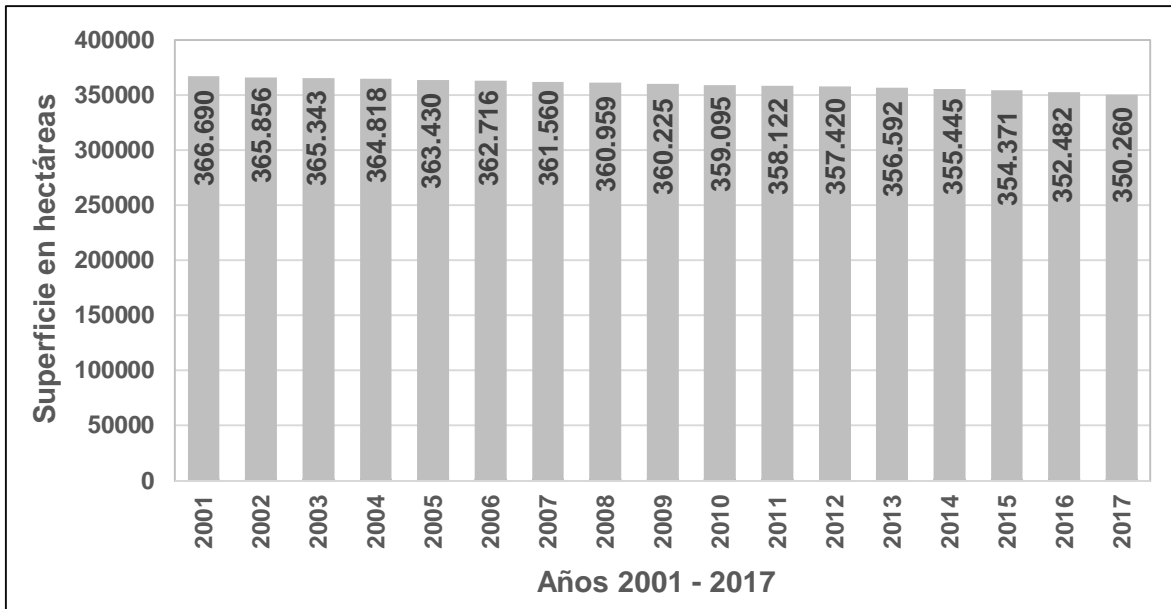


Figura 3. Área boscosa del departamento de Cajamarca 2001 – 2017 (Geobosques 2017).

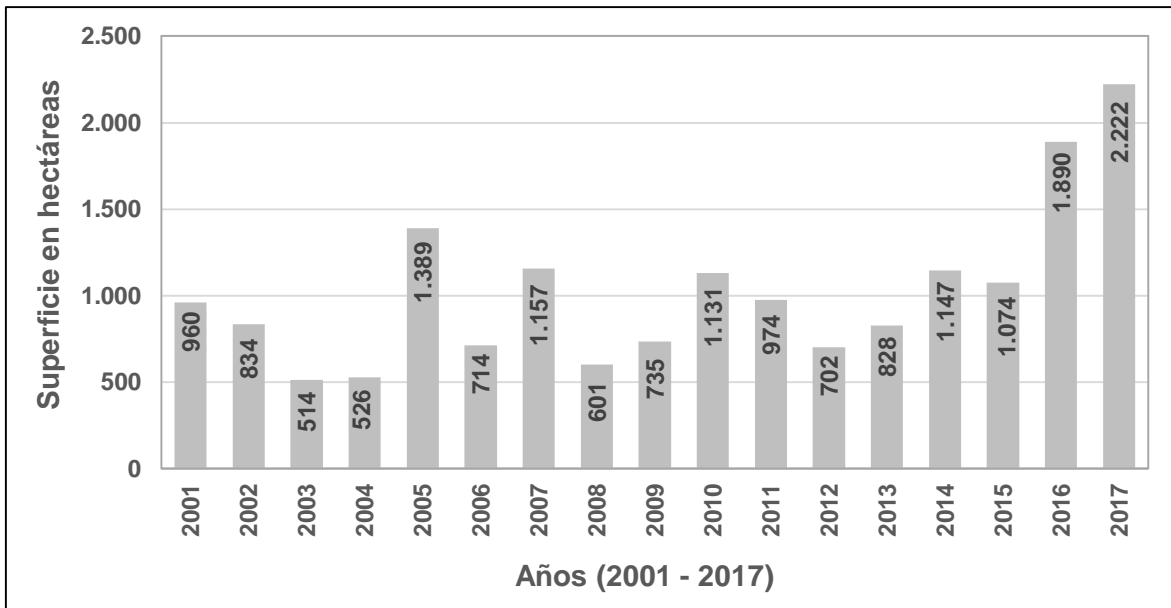


Figura 4. Pérdida de cobertura boscosa en el departamento de Cajamarca 2001 – 2017(Geobosques 2017).

2.2.4. Cobertura del terreno

La cobertura del terreno y el uso de este, son dos elementos claves que describen al ambiente terrestre con la naturaleza y las actividades humanas (Meyer y Turner 1994).

El término “Cobertura del Terreno”, se aplica a aquellos objetos que se localizan sobre la superficie del planeta y que pueden ser de origen natural (bosques, glaciares, ríos, lagos, entre otros); o producidos y mantenidos por el hombre (carreteras, ciudades, presas, etc.); es estudiada por las ciencias naturales y se refiere al estado físico de la cobertura vegetal, esta cobertura está determinada por factores biofísicos, como son el clima, topografía, tipo de suelos, disponibilidad de agua y el tipo de vegetación (López y Bocco 2006).

Un tipo de cobertura puede involucrar diferentes usos (por ejemplo un bosque puede tener usos forestales, de conservación y de investigación), de la misma forma un uso de suelo puede involucrar diferentes categorías de cobertura (por ejemplo, la actividad pecuaria se puede desarrollar en pastizales, tierras de cultivo, matorrales e inclusive bosques). La relación entre el tipo de cobertura y el uso del suelo, no es una relación única, puede ser de un tipo de cobertura a un uso específico, de un tipo de cobertura a diferentes usos, y de diferentes coberturas a diferentes usos (Meyer y Turner 1994).

2.2.5. Cobertura vegetal

Según Taboada (2006) la cobertura vegetal, es la medida de la superficie cubierta por una planta o un tipo de vegetación, la misma que se define como el tapiz vegetal de un país o de una región geográfica. La predominancia de formas biológicas tales como árboles, arbustos o hierbas, sin tomar en consideración su posición taxonómica, conduce a distinguir diferentes tipos de vegetación, como bosque, matorral y pradera.

La pérdida de cubierta vegetal deja desnudo y vulnerable al suelo frente a la erosión. Esta pérdida puede ser debida a la tala, incendios, sobrepastoreo, sequías, etc. Además, como los vegetales son los que aportan con sus restos la mayor cantidad de materia orgánica al suelo, la pérdida de cubierta vegetal implica disminución de materia orgánica y empobrecimiento del mismo (Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya s.f.).

2.2.6. Cobertura boscosa

Es el área que se extiende por más de 0.5 ha, dotada de árboles de una altura superior a 5 metros y una cubierta de copas superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. Incluye las plantaciones utilizadas fundamentalmente para fines forestales o de protección. Excluye las formaciones de árboles utilizadas en sistemas de producción agrícola, por ejemplo plantaciones frutales y sistemas agroforestales. Excluye también los árboles que crecen en parques y jardines urbanos (EcuRed s.f.).

2.2.7. Uso del suelo

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre, es dinámica (constante cambio) y de escaso grosor en la que se asienta la vida. El suelo es un cuerpo natural que consiste en capas de suelo (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. El suelo es el producto final de la influencia del tiempo y combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios) (FAO s.f.).

El suelo se utiliza con muy diversos fines, por ejemplo para uso forestal, agricultura, minería, industria, etc. Es un recurso natural único, pero está sometido a una gran presión antrópica. El uso que se hace del suelo está causando unos cambios sin precedentes en los paisajes, los ecosistemas y el medio ambiente. Las áreas urbanas y sus infraestructuras son los consumidores de suelo con un crecimiento

más rápido, generalmente a expensas de la tierra de producción agrícola. El paisaje rural está cambiando debido a la intensificación de la agricultura, el abandono de las tierras y la explotación forestal (Agencia Europea de Medio Ambiente 2016).

Según la ZEE de Cajamarca se ha determinado 5 categorías de uso del suelo que son: Zonas productivas (sub categorías: Aptitud para la agricultura, Pastos, Producción forestal, Cultivos alto andinos, Actual explotación minera, Con potencial hídrico, Asociaciones con potencial productivo, turístico, energético y minero), Zonas de protección y conservación ecológica, zonas de tratamiento especial, Zonas de recuperación, Zonas de aptitud urbano – industrial (Quispe 2017).

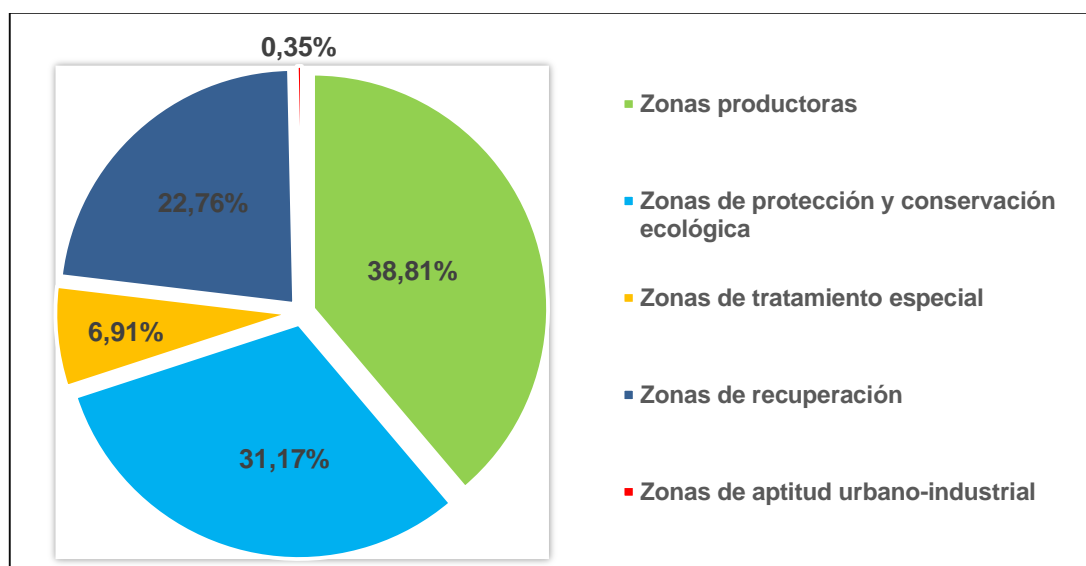


Figura 5. Distribución porcentual de las categorías de uso de la ZEE (Quispe 2017).

Según Alcántara (2011) en el departamento de Cajamarca existen 11 categorías diferentes de coberturas del terreno, constituidas por unidades puras. Además existen 18 categorías de coberturas, constituidas por asociaciones, cuya descripción y áreas se detallan en la tabla 2 y 3. El criterio para la clasificación y simbología que se ha empleado en la representación de cada una de estas unidades cartográficas, está en concordancia con aquella establecida por la Unión Geográfica Internacional (UGI).

Tabla 2. Superficie de las unidades cartográficas de cobertura vegetal y usos del suelo de Cajamarca - Unidades puras.

Tipo de cobertura	Símbolo	Superficie	Porcentaje %
Cuerpos de Agua	CA	1997.35	0.06
Áreas Urbanas	AU	6453.36	0.20
Tierras con Bosques Naturales	BN	454267.86	13.79
Tierras con Bosque Seco	BS	293135.25	8.90
Tierras con Cultivos Agrícolas	CA	86648.89	2.63
Tierras con Plantaciones Forestales	F	17642.48	0.54
Tierras con Mosaico de cultivos, pastos y vegetación arbustiva	M	329774.64	10.01
Tierras con Pastos Naturales	PN	46402.91	1.41
Tierras degradadas	TD	4514.27	0.14
Tierras con Vegetación Arbustiva	VA	156847.59	4.76
Tierras con Vegetación Escasa y Afloramientos Rocosos	VE	113118.78	3.43
Sub total 1		1510803.4	45.85

Fuente: Alcántara (2010 – 2011).

Tabla 3. Superficie de las unidades cartográficas de cobertura vegetal y usos del suelo de Cajamarca – Asociaciones

Tipo de cobertura	Símbolo	Superficie	Porcentaje %
Tierras con Bosques Naturales y Pastos Naturales	BN-PN	5106.94	0.15
Tierras con Bosques Naturales y Vegetación Arbustiva	BN-VA	70163.31	2.13
Tierras con Bosques Naturales, Vegetación Escasa y Afloramientos Rocosos	BN-VE	35544.47	1.08
Tierras con Cultivos Agrícolas y Cultivos permanentes	CA-CP	19368.07	0.59
Tierras con Cultivos Agrícolas y Pastos Naturales	CA-PN	49661.44	1.51
Tierras con Cultivos Agrícolas y vegetación Arbustiva	CA-VA	243314.95	7.38
Tierras con Cultivos Agrícolas, Vegetación Escasa y Afloramientos Rocosos	CA-VE	86537.33	2.63
Tierras con Cultivos Permanentes y Bosques Naturales	CP-BN	148216.66	4.50
Tierras con Plantaciones Forestales y Cultivos Agrícolas	F-CA	3758.78	0.11
Tierras con Plantaciones Forestales y Pastos Naturales	F-PN	1462.38	0.04
Tierras con Plantaciones Forestales y Vegetación Arbustiva	F-VA	5447.82	0.17
Tierras con Pastos Cultivados y Cultivos Agrícolas	PC-CA	146447.90	4.44
Tierras con Pastos Cultivados y vegetación Arbustiva	PC-VA	23150.05	0.70
Tierras con Pastos Naturales y vegetación Arbustiva	PN-VA	179308.32	5.44
Tierras con Pastos Naturales, Vegetación Escasa y Afloramientos Rocosos	PN-VE	197483.69	5.99
Tierras Degradadas y Pastos Naturales	TD-PN	960.91	0.03
Tierras Degradadas, Vegetación Escasa y Afloramientos Rocosos	TD-VE	50166.06	1.52
Tierras con Vegetación Arbustiva, Vegetación Escasa y Afloramientos Rocosos	VA-VE	518361.37	15.73
Sub total 1		1784460.45	54.15
Total		3295263.85	100

Fuente: Alcántara (2010 – 2011).

2.2.8. Sistema de Información Geográfica

Es un sistema compuesto por hardware, software, procedimientos y equipo humano para capturar, manejar, manipular, transformar, analizar y modelar datos geográficos, permitiendo representar los objetos del mundo real en términos de posición, atributos y de las interrelaciones espaciales, con el objeto de analizar estos datos y plantear medidas para resolver problemas de gestión y planificación. Pudiendo realizar preguntas a la base de datos (Olaya 2014).

2.2.9. Teledetección

Según el departamento de la Guajira (2007), la teledetección espacial es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre y la atmósfera desde sensores instalados en plataformas espaciales. Por ser una técnica que no está en contacto directo con el objeto requiere que entre el sensor y el objeto haya un flujo de información, el cual es conocido como radiación electromagnética la cual puede ser emitida por el objeto o proceder de otro cuerpo y haber sido reflejada por este. Todos los cuerpos u objetos emiten radiación electromagnética. La cantidad y tipo de radiación que emiten depende básicamente de su temperatura. El mayor emisor de esta radiación en el sistema solar es el sol, y la radiación que refleja la tierra y los objetos situados en ella es la que se utiliza comúnmente en teledetección. Otro tipo de emisión puede provenir del mismo sensor, el cual incorpora en su sistema un rayo emisor de radiación.

Así mismo Laubacher y Navarrete (2013) señalan que un sistema de teledetección está compuesto por los siguientes elementos:

- **Fuente de Energía:** Es el emisor de la radiación electromagnética que llegara a la superficie terrestre y que posteriormente será detectada por el sensor. Puede ser el sol (como fuente natural) o el mismo sensor (como fuente artificial).

- **Cubierta Terrestre:** formada por distintas masas de vegetación, suelo, agua o infraestructura. Esta recibe la radiación electromagnética proveniente de la fuente de energía, y la refleja o emite de acuerdo a sus características físicas.
- **Sistema Sensor:** constituido por el sensor mismo y la plataforma que lo sustenta. El sistema tiene como función captar la energía emitida por la cubierta terrestre, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.
- **Sistema de recepción y comercialización:** este sistema recibe la información transmitida por la plataforma y la guarda en un formato específico y apropiado. Posterior a las correcciones necesarias, se distribuye a los interesados.
- **Intérprete o Analista:** es la persona encargada de clasificar y analizar la información contenida en la imagen para generar información temática.
- **Usuario Final:** es quien finalmente recibirá y utilizará la información ya procesada por el analista para fines específicos.

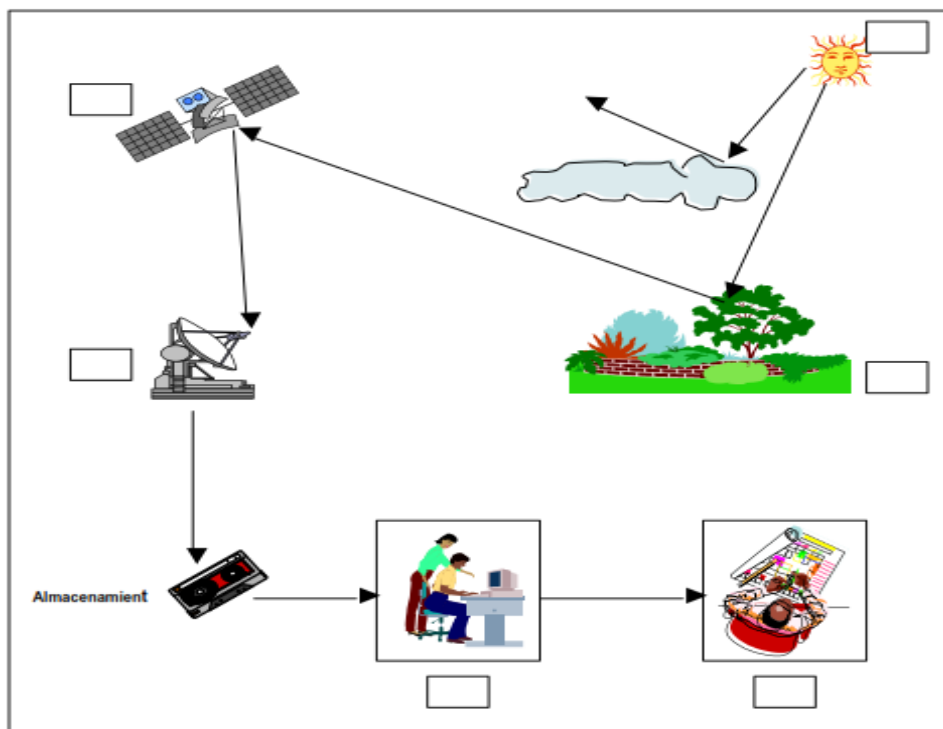


Figura 6. Elementos de un sistema de Teledetección.

2.2.10. Satélites Landsat

Ariza (2013) señala que gracias a los brillantes resultados que proporcionaron las primeras fotografías espaciales, la agencia espacial norteamericana (NASA) diseñó a finales de los años 60 el primer proyecto dedicado exclusivamente a la observación de los recursos terrestres. Fruto de estos trabajos fue la puesta en órbita del primer satélite de la serie ERTS (Earth Resource Technology Satellite) el 23 de Julio de 1972. Esta familia de satélites fue rebautizada como Landsat a partir del segundo lanzamiento, en 1975 (Landsat 2).

