

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS

**ANÁLISIS DE CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA
DEL DISTRITO DE CHETILLA, PERIODO 1990-2003-2016**

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

MAX HARRISON VÍLCHEZ ORTIZ

ASESOR:

Ing. M. Sc. WILFREDO POMA ROJAS

CAJAMARCA – PERÚ

2017

DEDICATORIA

A mis padres, Martha Ortiz Pinedo y Amancio Vélchez Dett, por su dedicación, amor y apoyo incondicional y sobre todas las cosas a Dios, por guiarme por el buen camino.

A mis amores, mi hijo Gean Franco y mi hija Andrea Sofia, por ser la fuente de inspiración y la fuerza de mi ser a seguir adelante. A mi pareja Ruth María Luis Pinedo, por el apoyo incondicional en el inicio, durante y culminación de mi proyecto.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor Ing. M. Sc. Wilfredo Poma rojas, por el asesoramiento y continuo apoyo para la realización de esta investigación.

A mi amigo Dennis Alvarino Cieza Tarrillo quien fue un gran apoyo para el inicio y la culminación de este proyecto.

A mis hermanas Karina Inés Vílchez Ortiz, Jacqueline Vílchez Ortiz y Shirley Saletty Vílchez Ortiz, por el apoyo intenso que me dieron para alcanzar esta meta.

A mi gran amigo José Luis Tassilla Yarasca quien fue un gran apoyo y me acompañó a las verificaciones y tomas fotográficas que se realizaron en campo.

INDICE

	Pág.
DEDICATORIA -----	ii
AGRADECIMIENTO -----	iii
RESUMEN-----	x
SUMMARY -----	xi
I. INTRODUCCIÓN -----	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA -----	3
2.1. Antecedentes de la Investigación -----	3
2.1.1.A nivel internacional-----	3
2.1.2.A nivel nacional-----	4
2.1.3.A nivel regional -----	5
2.2. definiciones relacionadas con el cambio de cobertura y uso de la tierra-----	6
2.3. causas directas del cambio de cobertura vegetal -----	8
2.4. Sistema de Información Geográfica (SIG) -----	9
2.5. Teledetección -----	9
2.6. Satélite Landsat -----	10
2.7. Imagen Satelital -----	10
2.8. Resolución espacial adecuada -----	11
2.9. Bandas espectrales adecuadas -----	12
2.10. Composición de la imagen satelital Landsat utilizando combinaciones de bandas según MINAM-DGOT (2015) -----	13
2.11. Ortorrectificación -----	14
2.12. Clasificación supervisada con Random Forest-----	14
2.13. Validación de la clasificación -----	15
2.14. Modelos Digitales de Elevación (DEM)-----	17
2.15. Obtención de variables. índices y transformaciones-----	17
2.16. Propuesta de leyenda de cobertura de la tierra – Perú -----	19
III. MATERIALES Y METODOS -----	28
3.1. Descripción general de la zona de estudio -----	28
3.1.1.Ubicación-----	28
3.1.2.División política -----	28
3.1.3.Hidrografía -----	30
3.1.4.Caracterización ecológica -----	30
3.1.5.Geomorfología -----	30
3.1.6.Aspectos demográficos -----	32

3.1.7. Aspectos económicos -----	32
3.2. Materiales y equipos de campo-----	33
3.3. Materiales y equipos de gabinete -----	33
3.4. Metodología -----	34
3.5. Esquema de las etapas y procesos de la metodología empleada para la representación cartográfica -----	35
3.5.1. Fase preliminar de gabinete -----	36
3.5.2. Fase de campo -----	39
3.5.3. Fase final de gabinete -----	39
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES-----	40
4.1. Resultados-----	40
4.1.1. Categorías de cobertura del distrito de Chetilla, para los años 1990-2003- 2016. -----	40
a. Áreas artificiales-----	40
b. Áreas agrícolas -----	41
c. Bosques y áreas mayormente naturales -----	42
d. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustal-----	42
e. Áreas sin o con poca vegetación -----	43
4.1.2. Uso actual del territorio-----	44
a. Uso agrícola -----	44
b. Uso pecuario -----	44
c. Uso forestal-----	44
d. Uso urbano -----	45
e. Otros usos -----	45
4.1.3. Cuantificación de los tipos de cobertura y uso de la tierra -----	45
a. Cobertura y uso de la tierra - 1990-----	45
b. Cobertura y uso de la tierra – 2003-----	49
c. Cobertura y uso de la tierra – 2016-----	53
4.2. Discusión-----	59
4.2.1. Cambios de cobertura y uso de la tierra, periodos 1990-2003, 2003-2016, 1990-2016 -----	59
a. Tejido urbano continuo -----	59
b. Pastos-----	60
c. Áreas agrícolas heterogéneas -----	60
d. Bosques plantados -----	61
e. Herbazal-----	62
f. Arbustal-----	63

g. Afloramientos rocosos-----	63
h. Áreas quemadas-----	64
4.2.2. Cuantificación general del cambio-----	65
a. Cuantificación del cambio, periodo 1990-2003-----	65
b. Cuantificación del cambio, periodo 2003-2016-----	67
c. Cuantificación del cambio, periodo 1990-2016-----	69
V. CONCLUSIONES-----	72
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS-----	73
ANEXOS-----	76

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N° 01: Valor del índice de Kappa -----	17
Cuadro N° 02: Coeficientes de la transformación Tasseled Cap.-----	19
Cuadro N° 03: Relación entre el porcentaje de área intervenida y las clases naturales y no naturales para determinar las clases según la leyenda CLC-----	20
Cuadro N° 04: Relación de coberturas con unidad mínima de mapeo distinta a 25 (ha)-----	21
Cuadro N° 05: Propuesta de leyenda de cobertura de la tierra – Perú -----	23
Cuadro N° 06: Estimaciones y proyecciones de población 1990 al 2016 para el distrito de Chetilla -----	32
Cuadro N° 07: Parámetros de Scale y Merge aplicados a las diferentes imágenes ---	37
Cuadro N° 08: Uso actual del territorio -----	45
Cuadro N° 09: Clasificación de la cobertura y uso de la tierra, periodo 1990 de acuerdo a la metodología CORINE LAND COVER -----	46
Cuadro N° 10: Matriz de confusión para el periodo 1990-----	47
Cuadro N° 11: Clasificación de la cobertura y uso de la tierra, periodo 2003 de acuerdo a la metodología CORINE LAND COVER -----	50
Cuadro N° 12: Matriz de confusión para el periodo 2003-----	50
Cuadro N° 13: Clasificación de la cobertura y uso de la tierra, periodo 2016 de acuerdo a la metodología CORINE LAND COVER -----	53
Cuadro N° 14: Matriz de confusión para el periodo 2016-----	54
Cuadro N° 15: Cambios de la cobertura y uso de la tierra del distrito de Chetilla, periodos 1990-2003, 2003-2016, 1990-2016 -----	58
Cuadro N° 16: Superficie y porcentaje de las áreas con cambio en la cobertura y uso de la tierra -----	65
Cuadro N° 17: Cambios de cobertura y uso de la tierra, periodo 1990-2003 -----	66
Cuadro N° 18: Cambios de cobertura y uso de la tierra, periodo 2003-2016 -----	60
Cuadro N° 19: Cambios por cobertura y uso de la tierra, periodo 1990-2016 -----	70

INDICE DE MAPAS

	Pág.
Mapa N° 01: Ubicación del distrito de Chetilla-----	29
Mapa N° 02: Zonas de vida del distrito de Chetilla-----	31
Mapa N° 03: Cobertura y uso de la tierra – 1990-----	81
Mapa N° 04: Cobertura y uso de la tierra – 2003-----	82
Mapa N° 05: Cobertura y uso de la tierra – 2016-----	83
Mapa N° 06: Cambio y no cambio de la cobertura y uso de la tierra periodo 1990- 2003 -----	84
Mapa N° 07: Cambio de cobertura y uso de la tierra periodo 1990-2003-----	85
Mapa N° 08: Cambio y no cambio de la cobertura y uso de la tierra periodo 2003- 2016 -----	86
Mapa N° 09: Cambio de cobertura y uso de la tierra periodo 2003-2016-----	87
Mapa N° 10: Cambio y no cambio de la cobertura y uso de la tierra periodo 1990- 2016 -----	88
Mapa N° 11: Cambio de cobertura y uso de la tierra periodo 1990-2016-----	89
Mapa N° 12: Regiones naturales de Chetilla -----	90

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 01: Monitoreo de la cobertura y uso del suelo -----	7
Figura N° 02 Tejido urbano continuo-----	40
Figura N° 03: Pastos-----	41
Figura N° 04: Áreas agrícolas heterogéneas -----	41
Figura N° 05: Bosques plantados -----	42
Figura N° 06: Herbazal-----	42
Figura N° 07: Arbustal-----	43
Figura N° 08: Afloramientos rocosos-----	43
Figura N° 09: Superficie del cambio para el tejido urbano continuo-----	59
Figura N° 10: Superficie del cambio para pastos -----	60
Figura N° 11: Superficie del cambio para áreas agrícolas heterogéneas-----	61
Figura N° 12: Superficie del cambio para bosques plantados -----	62
Figura N° 13: Superficie del cambio para herbazal -----	62
Figura N° 14: Superficie del cambio para arbustal -----	63
Figura N° 15: Superficie del cambio para afloramientos rocosos -----	64
Figura N° 16: Superficie del cambio para áreas quemadas -----	65
Figura N° 17: Descargando las imágenes satelitales Landsat-----	77
Figura N° 18: Corrección atmosférica de la imagen satelital con el Software ERDAS IMAGINE -----	77
Figura N° 19: Segmentación con el Software Envi Zoom 4.8 -----	78
Figura N° 20: Áreas de entrenamiento con Software ArcGIS 10.4.1-----	78
Figura N° 21: Generalizando las áreas de entrenamiento con el Software ArcGIS 10.4.1-----	79
Figura N° 22: Clasificación con Random Forest para General el mapa de cobertura vegetal utilizando el Software RGui 2.15. -----	79
Figura N° 23: Verificación en campo, por el centro poblado de Pueblo Nuevo -----	80
Figura N° 24: Verificando la cobertura herbazal y afloramiento rocoso -----	80

RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación, es generar información básica y analizar los cambios de la cobertura y uso de la tierra del distrito de Chetilla, para los periodos 1990-2003, 2003-2016, 1990-2016 a través de la fotointerpretación de imágenes satelitales LANDSAT, la verificación en campo y corrección de los polígonos. Utilizando el sistema de clasificación CORINE LAND COVER propuesta adaptada para el Perú hasta el nivel III, con una representación cartográfica a escala 1/50000, con un estudio semidetallado, utilizando la clasificación supervisada con Random Forest. identificando las siguientes categorías de cobertura y uso de la tierra: Tejido urbano continuo, Pastos, Áreas agrícolas heterogéneas, Bosques plantados, Herbazal, Arbustal, Afloramiento rocoso y Áreas quemadas, clasificando hasta el nivel III en algunas de las coberturas. Los cambios de la cobertura y uso de la tierra están determinados por las actividades antrópicas, que son las principales modeladoras y responsables del cambio para el periodo 1990-2003, se tiene la categoría de áreas agrícolas heterogéneas de 744.25 (ha) a 11483.38 (ha), aumentaron 739.13 (ha). El cambio para el periodo 2003-2016, se tiene la categoría áreas agrícolas heterogéneas de 1483.38 (ha) a 1997.04 (ha), aumentaron 513.67 (ha), esta categoría teniendo un crecimiento considerable, incluyendo la pérdida de otras clases de áreas de cobertura, como la categoría arbustal de 1785.07 (ha) a 1030.60 (ha), perdiendo 754.48 (ha). El cambio para el periodo 1990-2016, la categoría que ha tenido un crecimiento considerable es áreas agrícolas heterogéneas de 744.25 (ha) a 1997.04 (ha), aumentando 1252.79 (ha).

Palabras clave: Cambio de cobertura, uso de la tierra, Random Forest, fotointerpretación

SUMMARY

The main objective of the present investigation is to generate basic information and analyze changes in land cover and land use in Chetilla district for the periods 1990-2003, 2003-2016, 1990-2016 through photointerpretation of LANDSAT satellite images, field verification and correction of polygons. Using the classification system CORINE LAND COVER offer adapted for Peru up to level III, with a cartographic representation at scale 1/50000, with a semi-detailed study, using the classification supervised with the forest at random. identifying the following categories of land cover and use: Continuous urban fabric, Grasses, Heterogeneous agricultural areas, Planted forests, Herbazal, Arbustal, Rock outcrop and Burned areas, classifying up to level III in some of the coverages. Changes in land cover and land use are determined by anthropic activities, which are the main modellers and those responsible for the change for the period 1990-2003, have the category of heterogeneous agricultural areas from 744.25 (ha) to 11483.38 (ha), increased 739.13 (ha). The change for the period 2003-2016, has the category of heterogeneous agricultural areas from 1483.38 (ha) to 1997.04 (ha), increased 513.67 (ha), this category having a considerable growth, including the loss of other kinds of areas of coverage, as the tree category from 1785.07 (ha) to 1030.60 (ha), losing 754.48 (ha). The change for the period 1990-2016, the category that has had considerable growth in heterogeneous agricultural areas from 744.25 (ha) to 1997.04 (ha), increasing 1252.79 (ha).

Keywords: change of coverage, land use, Random Forest, photointerpretation

I. INTRODUCCIÓN

En la década comprendida entre los años de 1980 y 1990, la mitad de la población mundial habitaban en ciudades; para el año 2050, se estima que más del 60% de la población se encontrará establecida en zonas urbanas y el tamaño de las ciudades en los países en desarrollo crecerá en 160%. Una forma de monitorear la transformación rural - urbana es mediante el análisis del cambio en el uso de la tierra (López *et al.*, 2000)

El estudio de cambios de cobertura y uso de la tierra (CCUT), es importante porque permite visualizar los impactos pasados y presentes de las distintas actividades humanas en los usos de la tierra y realizar una prospección tendencial que permita orientar en la búsqueda de estrategias para regular dichos impactos y tener un manejo más adecuado del territorio y de sus recursos naturales.

En esta investigación, la problemática es producido por muchos factores ya sea naturales o antrópicos inducidos por el hombre, siendo este el que más daños ocasiona por el mal manejo de los recursos, lo cual debería ser sostenible en el tiempo, esto provoca la degradación y desequilibrio como resultado de actividades directas, como agrícola, forestal, ganadera, agroquímicos, riego, crecimiento urbano no planificado o por acciones indirectas, como son las actividades industriales, mineras, eliminación de residuos, transporte, etc. Proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios. En el distrito de Chetilla, estas actividades causan pérdidas a la calidad ecológica de los ecosistemas afectando a los seres vivos que habitan en ella. Al no existir, actualmente estudios específicos, dificulta toda actividad vinculada con la gestión y planificación del uso de los recursos naturales, por ello es imprescindible analizar los cambios de cobertura y uso de la tierra en este distrito.

La justificación de esta investigación se da gracias a la información brindada por la fotointerpretación de imágenes satelitales, es posible contar con un soporte clave para procesos de toma de decisiones de uso de los recursos naturales y el mejoramiento del manejo de la tierra que asegura un mejor uso de los recursos, promoviendo la sostenibilidad a largo plazo y es fundamental para el futuro de la producción de alimentos y para el bienestar económico de las comunidades rurales.

Para el desarrollo de este trabajo se cumplió con el objetivo general de:

- Generar información básica y analizar los cambios de cobertura y uso de la tierra del distrito de Chetilla, periodo 1990-2003, 2003-2016, 1990-2016.

Para lo cual se desarrollaron los objetivos específicos de:

- Identificar y clasificar la cobertura y uso de la tierra del distrito de Chetilla, utilizando el sistema de clasificación CORINE LAND COVER – CLC.
- Analizar los cambios de la cobertura y uso de la tierra ocurrida en el periodo 1990-2003, 2003-2016, 1990-2016.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Este tema de investigación se ha desarrollado consultando fuentes bibliográficas confiables, que presentan investigación realizadas en bosques, coberturas y usos del suelo; a nivel regional, nacional e internacional, entre los consultados resaltan las siguientes investigaciones:

2.1.1.A nivel internacional

De acuerdo a la evaluación presentado por Osuna et al (2015), para conocer el cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, México; periodo 1994-2010. El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de las actividades antropogénicas en la cuenca del río Tecolutla; en un periodo de 16 años. La metodología del presente estudio está orientado a obtener la clasificación de uso de suelo y los cambios ocurridos a través del periodo 1994-2010. Estos cambios han sido estimados con la ayuda de dos imágenes Landsat Thematic Mapper (TM). Como resultado, se obtuvieron los mapas con las clases: selva, bosque, suelo agrícola, agua, vegetación perturbada, asentamientos urbanos, pastizales, cultivos de cítricos y matorrales. El autor llegó a la conclusión que en el año de 1994 se presentó una mayor cobertura de bosques (41.6%), seguida por pastizales (24.8%), y finalmente por zona agrícola de temporal (20.4%) y por debajo de estos porcentajes los otros usos. En el año 2010, predominaron los bosques (34.6%), seguidos por zona agrícola de temporal (26.2%), y por último pastizales (25.8%), los otros usos se encuentran por debajo del 10%. En lo concerniente al índice de Kappa, se obtuvieron valores de 0.89 y 0.91, para las clasificaciones de 1994 y 2010.

Camacho et al (2015), expone un modelo de cambios de cobertura y uso del suelo en una porción de la zona de transición mexicana de montaña donde el objetivo de este estudio fue analizar los cambios de cobertura y uso del suelo ocurridos entre 1989 y 2009, a través de mapas de uso de suelo y vegetación, producto de la interpretación de imágenes de satélite (Landsat TM) y la aplicación del algoritmo máxima verosimilitud. La metodología utilizada fue la clasificación supervisada de imágenes de satélite con base en la aplicación del algoritmo máxima verosimilitud, o también conocido como máxima probabilidad. Por lo tanto, los resultados obtenidos demuestran que la cobertura del bosque disminuyó considerablemente, es decir, se eliminaron 19 262 ha, las cuales fueron ocupadas por las categorías cuerpos de agua (105 ha), agropecuario (19 113 ha), asentamientos humanos (39 ha) y agricultura tecnificada controlada (5 ha).

2.1.2.A nivel nacional

Según Ibáñez y Damman (2014), realizaron un estudio de cambios de la cobertura de los suelos para la elaboración de escenarios territoriales en la región Apurímac. Los objetivos de la presente investigación fueron determinar los cambios en la cobertura y uso de los suelos y el paisaje en la región Apurímac. Según el estudio de la caracterización de cobertura de uso de suelos en la subcuenca para los años 1986, 1994, 2002 y 2009, el autor llegó a la conclusión que, el análisis de la cobertura de suelos muestra tendencias de cambio, principalmente en la parte baja y media de la subcuenca en el período considerado, ligada a la actividad agropecuaria. En el caso de la parte alta la reducción drástica del área de nevados es evidente. Estos procesos de cambio estarían ligados a 4 factores o impulsores de cambio: la degradación de la cobertura vegetal, la reducción de las fuentes de agua, la actividad minera y los eventos climáticos extremos. A nivel de escenarios territoriales al 2016, calculados con el modelo de Markov, se aprecia que las tendencias en el período 2002 y 2009 se mantendrán, considerando que las condiciones del modelo también mantienen sus tendencias.

La investigación de Zorogastúa et al (2011), sobre evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satélite en Piura, el objetivo de la investigación fue resolver las interrogantes asociadas al uso de procesamiento digital de imágenes de satélite para determinar el cambio de uso de la tierra entre los años 1990 y 2000. La metodología empleada se basó en la capacidad de los satélites de recursos terrestres para dar seguimiento a los cambios de la vegetación, productividad primaria y otros atributos de la vegetación. Los resultados fueron que áreas cubiertas por el bosque seco cubrió una zona de 3.6 millones de hectáreas. Las principales asociaciones vegetales reportadas fueron bosque seco ralo, bosque seco muy ralo y bosque seco semi-denso. Estas asociaciones constituyeron algo más del 50 % del área estudiada. Las áreas bajo cultivos fueron cerca de 8 %. Evidentemente, un procesamiento digital de las escenas registradas por el satélite LANDSAT 5, permite obtener información a mayor detalle de la zona de estudio y sus asociaciones vegetales, así como también estimar el error promedio en la discriminación de las clases que fue del 11 % y el acierto fue 89 %. El autor llegó a las conclusiones que, El 38% del área del bosque seco permanece sin variación, mientras que 13% ha mejorado su condición y el otro 23% tiende a la reducción de su cobertura.

2.1.3.A nivel regional

Según el estudio especializado “Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra en el departamento de Cajamarca”, por Alcántara (2014), determina que los cambios de la cobertura y uso de la tierra deben ser reconocidos como una de las principales causas del deterioro ambiental, teniendo como objetivo general del presente estudio 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. La metodología según lo dispuesto por el Ministerio del Ambiente (R.M. N° 135-2013- MINAM), se basó en el procesamiento digital de imágenes satelitales utilizando los softwares ENVI y Arc GIS que permitieron generar cartografía temática de cobertura y uso de la tierra para los periodos 2001-2013. Los resultados establecen que, el cambio total de la cobertura y uso de la tierra en Cajamarca corresponde a un área de 599,236.15 hectáreas que representa el 18.18%, mientras que la permanencia del paisaje a una superficie de 2'696 027.69 hectáreas representa el 81.82% del área departamental. Además, revela la identificación de cuarenta y siete cambios por cobertura de los cuales, el cambio de vegetación herbácea y/o arbustiva a Áreas agrícolas heterogéneas es el que más impactos ha generado, debido a que estos espacios han sido transformados a terrenos agrícolas destruyendo la cubierta vegetal en perjuicio de la oferta de importantes Servicios Ecosistémicas.

Saldaña (2010), expone la investigación determinación del cambio de cobertura vegetal en el área de conservación municipal “bosques de Huamantanga”, utilizando imágenes de satélite. se evaluó una superficie total de 12,236.83 (ha) y el área de estudio está ubicada en la región Cajamarca, provincia de Jaén, distrito de Jaén. Se usaron dos periodos comparativos, 1989-2000 y 2000-2006, La metodología utilizada fue utilizando imágenes de satélite Landsat tomadas por la NASA de los Estados Unidos y Aster. Teniendo como resultado que un 75% de las áreas cambiaron de uso de suelo con el paso de los años y el otro 25% se mantuvo intacto. En un área total de estudio analizada es de 12236.84 (ha). Que comprendió el área de Conservación Municipal Bosque de Huamantanga con 3840.00 (ha) y su zona de amortiguamiento con 8,396.84 (ha). Donde se concluye que, el área total de estudio analizada es de 12236.84 (ha) que comprendió el área del bosque de Huamantanga con 3840.00 (ha) y su zona de amortiguamiento con 8,396.84 (ha), se determinó el cambio de uso de los suelos en dos periodos comparativos, para los años 1989 y 2000, así como para los años 2000 y 2006; determinándose que un 75% de las áreas cambiaron de uso de suelo con el paso de los años y el otro 25% se mantuvo intacto.

La investigación presentada por Tantaleán (2016) sobre análisis del cambio de la cobertura y uso del suelo en el distrito de Chota, ubicado en el departamento de Cajamarca, provincia de Chota. El objetivo general del presente estudio fue analizar los cambios de la cobertura y uso del suelo - (CCUS) en el periodo 1989-2013, La metodología empleada se basó en la clasificación CORINE LAND COVER adaptada para Perú, propuesta por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2014), procesando las imágenes satelitales Landsat, utilizando los softwares ENVI 5.1 y ArcGIS 10.3. El autor da como resultados de cambios de cobertura y uso del suelo en el distrito de Chota, llegándose a identificar las siguientes categorías de cobertura vegetal y uso del suelo: tejido urbano continuo, pastos, áreas agrícolas heterogéneas, bosques plantados, bosque abierto bajo, herbazal. arbustal, vegetación arbustiva / herbácea, tierras desnudas, llegándose a clasificar hasta el nivel III en algunas de las coberturas. El cambio de pastos de 948.59 (ha) a 3,326.69 (ha), aumentando 2,378.1 (ha), la categoría de áreas agrícolas heterogéneas de 16,967.69 (ha) a 19,825.44 (ha), aumentando 2,857.75, dichas categorías han tenido un crecimiento considerable en su área inicial de estudio, lo que implica la pérdida de áreas de otras clases de cobertura, como se puede apreciar en las categorías herbazal de 4,576.27 (ha) a 1,288.21 (ha), perdiendo 3,288.06 ha de su área, la categoría arbustal 2,237.26 (ha) a 1,337.28 (ha), perdiendo 899.98 (ha).

2.2. Definiciones relacionadas con el cambio de cobertura y uso de la tierra

2.2.1 Tierra

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO 1995), 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. Por lo tanto, Tierra, de acuerdo a la definición de la FAO, incluye el clima, mientras que suelo incluye propiedades de la superficie de la tierra excluyendo los datos de clima.

2.2.2. Usos de la tierra

Con frecuencia se dice que el uso de la tierra ocurre solo cuando esta se manipula físicamente el área sin intervención física tiene así su cobertura natural y el área intervenida, su cobertura artificial. Entre ambas áreas se visualiza la frontera agrícola. Este enfoque “desde la ciudad” significa un entendimiento parcial y estático del uso de la tierra. Se ha visto que los problemas más graves con respecto al uso de la tierra (que debe ser sostenible) ocurre alrededor de la frontera agrícola en las áreas marginales con pendientes fuertes, suelos no profundos, lluvias muy erosivas, agricultura marginal con poca atención, apoyo técnico – financiero por parte del estado y otros (Richters, 1995).

2.2.3. Cobertura vegetal

Comprende la vegetación que ocupa un espacio determinado dentro de un ecosistema, cumple funciones de gran importancia como la captación y almacenamiento de energía, refugio de la fauna, agente antierosivo del suelo, medio regulador del clima local, atenuador y reductor de la contaminación atmosférica y del ruido, fuente de materia prima y bienestar para el hombre (Municipio de Miranda, 2000).

2.2.4. Cobertura y uso del suelo

Los cambios de cobertura y uso del suelo se han reconocido en muchos países como una de las principales causas de deterioro ambiental, por ello están ubicados en el centro de la investigación ambiental y representan un punto importante en diferentes ámbitos como medio para entender los mecanismos de este proceso de deterioro y guía para la toma razonable de decisiones sobre el uso del territorio (Nájera et al., 2010).



Figura N° 01: Monitoreo de la cobertura y uso del suelo

2.3. Causas directas del cambio de cobertura vegetal

2.3.1. Agricultura y ganadería intensiva

En el decenio de 1990, la superficie forestal mundial se redujo unos 94.000 kilómetros al año, superficie equivalente a la del Portugal. La mayor parte de las tierras desbrozadas y quemadas se destinaron al cultivo y al pastoreo. En América Latina, en particular, casi todas las tierras deforestadas se convirtieron en pastizales para criar ganado en sistemas extensivos de pastoreo (FAO, 2006).

