

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS

**ANALISIS DE CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA CON
IMÁGENES SATELITALES DEL DISTRITO DE CHUGUR PERIODO
1999 - 2016.**

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
PORFIRIO VÁSQUEZ SILVA**

**ASESOR:
Ing. M. Sc. WILFREDO POMA ROJAS**

CAJAMARCA – PERÚ

2018

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi abnegado padre Benigno Honorato Vásquez Zamora y a mi adorada madre María Concesa Silva Díaz por su apoyo incondicional en todo momento, paciencia y ejemplo de superación.

A mis hermanos Percy Vásquez Silva y Briner Vásquez Silva por los buenos consejos, amor, ejemplos de perseverancia y superación.

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico y que gracias a sus maestros hicieron posible mi formación profesional.

A mi asesor Ing. M. Sc. Wilfredo Poma Rojas quien, con su gran experiencia profesional, me apoyo decididamente para el logro del presente trabajo de investigación.

A mi padre Benigno Honorato Vásquez Zamora, quien más que un buen padre ha sido mi mejor amigo y a mi madre María Concesa Silva Díaz, quienes me han dado su confianza y amor. Y sé que están orgullosos de la persona en la cual me he convertido.

A todos mis amigos, familiares y otras personalidades que han aportado su granito de arena para ser posible mi formación profesional y la culminación del presente trabajo de investigación.

A Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

RESUMEN

El análisis de los cambios de cobertura y uso actual de la tierra nos permite expresar mediante valores numéricos el cambio de cobertura que hubo en un lapso de tiempo, para este trabajo de investigación se consideró el periodo 1999 - 2016, el propósito de este trabajo fue realizar el análisis cuantitativo y cualitativo de cambio de la cobertura vegetal hacia otro uso del suelo en el distrito de Chugur, la clasificación se realizó con la Metodología Corine Land Cover (CLC) obtenida del Ministerio del Ambiente (MINAM), se clasificó en un Nivel III de la Metodología Corine Land Cover en donde se obtuvieron las siguientes categorías: Tejido urbano continuo, Cultivos transitorios, Pastos, Bosques, Herbazal, Arbustal, Afloramientos rocosos, Tierras desnudas y Lagunas. En donde para el año 1999 la categoría predominante fue Herbazal con un área de 3280.00 ha equivalente al 31.11 % del área distrital y con menor área la categoría Tejido urbano continuo con un área de 3.09 ha equivalente al 0.03 %, para el año 2016 la categoría predominante fue Pastos con un área de 6245.08 ha equivalente al 59.23 % y la categoría con menor área fue Tejido urbano continuo con un área de 5.09 ha equivalente al 0.05 % del área total del distrito. Durante este periodo la cobertura que tuvo la mayor pérdida de área fue Herbazal con un área de 1228.51 ha equivalente al 11.65 % y la cobertura que tuvo la mayor ganancia de área fue Pastos con un área de 3076.34 ha equivalente al 29.18 % del área total de distrito, debido a la extensión de actividad ganadera en la zona, ésta pérdida y ganancia de área se debió principalmente al factor económico y tecnológico.

Palabras claves: Cobertura y uso actual de la tierra, Random Forest, Imágenes satelitales, categorías, cobertura.

ABSTRACT

The analysis of changes in coverage and current land use allows us to express through numerical values the change in coverage that occurred in a period of time, for this research work was considered the period 1999 - 2016, the purpose of this work was perform the quantitative and qualitative analysis of change of vegetation cover towards another land use in the district of Chugur, the classification was made with the Corine Land Cover Methodology (CLC) obtained from the Ministry of the Environment (MINAM), it was classified in a Level III of the Corine Land Cover Methodology where the following categories were obtained: Continuous urban fabric, Transitory crops, Pastures, Forests, Herbazal, Arbustal, Rocky outcrops, Naked lands and Lagoons. Where for the year 1999 the predominant category was Herbazal with an area of 3280.00 ha equivalent to 31.11% of the district area and with a smaller area the category Urban continuous fabric with an area of 3.09 ha equivalent to 0.03%, for the year 2016 the category Predominant was Pastos with an area of 6245.08 ha equivalent to 59.23% and the category with the lowest area was Continuous urban fabric with an area of 5.09 ha equivalent to 0.05% of the total area of the district. During this period the coverage that had the greatest loss of area was Herbazal with an area of 1228.51 ha equivalent to 11.65% and the coverage that had the highest area gain was Pastures with an area of 3076.34 ha equivalent to 29.18% of the total area of district, due to the extension of livestock activity in the area, this loss and area gain was mainly due to the economic and technological factor.

Keywords: Coverage and current land use, Random Forest, satellite images, categories, coverage.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. General.....	3
1.1.2. Específicos	3
CAPÍTULO II	4
REVISION DE LITERATURA	4
2.1. Teledetección.....	4
2.2. Tierra.....	4
2.3. Uso de la tierra.....	4
2.4. Sistemas de información geográfica	5
2.5. Cobertura vegetal.....	5
2.6. Causas del cambio del uso actual de la tierra.....	6
2.7. Factores que inciden en el cambio de uso actual de la tierra	6
2.7.1. Económicos y tecnológicos.	6
2.7.2. Demográficos.	6
2.7.3. Institucionales.....	6
2.7.4. Culturales.	6
2.7.5. Globalización.....	7
2.8. El tiempo y el efecto en el uso de la tierra	7
2.9. Análisis multitemporal de la cobertura y uso de la tierra	7
2.10. Sistemas de clasificación de cobertura de la tierra.....	8
2.10.1. Corine Land Cover adaptada para Perú.....	8
2.11. Imágenes satelitales	12
2.12. Interpretación de imágenes satelitales	12
2.13. Satélite Landsat.....	13
2.13.1. Aspectos técnicos de las imágenes landsat.....	14
2.14. Resolución de un sistema sensor	18
2.14.1. Resolución espacial	18
2.14.2. Resolución espectral.....	18
2.14.3. Resolución radiométrica.....	19
2.14.4. Resolución temporal	19

2.14.5.	Resolución angular	20
2.15.	Realce y mejoramiento visual de imagen satelital	20
2.16.	Pre procesamiento de imágenes satelitales.	21
2.16.1.	Georreferenciación y corrección geométrica.....	21
2.16.2.	Correcciones atmosféricas.....	22
2.17.	Análisis de las imágenes	24
2.18.	Combinación de bandas	25
2.19.	Índice de vegetación de diferencia normalizada	26
2.20.	Modelo de elevación digital.....	27
2.21.	Random Forest.....	27
2.22.	Índice kappa	28
2.23.	Matriz de confusión.....	29
2.24.	Porcentaje correctamente clasificado	30
2.25.	Sistemas de referencia	30
2.25.1.	WGS84 (Sistema Geodésico Mundial).....	31
2.26.	Shapefile.....	32
2.27.	Clasificación Supervisada y no supervisada de.....	32
2.28.	Antecedentes.....	33
2.28.1.	Evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satelitales en Piura - Perú	33
2.28.2.	Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra.....	34
2.28.3.	Cambios de la Cobertura del Suelo en el Corredor Metropolitano Cali - Jamundi (Valle del Cauca, Colombia) entre 1984 y 2013.	34
CAPÍTULO III	35
MATERIALES Y METODOS	35
3.1.	Descripción general de la zona.....	35
3.1.1.	Ubicación.....	35
3.1.2.	Regiones naturales del distrito de Chugur.....	37
3.1.3.	Hidrografía.....	40
3.1.4.	Geología general	42
3.1.5.	Zonas de vida natural	45
3.2.	Materiales y equipos de campo	47
3.2.1.	Materiales.....	47
3.2.2.	Herramientas.....	47

3.2.3. Instrumentos y equipos	47
3.3. Materiales y equipos de gabinete	47
3.3.1. Materiales.....	47
3.3.2. Equipos	47
3.3.3. Material cartográfico	47
3.3.4. Software	47
3.4. Metodología	48
3.4.1. Fase inicial de gabinete.....	48
3.4.2. Fase de campo.....	54
3.4.3. Fase Final de gabinete.....	54
CAPÍTULO IV.....	55
RESULTADOS Y DISCUSIONES	55
4.1. Categorías identificadas de cobertura y uso de la tierra bajo la clasificación Corine Land Cover	55
4.1.1. “1. Áreas artificializadas”	56
4.1.2. “2. Áreas agrícolas”	56
4.1.3. “3. Bosques y áreas mayormente naturales”	58
4.1.4. “5. Superficies de agua”	62
4.2. Análisis de los cambios de cobertura y uso de la tierra ocurridos en el periodo 1999 - 2016	63
4.2.1. Cobertura y uso de la tierra año 1999	63
4.2.2. Cobertura y uso de la tierra año 2016	72
4.3. Análisis de cambio y no cambio del uso de la tierra	80
4.3.1. Cambio y no cambio del uso de la tierra periodo 1999 - 2016 ..	80
4.4. Análisis de transición de cobertura y uso de la tierra	85
4.4.1. Análisis de cambios por cobertura.....	85
CAPÍTULO V.....	90
CONCLUSIONES	90
CAPÍTULO VI.....	91
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Corine Land Cover Adaptada Para Perú	9
Tabla 02: Características de Landsat7	15
Tabla 03: Distribución de las Bandas en Oli Y Tirs.....	17
Tabla 04: Escala de Valores Índice Kappa	29
Tabla 05: Datos de las Imágenes Descargadas.	49
Tabla 06: Valores Obtenidos de la Segmentación.....	51
Tabla 07: Categorías del Uso Actual de la Tierra Identificadas en el Distrito de Chugur.....	55
Tabla 08: Matriz de Confusión Año 1999	64
Tabla 09: Categorías Obtenidas Para el Año 1999	69
Tabla 10: Matriz de Confusión Año 2016	72
Tabla 11: Categorías Obtenidas Para el Año 2016	77
Tabla 12: Perdida o Ganancia de la Cobertura y Uso de la Tierra, Periodo 1999 - 2016	81
Tabla 13: Transición de la Cobertura y Uso de la Tierra, Periodo 1999-2016..	87

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Distribución porcentual de cobertura año 1999.....	70
Gráfico 02: Distribución porcentual de cobertura año 2016.....	78
Gráfico 03: Cambio y no cambio del uso de la tierra periodo 1999 - 2016.	84
Gráfico 04: Comparación de la variación en hectáreas de las categorías para los dos periodos.	89

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 01: Tejido urbano continuo distrito de Chugur.....	56
Fotografía 02: Cultivos transitorios centro poblado Perlamayo Tambillo Alto...	57
Fotografía 03: Categoría de pastos centro poblado Perlamayo Capilla.	58
Fotografía 04: Categoría de bosques centro poblado Perlamayo Tambillo Bajo.	59
Fotografía 05: Categoría de herbazales centro poblado Pampa Grande.	60
Fotografía 06: Categoría de Arbustales centro poblado Paraíso.....	61
Fotografía 07: Categoría de Afloramientos rocosos centro poblado Pampa Grande.	61
Fotografía 08: Categoría de tierras desnudas centro poblado Pampa Grande.	62
Fotografía 09: Laguna Totoracocha centro poblado Perlamayo Tres Lagunas.	63
Fotografía 10: Plaza mayor del distrito de Chugur.	107
Fotografía 11: Verificación <i>in situ</i> del mapa CUT 2016.	107

ÍNDICE DE ESQUEMAS

ESQUEMA 01: Proceso de clasificación para la representación cartográfica. . 50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Firmas espectrales usadas para este estudio.	12
Figura 02: Cobertura histórica del satélite Landsat.	13
Figura 03: Orbitación heliosincrónica y la inclinación respecto al Ecuador.	14
Figura 04: Satélite Landsat7.....	15
Figura 05: Espectro de luz y la frecuencia de longitud de onda.	24
Figura 06: Falso color RGB (6.5.4) combinación de bandas para pastos.	26
Figura 07: Falso color RGB (5.4.3) combinación de bandas para bosques.	26
Figura 08: Modelo de Elevación Digital (DEM) del distrito de Chugur.	27
Figura 09: Algoritmo de máxima verosimilitud (Random Forest).....	28
Figura 10: Representación gráfica del índice kappa.....	28
Figura 11: Matriz de confusión.	30
Figura 12: WGS 84 Sistema Geodésico Mundial.	31
Figura 13: Selección de imagen para el área de estudio.....	103
Figura 14: Segmentación del área de estudio.	103
Figura 15: Digitalización de áreas de entrenamiento.....	104
Figura 16: Aplicación de ModelBuilder para generar la información complementaria.....	104
Figura 17: Resultados de la ejecución del ModelBuilder.	105
Figura 18: Ejecución del script Random Forest.	105
Figura 19: Resultado de la ejecución del script Random Forest.....	106
Figura 20: Raster Final del CUT Distrito Chugur.	106

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 01: Mapa de Ubicación del distrito de Chugur	36
Mapa 02: Regiones Naturales del distrito de Chugur	39
Mapa 03: Hidrografía del distrito de Chugur	41
Mapa 04: Geología del distrito de Chugur	44
Mapa 05: Zonas de Vida del distrito de Chugur.....	46
Mapa 06: Cobertura y uso de la tierra 1999	99
Mapa 07: Cobertura y uso de la tierra 2016	100
Mapa 08: Cambio y no cambio periodo 1999 - 2016.....	101
Mapa 09: Cambios de cobertura periodo 1999 - 2016	102

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Afr: Afloramientos rocosos.

Ar: Arbustal.

Bo: Bosques.

CLC: Corine land cover.

Ct: Cultivos transitorios.

DEM: Modelo de elevación digital.

ERTS: Earth Resources Technology Satellite.

ETM+: Enhanced Thematic Mapper plus.

FAO: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.

He: Herbazal.

IDEAM: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia.

INEGI: Instituto nacional de estadística y geografía.

INEI: Instituto nacional de estadística e informática.

La: Lagunas.

MINAM: Ministerio del ambiente.

NASA: Administración nacional de aeronáutica y del espacio de los EE.UU.

ND: Niveles digitales.

NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada.

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

INRENA: Instituto Nacional de Recursos Naturales.

OLI: Operational Land Imager.

Pa: Pastos.

RGB: Red, Green y Blue - Rojo, verde y azul.

SIG: Sistemas de información geográfica.

SR: sensor remoto.

Td: Tierras desnudas.

TIRS: Thermal Infrared Sensor.

Tu: Tejido urbano continuo.

USGS: Servicio geológico de Estados Unidos de Norte América.

UTM: Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator.

WGS: Sistema Geodésico Mundial.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los recursos naturales son esenciales para la sobrevivencia y la prosperidad de la humanidad, como para el mantenimiento de todo el ecosistema terrestre; sin embargo, los diferentes usos del suelo es uno de los factores que mejor evidencian la transformación de la superficie terrestre, como resultado de las actividades antrópicas, al que se suma otros factores a través del tiempo (Zorogastúa *et al.*, 2011).

Los procesos de cambio en la cubierta vegetal y uso de la tierra ocurren en una dinámica compleja asociada a múltiples variables como son el tipo de cubierta vegetal, las interacciones ecológicas, el ambiente físico, las actividades socioeconómicas y el contexto social; otro factor, es el proceso de crecimiento de las ciudades que avanzan principalmente por zonas naturales que prestan importantes servicios ambientales (Dale y Beyeler, 2001). Algunos de estos procesos pueden ser predecibles, pero otros son de naturaleza estocástica. La ocurrencia de dos o más factores vinculados con los procesos de cambio en la cobertura y uso de la tierra pueden provocar un efecto sinérgico, al suceder de manera simultánea o, por lo contrario, inhibirse al ocurrir al mismo tiempo (Phillips, 1997). En virtud de que los cambios en el uso de la tierra tienen un origen multifactorial, deben ser analizados en distintas escalas temporales y espaciales que permitan conocer de manera espacial y a través del tiempo los cambios ocurridos en la dinámica de las coberturas (Geist y Lambin, 2002). Recientemente se han desarrollado modelos espacialmente explícitos que evalúan tales transformaciones que permiten entender las dinámicas espacio-temporales, mitigar sus impactos negativos y contribuir a la conservación de especies (Forester y Machlis, 1996).

Según Alcántara (2014) en Cajamarca, hace años atrás las sociedades humanas han prosperado utilizando la potencialidad de los recursos naturales, con suelos todavía fértiles, con una cubierta vegetal densa y diversa que cumplía funciones

importantes en el ecosistema como el de regulación del clima, infiltración del agua de escorrentía a través del perfil del suelo propiciando la presencia de manantiales de agua limpia, protección del suelo, refugio de vida silvestre, etc; sin embargo, con el transcurrir de los años, estas sociedades humanas en el afán de subsistir ocasionaron pérdidas de la calidad ecológica de los ecosistemas, básicamente destruyendo la cobertura vegetal para transformarlos en tierras agrícolas, ocasionando cambios inadecuados en el uso de la tierra; existiendo actualmente estudios específicos relacionados con este tema, facilitando toda actividad vinculada con la gestión y planificación del uso de los recursos naturales.

1.1. Objetivos

1.1.1. General

- ❖ Analizar los cambios de cobertura y uso actual de la tierra del distrito de Chugur, por medio de imágenes satelitales de los años 1999 - 2016, utilizando la metodología Corine Land Cover y el algoritmo de máxima verosimilitud.

1.1.2. Específicos

- ❖ Analizar la incidencia de los factores demográficos, económicos y tecnológicos en los cambios de cobertura y uso actual de la tierra del distrito de Chugur periodo 1999 - 2016.

CAPÍTULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1. Teledetección

La teledetección es la disciplina que permite la adquisición a distancia de datos de la superficie terrestre; el concepto incluye el procesamiento e interpretación de los mismos. En particular, la teledetección registra las características espectrales y texturales de los recursos, los efectos de procesos naturales, y las consecuencias de actividades humanas, entre otros (Chuvienco, 2002).

2.2. Tierra

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1990), afirma que la tierra es un área de la superficie del globo terrestre que se puede delinear, abarcando todos los atributos de la biosfera inmediatamente por encima y por debajo de su superficie, incluyendo el clima en la zona cercana a la superficie, el suelo y las formas del terreno, la superficie hidrológica incluyendo lagos poco profundos, ríos, humedales y pantanos, las capas sedimentarias cercanas a la superficie y las reservas de aguas subterráneas asociadas a las mismas, las poblaciones de la flora y la fauna, las formas de colonización de la población humana y los resultados físicos de la actividad humana anterior y actual, terrazas, estructuras para reserva o drenaje de aguas, caminos, construcciones, etc. Según esta definición, la tierra incluye el efecto de su uso pasado por parte del hombre y se define por y con respecto al uso hipotético que intenta hacer el hombre de ella, desde el momento de la definición (Richters, 1995).

2.3. Uso de la tierra

Jansen y Gregorio, (1998) afirman que el uso de la tierra se caracteriza por los arreglos, las actividades y los insumos de la población para producir, cambiar o mantener un cierto tipo de cobertura de la tierra; definición que

lleva a entender el vínculo directo entre la cobertura de la tierra y las acciones de la población en su ambiente; además afirman que la cobertura de la tierra es la que se observa biofísicamente sobre la superficie terrestre.

2.4. Sistemas de información geográfica

Los SIG son herramientas informáticas que se usan para la cartografía, el análisis de datos georreferenciados y que contribuyen en la toma de decisiones de manejo. Los SIG integran operaciones comunes de bases de datos, como consultas y análisis estadísticos, con las visualizaciones y análisis geográficos de los beneficios ofrecidos por los mapas. Esto da información sobre la estructura espacio-temporal y las relaciones de las variables, que de otro modo no han sido evidentes en la fuente de datos. Los SIG ayudan a convertir los datos crudos en información significativa para apoyar las decisiones de gestión (Chang, 2007). Por otra parte, los sensores remotos (SR) obtienen información en pequeña o gran escala de un objeto por el uso de sensores, en tiempo real, que no están en contacto físico con el objeto (Jensen, 2007). Los SR a menudo se usan en combinación con los SIG para integrar y analizar los datos obtenidos de múltiples sensores.

2.5. Cobertura vegetal

A la cobertura vegetal se la puede definir como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos (Martínez, 2012).

La expresión cartográfica de la cobertura terrestre constituye una de las aplicaciones básicas de la teledetección espacial desarrollada con fines de inventarios y diagnósticos espaciales, ordenación territorial y detección de cambios, entre otros (Linares, 2004); conformando una importante fuente de datos geográficos sobre los aspectos formales del uso de la tierra.

2.6. Causas del cambio del uso actual de la tierra

Cambios sobre la cubierta natural de la superficie terrestre han tenido lugar desde tiempo inmemorial, y han estado asociados tanto a fenómenos naturales como a actividades humanas. Los cambios debidos a estas últimas causas se han ido incrementando conforme la densidad de población ha aumentado (De la Rosa, 2008).

2.7. Factores que inciden en el cambio de uso actual de la tierra

De la Rosa (2008) indica que a nivel mundial existen cinco factores que inciden fuertemente en los cambios que se experimentan en la cobertura vegetal:

2.7.1. Económicos y tecnológicos.

Se refiere a los factores económicos y a las políticas agrarias que tienen una influencia directa en precios, impuestos y subsidios a los insumos y productos obtenidos del uso de la tierra.

2.7.2. Demográficos.

Los incrementos al igual que las disminuciones en la población generan un impacto en el uso de la tierra, estos cambios influyen en la estructura y la dinámica del hogar, mano de obra, migración, urbanización, entre otros, siendo la migración uno de los factores que generan un mayor impacto, y quizás el más importante.

2.7.3. Institucionales.

Los cambios en el uso de la tierra se ven influenciados fuertemente por el sector político, jurídico, económico, así como por instituciones donde se toma decisiones sobre la administración y gestión del territorio, contando con políticas débiles, mal definidas y carentes de una adecuada implementación.

2.7.4. Culturales.

Este es un factor muchas veces intangible, que no es tomado en cuenta, sin embargo, una población cuenta con: motivaciones,

memorias colectivas, historias personales, actitudes, valores, creencias y percepciones individuales y colectivas.

2.7.5. Globalización.

Los procesos de globalización amplifican o atenúan las fuerzas que conducen los cambios del uso de la tierra, teniendo influencias en las políticas macroeconómicas que definen las condiciones en que juegan la oferta y demanda de bienes y servicios en los mercados internacionales, las cuales son importantes pues condicionan el uso y explotación irracional de los recursos naturales especialmente en países con ecosistemas frágiles.

2.8. El tiempo y el efecto en el uso de la tierra

Considerando el uso de la tierra en el tiempo, podemos destacar el hecho de que los procesos de erosión y deterioro de la fertilidad del suelo se producen lentamente y no es posible observar los efectos que tienen las malas prácticas agrícolas sobre la tierra en un corto tiempo. Cinco o diez años no reflejan muchas veces un proceso de erosión o de declinación de la fertilidad, pero sí un lapso de diez o treinta años y de ahí que "una generación puede empobrecer a la otra". Así como los procesos de erosión y deterioro pueden disminuir la capacidad de uso de la tierra, la tecnología moderna, a través del tiempo, y como consecuencia de los avances de la investigación, nos está ofreciendo nuevas soluciones que pueden permitir el uso sostenible y adecuado de la tierra (Acuña, 2012).

2.9. Análisis multitemporal de la cobertura y uso de la tierra

Los resultados obtenidos de la clasificación supervisada permiten generar el análisis correspondiente a las variaciones en el tiempo de las coberturas o categorías definidas. Es decir, a partir de las clasificaciones generadas para cada periodo se calcula la diferencia píxel a píxel mediante los colores del raster, para evaluar los cambios significativos en el tiempo (Martínez, 2012).

2.10. Sistemas de clasificación de cobertura de la tierra.

La cobertura terrestre es un elemento geográfico que puede formar una base de referencia para diversas aplicaciones que van desde el monitoreo forestal y pastoril, pasando por la generación de estadísticas, planificación, inversión, biodiversidad, cambio climático, hasta el control de la desertificación (Petraglia *et al.*, 2015).

2.10.1. Corine Land Cover adaptada para Perú

La leyenda fue desarrollada siguiendo los acuerdos regionales vinculados a trabajar con el esquema Corine Land Cover (IDEAM, 2007). Este esquema ha sido adaptado para Colombia, y da un marco de comparabilidad internacional. Corine Land Cover (CLC) es una metodología para la construcción de mapas de cobertura y uso de la tierra. Emplea una leyenda jerárquica, que vincula distintos niveles de detalle espacial con distintos niveles de detalle temático (Disponible en <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corineland-cover>)

El MINAM en cumplimiento a sus funciones y competencias asignadas en materia de Ordenamiento Territorial, emitió la Resolución Ministerial N° 135-2013-MINAM, que aprueba la Guía Metodológica para la elaboración de los Instrumentos Técnicos Sustentatorios para el Ordenamiento Territorial. En esta guía se menciona al Estudio de análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra, y a la actualidad vienen elaborando las guías de procedimiento metodológico que incluirá el uso de Corine Land Cover (Disponible en <http://minam.gob.pe/>)

La cual se observa en la siguiente tabla:

TABLA 01: CORINE LAND COVER ADAPTADA PARA PERÚ

Nivel I	Nivel II	Nivel III
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo
	1.2. Áreas industriales e infraestructura	1.2.1. Áreas industriales o comerciales
		1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
		1.2.3. Áreas portuarias
		1.2.4. Aeropuertos
		1.2.5. Obras hidráulicas
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos
		1.3.2. Áreas de disposición de residuos
	1.4. Áreas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1. Áreas verdes urbanas
1.4.2. Instalaciones recreativas		
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios	
	2.2 Cultivos permanentes	
	2.3 Pastos	
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos
		2.4.2. Mosaico de Pastos y Cultivos
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales		
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales		

Nivel I	Nivel II	Nivel III	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo	
		3.1.2. Bosque abierto bajo	
		3.1.3. Bosque denso alto	
		3.1.4. Bosque abierto alto	
		3.1.5. Bosque fragmentado	
	3.2 Bosques plantados		
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Herbazal	
		3.3.2 Arbustal	
		3.3.3 Vegetación secundaria o en transición	
		3.3.4 Vegetación arbustiva / herbácea	
		3.3.5 Arbustal / área intervenida	
		3.3.6 Herbazal / área intervenida	
		3.3.7 Arbustal-Herbazal/área intervenida	
	3.4 Áreas sin o con poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales	
			3.4.2 Afloramientos rocosos
			3.4.3 Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)
		3.4.4 Áreas quemadas	
		3.4.5 Glaciares	
		3.4.6 Salares	

Nivel I	Nivel II	Nivel III
4. Áreas húmedas	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.1. Áreas Pantanosas
		4.1.2. Turberas y bofedales
		4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
	4.2. Áreas húmedas costeras	4.2.1. Pantanos costeros
		4.2.2. Salitral
		4.2.3. Sustratos y sedimentos expuestos en bajamar
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos (50 m)
		5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes
		5.1.3. Lagunas, lagos y ciénagas naturales estacionales
		5.1.4. Canales
		5.1.5. Cuerpos de agua artificiales
	5.2. Aguas costeras	5.2.1. Lagunas costeras
5.2.2. Mares y océanos		
5.2.3. Estanques para acuicultura marina		

Fuente: Ministerio del Ambiente (MINAM), 2014

2.11. Imágenes satelitales

Una imagen satelital es el producto obtenido por un sensor instalado a bordo de un satélite artificial mediante la captación de la radiación electromagnética emitida o reflejada por un cuerpo celeste, producto que posteriormente se transmite a estaciones terrenas para su visualización, procesamiento y análisis (Disponible en <http://www.teledet.com.uy/imagen-satelital.htm>).