En lo que a equipamiento se refiere el programa Landsat puede ser estructurado en 3 generaciones. Una primera fase constituida por los Landsat 1, 2 y 3 cuyo equipamiento estaba formado por un explorador de barrido multiespectral MSS (Multispectral Scanner) y un conjunto de tres cámaras vidicon RBV (Return Beam Vidicon).

Los satélites de la segunda generación Landsat 4 y 5 mantienen el sensor MSS para garantizar la continuidad de los datos anteriores, eliminan las cámaras RBV e incorporan un nuevo sensor denominado TM (Thematic Mapper) diseñado para la cartografía temática que proporciona datos de mayor resolución espacial, espectral y radiométrica. Con el lanzamiento del Landsat 7 (ya que el 6 no llegó a funcionar) se entra en una versión mejorada de la segunda generación con la incorporación de una versión actualizada del TM denominado ETM (Enhanced Thematic Mapper).

Satélite	Lanzamiento (fin servicio)	Altitud (km)	Periodicidad (días)	Sensor	Banda: intervalo espectral (µm)	Resolución espacial (m)
Landsat 1	23/07/72 06/01/78	917	18	RBV	(1) 0.48 0.57 (2) 0.58 0.68 (3) 0.70 0.83	80 80 80
				MSS	(4) 0.5 0.6 (5) 0.6 0.7 (6) 0.7 0.8 (7) 0.8 1.1	79 79 79 79
Landsat 2	22/01/75 25/02/82	917	18	Idéntico al Landsat 1		
Landsat 3	05/03/78 31/03/83	917	18	RBV	(1) 0.5 0.75	40
				MSS	(4) 0.5 0.6 (5) 0.6 0.7 (6) 0.7 0.8 (7) 0.8 1.1 (8) 10.4 12.6	79 79 79 79 240
Landsat 4	16/07/82 (83)	705	16	MSS	(4) 0.5 0.6 (5) 0.6 0.7 (6) 0.7 0.8 (7) 0.8 1.1	82 82 82 82
				TM	(1) 0.45 0.52 (2) 0.52 0.60 (3) 0.63 0.69 (4) 0.76 0.9 (5) 1.55 1.75 (6) 10.4 12.5 (7) 2.08 2.35	30 30 30 30 30 120 30
Landsat 5				Idéntico al Landsat 4		
Landsat 6	05/10/93 05/10/93	705	16	Fallos en el sistema		
Landsat 7	15/04/99	705	16	ETM+	(1) 0.45 0.52	30
					(2) 0.53 0.61	30
					(3) 0.63 0.69	30
					(4) 0.78 0.9	30
					(5) 1.55 1.75	30
					(6) 10.4 12.5	120
					(7) 2.09 2.35	30
PAN 0.5 0.90	15					

Figura 7. Características de los satélites Landsat (Ariza 2013).

Landsat 5

El Landsat 5 se lanzó desde la Base Vandenberg de la Fuerza Aérea en California el 1 de marzo de 1984 y, al igual que el Landsat 4, llevaba los instrumentos Escáner Multi Espectral (MSS) y Mapeo Telemático (TM). Landsat 5 entregó datos de imágenes de la Tierra durante casi 29 años, y estableció un récord mundial Guinness para el “Satélite de observación de la Tierra en funcionamiento más largo”, antes de ser dado de baja el 5 de junio de 2013 (Lucas 2019).

MSS tiene una Distancia Terráquea de Muestreo (GSD) de 60m y el TM tiene una GSD de 30m, ambas con un tiempo de revisita de 16 días. Ancho de pasada de 185 km (Geocentro s.f.).

Tabla 4. Bandas de Landsat 5.

Bandas	Longitud de onda (nm)	GSD (m)
Escáner Multi Espectral (MSS)		
4 - Verde	500 – 600	30
5 - Rojo	600 – 700	30
6 – Infrarrojo cercano	700 – 800	30
7 - Infrarrojo	800 - 1100	30
Mapeo Telemático (TM).		
1 – Azul	450 – 520	30
2 - Verde	520 – 600	30
3 - Rojo	630 – 690	30
4 – Infrarrojos	760 – 900	30
5 – Infrarrojos	1550 – 1750	30
6 – Infrarrojos térmicos	10400 – 12500	120
7- MID Infrarrojos	2080 – 1350	30

Fuente: Geocentro

Tabla 5. Aplicaciones principales de las bandas en Landsat 5.

Banda en Landsat 5	Aplicación principal/descripción
Banda 1 Azul visible	Mapeo batimétrico, que distingue el suelo de la vegetación y la vegetación caducifolia de las coníferas.
Banda 2 Verde visible	Enfatiza la vegetación pico, que es útil para evaluar el vigor de la planta.
Banda 3 Rojo visible	Discrimina las pendientes de la vegetación.
Banda 4 4 NIR (infrarrojo cercano)	Destaca el contenido de biomasa y las costas.
Banda 5 5 SWIR 1 (onda corta infrarroja)	Discrimina el contenido de humedad del suelo y la vegetación, penetra nubes delgadas.
Banda 6 6 Térmico	Mapeo térmico y humedad estimada del suelo.
Banda 7 7 SWR 2 (onda corta infrarroja)	Rocas alteradas hidrotermalmente, asociadas con depósitos minerales.

Fuente: Earth Observing System (2012).

Landsat 8

Es un satélite de observación terrestre estadounidense lanzado el 11 de febrero de 2013. Es el octavo y más reciente satélite del proyecto Landsat operado por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos. Transporta dos instrumentos OLI y TIRS, el sensor OLI provee acceso a nueve bandas espectrales que cubren el espectro desde los 0.433 μm a los 1.390 μm , mientras que TIRS registra de 10.30 μm a 12.50 μm .

Las imágenes Landsat 8 obtenidas por el sensor (OLI) y (TIRS) constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. Una banda nueva (1) (azul- profundo) es útil para estudios costeros y aerosoles. La nueva banda (9) es útil para la detección de cirrus. La resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Dos bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución. El tamaño aproximado de la escena es de 170 km de Norte-Sur por 183 km de Este a Oeste (106 km por 114 km) (Ariza 2013).

Tabla 6. Bandas de Landsat 8 Sensores OLI y TIRS

Banda	Nombre	Longitud de onda (μm)	Resolución (m)
1	Costera – Aerosoles	0.435 – 0.451	30
2	Azul	0.452 – 0.512	30
3	Verde	0.533 – 0.590	30
4	Rojo	0.636 – 0.673	30
5	Infrarrojo cercano (NIR)	0.851 – 0.879	30
6	Infrarrojo de onda corta 1 (SWIR 1)	1.566 – 1.651	30
10	(TIR 1)	10.60 – 11.19	100
11	(TIR 2)	11.50 – 12.51	100
7	Infrarrojo de onda corta 2 (SWIR 2)	2.107 – 2.294	30
8	Pancromática	0.503 – 0.676	15
9	Cirrus	1.363 – 1.384	30

Fuente: Ariza (2013).

Tabla 7. Aplicaciones principales de las bandas en Landsat 8

Banda en Landsat 8	Aplicación principal / Descripción
Banda 1 Coastal	Para mapeo de costas y estudios de aerosol.
Banda 2 Azul	Útil para mapeo batimétrico, delimitar costas, diferenciar suelo de vegetación, diferenciar coníferas de latifoliadas, detección de rasgos urbanos, vías y construcciones.
Banda 3 Verde	Empleada para discriminar sedimentos en suspensión, evaluar vigor de las plantas por la alta reflectancia de la vegetación verde y sana, delinear aguas poco profundas, rasgos urbanos y de infraestructura.
Banda 4 Rojo	Permite un mayor contraste de áreas con y sin vegetación, discriminar gradientes de vegetación, delimitar áreas urbanas y áreas agrícolas.
Banda 5 NIR Infrarrojo cercano	Útil para el cálculo de biomasa de vegetación, delimitar costas, para diferenciación suelos - cultivos y suelos – agua, para geomorfología, suelos y geología.
Banda 6 SWIR 1	Se alcanzan a penetrar nubes delgadas. Es útil para discriminar contenido de humedad en los suelos y la vegetación, diferenciar entre nubes, nieve y hielo.
Banda 7 SWIR2	Útil para discriminar tipos de rocas, para estudios de suelos y mejora la determinación de contenidos de humedad en suelos y vegetación.
Banda 9 Pancromática	Es una imagen sensible a todo el espectro visible y más afinada en tanto su resolución es de 15 m.
Banda 8 Cirrus	Ofrece una mejora en la detección de nubes cirrus.
Banda 10 TIRS 1 Térmica	Útil para mapeo termal y estimación de humedad del suelo.
Banda 11 TIRS 2 Térmica	Mapeo termal mejorado y estimación de humedad del suelo.

Fuente: Franco (2017).

Tabla 8. Comparación entre las bandas espectrales Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI TIRS

Landsat 5 TM			Landsat 8 OLI TIRS		
Banda	Ancho (µm)	Resolución	Banda	Ancho (µm)	Resolución
			Banda 1 - aerosol costero	0.43 - 0.45	30
Banda 1 - Azul	0.45 - 0.52	30	Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
Banda 2 - Verde	0.52 - 0.60	30	Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
Banda 3 - Rojo	0.63 - 0.69	30	Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
Banda 4 - IR cercano	0.76 - 0.90	30	Banda 5 - NIR Infrarrojo cercano	0.85 - 0.88	30
Banda 5 - 1 Infrarrojo de onda corta	1.55 - 1.75	30	Banda 6 - SWIR 1 Infrarrojo de onda corta	1.57 - 1.65	30
Banda 7 - 2 Infrarrojo de onda corta	2.08 - 2.35	120	Banda 7 - 2 SWIR2 Infrarrojo de onda corta	2.11 - 2.29	30
			Banda 8 - Pancromática	0.50 - 0.68	15
			Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
Banda 6 - IR Infrarrojo térmico	10.40 - 12.50	120	Banda 10 - TIRS 1 Térmica	10.60 - 11.19	100
			Banda 11 - TIRS 2 Térmica	11.50 - 12.51	100

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos – USGS (2015).

2.2.11. Satélite Sentinel 2A

La Agencia Espacial Europea (ESA) a través del programa Copernicus tiene la constelación de satélites de observación de la Tierra más ambiciosa de la historia, Sentinel -2A, es una de ellas. Es una misión que captura imágenes multiespectrales con gran resolución y amplitud. Su objetivo es monitorear la variabilidad de la

superficie terrestre. El lanzamiento del Sentinel 2A se realizó el 23 de junio del 2015 y el del Sentinel-2B el 7 de marzo del 2017. El tiempo de revisita, estando ambos satélites operativos, es de 5 días (GEODIM s.f.).

La misión Sentinel 2A está compuesta por el instrumento MSI (Multi Spectral Instrument) que captura la información de la superficie terrestre en 13 bandas espectrales, con diferentes resoluciones espaciales, cuatro bandas de 10 m, seis bandas de 20 m y tres bandas con resolución de 60 m (MasterGIS 2019). Utiliza un sistema de barrido a lo largo de la trayectoria (push-broom) para generar una imagen de 290 kilómetros de ancho y poder ofrecer muy altas prestaciones geométricas y espectrales en sus datos (GEODIM s.f.).

Tabla 9. Bandas del satélite Sentinel 2A.

Banda	Nombre	Longitud de Onda (μm)	Resolución (m)
1	Aerosol	0.443	60
2	Azul	0.490	10
3	Verde	0.560	10
4	Rojo	0.665	10
5	vegetación borde rojo 1	0.705	20
6	vegetación borde rojo 2	0.740	20
7	vegetación borde rojo 3	0.783	20
8	Infrarrojo cercano (NIR)	0.842	20
8A	Infrarrojo cercano (NIR)	0.865	20
9	Vapor de agua	0.945	60
10	Infrarrojo de Onda Corta (SWIR) – Cirrus	1.375	60
11	Infrarrojo de Onda Corta 1	1.610	20
12	Infrarrojo de Onda Corta 2	2.190	20

Fuente: León (2015).

2.2.12. Imágenes satelitales

Según Pérez (2018), se define imagen satelital a la representación visual de la superficie y sus atributos, cuya información es registrada por un satélite artificial.

Así mismo señala que, estos satélites disponen de sensores que les permiten recoger información que refleja la superficie terrestre. Una vez que reciben los datos, los envían de nuevo a la Tierra, donde son procesados.

Las imágenes de satélite adquiridas periódicamente permiten detectar la ocurrencia de tres tipos de variaciones en los ecosistemas: i) cambios estacionales o cíclicos (p.ej. debidos a época de lluvias y épocas secas) que afectan la fenología de las plantas y por ende la respuesta espectral en las imágenes, ii) cambios graduales dados por variaciones en la precipitación media o eventos climáticos interanuales y iii) cambios abruptos naturales o de origen antrópico tales como inundaciones, incendios o eventos de deforestación, estas variaciones son captadas simultáneamente por los sensores, a la vez que se registran otros efectos originados por errores geométricos, condiciones climáticas y efectos de nubes que pueden afectar las observaciones (Verbesselt *et al.* 2012; citado por Galindo *et al.* 2014).

Olaya (2014), señala que las imágenes satelitales cuentan con diferentes resoluciones, las cuales se describen a continuación:

a) Resolución espacial

Designa al objeto más pequeño que puede detectarse sobre una imagen que se denomina pixel. Tiene un papel protagonista en la interpretación de la imagen ya que marca el nivel de detalle que ofrece. Se mide en unidades de longitud (mm sobre la foto o metros sobre el terreno), y depende de la longitud focal de la cámara y de su altura sobre la superficie.

b) Resolución espectral

Indica el número y ancho de las bandas 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. A la vez, conviene que esas bandas sean suficientemente estrechas con el objeto de recoger la señal sobre regiones coherentes del espectro. Bandas muy amplias suponen registrar un valor promedio que puede encubrir la diferenciación espectral entre cubiertas de interés.

c) Resolución radiométrica

Es la capacidad que tiene un sensor de poder discriminar, albedos con diferencias de radiación reflejada o emitida (cantidad de niveles de grises). Cuanto mayor es el número de niveles de grises, mayor es la resolución. Una imagen con dos niveles (blanco y negro) tendrá menos resolución que otra imagen con 32 niveles de grises entre el blanco y el negro.

d) Resolución temporal

Es la frecuencia de cobertura del sensor, (la periodicidad con la que éste adquiere imágenes de la misma porción de superficie). La resolución temporal es un elemento importante cuando se estudian cambios en la superficie de la tierra o del océano. Mientras en la superficie de la tierra los cambios se producen en días o años, en la atmósfera o en la superficie del mar se producen en horas. Por esa razón se necesita mayor frecuencia de observación en el mar que en la tierra.

e) Resolución angular

Es la capacidad que tiene un sensor para tomar imágenes oblicuas. Esta propiedad permite no solamente cortar los ciclos temporales de recubrimiento, sino que posibilita la generación de imágenes estereoscópicas y por tanto la reconstrucción del relieve.

2.2.13. Realce y mejoramiento visual de imagen satelital

Según Escalante (2006), citado por Ramos (2017), los procesos de realce de imágenes consisten de una serie de técnicas cuyo objetivo es mejorar la apariencia visual de una imagen, ya sea en contraste, ruido, escala de grises, distorsiones, luminosidad, falta de nitidez, etc., o bien convertir o mapear la imagen a una mejor forma para su análisis. El principal objetivo del realce de la imagen es procesar una imagen de tal manera que el resultado obtenido sea el apropiado para una aplicación específica.

2.2.14. Pre procesamiento de imágenes satelitales

Según Galindo *et al.* (2014), el pre procesamiento de las imágenes, consiste en hacer las correcciones de las imágenes, con el fin de eliminar cualquier anomalía detectada en la imagen, ya sea en su localización o radiometría de los píxeles que la componen. Cualquier imagen adquirida por un sensor remoto, presenta una serie de alteraciones radiométricas y geométricas debidas a muy variados factores, por lo que es necesario aplicar técnicas de corrección o rectificación.

De acuerdo a Hantson *et al.* (2011), los procesos de pre procesamiento para las imágenes satelitales son los siguientes:

a) Correcciones geométricas – georreferenciación

Las correcciones geométricas, tiene la finalidad de adaptar las imágenes a una proyección cartográfica específica y un sistema de coordenadas asociado, dicha manipulación de la imagen, se le denomina georreferenciación, todo esto se puede llevar a cabo mediante el procesamiento de algoritmos matemáticos.

Al realizar un proceso de rectificación se está utilizando un método de georreferenciación, involucrando únicamente el cambio de la información sobre las coordenadas cartográficas en el histograma de la imagen.

b) Correcciones radiométricas

Las correcciones radiométricas se aplican para restablecer valores de los niveles digitales de la imagen, depurando cualquier anomalía ya sea debido al sistema sensor o las condiciones de la toma. Dicho tratamiento de las imágenes se puede hacer mediante los procesos, vecino más cercano, interpolación bilineal, convolución cubica o interpolación bilineal por ranuras.

c) Correcciones atmosféricas y topográficas

La corrección topográfica permite compensar las diferencias de iluminación solar, debido a la variación con respecto a la altitud del terreno analizado. En donde al llevar a cabo dicho proceso, las zonas de sombrías o con vegetación presentan una menor reflectividad con respecto a las zonas en solana, las cuales presentan una reflectividad mayor. La rectificación a su vez es un método el cual sirve para eliminar el efecto de la dispersión de la radiación electromagnética, el cual es originado por los gases y partículas que se encuentran suspendidos en la atmosfera, contribuyendo de manera más significativa a la radiación solar reflectada por el sensor.

2.2.15. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

Los índices de vegetación son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites de teledetección, cuya función es realzar la vegetación en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros elementos como el suelo, la iluminación, el agua, etc. Se trata de imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales. El resultado de estas operaciones permite obtener una nueva imagen donde se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales (Ramos 2017).

El NDVI es un índice de vegetación estandarizado que nos permite generar una imagen que muestra la biomasa relativa. La absorción de clorofila en la banda roja y la reflectancia relativamente alta de la vegetación en la banda infrarroja cercana (NIR) se utilizan para calcular NDVI (Earth Observing System 2017).

El NDVI se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Para el cálculo de los índices de vegetación es necesario operar las bandas de la imagen de la siguiente manera: Landsat 8 (5-4)/(5+4), Sentinel 2 (8-4)/(8+4) (Ramos 2017; Martorell s.f.).

El cálculo del NDVI se hace mediante la siguiente fórmula:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{VIS})}{(\text{NIR} + \text{VIS})}$$

Donde:

NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada

NIR: Banda del infrarrojo cercano

VIS: Banda del rojo visible

	INDECES	SENTINEL 2A	LANDSAT 8
ÍNDICES DE VEGETACIÓN	NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$\frac{B8A - B4}{B8A + B4}$	$\frac{B5 - B4}{B5 + B4}$
	SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	$\frac{B8A - B4}{B8A + B4 + L} \times (L + 1)$ L= 0 a 1. L= 0.75	$\frac{B5 - B4}{B5 + B4 + L} \times (L + 1)$ L= 0 a 1. L= 0.75

Figura 8. Índice de vegetación y formulas según cada satélite (Picone 2017).

Tabla 10. Descripción de las bandas de los satélites Sentinel 2A y Landsat 5, 7 y 8 usadas para la combinación.