Comúnmente, el proceso de deforestación comienza con la construcción de carreteras que atraviesan los bosques y los abren a la tala y la minería. Una vez desbrozado el bosque a lo largo de la carretera, llegan los agricultores comerciales o de subsistencia y comienzan a producir cultivos. Pero el suelo de los bosques tiene muy pocos nutrientes y es demasiado frágil para sustentar los cultivos durante mucho tiempo. Al cabo de dos o tres años, los suelos se han agotado, la producción disminuye y los agricultores dejan crecer la hierba y se van a otra parte (FAO, 2006).

2.3.2. Deforestación

La deforestación obedece a menudo al deseo de adquirir la tierra como garantía, comparable a una reserva de riquezas o a una cobertura contra la inflación. Para introducir cambios en la dinámica de la deforestación de la titulación de las tierras, será preciso diseñar programas de políticas orientados a la reducción de los incentivos para la remoción de la cubierta forestal (FAO, 2008). El hombre en su búsqueda por satisfacer sus necesidades personales o comunitarias utiliza la madera para fabricar muchos productos. La madera también es usada como combustible o leña para cocinar y calentar. Por otro lado, las actividades económicas en el campo requieren de áreas para el ganado o para cultivar diferentes productos. Esto ha generado una gran presión sobre los bosques (Jiménez, 2010).

Este fenómeno de deforestación se ve agravado por la lluvia ácida, la desertificación, y los incendios forestales. En el caso de los pequeños agricultores, considerados como pobres, al asentarse cerca de los bosques deben talar una parcela de tierra y utilizarla para la plantación de cultivos de subsistencia o comerciales. Sin embargo, ese tipo de prácticas degrada rápidamente el suelo, y el agricultor se ve forzado a talar otra porción de bosque para transformarlo en tierras de cultivos (Quito, 2014).

2.3.3. Minería

La minería es una actividad a corto plazo, pero con efectos a largo plazo. Cuando se realiza actividades mineras en zonas de bosque constituye una depredación. La minería, junto con la explotación de petróleo, amenaza el 30% de las últimas extensiones de bosques primarios del mundo (Lillo, 2006).

Productos químicos peligrosos utilizados en las distintas fases de procesamiento de los metales, como cianuro, ácidos concentrados y compuestos alcalinos terminan en el sistema de drenaje. La alteración y contaminación del ciclo hidrológico tiene efectos muy graves que afectan a los ecosistemas cercanos, de manera especialmente agravada a los bosques, y a las personas (Lillo, 2006).

Actualmente en el departamento de Cajamarca tiene un área total de concesiones mineras de 1350473.5 has, equivalente el 40.983% del área total del departamento (Cerdán, 2015).

2.4. Sistema de Información Geográfica (SIG)

El término Sistema de Información Geográfica (SIG) suele aplicarse a sistemas informáticos orientados a la gestión de datos espaciales que constituyen la herramienta informática más adecuada y extendida para la investigación y el trabajo profesional en Ciencias de la Tierra y Ambientales. Se trata de herramientas complejas, reflejo de la complejidad del objeto de estudio de estas ciencias, fruto de la evolución y fusión de programas de muy distinto tipo que anteriormente se habían utilizado de forma independiente (Alonso, 2005).

2.5. Teledetección

Alonso (2005), define que la Teledetección es la técnica que permite obtener información a distancia de objetos sin que exista un contacto material. Para que ello sea posible es necesario que, aunque sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre los objetos observados; situados sobre la superficie terrestre, marina o en la atmósfera; y un sensor situado en una plataforma (satélite, avión, etc.). En el caso de la teledetección la interacción que se produce va a ser un flujo de radiación que parte de los objetos y se dirige hacia el sensor. Este flujo puede ser, en cuanto a su origen, de tres tipos:

- Radiación solar reflejada por los objetos (luz visible e infrarrojo reflejado)
- Radiación terrestre emitida por los objetos (infrarrojo térmico)
- Radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar)

Las técnicas basadas en los dos primeros tipos se conocen como teledetección pasiva y la última como teledetección activa. La radiación (solar reflejada, terrestre o emitida por el sensor y reflejada) que llega de la superficie terrestre y que ha atravesado la atmósfera, es almacenada en formato digital. Una vez recuperados los datos en el centro de control del satélite, permitirán obtener información acerca de la superficie terrestre y de la atmósfera. El tipo de información que se obtiene dependerá de la longitud de onda en la que el sensor capte radiación. El análisis de esta información permite el reconocimiento de las características de los objetos observados y de los fenómenos que se producen en la superficie terrestre y oceánica y en la atmósfera. Por tanto, son muchas las ciencias, tanto naturales como sociales, interesadas en su uso (Geografía, Geología, Meteorología, Agronomía, etc.) (Alonso, 2005).

2.6. Satélite Landsat

Con el lanzamiento del satélite LANDSAT-1 el 07 de marzo de 1972 se abrió una nueva percepción del planeta con una resolución tanto temporal como espectral desconocida hasta entonces. Este satélite, dotado de sensores empleados en teledetección, fue diseñado con el fin de obtener datos de los recursos terrestres. En base a este objetivo se diseñaron las resoluciones para adaptarse a este fin. Este sensor es el más empleado en aplicaciones agrícolas, forestal, usos del suelo, hidrología, recursos costeros y monitorización medioambiental. Sobre todo, está ligado a estudios territoriales en los que el parámetro fundamental es el medio ambiente (Fernández y Herrero, 2001).

2.7. Imagen satelital

Una imagen satelital es una matriz digital de puntos (igual a una fotografía digital) capturada por un sensor montado a bordo de un satélite que orbita alrededor de la tierra. A medida que el satélite avanza en su órbita, "barre" la superficie con un conjunto de detectores que registran la energía reflejada (Martínez y Díaz, 2005).

Las imágenes de satélite, se encuentran en formato raster, el cual consiste en una matriz de miles de píxeles, en donde cada píxel tiene un valor digital o de reflectancia; ejemplificando, si la resolución de la imagen es de 30 metros, cada píxel muestra un área en la superficie terrestre de 30x30 metros (900m^2), con esto, la firma espectral o reflectancia de todos los objetos existentes en una superficie de 900m^2 será promediada para darle su valor digital al píxel (Martínez y Díaz, 2005).

2.8. Resolución espacial adecuada

Un factor de importancia que hay que tomar en consideración cuando se buscan imágenes es la relación que existe entre el tamaño de la escena y la resolución espacial. Imaginemos una cámara con teleobjetivo. A medida que éste enfoca rasgos de pequeño tamaño, el campo visual disminuye. Esto se aplica también a las imágenes de satélite. Una gran resolución espacial digamos un metro, se corresponde con un área de cobertura pequeña (y archivos digitales de gran tamaño). Al escoger una imagen, se deben equilibrar estas dos características de forma que la resolución espacial sea lo bastante alta como para distinguir los objetos que se necesita identificar. No obstante, el tamaño de la escena ha de ser lo suficientemente ancho como para colocar en ello dichos objetos en su perspectiva adecuada. Dicho de otro modo: no debemos dejar que los árboles nos impidan ver el bosque (SRGIS, 2010).

SRGIS (2010) clasifica la resolución espacial adecuada en:

a) De un metro

- Identifica y cartografía rasgos a escala humana superiores a un metro cuadrado, tales como tapas de alcantarilla, bancos, automóviles, cocheras de autobuses, carriles de autopista, aceras, equipamiento de servicios públicos, cercas, árboles y arbustos.
- Identifica características de muchos de los objetos mencionados.
- Detecta pequeñas zonas de estrés en parcelas agrícolas o arboledas.
- Localiza y cartografía ampliaciones de casas, carreteras, edificios, patios y pequeñas explotaciones agrícolas y ganaderas.

b) De 10 metros

- Ubica y cartografía edificios, predios, carreteras, límites de propiedad, campos de deporte, granjas y calles laterales.
- Diferencia entre parcelas cultivadas y sin cultivar en (unción de la salud vegetativa relativa).
- Facilita tipificaciones de la cubierta del suelo en pequeñas áreas.

c) De 20-30 metros

- Ubica aeropuertos, cascos urbanos, barriadas periféricas, centros comerciales, complejos deportivos, grandes fábricas, extensos bosques y explotaciones agrícolas de gran amplitud.

d) De 80 metros

- Cartografía estructuras geológicas regionales.
- Evalúa la salud vegetativa en una región relativamente extensa.

e) De 1 kilómetro

- Valora la salud vegetativa en estados y países enteros.
- Sigue eventos regionales como plagas de insectos, sequía y desertificación.

Hay diversas opciones para elegir la resolución espacial adecuada, entre ellas están los siguientes sensores: QuickBird (0.61 metros), Ikonos (1 metro), Spot (10 metros), Aster (15 metros), Landsat TM (30 metros), entre otros (SRGIS, 2010).⁴

2.9. Bandas espectrales adecuadas

A partir de datos multiespectrales se generan composiciones a color RGB (Red, Green, Blue) donde las bandas individuales o combinaciones específicas de ellas son adecuadas para observar ciertos objetos (firmas espectrales). Cuando se trata de combinar, la selección de bandas más adecuada depende del tipo de sensor usado y la aplicación del proyecto. Entre las combinaciones más comunes tenemos la 321 (color verdadero, RGB), 432 (falso color infrarrojo), la 543 (falso color, NRG), la 453 (falso color, NSR) y la 753; entre otras (Guerrero, 2011).

No obstante, hay que tener en cuenta que las bandas rara vez se utilizan en solitario, normalmente se usan en combinaciones de tres bandas (SRGIS, 2010).

SRGIS (2010) clasifica las distintas longitudes de ondas:

Azul visible: Cartografía de aguas someras. Diferenciación de suelo y vegetación.

Verde visible: Diferenciación de la vegetación por su salud.

Rojo visible: Diferenciación de la vegetación por especies.

Infrarrojo cercano: Cartografía de la vegetación Cartografía del vigor/salud de la vegetación. Diferenciación de la vegetación por especies.

Infrarrojo medio: Diferenciación de los tipos de rocas por composición. Detección de humedad en la vegetación y suelo Cartografía de la estructura geológica Trazado de límites tierra/agua.

2.10. Composición de la imagen satelital Landsat utilizando combinaciones de bandas según MINAM-DGOT (2015)

2.10.1. Color real – Landsat 5/Landsat 7 TM (321); Landsat 8 (432)

Resulta también ideal para estudios de aguas poco profundas, batimetría y carga de sedimentos. Dado que es la combinación que posee la mayor penetración en agua, lo que también determina su falta de discriminación entre suelo y capas de agua poco profundas.

2.10.2. Combinación falso color Landsat 5/Landsat 7 TM (742); Landsat 8 (753)

Útil para delinear unidades litológicas. Es también utilizada para identificar morfología y estructuras morfológicas del terreno. La vegetación saludable (verde brillante) y puede saturar en épocas de crecimiento intenso, pastizales (verdes), suelos áridos (rosado). Vegetación seca (naranja) y el agua (azul). Arenas, suelos y minerales son destacados en multitud de colores. áreas quemadas (rojo). Áreas urbanas (rango de tonos de magenta). Pastos son verde claro. Tonos de Verde oliva a verde intenso muestran áreas arboladas.

2.10.3. Falso color Landsat 5/Landsat 7 TM (543); Landsat 8 (654)

Esta combinación es útil para estudios de vegetación. Como la TM451, esta combinación da al usuario una gran cantidad de información y contraste de color. Vegetación saludable aparece verde brillante y suelos son lila. Mientras TM742 incluye la banda 7 con información litológica, esta contiene la banda 5 con información agrícola.

2.10.4. Falso color Landsat 5/Landsat 7 TM (453); Landsat 8 (564)

Utilizada para estudio de vegetación y uso de suelo. El uso la banda roja y las del infrarrojo medio y cercano, ofrece especial definición del borde tierra-agua y destaca detalles sutiles no fácilmente distinguibles en las bandas visibles solas. Tipos vegetación y sus condiciones se distinguen por su color, variando entre cafés, verdes y naranjos como también por su tonalidad. Esta combinación revela también diferencias de humedad, por lo que es útil para análisis de condiciones del suelo y su vegetación. Suelos húmedos aparecen más oscuros debido a la capacidad de absorción del agua en el infrarrojo.

2.11. Ortorrectificación

La Ortorrectificación es un proceso computacional por el que se eliminan de las imágenes las distorsiones horizontales y verticales principalmente debidas al relieve. Este proceso mejora de forma espectacular la calidad y utilidad de la imagen porque le otorga las mismas cualidades que posee un mapa (SRGIS, 2010).

2.12. Clasificación supervisada con Random Forest

El objetivo principal es el generar un mapa de cobertura y uso de la tierra con una escena Landsat o equivalente. para eso es necesario tener insumos como imágenes satelitales ortorrectificadas, leyenda y guía de interpretación (MINAM-DGOT, 2015).

El procedimiento se refleja en el siguiente diagrama. Debido a la complejidad del mismo, se ha optado por subdividir, el proceso son los siguientes:

2.12.1. Generación de segmentos

El concepto principal de la clasificación de imágenes por objetos o segmentación radica en que la información necesaria para interpretar una imagen no está contenida en un solo pixel, sino en los objetos presentes en la imagen, y en las relaciones entre los objetos. La segmentación de imágenes es una técnica de agrupación de datos, en la cual solamente regiones espacialmente adyacentes, y de características espectrales semejantes, pueden ser agrupadas (MINAM-DGOT, 2015).

Proceso de dividir una imagen en segmentos por medio de una agrupación de píxeles vecinos cuyas características (brillo, textura, color, etc.) tienen valores similares. Estos segmentos idealmente corresponden a objetos del mundo real. La segmentación es un proceso por el cual se agrupan píxeles contiguos que tienen características espectrales semejantes, definiendo un área geográfica homogénea. Para realizar este proceso de Segmentación se utilizará el software ENVI ZOOM. Cuyo modulo a emplear es el feature extracción teniendo como función la extracción de áreas y luego clasificarlos en base a su atributos espectrales y relaciones espaciales (MINAM-DGOT, 2015).

2.12.2. Generación de áreas de referencia

La generación de áreas de referencia, permite al intérprete reconocer las unidades de la leyenda en el área de estudios y se generaran áreas de referencia. Estas áreas de referencia son polígonos que constituyen una muestra representativa de cada una de las clases presentes en la escena que servirán como insumo para la selección de segmentos (unidad de análisis para el clasificador) (MINAM-DGOT, 2015).

2.12.3. Integración de información complementaria

La generación de esta información servirá como insumos que enriquecerán el análisis en el proceso de clasificación. Para generar este tipo de información se requiere de información satelital (imágenes Landsat y modelo de elevación digital del terreno - DEM) y segmentación final de la escena (MINAM-DGOT, 2015).

2.13. Validación de la clasificación

2.13.1. Matriz de confusión

La matriz de confusión (C) o contingencia, permite comparar dos clasificaciones: una definida por el usuario como base y la otra, la que se desea evaluar. Se construye una comparación matricial de clases realizadas de la clasificación, ubicada generalmente en diferentes sectores o en la totalidad del mapa, confrontando las clases de cada clasificación. Con la matriz de confusión se generan tres tipos de exactitud: exactitud global, exactitud del usuario, exactitud del productor (Rodríguez, 2011).

a) Exactitud Global (EG)

Indica la exactitud del conjunto de las clases del método a evaluar.

$$EG = \frac{\sum_{i=1}^r X_{ii}}{N}$$

X_{ii} : diagonal mayor que C

N: número total de puntos de muestreo

r: número de filas de la matriz

b) Exactitud de Usuario (EU)

Es el acertamiento de una clase en particular respecto a toda la clasificación.

$$EU = \frac{X_{ii}}{X + i} \times 100$$

X_{ii} : diagonal de dicha fila

$X+i$: totales marginales de la fila i

c) Exactitud de Productor (EP)

Es el acercamiento de una clase en particular, respecto a la clasificación a evaluar.

$$EP = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \times 100$$

X_{ii} : diagonal de dicha columna

X_{+i} : totales marginales de la columna i

Las medidas de exactitud mencionadas, solo se basan en resultados parciales de la matriz, por lo tanto, no aprovechan todos los datos en su totalidad, a su vez se toman resultados aleatorios, que pueden llevar a interpretaciones sesgadas del método. Para corregir los tipos de exactitud, se utiliza el Coeficiente Kappa (Rodríguez, 2011).

2.13.2. Índice de Kappa (k)

El coeficiente kappa refleja la concordancia inter-observador y puede ser calculado en tablas de cualquier dimensión, siempre y cuando se contrasten dos observadores (para la evaluación de concordancia de tres o más observadores se utilizan el coeficiente kappa de Fleiss. El coeficiente Kappa puede tomar valores entre -1 y +1. Mientras más cercano a +1, mayor es el grado de concordancia inter-observador, por el contrario, mientras más cercano a -1, mayor es el grado de discordancia inter-observador. Un valor de $k = 0$ refleja que la concordancia observada es precisamente la que se espera a causa exclusivamente del azar (Cerde & Villarroel, 2008).

El índice kappa, se define como

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

Donde:

P_o : Proporción de acuerdos observados

P_e : la proporción de acuerdos esperados (Abraira, 2001).

La máxima concordancia posible corresponde a $k = 1$. El valor $k = 0$ se obtiene cuando la concordancia observada es precisamente la que se espera a causa exclusivamente del azar. Si la concordancia es mayor que la esperada simplemente a causa del azar, $k > 0$, mientras que, si es menor, $k < 0$, el mínimo valor de k depende de las distribuciones marginales (López, 2001).

A la hora de interpretar el valor de k es útil disponer de una escala como se muestra en el siguiente cuadro, a pesar de su arbitrariedad:

Cuadro N° 01: Valor del índice de Kappa

Valor de K	Fuerza de la concordancia
< 0.20	Pobre
0.21 – 0.40	Débil
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Buena
0.81 – 1.00	Muy buena

Fuente: Medidas de concordancia: el índice de Kappa (López, 2001).

2.14. Modelos Digitales de Elevación (DEM)

Llamados también modelos digitales del terreno, estos conjuntos de datos contienen medidas de la elevación del terreno obtenidas aplicando procedimientos fotogramétricos a pares de imágenes estereoscópicas solapadas. Los DEM se usan con frecuencia para crear modelos tridimensionales y en los programas informáticos de visualización comúnmente usados en ingeniería civil, cartografía geológica y simulación de vuelo. Actualmente existen dos conocidos satélites que toman imágenes con un par estereoscópico: Ikonos y Aster de los cuales se pueden obtener modelos de elevación digital a 1 y 15 metros respectivamente (SRGIS, 2010).

a) Fusiones

Es posible fundir dos tipos de imágenes de satélite distintas para crear un producto híbrido que une las ventajas de ambas imágenes. Lo más habitual es fundir una imagen pancromática, como la SPOT de 10 metros con otra multiespectral SPOT de 20 metros o Landsat de 30 metros. Esto produce una imagen que contiene los datos multiespectrales y la información espacial de la imagen pancromática (SRGIS, 2010).

b) Mosaicos

Es frecuente que la escena de la imagen del satélite no abarque el área de interés en su totalidad. En ese caso se pueden solicitar dos o más escenas adyacentes y el distribuidor efectuará un mosaico utilizando complejos algoritmos informáticos que hagan coincidir exactamente los bordes de las escenas y equilibren los colores para crear una base de datos sin fisuras de la zona extensa (SRGIS, 2010).

2.15. Obtención de variables, índices y transformaciones

Cuando interesa detectar algún aspecto específico de la superficie terrestre, pueden utilizarse índices que utilicen algunas de las bandas. Estos índices suponen a su vez una transformación de las bandas.

En general podemos hablar de dos tipos de transformaciones:

a) Índices de vegetación

El más conocido es el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) cuya ecuación es:

$$NDVI = \frac{B_4 - B_3}{B_4 + B_3}$$

Este índice se basa en que la vegetación tiene una reflectividad muy alta en la banda 4 de Landsat y muy baja en la banda 3. Por tanto, cuanto mayor sea la diferencia entre ambas bandas mayor es el porcentaje de cobertura vegetal y más sana es esta. El dividir el índice entre la suma de ambas reflectividades compensa tanto el efecto de mayor o menor luminosidad como el efecto de la atmósfera. Se han propuesto distintas variantes para mejorar este índice. El objetivo fundamental es eliminar la influencia que el suelo puede tener sobre las reflectividades en el rojo y el infrarrojo y que pueda enmascarar las de la vegetación. Otros índices, utilizando otras bandas, permitirían analizar otros aspectos como puede ser la litología (Alonso, 2005).

b) Transformación Tasseled Cap

Alonso (2005), define que la transformación Tasseled Cap supone pasar de las 6 bandas de Landsat a 3 bandas con un claro sentido físico que representan el brillo de la imagen (albedo), el verdor y la humedad. Estas nuevas bandas se obtienen mediante:

$$Brillo = \sum_{k=1}^6 Ckb$$

$$Verdor = \sum_{k=1}^6 Cky$$

$$Humedad = \sum_{k=1}^6 Ckh$$

En estas ecuaciones Ckb significa Coeficiente para obtener brillo (b) en la banda k. Los coeficientes Ckb, Ckv y Ckh de estas ecuaciones aparecen en el **cuadro N° 02**. Permiten llevar a cabo análisis de la densidad y estado de salud de la vegetación.

Cuadro N° 02: Coeficientes de la Transformación Tasseled Cap

Componente	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
Brillo	0.3037	0.2793	0.4743	0.5585	0.5082	0.1863
Verdor	-0.2848	-0.2435	-0.5436	0.7243	0.0840	-0.1800
Humedad	0.1509	0.1973	0.3279	0.3406	-0.7120	-0.4572

Fuente: Sistemas de Información Geográfica (Alonso, 2005).

2.16. Propuesta de leyenda de cobertura de la tierra – Perú

La leyenda fue desarrollada siguiendo los acuerdos regionales vinculados a trabajar con el esquema CORINE LAND COVER. 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 (escala espacial) con distintos niveles de detalle temático (niveles de la leyenda jerárquica). El proceso de discusión de la leyenda regional ha llevado a la definición de una serie de clases en los niveles 1 y 2 de la leyenda que, si bien recogen parte de los planteamientos de CLC, incorporan adaptaciones que se consideran necesarias para los países de la región. Este compromiso, reflejado en la leyenda regional, se ve plasmado en un compromiso de reporte que todos los países han asumido. A nivel nacional, cada país tiene plena libertad para modificar la leyenda, ampliarla o detallarla, siempre que los compromisos de reporte se puedan cumplir. A continuación, se presentan algunos aspectos planteados en la discusión nacional de la leyenda, como aspectos de mayor detalle o de reorganización de las clases jerárquicas, pero siempre pensando que dichas modificaciones no alteren la capacidad de reporte y monitoreo a nivel de los cuatro países de la región (MINAM, 2014).

Uno de los aspectos revisados fue la estructura de la leyenda para la clase 2, que comprende las áreas dominadas por actividades agropecuarias. En particular, se comentó la dificultad práctica de distinguir agricultura permanente de transitoria en varias partes del territorio nacional. Este aspecto que viene discutiéndose hace bastante tiempo no encontró una solución, más allá de, en caso de duda, incorporar el área a la clase 2.4 (mosaico agropecuario). Siguiendo el esquema de CLC, la clase 2.4 incorpora no sólo las áreas donde distintos tipos de actividad agrícola se mezcla, sino que también incorpora las áreas de mosaico agropecuario-natural. En la discusión se planteó que esta mezcla de mosaico de áreas agrícolas consolidadas con mosaicos de áreas

agrícolas y naturales, al nivel de reporte regional (nivel 2) reducía la capacidad de registrar cambios en las áreas más dinámicas de los ecosistemas, por lo que parecía conveniente separar los mosaicos agropecuario natural de los mosaicos agropecuarios en una subclase de la clase 2. Un aspecto importante de esta propuesta es que, recogiendo lo planteado por CLC-Colombia no supone una simetría entre lo natural y lo no natural, lo que se refleja en que el umbral entre las áreas de mosaico dominadas por lo agropecuario (clase 2) requieren sólo un 30% de área intervenida. Este umbral implícitamente reconoce que el área afectada por las actividades antrópicas va más allá de las áreas directamente intervenidas (MINAM, 2014).

Cuadro N° 03: Relación entre el porcentaje de área intervenida y las clases naturales y no naturales para determinar las clases según la leyenda CLC

% de área intervenida	Estructura de la matriz natural	Actividad agropecuaria dominante (>70%)	Clase regional/propuesta
70% - 100%	No aplica	cultivos transitorios	2.1
		cultivos permanentes	2.2
		pastos	2.3
		ninguna	2.4
30% - 70%	NA	NA	2.5
10% - 30%	Bosque	NA	3.1.5
	Arbustal	NA	3.3.5
	Herbazal	NA	3.3.6
	Arbustal-herbazal	NA	3.3.7
0% - 10%	Bosque	NA	3.1. (1-4)
	Arbustal	NA	3.3.1
	Herbazal	NA	3.3.2
	Arbustal-herbazal	NA	3.3.4

Fuente: Ministerio del Ambiente (2014).

Los elementos anteriores llevan a valorar muy positivamente la existencia de una clase que corresponda a mosaicos agropecuarios con vegetación natural, particularmente para estudiar el avance de la frontera agrícola en áreas amazónicas. Sin embargo, la definición de una clase del tipo mosaico requiere construir un conjunto de reglas muy precisas que permitan delimitarlos y distinguirlos claramente del entorno, más cuando

se supone que las clases tipo mosaico deben ser empleadas sólo cuando no se puede emplear una clase “pura”. Si bien algunos aspectos de las características que deben tener dichas reglas de construcción de las clases mosaico se han construido, la validación y formalización de esas reglas es parte del proceso de construcción aún está pendiente de desarrollo (MINAM, 2014).

Cuadro N° 04: Relación de Coberturas con unidad mínima de mapeo distinta a 25 ha

Código interno provisional	Nombre	Unidad mínima de mapeo (ha)
1	Áreas Artificializadas	5
31101	Bosques altoandinos densos	5
31102	Manglares densos	5
31201	Bosques altoandinos abiertos	5
31202	Manglares abiertos	5
344	Áreas quemadas	5
345	Glaciares	5
412	Turberas y bofedales	5
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	5
513	Lagunas, lagos y ciénagas naturales estacionales	5
515	Cuerpos de agua artificiales	5
521	Lagunas costeras	5
9	sin información	0

Fuente: Ministerio del Ambiente (2014).

Otro aspecto discutido fue la unidad mínima de mapeo para las distintas clases analizadas. Al respecto, se tomó como referencia el trabajo de CLC-Colombia, en el que se establece que para todas las subclases de la clase 1 (áreas artificializadas) se trabajará a 5 ha, pero que para el resto de clases se trabajará con 25 ha. Tomando esos valores como criterio, y dado que existen un conjunto de elementos naturales importantes de ser identificados con mayor detalle a nivel nacional, se incluyeron varias categorías en la lista de elementos a ser mapeados a 5 ha, como son los bofedales, glaciares, manglares, o bosques altoandinos. Algunos de estos elementos, en particular los tipos de bosque, no tienen un código nacional que los permita diferenciar de otros tipos de bosque. Esta diferenciación es necesaria para facilitar su tratamiento semi-automático. Por ello, se les asignó un código provisional hasta que la leyenda de Perú se desarrolle y los incorpore de forma expresa, en niveles de mayor detalle. Por otro lado, se consideró que las unidades sin información (áreas bajo nube, sombra, o con error de satélite) debían mantenerse con unidad mínima de mapeo 0, de tal forma que cualquier elemento sin información pueda ser representado.