La imagen satelital o sistema técnico de observación a distancia, permite adquirir información de objetos situados en la superficie de la tierra, sin que el instrumento de medida este en contacto con los objetivos, así mismo permite la posibilidad de restituir y traducir dichas informaciones en cartas de fácil interpretación (Poma, 2011).

2.12. Interpretación de imágenes satelitales

La interpretación de imágenes satelitales ha progresado aceleradamente tanto en resolución como en biblioteca de firmas espectrales (la radiación reflejada en función de la longitud de onda), existiendo, actualmente en uso, imágenes donde el pixel representa 30 m² o menos. Paralelamente, se ha desarrollado y se encuentra en uso, la interpretación computacional de las imágenes (Chuvieco, 1996). La interpretación de imágenes tiene como misión examinar los objetos contenidos en las mismas, con el propósito de identificarlos y deducir su significado (Labrador *et al.*, 2012).

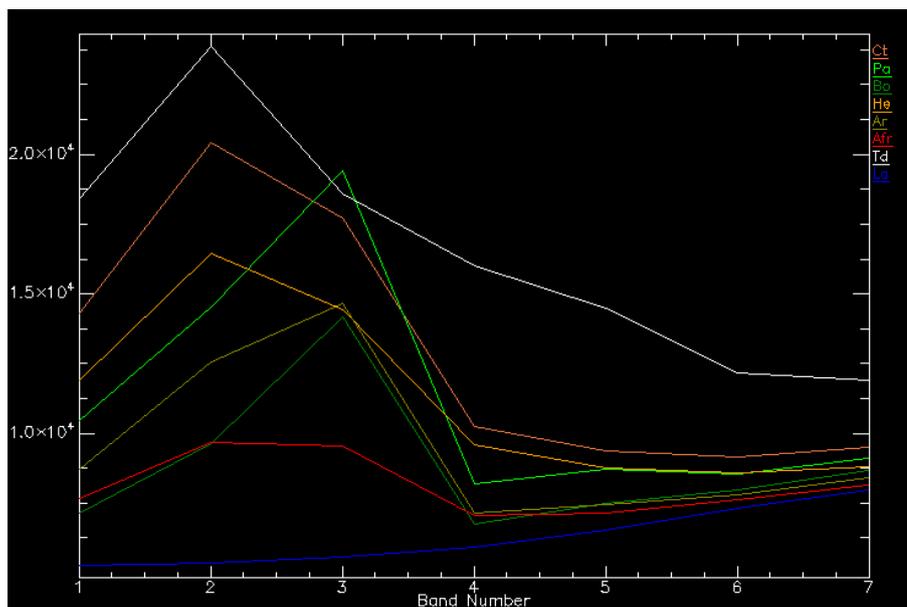
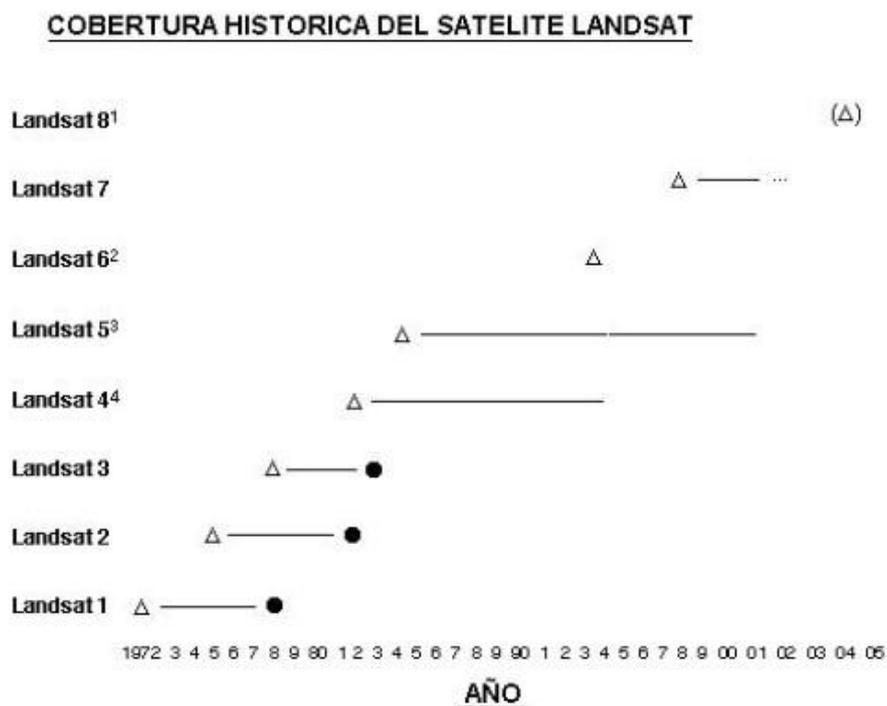


Figura 01: Firmas espectrales usadas para este estudio.

2.13. Satélite Landsat

LANDSAT (LAND = tierra y SAT = satélite) fue el primer satélite enviado por los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. Inicialmente se le llamó ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) y posteriormente los restantes recibieron el nombre de LANDSAT.

Los Landsat son satélites construidos y puestos en órbita por EE. UU. para la observación en alta resolución de la superficie terrestre. Los Landsat orbitan alrededor de la Tierra en órbita circular heliosincrónica, a 705 km de altura, con una inclinación de 98.2° respecto del Ecuador y un período de 99 minutos. La órbita de los satélites está diseñada de tal modo que cada vez que éstos cruzan el Ecuador de Norte a Sur lo hacen entre las 10:00 y las 10:15 de la mañana hora local (Fernández y Herrero, 2001).



Fuente: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>

Figura 02: Cobertura histórica del satélite Landsat.

Según la figura 02 nos representa en que año fue lanzado cada uno de los satélites Landsat y en qué año dejaron de funcionar, muestra además que satélites siguen en funcionamiento hasta la actualidad.

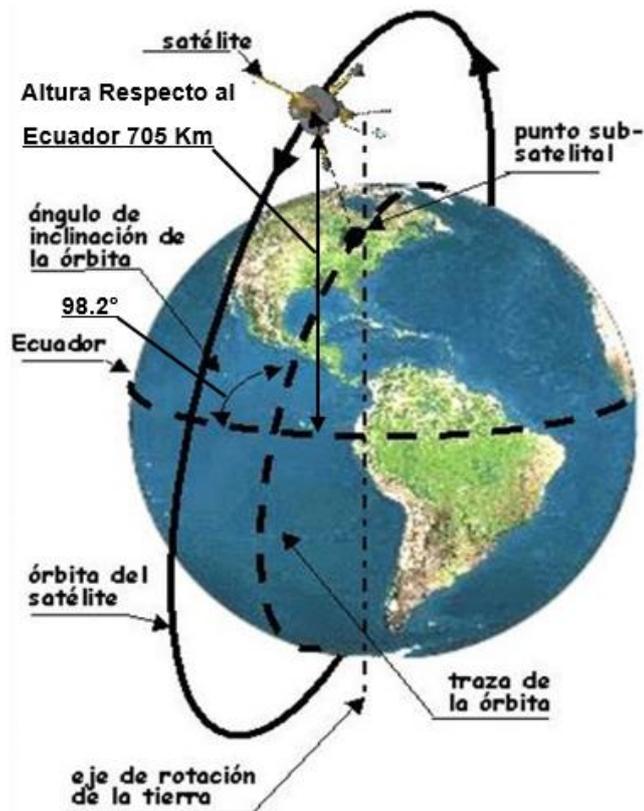


Figura 03: Orbitación heliosincrónica y la inclinación respecto al Ecuador.

La figura 03 representa la altura e inclinación respecto a la línea Ecuatorial de los satélites Landsat, así como también la capacidad de los mismos de circular en órbita circular heliosincrónica, la cual les permite cruzar, cada vez que lo hagan, a la misma hora el Ecuador, así como repetir su órbita original cada 16 días.

2.13.1. Aspectos técnicos de las imágenes landsat

a. Landsat7

Landsat7 fue diseñado para una vida útil de 5 años y tiene la capacidad de recolectar, así como transmitir hasta 532 imágenes por día. Se encuentra en una órbita Heliosincrónica, que significa que pasa siempre a la misma hora por un determinado lugar. Tiene visión de toda la superficie terrestre en un lapso de tiempo de 15 días, y realiza 232 órbitas. El peso del satélite es de 1973 Kilogramos, mide 4.04 metros de largo, y 2.74 metros en diámetro. A diferencia de sus antecesores, Landsat 7 posee una capacidad de almacenamiento de 378

gigabytes, equivalente alrededor a 100 imágenes. El instrumento esencial a bordo del satélite es el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), que es un radiómetro de barrido multiespectral de ocho bandas, fijo y de “barrido de varillas” capaz de proporcionar información de imágenes de alta resolución de la superficie de la tierra (Disponible en <https://landsat7.usgs.gov/>).

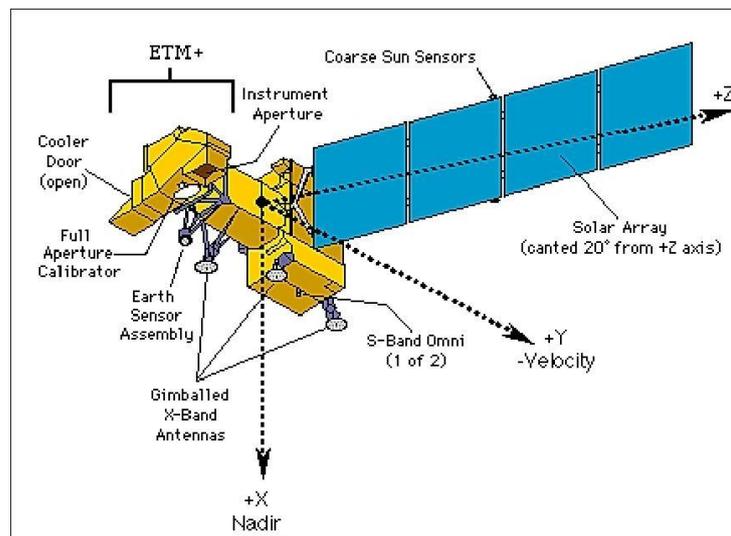


Figura 04: Satélite Landsat7.

TABLA 02: CARACTERÍSTICAS DE LANDSAT7

MODO ESPECTRAL	RESOLUCIÓN			RADIOMÉTRICA	TEMPORAL
	ESPACIAL (m)	ESPECTRAL (micras)			
Multiespectral	30	Banda 1. Azul	0.45 - 0.52	8 BITS	16 días
		Banda 2 Verde	0.53 - 0.61		
		Banda 3. Roja	0.63 - 0.69		
		Banda 4. Infrarrojo cercano1	0.78 - 0.90		
		Banda 5. Infrarrojo cercano2	1.55 - 1.75		
		Banda 6. Infrarrojo medio	2.09 - 2.35		
Pancromática	15	Banda 8. Pancromática	0.52 - 0.90		

Fuente: Fernández y Herrero, 2001

b. Landsat8

El satélite Landsat 8 incorpora dos instrumentos de barrido: Operational Land Imager (OLI), y un sensor térmico infrarrojo llamado Thermal Infrared Sensor (TIRS).

Ariza (2013) afirma que las bandas espectrales del sensor OLI, aunque similares a el sensor Landsat 7 ETM +, proporcionan una mejora de los instrumentos de las misiones Landsat anteriores, debido a la incorporación de dos nuevas bandas espectrales: un canal profundo en el azul visible (banda 1), diseñado específicamente para los recursos hídricos e investigación en zonas costeras, y un nuevo canal infrarrojo (banda 9) para la detección de nubes cirrus. Adicionalmente una nueva banda de control de calidad se incluye con cada producto de datos generado. Esto proporciona información más detallada sobre la presencia de características tales como las nubes, agua y nieve.

Por otra parte, el sensor TIRS recoge dos bandas espectrales en longitudes de onda incluidas por la misma banda en los anteriores sensores TM y ETM+.

La calidad de los datos (relación de la señal en función del ruido) y la resolución radiométrica (12 bits) del OLI y TIRS es más alta que los anteriores instrumentos Landsat (8 bits para TM y ETM+), proporcionando una mejora significativa en la capacidad de detectar cambios en la superficie terrestre.

Aproximadamente se recogen 400 escenas al día, las cuales son cargadas en el servidor de USGS con el fin de que se encuentren disponibles para su descarga 24 horas después de la adquisición. Los datos de productos Landsat 8 son totalmente compatibles con todos los datos de los productos estándar a nivel 1 (ortorectificado) creados usando Landsat 1 al Landsat 7.

Las imágenes Landsat8 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 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km) (INEGI, 2012).

TABLA 03: DISTRIBUCIÓN DE LAS BANDAS EN OLI Y TIRS.

	Bandas	longitud de onda (micrómetros)	Resolución Espacial (m)
Landsat8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
	Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
	Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
	Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
	Banda5 - Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
	Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Banda 10 - Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Fuente: INEGI, 2012

2.14. Resolución de un sistema sensor

Se puede definir la resolución de un sensor como su habilidad de registrar, discriminar información de detalle, esta resolución depende del efecto combinado de sus distintos componentes. La definición “información de detalle” se refiere no solo al detalle espacial que proporciona el sensor, sino también al número y anchura de las bandas del espectro que alberga, a su cadencia temporal, y a su capacidad para distinguir variaciones en la energía que detecta (Chuvienco, 1995).

2.14.1. Resolución espacial

La resolución espacial es una medida de la distancia angular o lineal más pequeña que puede captar un sensor remoto de la superficie de la Tierra, y viene representada por un píxel. Un píxel es la unidad mínima que conforma una imagen digital. 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.

Son varios los factores que determinan la resolución espacial de un sensor remoto (distancia sensor - superficie terrestre, ángulo de visión y campo de visión instantáneo). Para el caso de los sensores a bordo de satélites estos factores son prácticamente fijos, por lo que la resolución espacial puede ser considerada constante, siempre y cuando el ángulo de visión no sea grande (Chuvienco, 2010).

2.14.2. Resolución espectral

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. En este sentido, un sensor tendrá una resolución espectral más grande cuanto mayor sea el número de bandas proporcione. A la vez conviene que estas bandas sean suficientemente estrechas con objeto de recoger el serial sobre regiones coherentes del espectro. Bandas muy amplias suponen registrar un valor promedio que puede encubrir la diferenciación

espectral entre cubiertas de interés (Chuvienco, 2010).

Por tanto, a menor ancho espectral mayor resolución. El problema que surge es que también se reduce la relación S/N por lo que es necesario llegar a una solución de compromiso entre ambas magnitudes (Pérez y Muñoz, 2006).

2.14.3. Resolución radiométrica

La resolución radiométrica de los datos de teledetección se define como la cantidad mínima de energía requerida para incrementar el valor de un píxel en un nivel digital (ND) (Chuvienco, 2010).

Indica la capacidad del sensor para discriminar niveles o intensidades de radiancia. La energía electromagnética recibida por el sensor, cuando se convierte a nivel digital, necesita un formato binario (número de bits) para codificarse. A mayor número de bits reservados para almacenar el valor de la reflectividad de un píxel, mayor resolución radiométrica. De este modo el sensor TM de LANDSAT tiene una resolución radiométrica de 8 bits con lo que pueden registrarse valores decimales equivalentes en un rango de 0 a 255, es decir 256 (Pérez y Muñoz, 2006).

2.14.4. Resolución temporal

La resolución temporal es el ciclo de repetición, o intervalo de tiempo, entre dos adquisiciones de imágenes sucesivas de una misma porción de la superficie y depende, en gran medida, de las características orbitales del satélite. Muchas veces también se la denomina periodo de revisita. La resolución temporal de un sensor depende principalmente de tres factores: capacidad de reorientación del sensor a ambos lados de la línea de paso del satélite, del ancho de barrido y de la latitud, ya que, en el caso de órbitas cuasi polares, a mayor latitud, menor periodo de revisita (Chuvienco, 2010).

2.14.5. Resolución angular

Por ella se entiende la capacidad que tiene un sensor para tomar imágenes oblicuas. Esta propiedad permite no solamente acortar los ciclos temporales de recubrimiento, sino que posibilita la generación de imágenes estereoscópicas y por tanto la reconstrucción del relieve. En un análisis conjunto de las diferentes resoluciones de los satélites llegaríamos a la conclusión de que un satélite no es mejor ni peor que otro debido a su resolución. Cada misión espacial ha concebido unos sensores adaptados a unos determinados usos y eso es lo importante (Pérez y Muñoz, 2006).

2.15. Realce y mejoramiento visual de imagen satelital

Las primeras manipulaciones que han de llevarse a cabo tienen como finalidad restaurar la imagen reestableciendo, en la medida de lo posible, las condiciones de la toma. Ello implica el desarrollo de dos tipos de correcciones: unas de índole geométrica y otras de carácter radiométrico. (Jensen, 1996).

Las correcciones geométricas tienen como finalidad reconstruir la geometría de la imagen, adaptándola a una determinada Proyección cartográfica y a su sistema de coordenadas asociado. Para denominar este tipo de operaciones se ha consolidado el nombre de georreferenciación. Los procedimientos matemáticos que resuelven este problema y las metodologías usadas para su implementación mediante algoritmos en las aplicaciones informáticas de Teledetección son muy variados (Koutsias y Karteris, 1998).

Las correcciones radiométricas, pretenden reestablecer los valores de los niveles digitales de la imagen depurando cualquier anomalía en su registro achacable, bien a defectos en el sistema sensor, bien a las condiciones ambientales de la toma (Landri *et al.*, 1995).

2.16. Pre procesamiento de imágenes satelitales.

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 pixeles que la componen. Cualquier imagen adquirida por un sensor remoto, presenta una serie de alteraciones radiométricas y geométricas debidas a muy variados factores, en el caso concreto de las imágenes espaciales (Chuvienco, 2008).

Estas distorsiones, deben ser comprendidas para procesar los datos adecuadamente para posteriores análisis e interpretaciones. Consecuentemente la radiancia registrada por el sensor no es una representación exacta de la radiancia efectivamente reflejada por las coberturas. Esto significa que la imagen adquirida en formato numérico presenta una serie de anomalías con respecto a la escena real detectada. Estas anomalías están en la localización de los pixeles que componen la matriz de datos. Las operaciones de corrección pretenden minimizar estas alteraciones. Como producto se obtiene una imagen corregida que es lo más próximo posible, geométrica y radiométricamente, a la verdadera energía radiante y características espaciales del área de estudio (APN, 2005).

2.16.1. Georreferenciación y corrección geométrica

Una imagen de satélite, al igual que las fotografías aéreas, no proporciona información georreferenciada; cada pixel se ubica en un sistema de coordenadas arbitrario de tipo fila-columna como los que manejan los programas de tratamiento digital de imágenes.

El proceso de georreferenciación consiste en dar a cada pixel su localización en un sistema de coordenadas estándar (UTM, lambert, coordenadas geográficas) para poder, de este modo, combinar la imagen de satélite con otro tipo de capas en un entorno SIG. Tras la georreferenciación se obtiene una nueva capa en la que cada columna corresponde con un valor de longitud y cada fila con un valor de latitud. En caso de que la imagen no hubiese sufrido

ningún tipo de distorsión, el procedimiento sería bastante sencillo, sin embargo, una imagen puede sufrir diversos tipos de distorsiones (IGAC, 2008).

La corrección geométrica corrige los desplazamientos y distorsiones geométricas presentes en una imagen, causados por la inclinación del sensor (posición del sensor en el momento de la toma), la influencia del relieve y los errores sistemáticos asociados con la imagen (IGAC, 2008).

2.16.2. Correcciones atmosféricas

a. Proceso de Corrección atmosférica de las imágenes Satelitales

La atmosfera puede afectar la naturaleza de las imágenes de sensores remotos en un número de formas diferentes. A nivel molecular, los gases atmosféricos causan dispersión de Rayleigh que afecta progresivamente las longitudes de banda más cortas (provocando que el cielo se vea azul). Además, los componentes atmosféricos principales como el oxígeno, el dióxido de carbono, el ozono y el vapor de agua (particularmente los dos últimos) causan la absorción de energía en longitudes de bandas seleccionadas. Las partículas de aerosol (un aerosol es una suspensión gaseosa de partículas líquidas o de sólidos finos) son el principal determinante de la neblina e introducen una dispersión Mie en gran medida no selectiva (es decir, que afecta a todas las longitudes de banda por igual). Los efectos atmosféricos pueden ser sustanciales (Eastman, 2003).

La corrección atmosférica busca entonces disminuir o eliminar las distorsiones que se introducen en las imágenes producto de la interacción de la atmósfera con el sensor. Los procedimientos habituales de corrección atmosférica en modelos físicos de transferencia radiativa a partir de

información obtenida de la propia imagen y métodos de ajustes empíricos (Aguilar *et al.*, 2014).

Uno de los modelos más conocidos es MODTRAN (MODerate resolution atmospheric TRANsmission), el cual busca eliminar los efectos de la absorción y dispersión causados por las moléculas y partículas atmosféricas en suspensión, de la radiación recibida por el sensor y convertir esa radiancia a valores de reflectividad de superficie (Aguilar *et al.*, 2014).

b. Corrección radiométrica

La corrección radiométrica es un proceso de conversión de valores de niveles digitales (ND) a valores de radiancia. Este paso fundamental en los datos de imágenes, para ello se requiere los coeficientes de calibración (Pinilla, 2006a).

Una vez que la radiación electromagnética es generada y se propaga, interactúa con la atmósfera afectando a la radiación en su longitud de onda, intensidad, distribución espectral y/o su dirección. Hay dos tipos de efectos que produce la atmósfera: absorción y dispersión. El objetivo general de las correcciones atmosféricas es convertir los valores obtenidos por el sensor remoto en valores de reflectancia en superficie, que es la magnitud física de interés. Estos valores son necesarios cuando se utilizan datos satelitales para el análisis cuantitativo de las propiedades biofísicas de los elementos de la superficie terrestre, identificar y evaluar los procesos que en ella ocurren mediante la comparación de diferentes escenas en estudios temporales (APN, 2005) y cuando se deriven índices a partir de bandas ubicadas en diferentes regiones del espectro electromagnético.

2.17. Análisis de las imágenes

El análisis visual de imágenes se realiza empleando tres bandas del sensor, coincidiendo con la capacidad de los monitores, empleados en informática, monitores RGB. Los monitores poseen en total tres cañones, RGB, red, Green y blue - Rojo/Verde/Azul, con los que, por combinación de estos tres colores básicos, se construyen el resto de los colores.

Empleando estos tres Cañones tenemos la posibilidad de enviar en cada uno de ellos una de las bandas del sensor, combinándose en nuestra pantalla y dando distintos colores y tonos. Estos colores y tonos se emplean para analizar visualmente la imagen, combinando las bandas, de manera que se da un primer acercamiento al contenido de la imagen. Las combinaciones de colores se emplean para discriminar Geología de la imagen, Usos del suelo de la imagen, Morfología Urbana, etc. (Pérez y Muñoz 2006).

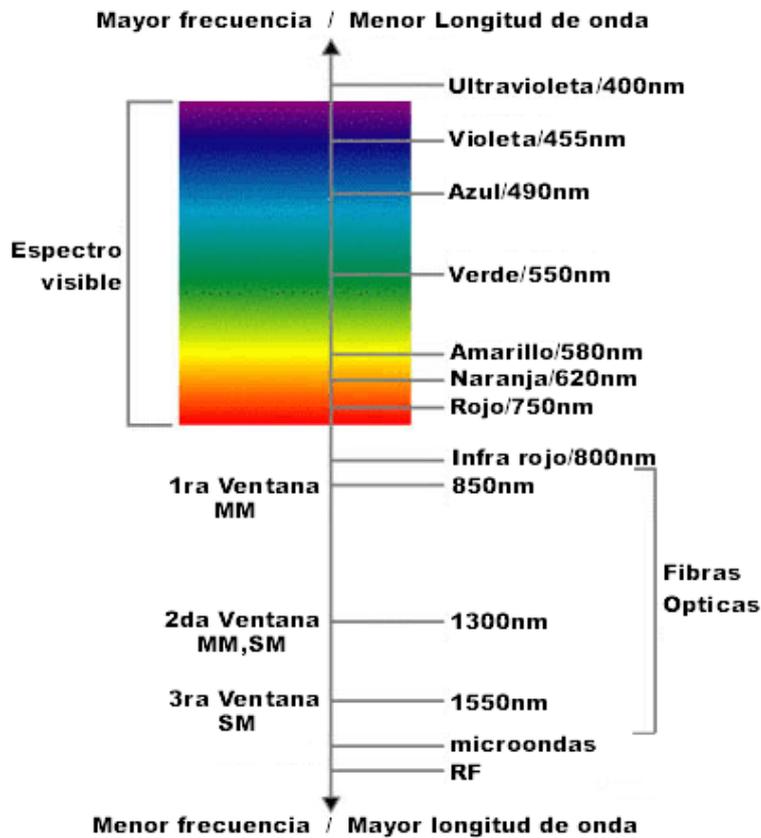


Figura 05: Espectro de luz y la frecuencia de longitud de onda.

