

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



**ANÁLISIS DE CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE LA
TIERRA CON IMÁGENES SATELITALES DEL DISTRITO LA
PECA PERÍODO 2003 - 2018**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO FORESTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
JUNIOR SÁNCHEZ PALOMINO**

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

JAEN - PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Fundada por Ley N° 14015 del 13 de Febrero de 1,962

"Norte de la Universidad Peruana"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL SECCIÓN JAÉN

Bolívar N° 1342 - Plaza de Armas - Telfs. 431907 - 431080
JAÉN - PERÚ

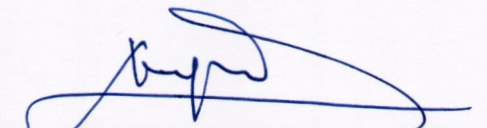


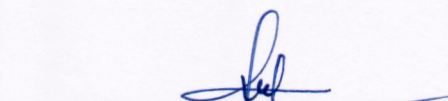
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

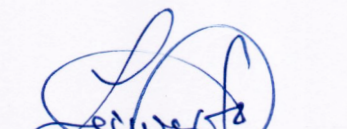
En la ciudad de Jaén, a los tres días del mes de Junio del año dos mil diecinueve, se reunieron en el Ambiente del Auditorio Auxiliar de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 622-2018-FCA-UNC, de fecha 12 de Diciembre de 2018, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado **"ANÁLISIS DE CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA CON IMÁGENES SATELITALES DEL DISTRITO LA PECA PERIODO 2013-2018"**, ejecutado por el Bachiller en Ciencias Forestales don **JUNIOR SÁNCHEZ PALOMINO**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

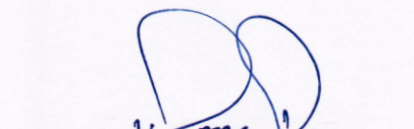
A las diez horas y treinta minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Terminado el acto de sustentación el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **QUINCE (15)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para que inicie los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las once horas y cuarenta y ocho minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.


Ing.M.Sc. Segundo M. Tafur Santillán
PRESIDENTE


Ing.M.Sc. Germán Pérez Hurtado
SECRETARIO


Ing. Leiver Flores Flores
VOCAL


Ing. M.Sc. Wilfredo Poma Rojas
ASESOR

DEDICATORIA

A mi padre

*Celestial porque sin el
no sería posible que haya
terminado este trabajo.*

*A mis padres: Esteban Sánchez Silva y
Neri Palomino Pérez por su apoyo,
paciencia y ejemplo de superación.*

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Cajamarca – Sede Jaén quienes fueron partícipes y forjadores en mi formación profesional.

A mi asesor Mg. Sc. Wilfredo Poma Rojas que con gran profesionalismo asesoró este proyecto de investigación.

Al Ing. Dennis Alvarino Cieza Tarrillo quien me apoyó incondicionalmente desde el inicio hasta la culminación de este proyecto.

A los integrantes del jurado de tesis: Mg. Sc. Segundo Tafur Santillán, Mg. Sc. German Pérez Hurtado, Ing. Leiwier Flores Flores. Cada uno realizó comentarios muy valiosos a versiones anteriores del presente trabajo.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN	11
II. REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1. Antecedentes de la investigación.....	13
2.2. Bases teóricas	16
2.2.1. Teledetección.....	16
2.2.2. Tierra.....	17
2.2.3. Factores que inciden en el cambio de uso actual de la tierra	17
a. Factores económicos y tecnológicos	17
b. Factores demográficos	18
c. Factores institucionales	18
d. Factores culturales	18
e. Globalización	18
2.2.4. Sistemas de información geográfica.....	19
2.2.5. Cobertura vegetal.....	19
a. Efecto de la cobertura vegetal	19
b. Dinámica o cambio de cobertura vegetal	19
c. Causas del cambio de cobertura vegetal	20
d. Consecuencias del cambio de cobertura vegetal	20
2.2.6. Análisis multitemporal de la cobertura y uso de la tierra	21
2.2.7. Sistemas de clasificación de cobertura de la tierra	21
a. Corine Land Cover adaptada para Perú	21
2.2.8. Las imágenes satelitales y su procesamiento.....	24
2.2.9. Interpretación de imágenes de satélite	24
2.2.10. Satélite Landsat	25
a. Aspectos técnicos de las imágenes Landsat.....	25
Landsat5.....	25
Landsat8.....	26
2.2.11. Resolución de un sensor	27
a. Resolución espacial.....	27
b. Resolución radiométrica	28
c. Resolución espectral	28
d. Resolución temporal	28
e. Resolución angular	29
2.2.12. Realce y mejoramiento visual de imagen satelital	29
2.2.13. Pre procesamiento de imágenes satelitales.	30
a. Correcciones geométricas – georreferenciación	30
b. Correcciones radiométricas	30
c. Correcciones atmosféricas	31
2.2.14. Combinación de bandas.....	31
2.2.15. Índice de vegetación de diferencia normalizada	32
2.2.16. Modelo de elevación digital	32
2.2.17. Random Forest	33

2.2.18. Índice kappa.....	33
2.2.19. Matriz de confusión	34
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1. Descripción de la zona de estudio	35
3.1.1. Ubicación de la investigación	35
3.1.2. Hidrografía de la zona de estudio	35
3.2. Materiales y equipos de campo	38
3.2.1. Materiales	38
3.2.2. Herramientas.....	38
3.2.3. Instrumentos y equipos	38
3.3. Materiales y equipos de gabinete	38
3.3.1. Materiales	38
3.3.2. Equipos	38
3.3.3. Material cartográfico.....	38
3.3.4. Software.....	38
3.4. Metodología.....	39
3.4.1. Fase inicial de gabinete.....	39
a. Recopilación, selección de información bibliográfica, cartográfica y elaboración de mapas base de los años 2003-2018.....	39
b. Etapa I.....	42
Áreas de referencia	42
Segmentación.....	42
Información complementaria.....	43
c. Etapa II	43
Selección de segmentos (áreas de entrenamiento)	43
Integración de información.....	43
d. Etapa III	44
Clasificación semi automatizada	44
Random forest	45
3.4.2. Fase de campo	45
a. Evaluación de la consistencia	45
3.4.3. Fase Final de gabinete	45
a. Edición vectorial	45
b. Generalización.....	45
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1. Categorías identificadas de cobertura y uso de la tierra bajo la clasificación de Corine Land Cover.....	46
4.1.1. Áreas artificializadas	47
a. Nivel II: Áreas urbanizadas	47
Nivel III: Tejido urbano continuo - Tu	47
4.1.2. Áreas agrícolas	47
a. Nivel II: Cultivos transitorios - Ct	47
b. Nivel II: Cultivos permanentes - Cp.....	48
c. Nivel II: Pastos - Pa	49
d. Nivel II: Áreas agrícolas heterogéneas	49
Nivel III: Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales - Mcpe	49
Nivel III: Mosaico de pastos y espacios naturales - Mpe	50
4.1.3. Bosques y áreas mayormente naturales	51

a.	Nivel II: Bosques.....	51
	Nivel III: 3.1.2. Bosque denso bajo - Bdb	51
	Nivel III: Bosque denso alto - Bda	52
b.	Nivel II: Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	52
	Nivel III: Herbazal	52
	Nivel III: Arbustal.....	53
	Nivel III: Herbazal-Arbustal	54
c.	Nivel II: Áreas sin o con poca vegetación	54
	Nivel III: Tierras desnudas	54
4.2.	Análisis de los cambios de cobertura y uso de la tierra, ocurridos en el periodo 2003 – 2018	55
4.2.1.	Cobertura y uso de la tierra, año 2003	55
	a. Matriz de confusión.....	55
	b. Índice Kappa.....	60
	c. Porcentaje correctamente clasificado	60
	d. Categorías encontradas en el año 2003	60
4.2.2.	Cobertura y uso de la tierra año 2018	64
	a. Matriz de confusión.....	64
	b. Índice Kappa.....	69
	c. Porcentaje correctamente clasificado	69
	d. Categorías encontradas en el año 2018	69
4.3.	Análisis de cambio y no cambio del uso de la tierra.....	73
4.3.1.	Cambio y no cambio del uso de la tierra periodo 2003 – 2018	73
4.4.	Análisis de transición de cobertura y uso de la tierra	77
4.4.1.	Análisis de cambio por cobertura	77
	a. Cambios de cobertura del periodo 2003 – 2018	77
4.5.	Discusión.....	82
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
5.1.	Conclusiones	85
5.2.	Recomendaciones	86
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
	ANEXO	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de ubicación del distrito La Peca	36
Figura 2. Mapa de hidrografía del distrito La Peca	37
Figura 3. Proceso de clasificación para la representación cartográfica	41
Figura 4. Tejido urbano continuo, distrito La Peca.....	47
Figura 5. Cultivos transitorios, <i>centro poblado</i> San Francisco.....	48
Figura 6. Cultivos permanentes, caserío Santa Rosa.....	48
Figura 7. Pastos, caserío Arenal.....	49
Figura 8. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, centro poblado Arrayan	50
Figura 9. Mosaico de pastos y espacios naturales, centro poblado San Francisco	51
Figura 10. Bosque denso bajo, caserío Paraíso	51
Figura 11. Bosque denso alto, caserío El Arenal	52
Figura 12. Herbazal, centro poblado Arrayan	53
Figura 13. Arbustal, centro poblado San Francisco.....	53
Figura 14. Herbazal - arbustal.....	54
Figura 15. Tierras desnudas.....	55
Figura 16. Distribución porcentual de cobertura año 2003.....	62
Figura 17. Mapa de cobertura y uso de la tierra, año 2003.....	63
Figura 18. Distribución porcentual de cobertura año 2018	71
Figura 19. Mapa de cobertura y uso de la tierra año 2018.....	72
Figura 20. Cambio y no cambio del uso de la tierra periodo 2003 – 2018.....	75
Figura 21. Mapa de cambio y no cambio distrito La Peca.....	76
Figura 22. Mapa de Cambio por cobertura	81
Figura 23. Selección de imagen para el área de estudio.....	94
Figura 24. Segmentación del área de estudio	94
Figura 25. Digitalización de áreas de entrenamiento	95
Figura 26. Aplicación del ModelBuilder para generar el SegSelec	95
Figura 27. Imagen SegSelec	96
Figura 28. Ejecución del scrip <code>recogiendoinformaster.r</code>	96
Figura 29. Ejecución del scrip <code>random forest</code>	97

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Corine Land Cover adaptada para Perú	22
Tabla 2. Características de Landsat5.....	26
Tabla 3. Características de Landsat8.....	27
Tabla 4. Escala de valores Índice Kappa	33
Tabla 5. Datos de las imágenes descargadas.....	40
Tabla 6. Datos de las imágenes descargadas.....	42
Tabla 7. Categorías del uso actual de la tierra identificadas en el distrito La Peca.....	46
Tabla 8. Matriz de confusión, año 2003.....	56
Tabla 9. Distribución porcentual de cobertura año 2003	61
Tabla 10. Matriz de confusión año 2018.....	65
Tabla 11. Categorías obtenidas para el año 2018.....	70
Tabla 12. Pérdida o ganancia de la cobertura y uso de la tierra, periodo 2003-2018.....	74
Tabla 13. Transición de la cobertura y uso de la tierra, periodo 2003 - 2018	79

RESUMEN

El análisis de los cambios de cobertura y uso de la tierra nos permite cuantificar el cambio de cobertura que hubo en un lapso de tiempo, para este trabajo de investigación se consideró el periodo 2003 – 2018. El propósito de este trabajo fue realizar el análisis cuantitativo y cualitativo de cambio y uso actual de la tierra en el distrito La Peca, provincia de Bagua y departamento de Amazonas, la clasificación se realizó con la Metodología Corine Land Cover (CLC) obtenida del Ministerio del Ambiente (MINAM). Se clasificó en un Nivel III en donde se obtuvieron las siguientes categorías: Tejido urbano continuo, Cultivos transitorios, Cultivos permanentes, Pastos, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, Mosaico de pastos con espacios naturales, Bosque denso bajo, Bosque denso alto, Herbazal, Arbustal, Herbazal-Arbustal y Tierras desnudas. Para el año 2003, la categoría predominante fue Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales con 5423.77 ha, equivalente al 39.24 % del área total y con menor área, la categoría Tejido urbano continuo con 85.02 ha equivalente al 0.62 %, para el año 2018 la categoría predominante fue Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales con 5497.31 ha, equivalente al 39.77 % y la categoría con menor área fue Herbazal con una área de 24.14 ha equivalente al 0.17 %.

Palabras clave: Uso de la tierra, Random Forest, Imágenes satelitales, categorías, cobertura.

ABSTRACT

The analysis of the changes in coverage and land use allows us to quantify the change in coverage that was in a lapse of time, for this research work was considered the period 2003 – 2018, the purpose of this work was to carry out the quantitative analysis and Qualitative change and current land use in the Freckle district, the classification was carried out with the methodology Corine Land Cover (CLC) obtained from the Ministry of the Environment (MINAM), classify at a level III where the following categories were obtained: Continuous urban fabric, transient crops, permanent crops, pastures, crop mosaic, pastures and natural spaces, pasture mosaic with natural spaces, dense forest low, dense forest high, Herbazal, bushland, Herbazal-bushland and land Naked. Where for the year 2003 the predominant category was mosaic of crops, pastures and natural spaces with 5423.77 has equivalent to 39.24 % of the total area and with lower area the category continuous urban fabric with 85.02 has equivalent to 0.62 %, for the year 2018 the category Predominant was mosaic of crops, pastures and natural spaces with 5497.31 has equivalent to 39.77 % and the category with lower area was Herbazal with an area of 24.14 has equivalent to 0.17 %.

Key words: Land use, Ramdom Forest, satellite images, categories, coverage.

I. INTRODUCCIÓN

La dinámica de cambio depende del tipo de cobertura, de las interacciones ecológicas, del ambiente físico, de las actividades socioeconómicas y del contexto cultural. Otro factor es el proceso de crecimiento de las ciudades que avanzan principalmente por zonas naturales que prestan importantes servicios ambientales.