Finalmente, en el caso de las áreas verdes no naturales (clase 1.4 en la leyenda de Colombia) se sugirió que pasara como un subnivel de las áreas urbanas, de tal forma que todos los elementos de 1.4 (1.4.1 o 1.4.2) puedan mantenerse a un nivel 4 (como 1.1.3.1 y 1.1.3.2) (MINAM, 2014).

La aplicación de la propuesta de leyenda de coberturas (CORINE), logrados a través del proyecto: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Cobertura Andina, que se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 05: Propuesta de leyenda de cobertura de la tierra – Perú.

I	Nivel II	Nivel III	Definición a nivel II
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	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.
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo	
	1.2. Áreas industriales e infraestructura	1.2.1. Áreas industriales o comerciales	Comprende las áreas cubiertas por infraestructura de uso exclusivamente comercial, industrial, de servicios y comunicaciones. Se incluyen tanto las instalaciones como las redes de comunicaciones que permiten el desarrollo de los procesos específicos de cada actividad.
		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	Comprende las áreas donde se extraen o acumulan materiales asociados con actividades mineras e hidrocarburíferas, de construcción, producción industrial y vertimiento de residuos de diferente origen. (Incluye colas y desmontes).
		1.3.2. Áreas de disposición de residuos	
	1.4. Áreas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1 Áreas verdes urbanas	Comprende las áreas verdes localizadas en las zonas urbanas, sobre las cuales se desarrollan actividades comerciales, recreacionales, de conservación y amortiguación, donde los diferentes usos del suelo no requieren de infraestructura construida apreciable. En general, estas áreas verdes son el resultado de procesos de planificación urbana o áreas que por los procesos de urbanización quedaron embebidas en el perímetro de la ciudad.
1.4.2 Instalaciones recreativas			
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios		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, trigo, cebada y arroz), los tubérculos (papa y yuca), las oleaginosas (el ajonjolí y el algodón), la mayor parte de las hortalizas, algunas especies de flores a cielo abierto.

	2.2 Cultivos permanentes		Comprende los territorios dedicados a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a dos años, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar; se incluyen en esta categoría los cultivos industriales de caña, los cultivos de herbáceas como plátano y banano; los cultivos arbustivos como café y cacao; y los cultivos arbóreos como palma africana y árboles frutales.
	2.3 Pastos		Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por las familias Poaceae y Fabaceae, 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.
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas		Son unidades que reúnen dos o más clases de coberturas agrícolas y naturales. Están, dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales; los arreglos geométricos están relacionados con el tamaño reducido de los predios, las condiciones locales de los suelos, las prácticas de manejo utilizadas y las formas locales de tenencia de la tierra. 70% intervenido en la UMM. Si el % es menor, la cobertura continua define a la matriz.
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo	altura mayor a 5m. 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.
		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		Son coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal. En este proceso se constituyen rodales forestales, establecidos mediante la plantación y/o la siembra durante el proceso de forestación o reforestación, para la producción de madera (plantaciones comerciales) o de bienes y servicios ambientales (plantaciones protectoras).
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Herbazal	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 (>70% de ocupación) o abierta (30% - 70% de ocupación). Una hierba es una planta no lignificada o apenas lignificada, de manera que tiene consistencia blanda en todos sus órganos, tanto subterráneos como epigeos (Font Queur, 1982). Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999).
		3.3.2 Arbustal	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 (FAO, 2001).

		3.3.3 Vegetación secundaria o en transición	Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas y en zonas donde por la ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre.
		3.3.4 Vegetación arbustiva / herbácea	Comprende los territorios cubiertos por una mezcla de vegetación arbustiva y herbácea, desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos.
		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	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.
		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	
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).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción general de la zona de estudio

3.1.1. Ubicación

El estudio se realizó en el distrito de Chetilla, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca. Cuenta con una extensión de 7405.90 (ha), representando el 2.5% de área de la provincia de Cajamarca y el 0.22% del departamento de Cajamarca (datos obtenidos del Shapefile (Shp) de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) del Gobierno Regional Cajamarca (GORECAJ)).

El distrito de Chetilla es uno de los 12 distritos de la provincia de Cajamarca, enclavada en el corazón de los andes de la parte Norte del Perú, fundado el 02 de enero de 1857 por el libertador don Simón Bolívar. Limita por el Norte con el distrito de Cajamarca, por el Sur con el distrito de Magdalena, por el Este con el distrito de Cajamarca, por el Oeste con los distritos de San Pablo y San Bernardino.

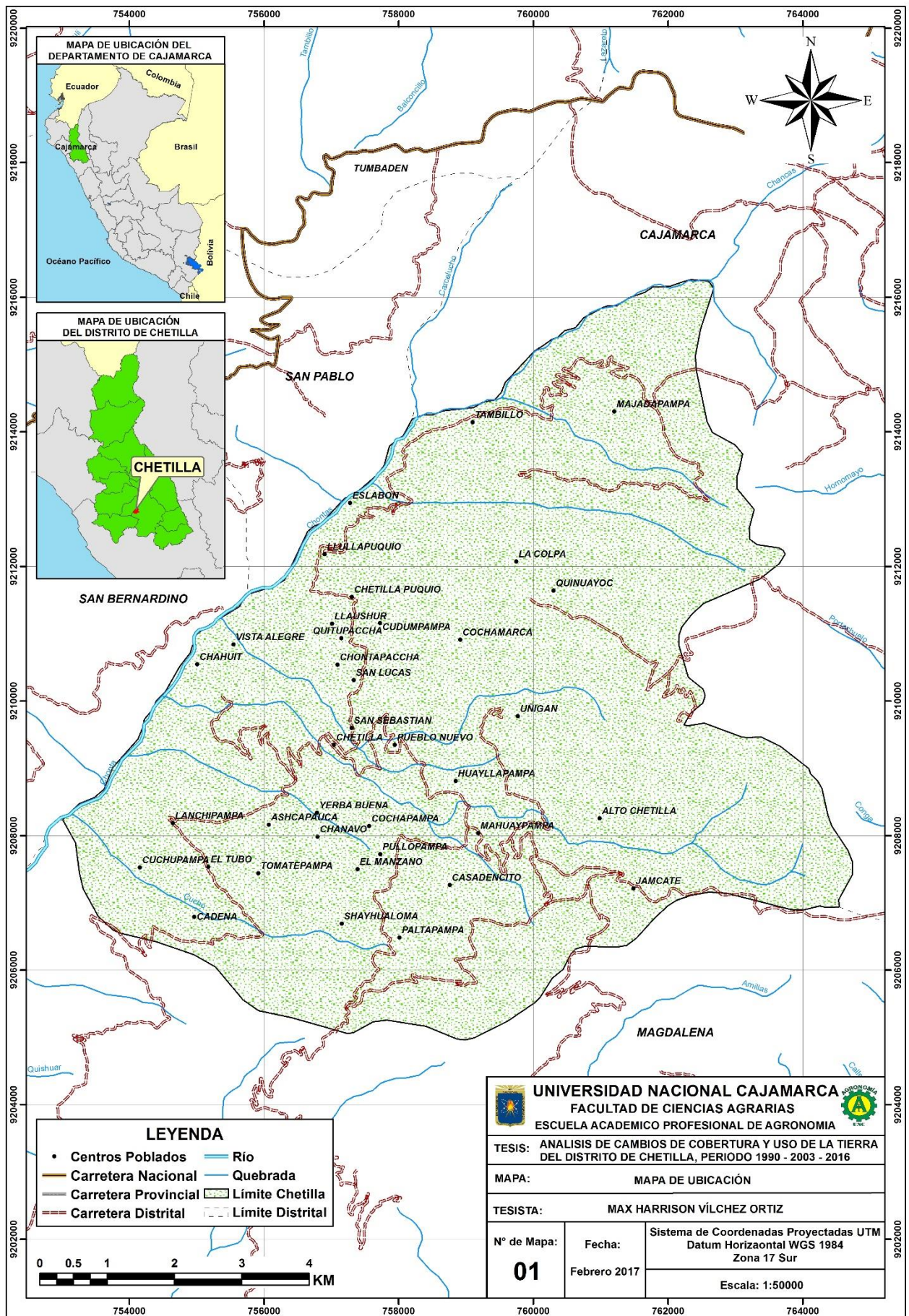
El distrito de Chetilla está enmarcado por las siguientes coordenadas UTM:

- 762596 & 9216239 al norte (septentrional)
- 756049 & 9205372 al sur (meridional)
- 764714 & 9207445 al este (oriental)
- 755838 & 9211563 al oeste (occidental)

Su clima es húmedo, con presencia de abundante neblina, en los meses de diciembre a abril y el resto del año con presencia de escasas lluvias, pero con bastantes heladas y su temperatura promedio es de 10° C.

3.1.2. División política

El distrito de Chetilla, cuenta con 37 centros poblados: Casadencito, Paltapampa, Cadena, Yerba Buena, Cochapampa, Chetilla Puquio, Cochamarca, San Lucas, Llullapuquio, Tambillo, Quinuayoc, Eslabón, Llaushur, Cudumpampa, Chontapaccha, Vista Alegre, Chahuit, Pueblo Nuevo, Uñigan, Pullopampa, El Manzano, Ashcapauca, Tomatepampa, Shayhualoma, Lanchipampa, Alto Chetilla, Jamcate, Chanavo, Cuchupampa, Huayllapampa, El Tubo, San Sebastián, Mahuaypampa, La Colpa, Chetilla (Shp del ZEE – GORECAJ).



Mapa N° 01: Ubicación del Distrito de Chetilla

3.1.3. Hidrografía

El distrito de Chetilla pertenece a la cuenca alta del Río Jequetepeque, cuenta con un río principal Chonta que se ubica por el oeste del distrito, los afluentes principales son las quebradas de Chancas y Cucho (Shp del ZEE – GORECAJ).

3.1.4. Caracterización ecológica

El distrito de Chetilla comprende las siguientes zonas de vida:

Bosque seco premontano tropical (bs-PT), con temperaturas de 17 a 21 °C., precipitación promedio de 900 mm y un promedio de evapotranspiración de 1 a 2 veces a su precipitación, ocupando un total de 381.67 (ha) del distrito.

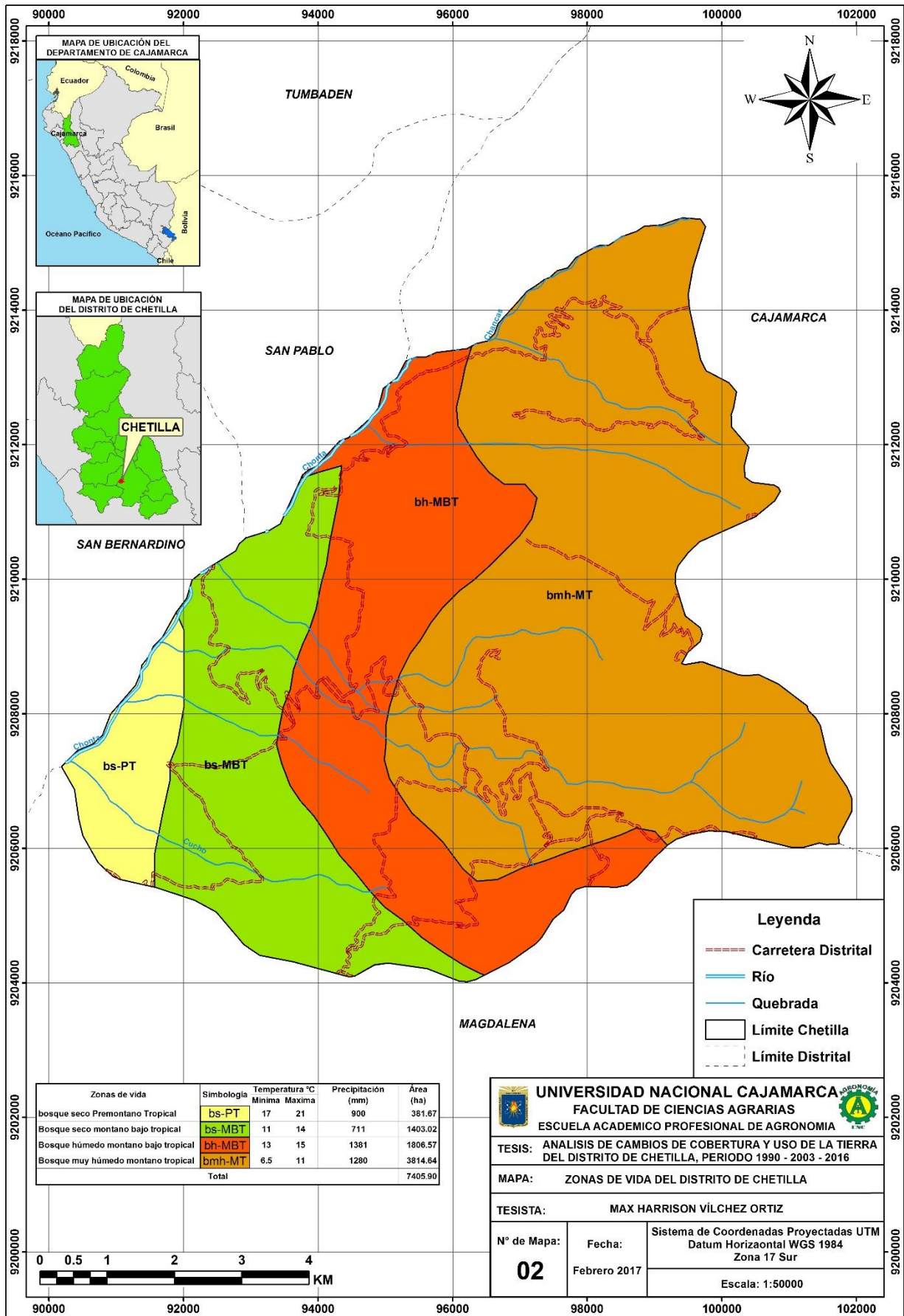
Bosque seco montano bajo tropical (bs-MBT), con temperaturas de 11 a 14 °C., precipitación promedio de 711 mm y un promedio de evapotranspiración de 1 a 2 veces a su precipitación, ocupando un total de 1403.02 (ha) del distrito.

Bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MBT), con temperaturas de 13 a 15 °C., precipitación promedio de 1381 mm y un promedio de evapotranspiración de 0.5 a 1 veces a su precipitación, ocupando un total de 1806.57 (ha) del distrito.

Bosque muy húmedo montano tropical (bmh-MT), con temperaturas de 6.5 a 11 °C., precipitación promedio de 1280 mm y un promedio de evapotranspiración de 0.25 a 0.5 veces a su precipitación, ocupando un total de 3814.64 (ha) del distrito (Shp del ZEE – GORECAJ).

3.1.5. Geomorfología

La zona de estudio presenta una geomorfología accidentada, con Gran Paisaje que contiene Planicie, Colinoso, Montañoso y Altiplanicie. Ocupando mayor extensión el Gran Paisaje Montañoso con presencia de laderas, tiene distintas condiciones de topografías desde suelos nulos o casi a nivel hasta pendientes extremadamente empinadas. El distrito de Chetilla se extiende desde los 1700 msnm, en la parte baja del centro poblado Cuchupampa, hasta los 4000 msnm, en el Cerro Collpayoj.



Mapa N° 02: Zonas de Vida del Distrito de Chetilla

3.1.6. Aspectos demográficos

La población del distrito, en el año 1990 tenía 2533 habitantes, de los cuales 1092 hombres y 1441 mujeres, para el año 2003 tenía 4194 habitantes, de los cuales 1937 hombres y 2257 mujeres y para el año 2016 tiene 4305 habitantes, según estos datos en el distrito existen mayor número de mujeres que hombres. Estos 26 años ha incrementado 1772 habitantes, según INEI proyecciones de población 1990-2005, estimaciones y proyecciones de población 2000-2015.

Cuadro N° 06: Estimaciones y proyecciones de población 1990 al 2016 para el distrito de Chetilla

	Población (1990)	Población (2003)	Población (2016)
TOTAL	2533	4194	4305
Hombres	1092	1937	2037
Mujeres	1441	2257	2268

Fuente: INEI (1990-2005, 2000-2015).

3.1.7. Aspectos económicos

Los principales sustentos del distrito de Chetilla es la actividad agrícola y ganadera, los cultivos de mayor importancia son: papa, maíz, frijol, olluco, cebada y trigo, en pequeñas áreas hortalizas, que son para autoconsumo y en menor proporción la que se orienta al mercado local. Entre los productos pecuarios destacan la comercialización de ganado vacuno y ovino en pie los cuales son transportados al mercado local y provincial, la comercialización de leche fresca a las empresas Nestlé y gloria. La extracción de especie maderables como pinos (*Pinus radiata*, *Pinus patula*) y eucaliptos (*Eucalyptus globulus*) es otra fuente de ingresos.

3.2. Materiales y equipos de campo

3.2.1. Materiales

- Libreta de apuntes
- Formatos de campo
- Lápices y lapiceros

3.2.2. Equipos de campo

- Sistema de posicionamiento global (GPS)
- Binoculares
- Cámara fotográfica digital

3.3. Materiales y equipos de gabinete

3.3.1. Materiales

- Papel bond A4, A3 de 80 gramos
- Lápices, lapiceros y marcadores

3.3.2. Equipos

- Laptop implementada con Sistema de Información Geográfica
- Impresora
- Escáner

3.3.3. Material cartográfico

- Carta Nacional del Perú. Escala 1:100000
- Shapefile del distrito obtenido del gobierno regional de Cajamarca
- Modelo de elevación digital (DEM)

3.3.4. Imagen satelital Landsat

Imagen Landsat 5 TM, adquirida el 02 de agosto de 1990 con resolución de 30 metros de la escena LT50090651990214CUB00.

Imagen Landsat 7 TM, adquirida el 10 de mayo de 2003 con resolución de 30 metros de la escena LE70090652003130ASN00.

Imagen Landsat 8 TM, adquirida el 25 de agosto de 2016 con resolución de 30 metros de la escena LC80090652016238LGN00.

3.3.5. Softwares

- Microsoft Windows 8.1
- Microsoft Office 2016
- ArcGIS 10.4.1
- Envi 4.8
- Erdas Imagine 2014
- RGui 2.15

3.4. Metodología

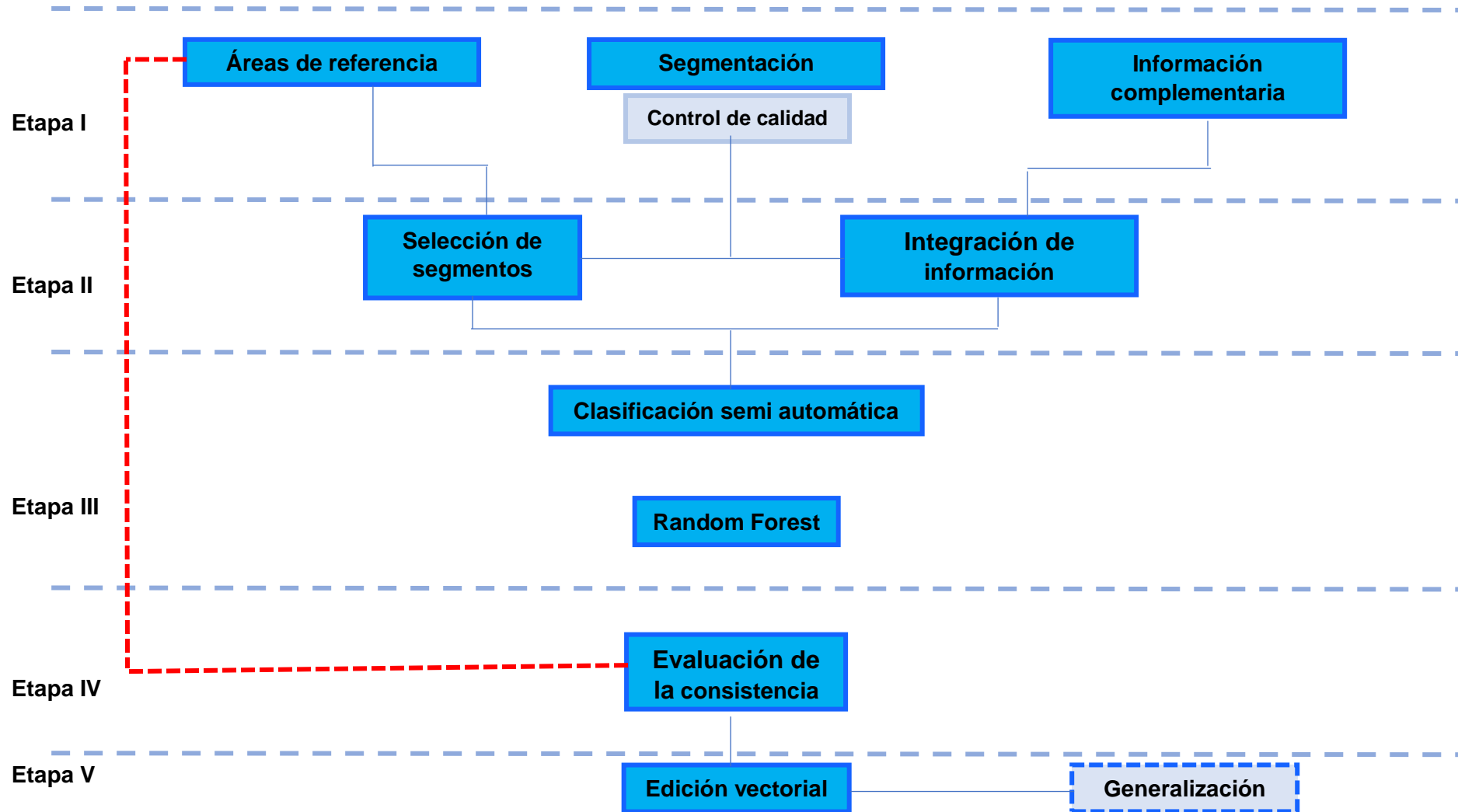
El análisis de los cambios de cobertura y uso de la tierra, periodos (1990-2003), (2003-2016), (1990-2016), se realizó en el ámbito del distrito de Chetilla, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca, con un área de 7405.90 hectáreas. La información generada sobre cobertura de la tierra, se fundamenta en el empleo del sistema de clasificación CORINE LAND COVER propuesta adaptada para el Perú hasta el nivel III (Cuadro N° 05) con una representación cartográfica a escala 1/50000, con un estudio semidetallado, utilizando imágenes satelitales Landsat TM con resolución espacial de 30 m y modelo de elevación digital (DEM) de 30 m para desarrollar los análisis de indicadores complementarios de vegetación y topográficos de acuerdo a la aplicación de los protocolos marco de interpretación empleando segmentación y clasificación supervisada con Random Forest, el cual presentan sub protocolos de áreas de referencia, generación de información complementaria, clasificación, validación, levantamiento de información de campo y generación e información de respaldo obtenida a partir de imágenes satelitales.

El Sistema geodésico de referencia utilizado fue WGS84 y el sistema cartográfico de representación UTM fue la zona 17 sur. La interpretación sobre imagen de referencia será del satélite Landsat TM y la unidad mínima de mapeo cartografiable, es de 2.5 (ha). Los softwares utilizados para la generación del mapa son el software Erdas Imagine 2014 para la corrección atmosférica de la imagen satelital Landsat TM, ENVI Zoom para la segmentación (módulo feature extracción), software ArcGIS 10.4.1. para la interpretación visual en pantalla y procesamiento digital de información vectorial, Software RGui 2.15 para el análisis estadístico, aplicación del algoritmo de clasificación, calibración del umbral de análisis, evaluación de los indicadores de calidad cartográfica (Índice Porcentaje Correctamente Clasificado e Índice de Kappa), Matriz de confusión y por lo siguiente formarán parte de la construcción del modelo para la generación del mapa de cobertura de la tierra.

3.5. Esquema de las etapas y procesos de la metodología empleada para la representación cartográfica

Condiciones Previas

Recopilación y acondicionamiento de información



3.5.1. Fase preliminar de gabinete

a. Condiciones previas

- **Adquisición de imágenes satelitales Landsat**

Estas imágenes satelitales Landsat fueron descargadas del servidor de <http://glovis.usgs.gov> del Centro Geológico de los Estados Unidos (USGS) vía internet, se dio preferencia a las imágenes satelitales que se encontraban libre de nubosidad, lo cual constituirá la base para el análisis de los cambios de cobertura y uso actual de la tierra.

- **Selección y descarga del Modelo de Elevación Digital (DEM)**

El DEM se encuentran en formato Geo TIFF, con coordenadas geográficas latitud/longitud, con resolución espacial de 30 metros y hace referencia al geoide WGS84/EGM96. La descarga se realizó a través del geo servidor del Ministerio del Ambiente de la zona 17 Sur.

http://geoservidor.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx

- **Corrección atmosférica**

Para esta corrección atmosférica se utilizó el software Erdas imagine 2014 y se instaló una extensión que es el Atcor 2014. Para la imagen Landsat TM 5 del año 1990, se utilizó las bandas (1,2,3,4,5,6,7), para la imagen Landsat TM 7 del año 2003, se utilizó las bandas (1,2,3,4,5,7,8), y para la imagen Landsat TM 8 del año 2016, se utilizó las bandas (1,2,3,4,5,6,7).

b. Etapa I

- **Áreas de referencia**

En esta etapa se utilizó el Shapefile del distrito de Chetilla obtenido de la base de datos del Gobierno Regional de Cajamarca, se delimitó las imágenes satelitales Landsat de los años 1990, 2003 y 2016, para la obtención del área de estudio.

- **Segmentación**

La segmentación se realizó utilizando el software Envi Zoom 4.8, con los parámetros de Scale y merge, en donde se obtuvo una tabla de atributos que contiene información estadística por objetos de parámetros de forma, textura, promedio, desviación estándar, mínimo, máximos de las bandas espectrales y un Shapefile.

Cuadro N° 07: Parámetros de Scale y merge aplicados a las diferentes imágenes

Imagen	Año	Scale	Merge
LT50090651990214CUB00	1990	10	20
LE70090652003130ASN00	2003	10	20
LC80090652016238LGN00	2016	10	20

- **Información complementaria**

Se generaron diferentes variables como:

- **Segmento**

Archivo en formato ráster que contiene la información de la segmentación generada con el software Envi 4.8 (feature Extraction), a una resolución de 30 m.

- **Brightness**

Archivos en formato ráster que contiene datos sobre índice de brillo generado a partir de las imágenes satelitales de Landsat TM 5, 7 y 8.

- **Greenness**

Archivos en formato ráster que contiene datos sobre índice de verdor generado a partir de las imágenes satelitales de Landsat TM 5, 7 y 8.