Satélite	Bandas	Nombre	Resolución (m)
Sentinel 2A	B4	Rojo	10
	B8A	Infrarrojo cercano (NIR)	20
Landsat 5	B3	Rojo	30
	B4	Infrarrojo cercano (NIR)	30
Landsat 7	B3	Rojo	30
	B4	Infrarrojo cercano (NIR)	30
Landsat 8	B4	Rojo	30
	B5	Infrarrojo cercano (NIR)	30

a) Clasificación supervisada

La clasificación supervisada en ArcGIS permite clasificar el ráster por medio de cada píxel de una celda, es necesario tener conocimiento previo de las clases del área de estudio (uso actual del suelo). Se debe marcar puntos y asignar un valor numérico para cada clase (Pucha 2012).

La clasificación supervisada es el método más utilizado para clasificar imágenes, el proceso se divide en dos fases (Barrera y García 2015):

Fase de formación: donde mediante la asignación de un número limitado de píxeles para las clases que pertenecen a esta imagen en particular. En esta fase las clases que se utilizan están previamente definidas (considerando el previo conocimiento de las áreas a considerar, esto para que pertenezcan y sirvan para generar un número de clase). Para cada clase se necesita alguna “verdad de terreno”; esto es un conocimiento que debe haber sido adquirido de antemano, por ejemplo, como resultado del trabajo de campo, o de un mapa existente (asumiendo que en algunas zonas la pertenencia a una clase que no ha cambiado desde que el mapa fue producido (Barrera y García 2015).

Para la selección de áreas de formación se debe tomar en cuenta (Barrera y García 2015):

- Las áreas deben ser homogéneas.
- Una gran zona “uniforme” por clase es preferible a varias áreas más pequeñas, aunque esto debe depender del grado de variabilidad dentro de cada clase de sitio.
- Cada área debe ser fácilmente localizada en la imagen: utilizar un mapa topográfico o fotografías aéreas para ayudar.

Fase de toma de decisiones: donde se designa una etiqueta de clase a todos los píxeles de la imagen mediante la búsqueda de cada píxel que sea similar.

En la clasificación supervisada de un ráster se genera una capa de puntos y se clasifica cada uno según los datos que queremos separar, por ejemplo, masas de agua, terreno sin vegetación, terreno con vegetación, etc. Para cada clase se hacen muchos puntos y en su id de atributos se coloca un número para poder diferenciarlos. Por ejemplo agua=1, vegetación=2, tierra=3, etc. Hay que tener en cuenta que ha mayor número de puntos para un mismo tipo de terreno, es igual a un mayor número de datos y así a una mayor exactitud (Miguel 2015).

b) Clasificación no supervisada

La clasificación no supervisada en ArcGIS no determina ninguna prioridad para obtener las clases, es decir lo realiza en base a probabilidades, el resultado es una imagen ráster reclasificada y opcionalmente genera un archivo con su respectiva firma, para efectuar este procedimiento se usa la herramienta Iso Cluster Unsupervised Classification (Pucha 2012).

2.2.16. Unidad mínima cartografiable (UMC)

La unidad mínima cartografiable, también conocida como área mínima cartografiable o unidad cartografiable base, es la unidad más pequeña de superficie que puede ser representada en un mapa.

El principio del área mínima cartografiable permite lograr coherencia en la representación espacial y eficiencia en la lectura y utilidad del mapa en formato impreso. Este principio indica que a partir de determinada área espacial, los polígonos y sus correspondientes contenidos deben ser generalizados, de lo contrario, dificultarían la distinción por parte del usuario cuando se lea en formato analógico (López 2012).

Aunque la UMC es el tamaño mínimo de una superficie que debe ser representado en un mapa, éste está determinado por tres factores:

- El objetivo del mapa.
- El presupuesto para la realización del mapa.
- La configuración espacial del terreno.

Tabla 11. Área mínima cartografiable según la escala.

Escala	1cm igual a		1mm igual a		Área Mínima Cartografiable	
	M	km	m	km	m ²	ha
1:500	5	0.005	0.05	0.0005	4	0.0004
1:1 000	10	0.01	0.1	0.001	16	0.0016
1:2 000	20	0.02	0.2	0.002	64	0.0064
1:5 000	50	0.05	0.5	0.005	400	0.04
1:10 000	100	0.1	1	0.01	1 600	0.16
1:20 000	200	0.2	2	0.02	6 400	0.64
1:25 000	250	0.25	2.5	0.025	10 000	1
1:50 000	500	0.5	5	0.05	40 000	4
1:100 000	1000	1	10	0.1	160 000	16
1:250 000	2500	2.5	25	0.25	1 000 000	100
1:500 000	5000	5	50	0.5	4 000 000	400
1:1 000 000	10000	10	100	1	16 000 000	1 600

Fuente: (López 2012)

2.3. Definición de términos

2.3.1. Deforestación

Es la conversión de bosques a otro tipo de uso territorial o la reducción significativa a largo plazo de la cubierta forestal. Esto incluye la conversión del bosque natural a plantaciones, agricultura, pastizales, reservas de agua y áreas urbanas; excluye áreas para talar donde el bosque es manejado para regenerarse naturalmente o con la ayuda de medidas de silvicultura (WWF 2015).

2.3.2. Clasificación Digital

Es el proceso por el que se asigna un píxel de una imagen multiespectral a una de las categorías de la leyenda, generalmente sobre la base de similitudes entre los valores numéricos que las definen. Proceso de gran importancia en la interpretación de imágenes por el cual se asigna a cada uno de los píxeles un número de clase basado en la reflectancia en una o más bandas. (Chuvieco, 1995).

2.3.3. Filtro

Proceso selectivo por el cual se eliminan ciertas frecuencias espectrales, con el fin de realzar determinadas características o elementos producto del procesamiento de una imagen satelital. (Chuvieco, 1995).

2.3.4. Multiespectralidad.

Los sensores embarcados en los satélites, obtienen información para un número elevado de longitudes de onda del espectro electromagnético, aunque generalmente se centran en el visible, infrarrojo y en las microondas, debido a su mejor transmisión atmosférica. Con ello, se supera el concepto del "color" y se puede obtener información a través de parámetros "nuevos" como la temperatura o la rugosidad superficial, algunos de los cuales escapan a nuestra capacidad

sensorial. Con ello, ofrecen la posibilidad de interpretar a los objetos a través de su respuesta, no en una, sino en varias longitudes de onda

2.3.5. Leyenda Corine Land Cover

Leyenda que contiene los principales tipos de coberturas planteadas para la realidad peruana, se basa en estudios Europeos que fueron adaptados a Sudamérica.

2.3.6. DEM

Conjunto de datos que contienen medidas de elevación del terreno, aplicando procedimientos fotogramétricos a pares de imágenes estereoscópicas solapadas.

2.3.7. Fases por pendientes

Se refiere a la inclinación que presenta la superficie del suelo con respecto a la horizontal; está expresada en porcentaje, es decir la diferencia de altura en 100 metros horizontales.

Tabla 12. Clasificación de fases por pendiente.

Término descriptivo	Rango (%)	Símbolo
Plana o casi a nivel	0 – 2	A
Ligeramente inclinada	2 - 4	B
Moderadamente inclinada	4 – 8	C
Fuertemente inclinada	8 - 15	D
Moderadamente empinada	15 – 25	E
Empinada	25 – 50	F
Muy empinada	50 – 75	G
Extremadamente empinada	> 75	H

Fuente: Alcántara (2011).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción general del área de estudio

3.1.1. Ubicación

El área de estudio comprende todo el distrito de Chadín, el cual se ubica en la provincia de Chota, departamento de Cajamarca, a una altitud comprendida entre los 1450 y 300 msnm. Es uno de los 19 distritos que conforman la provincia de Chota, en el norte del Perú. Limita con los siguientes distritos:

- **Norte:** Choropampa
- **Este:** Choropampa y Cortegana
- **Sur:** Paccha y Chalarmarca
- **Oeste:** Tacabamba y Chalarmarca

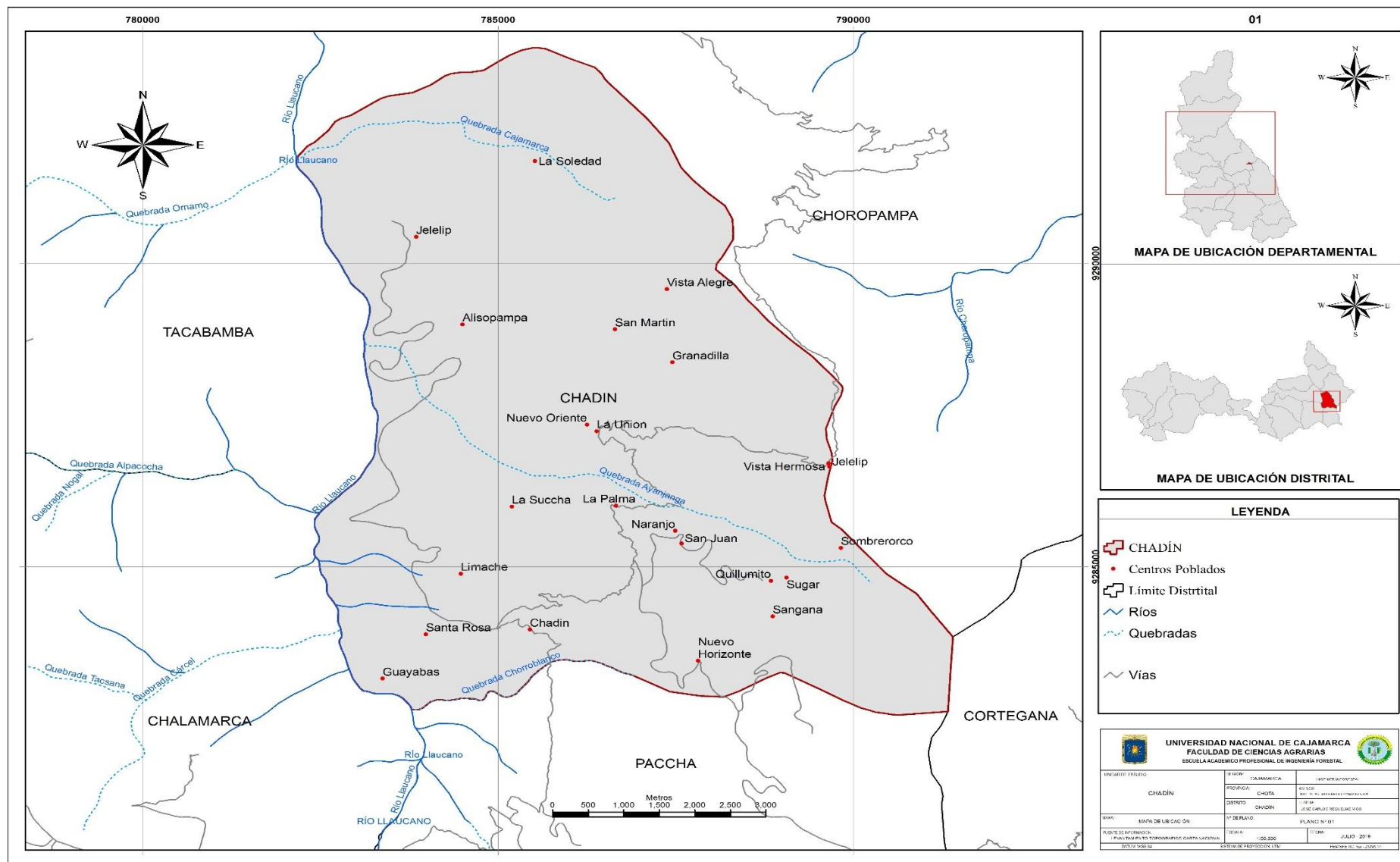


Figura 9. Mapa de Ubicación del Área de estudio.

3.1.2. Demografía

Según el INEI (2017) la población del distrito de Chadín, en el año 2000 tenía 4511 habitantes, de los cuales 424 habitaban en la zona urbana y 4087 en la zona rural. En el año 2017 tenía 3449 habitantes, de los cuales 482 habitaban en la zona urbana y 2967 en la zona rural. En estos 17 años la población se ha reducido en 1062 habitantes. Esto debido principalmente a la migración de sus habitantes a las ciudades grandes como Cajamarca y Lima.

3.1.3. Vías de comunicación

El distrito de Chadín cuenta con una vía principal que lo conecta con la ciudad de Cajamarca, que es la carretera asfaltada Cajamarca – Bambamarca, en el primer tramo y posteriormente se sigue por trocha carrozable - Chalamarca – Paccha – Chadín.

3.1.4. Hidrografía

El distrito de Chadín pertenece a la cuenca del río Llaucano. Este último constituye el lindero entre el distrito de Chadín – Tacabamba y Chalamarca y es la principal fuente de agua para la zona occidental del distrito. Además cuenta con 3 quebradas principales que discurren sus aguas por gran parte del distrito, que son las quebradas Cajamarca, Ayanjanga y Chorroblando.

3.1.5. Clima

Ecológicamente, el distrito de Chadín se caracteriza por la dominancia de un clima frío y a veces cálido y húmedo, según la época del año. La temperatura varía de 12 a 17 °C. La temperatura promedio anual en la zona es 15°C, alcanzando promedios máximos y mínimos extremos de 25°C Y 9°C respectivamente. La precipitación promedio anual es de 1500mm (SENAMHI 2016).

3.1.6. Suelos

Según Poma y Alcántara (2011) en la zona de estudio existen 4 tipos de suelo, los cuales se describen en la tabla 13.

Tabla 13. Tipos de suelo en el distrito de Chadín.

Tipo	Código	Origen	Pendiente	Profundidad efectiva	Drenaje	Materia Orgánica
Cambisol -Leptosol	B-L	Montañas sedimentarias formadas sobre una secuencia de margas y calizas gris parduzcas en bancos más o menos uniformes.	Superficie fuertemente empinada	Muy superficial	Excesivo	Bajo
Regosol	R	Montañas sedimentarias formadas sobre areniscas, lutitas y margas con intercalaciones calcáreas.	Superficie empinada	Superficial	Algo excesivo	Alto
Leptosol- Regosol	L-R	Montañas sedimentarias formadas sobre una secuencia de margas y calizas gris parduzcas en bancos más o menos uniformes.	Superficie fuertemente empinada	Muy superficial	Excesivo	Bajo
Leptosol	L	Montañas sedimentarias formadas sobre una secuencia de margas y calizas gris parduzcas en bancos más o menos uniformes.	Superficie fuertemente empinada	Muy superficial	Excesivo	Bajo

3.1.7. Orografía

Según del mapa de pendientes obtenido por elaboración propia, la orografía del terreno en la zona de estudio es accidentado, tiene una fisiografía agreste, suelos con pendientes variables, que van desde casi planos en una muy pequeña proporción (0.06%), hasta extremadamente empinados (de 0 a >75 % de pendiente) cuyas áreas y la proporción que representa se especifica en la tabla 14.

Tabla 14. Clasificación de fases por pendiente.

Término descriptivo	Rango (%)	Símbolo	Área (ha)	% que representa
Plano o casi a nivel	0 - 2	A	4.07	0.06
Ligeramente inclinada	2 - 4	B	10.32	0.16
Moderadamente inclinada	4 - 8	C	48.55	0.75
Fuertemente inclinada	8 - 15	D	191.52	2.95
Moderadamente empinada	15 - 25	E	551.49	8.50
Empinada	25 - 50	F	2543.12	39.21
Muy empinada	50 - 75	G	1885.21	29.06
Extremadamente empinada	> 75	H	1251.98	19.30
Total			6486.26	100

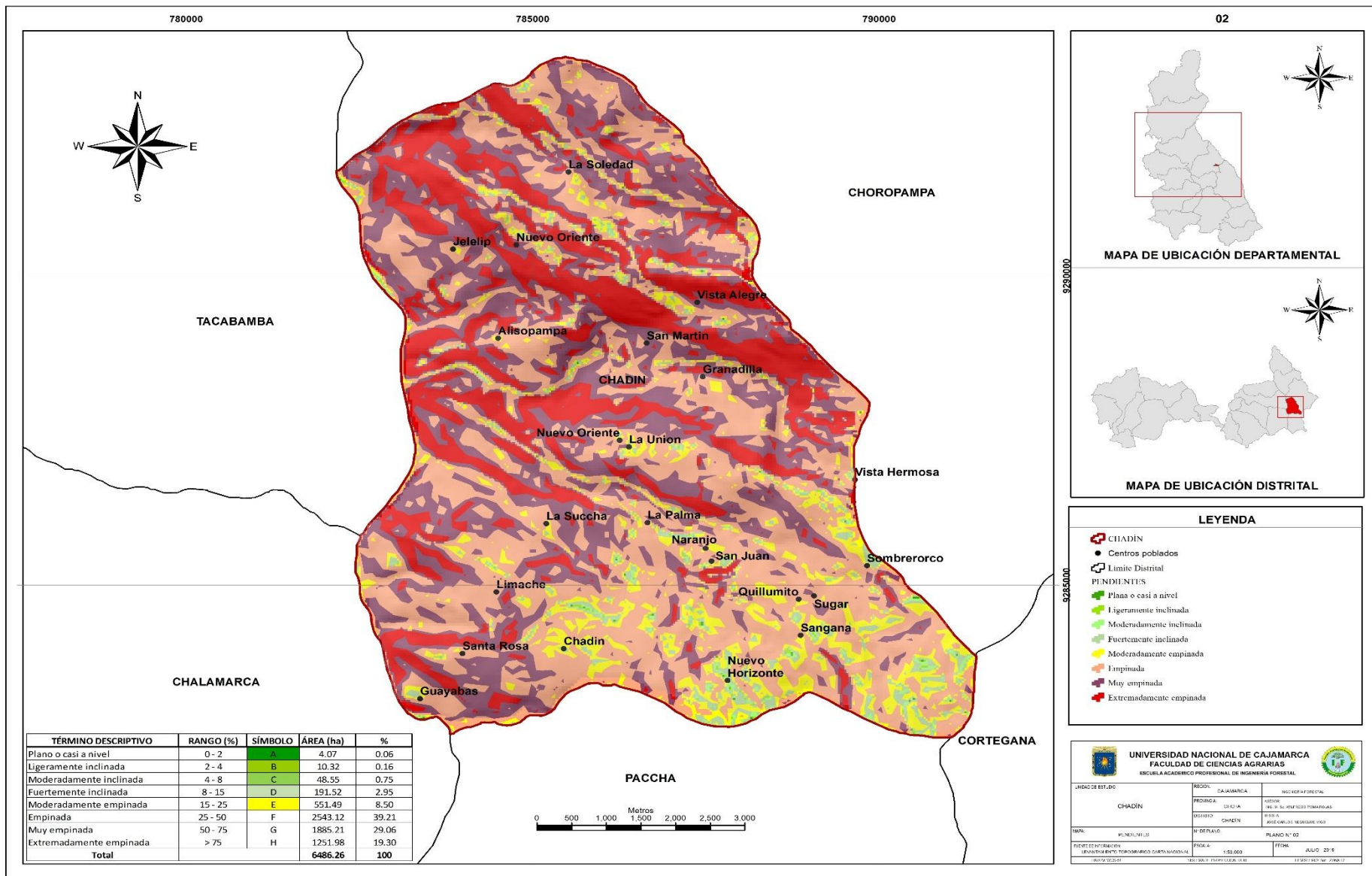


Figura 10. Orografía del distrito de Chadín (Elaboración propia)

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales de campo

- Libreta de campo
- Formatos de campo
- Wincha

3.2.2. Equipos de campo

- Receptor GPS
- Cámara fotográfica semi profesional

3.2.3. Materiales y equipos de gabinete

- Laptop
- Impresora
- Escáner
- Materiales de escritorio

3.2.4. Material cartográfico

- Carta Nacional del Perú a escala 1: 100 000.
- Mapa de cambios del ZEE Cajamarca
- Shapefile del distrito obtenido del gobierno regional de Cajamarca y base de datos ZEE Cajamarca.
- Imágenes satelitales

3.2.5. Software

- Microsoft Windows 8
- Microsoft office 2016
- ArcGIS 10.5
- QGis

3.3. Metodología

La metodología para el análisis de la pérdida de cobertura boscosa y cambio de uso del suelo, períodos 2000 – 2018 en el distrito de Chadín, Chota, se basó en la obtención, procesamiento y análisis de imágenes satelitales de los satélites Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8 y Sentinel 2^a, de los años 2000, 2005, 2010, 2015, y 2018; esto para determinar en qué año hubo mayor pérdida de cobertura boscosa y así obtener a mayor detalle los resultados. Así mismo se utilizó imágenes Pleiades (imágenes satelitales de alta resolución) como imágenes de fondo, esto para realizar una comparación y verificación de las coberturas obtenidas en el mapa preliminar del año 2018 con las coberturas que se muestra en la imagen Pleiades.