Acuña (2012), la cobertura y uso actual de la tierra, se expresa mediante la descripción de las diferentes formas de vegetación y uso de la tierra, con la finalidad de dar a conocer los diferentes tipos de uso en una época determinada; y la forma como se ha desarrollado la utilización de sus recursos, sin tomar en consideración su potencial o uso futuro.

Peralvo (2014), las dinámicas de cambio de cobertura y uso de la tierra (CCUT) son un componente importante de los procesos de cambio ambiental. En este contexto, se vuelve fundamental contar con plataformas robustas de monitoreo de dinámicas de CCUT que permitan generar información de calidad, de forma consistente en el tiempo. Esta información es un soporte clave para procesos de toma de decisiones de uso de los recursos naturales.

Alcántara (2014), en Cajamarca, hace aproximadamente cincuenta años las sociedades humanas han prosperado utilizando la potencialidad de los recursos naturales, con suelos todavía fértiles, con una cubierta vegetal densa y diversa que cumplía funciones importantes en el ecosistema como el de regulación del clima, infiltración del agua de escorrentía a través del perfil del suelo propiciando la presencia de manantiales de agua limpia, protección del suelo, refugio de vida silvestre, etc.; sin embargo, con el transcurrir de los años, estas sociedades humanas en el afán de subsistir ocasionaron pérdidas de la calidad ecológica de los ecosistemas, básicamente destruyendo la cobertura vegetal para transformarlos en tierras agrícolas, ocasionando cambios inadecuados en el uso de la tierra; no existiendo actualmente estudios específicos relacionados con este tema, dificultando toda actividad vinculada con la gestión y planificación del uso de los recursos naturales.

El objetivo general del presente trabajo de investigación es analizar los cambios de cobertura y uso de la tierra del distrito La Peca, provincia Bagua, Amazonas en los años 2003 – 2018. Los objetivos específicos son:

- Generar el mapa de cobertura y uso actual de la tierra del distrito La Peca periodos 2003 - 2018 utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud.
- Elaborar el mapa temático de cobertura y uso actual de la tierra del distrito La Peca años 2003 - 2018 utilizando la metodología Corine Land Cover.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Najera-Gonzales et al. (2010), analizaron el cambio de cobertura y uso del suelo, en el estado de Nayarit, la cuenca del río Mololoa en México, En este trabajo se analizan los cambios de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, entre 1995 y 2005, a partir de la interpretación de ortofotos digitales y manejo de la información en un SIG. Los resultados muestran que el paisaje de la cuenca está dominado en 83.01 % por la vegetación natural y tierras de cultivo. La dinámica de cambio está centrada en los tipos de cobertura “vegetación natural” y “construcciones”, la primera disminuye a una tasa de 41.67 ha/año, y la segunda, aumenta 74.86 ha/año. La tasa de deforestación de los bosques y selvas de la región fue de 0.1 y 0.36 %, menor a las reportadas por diferentes autores a nivel nacional y estatal.

Hernández (2012), analizó los cambios ocurridos en la cobertura vegetal del Municipio del distrito Central en Honduras, mediante análisis multitemporal de las dinámicas de cambio sobre la cobertura de la tierra durante un intervalo de tiempo de 18.22 años. Utilizando dos imágenes satelitales TM y ETM+, años 1987 y 2006 obtenidas por los sensores Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+, para interpretación y clasificación digital no supervisada de la cobertura del suelo e identificar las principales coberturas del suelo existentes en ambos años, logrando clasificar en siete clases para dos bosques de coníferas, bosque mixto y matorrales. La cobertura no vegetal hace referencia a las clases: suelo desnudo, cuerpos de agua y urbano.

Ruíz et al. (2013), evaluaron el cambio de uso del suelo en el Paisaje Terrestre Miraflor Moropotente, Nicaragua en el período 1993-2011, a través de imágenes satelitales, a fin de determinar el estado de fragmentación del paisaje. Los cambios de usos de suelo fueron derivados de la clasificación de tres imágenes Landsat TM, con una resolución espacial de 30 metros tomadas en febrero de 1993, abril de 2000 y enero 2011. Se realizó una verificación en campo para la identificación de coberturas de suelo y la corroboración en las imágenes satelitales. La fragmentación se realizó con el

cálculo de métricas e índices de fragmentación a nivel del paisaje. Los principales resultados muestran que los cambios de uso de suelo están determinados por la degradación antrópica, principalmente en la conversión de la vegetación nativa a espacios agrícolas y la expansión de la ganadería. El crecimiento demográfico y los monocultivos van ejerciendo presión sobre el bosque, transformando zonas de vocación forestal a cultivos agrícolas. Los cambios de cobertura han significado un paisaje fragmentado con diferentes grados de perturbación, que conllevan a una disminución de la superficie de hábitats naturales, reducción del tamaño de los fragmentos y aislamientos de los mismos.

Cabana (2016), analizó los cambios de la cobertura vegetal de la Municipalidad distrital de Paratia en la región Puno, por medio de imágenes satelitales LANDSAT 5 y LANDSAT 8 de los años 1988 y 2016, clasificando las imágenes satelitales Landsat 5 y 8 de 1988 y 2016 con énfasis en la cobertura vegetal del Municipio del Distrito Paratia, analizando la detección de cambios a partir de la clasificación de las imágenes satelitales, mediante análisis estadístico y multitemporal e identificar y cuantificar las zonas donde ocurrió la pérdida de cobertura vegetal y el crecimiento urbanístico.

Zorogastúa et al. (2011), realizaron el estudio del bosque seco localizado en la región Piura, Perú con el objetivo de evaluar el cambio de la cobertura y el uso de la tierra. Se utilizó el procesamiento digital de imágenes del satélite LANDSAT 5 registradas entre 1999 y el 2001, a través de una clasificación supervisada, usando el algoritmo de máxima verosimilitud. Los resultados se compararon con el mapa de bosques secos elaborado por INRENA con interpretación visual de imágenes LANDSAT 5 registradas entre 1986 y 1994. Las imágenes de 1999 y 2001 fueron clasificadas con un acierto del 89 % y al compararlas con la clasificación de INRENA, permitieron evaluar la dinámica espacio temporal de los bosques secos, cuantificando los retrocesos y mejoras de los mismos. El 38 % del área del bosque seco permaneció sin variación, mientras que 13 % mejoró su condición y el otro 23 % tiende a la reducción de su cobertura. El procesamiento digital de

imágenes de satélite permite agilizar el proceso y ser más precisos que la interpretación visual utilizada en el estudio de línea de base del INRENA.

Cieza (2017), analizó el cambio de cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales del distrito de Matará de la región Cajamarca en el periodo 1991, 2003, 2016; para lo cual realizó el análisis cuantitativo y cualitativo de cambio y uso actual de la tierra en el distrito de Matará, la clasificación se realizó con la Metodología Corine Land Cover (CLC) obtenida del Ministerio del Ambiente (MINAM), se clasificó en un Nivel III de la Metodología Corine Land Cover en donde se obtuvieron las siguientes categorías: Tejido urbano continuo, Arbustal, Herbazal, Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes, cultivos transitorios y pastos. En donde para el año 1991 la categoría predominante fue Cultivos transitorios con una área de 2334.07 ha equivalente al 40.30 % del área total y con menor área la categoría Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes con una área de 2.88 ha equivalente al 0.05 %, en el año 2003 la categoría predominante fue Cultivos transitorios con una área de 2639.64 ha equivalente al 45.58 % y con menos área a la categoría Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes con una área de 3.14 ha equivalente al 0.05 %, para el año 2016 la categoría predominante fue Cultivos transitorios con una área de 3023.15 ha equivalente al 52.21 % y la categoría con menor área fue Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes con una área de 4.73 ha equivalente al 0.08 %.

Saldaña (2010), muestra información procesada en la determinación del cambio de cobertura vegetal en el Área de Conservación Municipal "Bosques de Huamantanga" utilizando imágenes del satélite, donde se tuvo como área de evaluación una superficie total de 12,236.83 has y el área de estudio está ubicada en la región Cajamarca, provincia de Jaén, distrito de Jaén. Se usaron dos periodos comparativos, un primer periodo para los años 1989 al 2000 y un segundo periodo para los años 2000 al 2006, determinándose que un 75% de las áreas cambiaron de uso de los suelos con el paso de los años, mientras que el otro 25 % se mantuvo intacto.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Teledetección

El vocablo teledetección deriva del francés “teledetection”, traducida en 1967 al término anglosajón “remote sensing” o percepción remota. Definir el concepto de teledetección no es sencillo ya que no existe una definición única, universalmente aceptada. En su más amplio sentido se entiende por teledetección o percepción remota “la adquisición de información sobre un objeto a distancia, esto es sin que exista contacto material entre el objeto o sistema observado y el observador”. Esta definición incluye el caso más simple de teledetección que sería cuando nos asomamos a una ventana o cuando leemos un libro el ojo humano puede considerarse un sensor que obtiene información del entorno, pero también abarca otras técnicas de exploración como el sonar, la ecografía o el aeromagnetismo. La teledetección parte del principio de la existencia de una perturbación (energía electromagnética, campos gravitacionales, ondas sísmicas) que el sistema observado produce en el medio, la cual es registrada por el sistema receptor para, posteriormente, ser interpretada (Sobrino 1989).

La teledetección es una técnica aplicada, y como tal muy dependiente del estado de desarrollo tecnológico existente en cada momento. Por cuanto que en ella se conjugan aspectos muy variados-ópticos y detectores del sensor, vehículo que lo sustenta, sistema de transmisión, equipos de tratamiento, etcétera, las formas de teledetección han variado ostensiblemente en las últimas décadas. El crecimiento ha sido realmente vertiginoso, facilitando una progresión muy notable, tanto en la capacidad, como en la variedad y calidad de la información disponible para campos científicos muy variados (Chuvienco 2002).

2.2.2. Tierra

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. (Butler et al. 1990).

El uso de la tierra se caracteriza por los arreglos, las actividades y los insumos de la población para producir, cambiar o mantener un cierto tipo de cobertura de la tierra; definición que lleva a entender el vínculo directo entre la cobertura de la tierra y las acciones de la población en su ambiente; además afirman que la cobertura de la tierra es la que se observa (bio) físicamente sobre la superficie terrestre (Di Gregorio y Jansen 1998).

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

Lambin et al. (2001), indican que a nivel mundial existen cinco factores que inciden fuertemente en los cambios que se experimentan en la cobertura vegetal:

a. Factores económicos y tecnológicos

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

b. Factores demográficos

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

c. Factores institucionales

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

d. Factores culturales

Este es un factor muchas veces intangible, que no es tomado en cuenta, sin embargo, una población cuenta con: motivaciones, memorias colectivas, historias personales, actitudes, valores, creencias y percepciones individuales y colectivas.

e. Globalización

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

2.2.4. Sistemas de información geográfica

Estos se definen como “el conjunto de procesamientos, equipos y programas de computación utilizados para la recolección, pre-procesamiento, almacenamiento, y análisis de datos geográficamente referenciados” (Ortiz 2001). En un contexto más amplio estos son asumidos como sistemas automatizados para el manejo de datos geográficos para un propósito especial en donde el principal medio de referencia es un sistema de coordenadas (Pérez 1997).

2.2.5. Cobertura vegetal

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

a. Efecto de la cobertura vegetal

La vegetación actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmosfera y el suelo. Los componentes aéreos, como hojas tallos, absorben parte de la energía de las gotas de lluvia, del agua en movimiento y del viento, de que su efecto es menor que si actúan directamente sobre el suelo; mientras que los componentes subterráneos, como sistemas radiculares, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo (Morgan & López 1997).

b. Dinámica o cambio de cobertura vegetal

Malleux (2002), indica que el uso de tierra es caracterizado por los arreglos o acomodaciones, actividades y contribuciones hechas

por la población en un cierto tipo de cobertura de la tierra, para producir, cambiar o mantenerlo, por lo tanto, el uso de la tierra en esta forma establece una vinculación directa entre cobertura y entre acciones del hombre en su medioambiente.

El cambio de uso de los suelos se relaciona con la pérdida de biodiversidad, la disminución del hábitat de especies, el cambio climático global y el desarrollo sustentable (Woodwell et al. 1983), además de tener implicaciones económicas y sociales a diferentes escalas (Robbins et al. 1989).

c. Causas del cambio de cobertura vegetal

Entre las causas o los factores que ocasionan los cambios en la cobertura vegetal, es posible identificar dos tipos de factores: Las causas directas, son aquellas actividades humanas que hacen uso del suelo, cambiando o manteniendo sus atributos. Entre estas causas podemos citar: la agricultura, la ganadería, la deforestación y la minería; y las causas indirectas, que están normalmente asociadas con las causas directas, y en la mayoría de las veces se encuentran directamente detrás de ellas. Entre estas causas podemos citar: los derechos de propiedad y estructuras de poder, la densidad poblacional y nivel de desarrollo social y económico, la tecnología, las fluctuaciones del mercado y las políticas gubernamentales (Cárdenas 2005).

d. Consecuencias del cambio de cobertura vegetal

La transformación del paisaje, como consecuencia de las actividades humanas, es un proceso que no solo tiene impactos locales, sino que es uno de los factores más importantes del cambio ambiental global (Turner II 2001).

Los cambios en la cobertura de vegetación tienen consecuencias sobre la erosión de los suelos, los procesos hidrológicos y el

movimiento de nutrientes en las cuencas, la pérdida del hábitat y biodiversidad, las emisiones de carbono y otros gases de efecto invernadero, y en general, sobre la sustentabilidad de la capacidad productiva del territorio (Murdiyarso & Wasrin 1995).

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

Los resultados obtenidos de la clasificación supervisada permiten generar el análisis correspondiente a las variaciones en el tiempo de las coberturas o categorías definidas. Es decir, a partir de las clasificaciones generadas para cada periodo se calcula la diferencia píxel a píxel, para evaluar los cambios significativos en el tiempo (Mendoza 2011).

2.2.7. Sistemas de clasificación de cobertura de la tierra

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

a. Corine Land Cover adaptada para Perú

La leyenda fue desarrollada siguiendo los acuerdos regionales vinculados a trabajar con el esquema Corine Land Cover (IDEAM 2010). Este esquema ha sido adaptado para Colombia, y da un arco de comparabilidad internacional. Corine Land Cover (CLC) es una metodología para la construcción de mapas de cobertura y uso de la tierra. Emplea una leyenda jerárquica, que vincula distintos niveles de detalle espacial con distintos niveles de detalle temático (Disponible en <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>).