- **Slope**

Archivo en formato ráster que contiene datos sobre altitud, generados a partir de los datos de elevación digital SRTM de 90 m (Shuttle Radar Topography Mission).

- **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.

c. Etapa II

- **Selección de segmentos o área de entrenamiento**

Se creó un nuevo Shapefile con el nombre de aeita_A1, con la finalidad de poder digitalizar dentro de la segmentación de acuerdo a concordancia de píxeles de la imagen satelital. Por cada categoría según la metodología CORINE LAND COVER se deben realizar de 10 a más áreas de entrenamiento.

- **Integración de información**

En este paso se utilizó la herramienta Model Builder del software ArcGIS 10.4.1, con la finalidad de generalizar las áreas de entrenamiento.

d. Etapa III

- **Clasificación semi automatizada**

En este paso se utilizó un script recogiendo inforaster.r obtenido del Ministerio del Ambiente con el software RGui 2.15, para poder integrar la información obtenida de la segmentación y la información complementaria.

- **Random Forest**

Se utilizó el script filtrar.tabla.todo.rf.2 obtenido del Ministerio del Ambiente con el software RGui 2.15, para generar el mapa de cambios de cobertura y uso actual de la tierra en un formato raster.

e. Etapa IV

- **Evaluación de consistencia**

La evaluación de consistencia se efectuó a través de la matriz de confusión, Índice kappa.

f. Etapa V

- **Edición vectorial**

El mapa de cobertura y uso actual de la tierra obtenido en formato raster es transformado a formato vectorial, para poder editar los polígonos obtenidos y así calcular las áreas.

- **Generalización**

Se eliminaron las áreas menores a 2.5 hectáreas con la herramienta eliminate del software ArcGIS 10.4.1. Luego clasificamos las categorías correspondientes.

3.5.2. Fase de campo

a. Validación de las clases de cobertura identificadas, luego del análisis de las imágenes satelitales realizado a nivel de gabinete.

Se validó la precisión cartográfica de las unidades del mapa en campo, con la ayuda de un navegador GPS, una cámara fotográfica y binocular.

Se precisó los contactos entre las coberturas, a mano alzada sobre el mapa impreso llevado a campo.

3.5.3. Fase final de gabinete

a. Evaluación de la Exactitud

En base al análisis de la información de estos puntos se construirán métricas e instrumentos de evaluación, como matrices de confusión, para calificar los productos.

b. Creación de matrices de confusión

Para construir la matriz se utilizó el algoritmo de clasificación. A partir de la matriz de confusión se calcularán otras medidas de interés desde el punto de vista de la exactitud, como:

c. Índice Kappa (k)

Con el estadístico Kappa se evaluó consistencia de la clasificación discriminada las categorías de interés con exactitud significativamente mayor a la que se hubiera obtenido con una asignación aleatoria.

d. Porcentaje Correctamente Clasificado (PCC)

Se determinó a través del script `filtrar.tabla.todo.rf.2`, en donde se obtiene el porcentaje de áreas de entrenamiento correctamente clasificadas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados

4.1.1. Categorías de la cobertura del distrito de Chetilla, para los años 1990-2003-2016

En el análisis de las tres imágenes Satelitales Landsat TM utilizadas para la presente investigación, se obtuvo 07 categorías o clases finales de cobertura para el año 1990, 07 categorías o clases finales de cobertura para el año 2003 y para el año 2016 se obtuvo 08 categorías o clases finales de cobertura entre el “Nivel I, Nivel II y el Nivel III” de la clasificación CORINE LAND COVER adaptada para Perú; estas coberturas fueron utilizadas para realizar el análisis de cambio de cobertura y uso de la tierra propuesto para el distrito de Chetilla.

según la descripción se presentan las siguientes coberturas encontradas en el distrito de Chetilla:

a. Áreas artificiales

- **Tejido urbano continuo**

Se ha encontrado infraestructura construida que cubren artificialmente la superficie del terreno, el material predominante de construcción en la zona de estudio, es el adobe, tapial, también se pueden encontrar pocas viviendas de material noble; estas construcciones cubren más del 80% de la superficie del terreno, la vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área urbanizada.



Figura N° 02: Tejido urbano continuo del distrito de Chetilla, tomada en las coordenadas UTM. E: 756876; N: 9211593, zona 17 S, con un ángulo de 152° Sureste.

b. Áreas agrícolas

• Pastos

En esta cobertura se encontraron pastos cultivados como ray grass (*Lolium perenne*), trébol (*Trifolium repens*) y dácil (*Dactylis glomerata*), en pastos naturales tenemos al kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) que abarca mayor porcentaje en todo el distrito y los pobladores de la zona lo aprovechan para su ganado.



Figura N° 03: Áreas de pastos, tomada en las coordenadas UTM. E:759095; N: 9206734, zona 17 S, con un ángulo de 295° Noroeste.

• Áreas agrícolas heterogéneas

Son áreas con cultivos diferentes que producen en la zona tales como papa (*Solanum tuberosum*), cebada (*Horedum vulgare*), oca (*Oxalis tuberosum*), haba (*Vicia faba*), olluco (*Ullucus tuberosus*), trigo (*Triticum aestivum*), alverja (*Pisum sativum*), maíz (*Zea mays*), mashua (*Tropaeolum tuberosum*), chocho (*Lupinus mutabilis*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), que la mayoría se desarrollan en un área menor a 1 (ha) y bajo secano. El producto cosechado forma parte del autoconsumo y algunos destinados para el mercado.



Figura N° 04: Areas agricolas heterogeneas, tomada en las coordenadas UTM. E: 761974; S: 9207318, zona 17 S, con un ángulo de 0° Norte.

c. Bosques y áreas mayormente naturales

• **Bosques plantados**

Son coberturas de plantaciones arbóreas sembradas o plantadas bajo la supervisión e intervención del hombre en el proceso de forestación y reforestación. En su mayoría estas plantaciones están constituidas por pinos (*Pinus radiata*, *Pinus patula*) y eucaliptos (*Eucalyptus globulus*) en su minoría.

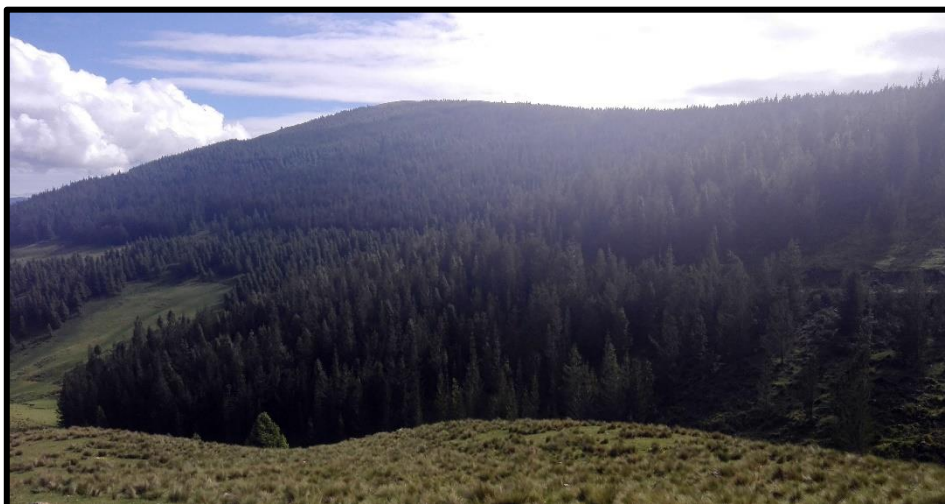


Figura N° 05: Bosques plantados de pinos (*Pinus radiata*, *Pinus patula*), tomada en las coordenadas UTM. E: 762372; S: 9213060, zona 17 S, con un ángulo de 0° Norte.

d. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustal

• **Herbazal**

Comprende los territorios cubiertos por elementos típicamente herbáceos que se desarrollan en forma natural, con diferentes densidades formando una cobertura densa, el ichu (*Stipa ichu*) en mayor porcentaje, cortadera (*Cortaderia selloana*) en mínimas cantidades.

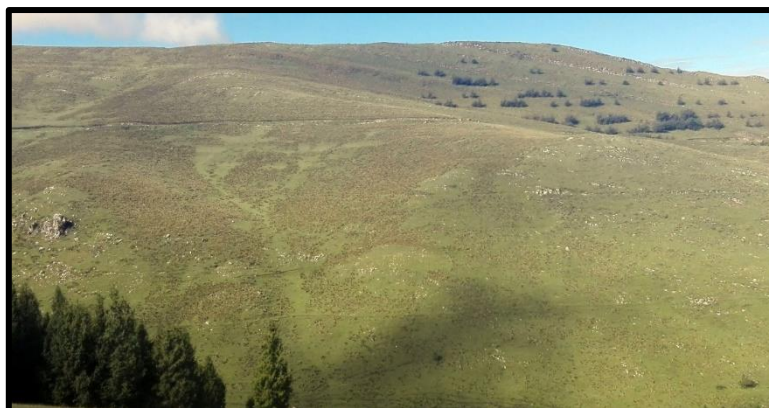


Figura N° 06: Herbazal, tomada en las coordenadas UTM. E: 762129; S: 9213670, zona 17 S, con un ángulo de 125° Sureste.

- **Arbustal**

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbustivos desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, así como quinal (*Polylepis racemosa*) y la campanilla (*Fucshia ayavacensis*).



Figura N° 07: Arbustal, tomada en las coordenadas UTM. E: 756871; S: 9212306, zona 17 S, con un ángulo de 55° Noreste.

e. Áreas sin o con poca vegetación

- **Afloramiento rocoso**

Son áreas en las cuales la superficie del terreno está constituida por capas de rocas expuestas, sin desarrollo de vegetación, generalmente dispuestas en laderas abruptas, formando escarpes y acantilados; así como zonas de rocas desnudas relacionadas con la actividad volcánica.

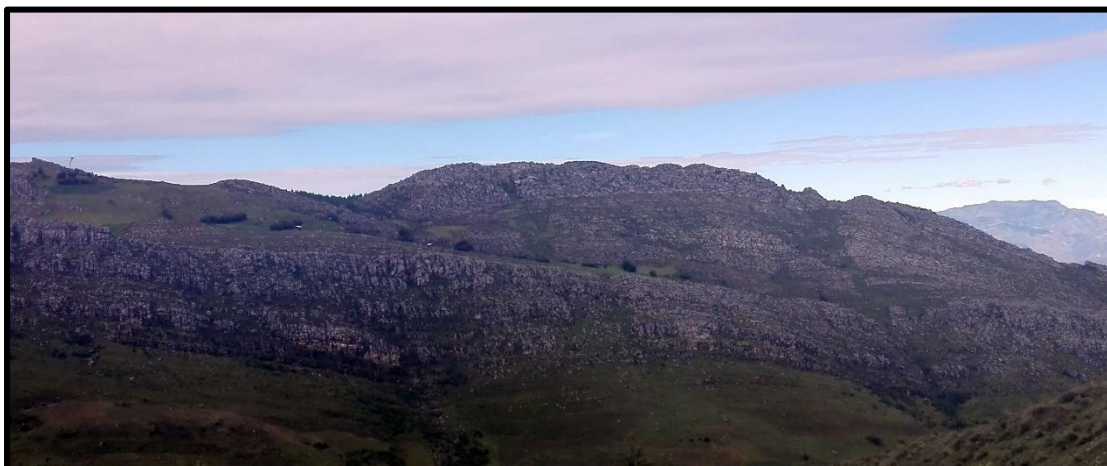


Figura N° 08: Afloramiento rocoso, tomada en las coordenadas UTM. E: 760264; S: 9213273, zona 17 S, con un ángulo de 200° Suroeste.

- **Áreas quemadas**

Son áreas en las cuales la superficie del terreno se encuentra quemado, producidos de forma natural o provocados por el hombre. Ocasionando destrucción de la cobertura.

4.1.2. Uso actual del territorio

El estudio del uso actual del territorio, se refiere a la descripción de manera general de las diferentes formas de uso, y desde el punto de vista económico, que se viene dando a los recursos que se encuentran ocupando las tierras de la superficie del territorio del distrito de Chetilla, en una época determinada; en tal sentido, se ha categorizado como tierras de uso agrícola, de pecuario, de uso forestal y de uso urbano; existiendo una unidad de tierras extensa, categorizado como otros usos, debido a que en estos espacios no se realizan actividades directas; estas categorías, se describen a continuación:

a. Uso agrícola

Comprende los espacios que, desde el punto de vista económico, se vienen usando en las actividades agrícolas; según el tipo de cobertura, corresponde a la categoría de áreas agrícolas heterogéneas. Los espacios que cubren la unidad de Uso Agrícola, cubren una extensión de 1997.04 (ha), que equivale al 26.97% del territorio distrital, se localizan en casi todo el ámbito distrital y es un indicativo de la intervención antrópica del territorio.

b. Uso pecuario

Se refiere a las tierras que económicamente vienen siendo utilizados con la actividad pecuaria (pastos), razón por la que se ha denominado a esta unidad, como tierras de uso pecuario. Según el tipo de cobertura corresponde a las categorías de pastos. Cubren una extensión de 779.81 (ha), que equivale al 10.53% del total distrital.

c. Uso forestal

Se refiere a las tierras que económicamente vienen siendo utilizados en las actividades forestales, es decir, a la explotación de árboles forestales, razón por la cual se denomina a esta unidad como tierras de uso forestal. Según el tipo de cobertura, corresponde a la categoría de bosques plantados como unidad principal. Cubre una extensión de 618.57 (ha), que equivale al 8.35% de la superficie total del distrito.

d. Uso urbano

Se refiere al área que cubre el casco urbano del distrito; en estos espacios se realizan diferentes actividades económicas relacionados más que todo con el intercambio comercial y este articulado horizontalmente a través de la red vial vecinal. Según el tipo de cobertura, corresponde a la categoría tejido urbano continuo. Cubre una extensión de 24.18 (ha), que equivale al 0.33% del total de la superficie distrital.

e. Otros usos

Se refiere a las tierras que no son utilizadas por las actividades agrícolas, pecuarias, forestales; sino más bien están cubiertas por herbazal, arbustal, afloramientos rocosos, áreas quemadas; formando unidades puras y/o asociaciones entre ellas por la complejidad de la cobertura del territorio; pero que de manera indirecta son utilizados como lugares para efectuar el pastoreo, para la obtención de combustible (leña) o en algunos casos para realizar actividades turísticas. Esta unidad ocupa una extensión aproximada de 3986.30 (ha), que equivale al 53.83% del total del territorio del distrito de Chetilla, indicando que se distribuye a lo largo y ancho del distrito.

Cuadro N° 08: uso actual del territorio

Uso actual del territorio	Área (ha)	(%)
Uso agrícola	1997.04	26.97
Uso pecuario	779.81	10.53
Uso forestal	618.57	8.35
Uso urbano	24.18	0.33
Otros usos	3986.30	53.83
Total	7405.90	100.00

4.1.3. Cuantificación de los tipos de cobertura y uso de la tierra

a. Cobertura y uso de la tierra - 1990

Según el **Cuadro N° 09**, se presenta la clasificación de la cobertura y uso de la tierra del distrito de Chetilla, para el año 1990, obtenida de acuerdo a la metodología de clasificación CORINE LAND COVER.

Se mencionan los tipos de cobertura clasificados en tres niveles para el año 1990, donde observamos que la mayor extensión del distrito está cubierta por herbazal, con 2845.96 (ha), que representa el 38.43% del área del distrito (Nivel III), esta vegetación está desarrollada de forma natural en diferentes densidades y sustratos, con escasa intervención antrópica.

Otra cobertura con extensión considerable es arbustal con 1827.75 (ha) representando el 24.68% del área del distrito, con intervención antrópica, ya que es la segunda cobertura que predomina después de los herbazales.

Cuadro N° 09: Clasificación de la cobertura y uso de la tierra, periodo 1990 de acuerdo a la metodología CORINE LAND COVER

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área (ha)	(%)
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	15.75	0.21
2. Áreas agrícolas	2.3. Pastos		Pa	1725.02	23.29
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas		Aah	744.25	10.05
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.2. Bosques plantados		Bp	20.88	0.28
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1. Herbazal	He	2845.96	38.43
		3.3.2. Arbustal	Ar	1827.75	24.68
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.2. Afloramientos rocosos	Afr	226.27	3.06
TOTAL				7405.90	100.00

- **Matriz de confusión**

para esta clasificación se realizó la matriz de confusión, con la finalidad de comprobar la clasificación de coberturas y verificar la respectiva correspondencia a la clase que pertenece, en dichas matrices se obtiene la **exactitud del productor (EP)** el cual viene hacer el porcentaje de pixeles que pertenecen a una clase que ha sido correctamente clasificados, la **exactitud del usuario (EU)** que viene hacer el porcentaje de pixeles clasificados dentro de una clase, que pertenezcan realmente a la clase y la **exactitud global (EG)** que viene hacer la sumatoria de la exactitud del usuario dividido con el total. Se realizó el cálculo del índice kappa para la matriz de confusión, el cual indica la concordancia.

Cuadro N° 10: Matriz de confusión para el periodo 1990

		Categorías asignadas en la imagen								Exactitud	
Resultados de la Clasificación	Categorías	111	23	24	32	331	332	342	Total	Usuario	
										%	
		111	20	0	0	0	0	0	0	20	100
		23	0	50	0	0	0	0	0	50	100
		24	0	0	60	0	0	0	0	60	100
		32	0	0	0	26	0	4	0	30	86.67
		331	0	0	0	0	60	0	0	60	100
		332	0	0	0	2	0	68	0	70	97.14
		342	0	0	1	0	1	0	48	50	96
		Total	20	50	61	28	61	72	48	340	Exactitud Global 97.60
	Exactitud Productor %	100	100	98.36	92.86	98.36	94.44	100			

Índice Kappa: 0.971

❖ **Interpretación:**

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

La categoría tejido urbano continuo (111), se obtuvo un total de 20 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva, obteniendo un porcentaje de 100% de exactitud del productor.

La categoría pastos (23) del cual se obtuvo un total de 50 áreas de entrenamiento, todas estas pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del productor es 100%.

La categoría áreas agrícolas heterogéneas (24), se obtuvo un total de 61 áreas de entrenamiento, 60 pertenecen a la categoría respectiva, y una a la categoría afloramiento rocoso (342), obteniendo un porcentaje de 98.36% de exactitud del productor.

La categoría bosques plantados (32), se obtuvo un total de 28 áreas de entrenamiento, 26 pertenecen a la categoría respectiva, 02 a la categoría arbustal (332), obteniendo un porcentaje de 92.86% de exactitud del productor.

La categoría herbazal (331), se obtuvo un total de 61 áreas de entrenamiento, 60 pertenecen a la categoría respectiva, y una a la categoría afloramiento rocoso (342), obteniendo un porcentaje de 98.36% de exactitud del productor.

La categoría arbustal (332), se obtuvo un total de 72 áreas de entrenamiento, 68 pertenecen a la categoría respectiva, 04 a la categoría bosques plantados (32), obteniendo un porcentaje de 94.44% de exactitud del productor.

La categoría afloramiento rocoso (342), se obtuvo un total de 48 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva, obteniendo un porcentaje de 100% de exactitud del productor.

❖ **En las filas de muestran la exactitud de las áreas de entrenamiento digitalizadas por el usuario:**

La categoría tejido urbano continuo (111), se obtuvo un total de 20 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva, obteniendo un porcentaje de 100% de exactitud del usuario.

La categoría pastos (23) del cual se obtuvo un total de 50 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del usuario es 100%.

La categoría áreas agrícolas heterogéneas (24), se obtuvo un total de 60 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del usuario es 100%.

La categoría bosques plantados (32), se obtuvo un total de 30 áreas de entrenamiento, 26 pertenecen a la categoría respectiva, 04 a la categoría arbustal (332), obteniendo un porcentaje de 86.67% de exactitud del usuario.

La categoría herbazal (331) del cual se obtuvo un total de 60 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del usuario es 100%.

La categoría arbustal (332), se obtuvo un total de 70 áreas de entrenamiento, 68 pertenecen a la categoría respectiva, 02 a la categoría bosques plantados (32), obteniendo un porcentaje de 97.14% de exactitud del usuario.

La categoría afloramiento rocoso (342), se obtuvo un total de 50 áreas de entrenamiento, 48 pertenecen a la categoría respectiva, una a la categoría áreas agrícolas heterogéneas (24), y otra a la categoría herbazal (331), obteniendo un porcentaje de 96% de exactitud del usuario.

- **Índice Kappa**

Se determinó el índice de Kappa que es igual **0.971** según la fuerza de concordancia indica como **“Muy Bueno”**, el cual está clasificado en el **Cuadro N° 01**.

$$P_o = \frac{20 + 50 + 60 + 26 + 60 + 68 + 48}{340} = 0.976$$

$$(EG) = 0.976 \times 100$$

$$(EG) = 97.60\%$$

$$P_e = \frac{(20 \times 20) + (50 \times 50) + (60 \times 61) + (30 \times 28) + (60 \times 61) + (70 \times 72) + (50 \times 48)}{(340)^2} = 0.160$$

$$k = \frac{0.976 - 0.160}{1 - 0.160} = 0.971$$

- **El Porcentaje Correctamente Clasificado**

El porcentaje correctamente clasificado o exactitud global para el año 1990 es de **97.60%**.

En el **Mapa N° 03**, se muestra las coberturas distribuidas espacialmente, donde se puede apreciar las coberturas con su color respectivo.

- b. Cobertura y uso de la tierra - 2003**

En el **Cuadro N° 11**, se presenta la clasificación de la cobertura y uso de la tierra del distrito de Chetilla, para el año 2003, obtenida de acuerdo a la metodología de clasificación CORINE LAND COVER.

Se mencionan los tipos de cobertura clasificados en tres niveles para el año 2003, donde observamos que la mayor extensión del distrito está cubierta por herbazal, con 2287.25 (ha), que representa el 30.88% del área del distrito (Nivel III), esta vegetación está desarrollada de forma natural en diferentes densidades y sustratos, con escasa intervención antrópica. Otra cobertura con extensión considerable es el arbustal con 1785.07 (ha) representado el 24.10% del área del distrito, con intervención antrópica, ya que es la segunda cobertura que predomina después de los herbazales.

Estas dos coberturas son las que más sobresalen, ya que tienen un porcentaje considerable en la ocupación del suelo en el distrito para este año.

Cuadro N° 11: Clasificación de la cobertura y uso de la tierra, periodo 2003 de acuerdo a la metodología CORINE LAND COVER

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área (ha)	(%)
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	20.72	0.28
2. Áreas agrícolas	2.3. Pastos		Pa	1448.42	19.56
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas		Aah	1483.38	20.03
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.2. Bosques plantados		Bp	141.91	1.92
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1. Herbazal	He	2287.25	30.88
		3.3.2. Arbustal	Ar	1785.07	24.10
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.2. Afloramientos rocosos	Afr	239.15	3.23
TOTAL				7405.90	100.00

- Matriz de confusión**

para esta clasificación se realizó la matriz de confusión, cuya finalidad ha sido comprobar la clasificación de coberturas y verificar la respectiva correspondencia a la clase que pertenece.

Cuadro N° 12: Matriz de confusión para el periodo 2003

Categorías asignadas en la imagen

Resultados de la Clasificación	Categorías								Total	Exactitud Usuario %
	111	23	24	32	331	332	342			
111	20	0	0	0	0	0	0	20	100	
23	0	60	0	0	0	0	0	60	100	
24	0	0	29	0	0	0	1	30	96.67	
32	0	0	0	30	0	3	0	33	90.91	
331	0	0	0	0	50	0	0	50	100	
332	0	0	0	2	0	48	0	50	96	
342	0	0	0	0	0	0	40	40	100	
Total	20	60	29	32	50	51	41	283	Exactitud Global 97.90	
Exactitud Productor %	100	100	100	93.75	100	94.12	97.56			

Índice Kappa: 0.975

❖ **Interpretación:**

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

La categoría tejido urbano continuo (111), se obtuvo un total de 20 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva, obteniendo un porcentaje de 100% de exactitud del productor.

La categoría pastos (23) del cual se obtuvo un total de 60 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del productor es 100%.

La categoría áreas agrícolas heterogéneas (24), se obtuvo un total de 29 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del productor es 100%.

La categoría bosques plantados (32), se obtuvo un total de 32 áreas de entrenamiento, 30 pertenecen a la categoría respectiva, 02 a la categoría arbustal (332), obteniendo un porcentaje de 93.75% de exactitud del productor.

La categoría herbazal (331), se obtuvo un total de 50 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del productor es 100%.

La categoría arbustal (332), se obtuvo un total de 51 áreas de entrenamiento, 48 pertenecen a la categoría respectiva, 03 a la categoría bosques plantados (32), obteniendo un porcentaje de 94.12% de exactitud del productor.

La categoría afloramiento rocoso (342), se obtuvo un total de 41 áreas de entrenamiento, 40 pertenecen a la categoría respectiva, y una a la categoría áreas agrícolas heterogéneas (332), obteniendo un porcentaje de 97.56% de exactitud del productor.

❖ **En las filas de muestran la exactitud de las áreas de entrenamiento digitalizadas por el usuario:**

La categoría tejido urbano continuo (111), se obtuvo un total de 20 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva, obteniendo un porcentaje de 100% de exactitud del usuario.

La categoría pastos (23) del cual se obtuvo un total de 60 áreas de entrenamiento, todos pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del usuario es 100%.

La categoría áreas agrícolas heterogéneas (24), se obtuvo un total de 30 áreas de entrenamiento, 29 pertenecen a la categoría respectiva, y una a la categoría afloramiento rocoso (342), obteniendo un porcentaje de 96.67% de exactitud del usuario.

La categoría bosques plantados (32), se obtuvo un total de 33 áreas de entrenamiento, 30 pertenecen a la categoría respectiva, 03 a la categoría arbustal (332), obteniendo un porcentaje de 90.91% de exactitud del usuario.

La categoría herbazal (331) del cual se obtuvo un total de 50 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del usuario es 100%.

La categoría arbustal (332), se obtuvo un total de 50 áreas de entrenamiento, 48 pertenecen a la categoría respectiva, 02 a la categoría bosques plantados (32), obteniendo un porcentaje de 96 % de exactitud del usuario.

La categoría afloramiento rocoso (342), se obtuvo un total de 40 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del usuario es 100%.

- **Índice Kappa**

Se determinó el índice de Kappa que es igual **0.975** según la fuerza de concordancia indica como **“Muy Bueno”**, el cual está clasificado en el **Cuadro N° 01**.

$$P_o = \frac{20 + 60 + 29 + 30 + 50 + 48 + 40}{283} = 0.979$$

$$(EG) = 0.979 \times 100$$

$$(EG) = 97.90\%$$

$$P_e = \frac{(20 * 20) + (60 \times 60) + (30 \times 29) + (33 \times 32) + (50 \times 50) + (50 \times 51) + (40 \times 41)}{(283)^2} = 0.158$$

$$k = \frac{0.979 - 0.158}{1 - 0.158} = 0.975$$

- **Porcentaje Correctamente Clasificado**

El porcentaje correctamente clasificado o exactitud global para el año 2003 es de **97.90%**.