2.18. Combinación de bandas

Las imágenes de satélite se distribuyen en bandas espectrales separadas, las cuales se pueden combinar para crear otras imágenes. Para realizar este procedimiento, los programas de interpretación de imágenes traen comandos especiales que permiten combinar bandas y asignar a cada una un color de visualización específico. La combinación de las bandas espectrales correspondientes al azul, verde y rojo permiten preparar una imagen satelital en color verdadero. En el caso de las imágenes Landsat para construir esta imagen se combinan las bandas 1-2-3 y se asigna a cada banda su correspondiente color; esto es, azul, verde y rojo, respectivamente (Orozco y Brumér, 2002).

En una imagen de falso color no se sigue este patrón, sino que los colores azul, verde y rojo se asignan a diferentes bandas espectrales. Una imagen de falso color muy utilizada en interpretación de imágenes de satélite se obtiene al combinar las bandas Landsat 2-3-4. y asignando a cada una un color. El color azul se asigna a la banda 2 (la que registra la radiación verde), el color verde a la banda 3 (la que registra la radiación roja), y el color rojo a la banda espectral 4 (la que registra la radiación infrarroja cercana). El resultado es una imagen de falso color, en donde la vegetación en áreas boscosas se verá de color rojo intenso, dado que la vegetación activa refleja una gran proporción de la radiación infrarroja cercana incidente, y en donde la vegetación bajo estrés (por enfermedad o sequía) se verá de color amarillo claro. Asimismo, los ríos de agua limpia se verán negros, y los ríos con alto contenido de sedimentos se verán de color azul. Finalmente, en esta imagen los terrenos sin cobertura vegetal se verán de color gris-azulado, mientras que los pastos y terrenos con cultivos agrícolas se mostrarán de color rojo claro (Jensen, 1996)



Figura 06: Falso color RGB (6.5.4) combinación de bandas para pastos.

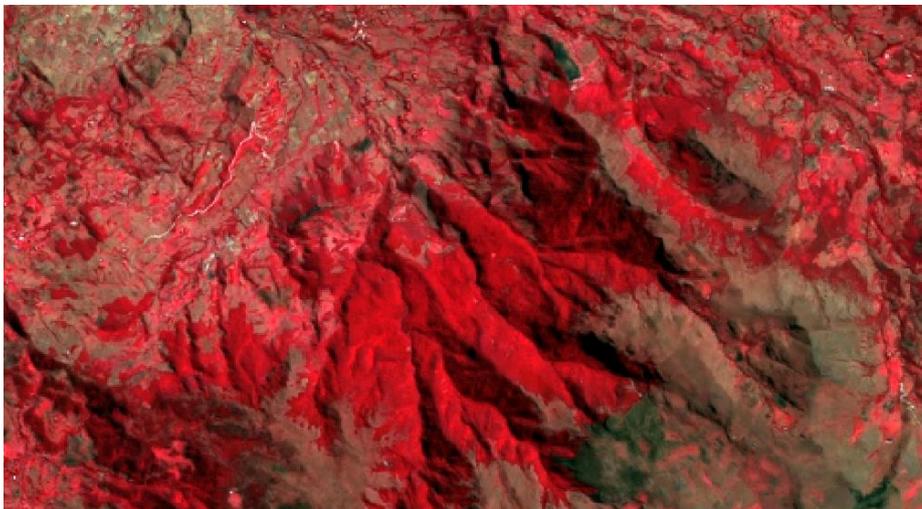


Figura 07: Falso color RGB (5.4.3) combinación de bandas para bosques.

2.19. Índice de vegetación de diferencia normalizada

Existen diversas metodologías para estudiar mediante imágenes satelitales los cambios estacionales que ocurren en la vegetación; uno de ellos es la aplicación de índices vegetativos relacionados con el verdor (Chuvieco, 1998). El NDVI mide la relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres. Aplicado a las comunidades de plantas, el índice arroja valores de intensidad del verdor de la zona, y da cuenta de la cantidad de vegetación presente en una superficie y su estado de salud o vigor vegetativo. El NDVI es un índice no dimensional, y por lo tanto sus valores van de -1 a +1 lo que permite establecer umbrales y comparar imágenes.

- ✓ Valores muy bajos de NDVI, del orden de 0.1, corresponden a áreas rocosas, arenosas o nevadas.
- ✓ Valores de 0.2 a 0.3 pueden corresponder a áreas pobres con arbustos o pasturas naturales.

A partir de estos valores tendremos los niveles correspondientes a praderas, cultivos, forestaciones etc. dependiendo el valor alcanzado.

2.20. Modelo de elevación digital

Los Modelos de Elevación Digital (DEM) son definidos como una estructura numérica de datos que representan la distribución espacial de la altitud en la superficie terrestre, almacenados en una base de datos digital, georreferenciada en un sistema de proyección cartográfica (Bosque, 1997). Es llamado modelo porque, a través de algoritmos matemáticos, los datos altitudinales pueden ser modelados automáticamente en una computadora y así lograr analizar la superficie terrestre en un modelo en tres dimensiones (Maune, 2001).

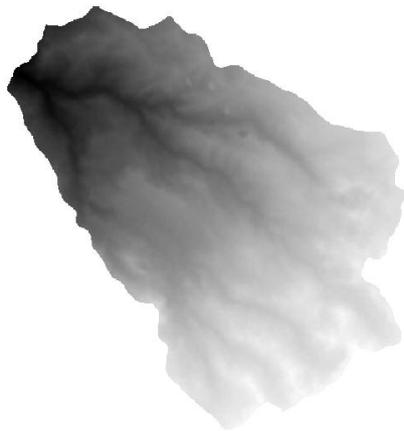


Figura 08: Modelo de Elevación Digital (DEM) del distrito de Chugur.

2.21. Random Forest

Es un algoritmo de clasificación no lineal que permite identificar patrones en los datos que se incorporan como entrada de información. Dicho algoritmo construye cientos de árboles de regresión y emplea un sistema de “votos” entre el conjunto de árboles para “decidir” la clase - cada árbol calibrado es un voto, y se asigna la clase en función de cuántos votos obtiene cada una de las unidades a ser clasificadas (Breiman, 2001 citado por ARNILLAS *et al.*, 2012).

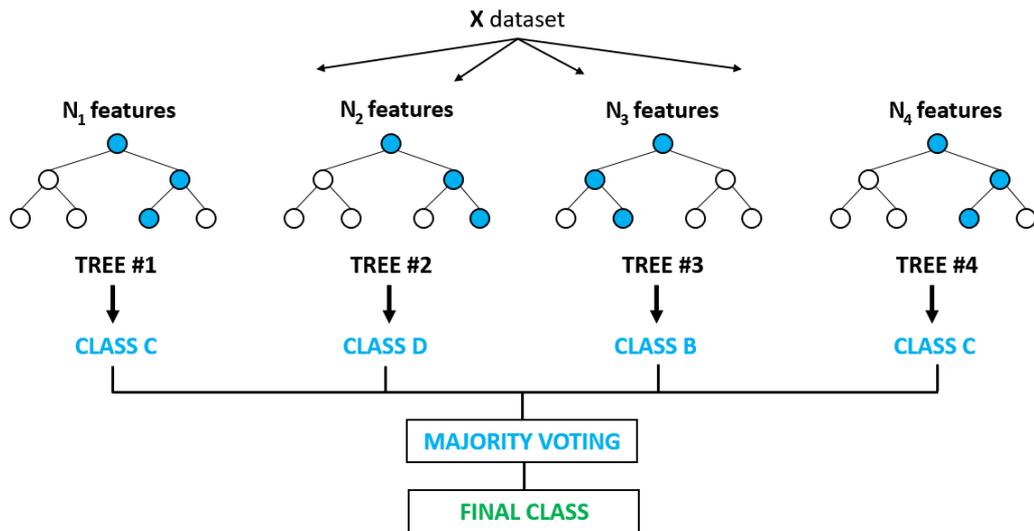


Figura 09: Algoritmo de máxima verosimilitud (Random Forest).

2.22. Índice kappa

El índice kappa (κ) se usa para evaluar la concordancia o reproducibilidad de instrumentos de medida cuyo resultado es categórico (2 o más categorías); también representa la proporción de acuerdos observados más allá del azar respecto del máximo acuerdo posible más allá del azar. En la interpretación hay que tener en cuenta que el índice depende del acuerdo observado, pero también de la prevalencia del carácter estudiado y de la simetría de los totales marginales (Cohen, 1960).

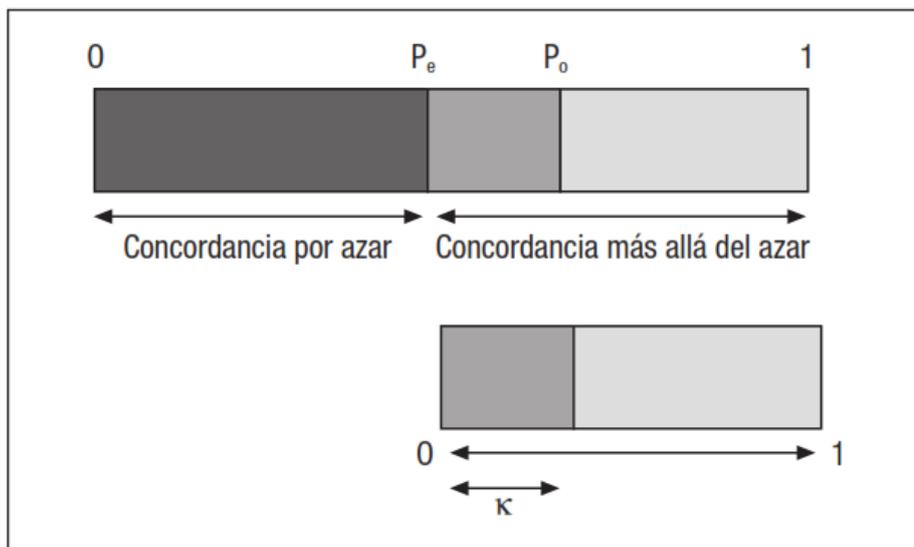


Figura 10: Representación gráfica del índice kappa.

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

Donde:

P_o: Proporción de acuerdos entre observadores.

P_e: Proporción de acuerdos al azar.

TABLA 04: ESCALA DE VALORES ÍNDICE KAPPA

Kappa (K)	Grado de acuerdo
< 0.00	Sin acuerdo
>0.00 – 0.20	Insignificante
0.21 – 0.40	Discreto
>0.41 – 0.60	Moderado
0.61 – 0.80	Sustancial
0.81 – 1.00	Casi perfecto

Fuente: Cohen, 1960

2.23. Matriz de confusión

La matriz, de confusión es una tabla en la que se contabilizan los píxeles de cada clase (reconocida en la imagen) que han sido clasificados dentro de su propia clase o en otra diferente. La matriz tiene tantas filas y columnas como clases se hayan definido en la escena y las celdas de esa matriz contienen el número de píxeles que, siendo de una clase, dada por la fila (según el conocimiento a priori de la zona de estudio o según comprobaciones hechas a posteriori), han sido clasificados como otra clase, dada por la columna. La clasificación perfecta sería una matriz en la que el 100% de los píxeles clasificados estuviesen contabilizados en las celdas de la diagonal de esa matriz; en ese caso, todos los píxeles estarían correctamente clasificados (Orozco y Brumér, 2002).

CATEGORIAS ASIGNADAS EN LA IMAGEN												
Resultados de la clasificación	CATEGORÍAS	21	23	31	331	332	342	343	512	Total	F. Usuario %	
	21	12	1	0	0	0	0	0	0	0	13	92.31
	23	1	85	0	0	0	0	0	0	86	98.84	
	31	0	0	27	0	1	0	0	0	28	96.43	
	331	0	1	0	17	0	0	0	0	18	94.44	
	332	0	0	1	0	13	0	0	0	14	92.86	
	342	0	0	0	1	0	9	0	0	10	90.00	
	343	0	0	0	0	0	0	11	0	11	100.00	
	512	0	0	0	0	0	2	0	11	13	84.62	
	Total	13	87	28	18	14	11	11	11	193	F. Global 93.69 %	
	F. Productor %	92.31	97.70	96.43	94.44	92.86	81.82	100.00	100.00			

Figura 11: Matriz de confusión.

La figura 11 representa la matriz de confusión donde cada columna de la matriz representa el acierto de la clasificación en el terreno por categoría, mientras que cada fila representa la fiabilidad de las áreas de entrenamiento digitalizadas por el usuario; la fiabilidad del usuario y la fiabilidad del productor se obtiene multiplicando el número de áreas correctamente clasificadas por cien entre el número total de áreas digitalizadas por fila para el usuario y por columna para el productor; la fiabilidad global se obtiene de la sumatoria total de la fiabilidad del usuario entre el número de categorías obtenidas en el estudio.

2.24. Porcentaje correctamente clasificado

Se calcula dividiendo el número total de píxeles correctamente clasificados por el número total de píxeles de referencia y expresándolo como porcentaje (Szekielda, 1998).

2.25. Sistemas de referencia

Un sistema de referencia geodésico es un recurso matemático que permite asignar coordenadas a puntos sobre la superficie terrestre. Son utilizados en geodesia, navegación, cartografía y sistemas globales de navegación por satélite para la correcta georreferenciación de elementos en la superficie terrestre. Estos sistemas son necesarios dado que la Tierra no es una esfera perfecta (Szekielda, 1998).

Dentro de estos cabe distinguir los llamados sistemas locales, que utilizan para su definición un elipsoide determinado y un punto datum, y los sistemas globales cuyos parámetros están dados por una terna rectangular (X, Y, Z) cuyo origen se encuentra en el geocentro terrestre. Para definir las coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura) cuentan con un elipsoide de revolución asociado (Szekielda, 1998).

2.25.1. WGS84 (Sistema Geodésico Mundial)

Según Altamimi *et al.* (2002) el WGS84 es un sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas. WGS84 son las siglas en inglés de World Geodetic System 84 (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984).

El Sistema Geodésico Mundial es un estándar para su uso en la cartografía, geodesia y navegación. Cuenta con un estándar de coordenadas de la Tierra, un estándar de referencia de la superficie esférica (el dato o elipsoide de referencia) para los datos de altitud primas, y una superficie equipotencial gravitacional (el geoide) que define el nivel del mar nominal. El origen de coordenadas de WGS 84 está destinado a ser ubicado en el centro de la masa de la Tierra, se cree que el error es menos de 2 cm.

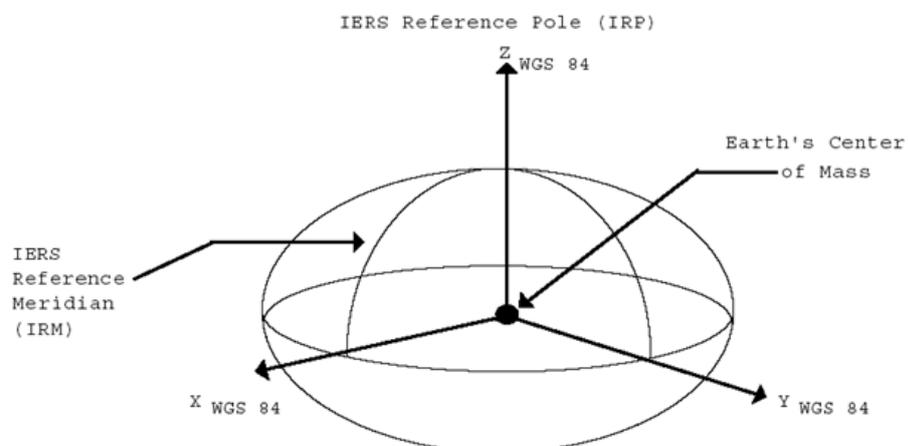


Figura 12: WGS 84 Sistema Geodésico Mundial.

El sistema de referencia WGS84 es un sistema global geocéntrico, definido por los parámetros:

- ✓ Origen: Centro de masa de la Tierra
- ✓ Sistemas de ejes coordenados:
 - Eje Z: dirección del polo de referencia del IERS _ The International Earth Rotation Service.
 - Eje X: intersección del meridiano origen definido en 1984 por el BIH y el plano del Ecuador (incertidumbre de 0.005”).
 - Eje Y: eje perpendicular a los dos anteriores y coincidentes en el origen.

2.26. Shapefile

Un shapefile es un formato de almacenamiento de datos vectoriales de Esri para almacenar la ubicación, la forma y los atributos de las entidades geográficas. Un shapefile se almacena en un conjunto de archivos relacionados y contiene una clase de entidad. Los shapefiles suelen contener entidades grandes con muchos datos asociados y tradicionalmente se han utilizado en aplicaciones de escritorio SIG como ArcMap. Si un shapefile contiene una cantidad pequeña de datos, puede poner esta información a disposición de otros usuarios a través de un navegador web agregándolo como un archivo .zip que contiene los archivos .shp, .shx, .dbf y .prj a un mapa creado con Map Viewer (Jensen, 1996).

2.27. Clasificación Supervisada y no supervisada de

➤ Clasificación supervisada

Podemos definir esta clasificación como un proceso en que píxeles de identidad conocida, ubicados dentro de las áreas de entrenamiento, se utilizan para clasificar píxeles de identidad desconocida. La clasificación supervisada involucra las siguientes etapas:

- ✓ Etapa de entrenamiento.
- ✓ Selección del algoritmo de clasificación adecuado y clasificación.
- ✓ Operaciones de post clasificación.

En la etapa de entrenamiento el analista selecciona áreas de identidad conocida de la cubierta terrestre de interés (cultivos, forestaciones, suelos, etc.) delineándolas sobre la imagen digital bajo formas de rectángulos o polígonos cuyos datos numéricos quedan archivados en la computadora como regiones de interés constituyendo los “datos de entrenamiento”. Para realizar la selección el analista debe tener un conocimiento previo del área de estudio, sea por reconocimientos de campo, por consulta de mapas, fotografías aéreas, etc. (Pérez y Muñoz, 2006).

➤ **Clasificación no supervisada**

En la clasificación no supervisada no se establece ninguna clase a priori, aunque es necesario determinar el número de clases que queremos establecer, y se utilizan algoritmos matemáticos de clasificación automática. Los más comunes son los algoritmos de clustering que divide el espacio de las variables en una serie de regiones de manera que se minimice la variabilidad interna de los píxeles incluidos en cada región. Cada región de este espacio de variables define de este modo una clase espectral (Pérez y Muñoz, 2006).

2.28. Antecedentes

2.28.1. Evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satelitales en Piura - Perú

Zorogastúa *et al.* (2011) realizaron el estudio del bosque seco localizado en la región Piura, Perú con el objetivo de evaluar el cambio de la cobertura y el uso de la tierra. Se utilizó el procesamiento digital de imágenes del satélite LANDSAT 5 registradas en el año 2001, a través de una clasificación supervisada, usando el algoritmo de máxima verosimilitud. Los resultados se compararon con el mapa de bosques secos elaborado por INRENA con interpretación visual de imágenes LANDSAT 5 registradas en el año 1986.

2.28.2. Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra

Según Alcántara (2014) su estudio fue conocer la dinámica y los principales efectos generados por los cambios en la cobertura y uso de la tierra, en el ámbito del departamento Cajamarca para el periodo 2001 - 2013 a partir de la generación de mapas temáticos de los referidos años; los específicos fueron: analizar factores que inciden en los cambios de la cobertura y uso de la tierra (Actores sociales a) Productores agropecuarios b) Empresas extractivas, Factores sociales a) Demográficos b) Migración, Factores culturales, Factores históricos, Factores institucionales, Factores productivos), analizar los principales efectos generados por los cambios de cobertura y uso, delimitar y caracterizar zonas de tratamiento especial e identificar medidas de gestión que permitan promover dinámicas convenientes de cobertura y uso sostenible de la tierra.

2.28.3. Cambios de la Cobertura del Suelo en el Corredor Metropolitano Cali - Jamundi (Valle del Cauca, Colombia) entre 1984 y 2013.

La metodología se basó en el análisis multitemporal de tres imágenes Landsat clasificadas, de los años 1984, 1998 y 2013, de tal forma se calcularon estadísticas de cambios en la cobertura del suelo, aplicando la técnica de tabulación cruzada. Adicionalmente, se obtuvieron mapas de cambios significativos de acuerdo con las cualidades ambientales y paisajísticas del tipo de cambio, así como mapas dinámicos de la ocupación del suelo, en los cuales se destacan las zonas estables y los procesos territoriales implicados en los cambios significativos (Betancourt, 2015).

CAPÍTULO III

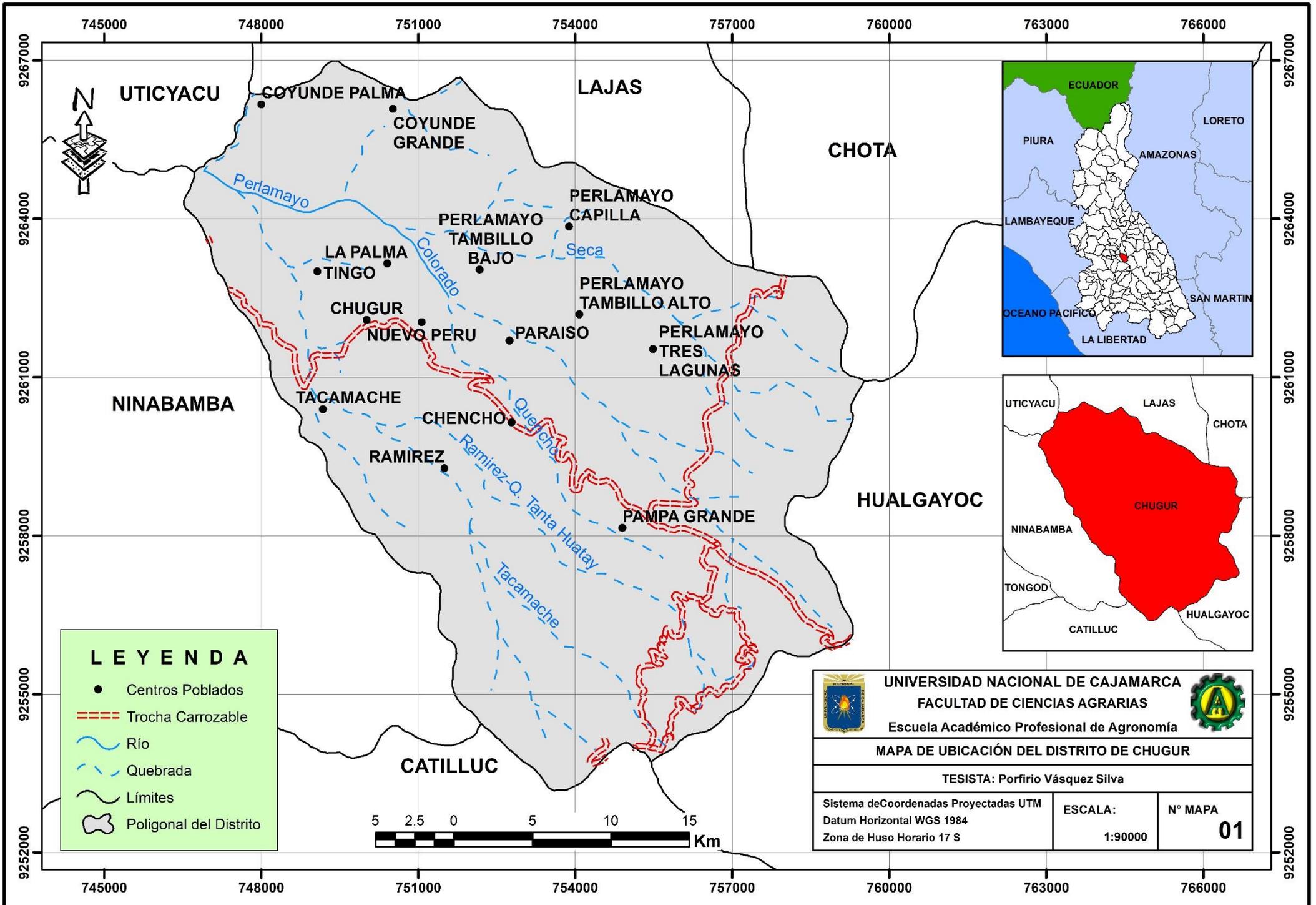
MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción general de la zona

3.1.1. Ubicación

El estudio se realizó en el distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc y departamento de Cajamarca, limita al sur con el distrito de Catilluc, al norte con el distrito de Lajas, al noroeste con el distrito de Uticyacu, al este con los distritos de Chota y Hualgayoc y al oeste con el distrito de Ninabamba.

Geográficamente la zona de estudio se ubica en la vertiente del Pacífico, entre las coordenadas UTM 750019 m Este y entre 9,262081 m Norte, los límites altitudinales oscilan entre 2080 msnm en el río Perlamayo y 4000 msnm en el centro poblado de Pampa Grande, tiene una extensión de 10543.85 ha.