El MINAM en cumplimiento a sus funciones y competencias asignadas en materia de Ordenamiento Territorial, emitió la Resolución Ministerial N° 135-2013-MINAM, que aprueba la Guía Metodológica para la elaboración de los Instrumentos Técnicos Sustentatorios para el Ordenamiento Territorial. En esta guía se menciona al Estudio de análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra, y a la actualidad vienen elaborando las guías de procedimiento metodológico que incluirá el uso de Corine Land Cover (Disponible en http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA0JZZX.pdf). Información que se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Corine Land Cover adaptada para Perú

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

3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque bajo denso
		3.1.2. Bosque abierto bajo
		3.1.3. Bosque denso alto
		3.1.4. Bosque abierto alto
		3.1.5. Bosque fragmentado
	3.2. Bosques Plantados	
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.3.1. Herbazal
		3.3.2. Arbustal
		3.3.3. Vegetación secundaria o en transición
		3.3.4. Vegetación arbustiva/herbácea
		3.3.5. Arbustal/área intervenida
		3.3.6. Herbazal / área intervenida
		3.3.7. Arbustal - herbazal / área intervenida
	3.4. Áreas sin o con capa vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales
		3.4.2. Afloramientos rocosos
		3.4.3. tierras desnudas
		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 AguaF	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: MINAM 2014

2.2.8. Las imágenes satelitales y su procesamiento

Las imágenes obtenidas por los satélites de teledetección ofrecen una perspectiva única de la tierra, sus recursos y el impacto que sobre ella ejercen los seres humanos. La teledetección por satélite ha demostrado ser una fuente rentable de valiosa información para numerosas aplicaciones, entre las que cabe citar la planificación urbana, vigilancia del medio ambiente, gestión de cultivos, prospección petrolífera, exploración minera, desarrollo de mercados, localización de bienes raíces y muchas otras. Ofrecen una visión global de objetos y detalles de la superficie terrestre y facilitan la comprensión de las relaciones entre ellos que pueden no verse claramente cuando se observan a ras de tierra. El carácter "remote" de la teledetección proporciona una visión parcial del globo desde un lugar específico. Las imágenes de satélite muestran, literalmente, mucho más de lo que el ojo humano puede observar, al desvelar detalles ocultos que de otra forma estarían fuera de su alcance (SRGIS 2005).

Varela (1994,) citado por Lozano (2006), señala que la utilización de imágenes de satélite para el levantamiento de información relacionada con el uso actual de la tierra y cobertura natural, resulta una herramienta valiosa, al permitir manejar una gran cantidad de datos digitales del área que se está estudiando, así como también permite realizar interpretaciones rápidas y análisis integrado del medio ambiente, difíciles de abordar por otra herramienta convencional.

2.2.9. Interpretación de imágenes de satélite

Lillesand & Kiefer (2003), manifiestan que las imágenes de satélite pueden interpretarse mediante un análisis visual o en forma digital. Las técnicas de interpretación visual sirven para evaluar cualitativamente patrones espectrales en la imagen, diferenciando tonalidades, texturas, formas y otras características. Esta técnica

tiene desventajas, pues ciertas características espectrales, no son siempre evaluadas, ya que el ojo humano tiene una capacitación limitada para discernir tonalidades similares en la imagen.

Por otro lado, el análisis digital se aplica cuando los patrones espectrales contienen mucha información. El procesamiento digital de imágenes comprende la manipulación y clasificación de imágenes en forma digital, con ayuda de un computador. Esta forma de teledetección empezó en la década de 1960, pero no fue hasta el lanzamiento del LANDSAT 1 en 1972 que los datos digitales se encuentran ampliamente disponibles para el estudio de los recursos naturales (Eastman 1999).

2.2.10. Satélite Landsat

Los Landsat son una serie de satélites construidos y puestos en órbita por EE. UU. Para la observación en alta resolución de la superficie terrestre. Los Landsat orbitan alrededor de la Tierra en órbita circular heliosincrónica, a 705 km de altura, con una inclinación de 98. 2º respecto del Ecuador y un período de 99 minutos. La órbita de los satélites está diseñada de tal modo que cada vez que éstos cruzan el Ecuador de Norte a Sur lo hacen entre las 10:00 y las 10:15 de la mañana hora local. (Disponible en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/ImgSatelite/Landsat.aspx>)

a. Aspectos técnicos de las imágenes Landsat

Landsat5

Opera simultáneamente en siete bandas espectrales, siendo tres en el visible, una en el infrarrojo cercano, dos en el infrarrojo medio y una en el infrarrojo termal (Tabla 2). Tiene una resolución espacial de 30 metros en las bandas del visible e infrarrojo medio y 120 metros en la banda del infrarrojo termal. La escena terrestre

registrada por este sensor es de 185 km (Disponible en http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos_tecnicos_de_imagenes_landsat.pdf)

Tabla 2. Características de Landsat5

Banda	longitud de onda (micrómetros)	Resolución espacial (m)
Banda 1 azul:	0.45- 0.52	30
Banda 2 verde	0.52 – 0.60	30
Banda 3 roja	0.63 – 0.69	30
Banda 4 infrarrojo cercano	1: 0.76 – 0.90	30
Banda 5 infrarrojo cercano	2: 1.55 – 1.75	30
Banda 7 infrarrojo medio	2.08 – 2.35	30
Banda 6 infrarojo térmico	10.4 – 12.5	120

Fuente: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos_tecnicos_de_imagenes_landsat.pdf

Landsat8

Las imágenes Landsat8 obtenidas por el sensor (OLI) y (TIRS) constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. Una banda nueva (1) (azul- profundo) es útil para estudios costeros y aerosoles. La nueva banda (9) es útil para la detección de cirrus. La resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros (Tabla 3). Dos bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución. El tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km) (Ariza 2013).

Tabla 3. Características de Landsat8

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

Fuente: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/mgsatelite/doc/aspectos_tecnicos_de_imagenes_landsat.pdf

2.2.11. Resolución de un sensor

Mientras que en otros tipos de sistemas cartográficos estamos acostumbrados a relacionar de forma exclusiva resolución y precisión geométrica, en los sistemas sensores de Teledetección se habla de cinco resoluciones distintas. Gracias a ellas pueden evaluarse rangos de precisión referentes a distintos conceptos de suma importancia para el análisis de las imágenes espaciales. Dichas resoluciones son: espacial, radiométrica, espectral, temporal y angular (Pérez et al. 1992).

a. Resolución espacial

Este concepto describe la capacidad del sistema para distinguir objetos en función de su tamaño. Dicho de otro modo, la resolución espacial suele interpretarse como el tamaño del objeto

más pequeño que puede ser distinguido en una imagen: tamaño del píxel sobre el terreno (Pérez et al. 1992).

b. Resolución radiométrica

Indica la capacidad del sensor para discriminar niveles o intensidades de radiancia. La energía electromagnética recibida por el sensor, cuando se convierte a nivel digital, necesita un formato binario (número de bits) para codificarse. A mayor número de bits reservados para almacenar el valor de la reflectividad de un píxel, mayor resolución radiométrica. De este modo el sensor TM de LANDSAT tiene una resolución radiométrica de 8 bits con lo que pueden registrarse valores decimales equivalentes en un rango de 0 a 255, es decir 256 (Pérez, et al. 1992).

c. Resolución espectral

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. En este sentido, un sensor tendrá una resolución espectral más grande cuanto mayor sea el número de bandas proporcione. A la vez conviene que estas bandas sean suficientemente estrechas con objeto de recoger el serial sobre regiones coherentes del espectro. Bandas muy amplias suponen registrar un valor promedio que puede encubrir la diferenciación espectral entre cubiertas de interés (Pérez et al. 1992).

d. Resolución temporal

Mide el tiempo de paso del satélite sobre el mismo punto. Con ello se determina la periodicidad de adquisición de imágenes de una misma zona. De este modo podemos cuantificar la capacidad que tiene un sistema sensor para registrar los cambios temporales acaecidos sobre una determinada cubierta, lo cual es de vital importancia a la hora de abordar estudios evolutivos. La

resolución temporal está condicionada por el tipo de órbita, el ángulo de barrido y la velocidad del satélite (Pérez et al. 1992).

e. Resolución angular

Por ella se entiende la capacidad que tiene un sensor para tomar imágenes oblicuas. Esta propiedad permite no solamente acortar los ciclos temporales de recubrimiento, sino que posibilita la generación de imágenes estereoscópicas y por tanto la reconstrucción del relieve. En un análisis conjunto de las diferentes resoluciones de los satélites llegaríamos a la conclusión de que un satélite no es mejor ni peor que otro debido a su resolución. Cada misión espacial ha concebido unos sensores adaptados a unos determinados usos y eso es lo importante (Pérez et al. 1992).

2.2.12. Realce y mejoramiento visual de imagen satelital

Las primeras manipulaciones que han de llevarse a cabo tienen como finalidad restaurar la imagen restableciendo, en la medida de lo posible, las condiciones de la toma. Ello implica el desarrollo de dos tipos de correcciones: unas de índole geométrica y otras de carácter radiométrico (Pérez et al. 1992).

Las correcciones geométricas tienen como finalidad reconstruir la geometría de la imagen, adaptándola a una determinada Proyección cartográfica y a su sistema de coordenadas asociado. Para denominar este tipo de operaciones se ha consolidado el nombre de georreferenciación. Los procedimientos matemáticos que resuelven este problema y las metodologías usadas para su implementación mediante algoritmos en las aplicaciones informáticas de Teledetección son muy variados (Pérez et al. 1992).

2.2.13. Pre procesamiento de imágenes satelitales.

El pre procesamiento de las imágenes, consiste en hacer las correcciones de las imágenes, con el fin de eliminar cualquier anomalía detectada en la imagen, ya sea en su localización o radiometría de los píxeles que la componen. Cualquier imagen adquirida por un sensor remoto, presenta una serie de alteraciones radiométricas y geométricas debidas a muy variados factores, en el caso concreto de las imágenes espaciales (Chuvieco 2008).

a. Correcciones geométricas – georreferenciación

La corrección geométrica es la modificación de la geometría de la imagen respecto de la geometría de la superficie terrestre. La georreferenciación es su adaptación a un sistema geodésico de referencia (por ejemplo, ED50 o ETRF 89) y una proyección geográfica determinada (ejemplo la UTM Universal Transversal Mercator). Los procedimientos matemáticos que resuelven este problema y las metodologías usadas para su implementación, mediante algoritmos en las aplicaciones informáticas de teledetección son muy variados (Pérez 1997).

b. Correcciones radiométricas

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

comparación de diferentes escenas en estudios temporales (APN SIB 2005) y cuando se deriven índices a partir de bandas ubicadas en diferentes regiones del espectro electromagnético.

c. Correcciones atmosféricas

Los procedimientos para abordar las correcciones atmosféricas con exactitud son muy laboriosos y requieren datos sobre las condiciones de la atmósfera en el momento de tomar la imagen, que no suelen estar disponibles. Además, el efecto de la atmósfera no es constante en la imagen, algunas zonas pueden estar afectadas más que otras, en función de la diversa presencia de aerosoles o vapor de agua (Chuvienco 2002).

2.2.14. Combinación de bandas

Las imágenes de satélite se distribuyen en bandas espectrales separadas, las cuales se pueden combinar para crear otras imágenes. Para realizar este procedimiento, los programas de interpretación de imágenes traen comandos especiales que permiten combinar bandas y asignar a cada una un color de visualización específico. La combinación de las bandas espectrales correspondientes al azul, verde y rojo permiten preparar una imagen en color verdadero, la cual es semejante a una fotografía aérea en colores. En el caso de las imágenes Landsat5 para construir esta imagen se combinan las bandas 1-2-3 y se asigna a cada banda su correspondiente color; esto es, azul, verde y rojo, respectivamente (Orozco et al. 2002).

En una imagen de falso color no se sigue este patrón, sino que los colores azul, verde y rojo se asignan a diferentes bandas espectrales. Una imagen de falso color muy utilizada en interpretación de imágenes de satélite se obtiene al combinar las bandas Landsat8 2-3-4. y asignando a cada una un color. El color azul se asigna a la banda 2 (la que registra la radiación verde), el

color verde a la banda 3 (la que registra la radiación roja), y el color rojo a la banda espectral 4 (la que registra la radiación infrarroja cercana). El resultado es una imagen de falso color, en donde la vegetación en áreas boscosas se verá de color rojo intenso, dado que la vegetación activa refleja una gran proporción de la radiación infrarroja cercana incidente, y en donde la vegetación bajo estrés (por enfermedad o sequía) se verá de color amarillo claro. Asimismo, los ríos de agua limpia se verán negros, y los ríos con alto contenido de sedimentos se verán de color azul. Finalmente, en esta imagen los terrenos sin cobertura vegetal se verán de color gris-azulado, mientras que los pastos y terrenos con cultivos agrícolas se mostrarán de color rojo claro (Orozco et al. 2002).

2.2.15. Índice de vegetación de diferencia normalizada

El Índice de vegetación de diferencia normalizada, también conocido como NDVI por sus siglas en inglés, es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición, por medio de sensores remotos instalados comúnmente desde una plataforma espacial, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja (Orozco et al. 2002).

2.2.16. Modelo de elevación digital

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

2.2.17. Random Forest

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

2.2.18. Índice kappa

El Índice Kappa de Cohen, es una medida estadística que ajusta el efecto del azar en la proporción de la concordancia observada para elementos cualitativos (variables categóricas) (Tabla 4). En general se cree que es una medida más robusta que el simple cálculo del porcentaje de concordancia, ya que Kappa tiene en cuenta el acuerdo que ocurre por azar (Carletta 1996).