Para la clasificación de las coberturas y generación de los mapas temáticos se basó en la leyenda Corin Land Cover, en su nivel III (metodología del Ministerio del Ambiente). Todos los procesos mencionados anteriormente se desarrollaron en 3 etapas, descritas a continuación.

3.3.1. Fase inicial de gabinete

3.3.1.1. Recopilación y selección de información

Se recopiló información cartográfica, como el mapa base de cobertura para el año 2018 desarrollada por la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) Cajamarca, mapa de uso actual del suelo del distrito de Chadín, el modelo de elevación digital (DEM), shapefiles de la zona (límite distrital, vías, ríos, centros poblados, etc), obtenida de la página oficial del Ministerio del Ambiente (MINAM).

a) Selección y descarga de imágenes landsat

Las imágenes satelitales Landsat y Sentinel 2A del distrito de Chadín, fueron adquiridas de los servidores: <https://earthexplorer.usgs.gov/> y <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> respectivamente, vía internet, mientras que la imagen Pleiades se lo obtuvo del Consorcio Nipsa Eptisa. Este

material constituyó la información básica para el análisis de la pérdida de cobertura boscosa y cambio de uso de la tierra, cuyas especificaciones para cada imagen se detallan en la Tabla 15.

Tabla 15. Características de las imágenes satelitales utilizadas.

Imagen	Satélite	Fecha en la que fue tomada	Bandas utilizadas	Año a evaluar
L71009064_06420001109	Landsat 7	09/11/2000	B3 y B4	2000
LT05L1TP009064_20051017	Landsat 5	17/10/2005	B3 y B4	2005
LT05L1TP009064_20100609	Landsat 5	09/06/2010	B3 y B4	2010
LC08L1TP009064_20150825	Landsat 8	25/08/2015	B4 y B5	2015
LC08L1TP009064_20181205	Landsat 8	05/12/2018	B4 y B5	2018
T17MQN_20181205T152631	Sentinel 2A	05/12/2018	B4 y B8	2018
PMSN_201807251540121	Pleiades	25/07/2018	--	--

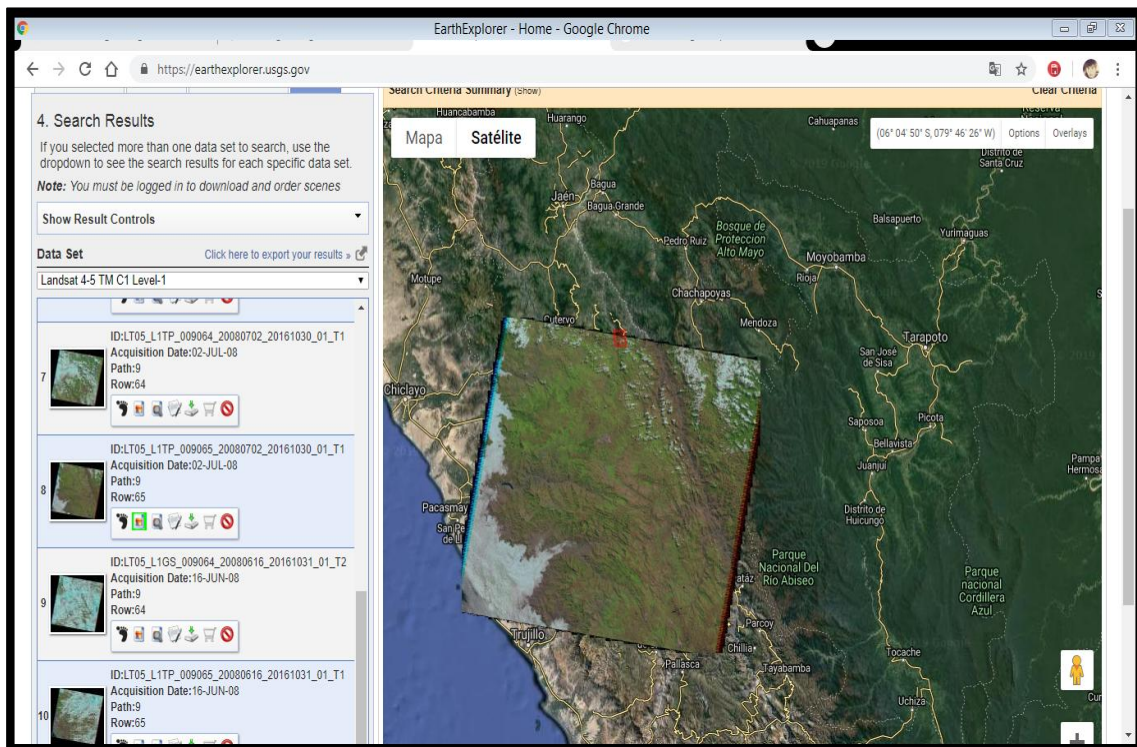


Figura 11. Descarga de imágenes Landsat.

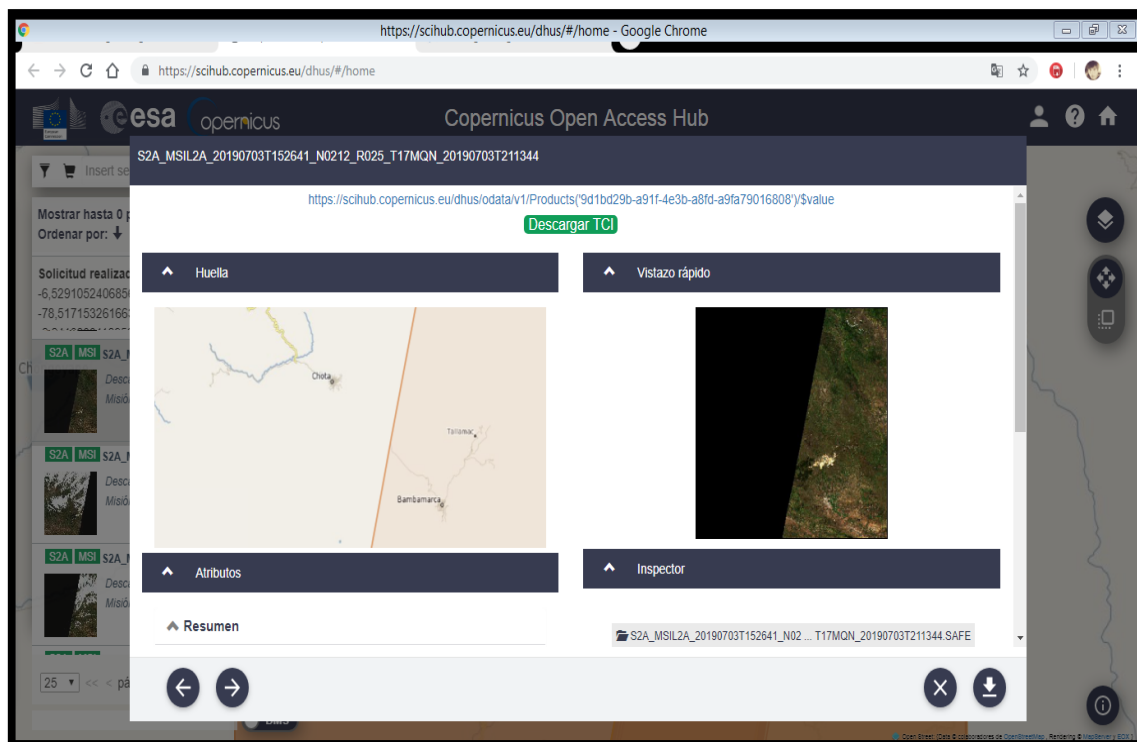


Figura 12. Descarga de imágenes Sentinel 2ª.

3.3.1.2. Tratamientos digitales y clasificación por coberturas de las imágenes obtenidas

a) Recorte del área de interés

Cada imagen satelital obtenida abarca una extensa superficie de la tierra, dentro de la cual se encuentra contenida la zona de estudio, por esta razón se procede a recortar el área de interés, ya que es a esta porción de la imagen a la que se realizará los tratamientos digitales necesarios.

Para este proceso, en el software ArcMAP 10.5 se cargan las bandas del rojo visible, el infrarrojo cercano y la multiespectral de cada imagen satelital obtenida en el proceso anterior, posteriormente se carga el shapefile que contiene el límite del distrito en estudio y se procede a ejecutar el recorte.

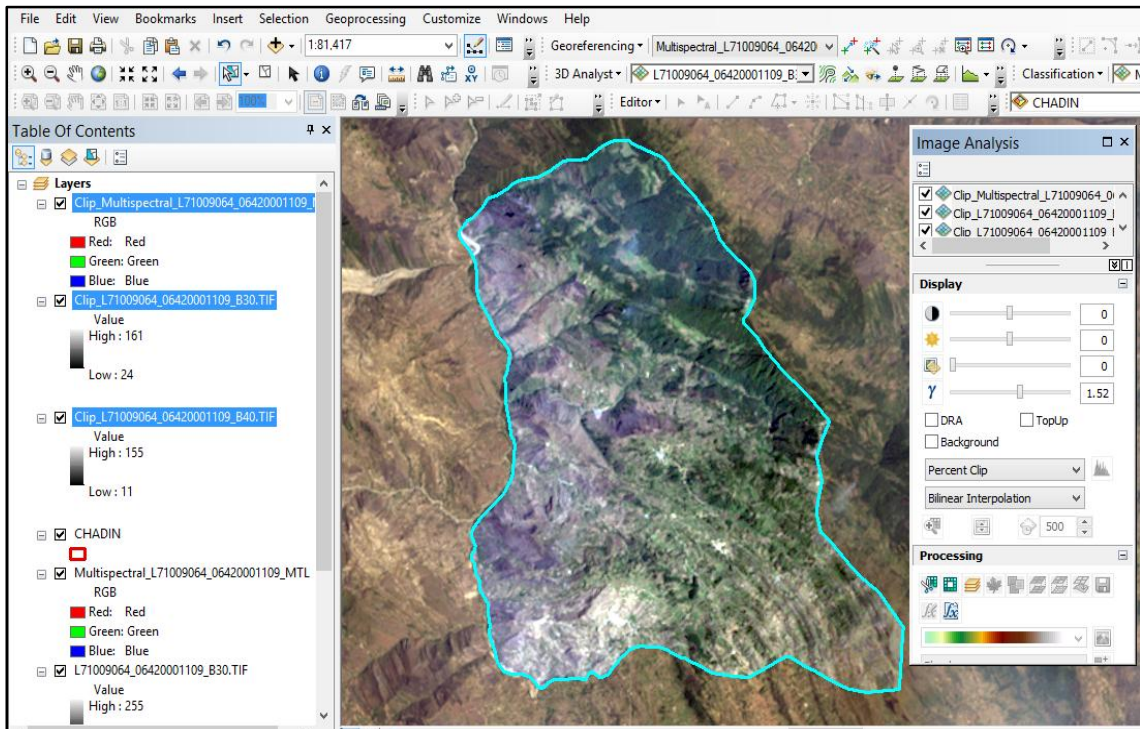


Figura 13. Recorte del área del distrito de Chadín.

b) Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Una vez obtenido la porción de la imagen con el área de interés se procede a calcular el NDVI para cada una de las imágenes de los años a evaluar. Esto aplicando el algoritmo algebraico detallado en la figura 8 a las bandas del infrarrojo cercano y el rojo visible de cada imagen satelital, cabe resaltar que las bandas utilizadas para cada imagen son diferentes según el tipo de satélite del que se las haya obtenido; estas bandas se detallan en la tabla 10.

Producto de este proceso se obtiene un archivo en formato raster que contiene las coberturas del suelo, a partir de una clasificación preliminar de dichas coberturas que el software identifica.

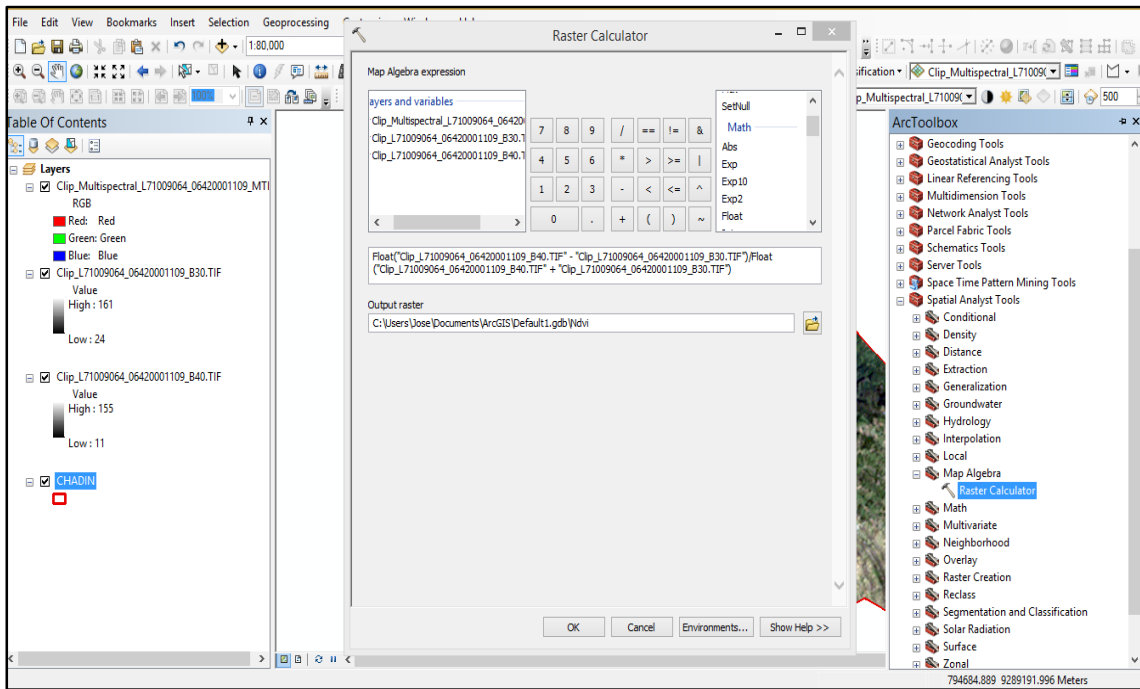


Figura 14. Aplicación del NDVI.

c) Proyección del archivo raster

Debido a que las imágenes obtenidas tienen un sistema de proyección diferente a la que se trabaja en nuestro medio y a las distorsiones que sufren al momento de su toma, es necesario asignar al archivo raster resultante del proceso anterior, un sistema de proyección cartográfica específica, que para este caso será: WGS 1984 UTM Zona 17S.

Con este proceso se logra que cada pixel represente una posición verdadera sobre el terreno y así obtener datos reales y precisos.

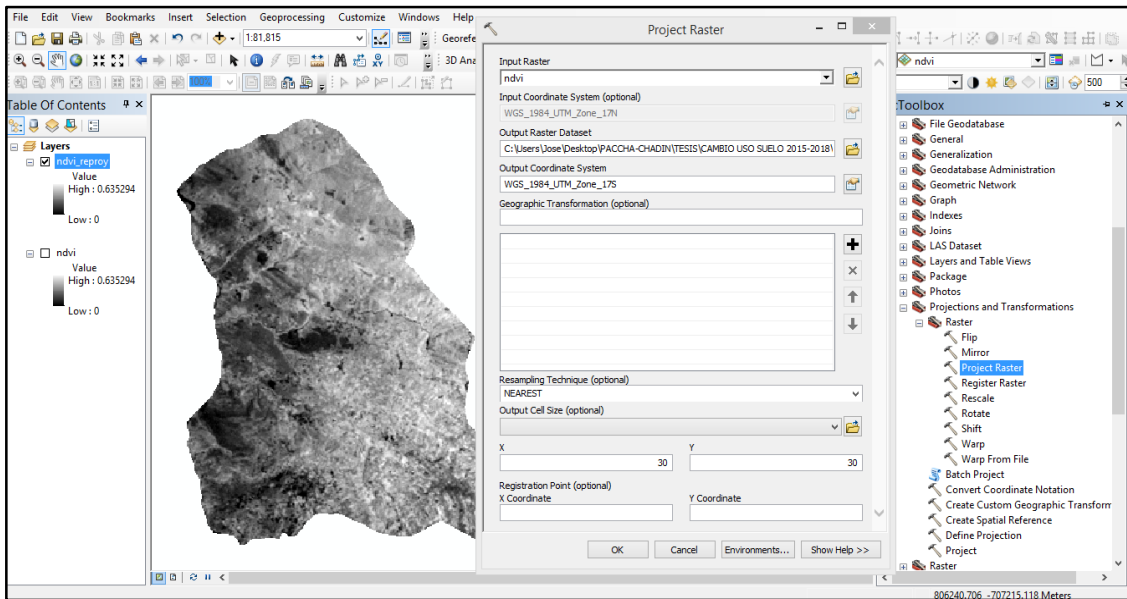


Figura 15. Proyección del archivo raster.

d) Clasificación por cobertura

De los procesos anteriores se obtiene un archivo raster que contiene las coberturas definidas de forma preliminar, se procede a verificar la información obtenida de acuerdo a los valores de reflectancia de cada cobertura y de ser necesario se realiza los ajustes correspondientes.

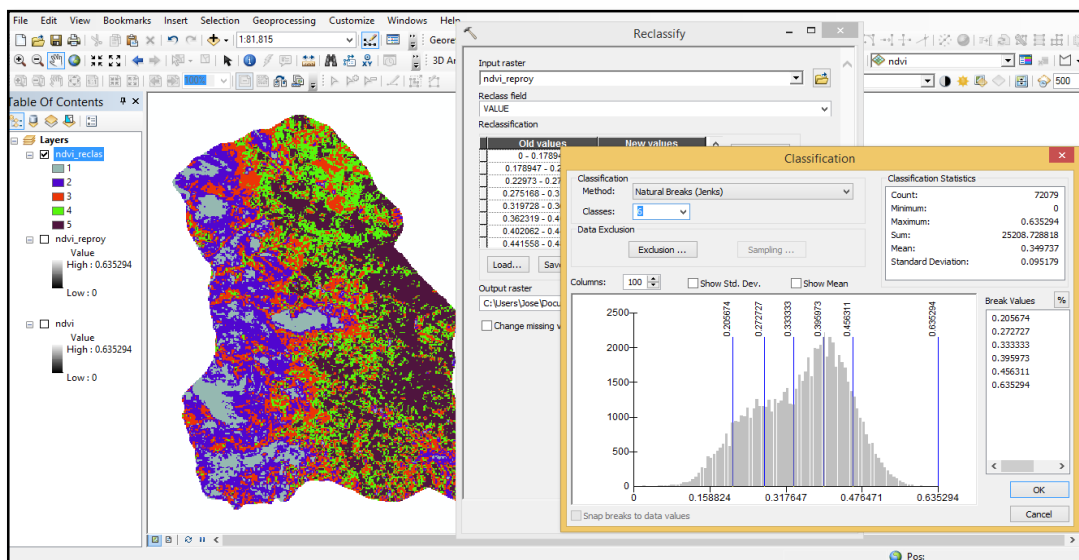


Figura 16. Clasificación por coberturas.

e) Filtrado del archivo raster obtenido

El archivo raster que contiene las coberturas definidas tiene que pasar por un proceso de filtrado, con la finalidad de eliminar ciertas frecuencias espectrales y así realzar determinadas características, ya que las imágenes satelitales utilizadas son altamente sujetas a efectos del ruido debido al procesamiento de señales dispersas y a la interferencia de ondas electromagnéticas dispersas de las superficies u objetos, alterando de alguna forma los resultados.