LEYENDA

- Centros Poblados
- Trocha Carrozable
- ~ Río
- - - Quebrada
- ~ Límites
- ⬡ Poligonal del Distrito



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Escuela Académico Profesional de Agronomía			
MAPA DE UBICACIÓN DEL DISTRITO DE CHUGUR			
TESISTA: Porfirio Vásquez Silva			
Sistema de Coordenadas Proyectadas UTM Datum Horizontal WGS 1984 Zona de Huso Horario 17 S	ESCALA: 1:90000	N° MAPA 01	

3.1.2. Regiones naturales del distrito de Chugur

De acuerdo a la clasificación de las regiones naturales del Perú presentado por Javier Pulgar Vidal, el distrito de Chugur presenta tres regiones naturales.

a. Yunga

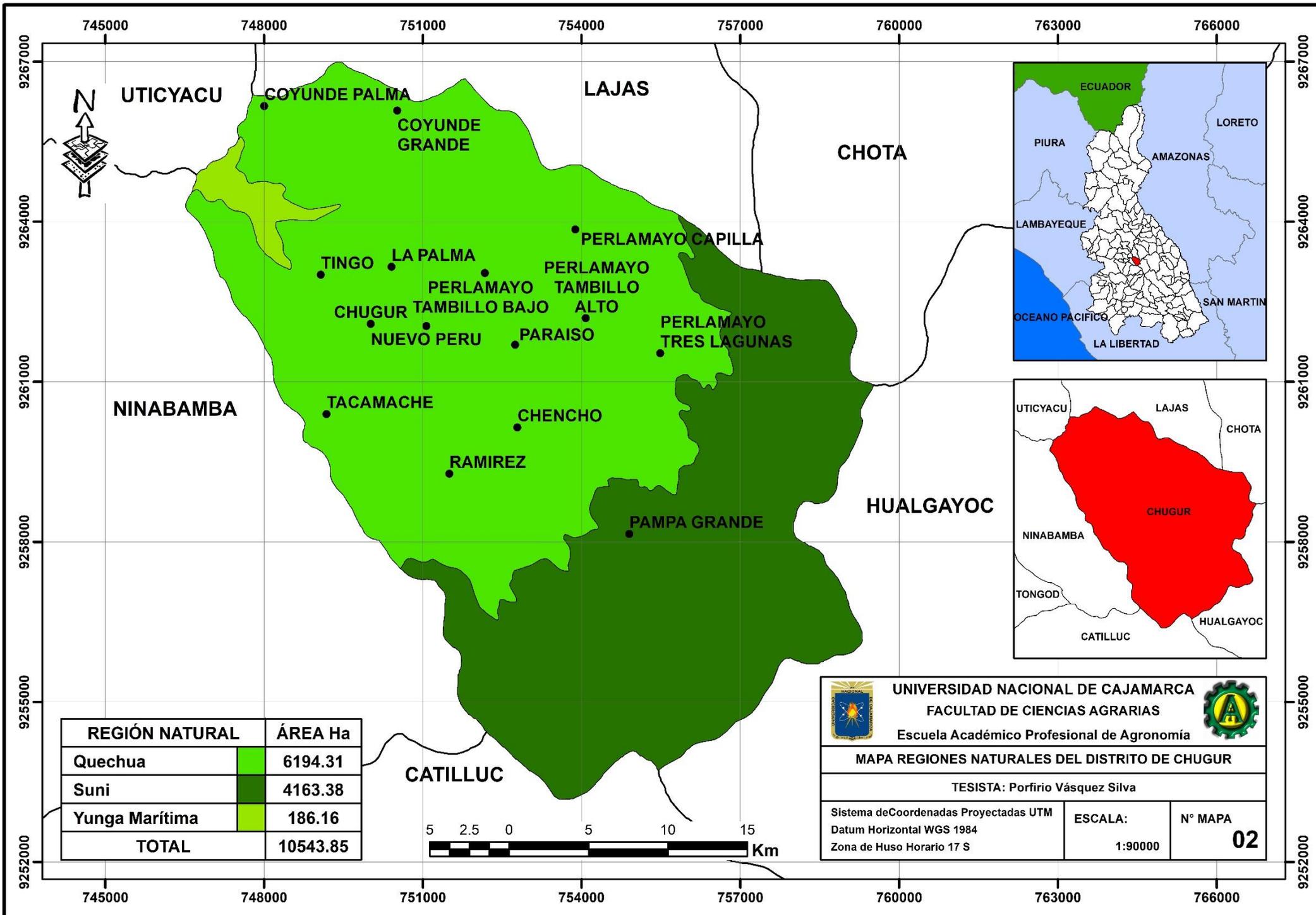
Comprende los niveles altitudinales de 500 a 2300 msnm. Esta región natural, está representada por una parte de los centros poblados de Tacamache, El Tingo y Coyunde Grande, en donde encontramos pendientes Ligeramente Inclinada a Moderadamente Empinada, Moderadamente Empinada, Empinada, predominando la pendiente Moderadamente Empinada y en menor dimensión la pendiente Ligeramente Inclinada a Moderadamente Empinada.

b. Quechua

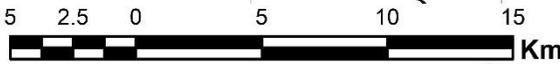
Comprende los niveles altitudinales de 2300 a 3500 msnm. Esta región natural, está representada por los centros poblados de Coyunde Palma, Coyunde Grande, El Tingo, La Palma, Perlamayo Capilla, Perlamayo Tambillo Bajo, Perlamayo Tambillo Alto, Nuevo Perú, Chugur, Tacamache, Ramirez, Chencho, Paraiso, Pampa Grande y Perlamayo Tres Lagunas, en donde encontramos pendientes Nula o Casi a Nivel, Ligeramente Inclinada, Ligeramente Inclinada a Moderadamente Empinada, Moderadamente Empinada, Empinada, pero de forma predominante la pendiente Ligeramente Inclinada a Moderadamente Empinada, en menor dimensión la pendiente Nula o Casi a Nivel.

c. Suni

Comprende los niveles altitudinales de 3500 a 4000 msnm. Esta región natural, está representada por los centros poblados de Tacamache, Ramirez, Pampa Grande, Perlamayo Tres Lagunas y Perlamayo Capilla, en donde encontramos pendientes Nula o Casi a Nivel, Ligeramente Inclinada, Ligeramente Inclinada a Moderadamente Empinada, Moderadamente Empinada, Empinada, pero de forma predominante la pendiente Ligeramente Inclinada a Moderadamente Empinada, en menor dimensión la pendiente Nula o Casi a Nivel.



REGIÓN NATURAL	ÁREA Ha
Quechua	6194.31
Suni	4163.38
Yunga Marítima	186.16
TOTAL	10543.85





UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 Escuela Académico Profesional de Agronomía



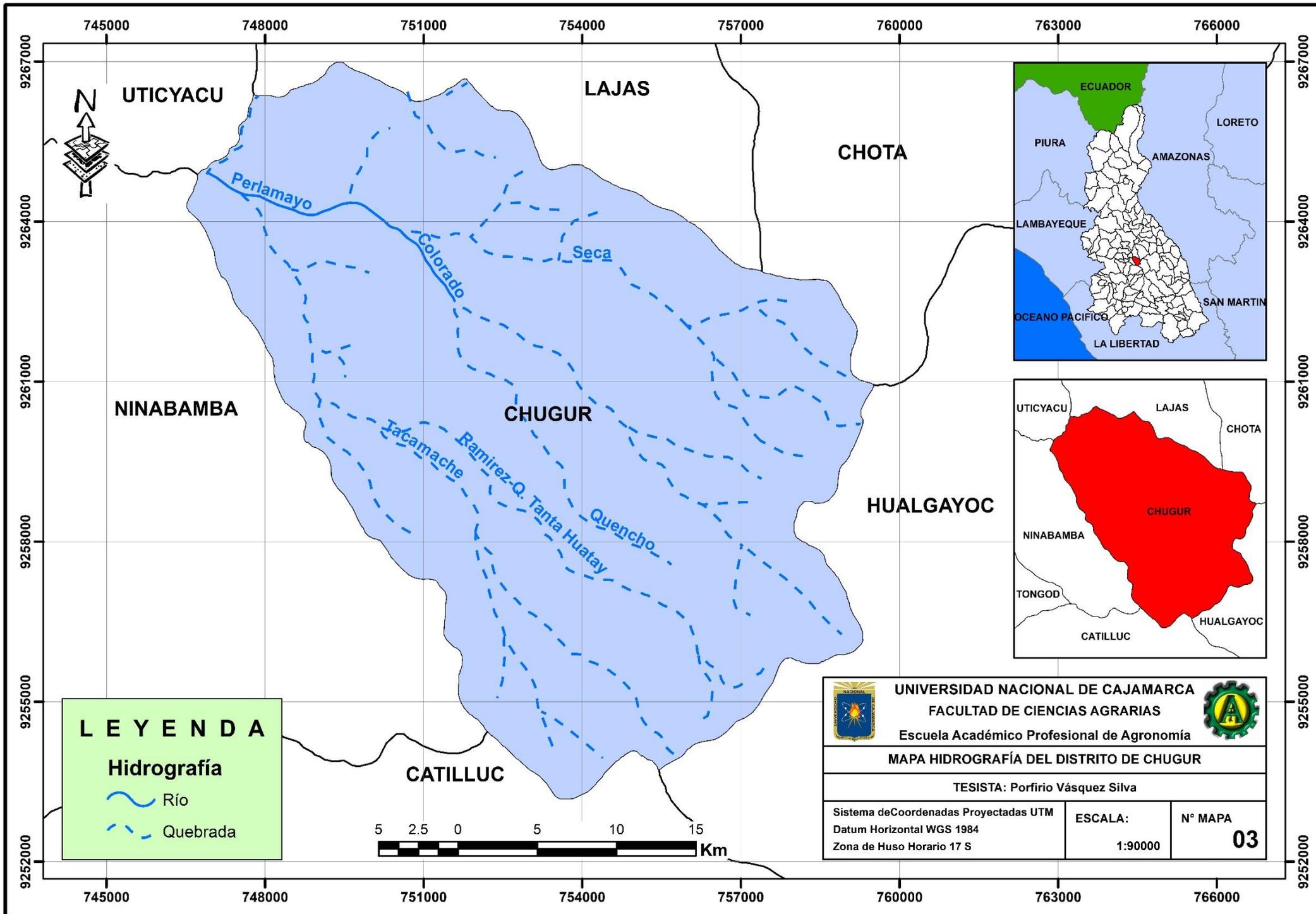
MAPA REGIONES NATURALES DEL DISTRITO DE CHUGUR

TESISTA: Porfirio Vásquez Silva

Sistema de Coordenadas Proyectadas UTM Datum Horizontal WGS 1984 Zona de Huso Horario 17 S	ESCALA: 1:90000	N° MAPA 02
--	--------------------	----------------------

3.1.3. Hidrografía

La hidrografía del distrito de Chugur está conformada por los ríos Colorado y Perlamayo que pertenecen a la vertiente del Pacífico. El río Colorado tiene como afluentes a las quebradas Quencho, Colorado y el río Perlamayo tiene como afluentes a las quebradas Tacamache, Ramirez-Q. Tanta Huatay, Quencho, Seca y al río Colorado. El río Perlamayo es afluente del río San Juan (Santa Cruz) el cual es afluente del río Chancay (Lambayeque), que continúa su trayectoria hasta el repartidor La Puntilla; a partir de ese punto el río se divide en tres cursos, Canal Taime (al Norte), Río Reque (al Sur), y entre ambos el río Lambayeque.



LEYENDA

Hidrografía

-  Río
-  Quebrada



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Escuela Académico Profesional de Agronomía			
MAPA HIDROGRAFÍA DEL DISTRITO DE CHUGUR			
TESISTA: Porfirio Vásquez Silva			
Sistema de Coordenadas Proyectadas UTM Datum Horizontal WGS 1984 Zona de Huso Horario 17 S	ESCALA: 1:90000	N° MAPA 03	

3.1.4. Geología general

Según el mapa geológico nacional, el distrito de Chugur abarca las siguientes formaciones:

a. Formación Celendín (Ks-ce)

La formación Celendín pertenece a la era mesozoico, periodo cretáceo, época superior, conformada por rocas sedimentarias y una litología conformada por calizas, lutitas y margas, se encuentra ocupando un área de 177.87 ha equivalente al 1.69 %, se puede observar en mayor área en los centros poblados de Coyunde Palma, Coyunde Grande y en una menor extensión en los centros poblados de El Tingo y Tacamache.

b. Formación Chulec (Ki-chu).

La formación Chulec pertenece a la era mesozoico, periodo cretáceo, época inferior, conformada por roca sedimentaria y una litología conformada por calizas, lutitas y margas, se encuentra ocupando un área de 323.21 ha equivalente al 3.07 %, se puede observar en mayor área en los centros poblados de Coyunde Palma, Coyunde Grande y en una menor extensión en los centros poblados de El Tingo y Tacamache.

c. Formación Pariatambo (Ki-pa).

la formación Pariatambo pertenece a la era mesozoico, periodo cretáceo, época inferior, conformada por roca sedimentaria y una litología conformada por dolomitas bituminosas, margas y calizas, se encuentra ocupando un área de 434.81 ha equivalente al 4.12 %, se puede observar en mayor área en los centros poblados de Coyunde Palma, Coyunde Grande, Perlamayo Capilla, Tacamache, El Tingo y en una menor extensión en el centro poblado de Perlamayo Tres Lagunas.

d. Formación Yumagual (Ks-yu).

La formación Yumagual pertenece a la era mesozoico, periodo cretáceo, época superior, conformada por roca sedimentaria y una litología conformada por calizas, lutitas y margas, se

encuentra ocupando un área de 2792.06 ha equivalente al 26.48 %, se puede observar en mayor área en los centros poblados de Coyunde Grande, El Tingo, La Palma, Paraiso, Perlamayo Tambillo Bajo, Perlamayo Tambillo Alto, Perlamayo Capilla, Perlamayo Tres Lagunas y en una menor extensión en los centros poblados de Coyunde Palma, Nuevo Perú y Tacamache.

e. Grupo Goyllarisquizga (Ki-g).

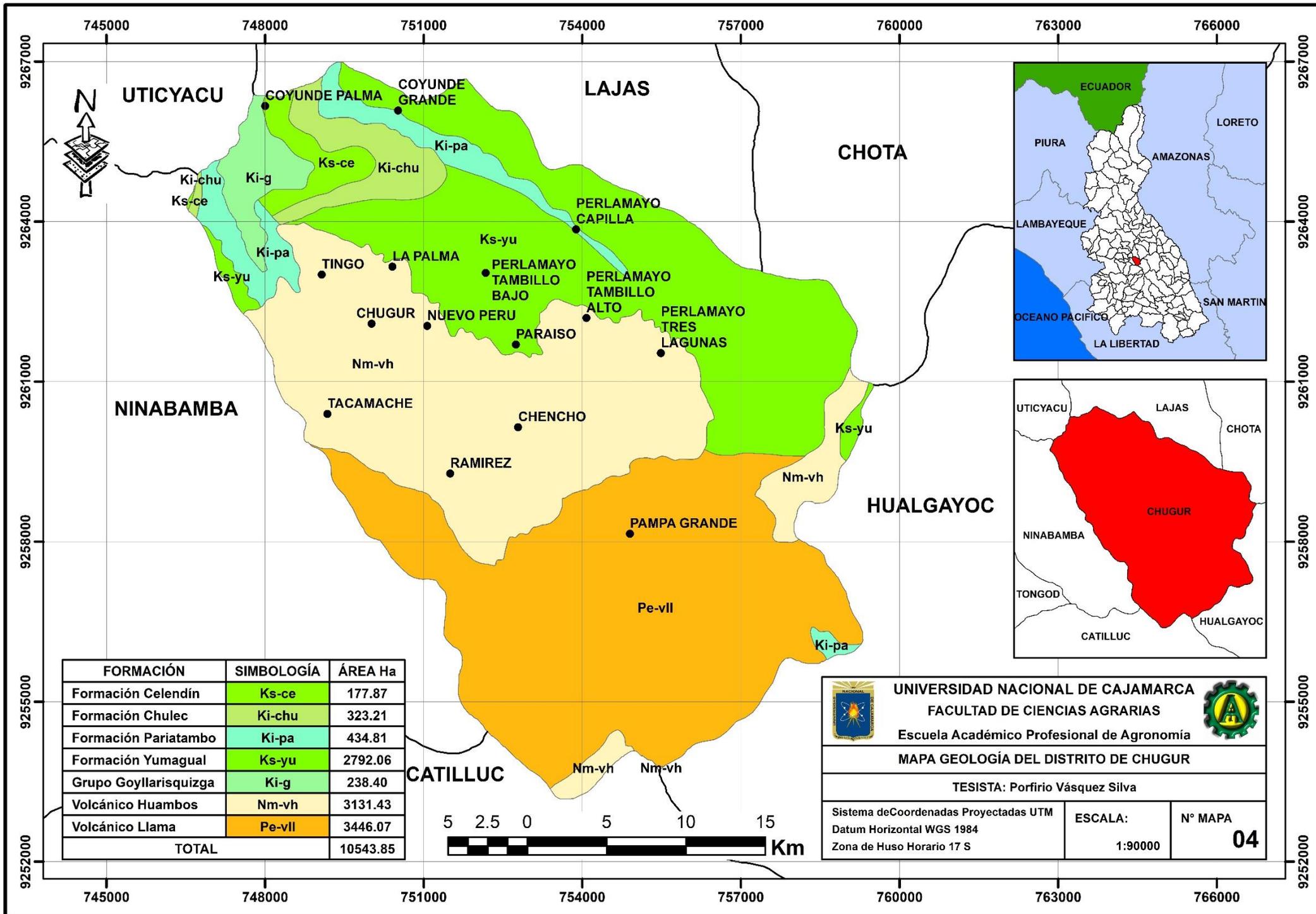
El Grupo Goyllarisquizga pertenece a la era mesozoico, periodo cretáceo, época inferior, conformada por roca sedimentaria y una litología conformada por cuarcitas y areniscas, se encuentra ocupando un área de 238.40 ha equivalente al 2.26 %, se puede observar en mayor área en los centros poblados de Coyunde Grande, Tacamache y en una menor extensión en los centros poblados de Coyunde Palma y El Tingo.

f. Volcánico Huambos (Nm-vh).

La Formación Volcánico Huambos pertenece a la era cenozoico, periodo neógeno, época miocena, conformada por roca volcánica y una litología conformada por tobas, aglomerados y brechas, se encuentra ocupando un área de 3131.43 ha equivalente al 29.70 %, se puede observar en los centros poblados de Tacamache, El Tingo, La Palma, Chugur, Nuevo Perú, Paraiso, Perlamayo Tambillo Alto, Ramirez, Chéncho y Perlamayo Tres Lagunas.

g. Volcánico Llama (Pe-vII).

La Formación volcánico Llama pertenece a la era cenozoico, periodo paleógeno, época eocena, conformada por roca volcánica - sedimentaria y una litología conformada por andesitas, tobas, areniscas y calizas, se encuentra ocupando un área de 3446.07 ha equivalente al 32.68 %, se puede observar en mayor área en los centros poblados de Tacamache, Ramirez, Pampa Grande, Perlamayo Tres Lagunas y en una menor extensión en el centro poblado de Chéncho, siendo además la formación con mayor extensión.



FORMACIÓN	SIMBOLOGÍA	ÁREA Ha
Formación Celendín	Ks-ce	177.87
Formación Chulec	Ki-chu	323.21
Formación Pariatambo	Ki-pa	434.81
Formación Yumagual	Ks-yu	2792.06
Grupo Goyllarisquizga	Ki-g	238.40
Volcánico Huambos	Nm-vh	3131.43
Volcánico Llama	Pe-vii	3446.07
TOTAL		10543.85





UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 Escuela Académico Profesional de Agronomía



MAPA GEOLOGÍA DEL DISTRITO DE CHUGUR

TESISTA: Porfirio Vásquez Silva

Sistema de Coordenadas Proyectadas UTM Datum Horizontal WGS 1984 Zona de Huso Horario 17 S	ESCALA: 1:90000	Nº MAPA 04
--	--------------------	----------------------



3.1.5. Zonas de vida natural

Las zonas de vida para el área de estudio se han definido teniendo en cuenta el Mapa Ecológico del Perú conjuntamente con la Guía explicativa del Mapa Ecológico del Perú (INRENA, 1995).

a. Bosque seco Montano Bajo Tropical (bs-MBT)

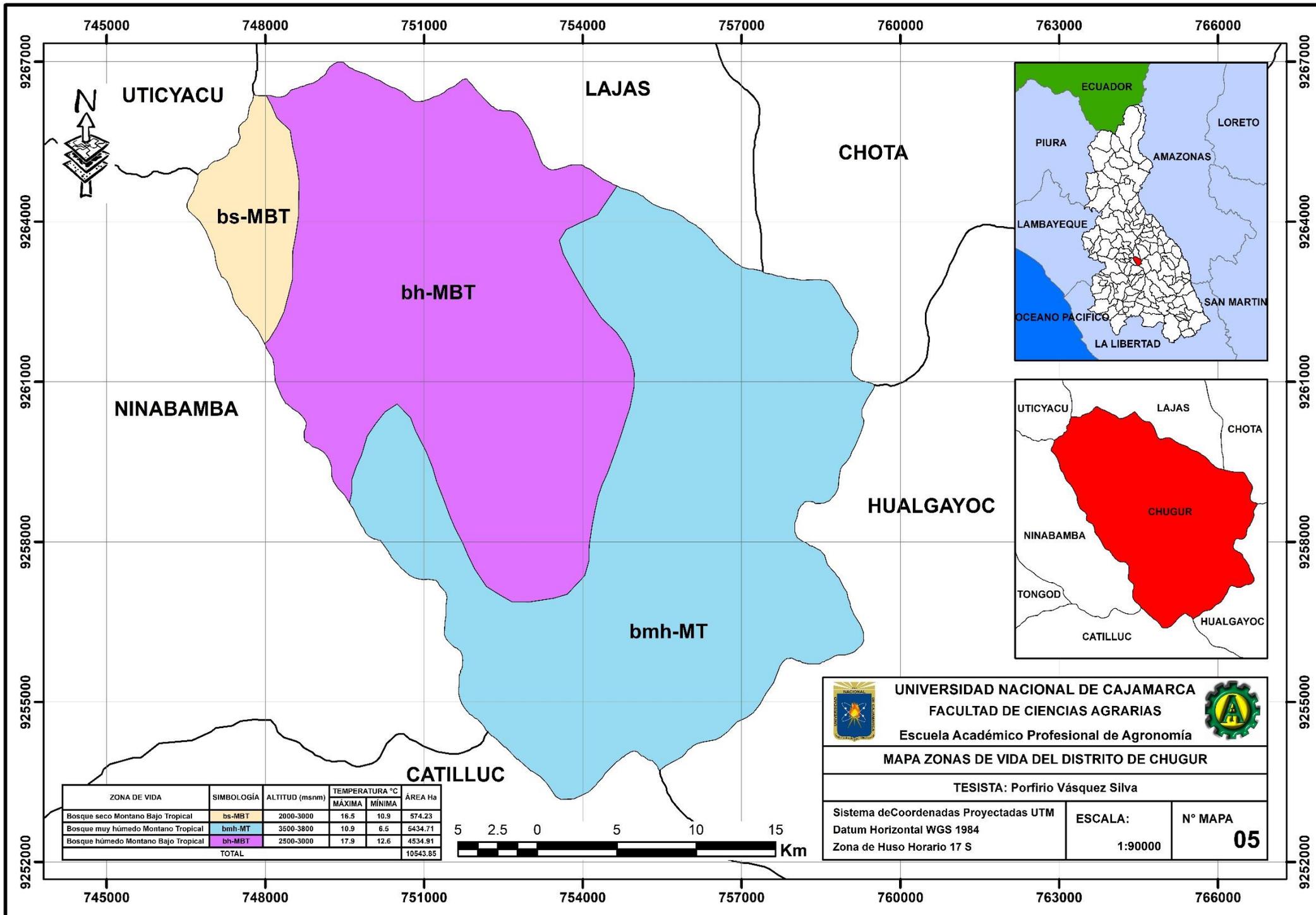
Esta zona de vida ocupa parte de los valles meso-andinos del río Perlamayo, entre los 2000 y 3000 msnm., siendo Cajamarca el centro geográfico más importante. La biotemperatura anual máxima es de 16.5 °C y la media anual mínima de 10.9 °C. El promedio máximo de precipitación total por año es de 972.9 mm y el promedio mínimo de 449.3 mm.

b. Bosque muy húmedo Montano Tropical (bmh-MT)

Esta zona de vida ocupa parte de los valles meso-andinos, entre los 3500 y 3800 msnm. La biotemperatura anual máxima es de 10.9 °C y la media anual mínima de 6.5 °C. El promedio máximo de precipitación total por año es de 1722.0 mm y el promedio mínimo de 838.4 mm.

c. Bosque húmedo Montano Bajo Tropical (bh-MBT)

Esta zona de vida se encuentra ubicada en la región meso-andina, entre los 2500 y 3000 msnm. La biotemperatura anual máxima es de 17.9 °C y la media anual mínima de 12.6 °C. El promedio máximo de precipitación total por año es de 1972.0 mm y el promedio mínimo de 790.7 mm.



UTICYACU

LAJAS

CHOTA

bs-MBT

bh-MBT

bmh-MT

NINABAMBA

HUALGAYOC

CATILLUC



ZONA DE VIDA	SIMBOLOGÍA	ALTITUD (msnm)	TEMPERATURA °C		ÁREA Ha
			MÁXIMA	MÍNIMA	
Bosque seco Montano Bajo Tropical	bs-MBT	2000-3000	16.5	10.9	574.23
Bosque muy húmedo Montano Tropical	bmh-MT	3500-3800	10.9	6.5	5434.71
Bosque húmedo Montano Bajo Tropical	bh-MBT	2500-3000	17.9	12.6	4534.91
TOTAL					10543.85





UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 Escuela Académico Profesional de Agronomía



MAPA ZONAS DE VIDA DEL DISTRITO DE CHUGUR

TESISTA: Porfirio Vásquez Silva

Sistema de Coordenadas Projectadas UTM	ESCALA:	N° MAPA
Datum Horizontal WGS 1984	1:90000	05
Zona de Huso Horario 17 S		

3.2. Materiales y equipos de campo

3.2.1. Materiales

Libreta de apuntes, formatos de campo, lápices y lapiceros, wincha, botiquín de primeros auxilios.

3.2.2. Herramientas

Machete, linternas, botas de jebe, poncho impermeable, bolsa de dormir.