En el **Mapa N° 04**, se muestra las coberturas distribuidas espacialmente, donde se puede apreciar las coberturas con su color respectivo.

c. Cobertura y uso de la tierra - 2016

En el **Cuadro N° 13**, se presenta la clasificación de la cobertura y uso de la tierra del distrito de Chetilla, para el año 2016, obtenida de acuerdo a la metodología de clasificación CORINE LAND COVER.

Se mencionan los tipos de cobertura clasificados en tres niveles para el año 2016, donde observamos que la mayor extensión del distrito está cubierta por herbazal, con 2535.13 (ha), que representa el 34.23% del área del distrito (Nivel III), esta vegetación está desarrollada de forma natural en diferentes densidades y sustratos, con escasa intervención antrópica.

Otra cobertura con extensión considerable es áreas agrícolas heterogéneas con 1997.04 (ha), representado el 26.97% del área del distrito, ya que es la segunda cobertura que predomina después de los herbazales.

Estas dos coberturas son las que más sobresalen, ya que tienen un porcentaje considerable en la ocupación del suelo en el distrito para este año.

Cuadro N° 13: Clasificación de la cobertura y uso de la tierra, periodo 2016 de acuerdo a la metodología CORINE LAND COVER

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área (ha)	(%)
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	24.18	0.33
2. Áreas agrícolas	2.3. Pastos		Pa	779.81	10.53
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas		Aah	1997.04	26.97
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.2. Bosques plantados		Bp	618.57	8.35
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1. Herbazal	He	2535.13	34.23
		3.3.2. Arbustal	Ar	1030.60	13.92
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.2. Afloramientos rocosos	Afr	397.41	5.37
		3.4.4. Áreas quemadas	Aq	23.16	0.31
TOTAL				7405.90	100.00

- **Matriz de Confusión**

para esta clasificación se realizó la matriz de confusión, cuya finalidad ha sido comprobar la clasificación de coberturas y verificar la respectiva correspondencia a la clase que pertenece.

Cuadro N° 14: Matriz de confusión para el periodo 2016

		Categorías asignadas en la imagen								Total	Exactitud Usuario %
Categorías		111	23	24	32	331	332	342	344		
Resultados de la Clasificación	111	25	0	0	0	0	0	0	0	25	100
	23	0	60	0	0	0	0	0	0	60	100
	24	0	0	68	0	0	0	2	0	70	97.14
	32	0	0	0	57	0	3	0	0	60	95
	331	0	0	0	0	50	0	0	0	50	100
	332	0	0	0	1	0	59	0	0	60	98.33
	342	0	0	1	0	2	0	47	0	50	94
	344	0	0	0	0	1	0	0	26	27	96.30
	Total	25	60	69	58	53	62	49	26	402	Exactitud Global 97.50
Exactitud Productor %	100	100	98.55	98.28	94.34	95.16	95.92	100			

Índice Kappa: 0.971

- ❖ **Interpretación:**

- ❖ **En las columnas se muestra el acierto de la clasificación en el terreno por categoría:**

La categoría tejido urbano continuo (111), se obtuvo un total de 25 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva, obteniendo un porcentaje de 100% de exactitud del productor.

La categoría pastos (23) del cual se obtuvo un total de 60 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del productor es 100%.

La categoría áreas agrícolas heterogéneas (24), se obtuvo un total de 69 áreas de entrenamiento, 68 pertenecen a la categoría respectiva, y una a la categoría afloramiento rocoso (342), obteniendo un porcentaje de 98.55% de exactitud del productor

La categoría bosques plantados (32), se obtuvo un total de 58 áreas de entrenamiento, 57 pertenecen a la categoría respectiva, y una a la categoría arbustal (332), obteniendo un porcentaje de 98.28% de exactitud del productor.

La categoría herbazal (331), se obtuvo un total de 53 áreas de entrenamiento, 50 pertenecen a la categoría respectiva, 02 a la categoría afloramiento rocoso (342) y una a la categoría de áreas quemadas (344), obteniendo un porcentaje de 94.34% de exactitud del productor.

La categoría arbustal (332), se obtuvo un total de 62 áreas de entrenamiento, 59 pertenecen a la categoría respectiva, 03 a la categoría bosques plantados (32), obteniendo un porcentaje de 95.16% de exactitud del productor.

La categoría afloramiento rocoso (342), se obtuvo un total de 49 áreas de entrenamiento, 47 pertenecen a la categoría respectiva, 02 a la categoría áreas agrícolas heterogéneas (24), obteniendo un porcentaje de 95.92% de exactitud del productor.

La categoría tierras desnudas (343) del cual se obtuvo un total de 20 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del productor es 100%.

La categoría áreas quemadas (344) del cual se obtuvo un total de 26 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del productor es 100%.

❖ **En las filas de muestran la exactitud de las áreas de entrenamiento digitalizadas por el usuario:**

La categoría tejido urbano continuo (111), se obtuvo un total de 25 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva, obteniendo un porcentaje de 100% de exactitud del usuario.

La categoría pastos (23) del cual se obtuvo un total de 60 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del usuario es 100%.

La categoría áreas agrícolas heterogéneas (24), se obtuvo un total de 70 áreas de entrenamiento, 68 pertenecen a la categoría respectiva, 02 a la categoría afloramiento rocoso (342), obteniendo un porcentaje de 97.14% de exactitud del usuario.

La categoría bosques plantados (32), se obtuvo un total de 60 áreas de entrenamiento, 57 pertenecen a la categoría respectiva, 03 a la categoría arbustal (332), obteniendo un porcentaje de 95% de exactitud del usuario.

La categoría herbazal (331) del cual se obtuvo un total de 50 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del usuario es 100%.

La categoría arbustal (332), se obtuvo un total de 60 áreas de entrenamiento, 59 pertenecen a la categoría respectiva, y una a la categoría bosques plantados (32), obteniendo un porcentaje de 98.33 % de exactitud del usuario.

La categoría afloramiento rocoso (342), se obtuvo un total de 50 áreas de entrenamiento, 47 pertenecen a la categoría respectiva, 02 a la categoría herbazal (3.3.1), y una a la categoría áreas agrícolas heterogéneas (24), obteniendo un porcentaje de 94% de exactitud del usuario.

La categoría tierras desnudas (343) del cual se obtuvo un total de 20 áreas de entrenamiento, todas pertenecen a la categoría respectiva y el porcentaje de exactitud del usuario es 100%.

La categoría áreas quemadas (344), se obtuvo un total de 27 áreas de entrenamiento, 26 pertenecen a la categoría respectiva, y una a la categoría herbazal (331), obteniendo un porcentaje de 96.30 % de exactitud del usuario.

- **Índice Kappa**

Se determinó el índice de Kappa que es igual **0.971** según la fuerza de concordancia indica como “**Muy Bueno**”, el cual está clasificado en el **Cuadro N° 01**.

$$P_o = \frac{25 + 60 + 68 + 57 + 50 + 59 + 47 + 26}{402} = 0.975$$

$$(EG) = 0.975 \times 100$$

$$(EG) = 97.50\%$$

$$P_e = \frac{(25 \times 25) + (60 \times 60) + (70 \times 69) + (60 \times 58) + (50 \times 53) + (60 \times 62) + (50 \times 49) + (27 \times 26)}{(402)^2} = 0.136$$

$$k = \frac{0.975 - 0.136}{1 - 0.136} = 0.971$$

- **Porcentaje Correctamente Clasificado**

El porcentaje correctamente clasificado o exactitud global para el año 2016 es de 97.50%.

En el **Mapa N° 05**, se muestra las coberturas distribuidas espacialmente, donde se puede apreciar las coberturas con su color respectivo.

Cuadro N°15: Cambios de la cobertura y uso de la tierra del distrito de Chetilla, Periodos 1990-2003, 2003-2016, 1990-2016

Clasificación de la Cobertura y Uso de la Tierra de Acuerdo a la Metodología CORINE LAND COVER				1990		2003		2016		1990-2003		2003-2016		1990-2016	
Nivel I	Nivel II	Nivel III		Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	1.1.1	15.75	0.21	20.72	0.28	24.18	0.33	4.97	0.07	3.45	0.05	8.42	0.11
2. Áreas agrícolas	2.3. Pastos		2.3	1725.02	23.29	1448.42	19.56	779.81	10.53	-276.61	-3.73	-668.60	-9.03	-945.21	-12.76
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas		2.4	744.25	10.05	1483.38	20.03	1997.04	26.97	739.13	9.98	513.67	6.94	1252.79	16.92
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.2. Bosques plantados		3.2	20.88	0.28	141.91	1.92	618.57	8.35	121.03	1.63	476.67	6.44	597.69	8.07
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1. Herbazal	3.3.1	2845.96	38.43	2287.25	30.88	2535.13	34.23	-558.71	-7.54	247.88	3.35	-310.84	-4.20
		3.3.2. Arbustal	3.3.2	1827.75	24.68	1785.07	24.10	1030.60	13.92	-42.68	-0.58	-754.48	-10.19	-797.16	-10.76
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.2. Afloramientos rocosos	3.4.2	226.27	3.06	239.15	3.23	397.41	5.37	12.88	0.17	158.26	2.14	171.14	2.31
		3.4.4. Áreas quemadas	3.4.4	0.00	0.00	0.00	0.00	23.16	0.31	0.00	0.00	23.16	0.31	23.16	0.31
TOTAL				7405.90	100.00	7405.90	100.00	7405.90	100.00	-	-	-	-	-	-

4.2. Discusión

De los resultados conseguidos de la cobertura y el uso de la tierra de los periodos 1990-2003, 2003-2016, 1990-2016, podemos comparar que ha variado cada una de las coberturas,

4.2.1. Cambios de cobertura y uso de la tierra, periodos 1990-2003, 2003-2016, 1990-2016

a. Tejido urbano continuo

Para esta cobertura, podemos observar en la Figura N° 09, el aumento del tejido urbano continuo, que en el año 1990 fue 15.75 (ha), en el año 2003 fue 20.72 (ha), y para el año 2016 de 24.18 (ha). Nos indica que del año 1990 hasta el año 2003 el distrito ha experimentado una expansión de 4.97 (ha). Del año 2003 hasta el año 2016 el distrito aumentó 3.45 (ha). Para el 1990 hasta el año 2016 aumentó 8.42 (ha) que equivale al 0.11% del área distrital, lo cual se puede comparar mediante los datos del INEI proyecciones de población 1990-2005, estimaciones y proyecciones de población 2000-2015, cuya población urbana se habría incrementado en 4305 habitantes.

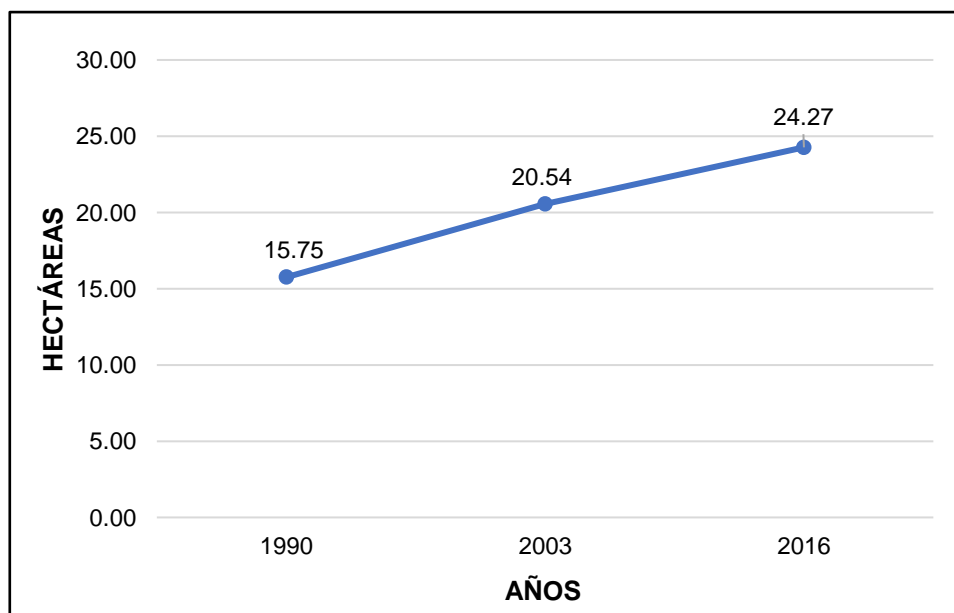


Figura N° 09: Superficie del cambio para el tejido urbano continuo

b. Pastos

En esta cobertura para el año 1990 fue 1725.02 (ha), en el año 2003 fue 1448.42 (ha), y para el año 2016 de 779.81 (ha). Tenemos como resultado que del año 1990 hasta el año 2003 esta cobertura a sufrido disminución de 276.61 (ha). Del año 2003 hasta el año 2016 esta cobertura a seguido disminuyendo de 668.60 (ha). Y el total desde el año 1990 hasta el año 2016, disminuyó 945.21 (ha). Esta cobertura se está perdiendo por diversos motivos: la mayoría de los niños y jóvenes del distrito, debido a los sistemas de enseñanza migran a otro lugar como la ciudad de Cajamarca, para tener una mejor educación y ya no están continuamente en la casa de los padres viendo y ayudando al manejo del rebaño y de las tareas del ganado.

La mano de obra asalariada que existe, por lo general no tiene formación pastoril y exige unas condiciones de trabajo, que la ganadería extensiva no puede ayudar, también los pastos son reemplazados por otras coberturas como áreas agrícolas heterogéneas que ha aumentado al pasar los años.

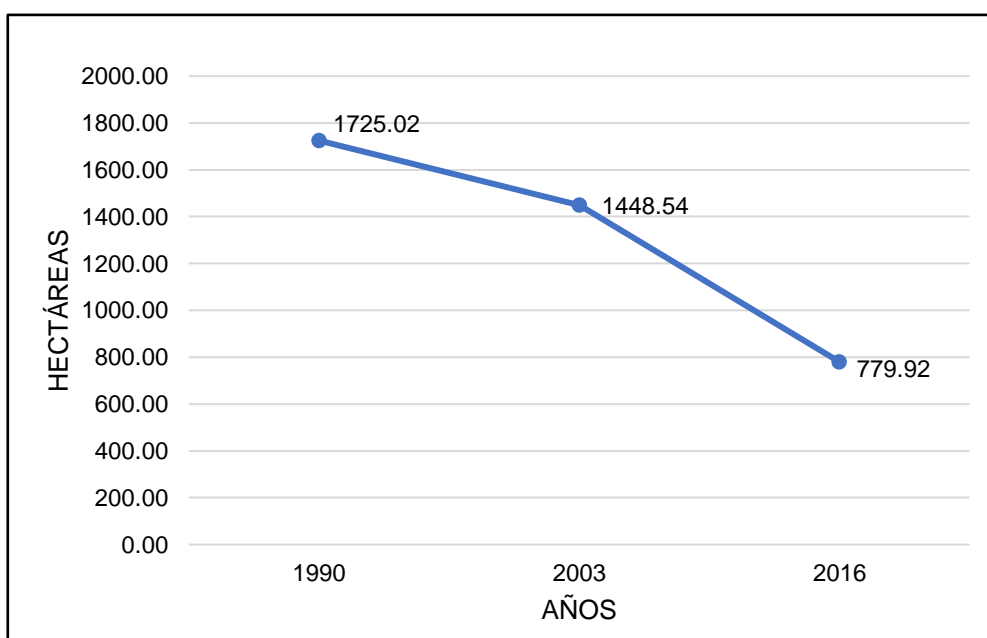


Figura N° 10: Superficie del cambio para pastos

c. Áreas agrícolas heterogéneas

Para esta cobertura el área del año 1990 fue 744.25 (ha), del año 2003 fue 1483.38 (ha), y para el año 2016 de 1997.04 (ha), lo que indica que la cobertura aumentado en estos tres periodos, del año 1990 hasta el año 2003 la cobertura aumentado 739.13 (ha). Del año 2003 hasta el año 2016 aumentado 513.67 (ha), y para el año 1990 hasta el año 2016 aumentó 1252.79 (ha) que equivale el 16.92% del área distrital.

El minifundio en el distrito de Chetilla cada vez se acentúa más, esto contribuye una situación limitante en la producción agropecuaria y que agudiza en tanto es manejada la parcela de forma intensiva, originando bajo rendimiento en su producción. Además, esta situación se agrava con la degradación acelerada de los terrenos por la misma topografía accidentada que se presenta en el distrito de Chetilla, con pendientes que van desde 4% hasta el 75%, condicionando a la agricultura en ladera.

Todos estos factores reducen la capacidad productiva del suelo, haciéndose insostenible el rendimiento de los cultivos a largo plazo, induciendo así a las familias campesinas a la posesión de más parcelas en otros lugares, destruyendo arbustales primarios u otras áreas naturales para poder cultivar (Tantaleán, 2016).

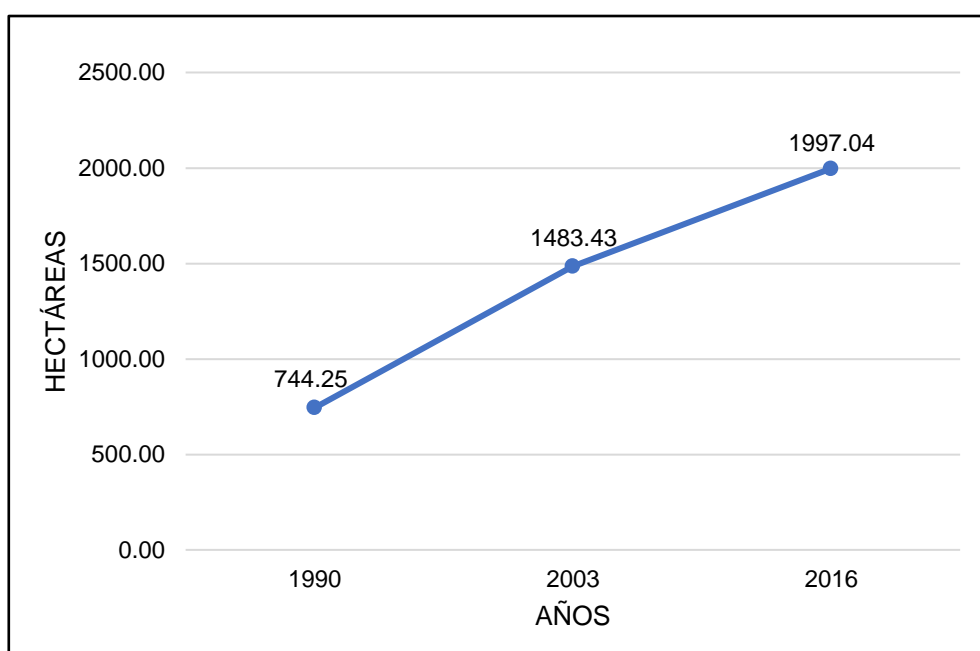


Figura N° 11: Superficie del cambio para áreas agrícolas heterogéneas

d. Bosques plantados

En esta cobertura para el año 1990, el área fue 20.88 (ha), en el año 2003 fue 141.91 (ha), y para el año 2016 de 618 (ha). indicando que, aumentado la cobertura de bosques plantados durante estos tres periodos, del año 1990 hasta el año 2003 la cobertura aumentado 121.03 (ha), del año 2003 hasta el año 2016 aumentado 476.67 (ha), y para el año 1990 hasta el año 2016 aumentó 597.69 (ha) que equivale a 8.07% del área distrital. Esto se debe a los proyectos de reforestación que se ejecutaron en el distrito.

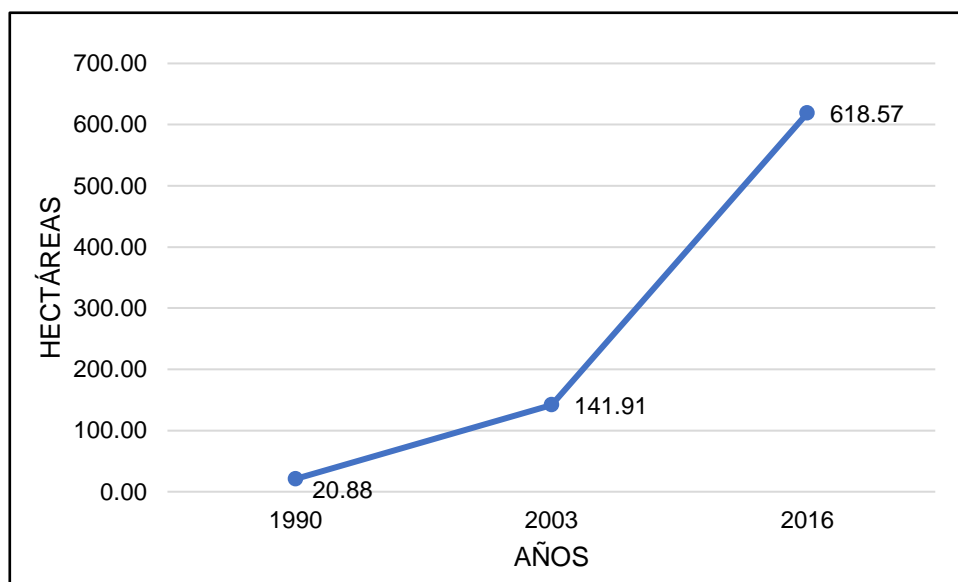


Figura N° 12: Superficie del cambio para bosques plantados

e. Herbazal

El área de la cobertura herbazal para el año 1990 fue 2845.96 (ha), del año 2003 fue 2287.25 (ha), y para el año 2016 de 2535.13 (ha). Indicando que esta cobertura ha sufrido disminución de 558.71 (ha), desde el año 1990 hasta el año 2003. Mientras que del año 2003 hasta el año 2016 aumentado 247.88 (ha). En total desde el año 1990 hasta el año 2016 sufrió disminución de 310.84 (ha), que equivale al 4.20% del área territorial. Esto se debe al crecimiento de áreas de otras clases de cobertura, así por ejemplo esta cobertura está siendo reemplazada por coberturas de áreas agrícolas heterogéneas, que el hombre las destruye para realizar sus actividades agrícolas.

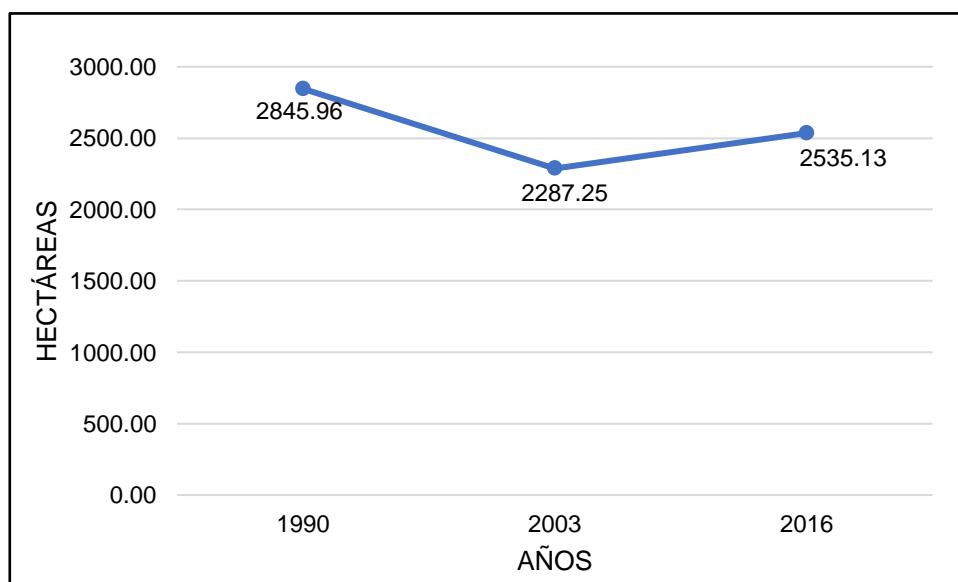


Figura N° 13: Superficie del cambio para herbazal

f. Arbustal

Para el año 1990 el área de la cobertura arbustal fue 1827.75 (ha), del año 2003 fue 1785.07 (ha), para el año 2016 de 1030.60 (ha). El área en estos tres periodos a minorado, desde el año 1990 hasta el año 2003 la cobertura ha sufrido disminución de 42.68 (ha), del año 2003 hasta el año 2016 sufrió gran disminución de 754.48 (ha). En total el cambio ocurrido desde el año 1990 hasta el año 2016 se perdieron 797.16 (ha), esto se debe a la intervención de comunidades campesinas que destruyen arbustales primarios para poder cultivar sus productos agrícolas. Tantaleán (2016), explica que la mayor pérdida ocurre en zonas boscosas más próximas a las zonas agrícolas. Asimismo, las zonas con alta fragilidad ecológica son las que presentan mayor susceptibilidad a ser degradadas.

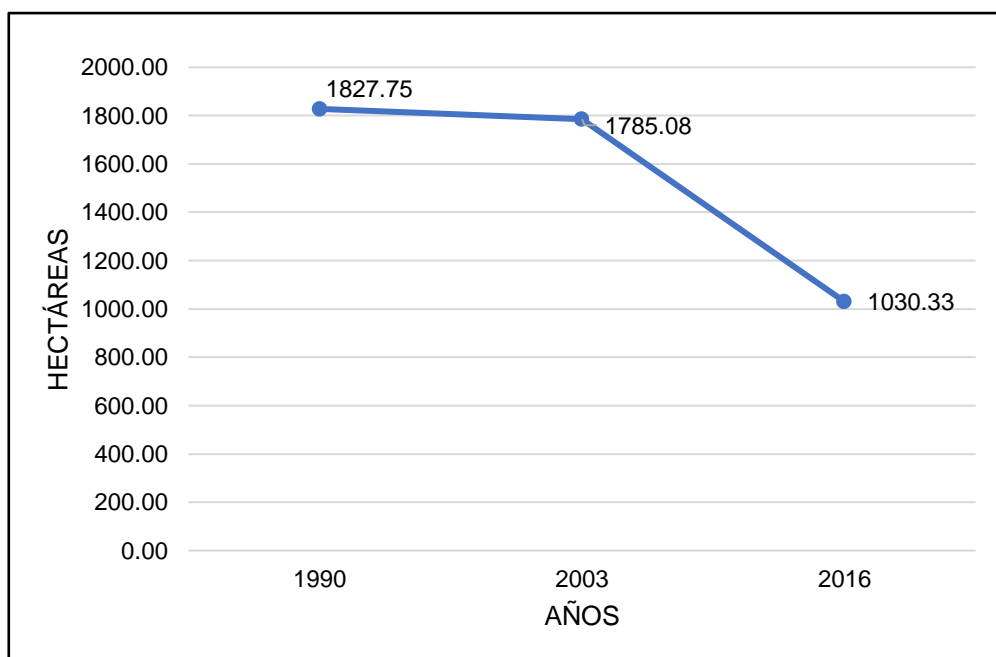


Figura N° 14: Superficie del cambio para arbustal

g. Afloramientos rocosos

El área de esta cobertura para el año 1990 fue 226.27 (ha), del año 2003 fue 239.15 (ha), y para el año 2016 de 397.41 (ha), el área aumentado en estos tres periodos desde el año 1990 hasta el año 2003 aumentado 12.88 (ha), mientras que desde el año 2003 hasta el año 2016 la cobertura aumentado 158.26 (ha). Y desde el año 1990 hasta el año 2016 aumentó 171.14 (ha), esto se debe a la degradación de los suelos, cambios climáticos como la precipitación que en la zona tiene un promedio de 1280 mm.