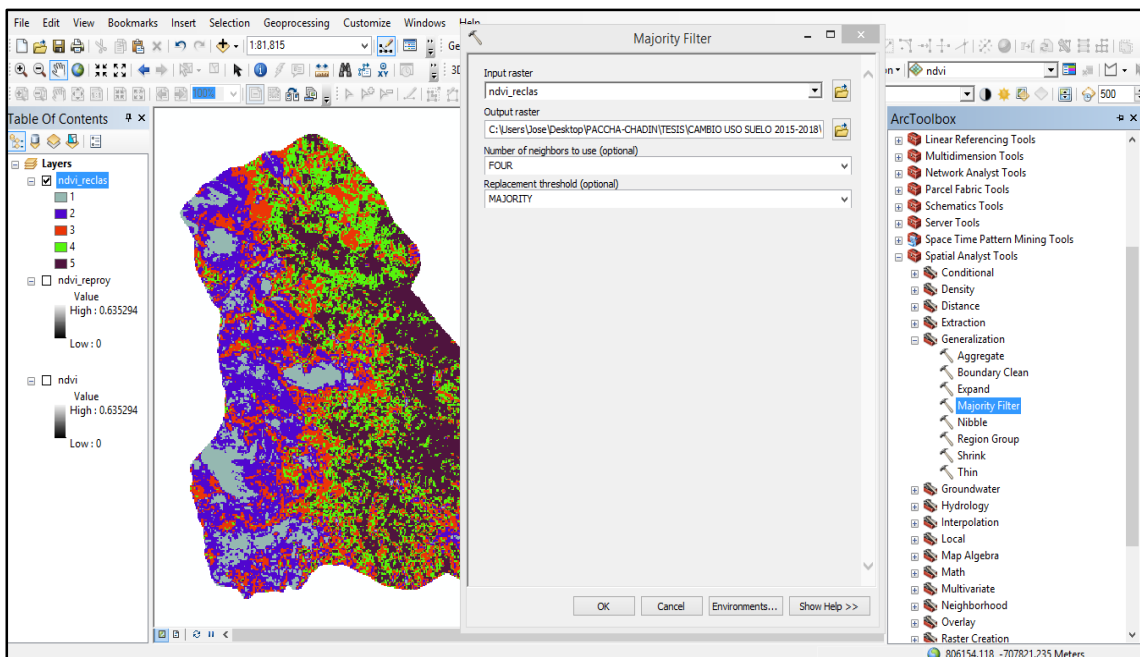


Figura 17. Filtrado del archivo raster.

f) Conversión del archivo raster a vector

Este proceso se lo realiza con la finalidad de tener un archivo que nos permita realizar cálculos estadísticos y matemáticos, como cálculo de áreas, perímetros, distancias, etc.

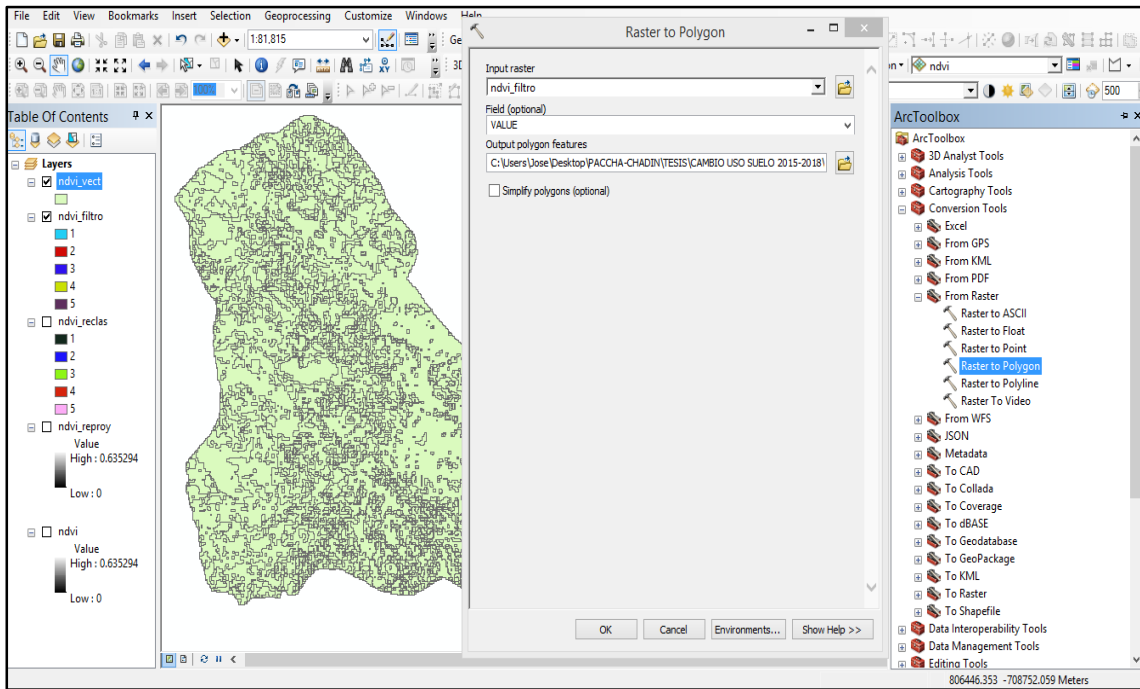


Figura 18. Conversión del archivo raster a vector.

g) Generalización de polígonos con áreas muy pequeñas

De acuerdo a la unidad mínima cartografiada para la escala en la que se ha trabajado (1:50 000), el área mínima de un polígono para que sea representado en el mapa, es de 4 hectáreas, por lo que el archivo vectorial resultante del proceso anterior tiene que pasar por un proceso de generalización con la finalidad de descartar polígonos con áreas menores a las 4 hectáreas.

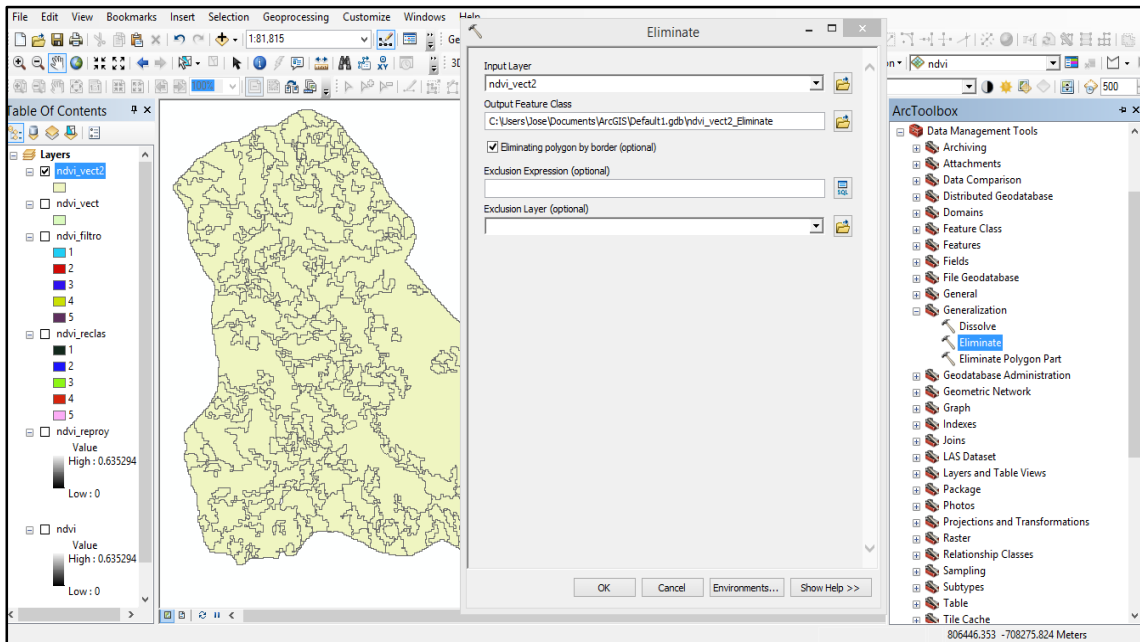


Figura 19. Generalización de polígonos con áreas menores a 4 ha.

3.3.2. Fase de campo

El trabajo de campo tuvo como propósito realizar la verificación de las unidades de cobertura identificadas, delimitadas e interpretadas mediante el procesamiento de las imágenes satelitales. Para ello se programaron los trabajos de campo, de modo que se verifique la veracidad o de lo contrario se efectúe las correcciones necesarias para garantizar calidad de los resultados.

El trabajo de campo se realizó en dos fases, las cuales fueron:

3.3.2.1. Preparación del trabajo de campo

Se realizó previa a la salida a campo y consistió en preparar todo el material necesario como el mapa preliminar de cobertura del año 2018, obtenido del procesamiento de las imágenes satelitales en la fase de gabinete, leyenda de la nomenclatura de las coberturas previamente definida, hoja con Impresión en A1 de la zona de estudio (imagen satelital pleiades), cartografía básica impresa en hoja A3 (vías, red hidrográfica, centros poblados y caseríos) con el mayor detalle posible, cámara fotográfica digital, formatos de campo.

Se hizo la evaluación de las condiciones de acceso a la zona de estudio y se formuló la ruta del recorrido para verificación y toma de puntos necesarios.

3.3.2.2. Verificación de la información en campo

Esta fase consistió en comparar y verificar en campo, las coberturas definidas en gabinete, mediante dos procesos. El primero de ellos mediante la digitalización de polígonos sobre la imagen satelital impresa, de acuerdo a las coberturas identificadas en campo y la siguiente a través de la toma de puntos (coordenadas geográficas) al azar mediante un receptor GPS, cada punto con su descripción correspondiente, durante todo el recorrido de la zona de estudio, para posteriormente hacer la verificación en gabinete.

Estos dos procesos se realizaron de forma simultánea, conforme se realizaba el recorrido por la zona de estudio.

3.3.3. Fase final de gabinete

3.3.3.1. Verificación de la información en gabinete

Una vez realizado el recorrido y la recopilación de la información en campo, se procedió a procesar dicha información en gabinete y realizar la verificación correspondiente, cuyo proceso consistió en cargar las coordenadas en el mapa preliminar del año 2018 a través del software ArcGIS 10.5 y comparar la información contenida en el mapa con la descripción de cada punto levantado, de tal modo haya concordancia en los resultados.

3.3.3.2. Elaboración del mapa de transiciones

Para elaborar el mapa de transiciones se trabajó en el software ArcMAP 10.5 con la matriz de transiciones, detallada en la Tabla 16, la cual consistió

en asignar a cada cobertura obtenida, un código diferente (10, 20, 30, 40, 50 y 60 para las coberturas del año 2000 y 1, 2, 3, 4, 5 y 6 para las coberturas del año 2018), de tal manera que al realizar los procesos digitales correspondientes, se obtengan combinaciones numéricas que señalan el cambio ocurrido. Las combinaciones numéricas resaltadas de color verde señalan que no ha ocurrido ningún cambio (la cobertura se ha mantenido igual), mientras que las combinaciones numéricas resaltadas de color celeste señalan el cambio que ha ocurrido. Por ejemplo el número 22 señala que en el año 2000 cierta superficie estaba ocupada por suelo desnudo y que para el año 2018 esta cobertura se mantenía sin cambios, mientras que el número 23 señala que, la cobertura que para el año 2000 era suelo desnudo; para el año 2018 había cambiado a cultivos transitorios.

Tabla 16. Matriz de transiciones.

Matriz de transición		2018						
		Cobertura	Infraestructura urbana	Suelo desnudo	Cultivos transitorios	Pastos	Bosque fragmentado	Bosque denso
2000	Cobertura	Código	1	2	3	4	5	6
	Infraestructura urbana	10	11	12	13	14	15	16
	suelo desnudo	20	21	22	23	24	25	26
	Cultivos transitorios	30	31	32	33	34	35	36
	Pastos	40	41	42	43	44	45	46
	Bosque fragmentado	50	51	52	53	54	55	56
	Bosque denso	60	61	62	63	64	65	66

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4. Coberturas del suelo en el distrito de Chadín, Chota, período 2000 – 2018

3.4.1. Descripción de las coberturas del suelo del distrito de Chadín

Se identificaron 6 coberturas las cuales han sido denominadas en base a la leyenda Corin Land Cover. Cada una de estas categorías sirvió para realizar el análisis cuantitativo y cualitativo (análisis multi temporal) de la zona de estudio.

a) Infraestructura urbana (lu)

La infraestructura urbana en el distrito de Chadín para el año 2018 ocupa 77.36 ha de su superficie. Esta cobertura incluye los espacios cubiertos por viviendas, infraestructura urbana municipal y redes de comunicación como carreteras y caminos, que conforman un tejido urbano.



Figura 20. Infraestructura urbana - distrito de Chadín (imagen Pleiades 2018).



Figura 21. Infraestructura urbana – centro poblado La Palma.

b) Suelos desnudos (Sd)

Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación o relacionado a la época del año, también incluye terrenos constituidos por capas de rocas expuestas, sin desarrollo de vegetación, ubicadas generalmente en laderas abruptas formando escarpes y acantilados. Esta cobertura ocupa un área de 262.15 ha del distrito de Chadín para el año 2018.

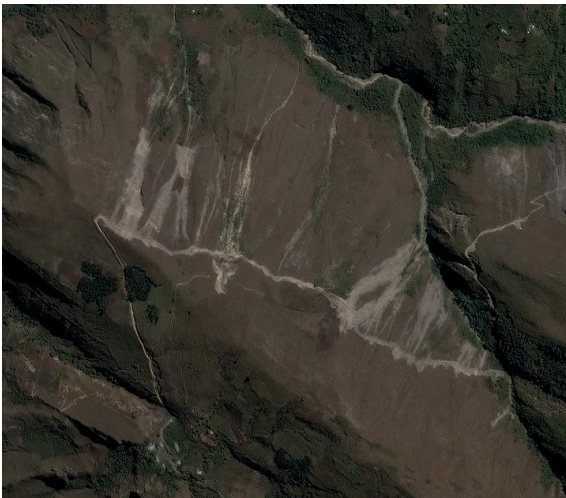


Figura 22. Zonas de derrumbe – centro poblado La Unión.



Figura 23. Afloramientos rocosos – caserío La Soledad.

c) Cultivos transitorios (Ct)

Comprende superficies ocupadas por cultivos transitorios en combinación con coberturas herbáceas naturales ralas. Esta cobertura ocupa un área de 1075.71 ha, para el 2018, lo que representa un 16.5 % de la superficie total de la unidad de estudio.



Figura 24. Cultivos transitorios – caserío Guayabas.



Figura 25. Cultivo de yuca – caserío Santa Rosa.

d) Pastos (Ps)

Esta cobertura incluye pastos cultivados, y pastos naturales principalmente destinados a la actividad ganadera, cuya actividad productiva es la más importante en la zona de estudio. Esta cobertura ocupa un área de 1740.11 ha para el año 2018.



Figura 26. Pastos en el centro poblado La Palma.

e) Bosque fragmentado (Bf)

Esta cobertura está conformada por bosques naturales, donde ha ocurrido intervención humana, generalmente transformadas en el interior de la cobertura, originando parches donde hay o hubo presencia de coberturas antrópicas como pastos o cultivos pero con poca ocurrencia. Esta cobertura es la que más territorio ocupa y se extiende a lo largo de todo el distrito, ocupa un área de 2162.28 ha para el año 2018.



Figura 27. Bosque fragmentado – Caserío Nuevo Oriente

f) Bosque denso (Bd)

Esta cobertura está constituida por una comunidad vegetal típicamente arbórea que no han sufrido intervención antrópica alguna, contiene una gran diversidad de especies y ocupa un área de 1168.65 ha para el 2018.



Figura 28. Bosque denso – Caserío La Soledad.

3.4.2. Áreas de las coberturas obtenidas para los años 2000 y 2018

Del procesamiento y análisis de las imágenes satelitales, se obtuvieron los mapas de cobertura para cada año evaluado, así mismo las transiciones ocurridas en este período.

3.4.2.1. Coberturas del suelo para el año 2000

Según la figura 30 se tiene que:

- **La cobertura, infraestructura urbana:** ocupaba una extensión de 42.79 ha, de la superficie del distrito de Chadín, representando el 0.66 % del total de la unidad de estudio.
- **Los suelos desnudos:** ocupaban 610.66 ha, de la superficie del distrito de Chadín, el valor más grande registrado para ese año, en todo el período evaluado. Esto debido a que para ese año se identificaron extensas áreas quemadas. Esta cobertura representaba el 9.41 % del total de la unidad de estudio.

- **La cobertura cultivos transitorios:** ocupaba una extensión de 1200.26 ha, de la superficie del distrito de Chadín, representando el 18.50 % del total de la unidad de estudio.
- **La cobertura pastos:** ocupaba 1269.17 ha, de la superficie del distrito de Chadín, representando el 19.57 % del total de la unidad de estudio.
- **La cobertura bosque fragmentado:** ocupaba 1871.20 ha, de la superficie del distrito de Chadín, lo que representaba el 28.85 % del total de la unidad de estudio.
- **El bosque denso:** ocupaba 1492.18 ha, de la superficie del distrito de Chadín, lo que representaba el 23.01 % del total de la unidad de estudio.
Dichos resultados se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 17. Cobertura del suelo para el año 2000.