3.2.3. Instrumentos y equipos

Sistema de posicionamiento global-GPS

Binoculares de largo alcance

Cámara fotográfica semi profesional

3.3. Materiales y equipos de gabinete

3.3.1. Materiales

Papel bond A4 de 80 gramos, lapiceros y lápices

3.3.2. Equipos

Laptop, impresora y escáner

3.3.3. Material cartográfico

Carta nacional del Perú 1: 100 000.

Shapefile del distrito obtenido del gobierno regional de Cajamarca.

Base de datos ZEE Cajamarca.

3.3.4. Software

Microsoft Windows 10

Microsoft office 2016

ArcGIS 10.4.1

ENVI 4.8

RGui 2.15.2

3.4. Metodología

El análisis de los cambios de cobertura y uso de la tierra, periodo 1999 - 2016, se realizó en el ámbito del distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc y departamento de Cajamarca. La metodología se basó en la obtención de imágenes satelitales de landsat7 y landsat8, luego se trabajó en cinco etapas de clasificación como se describe en el esquema número uno (1), la clasificación se realizó con la leyenda Corine Land Cover-CLC en un nivel III, desarrollado por el Ministerio Del Ambiente (MINAM).

Para la generación de los mapas temáticos de cobertura y uso de la tierra, se utilizó la metodología del Ministerio del Ambiente MINAM.

3.4.1. Fase inicial de gabinete

a. Recopilación, selección de información bibliográfica, cartográfica y elaboración de mapas base de los años 1999 - 2016.

Consistió en la recopilación y análisis del mayor número de información relacionada con el uso de las tierras en el distrito de Chugur.

❖ Instituciones visitadas

Gobierno regional de Cajamarca - Sub gerencia de acondicionamiento territorial (ZEE - OT).

Autoridad Nacional del Agua (ANA).

El Ministerio del Ambiente - MINAM, del cual se obtuvo la información temática y cartográfica.

❖ Descarga del modelo de elevación digital DEM

Se realizó a través del geo servidor del Ministerio del Ambiente de la zona 17 S.

❖ Selección y descarga de imágenes Landsat

Imágenes Landsat del distrito de Chugur, estas fueron adquiridas del servidor de <https://earthexplorer.usgs.gov/> vía

internet, lo cual constituyo la base para el análisis de los cambios de cobertura y uso actual de la tierra, cuyas especificaciones son las siguientes:

TABLA 05: DATOS DE LAS IMÁGENES DESCARGADAS.

ID	Satélite	Fecha
LE07_L1TP_009065_19990819_20170217_01_T1	Landsat7	19/08/1999
LC08_L1TP_009065_20160825_20170322_01_T1	Landsat8	25/08/2016

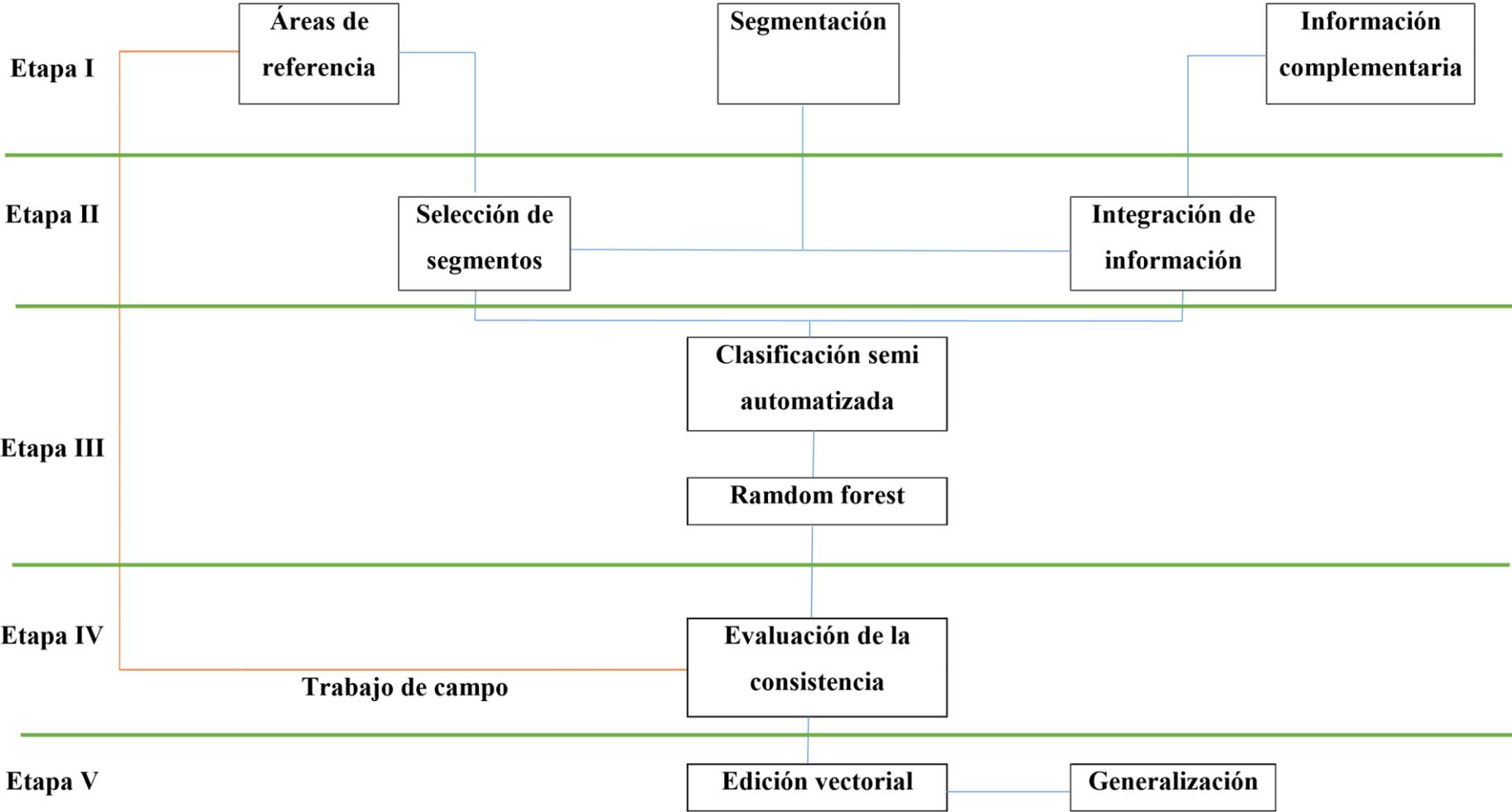
Fuente: Elaboración propia

❖ **Corrección atmosférica de las imágenes descargadas**

La corrección atmosférica se realizó con el software ArcGIS 10.4.1, en donde se corrigió el ángulo de toma de imagen.

En la fase inicial se trabajó en las etapas I, II y III del Esquema 1, como se detalla a continuación.

ESQUEMA 01: Proceso de clasificación para la representación cartográfica.



b. Etapa I

Áreas de referencia

Se creó un shapefile en el software ArcGIS de forma geométrica (polígono) para poder delimitar el área de trabajo y posteriormente cortar las imágenes de Landsat7 y Landsat8 obteniendo como resultado un archivo con formato raster.

Segmentación

Para realizar el proceso de segmentación se utilizó el software ENVI Zoom 4.8, con la finalidad de dividir en segmentos por medio de una agrupación de píxeles vecinos cuyas características (Brillo, textura, color) tienen valores similares, se consideró los siguientes parámetros:

❖ **Escale:**

Para segmentar las imágenes se requiere solo un parámetro (scale level), este parámetro puede variar entre 0 y 100, valores altos generan pocos segmentos.

❖ **Merge:**

Es un parámetro opcional, tiene un rango de 0 a 100 se utiliza para integrar segmentos muy pequeños a segmentos más grandes, elementos como árboles y nubes pueden generar segmentos no deseados.

TABLA 06: VALORES OBTENIDOS DE LA SEGMENTACIÓN.

SEGMENTACION	Lansat7	Lansat8
Ecale	20	20
Merge	25	25

Fuente: Elaboración propia

Información complementaria

Se utilizó el ModelBuilder “Coberturas_tablas para R” obtenido del Ministerio del Ambiente (MINAM), que nos permite la generalización de la selección de segmentos que posteriormente son utilizados como análisis en el proceso de clasificación, proceso mediante el cual se selecciona los segmentos que se intersectan con las áreas de entrenamiento haciendo una interrelación entre ambos asignando así las clases ya definidas en las áreas de entrenamiento digitalizadas.

c. Etapa II

Selección de segmentos (áreas de entrenamiento)

Se creó un shapefile con el nombre de aeita_1 con el software ArcGIS, que nos permite reconocer los segmentos que se muestran consistentes, constituye el conjunto de información de entrada que alimentara el proceso de clasificación automática.

Integración de información

La información complementaria se obtuvo con el software RGui 2.15.2 y el algoritmo “recogiendoInfoRaster” obtenido del Ministerio del Ambiente, consiste en unir la información obtenida del Modelo de Elevación Digital (DEM) y las imágenes satelitales como son:

✓ Brightness

Archivos en formato ráster que contiene datos sobre índice de brillo generado a partir de las imágenes satelitales de Landsat7 y 8.

✓ Greenness

Archivos en formato ráster que contiene datos sobre índice de verdor generado a partir de las imágenes satelitales de Landsat7 y 8.

✓ **Slope**

Archivo en formato ráster que contiene datos sobre altitud, generados a partir del Modelo de Elevación digital (DEM).

✓ **Curvatura**

Describe las características físicas de una cuenca de drenaje para intentar entender los procesos de erosión y escorrentía. La pendiente afecta la tasa general de movimiento descendente. La orientación define la dirección del flujo. La curvatura del perfil afecta la aceleración y desaceleración del flujo y, por lo tanto, influye en la erosión y la sedimentación. La curvatura de la plataforma influye en la convergencia y divergencia del flujo.

En donde se nos genera una tabla llamada "Todo seg" en formato .dbf y Rdata.

d. Etapa III

Clasificación semi automatizada

La clasificación semi automatizada se obtuvo con el software RGui 2.15.2 y el algoritmo "filtrar.tabla.todo.rf.2" obtenido del Ministerio del Ambiente, consiste en procesar los archivos "Todo seg, aeita_1, y el archivo obtenido de la información complementaria", en donde se obtiene un mapa preliminar de las coberturas en un formato ráster.

Random forest

Es un algoritmo de clasificación no lineal que permite evaluar la veracidad del mapa obtenido en la fase inicial de gabinete.

3.4.2. Fase de campo

En esta fase se trabajó la etapa IV del esquema N° 1.

Evaluación de la consistencia

Los mapas obtenidos en la fase inicial fueron contrastados y validados *In Situ* y con una distribución al azar de puntos GPS, con los actores directos; es decir, sobre el mapa y la imagen satelital se realizaron las correcciones que eran necesarias, paralelamente se hizo anotaciones sobre el tipo de vegetación más importante, altitud, erosión, y datos referentes al uso actual de la tierra como cultivos, herbazales, arbustales, etc.

3.4.3. Fase Final de gabinete

En esta fase se trabajó la etapa V del esquema N° 1.

Edición vectorial

Procesamiento que consistió en efectuar mediante el programa ArcGIS 10.4.1 sobre las imágenes satelitales, todos los ajustes espaciales corregidos a nivel de campo.

Generalización

La generalización se ha desarrollado luego de haber validado en campo los mapas obtenidos utilizando como simbología una tonalidad de color para cada una de las clasificaciones.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Categorías identificadas de cobertura y uso de la tierra bajo la clasificación Corine Land Cover

Del análisis de las 2 imágenes utilizadas para la presente investigación, se obtuvieron 9 categorías, las cuales han sido clasificadas en el Nivel III de Corine Land Cover adaptada para Perú. Cada una de estas categorías sirvió para el análisis cuantitativo y cualitativo (análisis multi temporal) en el distrito de Chugur. A continuación, se muestra las categorías obtenidas de la clasificación:

TABLA 07: CATEGORÍAS DEL USO ACTUAL DE LA TIERRA IDENTIFICADAS EN EL DISTRITO DE CHUGUR.

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	CÓDIGO
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas Urbanizadas	1.1.1. Tejido Urbano Continuo	Tu
	2.1. Cultivos Transitorios		Ct
2. Áreas Agrícolas	2.3. Pastos		Pa
	3.1. Bosques		Bo
	3.3. Áreas con Vegetación Herbacea y/o Arbustivo	3.3.1. Herbazal	He
3. Bosques y Áreas Mayormente Naturales		3.3.2. Arbustal	Ar
		3.4.2. Afloramientos Rocosos	Afr
	3.4. Áreas Sin o Con Poca Vegetación	3.4.3. Tierras Desnudas	Td
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas Continentales	5.1.2. Lagunas, Lagos y Ciénagas Naturales Permanentes	La

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. “1. Áreas artificializadas”

a. “1.1. Áreas urbanizadas”

“1.1.1 Tejido urbano continuo (Tu)”

Las áreas urbanizadas incluyen los espacios cubiertos por infraestructura urbana y todas aquellas áreas verdes y redes de comunicación asociadas con ellas, que configuran un tejido urbano.



Fotografía 01: Tejido urbano continuo distrito de Chugur.

4.1.2. “2. Áreas agrícolas”

a. “2.1. Cultivos transitorios (Ct)”

Tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo. Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es generalmente corto (hasta 2 años), llegando incluso a ser de sólo unos pocos meses, como por ejemplo los cereales (maíz, avena, cebada), los tubérculos (papa, olluco, oca), la mayor parte de las hortalizas, algunas especies de flores a cielo abierto. En el distrito de Chugur se pueden encontrar los siguientes cultivos Maíz (*Zea mays*), Cebada

(*Hordeum vulgare*), Papa (*Solanum tuberosum*), Avena (*Avena sativa*), Frijol (*Phaseolus vulgaris*), Arveja (*Pisum sativum*), Haba (*Vicia faba*), Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), Oca (*Oxalis tuberosa*), Olluco (*Ullucus tuberosus*), Zapallo (*Cucurbita maxima*), Chiclayo (*Cucurbita ficifolia*), Caigua (*Cyclanthera pedata*), Repollo (*Brassica oleracea*).



Fotografía 02: Cultivos transitorios centro poblado Perlamayo Tambillo Alto.

b. “2.3. Pastos (Pa)

Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dedicadas a pastoreo permanente por un período de dos o más años. Algunas de las categorías definidas pueden presentar anegamientos temporales o permanentes cuando están ubicadas en zonas bajas o en depresiones del terreno. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas principalmente, y en el manejo posterior que se le

hace. En el distrito de Chugur podemos encontrar pastos naturales como Ichu (*Stipa ichu*), Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), Mala hierba (*Chenopodium album*), Pajilla (*Panicum prionitis*) y pastos cultivados como Nudillo (*Paspalum scabrum*), Rye grass (*Lolium multiflorum*), Trébol rojo (*Trifolium pratense*), Trébol blanco (*Trifolium repens*).



Fotografía 03: Categoría de pastos centro poblado Perlamayo Capilla.

4.1.3. “3. Bosques y áreas mayormente naturales”

a. “3.1. Bosques (Bo)”

Altura mayor a 5 m. Cobertura mayor a 10%. Umbral entre denso y abierto: 70% de cobertura. Los bosques riparios y otros ecológicamente discernibles entrarían como nivel 4. Se consideran excepciones importantes definidas por restricciones bioclimáticas y biogeográficas (particularmente en Perú y Bolivia), como los bosques de *Polylepis* o *Prosopis*. En el distrito de Chugur las especies que conforman un bosque son: Lanche (*Eugenia sp.*), Palo blanco (*Calycophyllum multiflorum*),

Quinual (Quenual) (*Polylepis* sp.); también existen plantaciones de Aliso (*Alnus acumina*), Pino (*Pinus patula*, *Pinus radiata*), Ciprés (*Cupressus macrocarpa*), Eucalipto (*Eucalyptus globulus*).



Fotografía 04: Categoría de bosques centro poblado Perlamayo Tambillo Bajo.

b. “3.3. Áreas con vegetación Herbácea y/o arbustivo”

“3.3.1. Herbazal (He)”

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, los cuales forman una cobertura densa o abierta. En el distrito de Chugur se encontró las especies de herbazal como son Cortadera (*Cortaderia* sp.) Ichu (*Stipa ichu*), *Schizachyrium sanguineum*.



Fotografía 05: Categoría de herbazales centro poblado Pampa Grande.

“3.3.2. Arbustal (Ar)”

Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 2 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida. En el distrito de Chugur se encontró arbustales como Carricillo o Suro (*Chusquea sp.*), Tres hojas (*Mauria heterophylla*), Zarzamora (*Rubus robustus*), Maquimaqui (*Oreopanax sp.*), Chilca (*Baccharis sp.*), Lloque (*Kageneckia lanceolata*), Chinchango (*Hipericum laricifolium*), *Baccharis alaternoides*, *Hesperomelos cuneata*.



Fotografía 06: Categoría de Arbustales centro poblado Paraíso.

c. “3.4. Áreas sin o con poca vegetación”

“3.4.2. Afloramientos rocosos (Afr)”

Comprende aquellos territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos, algunos de los cuales pueden estar cubiertos por hielo y nieve.



Fotografía 07: Categoría de Afloramientos rocosos centro poblado Pampa Grande.

“3.4.3. Tierras desnudas (Td)”

Comprende aquellos territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos, algunos de los cuales pueden estar cubiertos por hielo y nieve.



Fotografía 08: Categoría de tierras desnudas centro poblado Pampa Grande.

4.1.4. “5. Superficies de agua”

a. “5.1. Aguas continentales”

“5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes”

En el distrito de Chugur se encuentra las Lagunas Aurora 1, Aurora 2, Aurora 3, Totoracocha, Campos 1, Campos 2, Campos 3, Cocan, La Totorá.



Fotografía 09: Laguna Totoracocha centro poblado Perlamayo Tres Lagunas.

4.2. Análisis de los cambios de cobertura y uso de la tierra ocurridos en el periodo 1999 - 2016

Del procesamiento de las imágenes satelitales, se obtuvieron los mapas de cobertura y uso actual de la tierra de cada periodo como se describe a continuación.

4.2.1. Cobertura y uso de la tierra año 1999

a. Matriz de confusión

Se realizó la matriz de confusión para el año 1999 en dicha matriz se obtuvo la Fiabilidad del productor y la Fiabilidad del usuario como se muestra a continuación:

TABLA 08: MATRIZ DE CONFUSIÓN AÑO 1999

		CATEGORIAS ASIGNADAS EN LA IMAGEN										
Resultados de la clasificación	CATEGORÍAS	21	23	31	331	332	342	343	512	Total	F. Usuario %	
		21	12	0	0	0	0	0	0	0	12	100.00
		23	0	13	0	0	0	0	0	0	13	100.00
		31	0	0	17	0	0	0	0	0	17	100.00
		331	0	0	0	12	0	0	0	0	12	100.00
		332	0	0	1	0	8	1	0	0	10	80.00
		342	0	0	0	0	0	9	0	1	10	90.00
		343	0	0	0	0	0	0	12	0	12	100.00
		512	0	0	0	0	0	1	0	9	10	90.00
		Total	12	13	18	12	8	11	12	10	96	F. Global 95.00 %
	F. Productor %	100.00	100.00	94.44	100.00	100.00	81.82	100.00	90.00			

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

- ❖ **En las filas se muestra la fiabilidad de las áreas de entrenamiento digitalizadas por el usuario.**

En la primera fila se digitalizaron 12 áreas de entrenamiento que pertenecen a Cultivos transitorios (21), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la segunda fila se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a Pastos (23), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la tercera fila se digitalizaron 17 áreas de entrenamiento que pertenecen a Bosques (31), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la cuarta fila se digitalizaron 12 áreas de entrenamiento que pertenecen a Herbazales (331), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la quinta fila se digitalizaron 10 áreas de entrenamiento que pertenecen a Arbustales (332), de las cuales 8 fueron correctamente digitalizadas; una fue confundida con Bosques (31) y otra con Afloramientos rocosos (342). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 80.00 %.

En la sexta fila se digitalizaron 10 áreas de entrenamiento que pertenecen a Afloramientos rocosos (342), de las

cuales 9 fueron correctamente digitalizadas y una fue confundida con Lagunas (512). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 90.00 %.

En la séptima fila se digitalizaron 12 áreas de entrenamiento que pertenecen a Tierras desnudas (343), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la octava fila se digitalizaron 10 áreas de entrenamiento que pertenecen a Lagunas (512), de las cuales 9 fueron correctamente digitalizadas y una fue confundida con Afloramiento rocoso (342). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 90.00 %.

❖ **En la columna se muestra el acierto de la clasificación en el terreno por categoría:**

En la primera columna se obtuvieron 12 clasificaciones de las cuales todas fueron clasificadas correctamente representando a Cultivos transitorios (21). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 100.00 %.

En la segunda columna se obtuvieron 13 clasificaciones de las cuales todas fueron clasificadas correctamente representando a Pastos (23). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 100.00 %.

En la tercera columna se obtuvieron 18 clasificaciones de las cuales 17 fueron clasificadas correctamente representando a Bosques (31) y 1 fue confundida con Arbustal (332). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 94.44 %.

En la cuarta columna se obtuvieron 12 clasificaciones de las cuales todas fueron clasificadas correctamente representando a Herbazales (331). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 100.00 %.

En la quinta columna se obtuvieron 8 clasificaciones de las cuales todas fueron clasificadas correctamente representando a Arbustales (332). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 100.00 %.

En la sexta columna se obtuvieron 11 clasificaciones de las cuales 9 fueron clasificadas correctamente representando a Afloramientos rocosos (342); una fue confundida con Arbustal (332) y otra con Lagunas (512). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 81.82 %.

En la séptima columna se obtuvieron 12 clasificaciones de las cuales todas fueron clasificadas correctamente representando a Tierras desnudas (343). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 100.00 %.

En la octava columna se obtuvieron 10 clasificaciones de las cuales 9 fueron clasificadas correctamente representando a Lagunas (512) y 1 fue confundida con Afloramientos rocosos (342). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 90.00 %.

b. Índice kappa

Cálculo del índice kappa para el año 1999.

$$P_o = \frac{12 + 13 + 17 + 12 + 8 + 9 + 12 + 9}{96} = 0.96$$

$$P_e = \frac{(12 \times 12) + (13 \times 13) + (18 \times 17) + (12 \times 12) + (8 \times 10) + (11 \times 10) + (12 \times 12) + (10 \times 10)}{96^2} = 0.13$$

$$K = \frac{0.96 - 0.13}{1 - 0.13} = 0.95$$

Se obtuvo como resultado del cálculo de índice kappa 0.95 que según la fuerza de concordancia es Casi perfecto.

c. Porcentaje correctamente clasificado

El porcentaje correctamente clasificado para el año 1999 es 95.00 %.

d. Categorías encontradas en el año 1999

Las principales categorías de cobertura vegetal encontrados en agosto de 1999 fueron:

TABLA 09: CATEGORÍAS OBTENIDAS PARA EL AÑO 1999

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	CÓDIGO	ÁREA Ha	%	
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas Urbanizadas	1.1.1. Tejido Urbano Continuo	Tu	3.09	0.03	
2. Áreas Agrícolas	2.1. Cultivos Transitorios		Ct	842.76	7.99	
	2.3. Pastos		Pa	3168.74	30.05	
3. Bosques y Áreas Mayormente Naturales	3.1. Bosques		Bo	1030.06	9.77	
	3.3. Áreas con Vegetación Herbacea y/o Arbustivo	3.3.1. Herbazal	He	3280.00	31.11	
		3.3.2. Arbustal	Ar	1553.09	14.73	
	3.4. Áreas Sin o Con Poca Vegetación	3.4.2. Afloramientos Rocosos		Afr	561.45	5.32
		3.4.3. Tierras Desnudas		Td	92.53	0.88
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas Continentales	5.1.2. Lagunas, Lagos y Ciénagas Naturales Permanentes	La	12.13	0.12	
TOTAL				10543.85	100.00	

Fuente: Elaboración propia

En la TABLA 09

Observamos la superficie en hectáreas y porcentaje de las diferentes categorías en un nivel III del distrito de Chugur.

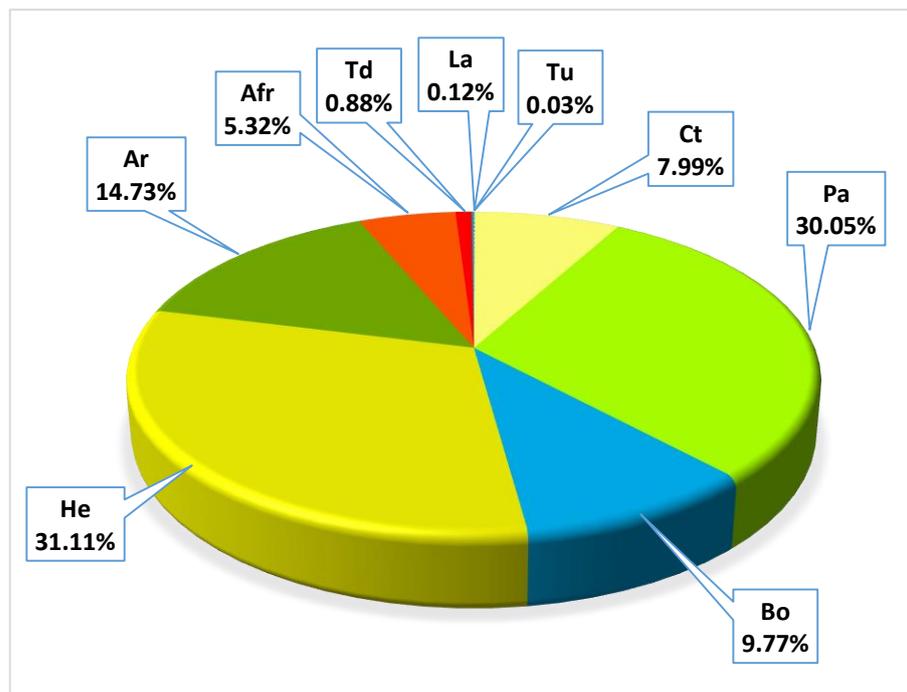


Gráfico 01: Distribución porcentual de cobertura año 1999.