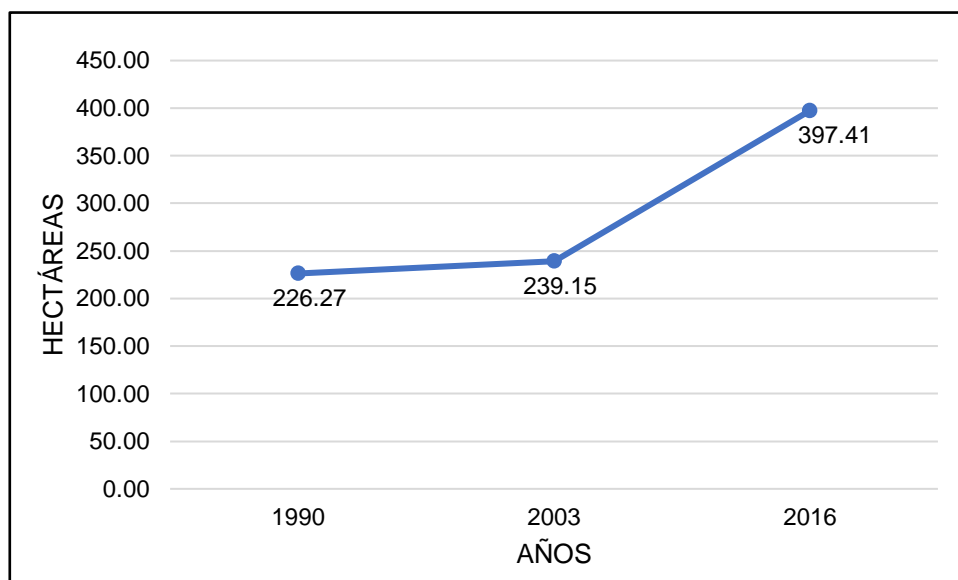


Figura N° 15: Superficie del cambio para afloramientos rocosos

h. Áreas Quemadas

Para esta cobertura en los años 1990 y 2003 no se detectaron áreas quemadas, mientras que en el año 2016 se detectó 23.16 (ha) de esta cobertura, que equivale al 0.31% del área total del distrito, estas áreas quemadas son ocasionadas por la intervención antrópica que realiza el hombre para poder realizar sus actividades agrícolas.

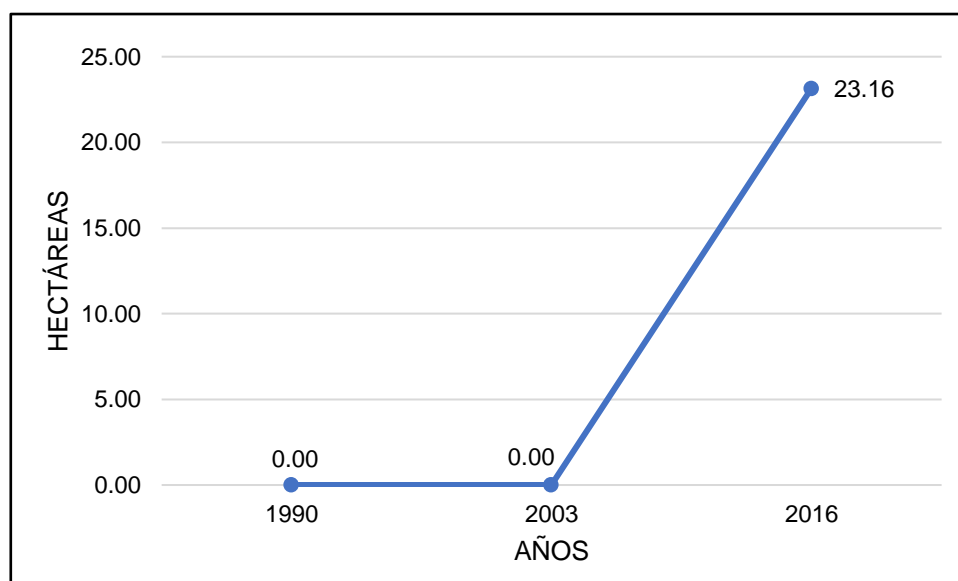


Figura N° 16: Superficie del cambio para áreas quemadas

4.2.2. Cuantificación general del cambio

De acuerdo al análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra para el periodo 1990-2003-2016, se tiene que las diferentes clases de cobertura que conforman el distrito de Chetilla, ha sufrido cambios generales de su superficie como nos muestra el Cuadro N° 16.

Cuadro N° 16: Superficie y porcentaje de las áreas con cambio de la cobertura y uso de la tierra.

CAMBIOS	ÁREA(ha) 1990-2003	(%)	ÁREA(ha) 2003-2016	(%)	ÁREA(ha) 1990-2016	(%)
SI HAY CAMBIO	2782.91	37.58	3448.75	46.57	3483.08	47.03
NO HAY CAMBIO	4622.99	62.42	3957.15	53.43	3922.81	52.97
ÁREA TOTAL DEL DISTRITO	7405.90	100.00	7405.90	100.00	7405.90	100.00

En el distrito de Chetilla la mayoría de la población tienen un bajo nivel de información respecto a la importancia de los espacios naturales, carecen de incentivos para frenar el cambio inadecuado del uso de la tierra y mucho menos para incidir en la conservación de los recursos naturales, contribuyen también un factor determinante para que los productores opten por un desarrollo económico distinto a la vocación natural de la tierra como vocación agrícola, forestal, entre otros; produciéndose los inadecuados cambios de cobertura y usos de los mismos.

a. Cuantificación del cambio, periodo 1990-2003

En el **Cuadro N° 16**, muestra el cambio de cobertura y uso de la tierra, periodo 1990-2003. En estos cambios podemos diferenciar que el área de la cobertura donde si hubo cambio tiene una extensión de 2782.91 (ha), y el área de la cobertura donde no hubo cambio tiene una extensión de 4622.99 (ha).

se centró en los niveles II y III de la clasificación CORINE LAND COVER. Como resultado del análisis espacial, se elaboró el **Cuadro N° 17** del **Mapa N° 07** que expresa con mayor detalle la distribución espacial de los cambios de cobertura y uso de la tierra, periodo 1990-2003, donde se puede apreciar que el cambio con mayor extensión corresponde al cambio de pastos a áreas agrícolas heterogéneas con 531.55 (ha) y el cambio de herbazal a áreas agrícolas heterogéneas con 362.52 (ha), pero asimismo se puede apreciar el cambio en pequeñas áreas de bosques plantados a arbustal con 0.16 (ha) y el cambio de áreas agrícolas heterogéneas a bosques plantados con un total de 0.22 (ha).

Cuadro N° 17: Cambios por cobertura y uso de la tierra, periodo 1990-2003

CÓDIGO 1990-2003	CCUT - 1990	CCUT - 2003	Área (ha)	(%)
Pa-Tu	Pastos	Tejido urbano continuo	4.74	0.06
Pa-Aah	Pastos	Áreas agrícolas heterogéneas	531.55	7.18
Pa-Bp	Pastos	Bosques plantados	14.92	0.20
Pa-He	Pastos	Herbazal	10.52	0.14
Pa-Ar	Pastos	Arbustal	329.24	4.45
Aah-Tu	Áreas agrícolas heterogéneas	Tejido urbano continuo	0.23	0.00
Aah-Pa	Áreas agrícolas heterogéneas	Pastos	291.04	3.93
Aah-Bp	Áreas agrícolas heterogéneas	Bosques plantados	0.22	0.00
Aah-He	Áreas agrícolas heterogéneas	Herbazal	16.21	0.22
Aah-Ar	Áreas agrícolas heterogéneas	Arbustal	12.38	0.17
Aah-Afr	Áreas agrícolas heterogéneas	Afloramientos rocosos	0.97	0.01
Bp-Aah	Bosques plantados	Áreas agrícolas heterogéneas	3.33	0.04
Bp-Ar	Bosques plantados	Arbustal	0.16	0.00
He-Pa	Herbazal	Pastos	210.15	2.84
He-Aah	Herbazal	Áreas agrícolas heterogéneas	362.52	4.89
He-Bp	Herbazal	Bosques plantados	73.98	1.00
He-Ar	Herbazal	Arbustal	123.10	1.66
He-Afr	Herbazal	Afloramientos rocosos	147.94	2.00
Ar-Pa	Arbustal	Pastos	80.56	1.09
Ar-Aah	Arbustal	Áreas agrícolas heterogéneas	119.66	1.62
Ar-Bp	Arbustal	Bosques plantados	35.39	0.48
Ar-He	Arbustal	Herbazal	266.74	3.60
Ar-Afr	Arbustal	Afloramientos rocosos	5.67	0.08
Afr-Pa	Afloramientos rocosos	Pastos	32.61	0.44
Afr-Aah	Afloramientos rocosos	Áreas agrícolas heterogéneas	43.13	0.58
Afr-He	Afloramientos rocosos	Herbazal	65.51	0.88
Afr-Ar	Afloramientos rocosos	Arbustal	0.44	0.01
NC	NO HAY CAMBIO		4622.99	62.42
TOTAL			7405.90	100.00

En el **Cuadro N° 17**, se muestran siete clases de cobertura que por dinámica territorial fueron cambiados a otras coberturas generando a la vez 27 tipos de cambio. Entre los más significativos tenemos los siguientes:

Pastos, experimento cinco cambios, de los cuales el más significativo fue a áreas agrícolas heterogéneas en una extensión de 531.55 (ha) que representa el 7.18% del área del distrito.

Áreas agrícolas heterogéneas, sucedió seis cambios, de los cuales el más significativo fue a pastos en una extensión de 291.04 (ha), que representa el 3.93% del área del distrito.

Bosques plantados, ocurrió dos cambios, de los cuales el más significativo fue a áreas agrícolas heterogéneas en una extensión de 3.33 (ha), que representa el 0.04% del área del distrito.

Herbazal, experimento cinco cambios, de los cuales el más significativo fue a áreas agrícolas heterogéneas en una extensión de 362.52 (ha), que representa el 4.89% del área del distrito.

Arbustal, aconteció cinco cambios, de los cuales el más significativo fue a herbazal en una extensión de 266.74 (ha), que representa el 3.60% del área del distrito.

Afloramiento rocoso, sucedió cuatro cambios, de los cuales el más significativo fue a herbazal en una extensión de 65.51 (ha), que representa el 0.88% del área del distrito.

Los cambios significativos de cobertura, son impulsados por el desarrollo de las principales actividades económicas (agrícola, pecuaria), expansión urbana. Por lo cual es necesario considerar que en todo proceso de cambios existen factores que inciden en ellos, cuyas consecuencias resultan en el deterioro de los recursos naturales (Tantaleán, 2016).

b. Cuantificación del cambio, periodo 2003-2016

En estos cambios podemos diferenciar que el área de la cobertura donde si hubo cambio tiene una extensión de 3448.75 (ha), y el área de la cobertura donde no hubo cambio tiene una extensión de 3957.15 (ha). Como resultado del análisis espacial, se elaboró el **Cuadro N° 18** del **Mapa N° 09**, donde se expresa con mayor detalle la distribución espacial de los cambios de cobertura y uso de la tierra, periodo 2003-2016, donde se puede apreciar que el cambio con mayor extensión corresponde al cambio de pastos a áreas agrícolas heterogéneas con 742.43 (ha) y el cambio de arbustal a herbazal con 497.51 (ha), pero asimismo se puede apreciar el cambio en pequeñas áreas de arbustal a tejido urbano continuo con 0.06 (ha), y afloramientos rocosos a bosques plantados con un total de 0.08 (ha).

Cuadro N° 18: Cambios por cobertura y uso de la tierra, periodo 2003-2016

CÓDIGO 2003-2016	CCUT - 2003	CCUT - 2016	Área (ha)	(%)
Pa-Tu	Pastos	Tejido urbano continuo	1.39	0.02
Pa-Aah	Pastos	Áreas agrícolas heterogéneas	742.43	10.02
Pa-Bp	Pastos	Bosques plantados	8.91	0.12
Pa-He	Pastos	Herbazal	221.90	3.00
Pa-Ar	Pastos	Arbustal	25.11	0.34
Pa-Afr	Pastos	Afloramientos rocosos	28.96	0.39
Aah-Tu	Áreas agrícolas heterogéneas	Tejido urbano continuo	2.01	0.03
Aah-Pa	Áreas agrícolas heterogéneas	Pastos	195.02	2.63
Aah-Bp	Áreas agrícolas heterogéneas	Bosques plantados	54.97	0.74
Aah-He	Áreas agrícolas heterogéneas	Herbazal	245.85	3.32
Aah-Ar	Áreas agrícolas heterogéneas	Arbustal	53.07	0.72
Aah-Afr	Áreas agrícolas heterogéneas	Afloramientos rocosos	18.68	0.25
Bp-Pa	Bosques plantados	Pastos	0.10	0.00
Bp-Aah	Bosques plantados	Áreas agrícolas heterogéneas	1.76	0.02
Bp-He	Bosques plantados	Herbazal	51.02	0.69
Bp-Ar	Bosques plantados	Arbustal	19.28	0.26
He-Pa	Herbazal	Pastos	0.95	0.01
He-Aah	Herbazal	Áreas agrícolas heterogéneas	148.03	2.00
He-Bp	Herbazal	Bosques plantados	358.53	4.84
He-Ar	Herbazal	Arbustal	104.52	1.41
He-Afr	Herbazal	Afloramientos rocosos	148.47	2.00
He-Aq	Herbazal	Áreas Quemadas	23.16	0.31
Ar-Tu	Arbustal	Tejido urbano continuo	0.06	0.00
Ar-Pa	Arbustal	Pastos	164.02	2.21
Ar-Aah	Arbustal	Áreas agrícolas heterogéneas	168.64	2.28
Ar-Bp	Arbustal	Bosques plantados	126.34	1.71
Afr-He	Arbustal	Herbazal	497.51	6.72
Afr-Afr	Arbustal	Afloramientos rocosos	0.10	0.00
Afr-Aah	Afloramientos rocosos	Áreas agrícolas heterogéneas	22.40	0.30
Afr-Bp	Afloramientos rocosos	Bosques plantados	0.08	0.00
Afr-He	Afloramientos rocosos	Herbazal	15.27	0.21
Afr-Ar	Afloramientos rocosos	Arbustal	0.22	0.00
NC	NO HAY CAMBIO		3957.15	53.43
TOTAL			7405.90	100.00

En el **Cuadro N° 18**, se muestran ocho clases de cobertura que por dinámica territorial fueron cambiados a otras coberturas generando a la vez 32 tipos de cambio. Entre los más significativos tenemos los siguientes:

Pastos, experimento seis cambios, de los cuales el más significativo fue a áreas agrícolas heterogéneas en una extensión de 742.43 (ha), que representa el 10.02% del área del distrito.

Áreas agrícolas heterogéneas, sucedió seis cambios, de los cuales el más significativo fue a herbazal en una extensión de 245.85 (ha), que representa el 3.32% del área del distrito.

Bosques plantados, ocurrió cuatro cambios, de los cuales el más significativo fue a herbazal en una extensión de 51.02 (ha), que representa el 0.69% del área del distrito.

Herbazal, experimento seis cambios, de los cuales el más significativo fue a bosques plantados en una extensión de 358.53 (ha), que representa el 4.84% del área del distrito.

Arbustal, aconteció siete cambios, de los cuales el más significativo fue a herbazal en una extensión de 497.51 (ha), que representa el 6.72% del área del distrito.

Afloramiento rocoso, sucedió cuatro cambios, de los cuales el más significativo fue a áreas agrícolas heterogéneas en una extensión de 22.40 (ha), que representa el 0.30% del área del distrito.

c. Cuantificación del cambio, periodo 1990-2016

En este periodo podemos diferenciar que el área de la cobertura donde si hubo cambio tiene una extensión de 3483.08 (ha), y el área de la cobertura donde no hubo cambio tiene una extensión de 3922.81 (ha). Se elaboró el **Cuadro N° 19** del **Mapa N° 11**, que expresa con mayor detalle la distribución espacial de los cambios de cobertura y uso de la tierra, periodo 1990-2016, donde se puede apreciar que el cambio con mayor extensión corresponde al cambio de pastos a áreas agrícolas heterogéneas con 678.41 (ha) y el cambio de arbustal a herbazal con 543.82 (ha), pero asimismo se puede apreciar el cambio en pequeñas áreas de afloramientos rocoso a pastos con 0.09 (ha), y bosques plantados a arbustal con un total de 0.15 (ha).

Cuadro N° 19: Cambios por cobertura y uso de la tierra, periodo 1990-2016

CÓDIGO 1990-2016	CUT - 1990	CUT - 2016	Área (ha)	(%)
Pa-Tu	Pastos	Tejido urbano continuo	8.18	0.11
Pa-Aah	Pastos	Áreas agrícolas heterogéneas	678.41	9.16
Pa-Bp	Pastos	Bosques plantados	24.71	0.33
Pa-He	Pastos	Herbazal	326.77	4.41
Pa-Ar	Pastos	Arbustal	67.79	0.92
Aah-Tu	Áreas agrícolas heterogéneas	Tejido urbano continuo	0.24	0.00
Aah-Pa	Áreas agrícolas heterogéneas	Pastos	44.87	0.61
Aah-Bp	Áreas agrícolas heterogéneas	Bosques plantados	0.91	0.01
Aah-He	Áreas agrícolas heterogéneas	Herbazal	23.41	0.32
Aah-Ar	Áreas agrícolas heterogéneas	Arbustal	4.16	0.06
Aah-Afr	Áreas agrícolas heterogéneas	Afloramientos rocosos	8.71	0.12
Bp-Aah	Bosques plantados	Áreas agrícolas heterogéneas	0.54	0.01
Bp-He	Bosques plantados	Herbazal	3.11	0.04
Bp-Ar	Bosques plantados	Arbustal	0.15	0.00
He-Pa	Herbazal	Pastos	24.64	0.33
He-Aah	Herbazal	Áreas agrícolas heterogéneas	486.30	6.57
He-Bp	Herbazal	Bosques plantados	387.70	5.24
He-Ar	Herbazal	Arbustal	85.12	1.15
He-Afr	Herbazal	Afloramientos rocosos	233.81	3.16
He-Aq	Herbazal	Áreas Quemadas	21.30	0.29
Ar-Pa	Arbustal	Pastos	91.04	1.23
Ar-Aah	Arbustal	Áreas agrícolas heterogéneas	109.04	1.47
Ar-Bp	Arbustal	Bosques plantados	184.21	2.49
Ar-He	Arbustal	Herbazal	543.82	7.34
Ar-Afr	Arbustal	Afloramientos rocosos	25.44	0.34
Ar-Aq	Arbustal	Áreas Quemadas	1.86	0.03
Afr-Pa	Afloramientos rocosos	Pastos	0.09	0.00
Afr-Aah	Afloramientos rocosos	Áreas agrícolas heterogéneas	60.81	0.82
Afr-Bp	Afloramientos rocosos	Bosques plantados	3.96	0.05
Afr-He	Afloramientos rocosos	Herbazal	30.93	0.42
Afr-Ar	Afloramientos rocosos	Arbustal	1.04	0.01
NC	NO HAY CAMBIO		3922.81	52.97
TOTAL			7405.90	100.00

En el **Cuadro N° 19**, se muestran ocho clases de cobertura que por dinámica territorial fueron cambiados a otras coberturas generando a la vez 31 tipos de cambio. Entre los más significativos tenemos los siguientes:

Pastos, experimento cinco cambios, de los cuales el más significativo fue a áreas agrícolas heterogéneas en una extensión de 678.41 (ha), que representa el 9.16% del área del distrito.

Áreas agrícolas heterogéneas, sucedió seis cambios, de los cuales el más significativo fue a pastos en una extensión de 44.87 (ha), que representa el 0.61% del área del distrito.

Bosques plantados, ocurrió tres cambios, de los cuales el más significativo fue a herbazal en una extensión de 3.11 (ha), que representa el 0.04% del área del distrito.

Herbazal, experimento seis cambios, de los cuales el más significativo fue a áreas agrícolas heterogéneas en una extensión de 486.30 (ha), que representa el 6.57% del área del distrito.

Arbustal, aconteció seis cambios, de los cuales el más significativo fue a herbazal en una extensión de 543.82 (ha), que representa el 7.34% del área del distrito.

Afloramiento rocoso, sucedió cinco cambios, de los cuales el más significativo fue a áreas agrícolas heterogéneas en una extensión de 60.81 (ha), que representa el 0.82% del área del distrito.

V. CONCLUSIONES

- Los cambios de cobertura y uso de la tierra del distrito de Chetilla, de los periodos 1990-2003, 2003-2016, 1990-2016 se generaron información básica; para el año 1990 se identificaron 07 categorías: Tejido urbano continuo, Pastos, Áreas agrícolas heterogéneas, Bosques plantados, Herbazal, Arbustal, Afloramientos rocosos. Para el año 2003 se identificaron 07 categorías: Tejido urbano continuo, Pastos, Áreas agrícolas heterogéneas, Bosques plantados, Herbazal, Arbustal, Afloramientos rocosos. Por último, para el año 2016 se identificaron 08 categorías: Tejido urbano continuo, Pastos, Áreas agrícolas heterogéneas, Bosques plantados, Herbazal, Arbustal, Afloramientos rocosos, Áreas quemadas.
- De las 74 categorías, propuestas para el país, se identificaron 8 categorías que corresponde a: Tejido urbano continuo, Pastos, Áreas agrícolas heterogéneas, Bosques plantados, Herbazal, Arbustal, Afloramientos rocosos, Áreas quemadas llegándose a clasificar hasta el nivel III en algunas de las coberturas.
- Se determinó que las diferentes clases de cobertura que conforman el distrito de Chetilla, han sufrido cambios de su cobertura; para el periodo 1990-2003 ocurrió un cambio de 2782.91 (ha) del área distrital; mientras que 4622.99 (ha), no sufrió cambio. Para el periodo 2003-2016 hubo cambio en su cobertura en una extensión de 3448.75 (ha) del área total del distrito; mientras que 3957.15 (ha), no ocurrió cambio. Para el periodo 1990-2016 sufrió cambios de 3483.08 (ha) y 3922.81 (ha) permanece sin cambio.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abraira, V. 2001. El índice kappa. Madrid, España. 248p.

Alcántara, G. 2014. Estudio Especializado: Análisis de los Cambios de la Cobertura y Uso de la Tierra. Cajamarca, Perú. 11p.

Alonso, F. 2005. Sistema de Información Geográfica. Murcia, España. 5, 195, 196p.

Camacho, J; Juan, J; Pineda, N; Cadena, E; Bravo, L; Sánchez, M. 2015. Cambios de Cobertura/Uso del Suelo en una Porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. México. Consultado el 14 ago. 2017 (en línea). Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000100008

Cerda, J; Villarroel, L. 2008. Evaluación de la Concordancia Inter-observador en Investigación Pediátrica: Coeficiente de Kappa. Chile. 54 - 58p.

Cerdán, C. 2014. Concesiones mineras en Cajamarca (en línea). Cajamarca, Perú. Consultado 18 ene. 2017. Disponible en: <http://cronicascajamarca.blogspot.com/>.

FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN). 1995. Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural. Italia. 219 p.

FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION). 2006. Políticas Pecuarias (en línea). Consultado el 11 ene. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a0262s.pdf>

FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION). 2008. Deforestación, Cambio de Uso de la Tierra y REDD (en línea). Consultado el 11 ene. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/011/i0440s/i0440s02.htm>

Fernández, I; Herrero, E. 2001. El Satélite Landsat. Análisis Visual de Imágenes Obtenidas del Sensor ETM+ Satélite Landsat. Valladolid, España. 4p.

Gobierno Regional de Cajamarca. 2016. Zonificación Ecológica y Económica – Ordenamiento Territorial (ZEE – OT) (en línea). Consultado el 10 nov. 2016. Disponible en: <http://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/node/588>

Guerrero, J. 2011. Combinación de Bandas Landsat con ERDAS (en línea). Consultado el 25 ene. 2017. Disponible en: <https://joseguerreroa.wordpress.com/2011/08/30/2404/>

Ibáñez, N; Damman, G. 2014. Cambios de la cobertura de los suelos para la elaboración de escenarios territoriales en la región Apurímac (en línea). Apurímac, Perú. Consultado 14 ago. 2017. Disponible en: <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rza/article/viewFile/108/107>

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). Población estimada y proyectada por distrito, 2000 - 2015 (en línea). Consultado 15 ene. 2017. Disponible en http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0842/cap05_17.htm

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). Proyecciones de Población por Años Calendario según Departamentos, Provincias y Distritos (en línea). Chetilla, Perú. Consultado 15 ene. 2017. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0467/Libro.pdf

Jiménez, P. 2010. Tala de Bosques (en línea). Consultado el 11 ene. 2017. Disponible en: <http://meamxpj.blogspot.pe/2010/06/tala-de-bosques.html>

Lillo, J. 2006. Impactos de la Minería en el Medio Natural. Grupo de Geología. Universidad Rey Juan Carlos. 35p.

López, E; Bocco, G; Mendoza; M. 2000. Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la ciudad de Morelia. México (en línea). Consultado el 14 ago. 2017. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n45/n45a5.pdf>

López. 2001. Medidas de Concordancia: el Índice de Kappa. España. 169 - 171p.

Martínez, J; Díaz, A. 2005. Percepción Remota. Fundamentos de la Teledetección Espacial (en línea). México. Consultado 22 ene. 2017. Disponible en: <http://siga.cna.gob.mx/SIGA/Percepcion/Fundamentos%20de%20teledetecci%C3%B3n%20espacial.PDF>

MINAM – DGOT (MINISTERIO DEL AMBIENTE – DIRECCION GENERAL DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL). 2015. Capacitación. Aplicación de Cobertura y Uso de la Tierra. Cajamarca, Perú. 5, 6, 10, 14p.

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 nov. 2016. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2013/10/Informe-final-de-Proyecto-Dinamica-de-los-Cambios-de-la-Tierra-CAN.pdf>

Municipio de Miranda, Cauca, Colombia. 2000. Esquema de Ordenamiento Territorial (en línea). Consultado 10 ene. 2017. Disponible en:<http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POT/miranda/08%20COBERTURA%20Y%20USO.pdf>

Nájera, O; Bojórquez, J; Cifuentes, L y Marceleño, S. 2010. Cambios de Cobertura y Uso del Suelo en la Cuenca del Río Mololoa, Nayarit (en línea). Consultado el 10 ene. 2017. Disponible en: <http://biociencias.uan.edu.mx/publicaciones/01-01/2.pdf>

Osuna, A; Díaz, J; Anda, J; Villegas, E; Gallardo, J; Davila, G. 2015. Evaluación de Cambio de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo en la Cuenca del Río Tecolutla, Veracruz, México; Periodo 1994-2010 (en línea). Consultado el 14 ago. 2017. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-993X2015000200350&script=sci_abstract&tIng=es

Quito, A. 2014. Tala de Árboles (en línea). Consultado 15 ene. 2017. Disponible en: <http://taladearboles07.blogspot.pe/p/ventajas-y-desventajas-de-la-actividad.html>

Richters, E. 1995. Manejo del Uso de la Tierra en América Central. Costa Rica. 27, 96p.