Tabla 4. Escala de valores Índice Kappa

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

Fuente: Cohen, 1960

2.2.19. Matriz de confusión

La matriz, de confusión es una tabla en la que se contabilizan los píxeles de cada clase (reconocida en la imagen) que han sido clasificados dentro de su propia clase o en otra diferente. La matriz tiene tantas filas y columnas como clases se hayan definido en la escena y las celdas de esa matriz contienen el número de píxeles que, siendo de una clase, dada por la fila (según el conocimiento a priori de la zona de estudio o según comprobaciones hechas a posteriori), han sido clasificados como otra clase, dada por la columna. La clasificación perfecta sería una matriz en la que el 100 % de los píxeles clasificados estuviesen contabilizados en las celdas de la diagonal de esa matriz; en ese caso, todos los píxeles estarían correctamente clasificados (Rodríguez 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de estudio

3.1.1. Ubicación de la investigación

El presente estudio de investigación, se realizó en el distrito La Peca, provincia de Bagua y departamento de Amazonas. Limita al norte con el distrito de Aramango, al sur y este limita con el distrito de Copallín, y al oeste con los distritos de El Parco y Bagua. Geográficamente la zona de estudio se ubica en la Red Hidrográfica del Alto Marañón, entre las coordenadas 773650 y 792156 m Este y entre 9389550 y 9371684 m Norte, los límites altitudinales oscilan entre 520 y 1840 m s.n.m., tiene una extensión de 13822.87 ha (Figura 1).

3.1.2. Hidrografía de la zona de estudio

La hidrografía del distrito La Peca, está conformada por quebradas pequeñas en las cuales la que más resalta es la Quebrada Honda, el resto son afluente de las quebradas Jalun Caspi, La Peca, Limón Yacu y Espital (Figura 2).

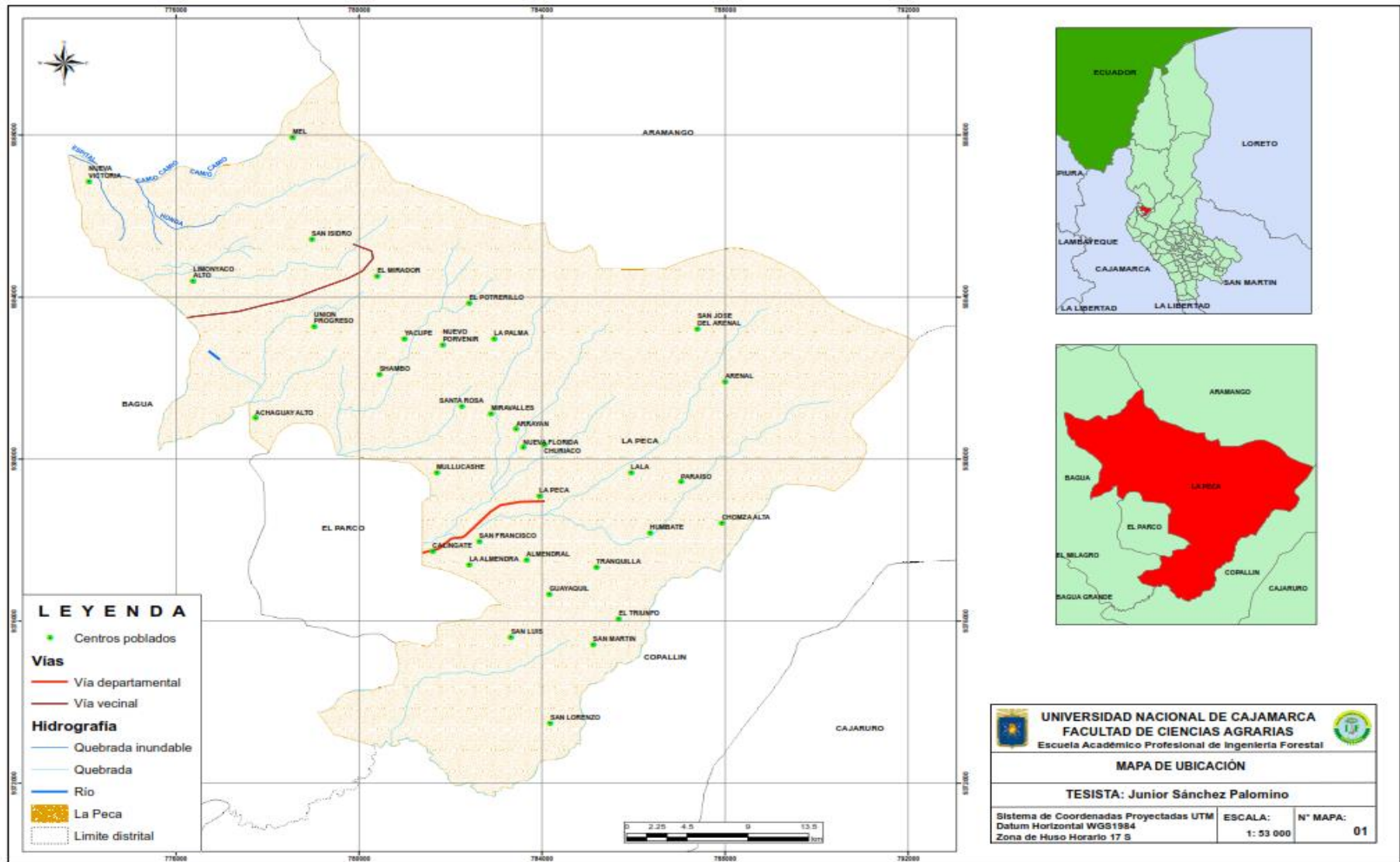


Figura 1. Mapa de ubicación del distrito La Peca

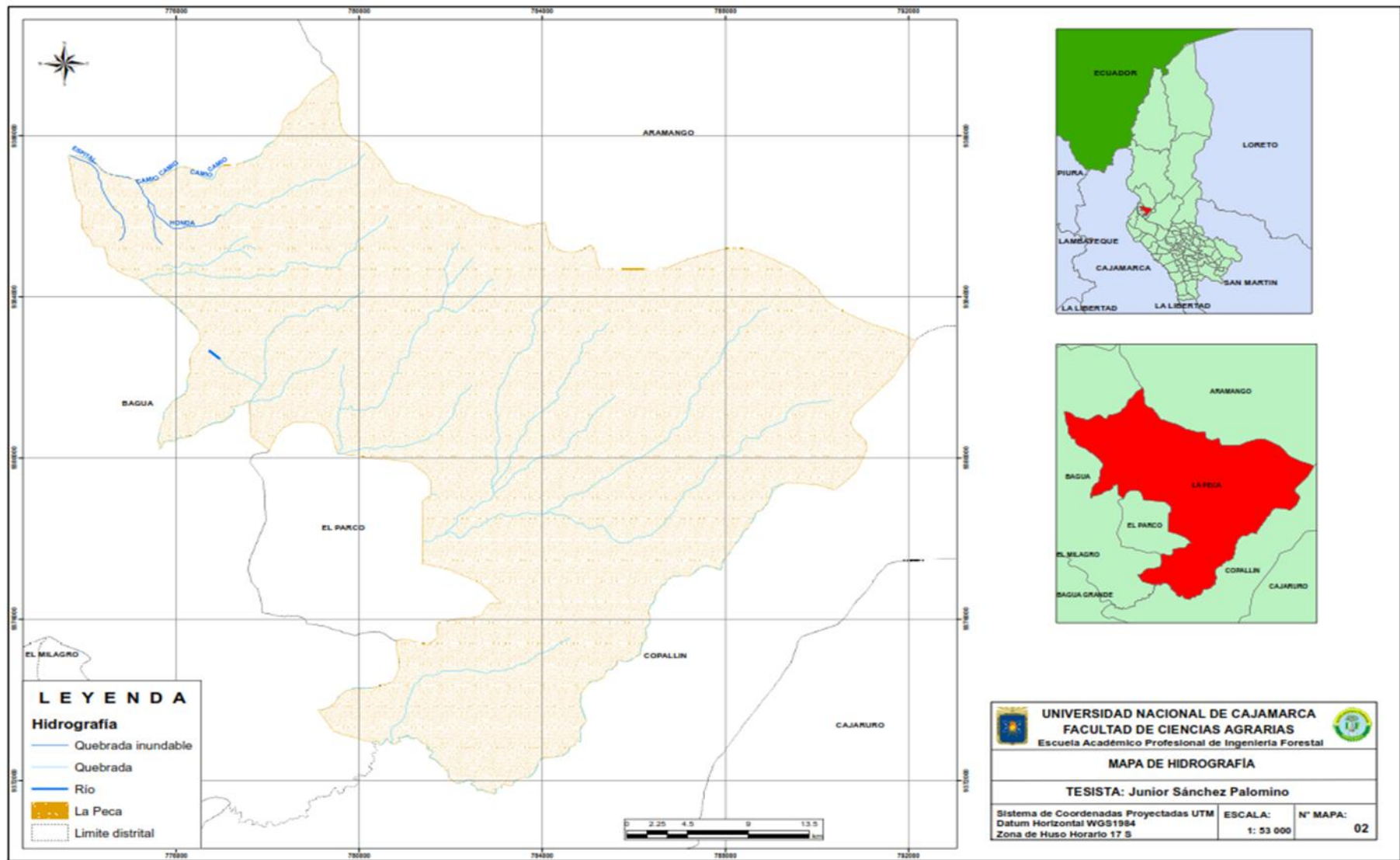


Figura 2. Mapa de hidrografía del distrito La Peca

3.2. Materiales y equipos de campo

3.2.1. Materiales

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

3.2.2. Herramientas

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

3.2.3. Instrumentos y equipos

Sistema de posicionamiento global-GPS, binoculares de largo alcance, cámara fotográfica digital semi profesional.

3.3. Materiales y equipos de gabinete

3.3.1. Materiales

Papel bond A4 de 80 gramos, lapiceros y lápices.

3.3.2. Equipos

Laptop, impresora y escáner.

3.3.3. Material cartográfico

Carta nacional del Perú escala 1: 100 000, shapefile del distrito obtenido del gobierno regional de Cajamarca, base de datos de la oficina de la ZEE Cajamarca.

3.3.4. Software

Microsoft Windows 10, Microsoft office 2019, ArcGis 10.5.1. Envi 5.3. RGui 3.15.

3.4. Metodología

El análisis de los cambios de cobertura y uso de la tierra, periodos 2003-2018, se realizó en el ámbito del distrito La Peca, provincia de Bagua y departamento de Amazonas. La metodología estuvo basada en la obtención de imágenes satelitales de Landsat5 y Landsat8, luego se trabajó en cinco etapas de clasificación como se describe en la figura 3, la clasificación se hará con la leyenda Corine Land Cover – CLC en un nivel III, desarrollado por el Ministerio del Ambiente (MINAM).

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

3.4.1. Fase inicial de gabinete

a. Recopilación, selección de información bibliográfica, cartográfica y elaboración de mapas base de los años 2003-2018

Consistió en la recopilación y análisis del mayor número de información relacionada con el uso de la tierra en el distrito La Peca

Instituciones visitadas

Gobierno Regional de Cajamarca – Sub gerencia de acondicionamiento territorial, Autoridad Nacional del Agua (ANA), Ministerio del Ambiente – MINAM, del cual se obtuvo información temática y cartográfica.

Información bibliográfica

Documento especializado de cambios y usos de la tierra 2014 del Gobierno Regional de Cajamarca.

Descarga del modelo de elevación digital DEM

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

Selección y descarga de imágenes Landsat

Las Imágenes Landsat del distrito La Peca, estas fueron adquiridas del servidor de www.glovis.usgs.gov vía internet lo cual constituyó la base para el análisis de los cambios de cobertura y uso actual de la tierra, cuyas especificaciones son las siguientes:

Tabla 5. Datos de las imágenes descargadas

Imagen	Año	Bandas	Fecha
LT05L1TP00906420030721	2003	321	21/07/2003
LC08L1TP00906420180930	2018	432	30/09/2018

Corrección atmosférica de las imágenes descargadas

La corrección atmosférica se realizó con el software Erdas 201, en donde se corrigió el ángulo de toma de imagen.

En la fase inicial se trabajó en las etapas I, II y III de la Figura 3, como se detalla a continuación:

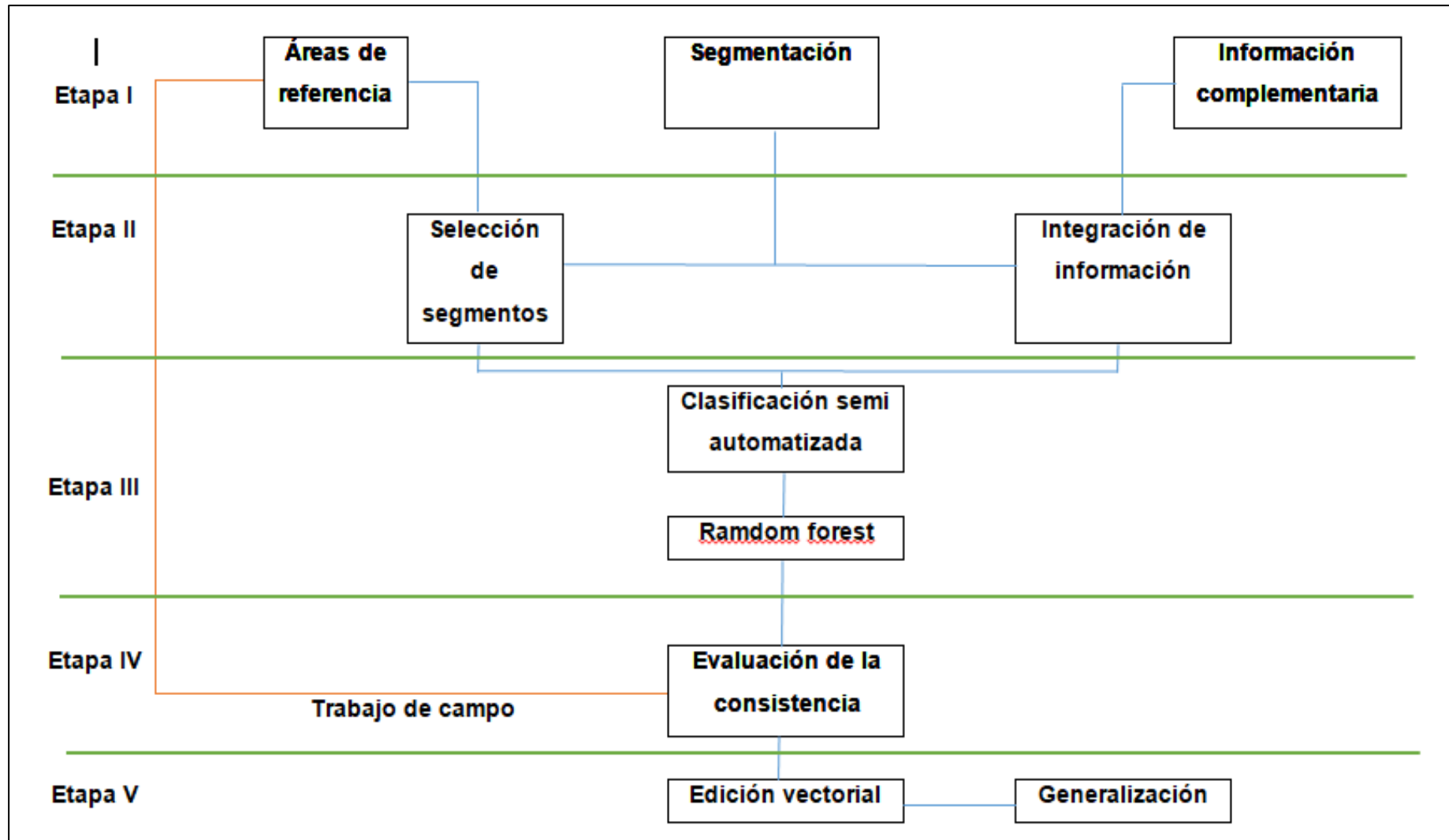


Figura 3. Proceso de clasificación para la representación cartográfica
Fuente: MINAM, 2014

b. Etapa I

Áreas de referencia

Se creó un shapefile en el software ArcGIS de forma geométrica (polígono) para poder delimitar el área de trabajo y posteriormente cortar las imágenes de Landsat5 y Landsat8 obteniendo como resultado un archivo con formato raster.