Según el gráfico 01

- ✓ El 0.03 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Tejido urbano continuo (Tu).
- ✓ El 7.99 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Cultivos transitorios (Ct).
- ✓ El 30.05 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Pastos (Pa).
- ✓ El 9.77 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Bosques (Bo).
- ✓ El 31.11 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Herbazal (He).
- ✓ El 14.73 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Arbustal (Ar).

- ✓ El 5.32 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Afloramiento rocoso (Afr).
- ✓ El 0.88 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Tierras desnudas (Td).
- ✓ El 0.12 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Lagunas (La).

4.2.2. Cobertura y uso de la tierra año 2016

a. Matriz de confusión

Se realizó la matriz de confusión para el año 2016 en dicha matriz se obtuvo la Fiabilidad del productor y la Fiabilidad del usuario como se muestra a continuación:

TABLA 10: MATRIZ DE CONFUSIÓN AÑO 2016

		CATEGORIAS ASIGNADAS EN LA IMAGEN										
		CATEGORÍAS	21	23	31	331	332	342	343	512	Total	F. Usuario %
Resultados de la clasificación	21		12	1	0	0	0	0	0	0	13	92.31
	23		1	85	0	0	0	0	0	0	86	98.84
	31		0	0	27	0	1	0	0	0	28	96.43
	331		0	1	0	17	0	0	0	0	18	94.44
	332		0	0	1	0	13	0	0	0	14	92.86
	342		0	0	0	1	0	9	0	0	10	90.00
	343		0	0	0	0	0	0	11	0	11	100.00
	512		0	0	0	0	0	2	0	11	13	84.62
	Total		13	87	28	18	14	11	11	11	193	F. Global 93.69 %
	F. Productor %		92.31	97.70	96.43	94.44	92.86	81.82	100.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

- ❖ **En las filas se muestra la fiabilidad de las áreas de entrenamiento digitalizadas por el usuario.**

En la primera fila se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a Cultivos transitorios (21), de las cuales 12 fueron correctamente digitalizadas y 1 fue confundida con Pastos (23). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 92.31 %.

En la segunda fila se digitalizaron 86 áreas de entrenamiento que pertenecen a Pastos (23), de las cuales 85 fueron correctamente digitalizadas y 1 fue confundida con Cultivos transitorios (21). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 98.84 %.

En la tercera fila se digitalizaron 28 áreas de entrenamiento que pertenecen a Bosques (31), de las cuales 27 fueron correctamente digitalizadas y 1 fue confundida con Arbustal (332). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 96.43 %.

En la cuarta fila se digitalizaron 18 áreas de entrenamiento que pertenecen a Herbazales (331), de las cuales 17 fueron correctamente digitalizadas y 1 fue confundida con Pastos (23). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 94.44 %.

En la quinta fila se digitalizaron 14 áreas de entrenamiento que pertenecen a Arbustales (332), de las cuales 13 fueron correctamente digitalizadas y 1 una fue confundida con Bosques (31). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 92.86 %.

En la sexta fila se digitalizaron 10 áreas de entrenamiento que pertenecen a Afloramientos rocosos (342), de las cuales 9 fueron correctamente digitalizadas y 1 fue confundida con Herbazal (331). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 90.00 %.

En la séptima fila se digitalizaron 11 áreas de entrenamiento que pertenecen a Tierras desnudas (343), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la octava fila se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a Lagunas (512), de las cuales 11 fueron correctamente digitalizadas y 2 fueron confundidas con Afloramiento rocoso (342). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 84.62 %.

❖ **En la columna se muestra el acierto de la clasificación en el terreno por categoría:**

En la primera columna se obtuvieron 13 clasificaciones de las cuales 12 fueron clasificadas correctamente representando a Cultivos transitorios (21) y 1 fue confundida con Pastos (23). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 92.31 %.

En la segunda columna se obtuvieron 87 clasificaciones de las cuales 85 fueron clasificadas correctamente representando a Pastos (23); una fue confundida con Cultivos transitorios (21) y otra con Herbazal (331). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 97.70 %.

En la tercera columna se obtuvieron 28 clasificaciones de las cuales 27 fueron clasificadas correctamente

representando a Bosques (31) y 1 fue confundida con Arbustal (332). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 96.43 %.

En la cuarta columna se obtuvieron 18 clasificaciones de las cuales 17 fueron clasificadas correctamente representando a Herbazal (331) y 1 fue confundida con Afloramiento rocoso (342). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 94.44 %.

En la quinta columna se obtuvieron 14 clasificaciones de las cuales 13 fueron clasificadas correctamente representando a Arbustal (332) y 1 fue confundida con Bosques (31). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 92.86 %.

En la sexta columna se obtuvieron 11 clasificaciones de las cuales 9 fueron clasificadas correctamente representando a Afloramientos rocosos (342) y 2 fueron confundidas con Lagunas (512). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 81.82 %.

En la séptima columna se obtuvieron 11 clasificaciones de las cuales todas fueron clasificadas correctamente representando a Tierras desnudas (343). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 100.00 %.

En la octava columna se obtuvieron 11 clasificaciones de las cuales todas fueron clasificadas correctamente representando a Lagunas (512). Equivalente a una fiabilidad de usuario de 100.00 %.

e. Índice kappa

Cálculo del índice kappa para el año 2016.

$$P_o = \frac{12 + 85 + 27 + 17 + 13 + 9 + 11 + 11}{193} = 0.96$$

$$P_e = \frac{(13 \times 13) + (87 \times 86) + (28 \times 28) + (18 \times 18) + (14 \times 14) + (11 \times 10) + (11 \times 11) + (11 \times 13)}{96^2} = 0.25$$

$$K = \frac{0.96 - 0.25}{1 - 0.25} = 0.94$$

Se obtuvo como resultado del cálculo de índice kappa 0.94 que según la fuerza de concordancia es Casi perfecto.

f. Porcentaje correctamente clasificado

El porcentaje correctamente clasificado para el año 2016 es 93.69 %.

g. Categorías encontradas en el año 2016

Las principales categorías de cobertura vegetal encontrados en agosto de 2016 fueron:

TABLA 11: CATEGORÍAS OBTENIDAS PARA EL AÑO 2016

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	CÓDIGO	ÁREA Ha	%	
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas Urbanizadas	1.1.1. Tejido Urbano Continuo	Tu	5.09	0.05	
2. Áreas Agrícolas	2.1. Cultivos Transitorios		Ct	334.32	3.17	
	2.3. Pastos		Pa	6245.08	59.23	
3. Bosques y Áreas Mayormente Naturales	3.1. Bosques		Bo	1066.87	10.12	
	3.3. Áreas con Vegetación	3.3.1. Herbazal	He	2051.49	19.46	
	Herbacea y/o Arbustivo	3.3.2. Arbustal	Ar	413.49	3.92	
	3.4. Áreas Sin o Con Poca Vegetación	3.4.2. Afloramientos Rocosos		Afr	137.19	1.30
		3.4.3. Tierras Desnudas		Td	281.02	2.66
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas Continentales	5.1.2. Lagunas, Lagos y Ciénagas Naturales Permanentes	La	9.30	0.09	
TOTAL				10543.85	100.00	

Fuente: Elaboración propia

En la TABLA 11

Observamos la superficie en hectáreas y porcentaje de las diferentes categorías en un nivel III del distrito de Chugur.

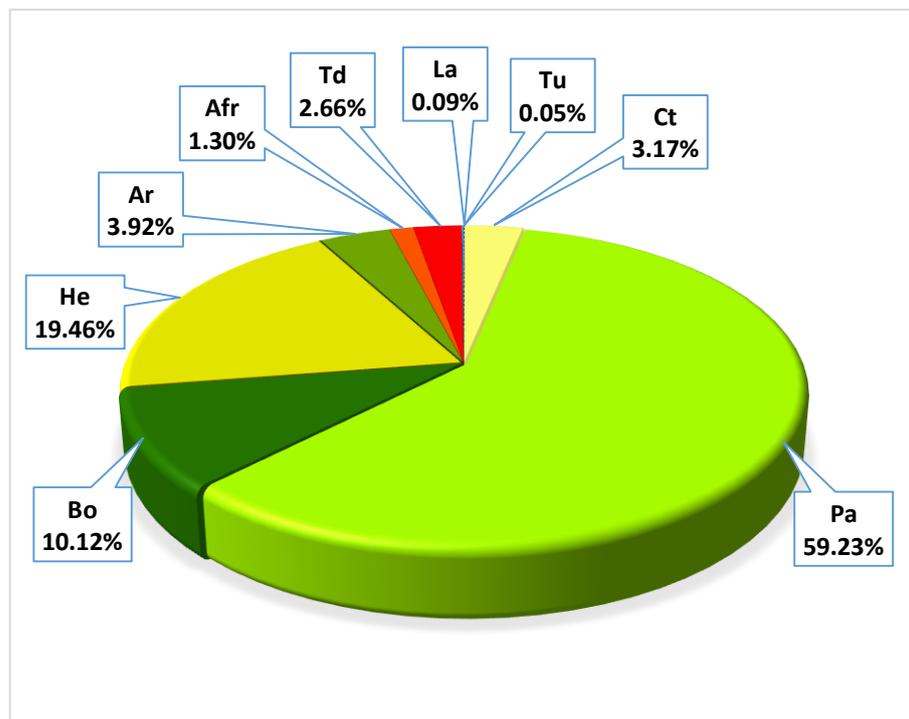


Gráfico 02: Distribución porcentual de cobertura año 2016.

Según el gráfico 02

- ✓ El 0.05 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Tejido urbano continuo (Tu).
- ✓ El 3.17 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Cultivos transitorios (Ct).
- ✓ El 59.23 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Pastos (Pa).
- ✓ El 10.12 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Bosques (Bo).
- ✓ El 19.46 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Herbazal (He).
- ✓ El 3.92 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Arbustal (Ar).

- ✓ El 1.30 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Afloramiento rocoso (Afr).
- ✓ El 2.66 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Tierras desnudas (Td).
- ✓ El 0.09 % de la superficie del distrito de Chugur está cubierta por Lagunas (La).

4.3. Análisis de cambio y no cambio del uso de la tierra

Para determinar el cambio y no cambio de cobertura, se evaluó la variación de los polígonos de forma global, para el periodo de evaluación (1999 - 2016), sin importar los motivos o a que categorías de cobertura vegetal cambiaron dichos polígonos. A continuación, se muestra los resultados del análisis:

4.3.1. Cambio y no cambio del uso de la tierra periodo 1999 - 2016

En el periodo 1999 -2016, se puede observar ganancia de área (+) como también pérdida (-) en las categorías obtenidas, el cambio en las categorías clasificadas se dio de la siguiente manera: Pastos (Pa) con +3076.34 ha, Tierras desnudas (Td) +188.49 ha, Bosque (Bo) +36.81 ha, Tejido urbano continuo (Tu) +2.00 ha, mostrando un cambio positivo; por otro lado, las categorías Herbazal (He) -1228.51 ha, Arbustal (Ar) -1139.60 ha, Cultivos transitorios (Ct) -508.44 ha, Afloramientos rocosos (Afr) -424.26 ha, Lagunas (La) -2.83 ha, mostraron un cambio negativo. A continuación, se detalla los resultados obtenidos en la tabla y el mapa siguiente:

TABLA 12: PERDIDA O GANANCIA DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA, PERIODO 1999 - 2016

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	CÓDIGO	SUPERFICIE 1999		SUPERFICIE 2016		1999 - 2016	
				ÁREA Ha	%	ÁREA Ha	%	ÁREA Ha	%
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas Urbanizadas	1.1.1. Tejido Urbano Continuo	Tu	3.09	0.03	5.09	0.05	2.00	0.02
2. Áreas Agrícolas	2.1. Cultivos Transitorios		Ct	842.76	7.99	334.32	3.17	-508.44	-4.82
	2.3. Pastos		Pa	3168.74	30.05	6245.08	59.23	3076.34	29.18
3. Bosques y Áreas Mayormente Naturales	3.1. Bosques		Bo	1030.06	9.77	1066.87	10.12	36.81	0.35
	3.3. Áreas con Vegetación Herbacea y/o Arbustivo	3.3.1. Herbazal	He	3280.00	31.11	2051.49	19.46	-1228.51	-11.65
		3.3.2. Arbustal	Ar	1553.09	14.73	413.49	3.92	-1139.60	-10.81
	3.4. Áreas Sin o Con Poca Vegetación	3.4.2. Afloramientos Rocosos	Afr	561.45	5.32	137.19	1.30	-424.26	-4.02
		3.4.3. Tierras Desnudas	Td	92.53	0.88	281.02	2.66	188.49	1.78
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas Continentales	5.1.2. Lagunas, Lagos y Ciénagas Naturales Permanentes	La	12.13	0.12	9.30	0.09	-2.83	-0.03
TOTAL				10543.85	100.00	10543.85	100.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12:

Se puede observar la cobertura que más cambio sufrió en el periodo 1999 - 2016 fue Pastos (Pa) con un aumento de área de 3076.34 ha. En consulta con los pobladores del distrito de Chugur, estos cambios se deben principalmente a que la actividad agrícola ha sido reemplazada por la actividad ganadera, ya que la rentabilidad de la misma es mayor comparado a los ingresos que se generaban con la agricultura, la misma que ha originado la pérdida gradual de la fertilidad de los suelos a través de la practica intensiva del monocultivo, otra de las causas de la disminución de las áreas agrícolas ha sido determinada por la acción de los factores climáticos tales como los descensos abruptos de temperaturas en las épocas de verano que se traducen en heladas perjudiciales para los cultivos originando muchas veces pérdidas irreparables para los agricultores; además las fluctuaciones de humedad y temperatura han favorecido lo proliferación de plagas y enfermedades, cuyo nivel de daño era mínima comprado con los daños que se registran en la actualidad, forzando al agricultor a la aplicación de productos químicos en manera desmesurada que resulta ser perjudicial a través del tiempo para los organismos benéficos, y este cambio básicamente ha sido determinado por el factor económico.

También en el distrito de Chugur debido al factor económico y tecnológico se introdujo las actividades extractivas (Minería), que abarca una extensión de 1426.226 ha, la misma que ha originado perdidas de coberturas como Herbazales y afloramientos rocosos, generando el incremento de tierras desnudas, resultado de las operaciones de la misma.

Las coberturas con menos cambio fueron Lagunas con una pérdida de área de 2.83 ha, la perdida se dio debido a que la parte alta del distrito presenta una geología kárstica, en donde el agua se acumula en las líneas de debilidad de la roca caliza y disuelve el carbonato cálcico, originando que se produzca hendiduras en las rocas, las

cuales constituyen un canal de salida por donde el agua se pierde al subsuelo de manera gradual, por otro lado esta pérdida se debe también a la implementación de la actividad minera en la parte alta del distrito, que utiliza gran parte de este recurso para los procesos de lixiviación y lavado de minerales y Tejido urbano continuo con un aumento de área de 2.00 ha, el aumento se debió principalmente al factor demográfico, debido a que la población de los diferentes centros poblados migra con la finalidad de mejorar su calidad de vida (educación, salud, etc.).

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática, la población estimada para el año 2015 del distrito de Chugur es de 3603 habitantes, de los cuales 3344 habitantes vivían en la zona rural y 259 habitantes vivían en la zona urbana, para el año 1999 la población estimada fue de 3916 habitantes, de los cuales 3760 habitantes vivían en la zona rural y 156 habitantes vivían en la zona urbana (INEI, 2015).

Consecuencias

En un futuro debido al factor económico y demográfico puede traer como consecuencia la destrucción de las coberturas naturales de la zona de estudio, en el afán de mejorar sus condiciones de vida y mantener el auge de la actividad ganadera que resulta ser mucho más rentable que la agricultura según los pobladores del distrito de Chugur.

Los avances de las explotaciones traerán consigo el incremento acelerado de la degradación de los suelos, que producirá en un futuro la presencia de suelos de jalca totalmente degradados que necesitaran de programas de recuperación y manejo de suelos en un periodo largo de tiempo; provoca la inestabilidad de los terrenos al dejar las formaciones rocosas al descubierto, ocasionando el desencadenamiento de fenómenos erosivos. También por medio de

esta actividad traerá como consecuencia la disminución del recurso hídrico y la pérdida de lagunas por la expansión minera, debido al factor económico y tecnológico.

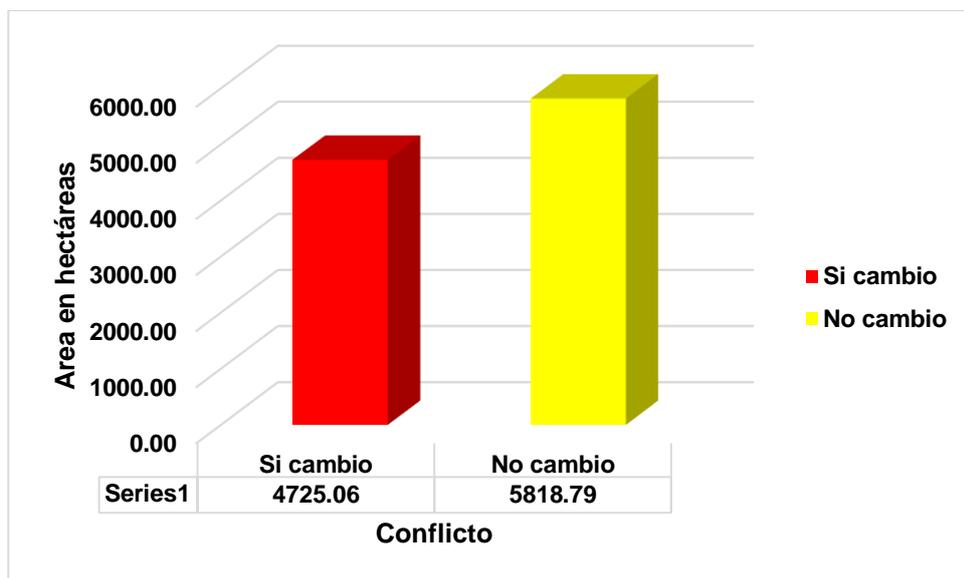


Gráfico 03: Cambio y no cambio del uso de la tierra periodo 1999 - 2016.

En el gráfico 03

Se puede apreciar el cambio y no cambio de la superficie del distrito de Chugur en hectáreas, de un total de 10543.85 ha sufrieron cambios 4725.06 ha equivalente al 44.81 % y no cambio 5818.79 ha equivalente al 55.19 %.

4.4. Análisis de transición de cobertura y uso de la tierra

4.4.1. Análisis de cambios por cobertura

El análisis de cambio por cobertura, consta en la evaluación del cambio por cobertura es decir de una cobertura inicial a una actual entre cada periodo de evaluación. En este proceso, solo se evalúa las áreas en las que hubo cambio, dejándose de lado los de no cambio. A continuación, se muestran los resultados de este análisis.

a. Cambios de cobertura del periodo 1999 - 2016.

En cuanto a los cambios de cobertura del periodo 1999 - 2016 en el distrito de Chugur, se determinó que los principales cambios de cobertura son:

- ✓ La categoría Cultivos transitorios (Ct) fue reemplazada por Pastos (Pa) con un área de 542.834 ha, Bosque (Bo) con un área de 71.004 ha y Arbustal (Ar) con un área de 0.171 ha. La categoría Cultivos transitorios (Ct) tuvo una pérdida total de 614.009 ha.
- ✓ La categoría Pastos (Pa) fue reemplazada por Tejido urbano continuo (Tu) con un área de 2.002 ha, Cultivos transitorios (Ct) con un área de 45.396 ha, Bosque (Bo) con un área de 217.894 ha, Herbazal (He) con un área de 0.448 ha y Arbustal (Ar) con un área de 5.191 ha. La categoría Pastos (Pa) tuvo una pérdida total de 270.931 ha.
- ✓ La categoría Bosque (Ba) fue reemplazada por Cultivos transitorios (Ct) con un área de 0.471 ha, Pastos (Pa) con un área de 289.588 ha y Arbustal (Ar) con un área de 34.891 ha. La categoría Bosque (Ba) tuvo una pérdida total de 324.950 ha.

- ✓ La categoría Herbazal (He) fue reemplazada por Cultivos transitorios (Ct) con un área de 57.059 ha, Pastos (Pa) con un área de 1583.961 ha, Bosque (Bo) con un área de 0.256 ha, Arbustal (Ar) con un área de 38.115 ha, Afloramientos rocosos (Afr) con un área de 30.281 ha, Tierras desnudas (Td) con un área de 92.281 ha y Lagunas (La) con un área de 0.108 ha. La categoría Herbazal (He) tuvo una pérdida de 1802.061 ha.

- ✓ La categoría Arbustal (Ar) fue reemplazada por Cultivos transitorios (Ct) con un área de 2.642 ha, Pastos (Pa) con un área de 909.190 ha, Bosque (Bo) con un área de 72.604, Herbazal (He) con un área de 219.415 ha, Afloramientos rocosos (Afr) con un área de 8.012 ha y Tierras desnudas (Td) con un área de 6.104 ha. La categoría Arbustal (Ar) tuvo una pérdida de 1217.967 ha.

- ✓ La categoría Afloramientos rocosos (Afr) fue reemplazada por Pastos (Pa) con un área de 21.129 ha, Herbazal (He) con un área de 321.665 ha y Tierras desnudas (Td) con un área de 119.753 ha. La categoría Afloramientos rocosos (Afr) tuvo una pérdida total de 462.547 ha.

- ✓ La categoría Tierras desnudas (Td) fue reemplazada por Pastos (Pa) con un área de 0.177 ha y Herbazal (He) con un área de 29.474 ha. La categoría Tierras desnudas (Td) tuvo una pérdida total de 29.651 ha.

- ✓ La categoría Lagunas (La) fue reemplazada por Pastos (Pa) con un área de 0.391 ha y Herbazal (He) con un área de 2.548 ha. La categoría Lagunas (La) tuvo una pérdida total de 2.939 ha.

- ✓ En conclusión, en el periodo 1999 - 2016 la categoría Tejido urbano continuo ganó un área de 2.002 ha, Cultivos transitorios perdió un área de 508.441 ha, Pastos (Pa) ganó un área de 3076.339 ha, Bosques (Bo) ganó un área de 36.808 ha, Herbazal (He) perdió un área de 1228.511 ha, Arbustal (Ar) perdió un área de 1139.599 ha, Afloramientos rocosos (Afr) perdió un área de 424.254 ha, Tierras desnudas (Td) ganó un área de 188.487 ha y Lagunas (La) perdió un área de 2.831 ha.

A continuación, se presenta los resultados:

TABLA 13: TRANSICIÓN DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA, PERIODO 1999 - 2016

CÓDIGO	SIMBOLOGÍA	CUT 1999	CUT 2016	ÁREA Ha	%
1	Ct - Pa	Cultivos transitorios	Pastos	542.834	5.148
2	Ct - Bo	Cultivos transitorios	Bosque	71.004	0.673
3	Ct - Ar	Cultivos transitorios	Arbustal	0.171	0.002
4	Pa - Tu	Pastos	Tejido urbano continuo	2.002	0.019
5	Pa - Ct	Pastos	Cultivos transitorios	45.396	0.431
6	Pa - Bo	Pastos	Bosque	217.894	2.067
7	Pa - He	Pastos	Herbazal	0.448	0.004
8	Pa - Ar	Pastos	Arbustal	5.191	0.049
9	Bo - Ct	Bosque	Cultivos transitorios	0.471	0.004
10	Bo - Pa	Bosque	Pastos	289.588	2.746
11	Bo - Ar	Bosque	Arbustal	34.891	0.331
12	He - Ct	Herbazal	Cultivos transitorios	57.059	0.541
13	He - Pa	Herbazal	Pastos	1583.961	15.023
14	He - Bo	Herbazal	Bosque	0.256	0.002
15	He - Ar	Herbazal	Arbustal	38.115	0.361
16	He - Afr	Herbazal	Afloramientos rocosos	30.281	0.287
17	He - Td	Herbazal	Tierras desnudas	92.281	0.875
18	He - La	Herbazal	Lagunas	0.108	0.001
19	Ar - Ct	Arbustal	Cultivos transitorios	2.642	0.025
20	Ar - Pa	Arbustal	Pastos	909.190	8.623

21	Ar - Bo	Arbustal	Bosque	72.604	0.689
22	Ar - He	Arbustal	Herbazal	219.415	2.081
23	Ar - Afr	Arbustal	Afloramientos rocosos	8.012	0.076
24	Ar - Td	Arbustal	Tierras desnudas	6.104	0.058
25	Afr - Pa	Afloramientos rocosos	Pastos	21.129	0.200
26	Afr - He	Afloramientos rocosos	Herbazal	321.665	3.051
27	Afr - Td	Afloramientos rocosos	Tierras desnudas	119.753	1.136
28	Td - Pa	Tierras desnudas	Pastos	0.177	0.002
29	Td - He	Tierras desnudas	Herbazal	29.474	0.280
30	La - Pa	Lagunas	Pastos	0.391	0.004
31	La - He	Lagunas	Herbazal	2.548	0.024
32	No cambio			5818.795	55.187
TOTAL				10543.850	100.000

Fuente: Elaboración propia

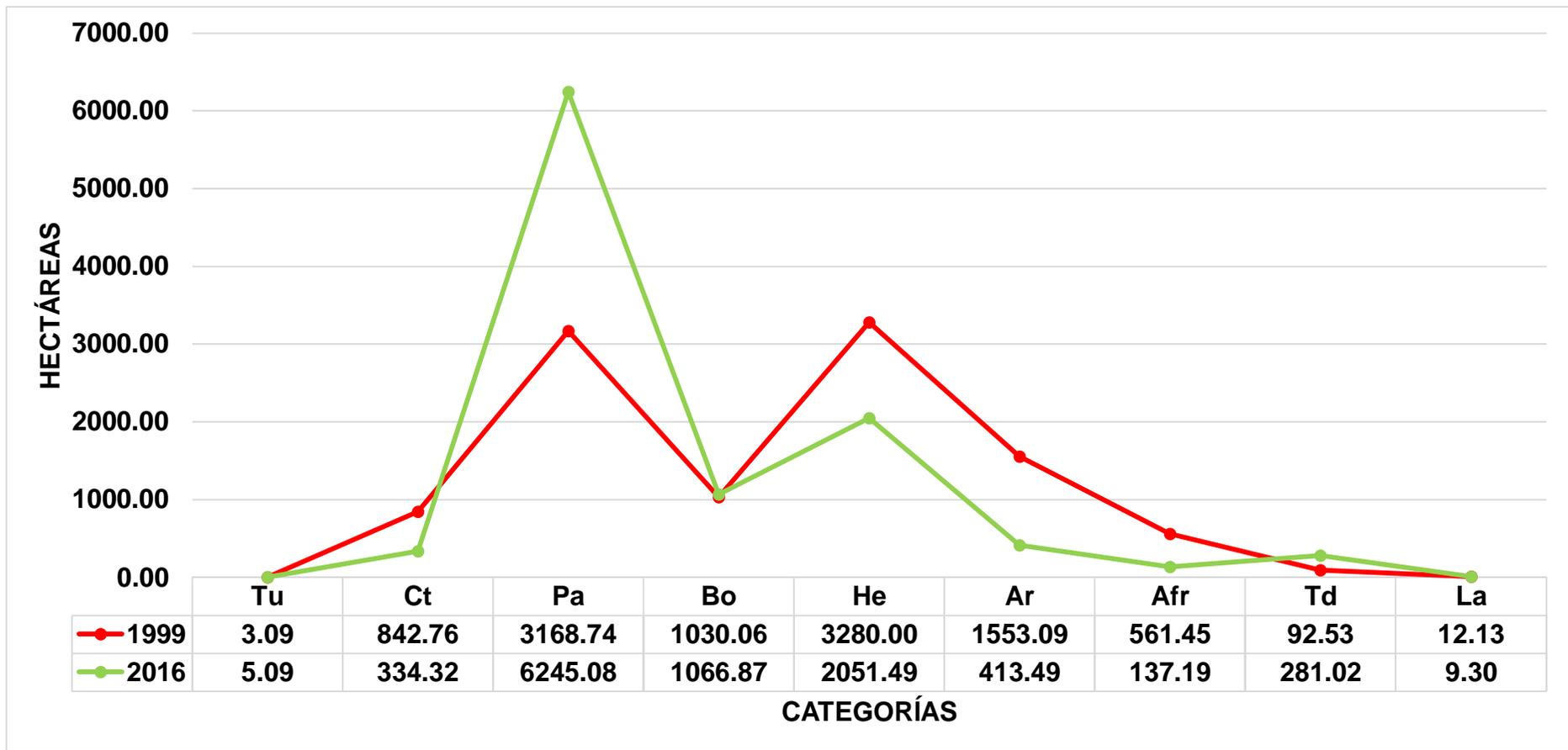


Gráfico 04: Comparación de la variación en hectáreas de las categorías para los dos periodos.