Rodríguez, A. 2011. Metodología para Detectar cambios en el Uso de la Tierra Utilizando los Principios de la Clasificación Orientada a objetos, Estudio de Caso Piedemonte de Villavicencio, Meta. Bogotá, Colombia. 35p.

Saldaña, M. 2010. Tesis. Determinación del Cambio de Cobertura Vegetal en el Área de conservación Municipal “Bosques de Huamantanga”, Utilizando Imágenes de Satélite. Jaén, Perú. 12p.

SRGIS (SENSORES REMOTOS GIS). 2010. Guía básica sobre Imágenes Satelitales y sus Productos (en línea). Consultado el 20 ene. 2017. Disponible en: <http://siga.cna.gob.mx/SIGA/Percepcion/Fundamentos%20de%20teledetecci%C3%B3n%20espacial.PDF>

Tantaleán, A. 2016. Tesis. Análisis de Cambios de Cobertura y Uso del Suelo en el distrito de Chota, Periodo 1989 - 2013. Chota, Perú.

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 (en línea). Consultado el 14 ago. 2017. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v10n1/a02v10n1>

ANEXOS

IMÁGENES DEL DESARROLLO DE LA TESIS

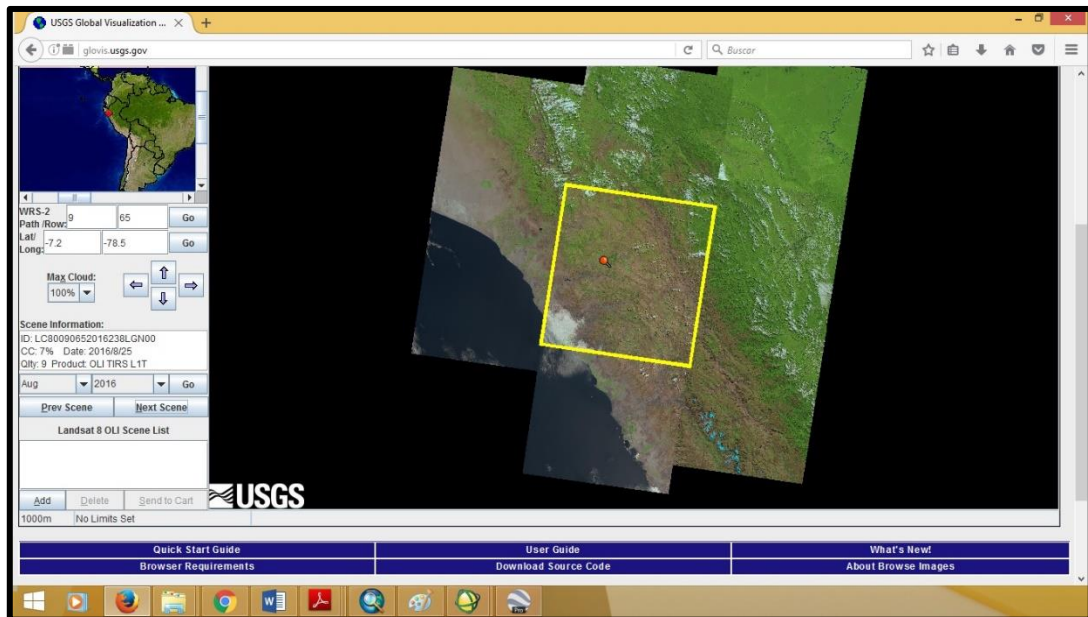


Figura N° 17: Descargando las imágenes satelitales Landsat

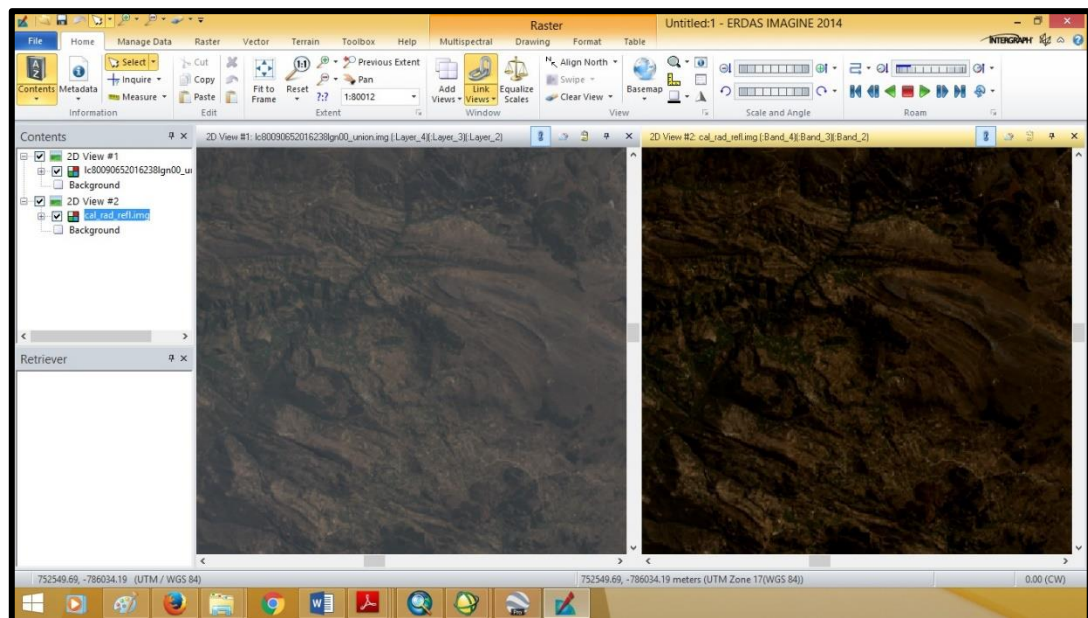


Figura N° 18: Corrección atmosférica de la imagen satelital con el Software ERDAS IMAGINE

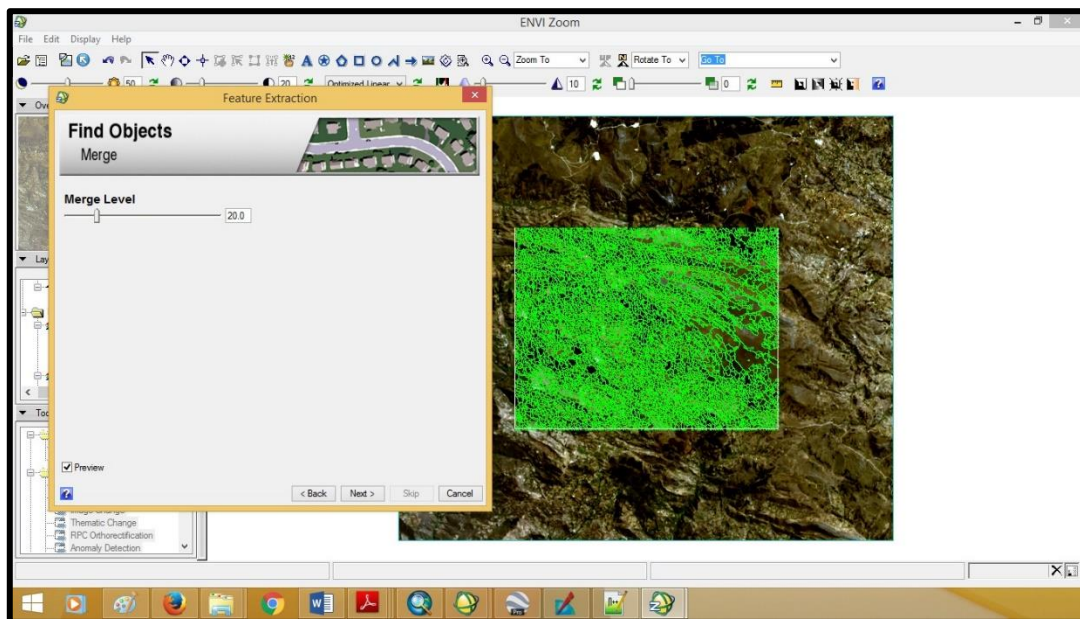


Figura N° 19: Segmentación con el Software Envi Zoom 4.8

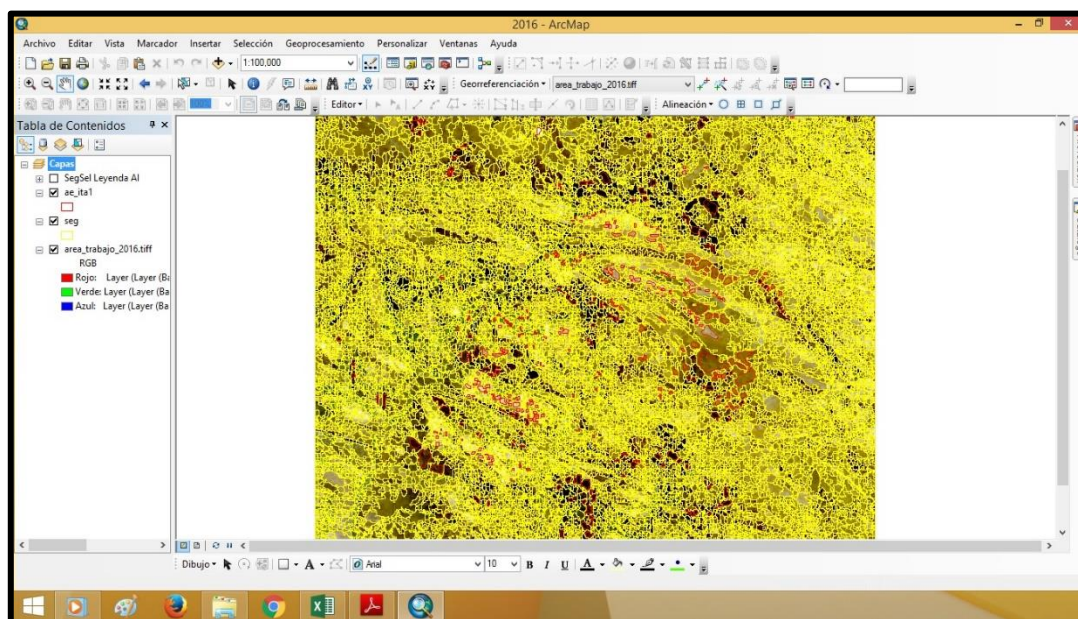


Figura N° 20: Áreas de entrenamiento con Software ArcGIS 10.4.1

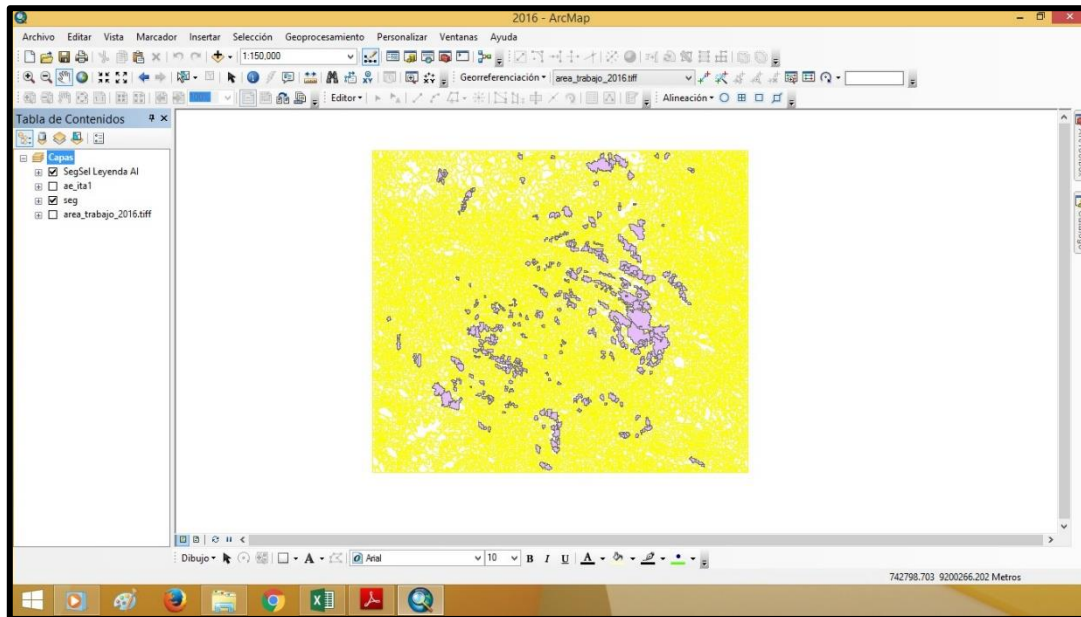


Figura N° 21: Generalizando las áreas de entrenamiento con el Software ArcGIS 10.4.1

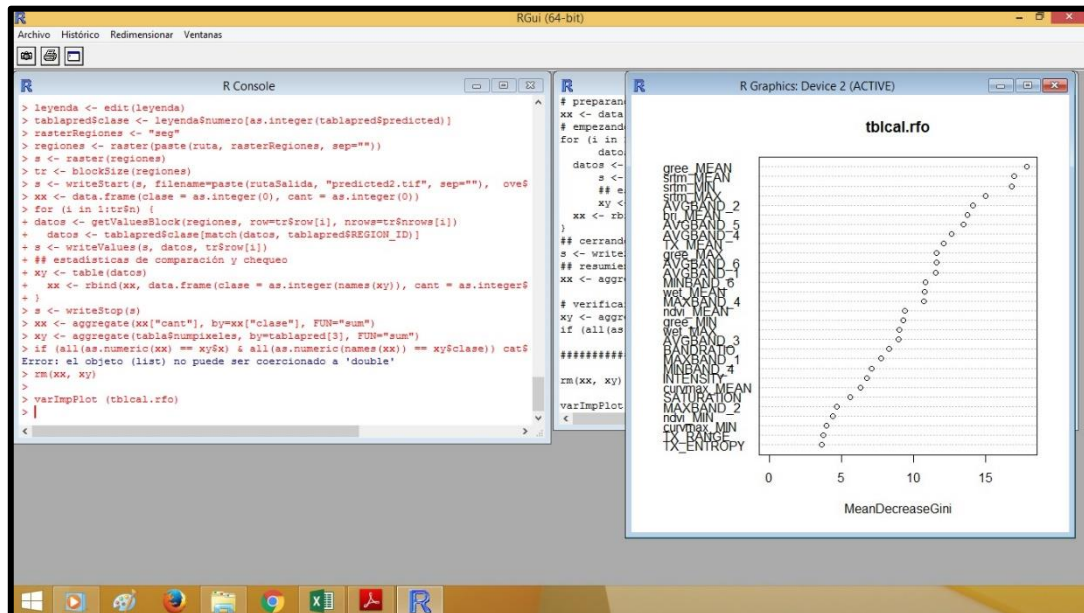


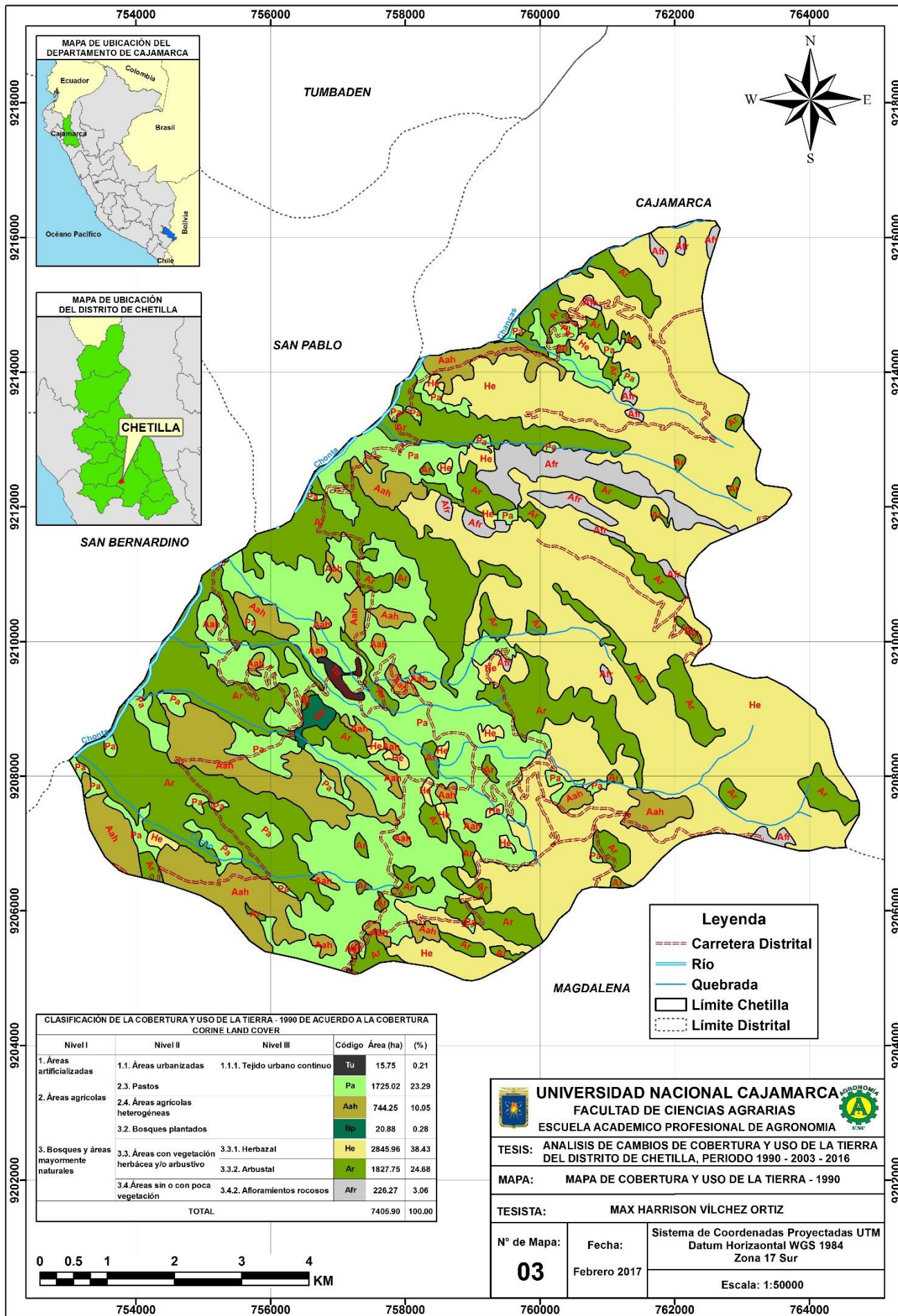
Figura N° 22: Clasificación con Random Forest para general el mapa de cobertura vegetal utilizando el Software RGui 2.15.



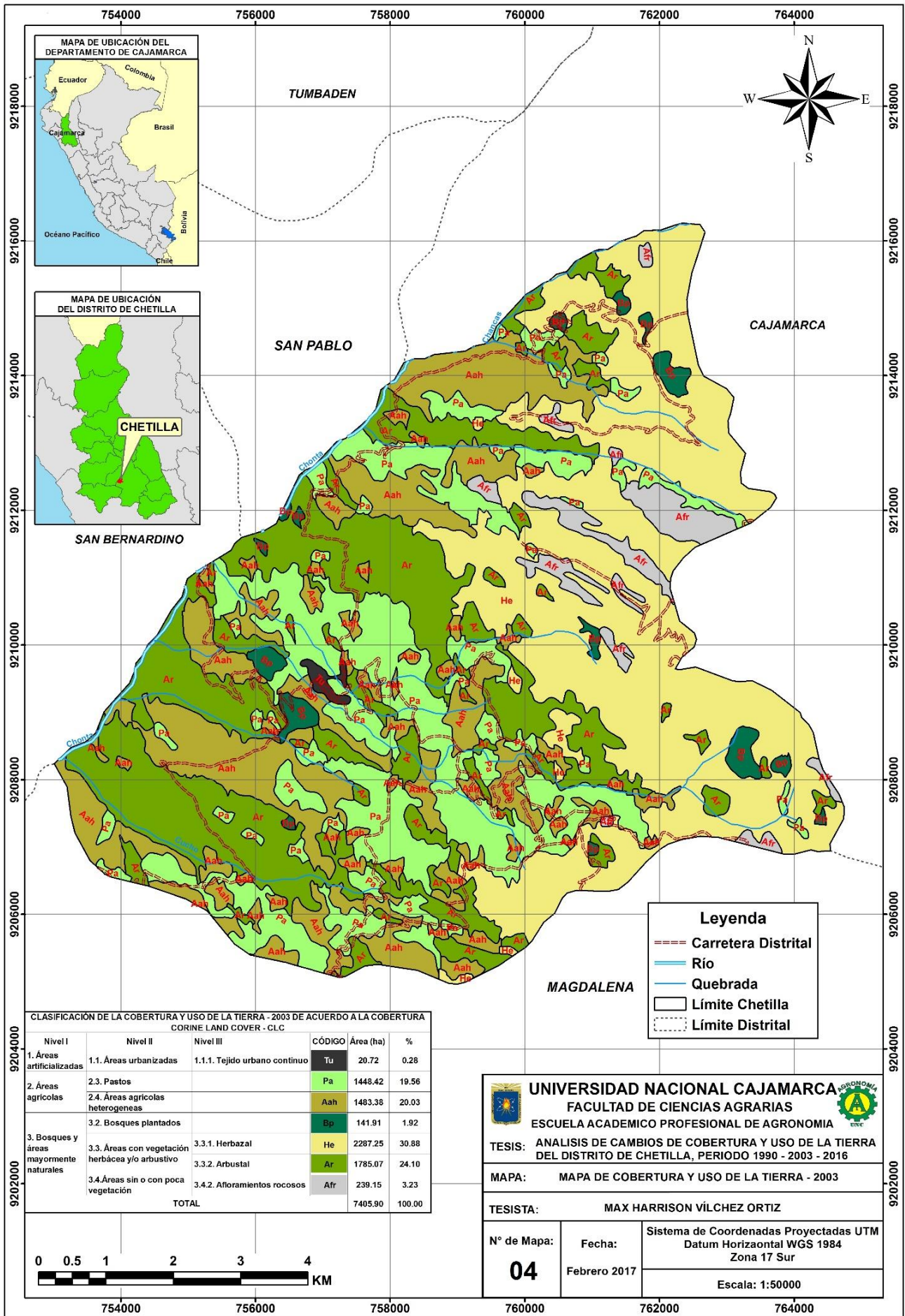
Figura N° 23: Verificación en campo, por el centro poblado de Pueblo Nuevo



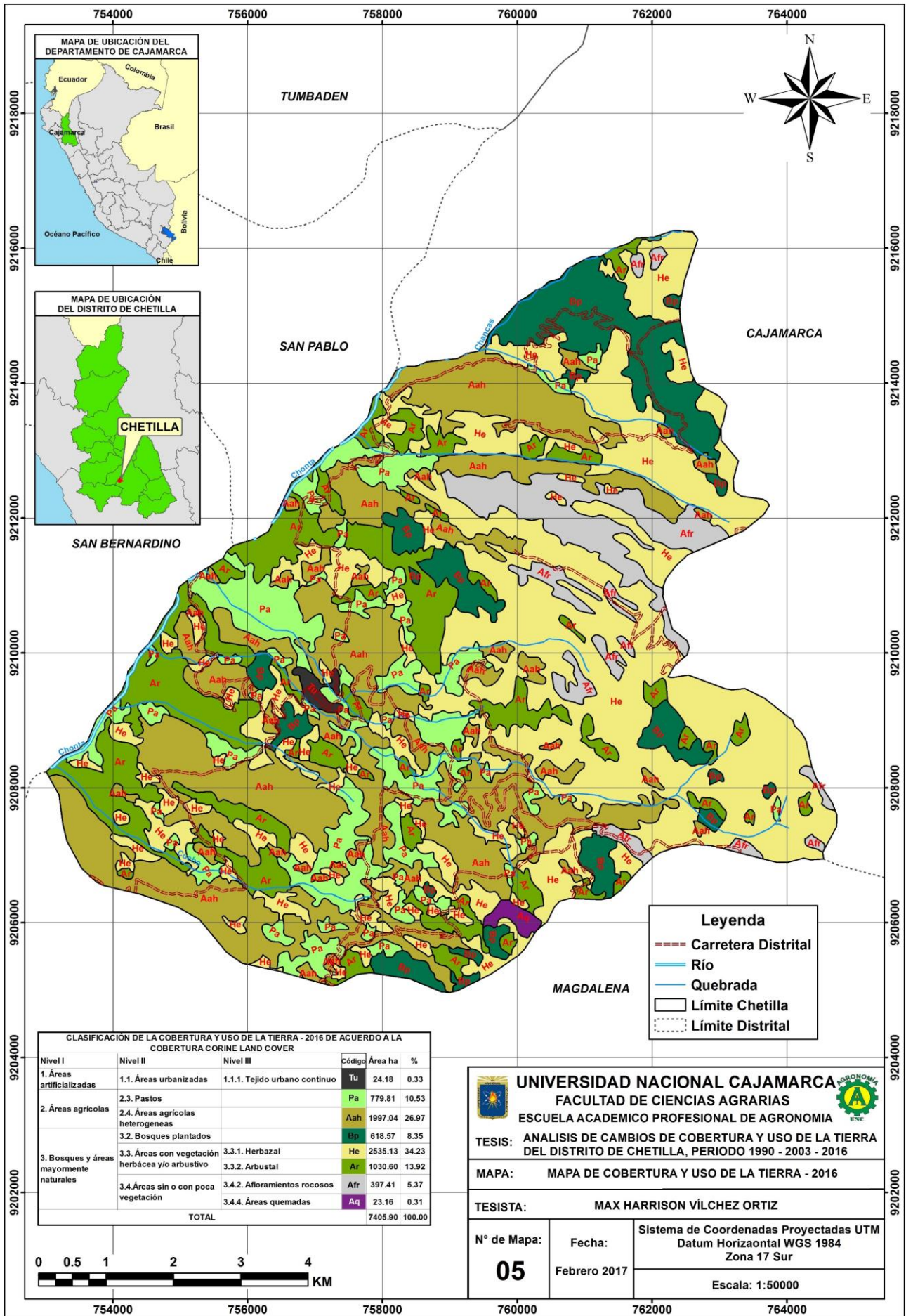
Figura N° 24: Verificando la cobertura herbazal y afloramiento rocoso