Segmentación

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

Escale:

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

Merge:

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

Tabla 6. Datos de las imágenes descargadas

Segmentación	Landsat5	Landsat8
Escale	30	35
Merge	30	40

Información complementaria

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

c. Etapa II

Selección de segmentos (áreas de entrenamiento)

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

Integración de información

La información complementaria se obtuvo con el software RGui 3.15 y el algoritmo “recogiendoInfoRaster” obtenido del Ministerio del Ambiente, consiste en unir la información obtenida del Modelo de Elevación Digital (DEM) y las imágenes satelitales como son:

Brightness

Archivos en formato ráster que contiene datos sobre índice de brillo generado a partir de las imágenes satelitales de Landsat5 y Landsat8.

Greenness

Archivos en formato ráster que contiene datos sobre índice de verdor generado a partir de las imágenes satelitales de Landsat5 y Landsat8.

Slope

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

Curvatura

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

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

d. Etapa III

Clasificación semi automatizada

La clasificación semi automatizada se obtuvo con el software RGui 3.15 y el algoritmo “filtrar. tabla. todo.rf.2” obtenido del Ministerio del Ambiente, consiste en procesar los archivos “Todo seg, aeita_1, y el archivo obtenido de la información complementaria”, en donde se obtiene un mapa preliminar de las coberturas en un formato ráster.

Random forest

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

3.4.2. Fase de campo

En esta fase se trabajó la etapa IV del esquema del proceso de clasificación para la representación cartográfica (Figura 4).

a. Evaluación de la consistencia

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

3.4.3. Fase Final de gabinete

En esta fase se trabajó la etapa IV del esquema del proceso de clasificación para la representación cartográfica (Figura 4).

a. Edición vectorial

Procesamiento que consistió en efectuar mediante el programa ArcGIS 10.5.1 sobre las imágenes satelitales, todos los ajustes espaciales corregidos a nivel de campo.

b. Generalización

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

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

Del análisis de las 2 imágenes utilizadas para la presente investigación, se obtuvieron 12 categorías, las cuales han sido clasificadas en el Nivel III de Corine Land Cover adaptada para Perú. Cada una de estas categorías sirvió para el análisis cuantitativo y cualitativo (análisis multi temporal) en el distrito La Peca. A continuación, se muestra las categorías obtenidas de la clasificación (Tabla 7).

Tabla 7. Categorías del uso actual de la tierra identificadas en el distrito La Peca

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área		
				ha	%	
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	Tu	101.26	0.73	
2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios		Ct	513.53	3.72	
	2.2. Cultivos permanentes		Cp	398.82	2.89	
	2.3. Pastos		Pa	36.03	0.26	
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		Mcpe	5497.31	39.77
		2.4.5. Mosaico de pastos con espacios naturales		Mpe	2373.72	17.17
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo	Bdb	522.02	3.78	
		3.1.3. Bosque denso alto	Bda	1346.94	9.74	
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1. Herbazal	He	24.14	0.17	
		3.3.2. Arbustal	Ar	1105.16	8.00	
		3.3.7. Herbazal - Arbustal	He-Ar	1400.56	10.13	
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.3. Tierras desnudas	Td	503.40	3.64	

4.1.1. Áreas artificializadas

a. Nivel II: Áreas urbanizadas

Nivel III: Tejido urbano continuo - Tu

Las áreas urbanizadas incluyen los espacios cubiertos por infraestructura urbana y todas aquellas áreas verdes y redes de comunicación asociadas con ellas, que configuran un tejido urbano continuo (Figura 4).



Figura 4. Tejido urbano continuo, distrito La Peca

4.1.2. Áreas agrícolas

a. Nivel II: Cultivos transitorios - Ct

Tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo. Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es generalmente corto (hasta 2 años), llegando incluso a ser de sólo unos pocos meses, como por ejemplo maíz. En el distrito La Peca se pueden encontrar los siguientes cultivos maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*) (Figura 5)



Figura 5. Cultivos transitorios, centro poblado San Francisco

b. Nivel II: Cultivos permanentes - Cp

Comprende los territorios dedicados a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a dos años, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar; en el distrito de La Peca se pueden encontrar los siguientes cultivos café (*Coffea arabica*), cacao, (*Theobroma cacao*), naranja (*Citrus sinensis*), plátano (*Musa paradisiaca*) (Figura 6).



Figura 6. Cultivos permanentes, caserío Santa Rosa.

c. Nivel II: Pastos - Pa

Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dedicadas a pastoreo permanente por un período de dos o más años. Algunas de las categorías definidas pueden presentar anegamientos temporales o permanentes cuando están ubicadas en zonas bajas o en depresiones del terreno. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje de su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas principalmente, mekerón (*Setaria sphacelata*) (Figura 7).



Figura 7. Pastos, caserío El Arenal

d. Nivel II: Áreas agrícolas heterogéneas

Nivel III: Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales - Mcpe

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. Las especies encontradas en pastos fueron el

pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), brizanta (*Brachiaria brizantha*), paja chilena (*Panicum maximum*) y cultivos como yuca (*Manihot esculenta*), maíz (*Zea mays*) (Figura 8).



Figura 8. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, centro poblado Arrayan

Nivel III: Mosaico de pastos y espacios naturales - Mpe

Constituida por las superficies ocupadas principalmente por coberturas de pastos en combinación con espacios naturales. En esta unidad, el patrón de distribución de las zonas de pastos y de espacios naturales no puede ser representado individualmente (Figura 9).



Figura 9. Mosaico de pastos y espacios naturales, San Francisco

4.1.3. Bosques y áreas mayormente naturales

a. Nivel II: Bosques

Nivel III: 3.1.2. Bosque denso bajo - Bdb

Se considera bosque abierto bajo a los árboles con altura mayor a 5m, cobertura mayor a 10 %, umbral entre denso y abierto con una aproximación de 70 % de cobertura. Las principales especies encontradas fueron iguaguana (*Cordia iguaguana*), laurel (*Cordia alliodora*) (Figura 10).



Figura 10. Bosque denso bajo, caserío Paraíso

Nivel III: Bosque denso alto - Bda

Corresponde a vegetación de tipo arbóreo caracterizada por un estrato más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más del 70 % del área total de la unidad, con altura del dosel superior a 15 metros y que se encuentra localizada en zonas que no presentan procesos de inundación periódicos en el distrito de La Peca se encontró higuierón (*Ficus luschnathiana*), michino, (*Manilkara bidentata*), cedrillo (*Vochysia vismiifolia*), cedro (*Cedrella odorata*) (Figura 11).



Figura 11. Bosque denso alto, caserío El Arenal

b. Nivel II: Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo

Nivel III: 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 o abierta. En el distrito de La Peca se encontró las especies de herbazal como son *Schizachyrium sanguineum*, *Baccharis hutchisonii* (Figura 12).



Figura 12. Herbazal, centro poblado Arrayán

Nivel III: 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. En el distrito de La Peca se encontró arbustales como *Pappobolus mathewissi*, *Croton sp.*, güitite (*Acnistus arborescens*) (Figura 13).



Figura 13. Arbustal, centro poblado San Francisco

Nivel III: Herbazal-Arbustal

Comprende los territorios cubiertos por una mezcla de vegetación arbustiva y herbácea, desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos (Figura 14).



Figura 14. Herbazal - arbustal

c. Nivel II: Áreas sin o con poca vegetación

Nivel III: Tierras desnudas

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 (Figura 15).



Figura 15. Tierras desnudas

4.2. Análisis de los cambios de cobertura y uso de la tierra, ocurridos en el periodo 2003 – 2018

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

4.2.1. Cobertura y uso de la tierra, año 2003

a. Matriz de confusión

Se realizó la matriz de confusión para el año 2003 en dicha matriz se obtuvo la Fiabilidad del productor y la Fiabilidad del usuario como se muestra a continuación (Tabla 8).

Tabla 8. Matriz de confusión, año 2003

Categorías asignadas en la imagen													
Resultados de la clasificación	Ar	Bda	Bdb	Cp	Ct	He	He-Ar	Mpce	Mpe	Tu	Td	Total	F. usuario %
Ar	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	100.00
Bda	0	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	13	92.31
Bdb	0	1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	12	91.67
Cp	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	14	100.00
Ct	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	15	100.00
He	1	0	0	0	0	10	1	0	0	0	0	12	83.33
He-Ar	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	10	100.00
Mpce	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	9	100.00
Mpe	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	11	100.00
Tu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	13	100.00
Td	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	13	14	92.86
Total	10	13	12	14	15	10	11	9	11	14	13	132	96.38
F. Productor %	90.00	92.31	91.67	100.00	100.00	100.00	90.91	100.00	100.00	92.86	100.00		

En la tabla 8, en las filas se muestra la fiabilidad de las áreas de entrenamiento digitalizadas por el usuario:

En la primera fila se digitalizaron 9 áreas de entrenamiento que pertenecen a Arbustal (Ar), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la segunda fila se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a Bosque denso alto (Bda), de las cuales 12 se clasificaron correctamente y 1 fue confundida con Bosque denso bajo (Bdb). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 92.31 %.

En la tercera fila se digitalizaron 12 áreas de entrenamiento que pertenecen a Bosque denso bajo (Bda), de las cuales 11 se clasificaron correctamente y 1 fue confundida con Bosque denso alto (Bda). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 91.67 %.

En la cuarta fila se digitalizaron 14 áreas de entrenamiento que pertenecen a Cultivos permanentes (Cp), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la quinta fila se digitalizaron 15 áreas de entrenamiento que pertenecen a Cultivos transitorios (Ct), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la sexta fila se digitalizaron 12 áreas de entrenamiento que pertenecen a Herbazal (He), de las cuales 10 se clasificaron correctamente y 1 fue confundida con Herbazal (He) y 1 con Herbazal – Arbustal (He-Ar). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 83.33 %.

En la séptima fila se digitalizaron 10 áreas de entrenamiento que pertenecen a Herbazal - Arbustal (He-Ar), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la octava fila se digitalizaron 9 áreas de entrenamiento que pertenecen a Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales (Mpce), de las cuales todas

fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la novena fila se digitalizaron 11 áreas de entrenamiento que pertenecen a Mosaico de pastos y espacios naturales (Mpe), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

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

En la onceava fila se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a Tierras desnudas (Td), de las cuales 12 se clasificaron correctamente y 1 fue confundida con Tejido urbano (Tu). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 92.86 %.

En la tabla 8, en las columnas se muestra el acierto de la clasificación en el terreno por categoría:

En la primera columna se digitalizaron 10 áreas de entrenamiento que pertenecen a Arbustal (Ar), de las cuales 9 fueron correctamente digitalizadas y 1 fue confundida con Herbazal (He). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 90.00 %.

En la segunda columna se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a Bosque denso alto (Bda), de las cuales 12 se clasificaron correctamente y 1 fue confundida con Bosque denso bajo (Bdb). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 92.31 %

En la tercera columna se digitalizaron 12 áreas de entrenamiento que pertenecen a Bosque denso bajo (Bdb), de las cuales 11 fueron correctamente digitalizadas y 1 fue confundida con Bosque denso alto (Bda). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 91.67 %.

En la cuarta columna se digitalizaron 14 áreas de entrenamiento que pertenecen a Cultivos permanentes (Cp), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la quinta columna se digitalizaron 15 áreas de entrenamiento que pertenecen a Cultivos transitorios (Ct), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la sexta columna se digitalizaron 10 áreas de entrenamiento que pertenecen a Herbazal (He), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la séptima columna se digitalizaron 11 áreas de entrenamiento que pertenecen a Herbazal - Arbustal (He-Ar), de las cuales 10 fueron correctamente digitalizadas y 1 fue confundida con Herbazal (He). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 90.91 %.

En la octava columna se digitalizaron 9 áreas de entrenamiento que pertenecen a Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales (Mpce), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la novena columna se digitalizaron 11 áreas de entrenamiento que pertenecen a Mosaico de pastos y espacios naturales (Mpe), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la décima columna se digitalizaron 14 áreas de entrenamiento que pertenecen a Tejido urbano continuo (Tu), de las cuales 13 fueron correctamente digitalizadas y 1 fue confundida con Tierras desnudas (Td). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 92.86 %.