En el grafico 04 podemos observar cómo ha ido variando las diferentes categorías en el periodo 1999 – 2016, ya sea ganando o perdiendo área; se aprecia que el área en Tu aumentó, Ct disminuyó, Pa aumentó, Bo aumentó, He disminuyó, Ar disminuyó, Afr disminuyó, Td aumentó y La disminuyó.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- ✓ Se generó los mapas temáticos de cobertura y uso actual de la tierra con la metodología Corine Land Cover del distrito de Chugur para el periodo 1999 - 2016, en un nivel III, obteniendo nueve categorías las cuales son: Tejido Urbano Continuo, Cultivos Transitorios, Pastos, Boques, Herbazal, Arbustal, Afloramientos Rocosos, Tierras Desnudas, Lagunas.
- ✓ Con el algoritmo de máxima verosimilitud se elaboró los mapas de cobertura y uso actual de la tierra para el periodo 1999 - 2016, alcanzando una fiabilidad de 95.00 % de veracidad para el año 1999 y 93.69 % de veracidad para el año 2016 el cual fue validado *in situ*.
- ✓ La cobertura que más cambio sufrió en el periodo 1999 - 2016 fue Pastos (Pa) con un aumento de área de 3076.34 ha equivalente al 29.18 %, las coberturas con menos cambio fueron Lagunas con una pérdida de área de 2.83 ha equivalente al 0.03 % y Tejido urbano continuo con un aumento de área de 2.00 ha equivalente al 0.02 %.
- ✓ Los principales factores que han incidido en el cambio de cobertura y uso actual de la tierra en el distrito de Chugur son el factor demográfico económico y tecnológico.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

Acuña, H; Horna, J. 2012. Mapa de cobertura y uso actual de las tierras. Departamento de Lambayeque.

Aguilar H.; Mora R.; Vargas C. 2014. Centro Nacional de Alta Tecnología, Costa Rica. Atmospheric Correction Methodology for Aster, RapidEye, Spot 2 and Landsat 8 images with Envi Flaash module software.

Alcántara, G. 2014. Estudio Especializado Análisis de los Cambios de la Cobertura y Uso de la Tierra - Departamento de Cajamarca.

APN - SIB (Administración de Parques Nacionales - Sistema de Información de Biodiversidad). 2005. Protocolo para el pre procesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la administración de parques nacionales. Buenos Aires - Argentina. (En línea). Consultad el 16 de ene. 2018.

Altamimi Z., Boucher C., Sillard P. 2002. New trends for the realization of the International Terrestrial Reference System. Advances in Space Research. Vol. 30, nº 2, pp 175-184.

Ariza, A. 2013. Descripción y corrección de productos Landsat 8 LDCM. Bogotá - Colombia. 46 p.

ARNILLAS, C.A; BARRENA, V; LLACTAYO, W; ORTÍZ, H; REGAL, F; RUBÍN DE CELIS, E; VÁSQUEZ, P; DRENKHAN, F; LLERENA, C.E; ESPINO, P; GARCÍA, V; GONZÁLES-ZÚÑIGA, S; GUSHIKEN, E; LÓPEZ, D. Y VÁSQUEZ, R. 2012. Informe Final del Proyecto: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina. Componente Nacional Perú – Primera Etapa. Centro de Datos para la Conservación (CDC-UNALM). Laboratorio de Teledetección (LTAUNALM). Dirección General de Ordenamiento

Territorial - Ministerio del Ambiente (DGOT - MINAM). Fundación para el Desarrollo Agrario (FDA). Lima - Perú. 56 p. En línea: http://geoservidor.minam.gob.pe/geoservidor/archivos/download/Informe_final_CUT. Pdf.

Betancourt, D. 2015. Cambios de la Cobertura del Suelo en el Corredor Metropolitano Cali - Jamundi (Valle del Cauca, Colombia) entre 1984 y 2013. Santiago de Cali. 103 p.

Bosque, J. 1997. Sistemas de Información Geográfica, Madrid, Riapl.

Chang, K. 2007 Introduction to Geographic Information Systems. Cuarta Edición. McGraw-Hill, Nueva York. 400 p.

Cohen J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. Educ Psychol Meas 20: 37-46.

Chuvieco, E. 1995. Fundamentos de Teledetección Espacial. Segunda edición, Madrid.

Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de Teledetección Espacial. 3ra Edición. Madrid: Rialp.

Chuvieco, E. 1998. El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. Revista de Teledetección, 10: 1-9.

Chuvieco, E. 2002. Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. Barcelona. Ariel Ciencia. 584 p.

Chuvieco, E. 2008. Teledetección Ambiental 3ra edición. Barcelona España: Editorial Ariel S.A. 595 p.

Chuvieco, E. 2010. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Editorial Ariel Ciencias.

Dale, V.H. y S.C. Beyeler. 2001. Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators* 1:3-10.

De la Rosa, D. 2008. Evaluación Agro-ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible. Mundi-prensa. Madrid 404 p.

Eastman J. Ronald. 2003. IDRISI Kilimanjar, Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 1990. Aplicación de la tecnología de percepción remota a las pesquerías marinas: manual introductorio.

Fernández, I.; Herrero, E. 2001. El Satélite Landsat Análisis Visual de Imágenes Obtenidas del Sensor ETM+ Satélite Landsat.

Forester, D.J. y G.E. Machlis. 1996. Modeling human factors that affect the loss of biodiversity. *Conservation Biology* 10:1253-1263.

Geist, H.J. y E.F. Lambin. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience* 52(2):143-150.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia). 2007. METODOLOGÍA CORINE LAND COVER. (En línea). Consultado el 11 de ene. 2018.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2012. Aspectos técnicos de las imágenes Landsat. (En línea) consultado el 05 ene. 2017.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2008. Manual de procedimientos producción de ortoimágenes de satélite ópticas usando MDT. División de fotogrametría. Cód. P320-12/2008. Sep. de 2008. Versión 1.

INRENA (Instituto nacional de recursos naturales).1995. Elaboración del mapa ecológico del Perú y guía explicativa en la cual se identifican las diversas unidades ecológicas que presenta el Perú. Lima. 271 p.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2015. Proyecciones de Poblacion Estimada y de Vivienda a Nivel Nacional, 21 de agosto del 2015, Perú: Resultados Definitivos, Tomo I. Lima septiembre del 2016.

Jansen, L.; Di Gregorio, A. 1998. Parametric land cover and land-use classifications as tools for environmental change detection. *Agriculture, ecosystems & environment*, 91(1), 89-100.

Jensen, J. R. 2007, *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective*. Segunda edición. Prentice-Hall, Upper Saddle River, EE. UU. 592 p.

Jensen, J.R. 1996. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. New Jersey: Prentice-Hall.

Koutsias, N. y Karteris, M. 1998. Logistic regression modeling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping. En: *International Journal of Remote Sensing*, 19: 3499-3514.

Labrador M, Évora J.A, Arbelo M. 2012. *Satélites de teledetección para la gestión de territorio*. 38 pag.

Landry, R., Ahern, F. y O'neil, R. 1995. Forest burn visibility on C-HH radar images. En: *Canadian Journal of Remote Sensing*, 21: 204-206.

Linares, R. 2004. Los bosques tropicales estacionalmente secos: I. El concepto de los bosques secos en el Perú. *Arnaldoa*, 11(1): 85 - 102.

Martínez, R. 2012. La cobertura vegetal en la cuenca del canal de Panamá. República de Panamá. Consultado 16 ene. 2017. Disponible en http://www.geoinstitutos.com/art_03.asp.

Maune, D. F. 2001. Digital Elevation Model Technologies and Applications: the DEM User's Manual, The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, USA.

MINAM (Ministerio del Ambiente). 2014. Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina (en línea). Lima, Perú. Consultado 20 enero 2018. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2013/10/Informe-final-de-Proyecto-Dinamica-de-losambios-de-la-TierraCAN.pdf>

Orozco, L y Brumér, C. 2002. Inventario forestal para bosques Latifoliados en América Central. Costa Rica. Cosude. 263 p.

Petraglia, C; Acosta, S; Acosta, L. 2015. Sistema de clasificación de cobertura de la tierra – FAO. Uruguay. 323 p.

Pérez, C; Muñoz, A. 2006. Teledetección: Nociones y aplicaciones. España. Universidad de Salamanca. 356 p.

Phillips, O.L. 1997. The changing ecology of tropical forest. *Biodiversity and Conservation* 6:291-311.

Pinilla Ruiz Carlos. 2006a. Curso de Teledetección, Correcciones Radiométricas. Departamento de ingeniería cartográfica. Universidad de Jaén, España.

Poma, W. 2011. Cartografía y fotointerpretación. Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Cajamarca. Pág. 10.

Richters, E. 1995. Manejo del uso de la tierra en América Central: hacia el aprovechamiento sostenible del recurso tierra (No. 28). *Agroamerica*.

Szekiela, K.H. 1988. Satellite Monitoring of the Earth. 1ra Edición. New York: John Wiley and Sons.

Zorogastúa, P; Quiroz, R; Garatuza, J. 2011. Evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satélite en Piura - Perú. 10ma edición. Lima – Perú.

PAGINAS WEB CONSULTADAS

Página oficial del Landsat 7

http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html

Web de la Nasa sobre el Landsat

<http://landsat.gsfc.nasa.gov>

Web de la USGS sobre el Landsat

<http://landsat7.usgs.gov>

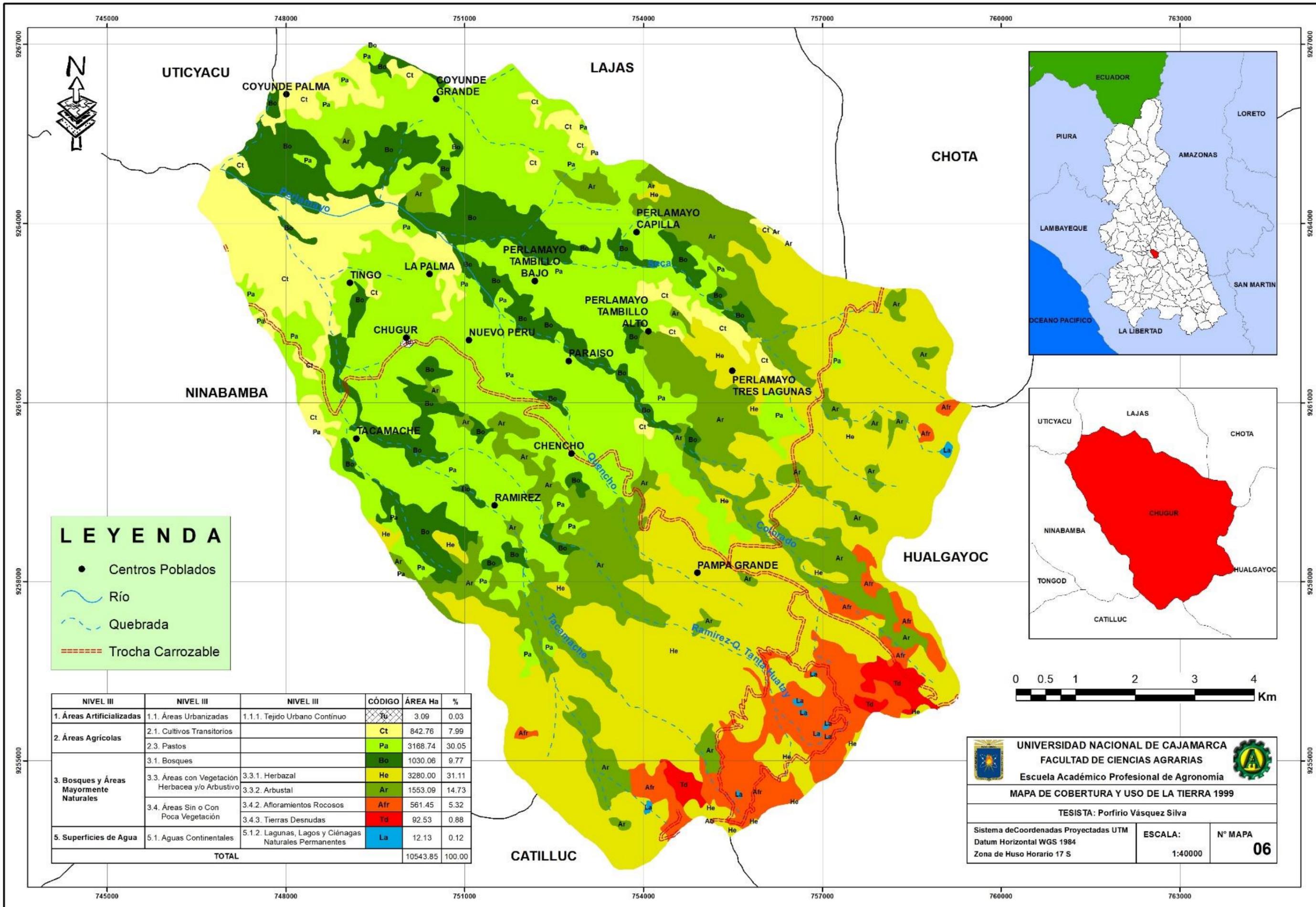
Página oficial del Minam

<http://www.Minam.gov.pe>

Web de la USGS sobre Earth Explorer

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

ANEXOS



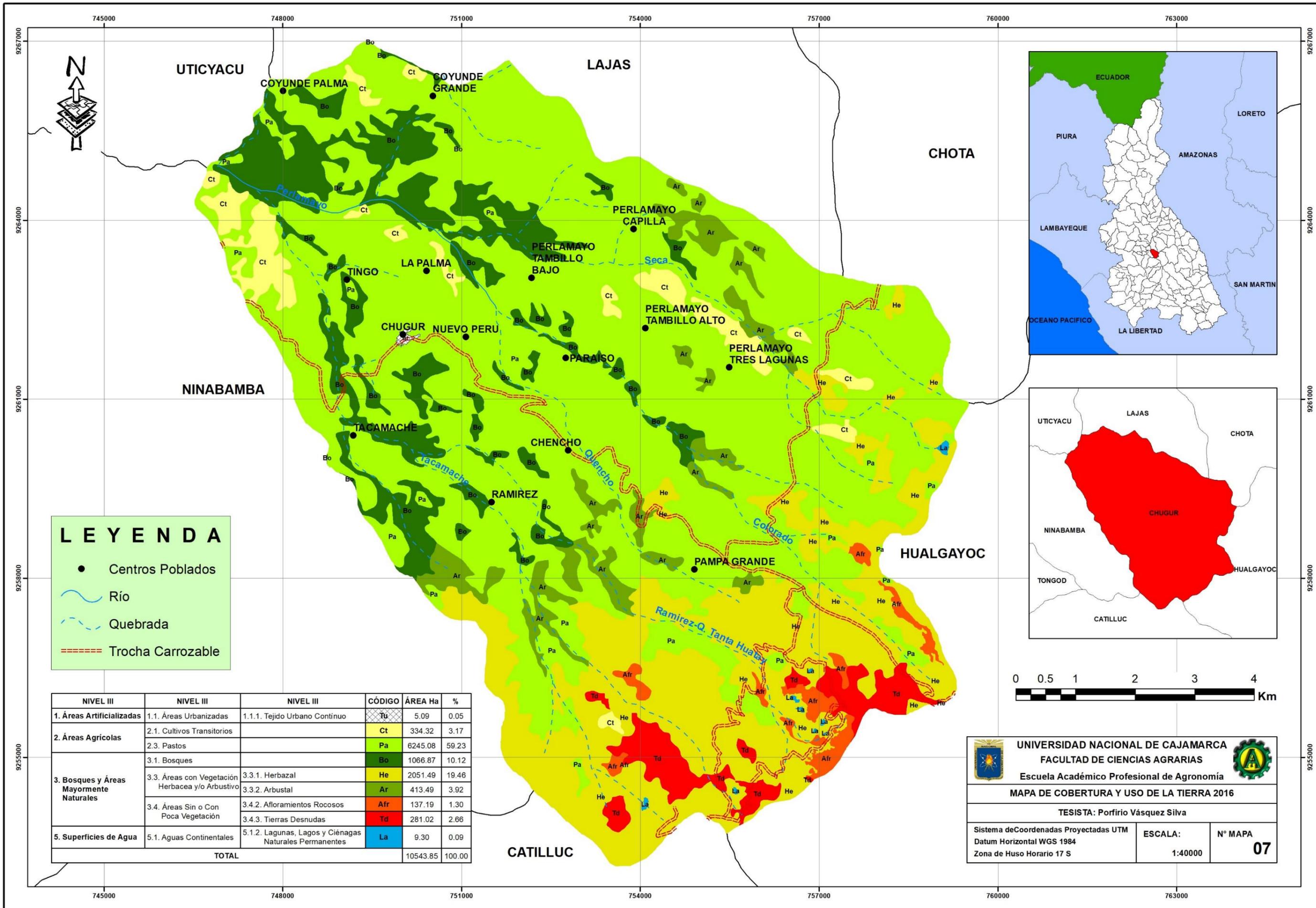
LEYENDA

- Centros Poblados
- ~ Río
- - - Quebrada
- ==== Trocha Carrozable

NIVEL III	NIVEL III	NIVEL III	CÓDIGO	ÁREA Ha	%
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas Urbanizadas	1.1.1. Tejido Urbano Continuo	Tu	3.09	0.03
2. Áreas Agrícolas	2.1. Cultivos Transitorios		Ct	842.76	7.99
	2.3. Pastos		Pa	3168.74	30.05
	3.1. Bosques		Bo	1030.06	9.77
3. Bosques y Áreas Mayormente Naturales	3.3. Áreas con Vegetación Herbacea y/o Arbustivo	3.3.1. Herbazal	He	3280.00	31.11
		3.3.2. Arbustal	Ar	1553.09	14.73
	3.4. Áreas Sin o Con Poca Vegetación	3.4.2. Afloramientos Rocosos	Afr	561.45	5.32
		3.4.3. Tierras Desnudas	Td	92.53	0.88
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas Continentales	5.1.2. Lagunas, Lagos y Ciénagas Naturales Permanentes	La	12.13	0.12
TOTAL				10543.85	100.00


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 Escuela Académico Profesional de Agronomía
MAPA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA 1999
 TESISISTA: Porfirio Vásquez Silva
 Sistema de Coordenadas Proyectadas UTM
 Datum Horizontal WGS 1984
 Zona de Huso Horario 17 S

ESCALA: 1:40000
 N° MAPA: 06



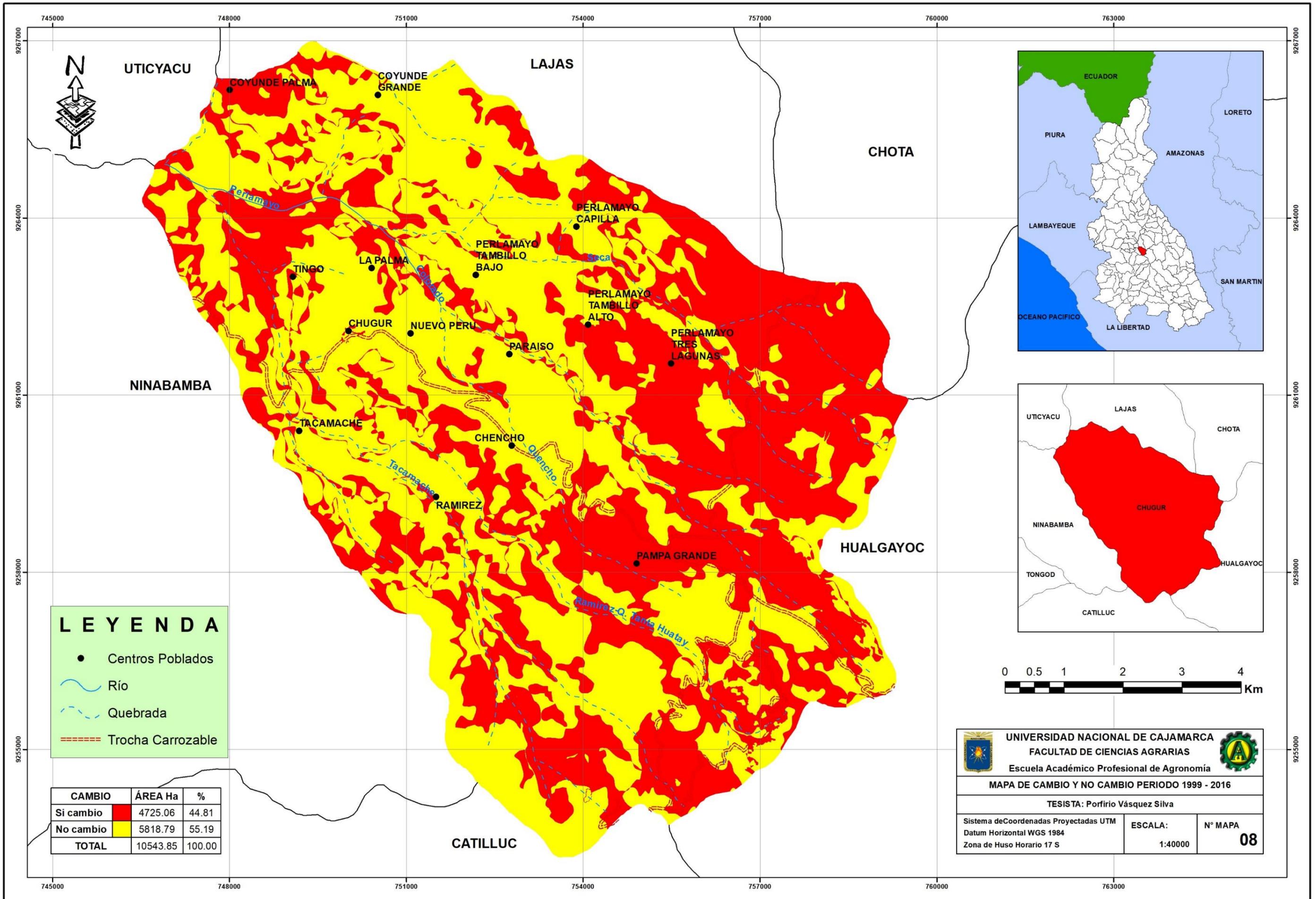
LEYENDA

- Centros Poblados
- ~ Río
- - - Quebrada
- - - Trocha Carrozable

NIVEL III	NIVEL III	NIVEL III	CÓDIGO	ÁREA Ha	%
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas Urbanizadas	1.1.1. Tejido Urbano Continuo	Tu	5.09	0.05
2. Áreas Agrícolas	2.1. Cultivos Transitorios		Ct	334.32	3.17
	2.3. Pastos		Pa	6245.08	59.23
	3.1. Bosques		Bo	1066.87	10.12
3. Bosques y Áreas Mayormente Naturales	3.3. Áreas con Vegetación Herbacea y/o Arbustivo	3.3.1. Herbazal	He	2051.49	19.46
		3.3.2. Arbustal	Ar	413.49	3.92
	3.4. Áreas Sin o Con Poca Vegetación	3.4.2. Afloramientos Rocosos	Afr	137.19	1.30
		3.4.3. Tierras Desnudas	Td	281.02	2.66
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas Continentales	5.1.2. Lagunas, Lagos y Ciénagas Naturales Permanentes	La	9.30	0.09
TOTAL				10543.85	100.00