Categoría	Símbolo	Área (ha)
Infraestructura urbana	Iu	42.79
Suelos desnudos	Sd	610.66
Cultivos transitorios	Ct	1200.26
Pastos	Ps	1269.17
Bosque fragmentado	Bf	1871.20
Bosque denso	Bd	1492.18
Total		6486.26

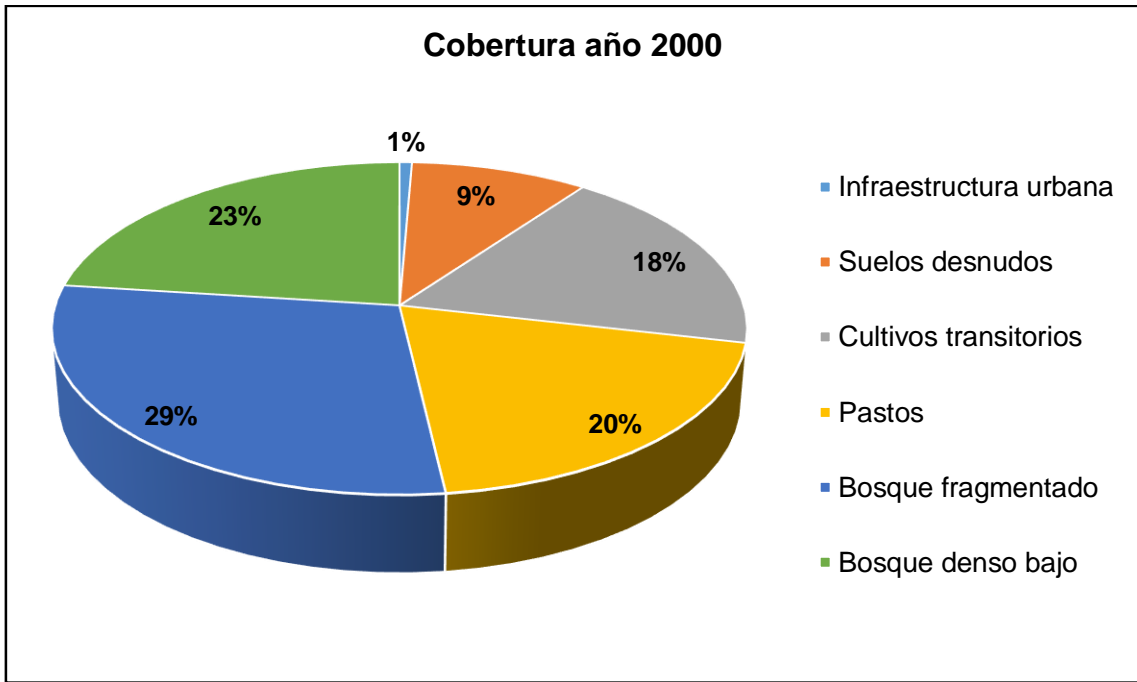


Figura 29. Cobertura del suelo para el año 2000.

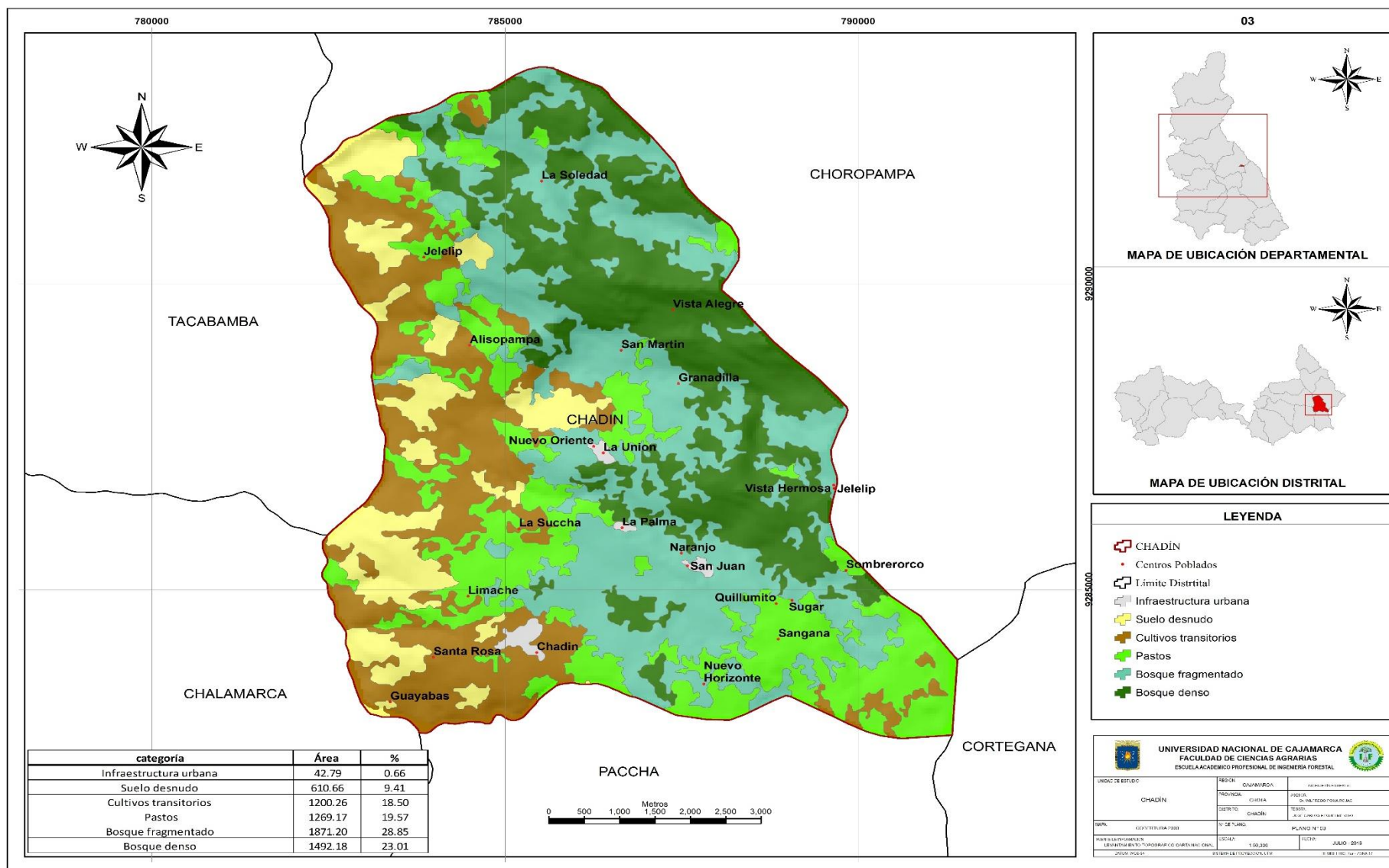


Figura 30. Mapa de cobertura del distrito de Chadín para el año 2000.

3.4.2.2. Coberturas del suelo para el año 2018

Según la figura 32 se tiene que:

- **La cobertura infraestructura urbana:** ocupa un área de 77.36 ha, lo que representa el 1.19% del total de la unidad de estudio.
- **La cobertura suelos desnudos:** ocupa un área de 262.15 ha, de la superficie del distrito de Chadín, lo que representa el 4.04% del total de la unidad de estudio.
- **La cobertura cultivos transitorios:** ocupa un área de 1075.71 ha, de la superficie del distrito de Chadín, lo que representa el 16.58 % del total de la unidad de estudio.
- **Los pastos:** ocupa un área de 1740.11 ha, de la superficie del distrito de Chadín, lo que representa el 26.83% del total de la unidad de estudio.
- **La cobertura bosque fragmentado:** ocupa una extensión de 2162.28 ha, de la superficie del distrito de Chadín, lo que representa el 33.34% del total de la unidad de estudio.
- **La cobertura bosque denso:** ocupa una extensión de 1168.65 ha de la superficie del distrito de Chadín, lo que representa el 18.02% del total de la unidad de estudio.

Tabla 18. Cobertura del su elo en el año 2018.

Categoría	Símbolo	Área (ha)
Infraestructura urbana	Iu	77.36
Suelos desnudos	Sd	262.15
Cultivos transitorios	Ct	1075.71
Pastos	Ps	1740.11
Bosque fragmentado	Bf	2162.28
Bosque denso	Bd	1168.65
Total		6486.26

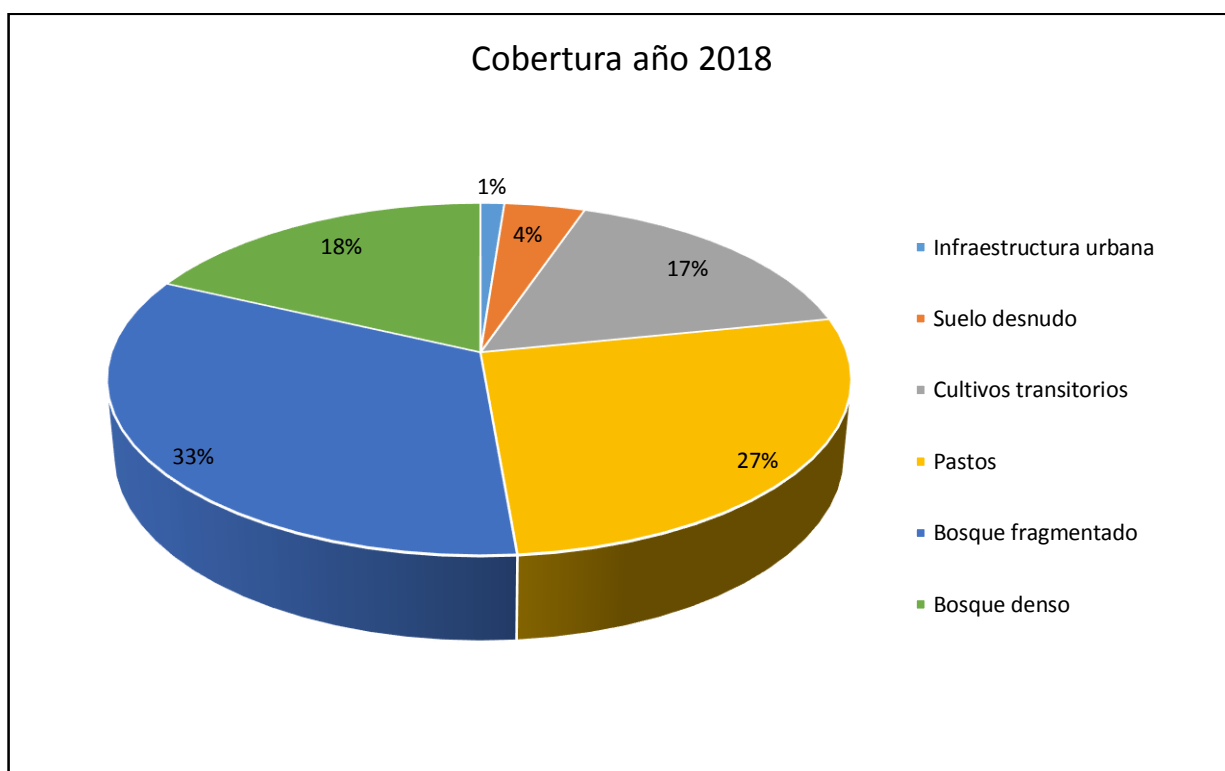


Figura 31. Cobertura del suelo en el año 2018.

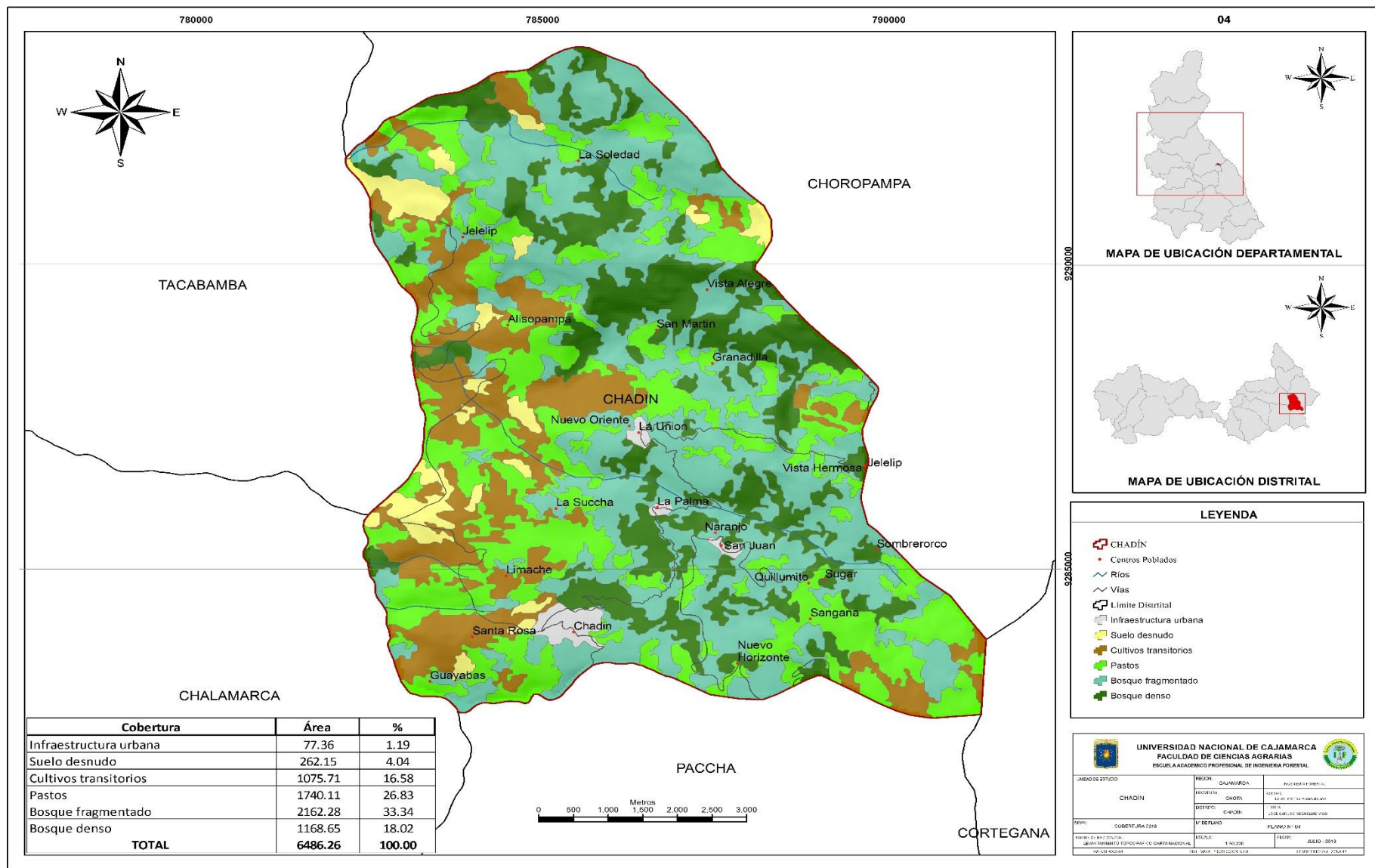


Figura 32. Mapa de cobertura del distrito de Chadín en el año 2018.

3.4.3. Variación de las coberturas ocurridas durante el período 2000 – 2018.

Tabla 19. Cobertura del suelo en los años evaluados según categorías.

Categoría	Área por año evaluado (ha)				
	2000	2005	2010	2015	2018
Infraestructura urbana	42.79	59.54	67.39	69.03	77.36
Suelos desnudos	610.66	486.31	357.12	372.60	262.15
Cultivos transitorios	1200.26	1357.31	1056.63	1238.00	1075.71
Pastos	1269.17	1415.52	1597.84	1636.79	1740.11
Bosque fragmentado	1871.20	1861.52	2086.22	2010.44	2162.28
Bosque denso	1492.18	1306.06	1321.06	1159.40	1168.65
Total	6486.26	6486.26	6486.26	6486.26	6486.26

De la Tabla 19 se determina la variación en que ha experimentado cada cobertura en cuanto a su superficie, durante el período evaluado; determinándose lo siguiente:

- **Infraestructura urbana.** Esta cobertura ha experimentado un incremento constante de su superficie en todos los años evaluados, obteniéndose un incremento de 34.57 ha durante todo el período evaluado. Esto debido a la evidente expansión urbana, ocurrida en la capital del distrito principalmente y a la construcción de infraestructura municipal, como carreteras, reservorios, instituciones educativas, etc.
- **Suelo desnudo.** La superficie de esta cobertura ha ido reduciendo para cada año evaluado, teniéndose una reducción de 348.51 ha de su superficie durante todo el período evaluado. La razón de esta gran diferencia es que para el año 2000 se registraron zonas quemadas, que conformaban una extensa área, la misma que ha ido regenerándose en el transcurso del tiempo, esto según el análisis de las imágenes satelitales.

- **Cultivos transitorios.** Esta cobertura experimentó una reducción de 124.55 ha de su superficie. Esto debido al abandono de ciertas áreas agrícolas porque la gente migra o porque dejan descansar sus terrenos.
- **Cobertura pastos.** Esta cobertura a incrementado su superficie en 470.94 ha, durante este período. Este incremento resultante se debe a la expansión de la actividad ganadera principalmente, aunque también se debe al abandono de tierras agrícolas, las mismas que son reemplazadas por vegetación herbácea.
- **Bosque fragmentado.** Durante el período evaluado, esta cobertura a experimentado un incremento constante en su superficie con 291.08 ha; esto se debe a la deforestación del bosque denso, con fines de aprovechamiento de la madera, la cual se realiza mediante tala selectiva y por expansión de la frontera agrícola y ganadera.
- **La cobertura bosque denso.** Esta cobertura a reducido su superficie en 323.53 ha, durante este período, esto debido a que se viene deforestando el bosque primario para aprovechar la madera como fuente de energía sin tener en cuenta ningún criterio técnico, y por la intensificación de la actividad agropecuaria en la zona.

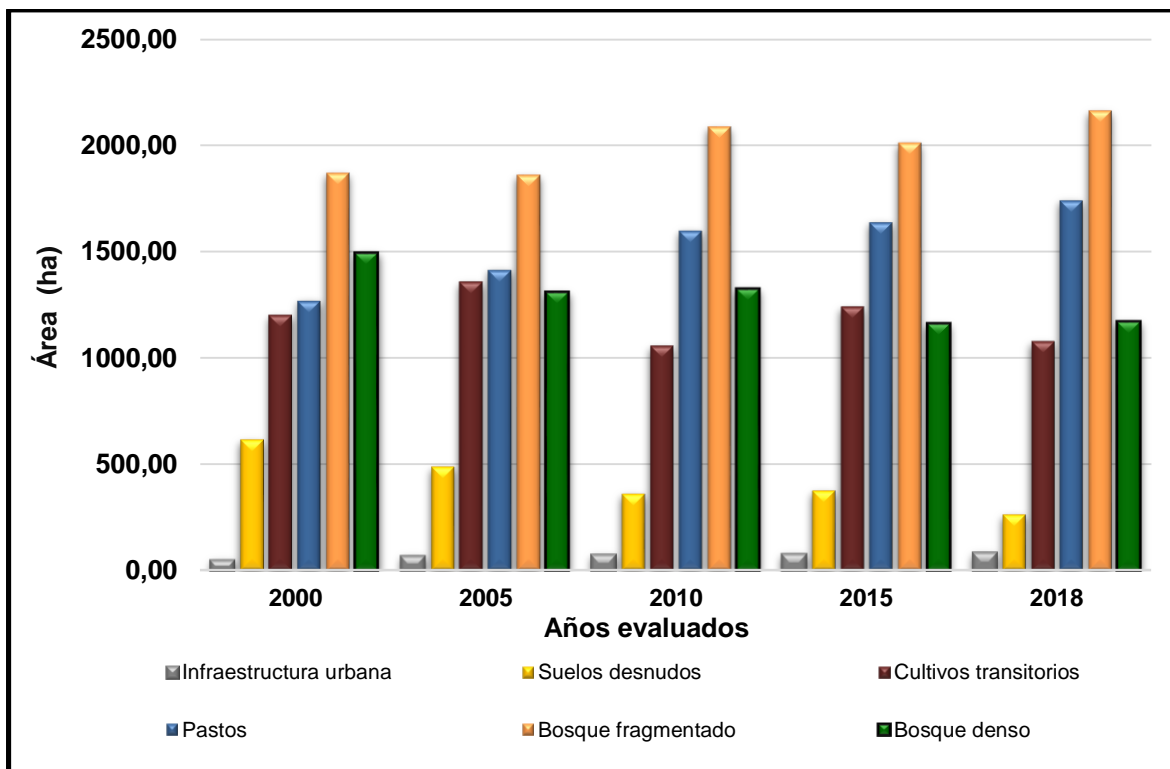


Figura 33. Variación de las coberturas del distrito de Chadín, 2000 – 2018.