En la onceava columna se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a Tierras desnudas (Td), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

b. Índice Kappa

Cálculo del índice kappa para el año 2003

$$P_o = \frac{9 + 12 + 11 + 14 + 15 + 10 + 10 + 9 + 11 + 13 + 13}{132} = 0.96$$

$$P_e = \frac{(10 \times 9) + (13 \times 13) + (12 \times 12) + (14 \times 14) + (15 \times 15) + (10 \times 12) + (11 \times 10) + (9 \times 9) + (11 \times 11) + (14 \times 13) + (13 \times 14)}{132^2} = 0.09$$

$$k = \frac{0.96 - 0.09}{1 - 0.09} = 0.96$$

Se obtuvo como resultado del cálculo de índice kappa 0.96 que según la fuerza de concordancia es casi perfecto.

c. Porcentaje correctamente clasificado

El porcentaje correctamente clasificado para el año 2003 es 96.38 %

d. Categorías encontradas en el año 2003

Las principales categorías de cobertura vegetal encontrados en julio de 2003 (Tabla 9) fueron:

Tabla 9. Distribución porcentual de cobertura año 2003

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área	
				ha	%
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	Tu	85.02	0.62
2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios		Ct	347.35	2.51
	2.2. Cultivos permanentes		Cp	246.64	1.78
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Mcpe	5423.77	39.24
		2.4.5. Mosaico de pastos con espacios naturales	Mpe	2257.25	16.33
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo	Bdb	598.17	4.33
		3.1.3. Bosque denso alto	Bda	1497.29	10.83
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1. Herbazal	He	200.12	1.45
		3.3.2. Arbustal	Ar	1301.76	9.42
		3.3.7. Herbazal – Arbustal	He-Ar	1574.70	11.39
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.3. Tierras desnudas	Td	290.80	2.10
Total				13822.87	100.00

En la tabla 9, se observa que la superficie en hectáreas y porcentaje de las diferentes categorías en un nivel III del distrito La Peca

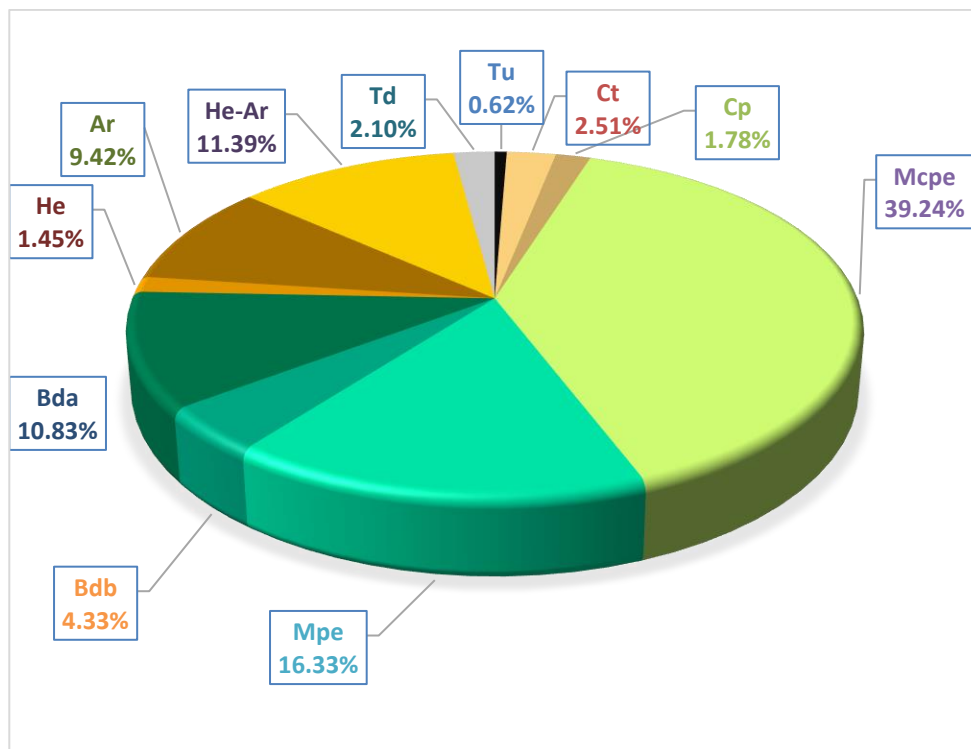


Figura 16. Distribución porcentual de cobertura año 2003

En la figura 16, se observa que el 0.62 % de la superficie del distrito La Peca está cubierta por Tejido Urbano Continuo (Tu), el 2.51 % por Cultivos transitorios (Ct), el 1.78 % por Cultivos permanentes (Cp), el 39.24 % por Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpe), El 16.33 % ta por Mosaico de pastos y espacios naturales, el 4.33 % a por Bosque denso bajo (Bdb), el 10.83 % por Bosque denso alto (Bda), el 1.45 % por Herbazal (He), el 9.42 % por Arbustal (Ar), el 11.39 % por Herbazal – Arbustal (He-Ar), El 2.10 % por Tierras desnudas (Td).

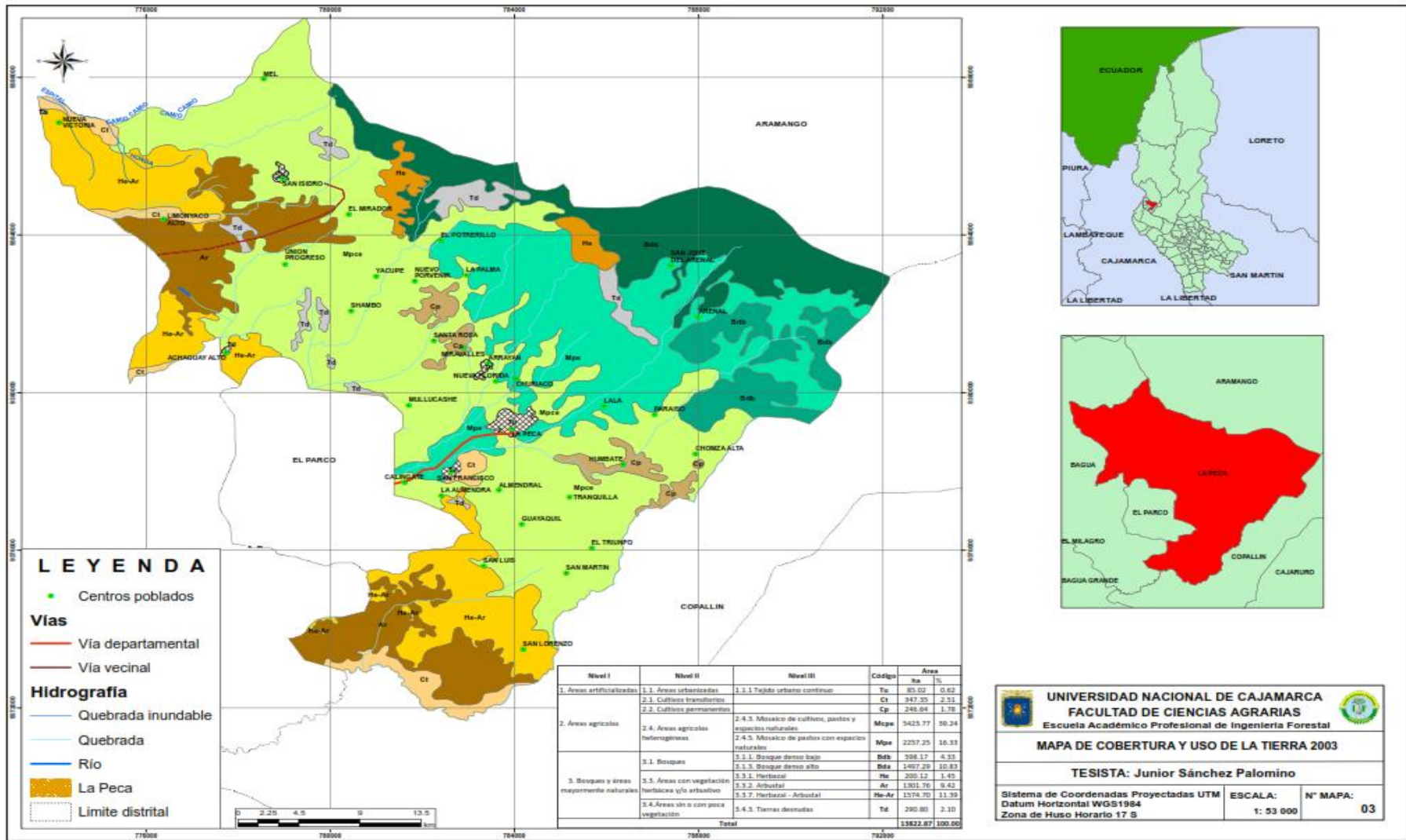


Figura 17. Mapa de cobertura y uso de la tierra, año 2003

4.2.2. Cobertura y uso de la tierra año 2018

a. Matriz de confusión

Se realizó la matriz de confusión para el año 2018 en dicha matriz se obtuvo la Fiabilidad del productor y la Fiabilidad del usuario como se muestra a continuación (Tabla 10).

Tabla 10. Matriz de confusión año 2018

Resultados de la clasificación	Categorías asignadas en la imagen												Total	F. usuario %
	Ar	Bda	Bdb	Cp	Ct	He	He-Ar	Mpce	Mpe	Pa	Tu	Td		
Ar	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	100.00
Bda	0	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	90.91
Bdb	0	1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	91.67
Cp	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	14	100.00
Ct	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	12	100.00
He	1	0	0	0	0	11	1	0	0	0	0	0	13	84.62
He-Ar	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10	100.00
Mpce	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	9	100.00
Mpe	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	11	100.00
Pa	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15	0	0	16	93.75
Tu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	13	100.00
Td	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	14	15	93.33
Total	12	11	12	14	12	11	11	10	11	15	14	14	147	96.19
F. Productor %	91.67	90.91	91.67	100.00	100.00	100.00	90.91	90.00	100.00	100.00	92.86	100.00		

En la tabla 10, en las filas se muestra la fiabilidad de las áreas de entrenamiento digitalizadas por el usuario:

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

En la segunda fila se digitalizaron 11 áreas de entrenamiento que pertenecen a Bosque denso alto (Bda), de las cuales 10 se clasificaron correctamente y 1 fue confundida con Bosque denso bajo (Bdb). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 90.91 %.

En la tercera fila se digitalizaron 12 áreas de entrenamiento que pertenecen a Bosque denso alto (Bdb), de las cuales 11 se clasificaron correctamente y 1 fue confundida con Bosque denso alto (Bda). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 91.67 %.

En la cuarta fila se digitalizaron 14 áreas de entrenamiento que pertenecen a Cultivos permanentes (Cp), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

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

En la sexta fila se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a Herbazal (He), de las cuales 10 fueron correctamente clasificadas 1 fue confundida con Arbustal (Ar) y 1 con Herbazal-Arbustal (He-Ar). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 84.62 %.

En la séptima fila se digitalizaron 10 áreas de entrenamiento que pertenecen a Herbazal - Arbustal (He - Ar), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la octava fila se digitalizaron 11 áreas de entrenamiento que pertenecen a Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales (Mpce), de las cuales todas

fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la novena fila se digitalizaron 11 áreas de entrenamiento que pertenecen a Mosaico de pastos y espacios naturales (Mpe), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la décima fila se digitalizaron 15 áreas de entrenamiento que pertenecen a Pastos (Pa), de las cuales 14 se clasificaron correctamente y 1 fue confundida con Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales (Mpce). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 93.75 %.

En la onceava fila se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a Tejido urbano continuo (Tu), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la doceava fila se digitalizaron 14 áreas de entrenamiento que pertenecen a Tierras desnudas (Td), de las cuales 13 se clasificaron correctamente y 1 fue confundida con Tejido urbano continuo (Tu). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 93.33 %.

En la tabla 10, en las columnas se muestra el acierto de la clasificación en el terreno por categoría:

En la primera columna se digitalizaron 12 áreas de entrenamiento que pertenecen a Arbustales (Ar), de las cuales 11 se clasificaron correctamente y 1 fue confundida con Herbazal (He). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 91.67 %.

En la segunda columna se digitalizaron 11 áreas de entrenamiento que pertenecen a Bosque denso alto (Bda), de las cuales 10 se clasificaron correctamente y 1 fue confundida con Bosque denso bajo (Bdb). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 90.91 %.

En la tercera columna se digitalizaron 12 áreas de entrenamiento que pertenecen a Bosque denso alto (Bdb), de las cuales 11 se clasificaron correctamente y 1 fue

confundida con Bosque denso alto (Bda). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 91.67 %.

En la cuarta columna se digitalizaron 14 áreas de entrenamiento que pertenecen a Cultivos permanentes (Cp), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

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

En la sexta columna se digitalizaron 11 áreas de entrenamiento que pertenecen a Herbazal (He), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la séptima columna se digitalizaron 11 áreas de entrenamiento que pertenecen a Herbazal - Arbustal (He - Ar), de las cuales 10 fueron correctas y 1 fue confundida con Herbazal (He). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 90.91 %.

En la octava columna se digitalizaron 10 áreas de entrenamiento que pertenecen a Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales (Mpce) de las cuales 9 fueron correctas y 1 fue confundida con Pastos (Pa). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 90.90 %.

En la novena columna se digitalizaron 11 áreas de entrenamiento que pertenecen a Mosaico de pastos y espacios naturales (Mpe), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la décima columna se digitalizaron 15 áreas de entrenamiento que pertenecen a Pastos (Pa), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la onceava columna se digitalizaron 14 áreas de entrenamiento que pertenecen a Tejido urbano continuo (Tu), de las cuales 13 fueron correctas y 1

fue confundida con Tierras desnudas (Td). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 92.86 %.