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 Escuela Académico Profesional de Agronomía
MAPA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA 2016
 TESISTA: Porfirio Vásquez Silva
 Sistema de Coordenadas Proyectadas UTM
 Datum Horizontal WGS 1984
 Zona de Huso Horario 17 S

ESCALA:	N° MAPA
1:40000	07



LEYENDA

- Centros Poblados
- ~ Río
- - - Quebrada
- - - Trocha Carrozable

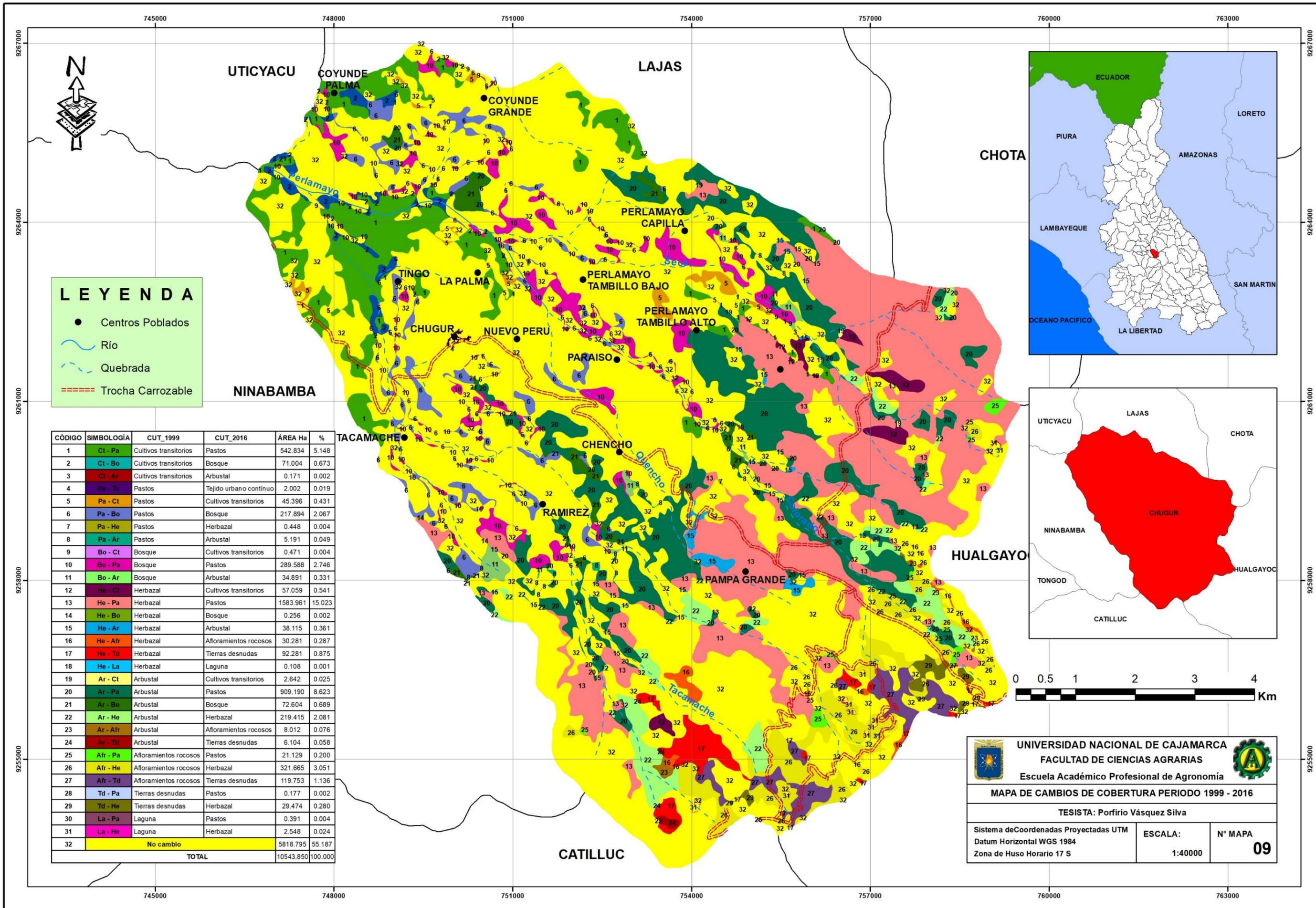
CAMBIO	ÁREA Ha	%
Si cambio	4725.06	44.81
No cambio	5818.79	55.19
TOTAL	10543.85	100.00


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 Escuela Académico Profesional de Agronomía

MAPA DE CAMBIO Y NO CAMBIO PERIODO 1999 - 2016

TESISTA: Porfirio Vásquez Silva

Sistema de Coordenadas Proyectadas UTM Datum Horizontal WGS 1984 Zona de Huso Horario 17 S	ESCALA: 1:40000	N° MAPA 08
--	--------------------	----------------------



LEYENDA

- Centros Poblados
- ~ Río
- - - Quebrada
- - - Trocha Carrozable

CÓDIGO	SIMBOLOGÍA	CUT_1999	CUT_2016	ÁREA Ha	%
1	Ct - Pa	Cultivos transitorios	Pastos	542.834	5.148
2	Ct - Bo	Cultivos transitorios	Bosque	71.004	0.673
3	Ct - Ar	Cultivos transitorios	Arbustal	0.171	0.002
4	Pa - Tu	Pastos	Tejido urbano continuo	2.002	0.019
5	Pa - Ct	Pastos	Cultivos transitorios	45.396	0.431
6	Pa - Bo	Pastos	Bosque	217.894	2.067
7	Pa - He	Pastos	Herbazal	0.448	0.004
8	Pa - Ar	Pastos	Arbustal	5.191	0.049
9	Bo - Ct	Bosque	Cultivos transitorios	0.471	0.004
10	Bo - Pa	Bosque	Pastos	289.588	2.746
11	Bo - Ar	Bosque	Arbustal	34.891	0.331
12	He - Ct	Herbazal	Cultivos transitorios	57.059	0.541
13	He - Pa	Herbazal	Pastos	1583.961	15.023
14	He - Bo	Herbazal	Bosque	0.256	0.002
15	He - Ar	Herbazal	Arbustal	38.115	0.361
16	He - Afr	Herbazal	Afloramientos rocosos	30.281	0.287
17	He - Td	Herbazal	Tierras desnudas	92.281	0.875
18	He - La	Herbazal	Laguna	0.108	0.001
19	Ar - Ct	Arbustal	Cultivos transitorios	2.642	0.025
20	Ar - Pa	Arbustal	Pastos	909.190	8.623
21	Ar - Bo	Arbustal	Bosque	72.604	0.689
22	Ar - He	Arbustal	Herbazal	219.415	2.081
23	Ar - Afr	Arbustal	Afloramientos rocosos	8.012	0.076
24	Ar - Td	Arbustal	Tierras desnudas	6.104	0.058
25	Afr - Pa	Afloramientos rocosos	Pastos	21.129	0.200
26	Afr - He	Afloramientos rocosos	Herbazal	321.665	3.051
27	Afr - Td	Afloramientos rocosos	Tierras desnudas	119.753	1.136
28	Td - Pa	Tierras desnudas	Pastos	0.177	0.002
29	Td - He	Tierras desnudas	Herbazal	29.474	0.280
30	La - Pa	Laguna	Pastos	0.391	0.004
31	La - He	Laguna	Herbazal	2.548	0.024
32		No cambio		5818.795	55.187
TOTAL				10543.850	100.000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 Escuela Académico Profesional de Agronomía

MAPA DE CAMBIOS DE COBERTURA PERIODO 1999 - 2016

TESISTA: Porfirio Vásquez Silva

Sistema de Coordenadas Proyectadas UTM
 Datum Horizontal WGS 1984
 Zona de Huso Horario 17 S

ESCALA: 1:40000

N° MAPA **09**

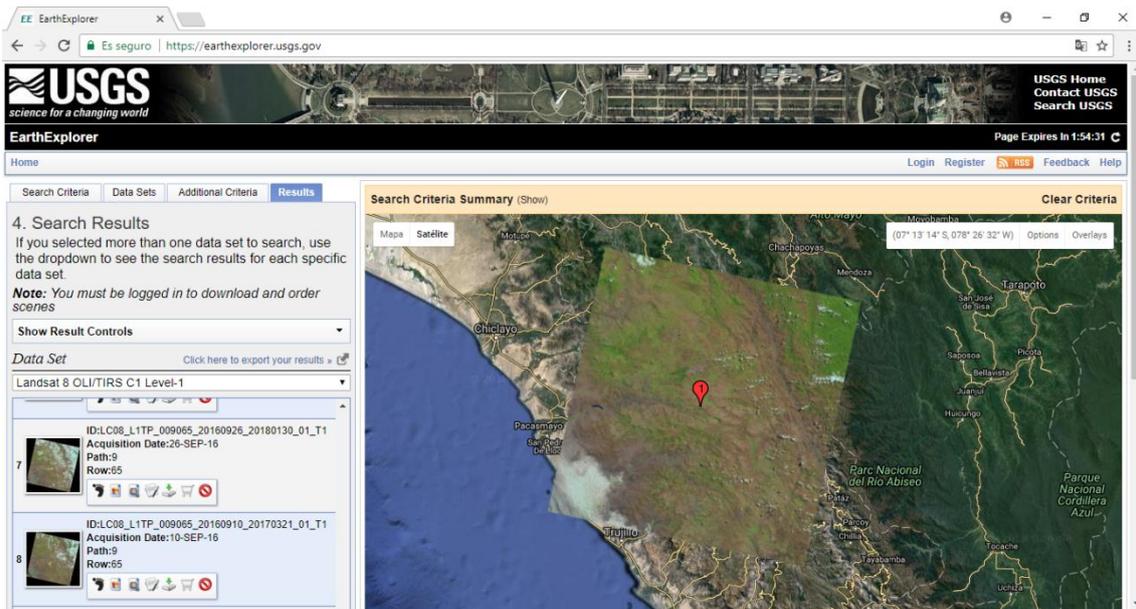


Figura 13: Selección de imagen para el área de estudio.

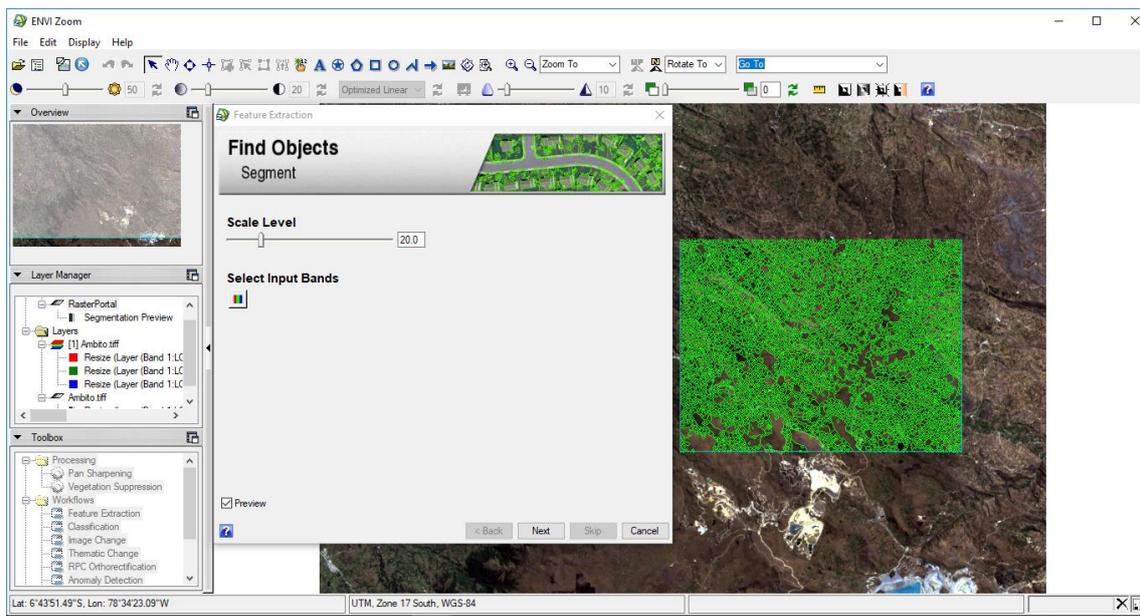


Figura 14: Segmentación del área de estudio.

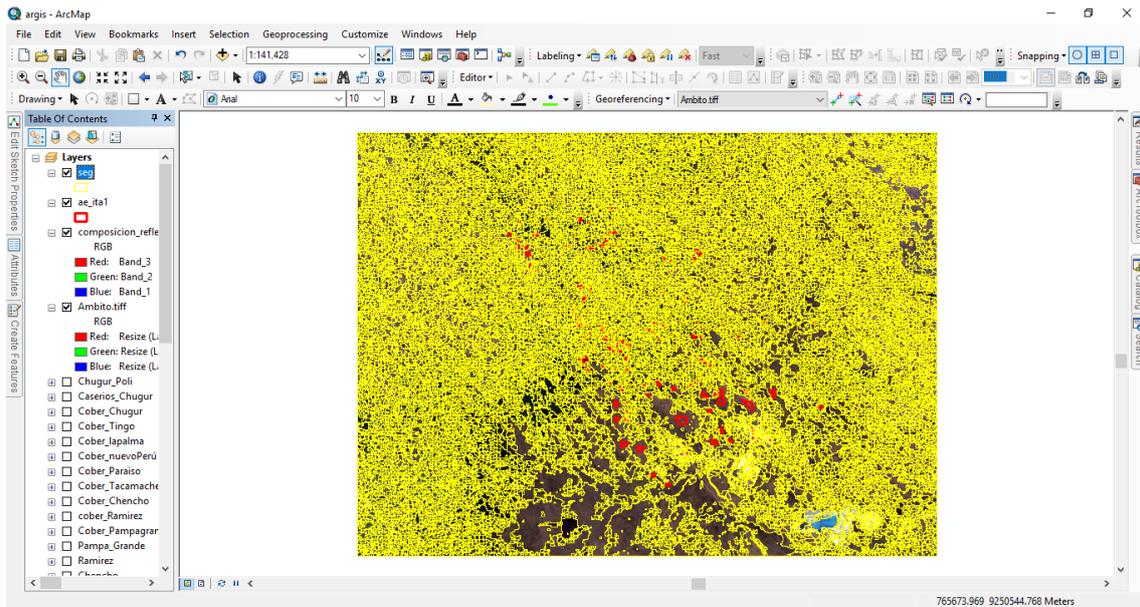


Figura 15: Digitalización de áreas de entrenamiento.

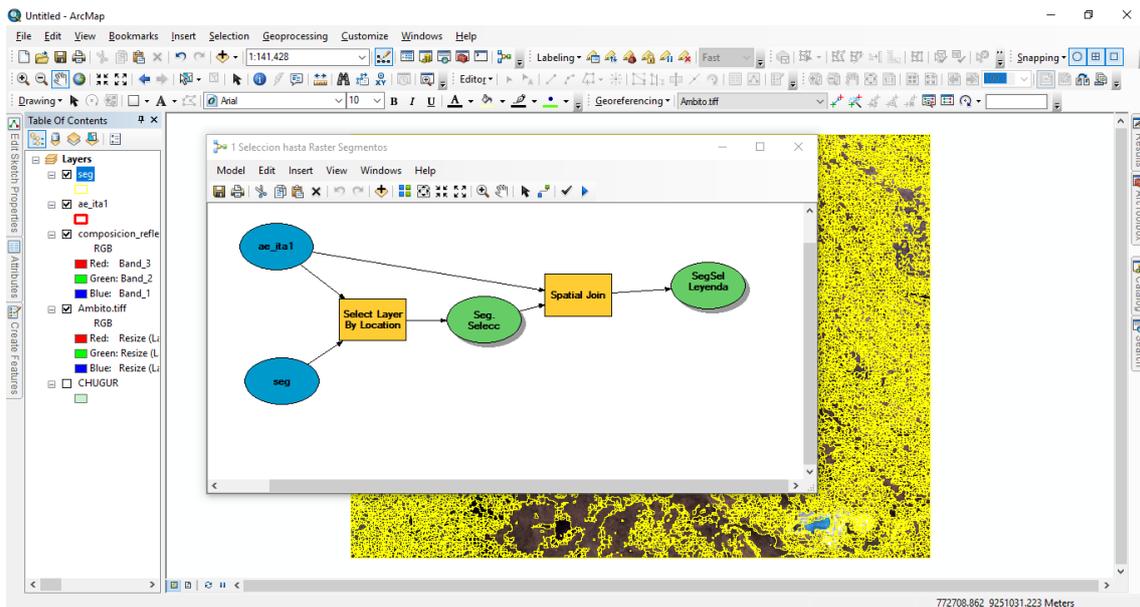


Figura 16: Aplicación de ModelBuilder para generar la información complementaria.

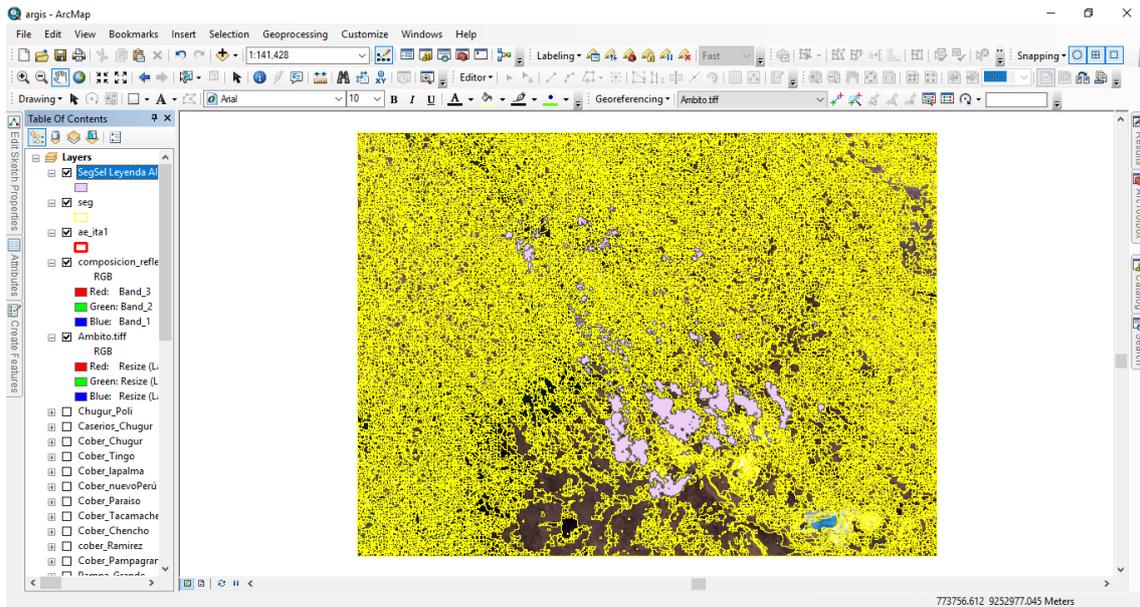


Figura 17: Resultados de la ejecución del ModelBuilder.

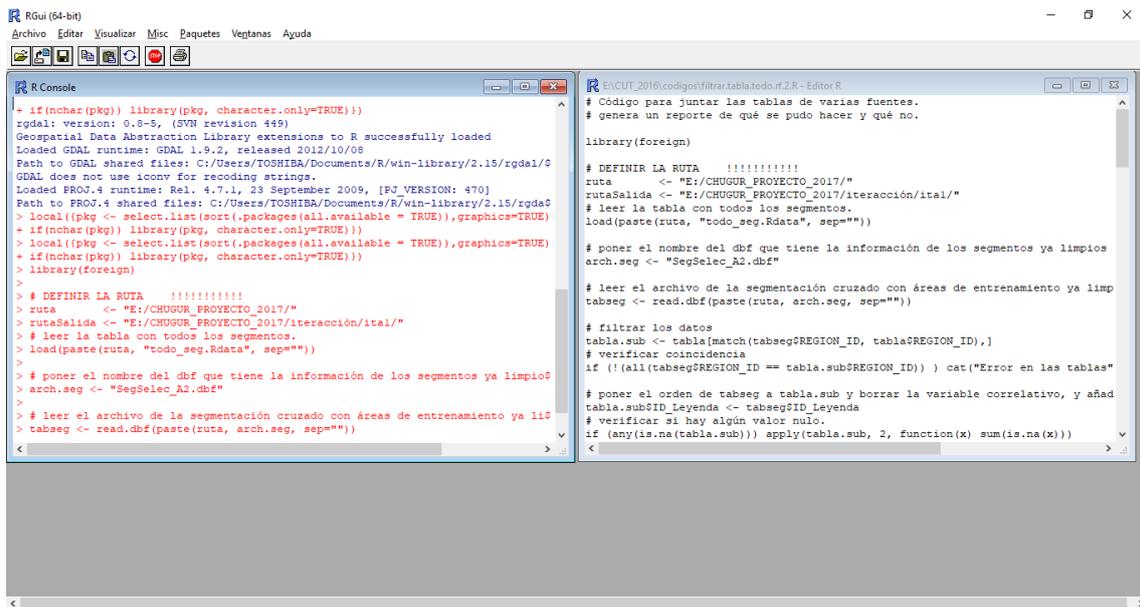


Figura 18: Ejecución del script Random Forest.

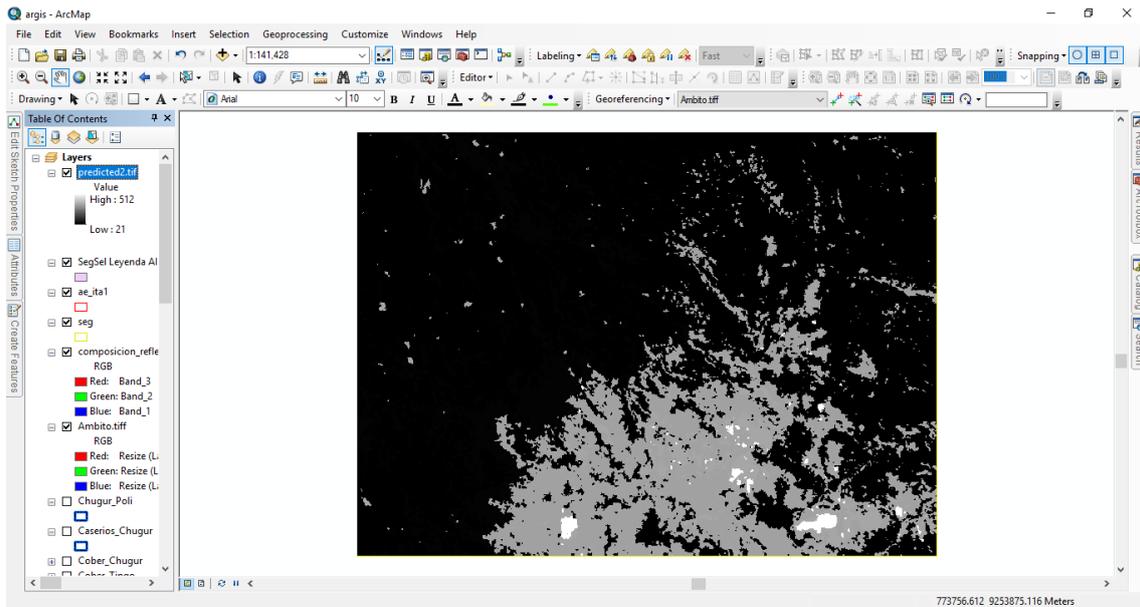


Figura 19: Resultado de la ejecución del script Random Forest.

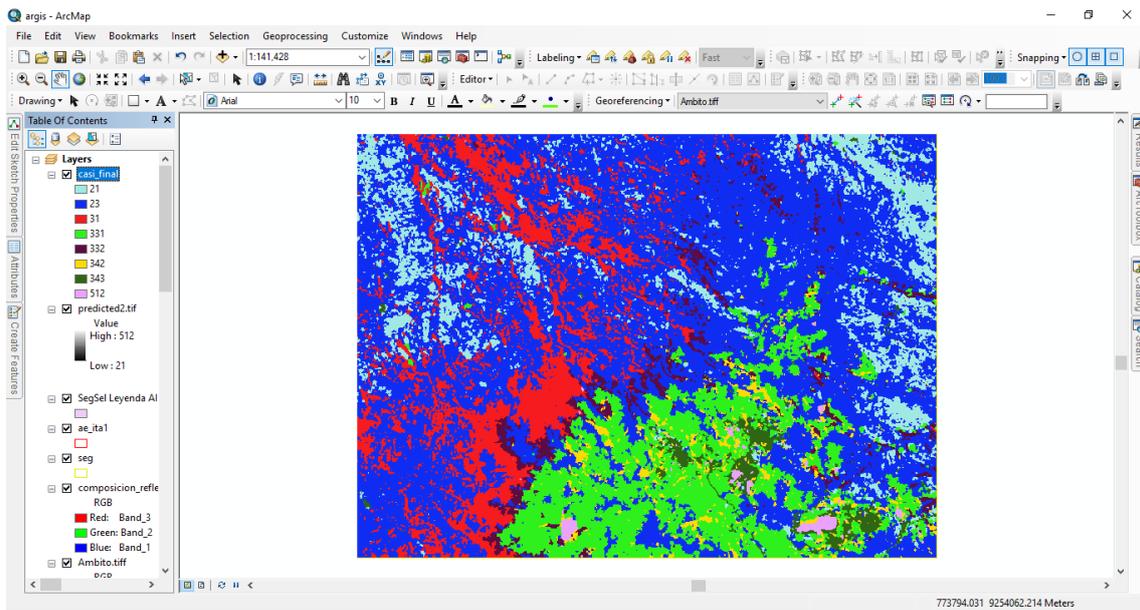


Figura 20: Raster Final del CUT Distrito Chugur.



Fotografía 10: Plaza mayor del distrito de Chugur.



Fotografía 11: Verificación *in situ* del mapa CUT 2016.