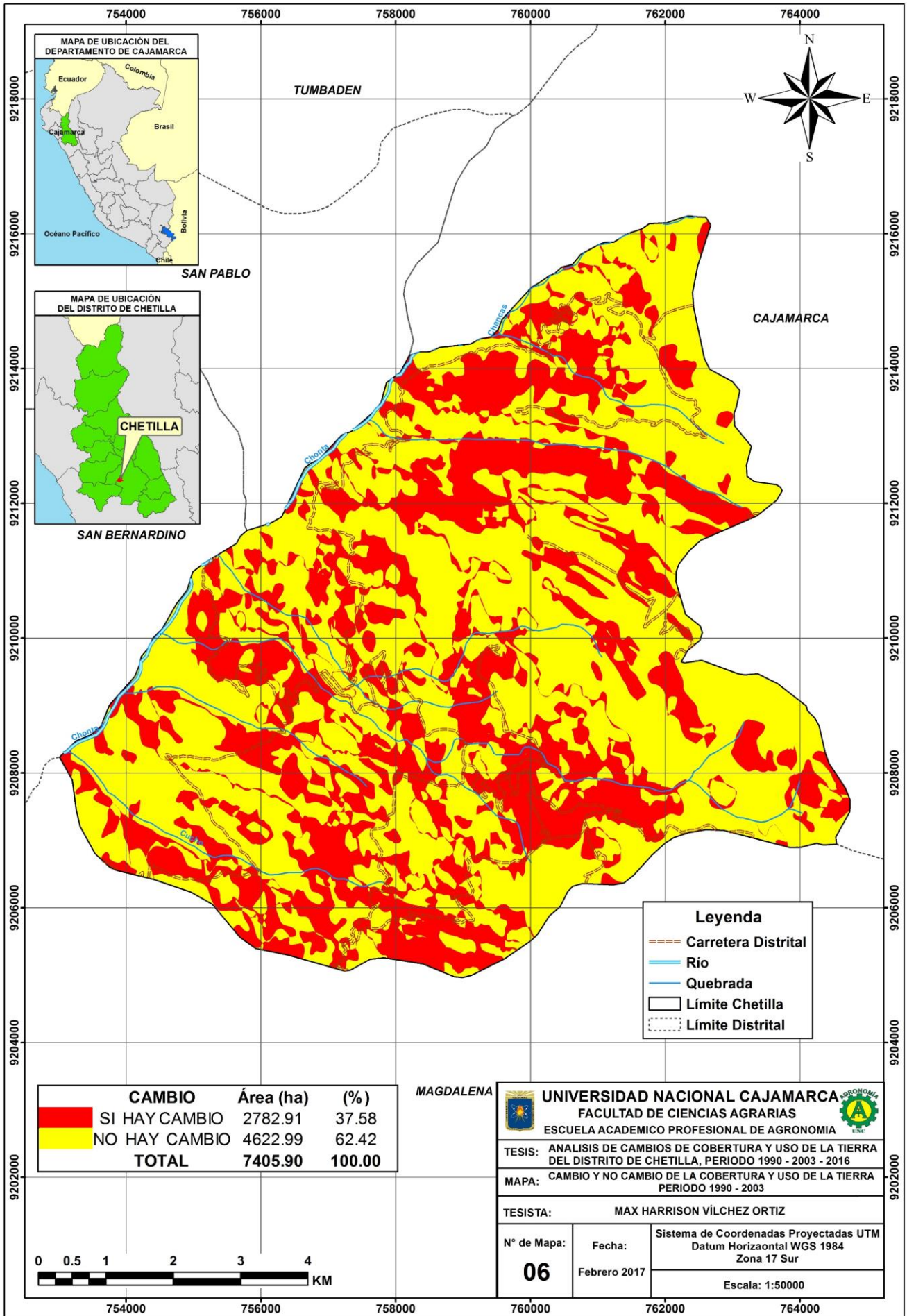
Mapa N° 03: cobertura y uso de la tierra 1990



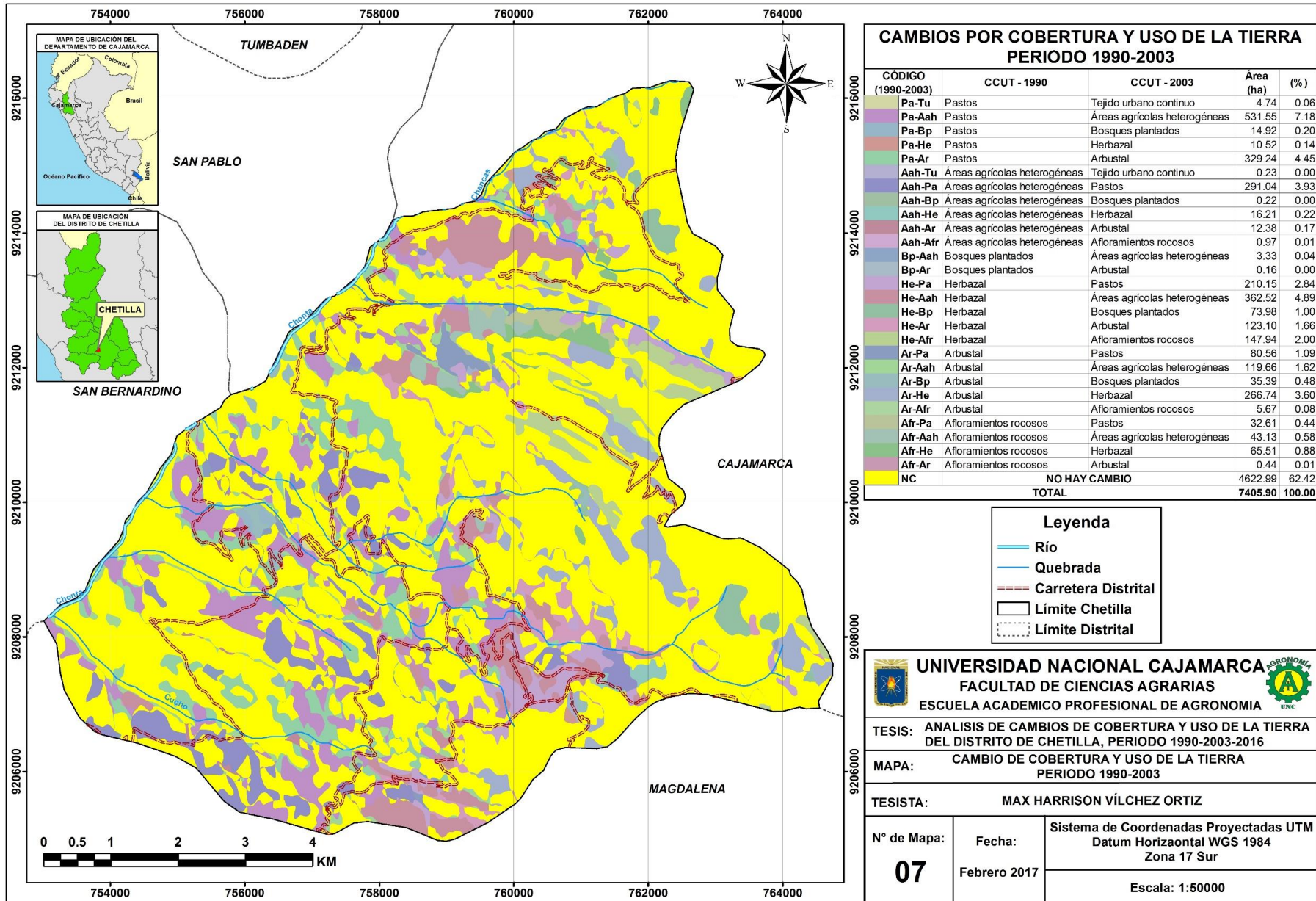
Mapa N° 04: cobertura y uso de la tierra 2003



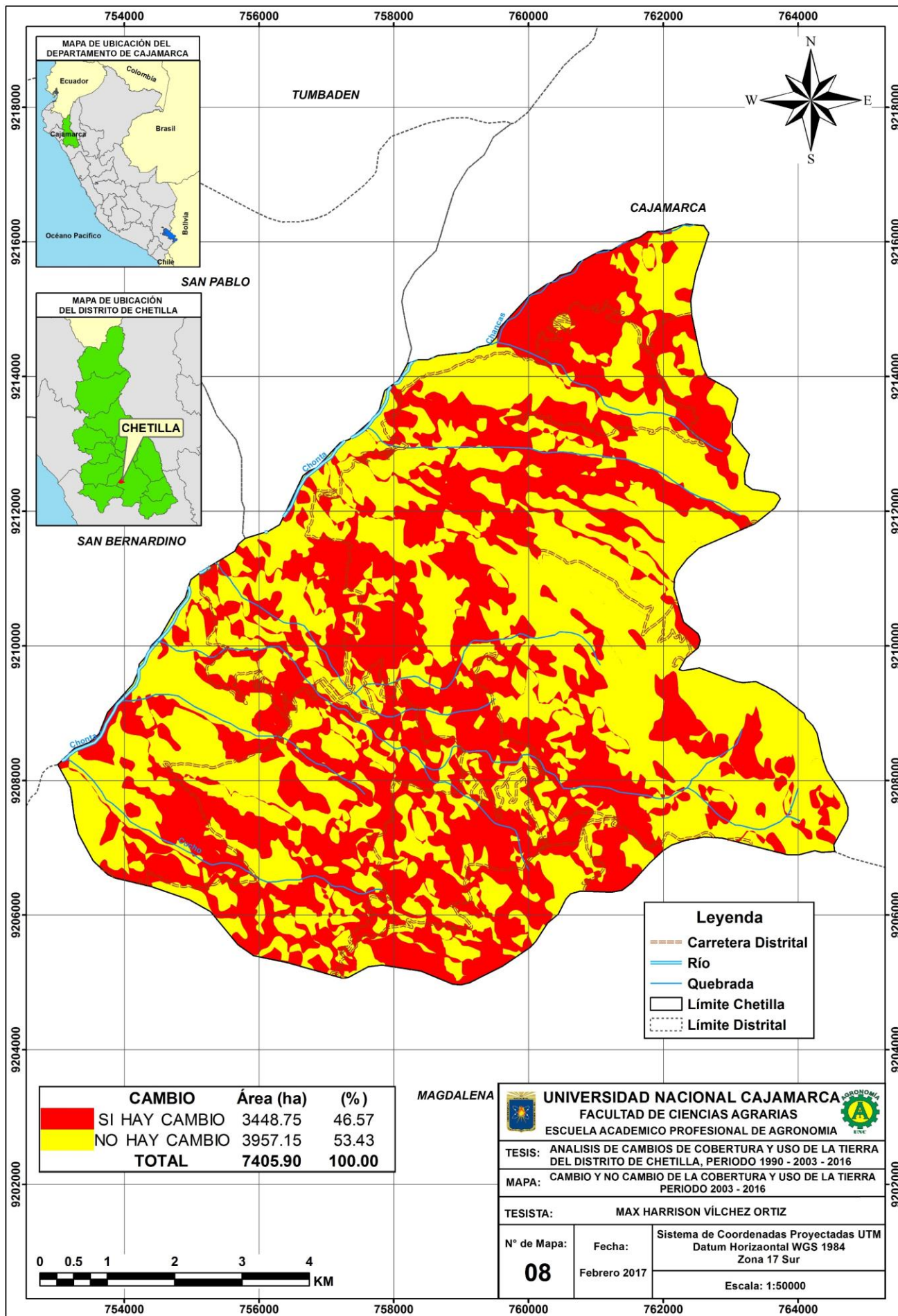
Mapa N° 05: cobertura y uso de la tierra 2016



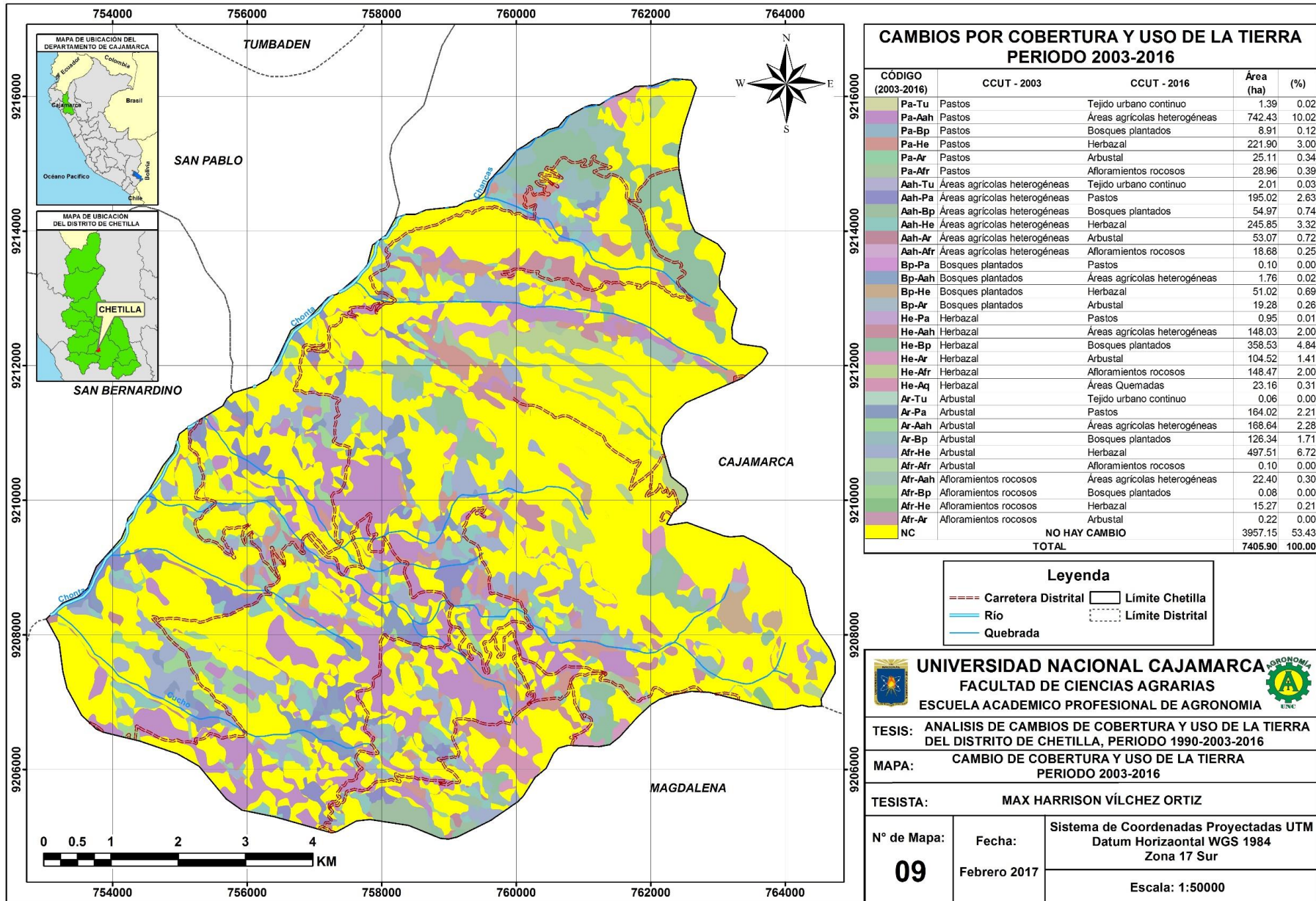
Mapa N° 06: cambio y no cambio de la cobertura y uso de la tierra periodo 1990-2003



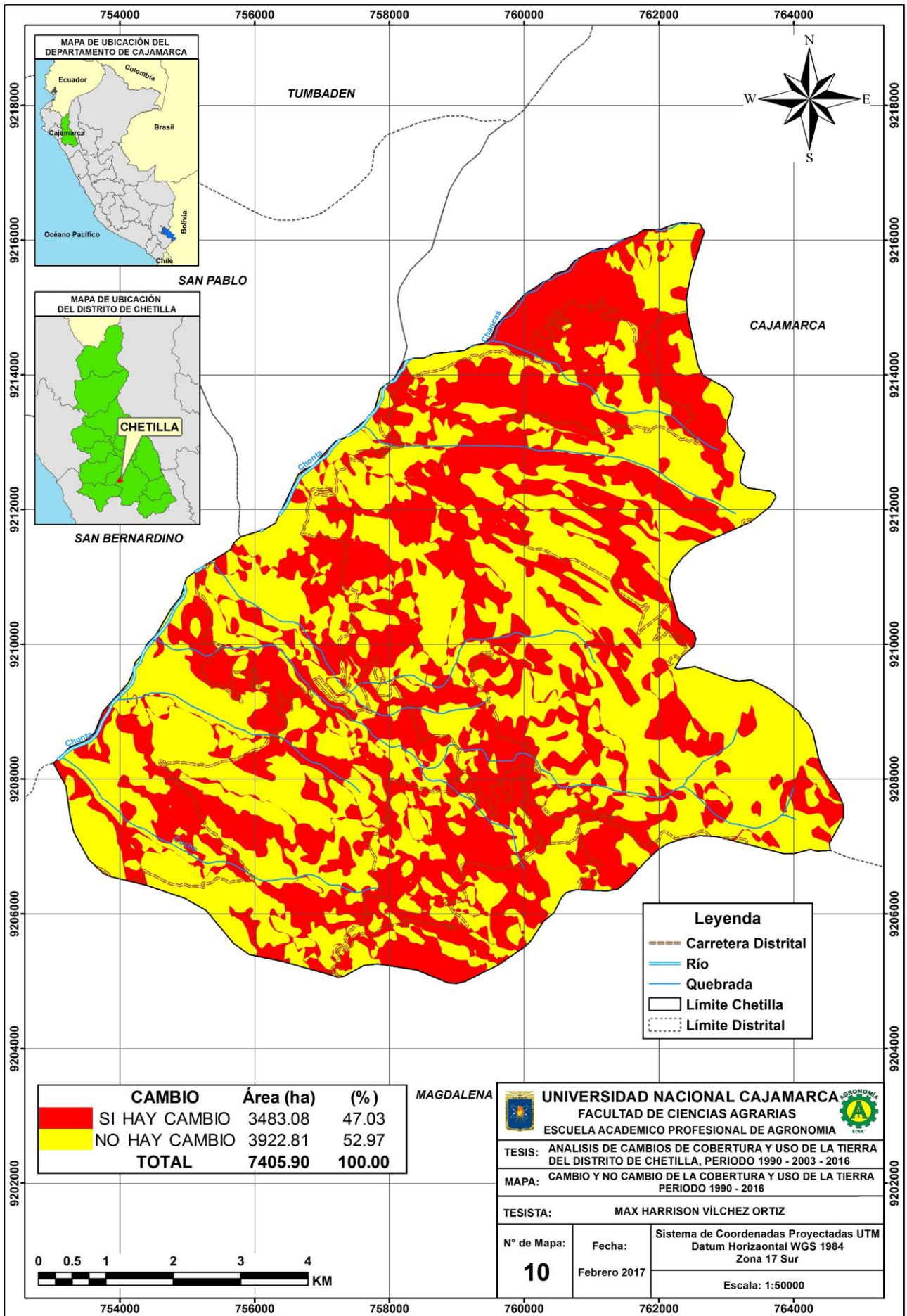
Mapa N° 07: Cambio de cobertura y uso de la tierra periodo 1990-2003



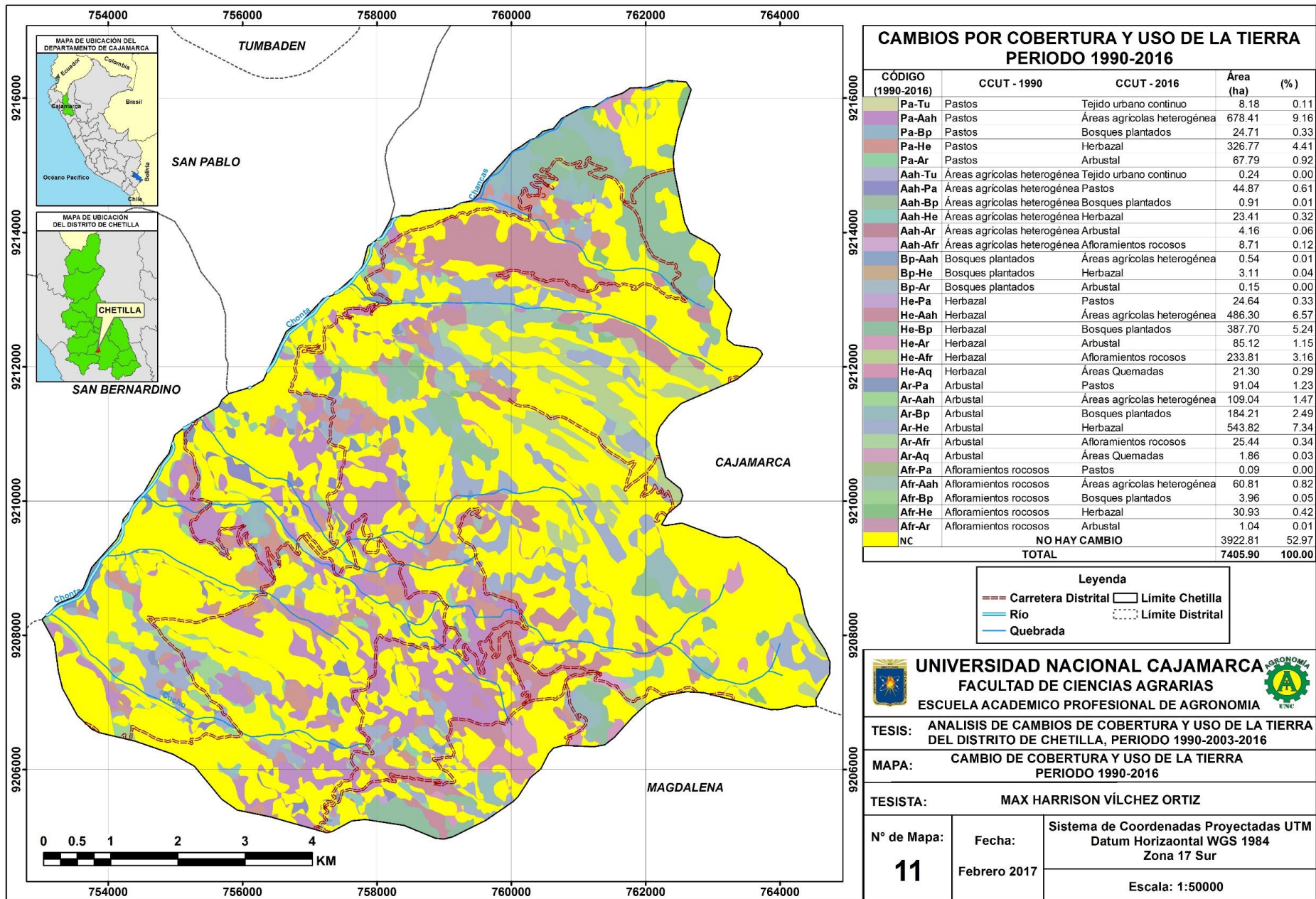
Mapa N° 08: cambio y no cambio de la cobertura y uso de la tierra periodo 2003-2016



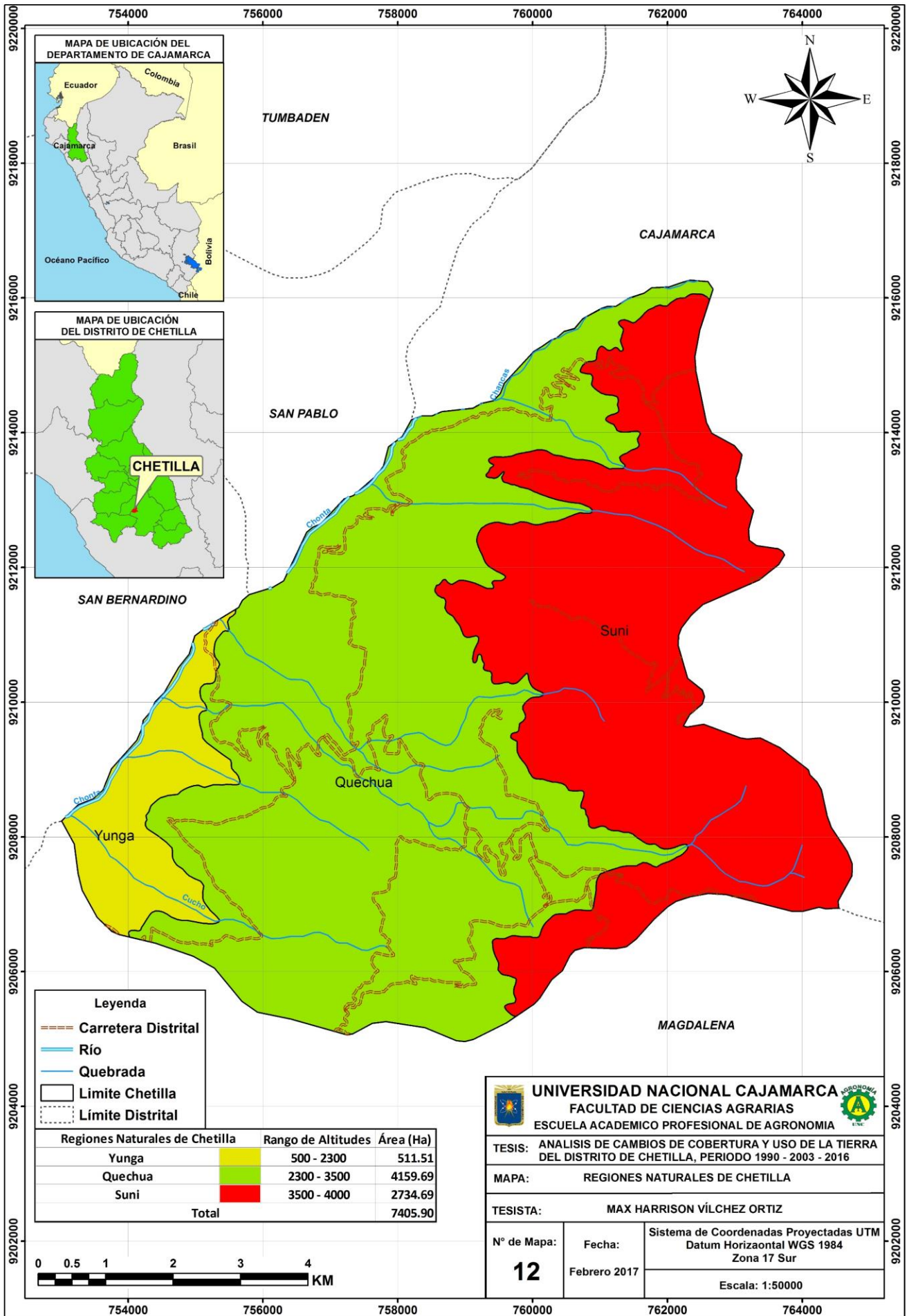
Mapa N° 09: Cambio de cobertura y uso de la tierra periodo 2003-2016



Mapa N° 10: cambio y no cambio de la cobertura y uso de la tierra periodo 1990-2016



Mapa N° 11: Cambio de cobertura y uso de la tierra periodo 1990-2016



Mapa N° 12: Regiones naturales de Chetilla