En la doceava columna se digitalizaron 14 áreas de entrenamiento que pertenecen a Tierras desnudas (Td), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

b. Índice Kappa

Cálculo del índice kappa para el año 2018

$$P_o = \frac{11 + 10 + 11 + 14 + 12 + 11 + 10 + 9 + 11 + 15 + 13 + 14}{147} = 0.96$$

$$P_e = \frac{(12 \times 12) + (11 \times 11) + (12 \times 12) + (14 \times 14) + (12 \times 11) + (11 \times 13) + (11 \times 10) + (10 \times 9) + (11 \times 11) + (15 \times 16) + (14 \times 13) + (14 \times 15)}{132^2} = 0.08$$

$$k = \frac{0.96 - 0.08}{1 - 0.08} = 0.96$$

Se obtuvo como resultado del cálculo de índice kappa 0.96 que según la fuerza de concordancia es casi perfecto.

c. Porcentaje correctamente clasificado

El porcentaje correctamente clasificado para el año 2018 es 96.19%.

d. Categorías encontradas en el año 2018

Las principales categorías de cobertura vegetal encontrados en setiembre de 2018 (Tabla 11) fueron:

Tabla 11. Categorías obtenidas para el año 2018

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área		
				ha	%	
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	Tu	101.26	0.73	
2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios		Ct	513.53	3.72	
	2.2. Cultivos permanentes		Cp	398.82	2.89	
	2.3. Pastos		Pa	36.03	0.26	
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		Mcpe	5497.31	39.77
		2.4.5. Mosaico de pastos con espacios naturales		Mpe	2373.72	17.17
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo	Bdb	522.02	3.78	
		3.1.3. Bosque denso alto	Bda	1346.94	9.74	
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1. Herbazal	He	24.14	0.17	
		3.3.2. Arbustal	Ar	1105.16	8.00	
		3.3.7. Herbazal – Arbustal	He-Ar	1400.56	10.13	
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.3. Tierras desnudas	Td	503.40	3.64	
	Total				13822.87	100.00

En la tabla 11, observamos la superficie en hectáreas y porcentaje de las diferentes categorías en un nivel III del distrito de La Peca.

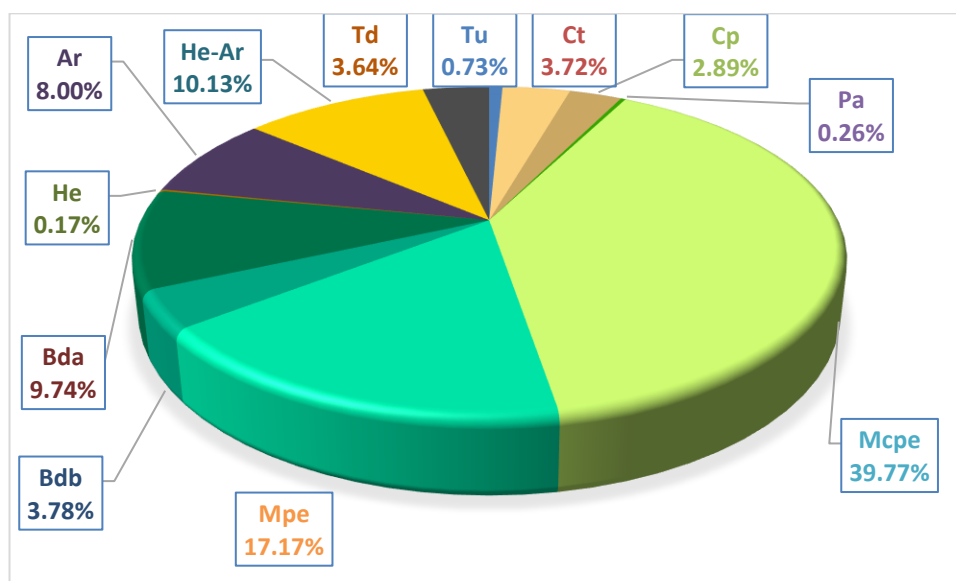


Figura 18. Distribución porcentual de cobertura año 2018

Según la figura 18, el 0.73 % de la superficie del distrito de La Peca está cubierta por Tejido Urbano Continuo (Tu), el 3.72 % por Cultivo transitorio (Ct), el 2.89 % por Cultivos permanentes (Cp), el 0.26 % por Pastos (Pa), el 39.77 % por Mosaico de Pastos, cultivos y espacios naturales, el 17.17 % por Mosaico de pastos y espacios naturales, el 3.78 % por Bosque denso bajo (Bdb), el 9.74 % por Bosque denso alto (Bda), el 0.17 % por Herbazal (He), el 8.00 % por Arbustal (Ar), el 10.13 % por Herbazal – Arbustal (He-Ar), el 3.64 % por Tierras desnudas (Td).

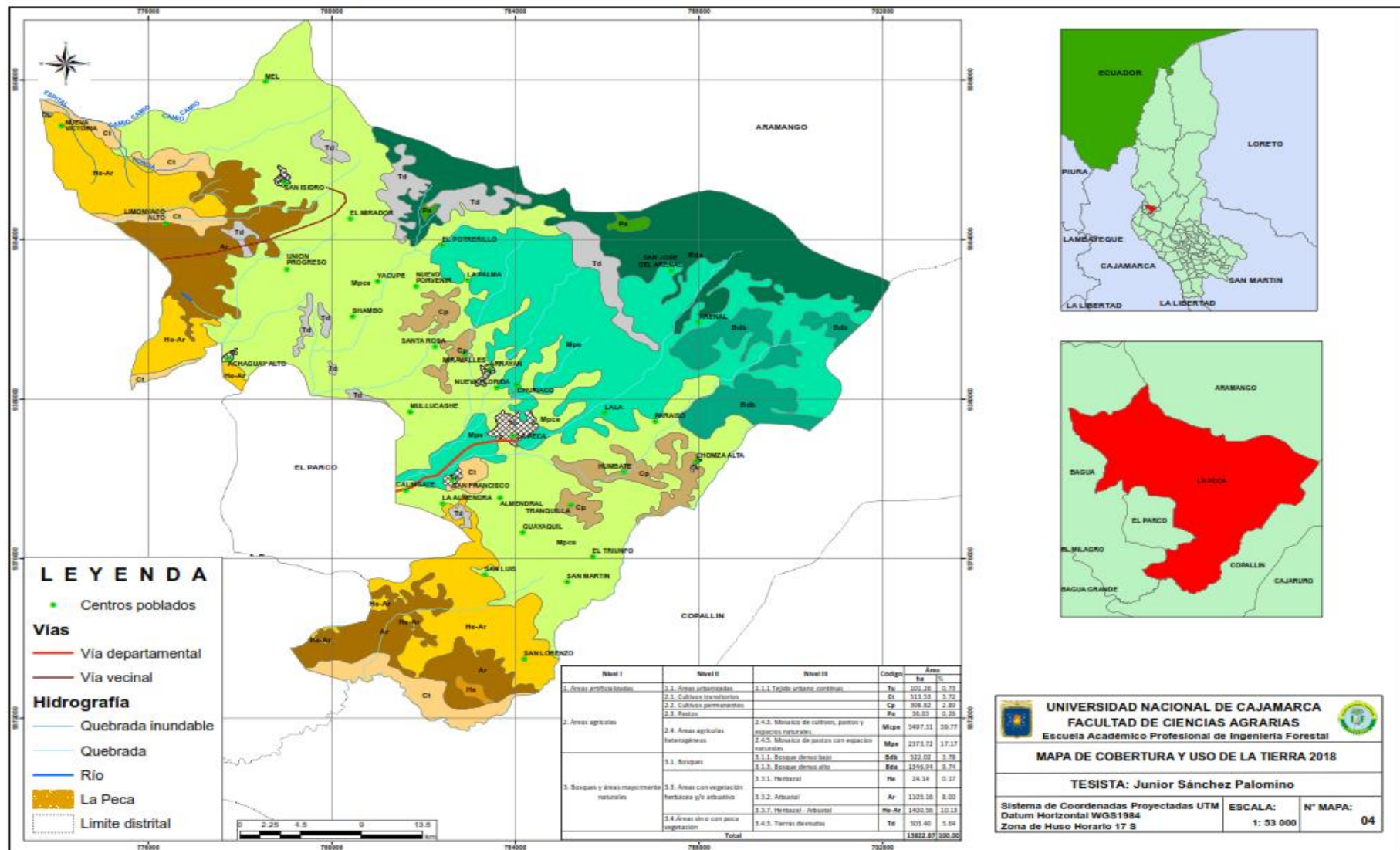


Figura 19. Mapa de cobertura y uso de la tierra año 2018

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

Para determinar el cambio y no cambio de cobertura, se evaluó la variación de los polígonos de forma global entre cada periodo de evaluación (2003 - 2018), sin importar los motivos o a que categorías de cobertura vegetal cambiaron dichos polígonos. A continuación, se muestra los resultados del análisis:

4.3.1. Cambio y no cambio del uso de la tierra periodo 2003 – 2018

En el periodo 2003 – 2018 se puede observar ganancias de área (+) como también pérdida (-) en las categorías obtenidas, el cambio positivo se dio en las categorías de Tejido urbano continuo (Tu) con una áreas de 16.24 ha, Cultivos transitorios (Ct) con unas área de 166.18 ha, Cultivo permanente con una área de 152.18 ha, Pastos (Pa) 36.03 ha, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpe) con una área de 73.54 ha, Mosaico de pastos y espacios naturales (Mpe) con una área de 116.47 ha, Tierras desnudas (Td) con una área de 212.60 ha, el cambio negativo o pérdida se dio en las coberturas de Bosque denso bajo (Bdb) con una área de 76.15 ha, Bosque denso (Bda) con una área de 150.35 ha, Herbazal (He) con una área de 175.98 ha, Arbustal (Ar) con una área de 196.60 ha, Herbazal – Arbustal (He-Ar) con una área de 174.14 ha (Tabla 12).

Tabla 12. Pérdida o ganancia de la cobertura y uso de la tierra, periodo 2003-2018

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	2003		2018		2018-2003		
				ha	%	ha	%	ha	%	
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	Tu	85.02	0.62	101.26	0.73	16.24	0.12	
2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios		Ct	347.35	2.51	513.53	3.72	166.18	1.20	
	2.2. Cultivos permanentes		Cp	246.64	1.78	398.82	2.89	152.18	1.10	
	2.3. Pastos		Pa	-	-	36.03	0.26	36.03	0.26	
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		Mcpe	5423.77	39.24	5497.31	39.77	73.54	0.53
		2.4.5. Mosaico de pastos con espacios naturales		Mpe	2257.25	16.33	2373.72	17.17	116.47	0.84
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo	Bdb	598.17	4.33	522.02	3.78	-76.15	-0.55	
		3.1.3. Bosque denso alto	Bda	1497.29	10.83	1346.94	9.74	-150.35	-1.09	
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1. Herbazal		He	200.12	1.45	24.14	0.17	-175.98	-1.27
		3.3.2. Arbustal		Ar	1301.76	9.42	1105.16	8.00	-196.60	-1.42
		3.3.7. Herbazal – Arbustal		He-Ar	1574.70	11.39	1400.56	10.13	-174.14	-1.26
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.3. Tierras desnudas		Td	290.80	2.10	503.40	3.64	212.60	1.54
Total				13822.87	100.00	13822.87	100.00	0.00	0.00	

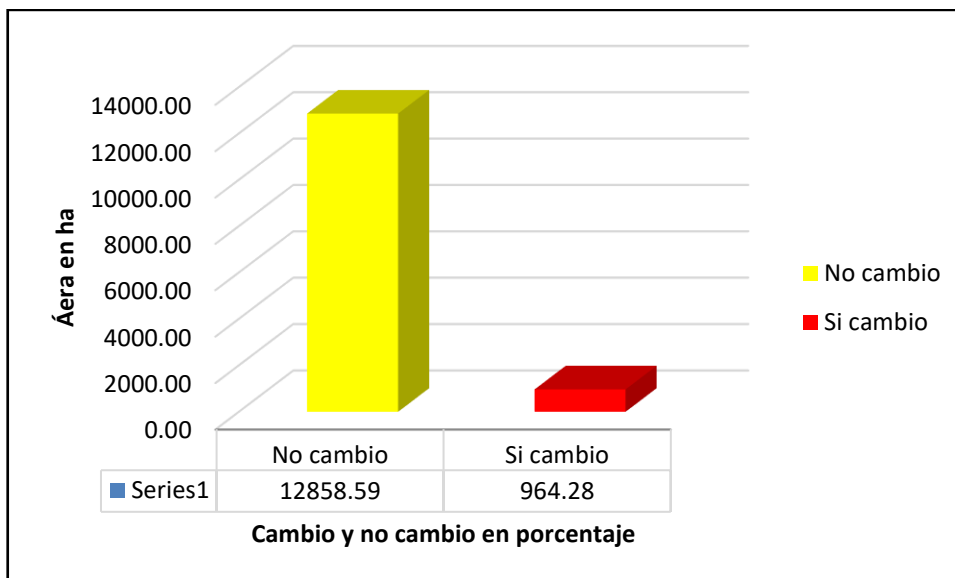


Figura 20. Cambio y no cambio del uso de la tierra periodo 2003 – 2018

En la figura 20, se aprecia el cambio y no cambio de la superficie del distrito de La Peca en hectáreas, de un total de 13822.87 ha sufrieron cambios 964.28 ha equivalente al 6.98 % y no cambio 12858.59 ha equivalente al 93.02 %.