En la Figura 33 se muestra las variaciones han sufrido las diferentes coberturas en el período 2000 - 2018, donde se observa que en todos los años evaluados la cobertura bosque fragmentado, es la que más área ocupa, y que a medida que ha transcurrido el tiempo esta cobertura a experimentado un incremento de su superficie, debido lógicamente a la fragmentación del bosque primario cuya cobertura a sufrido una reducción de su superficie en casi todos los años evaluados. Así mismo según la misma figura, la cobertura pastos también ha incrementado su superficie en todos los años evaluados, esto se refleja en la realidad actual, donde se ha constatado que la mayor parte del distrito está constituido por pastos y bosques fragmentados, esta situación debido a varios factores, uno de ellos y quizá el más importante es que la actividad ganadera es la principal actividad productiva en todo el territorio del distrito de Chadín, lo que ha dado cabida a la expansión de esta cobertura.

3.5. Cambio de uso del suelo período 2000 – 2018

Se identificaron 14 tipos de transiciones o cambio de uso de suelos diferentes como se muestra en la Tabla 20, siendo 5 de ellas las más significativas: de suelo desnudo cambió a pastos para el 2018 en 311.74 ha de su superficie, representando más del 4% de la superficie total del territorio, de cultivos transitorios cambió a suelos desnudos en 66.19 ha, de cultivos transitorios cambió a pastos en 228.14 ha de su superficie, de pastos cambió a cultivos transitorios en 168 ha de su superficie y de bosque denso cambió a bosque fragmentado para el año 2018 en 168.90 ha de su superficie.

Tabla 20. Transición de coberturas 2000 – 2018.

Código	Transición	2000	2018	Área	%
21	Sd - lu	Suelo desnudo	Infraestructura urbana	4.36	0.07
24	Sd - Ps	Suelo desnudo	Pastos	311.74	4.81
23	Sd - Ct	Suelo desnudo	Cultivos transitorios	45.40	0.70
31	Ct - lu	Cultivos transitorios	Infraestructura urbana	17.14	0.26
32	Ct - Sd	Cultivos transitorios	Suelo Desnudo	66.19	1.02
34	Ct - Ps	Cultivos transitorios	Pastos	228.14	3.52
41	Ps - lu	Pastos	Infraestructura urbana	7.30	0.11
42	Ps - Sd	Pastos	Suelo Desnudo	12.30	0.19
43	Ps - Ct	Pastos	Cultivos transitorios	168.74	2.60
53	Bf - Ct	Bosque fragmentado	Cultivos transitorios	24.41	0.38
54	Bf - Ps	Bosque fragmentado	Pastos	63.96	0.99
63	Bd - Ct	Bosque denso	Cultivos transitorios	1.50	0.02
64	Bd - Ps	Bosque denso	Pastos	8.95	0.14
65	Bd - Bf	Bosque denso	Bosque fragmentado	168.90	2.60
No cambió				5357.23	82.59
Total				6486.26	100

Los cambios de uso de suelo registrados para este período; como bosque denso - bosque fragmentado, bosque denso - pastos, y bosque denso - cultivos transitorios son de mayor consideración en cuanto al riesgo que estos cambios representan, ya que estos suelos no tienen vocación para desarrollar actividades productivas como agricultura o ganadería debido a las características orográficas

de la zona, por lo que al darse este tipo de uso de suelo, estos quedan desnudos o degradados en corto tiempo, provocando una alta escorrentía superficial en época de lluvia, escases de agua, pérdida de la fertilidad del suelo, aceleración de procesos como deslizamientos, huaycos y derrumbes.

En el departamento Cajamarca, se tiene que el 51.64% y el 42.69% de la superficie departamental se encuentra en peligro alto y muy alto de pérdida de suelos por erosión, respectivamente. Asimismo, sólo el 18 % de las tierras tiene niveles leves de ninguno a moderado de erosión y el 82 % de moderada a severa. De existir en Cajamarca cambios inadecuados de la cobertura y uso de la tierra, se estima la pérdida de una considerable cantidad de suelo (Alcántara Boñón 2014).

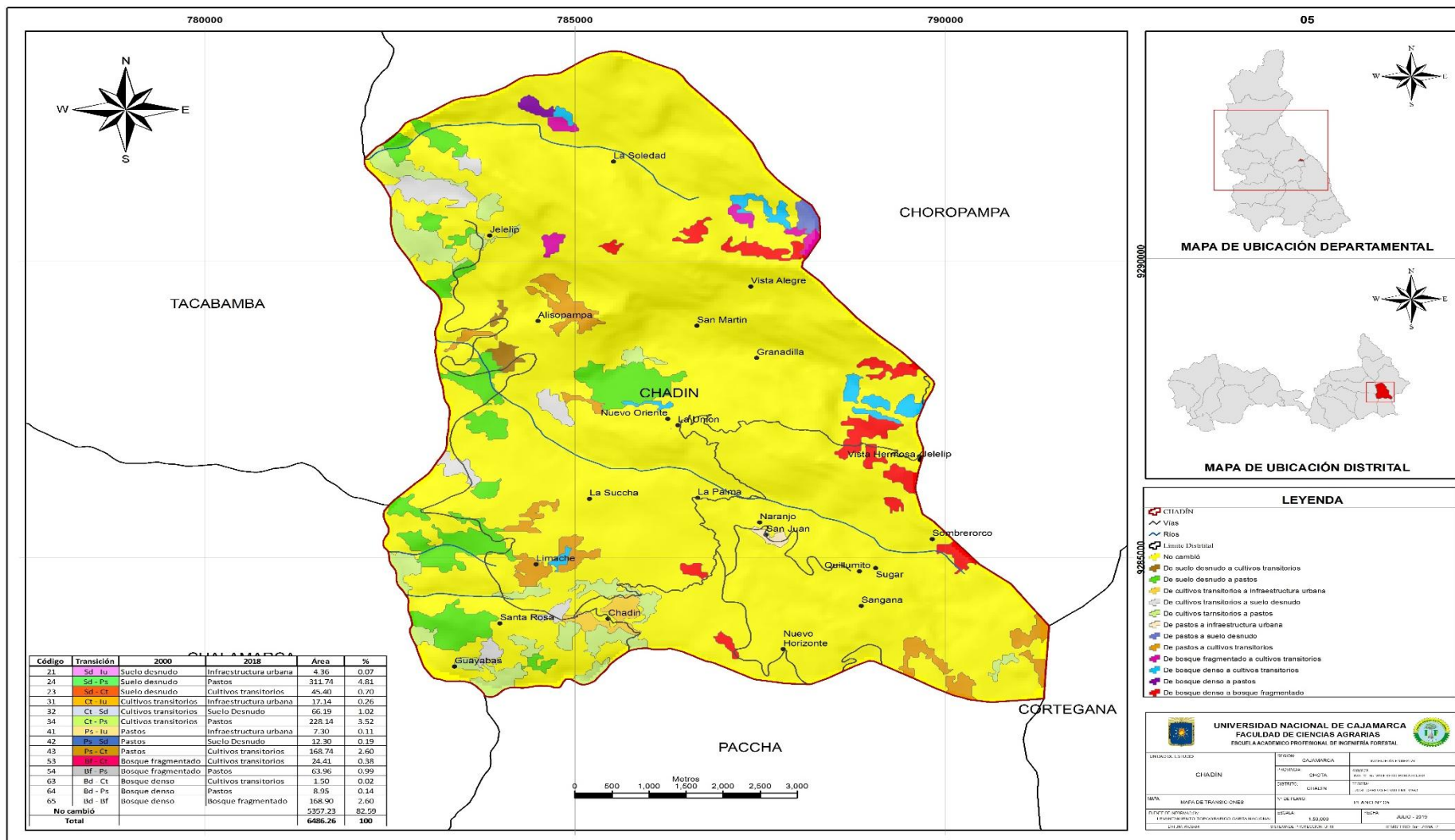


Figura 34. Mapa de Cambio de uso de suelo 2000 – 2018.

3.6. Pérdida de cobertura boscosa

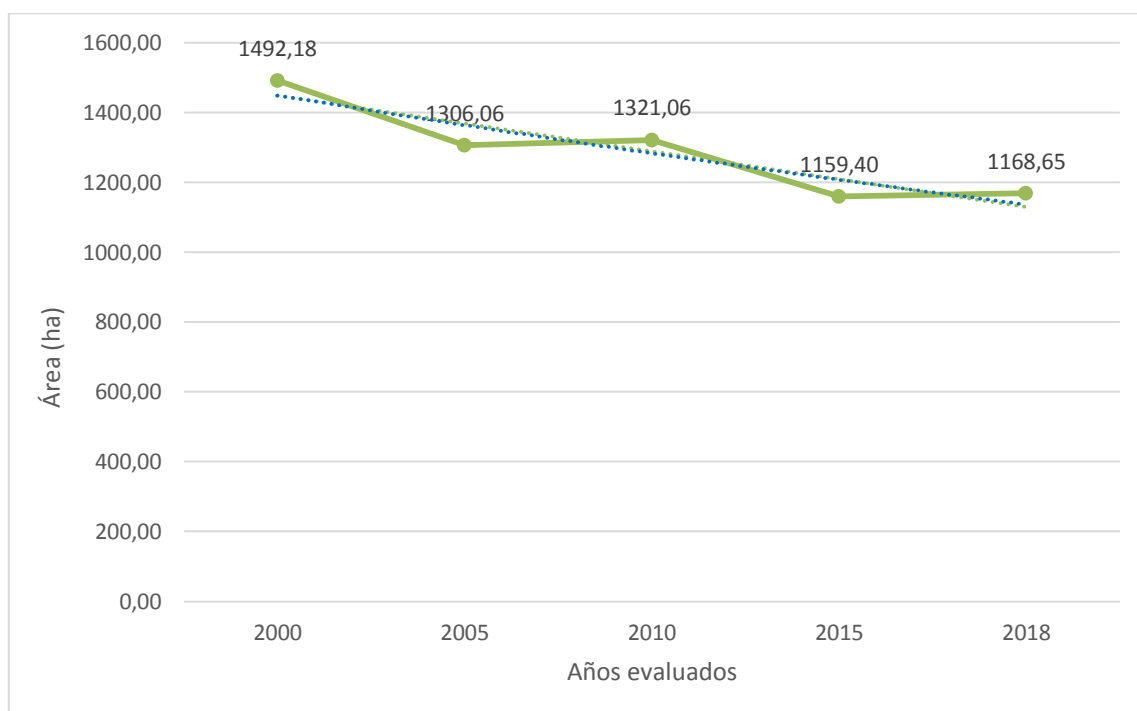


Figura 35. Tendencia de la cobertura boscosa 2000 - 2018.

Según el análisis multitemporal mostrado en la figura 35, para el período 2000 – 2018 se registró una pérdida de cobertura boscosa de 323.53 ha, además muestra una tendencia a la reducción en la superficie boscosa, siendo en los años 2005 y 2015 en donde se presentó un mayor valor de deforestación, con 1306.06 ha y 1159.40 ha para cada año, respectivamente. Esto atribuido a la tala, la conversión del bosque a zonas agrícolas, a zonas ganaderas y zonas urbanas principalmente.

Otro de los factores que dan lugar a la pérdida de bosque son las condiciones climáticas extremas, como precipitaciones excesivas que generan derrumbes, afectando al bosque directamente,

La pobreza aunque es un factor indirecto, también contribuye con la fragmentación del bosque ya que obliga al hombre explotar los recursos que tiene a su disposición para satisfacer sus necesidades, situación que durante décadas ha generado impactado sobre los bosques. Adicionalmente, también se tiene la visión extractivista que ha acompañado la explotación de

la madera en años anteriores, caracterizada por una alta informalidad y ser fuertemente selectiva.

Miranda (2013) indica que la deforestación es el proceso por el cual la tierra pierde sus bosques en manos de los hombres; el hombre en su búsqueda por satisfacer sus necesidades personales o comunitarias utiliza la madera para fabricar muchos productos, además también es usada como combustible o leña para cocinar y calentar. Por otro lado, las actividades económicas en el campo requieren de áreas para el ganado o para cultivar diferentes productos. Esto ha generado y genera una gran presión sobre los bosques.

Así mismo, la apertura de carreteras ha facilitado la intervención del bosque en la zona de estudio debido a que a través de estas el hombre tiene acceso al bosque para extraer madera u otros recursos, se puede notar que en zonas aledañas a las carreteras el deterioro del bosque es más evidente que en zonas donde es más difícil el acceso. Esto contrasta con lo señalado por SEMARNAT y PNUMA (2006), que indican que las causas principales de la deforestación incluyen el desarrollo del sistema de transporte carretero o apertura de vías de comunicación, los incentivos del gobierno para la agricultura o ganadería, el financiamiento de proyectos a gran escala tales como explotación de la tierra, que facilitan la intervención del bosque y su inevitable fragmentación.

Por otro lado, pero con menor influencia están los factores naturales, pues así como ciertos factores naturales favorecen el desarrollo de coberturas vegetales y su persistencia en el tiempo, también pueden resultar muy perjudiciales cuando estas se vuelven extremas. Como las precipitaciones intensas que generan deslizamientos, erosión de los suelos teniendo como resultado suelos desnudos y degradados; o períodos prolongados de sequía que generan escasez de pastos, condición que obliga al hombre a ejercer presión sobre el bosque.

3.7. Tasa promedio anual de deforestación (TMAD)

Para calcular la tasa promedio anual de deforestación se ha tomado como referencia los datos obtenidos (área), para la cobertura bosque denso del primer año evaluado y del último (2000 - 2018).

$$\text{TMAD}_{t1-t2} = (\text{St1} - \text{St2}) / \text{N}$$

Donde:

TMAD_{St1-t2}: es la tasa promedio anual de deforestación, entre los momentos t1 (2000) y t2 (2018).

St1: es la superficie cubierta por bosque en la cuenca, en el momento t1 (2000).

St2: es la superficie cubierta por bosque en la cuenca, en el momento t2 (2018).

N: es la diferencia de años entre el momento t1 y el momento t2.

Por lo tanto:

$$\text{TMAD}_{2000-2018} = (1492.18 - 1168.65) / 18 = 17.97 \text{ ha año}^{-1}$$

De acuerdo a este resultado se puede aseverar que, el ritmo con el que se ha venido perdiendo cobertura boscosa es considerable y amerita adoptar medidas para frenar o reducir este ritmo con que se pierde el bosque, aun cuando no en todos los años evaluados se ha registrado reducción de la cobertura boscosa; esto atribuido posiblemente a la recuperación del bosque y por el establecimiento de pequeñas plantaciones, en ciertas zonas del distrito.

La tasa de deforestación promedio anual para el periodo 2000 – 2018 en la zona de estudio (17.97 ha año⁻¹), representa el 0.02% de la tasa de deforestación en el país, la cual supera las 120 mil ha año⁻¹. Esto debido a que la mayor deforestación ocurre en los bosques amazónicos.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se identificaron 6 coberturas del suelo diferentes, siendo estas; infraestructura urbana, suelos desnudos, mosaico de cultivos, pastos, bosque fragmentado y bosque denso.
- Se obtuvieron 14 transiciones o cambios de uso de suelo diferentes en el período 2000 - 2018, siendo las transiciones más significativas; de suelo desnudo a pastos en 311.74 ha de su superficie, de cultivos transitorios a suelos desnudos en 66.19 ha de su superficie, de cultivos transitorios a pastos en 228.14 ha de su superficie, de pastos a cultivos transitorios en 168 ha de su superficie y de bosque denso a bosque fragmentado en 168.90 ha de su superficie.
- La pérdida de cobertura boscosa del distrito de Chadín, Chota para el período 2000 – 2018 fue de 323.53 ha.
- La tasa promedio anual de deforestación para el periodo 2000 – 2018 en el distrito de Chadín, Chota, fue de 17.97 ha año⁻¹.

Se recomienda incidir en el desarrollar técnicas para el cálculo y monitoreo de la pérdida de bosque en nuestra región, de forma más precisa y en menores períodos de tiempo, con el objetivo de adoptar medidas de control oportunas.

Difundir el conocimiento de las diversas aplicaciones que tienen las herramientas de teledetección y la fotointerpretación, a través del fortalecimiento de las capacidades en instituciones como universidades, institutos, organizaciones, etc.

VI. LITERATURA CITADA

- Agencia Europea de Medio Ambiente. 2016. (en línea). Consultado 10 abr. 2019. Disponible en <https://www.eea.europa.eu/es/themes/landuse/about-land-use>
- Alcántara Boñón, G. 2010 – 2011. Cobertura vegetal y uso actual del suelo del departamento de Cajamarca. 44 p.
- Alcántara Boñón, G. 2011. Pendientes de los Suelos del Departamento de Cajamarca. (en línea). Consultado 13 jun. 2019. Disponible en <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/Pendiente.pdf>
- Alcántara Boñón, G. 2014. Estudio especializado: Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra. Cajamarca: Gobierno Regional Cajamarca. Cajamarca. Perú. 255 p.
- ArcGIS Resources. S.f. Introducción al SIG. (en línea). Consultado 30 mayo 2019. Disponible en <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm>
- Ariza, A. 2013. Descripción y corrección de productos Landsat 8. Bogotá. Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) .46 p. Consultado 4 mayo. 2018. Disponible en <http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- Ariza, A; Roa, O; Serrato, PK; León Rincón, HA. 2018. Uso de índices espectrales derivados de sensores remotos para la caracterización Geomorfológica en zonas insulares del Caribe colombiano. *Perspectiva Geográfica*, 23(1), 105-122. doi: 10.19053/01233769.5863

- Barrera Zúñiga, RA; García Orduña, D. 2015. Procesamiento, interpretación y análisis de imágenes satelitales en la banda de los 400 a 700 nanómetros para aplicaciones de percepción remota. Tesis Lic. MX. Instituto Politecnico Nacional. 122 p.
- Borràs, J; Delegido, J; Pezzola, A; Pereira, M; Morassi, G; Camps Valls, G. 2017. Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2. Revista de Teledetección, 48, 55-66.
- Chuvieco, E. 1995. "Fundamentos de Teledetección Espacial". 3º edición, Editorial Rialp, Madrid. 500 p.
- Cooperación Alemana. Cambio de uso actual de la tierra en la Amazonía peruana. Avances e Implementación en el Marco de la Ley Forestal y de Fauna Silvestre. Lima, Perú: MEGA TRAZO S.A.C., 2016. 28 p.
- Duarte, E; Emanuelli, P; Milla, F; Orellana, O; López, O; 2015. Sitio Piloto Cantón de Puriscal, Análisis de Cambios de La Cobertura Forestal Y Uso de la Tierra Mediante Imágenes Satelitales de Alta Resolución Espacial: Años 2009 – 2012 – 2015 República De Costa Rica. 48 p.
- Earth Observing System. 2012. Landsat 5 (TM). (en línea). Consultado 06 jun. 2019. Disponible en <https://eos.com/landsat-5-tm/>
- Earth Observing System. 2017. Bandas satélite Sentinel 2. (en línea). Consultado 22 jun. 2019. Disponible en <http://almazcara.forestry.es/2017/06/bandas-satelite-sentinel-2.html>
- EcuRed. s.f. Cobertura boscosa. (en línea). Consultado 04 abr. 2019. Disponible en https://www.ecured.cu/Cobertura_boscosa
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2010. Evaluación de los recursos Forestales mundiales 2010. Términos y definiciones. Documento de trabajo 144/S.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). s.f. Portal de suelos de la FAO. ¿Qué es el suelo? (en línea). Consultado 10 abr. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2018. El estado de los bosques del mundo - Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT) y SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, PE). 2017. Nuestros bosques en números. Primer reporte del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Lima. 1 ed. junio de 2017. Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2017-06574.

Franco, R. 2017. Composiciones Landsat en ARCGIS. Guía Básica. Bogotá, Colombia. 45p.

Galindo G; Espejo, OJ; Rubiano JC; Vergara LK; Cabrera, E. 2014. Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V 2.0. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia., 52 pág.

Geocentro. s.f. Satélite de imágenes LANDSAT-5. (en línea). Consultado 22 mayo 2019. Disponible en <http://geocentro.es/galeria-de-satelites-para-buscar-y-adquirir-imagenes/satelite-imagenes-landsat-5/>

GEODIM. s.f. Características técnicas del Sentinel 2. (en línea). Consultado 06 jun. 2019. Disponible en <http://www.geodim.es/pdf/Geodim%20SENTINEL-2A.pdf>

Hantson, S; Chuvieco, E; Pons, X; Domingo, C; Cea, C; Moré, G; Cristóbal, J; Peces, JJ; Tejeiro, JA. 2011. Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. Revista de Teledetección. 36, 51-61

Hantson, S; Chuvieco, E; Pons, X; Domingo, C; Cea, C; Moré, G; Cristobal, J; Peces, J; Tejeiro, A. 2011. Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. Revista de Teledetección ISSN: 1988-8740. 36, 51-61

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2017. Cajamarca, Compendio Estadístico 2017. 500p.

Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya. s.f. Concepto de suelo. (en línea). Consultado 10 abr. 2019. Disponible en <http://www.icgc.cat/es/Ciudadano/Informate/Recursos-geologicos/Suelos/Concepto-de-suelo>

Laubacher, G; Navarrete, E. Teledetección y Procesamiento de Imágenes satelitales. (Tercera Revisión, ESPOL, 2001), 111 p.

Llactayo, W; Salcedo, K; Victoria, E. 2013. Memoria Técnica de la Cuantificación de Cambios de la Cobertura de Bosque a no Bosque por Deforestación en el Ámbito de la Amazonía Peruana Período 2009-2010-2011. Ministerio del Ambiente, Dirección General de Ordenamiento Territorial. Lima - Perú.

López, E; Bocco, G. 2006. Cambio de cobertura vegetal y uso de suelo. (en línea). Consultado 10 abr. 2019. Disponible en <http://www.oikos.unam.mx/laboratorios/geoecologia/PDF/CAMBIO/2USODELSUELO>

López, E; Bocco, G; Mendoza, ME; Duahu, E. 2001, Predicción de la cobertura del suelo y uso del suelo. Cambio en la franja urbana Un caso en Morelia City, México, Paisaje y Urbanismo Planificación, 55 (4), 271-283.

Lucas, J. 2019. Landsat 5. (en línea). Consultado 25 junio 2019. Disponible en <http://www.un-spider.org/node/11760>

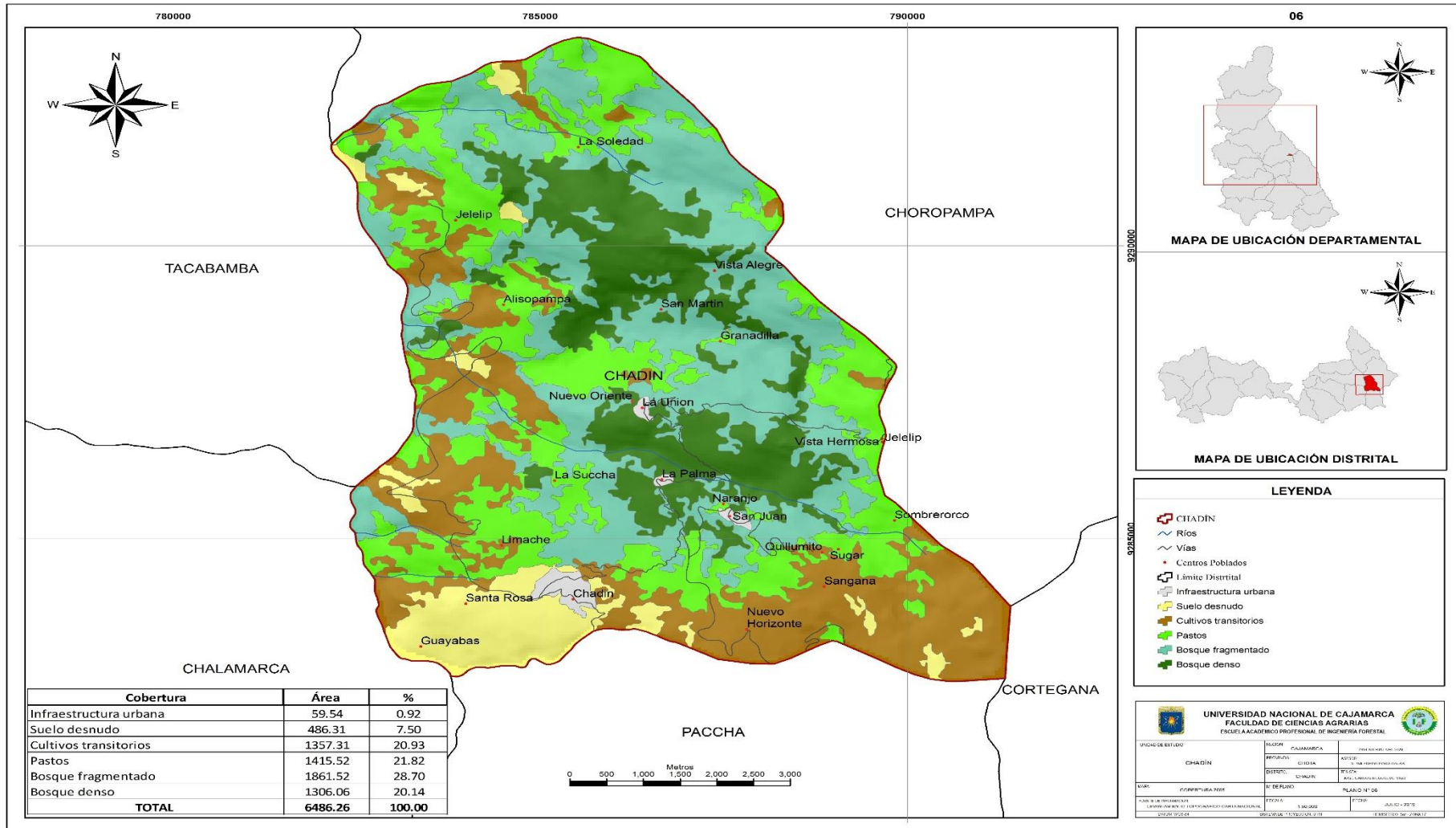
- Martínez, J; Martín, P; Díaz, J; López, J; Muñoz, F; 2010. Guía Didáctica de Teledetección y Medio Ambiente. Red nacional de teledetección ambiental. España. 105 p.
- Martorell, A. s.f. El NDVI o Índice de vegetación de diferencia normalizada. (en línea). Consultado 19 abr. 2019. Disponible en <https://geoinnova.org/blog-territorio/ndvi-indice-vegetacion/>
- MasterGIS. 2019. Características de los satélites Sentinel. (en línea). Consultado 08 jun. 2019. Disponible en <https://www.mastergis.com/caracteristicas-sentinel/>
- Mello y Camacho.2005. Metodología Corine Land Cover. Colombia. Ideam. 4p. Consultado 5 May.2018. Disponible en <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>
- Meyer, B; Turner, L. 1994. Change in Land Use and Cover: a global perspective, Cambridge: Cambridge University. 557 p.
- Miguel, A. 2015. Clasificación supervisada y no supervisada en ArcGIS. (en línea). Consultado el 19 abr. 2019. Disponible en <https://www.cursosgis.com/clasificacion-supervisada-y-no-supervisada-en-arcgis/>
- MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2016. La Conservación de bosques en el Perú (2011-2016). Conservando los bosques en un contexto de cambio climático como aporte al crecimiento verde. 1 ed. julio de 2016.
- Miranda, L. 2013. Monitoreo de la deforestación mediante técnicas geomáticas en una porción de la región centro-norte de México. Tesis. (en línea). Consultado 10 agos. 2019. Disponible en <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/3577>

- Olaya, V. 2014. Sistema de Información Geográfica. 1ª. Ed. 854 p.
- Pérez Porto, J. 2018. Definición de imagen satelital. (en línea). Consultado 11 abr. 2019. Disponible en <https://definicion.de/imagen-satelital/>
- Picone, N. 2017. Comparación de imágenes satelitales sentinel 2 y landsat 8 en el estudio de áreas urbanas. 10 p.
- Poma, W. Alcántara, G. 2011. Estudio de Suelos y Capacidad de Uso Mayor del Departamento de Cajamarca.
- Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático. ABC de los bosques peruanos. (en línea). Consultado 05 abr. 2019. Disponible en <http://www.bosques.gob.pe/peru-pais-de-bosques>
- Pucha, F. 2012. Clasificación supervisada y no supervisada en ArcGIS. (en línea). Consultado 19 abr. 2019. Disponible en <https://acolita.com/clasificacion-supervisada-no-supervisada-en-arcgis/>.
- Quispe Mogollón, A. 2017. Zonificación Ecológica Económica y Ordenamiento Territorial en Cajamarca. 1a. ed. 62 p.
- Ramos Flores, ME. 2017. Tratamientos estadísticos en imágenes de satélite, realces y mejoras visuales, realces radiométrico, espacial y espectral. Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica – UMSA. 593 – 613.
- Ramos, D. 2017. NDVI: Qué es y cómo calcularlo con SAGA desde QGIS. (en línea). Consultado 19 abr. 2019. Disponible en https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis/#Que_es_un_NDVI

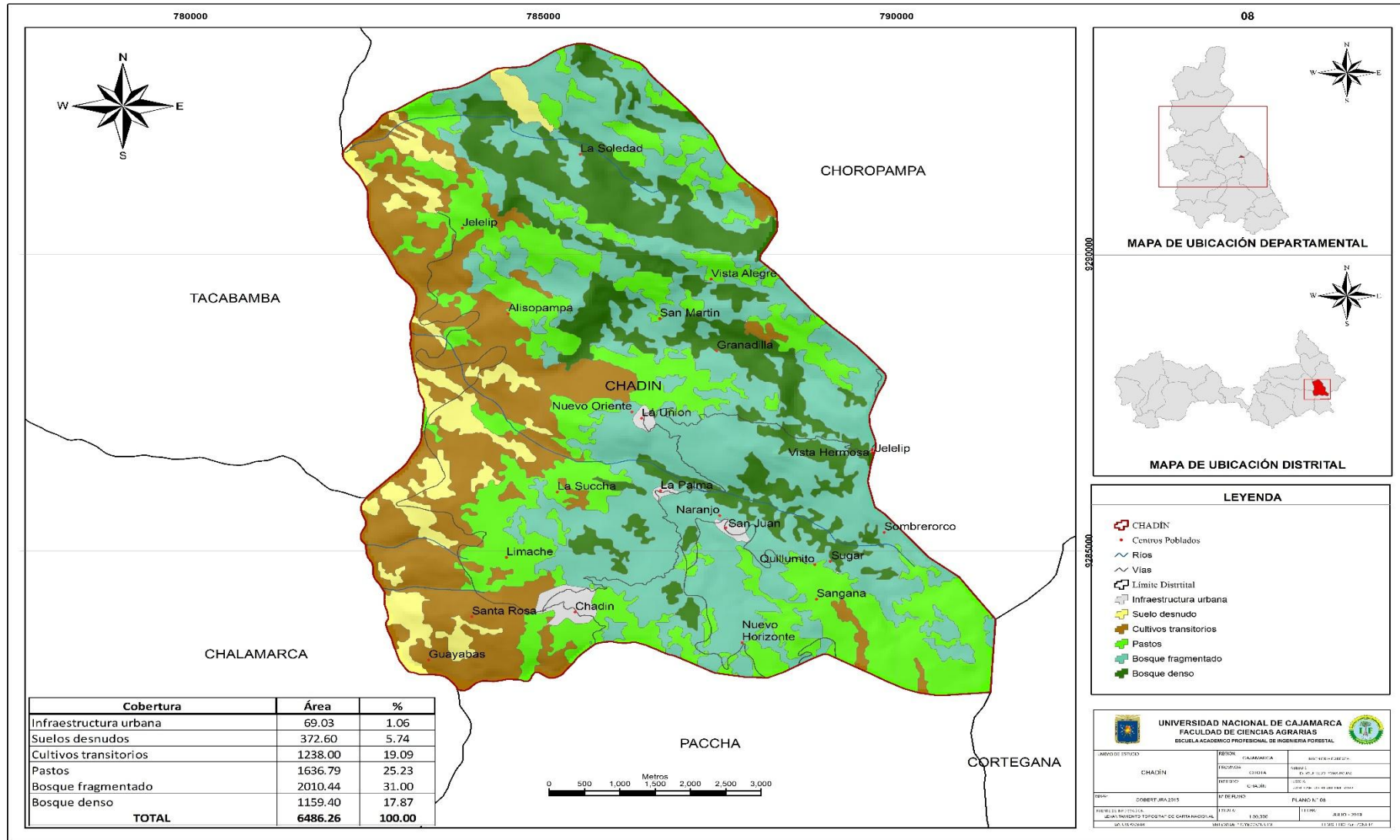
- Rodríguez, J; González, D; Martínez, J; Páez, K. 2011. Población, Territorio y Desarrollo Sostenible. (en línea). Consultado 11 abr. 2019. Disponible en https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/pyt_celade.pdf.
- Saldaña Torres, MK. 2010. "Determinación del cambio de cobertura vegetal en el área de conservación municipal "Bosques de Huamantanga", utilizando imágenes de satélite. Tesis. Jaén, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. 78 p.
- SEMARNAT y PNUMA (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente). 2006. El cambio climático en América Latina y El Caribe. México. 140 p.
- SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, PE). 2015. Interpretación de la dinámica de la deforestación en el Perú y lecciones aprendidas para reducirla. 42 p.
- Taboada Barreto, L. 2011. Cobertura Vegetal. Practicas Agro-Culturales de Conservación de suelos. Boletín N° 04
- Tantaleán Farfán, AY. 2016. Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo en el distrito de Chota, años 1989-2013. Tesis. Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 101 p.
- Universidad de Jaén. Prácticas de teledetección. Departamento de ingeniería cartográfica, geodésica y fotogrametría. (en línea). Consultado 19 abr. 2019. Disponible en http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/tel/archivos/Prac_Tel_2006_7.pdf
- Valencia, G. Anaya, J. 2009. Implementación de la metodología Corine Land Cover con imágenes Ikonos. Colombia. Revista Ingenierías Universidades de Medellín. 14 p. Consultado 26 May. 2018. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15/v8n15a04.pdf>
- WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza, CH). 2015. La deforestación en el Perú. Smith, J. y Schwartz, J.

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de cobertura año 2005.



Anexo 3. Mapa de cobertura año 2015.



Anexo 4. Panel fotográfico.



Figura 36. Verificación de la información en campo (caserío La Soledad).



Figura 37. Infraestructura urbana (caserío Vista Hermosa).



Figura 38. Identificación de especies representativas de la zona.



Figura 39. Extracción de madera del bosque denso (caserío La Soledad).



Figura 40. Cobertura pastos (caserío La Soledad).

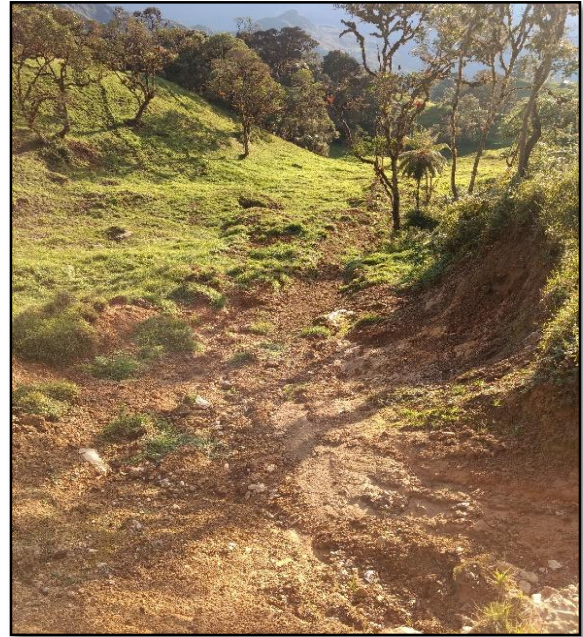


Figura 41. Erosión del suelo a causa de precipitaciones extremas (caserío San Juan).



Figura 42. Transición de cobertura bosque denso a pastos (caserío Jelelip).



Figura 43. Bosque fragmentado (caserío San Martín).



Figura 44. Bosque denso (caserío La soledad).

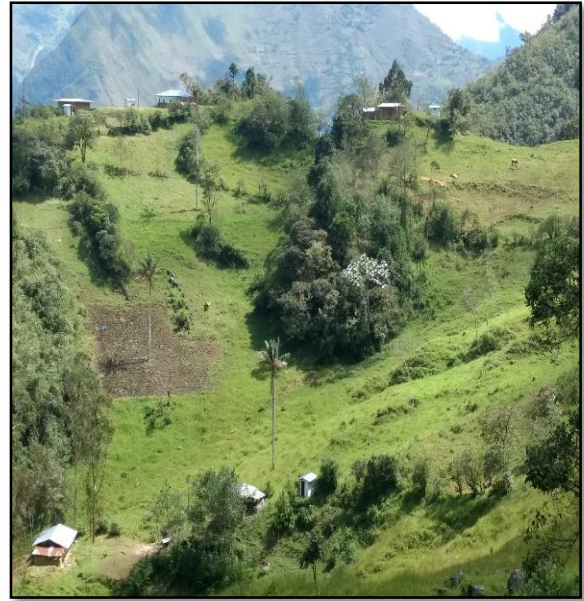


Figura 45. Cobertura pastos (caserío Nuevo Oriente).



Figura 46. Bosque fragmentado con vegetación secundaria (caserío San Martín).

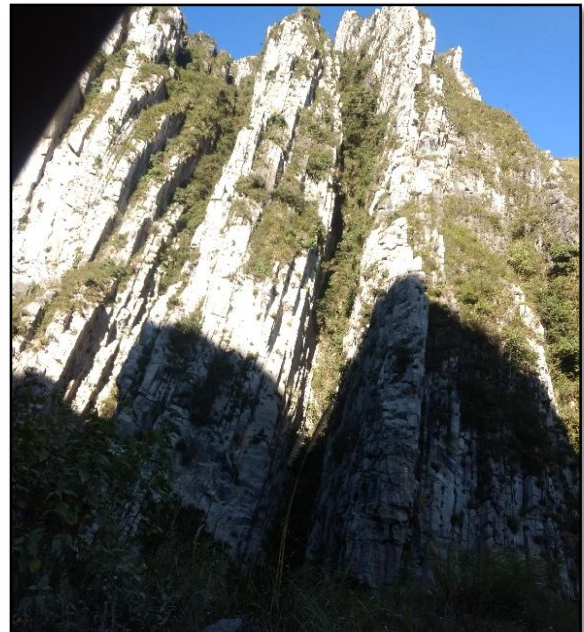


Figura 47. Afloramientos rocosos (caserío Santa Ros)