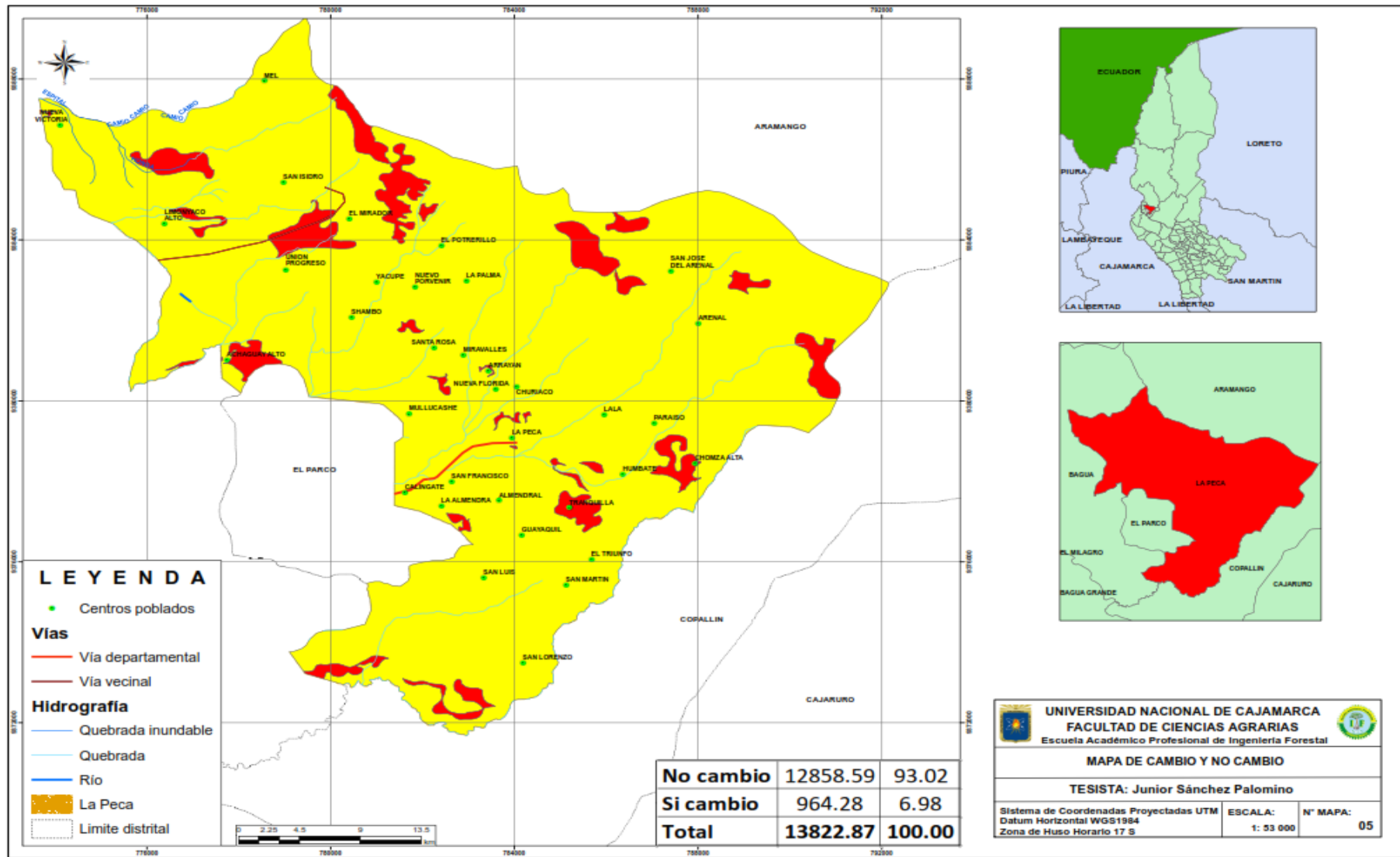


Figura 21. Mapa de cambio y no cambio distrito La Peca





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

4.4.1. Análisis de cambio por cobertura

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

a. Cambios de cobertura del periodo 2003 – 2018

En cuanto a los cambios de cobertura del periodo 2003 – 2018 en el distrito La Peca, se determinó que los principales cambios de cobertura son:

-  La categoría Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales (Mpce) fue reemplazado por Tejido urbano continuo con un área de 12.90 ha, Cultivos permanentes (Cp) con un área de 152.24 ha.
-  La categoría Bosque denso bajo (Bdb) fue reemplazada por Mosaico de pastos y espacios naturales (Mpe) con un área de 76.16 ha.
-  La categoría Bosque denso alto (Bda), fue reemplazado por Pastos (Pa) con un área de 36.03 ha, Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales (Mpce) con un área de de 71.02 ha, Mosaico de Pastos y espacios naturales (Mpe) con un área de 42.03 ha y Tierras desnudas (Td) con un área de 1.27 ha.
-  La categoría Herbazal (He), fue reemplazado por Tierras desnudas (Td) con un area de 200.12 ha.

- ✚ La categoría Cultivos permanentes (Cp), fue reemplazado por Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales (Mpce) con un área de 0.06 ha.
- ✚ La categoría Mosaico de pastos y espacios naturales (Mpe), fue reemplazado por Tejido urbano (Tu) con un área de 1.72 ha.
- ✚ La categoría Arbustal (Ar), fue reemplazada por Cultivo transitorio (Ct) con un área de 61.78 ha y Herbazal (He) con un área de 24.14 ha.
- ✚ La categoría Arbustal (Ar), fue reemplazada por Herbazal (He) con un área de 24.14 ha.
- ✚ La categoría Herbazal – Arbustal (He-Ar), fue reemplazada por Cultivos transitorios (Ct) con un area de 104.39 ha.
- ✚ La categoría Herbazal – Arbustal (He-Ar), fue reemplazada por Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales con un area de 56.92 ha.
- ✚ La categoría Herbazal – Arbustal (He-Ar), fue reemplazada por Tejido urbano continuo (Tu) con un área de 1.61 ha.
- ✚ La categoría Herbazal – Arbustal (He-Ar), fue reemplazada por Tierras desnudas (Td) con un área de 11.21 ha.

En conclusión, en el periodo 2003 – 2018 la categoría Tejido urbano continuo (Tu) ganó un área de 16.24 ha, Cultivos transitorios (Ct) ganó 166.18 ha, Cultivos permanentes (Cp) gano un área de 152.18, Pastos (Pa) ganó un área de 36.03 ha, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mpce) ganó un área de 73.54 ha, Mosaico de pastos y espacios naturales (Mpe) ganó un área de 116.47 ha, Bosque denso bajo (Bdb) perdió un área de 76.15 ha, Bosque denso alto (Bda) perdió un área de 150.35 ha,

Herbazal (He) ha perdido un área de 175.98 ha, Arbustal (Ar) perdió un área de 196.60 ha, Herbazal – Arbustal (He-Ar) perdió un área de 174.14 ha y Tierras desnudas (Td) ganó un área de 212.60 ha. A continuación, se presenta los resultados (Tabla 13).

Tabla 13. Transición de la cobertura y uso de la tierra, periodo 2003 - 2018

Simbología	2003	2018	Área	
			ha	%
Mpce-Tu	Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales	Tejido urbano continuo	12.90	0.09
Mpce-Cp	Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales	Cultivos permanentes	152.24	1.10
Bdb-Mpe	Bosque denso bajo	Mosaico de pastos y espacios naturales	76.16	0.55
Bda-Mpce	Bosque denso alto	Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales	71.02	0.51
Bda-Pa	Bosque denso alto	Pastos	36.03	0.26
Bda-Mpe	Bosque denso alto	Mosaico de pastos y espacios naturales	42.03	0.30
Bda-Td	Bosque denso alto	Tierras desnudas	1.27	0.01
He-Td	Herbazal	Tierras desnudas	200.12	1.45
Cp-Mpce	Cultivos permanentes	Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales	0.06	0.00
Mpe-Tu	Mosaico de pastos y espacios naturales	Tejido urbano continuo	1.72	0.01
Ar-Ct	Arbustal	Cultivos transitorios	61.78	0.45
Ar-He	Arbustal	Herbazal	24.14	0.17
Ar-Mpce	Arbustal	Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales	110.68	0.80
(He-Ar)-Ct	(Herbazal-Arbustal)	Cultivos transitorios	104.39	0.76
(He-Ar)-Mpce	(Herbazal-Arbustal)	Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales	56.92	0.41
(He-Ar)-Tu	(Herbazal-Arbustal)	Tejido urbano continuo	1.61	0.01
(He-Ar)-Td	(Herbazal-Arbustal)	Tierras desnudas	11.21	0.08
No cambio			12858.59	93.02

Total	13822.87	100.00
--------------	-----------------	---------------

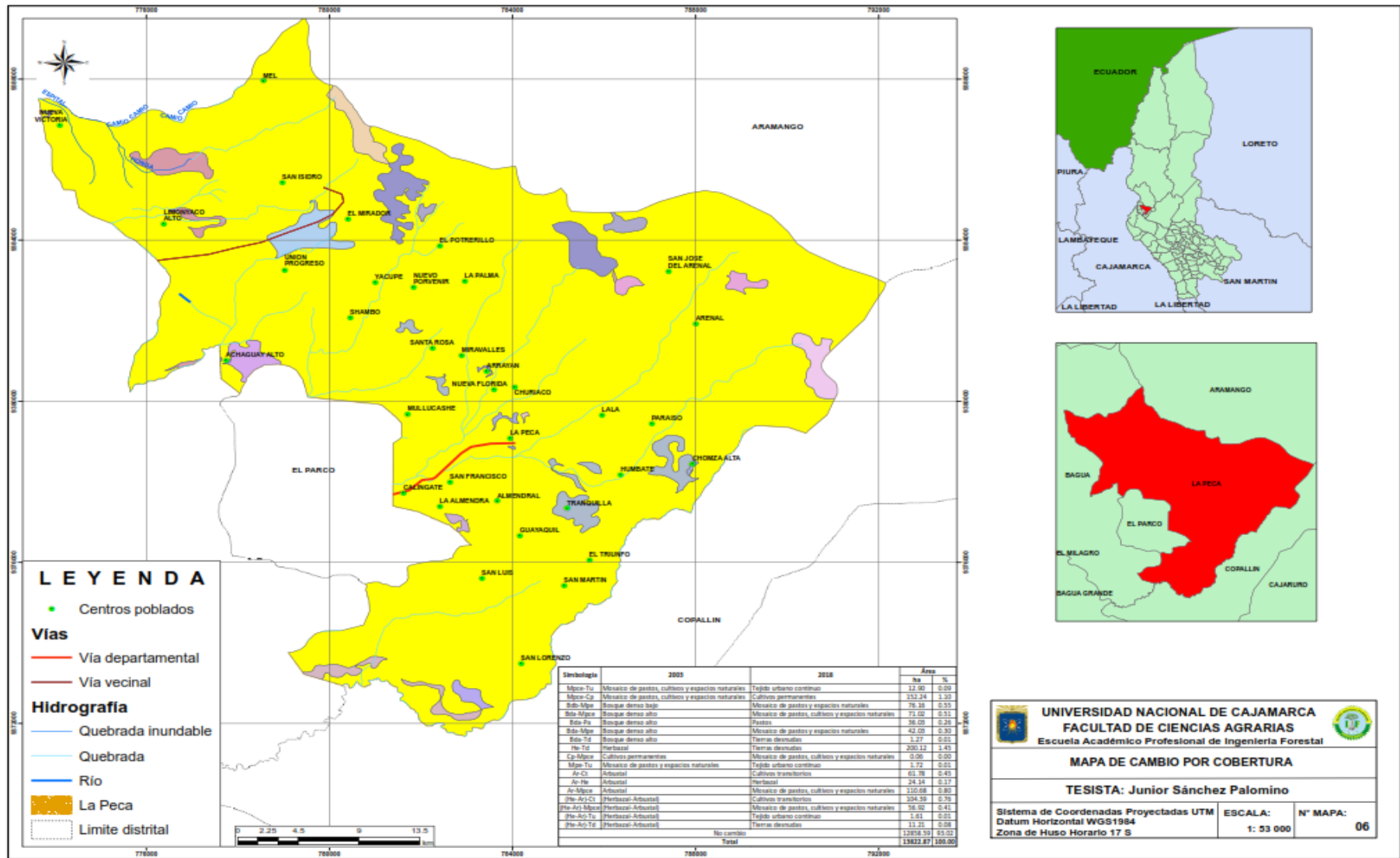


Figura 22. Mapa de Cambio por cobertura distrito La Peca

4.5. Discusión

4.5.1. Tejido urbano continuo (Tu)

En el año 2003 tenemos un área de 85.02 ha de Tejido urbano continuo y en el año 2018 aumentó a 101.26 ha. Nos está indicando que del año 2003 hasta el año 2018 el distrito La Peca ha aumentado una expansión de 16.24 ha que equivale al 0.12 % 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 4,876 habitantes en el sector urbano.

4.5.2. Cultivos transitorios y permanentes

Para cultivos transitorios el área del año 2003 fue 347.35 ha, para el año 2018 fue 513.53 ha; para la categoría cultivos permanentes el área del año 2003 fue 246.64 ha, para el año 2018 fue 398.82 ha, esto quiere decir que al aumentar la población tiene influencia directa a que se incremente las tierras de cultivo esto concuerda con los censos nacionales de población y vivienda de los años 1993, 2007. Según la FAO (2007) la demanda de alimentos seguirá aumentando debido principalmente al crecimiento de la población, pues esta cobertura proporciona productos de autoconsumo e industrial, por lo que la gente incursiona en la siembra de este tipo de cultivos por su propia iniciativa o mediante el apoyo de programas del gobierno (Foncodes y Senasa) que fomentan la reconversión agrícola. Si bien, esta actividad agrícola brinda seguridad económica, el uso y manejo del agua, suelo y cultivos tienen que ser amigables con el ambiente para evitar la degradación de ellos puesto que reduce la productividad, debido al mayor uso de insumos requeridos para mantener los rendimientos. Por otro lado, también puede causar el abandono temporal o permanente de las parcelas.

4.5.3. Pastos

Tenemos como resultado que del año 2003 hasta el año 2018 esta cobertura aumentó 36.03 ha. Este aumento se debe a que en la parte alta del distrito la población se dedica a la venta de leche fresca por ser más rentable y siembran pasturas (mekeron), cerca de fuentes naturales de agua (ríos, quebradas,) o con ayuda del riego tecnificado, para la subsistencia de la actividad pecuaria como es la crianza de cuyes y ganado vacuno.

4.5.4. Áreas agrícolas heterogéneas

El minifundio en el distrito 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 de los terrenos por la misma topografía que se presenta en el distrito La Peca, con pendientes que van desde 4% hasta el 45%, 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).

4.5.5. Bosques

La transformación del área de Bosque denso bajo muestra una superficie obtenida para el 2003 de 598.17 ha y para el año 2018 de 522.02 ha; bosque denso alto muestra una superficie de 1497.29 para el año 2003 y 1346.94 para el año 2018, en el lapso de 15 años se ha perdido 226.5 ha para ambas categorías, provocando la pérdida de una fuente de bienes para los habitantes locales como leña, plantas medicinales y ornamentales; por deforestación también se pierde o

disminuye el hábitat de animales silvestres, algunos de ellos de importancia cultural local.

Según la FAO (2016), los bosques en pie y fisiológicamente plenos, cumplen funciones reguladoras en los procesos relacionados con el suelo, el agua, el aire, el clima, el paisaje, el ambiente y la vida en general. Esta vegetación es indispensable para la regulación del ciclo hidrológico, mantener un clima adecuado, purificar la atmósfera y el agua, evitar la excesiva erosión del suelo, extinción de especies de plantas y de animales, de modo que el deterioro de los bosques causa serios daños a corto y largo plazo. En particular, la deforestación está relacionada con la pérdida de biodiversidad, el cambio climático y la erosión de los suelos.

4.5.6. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva

En herbazal ha disminuido el área en 175.98 ha, en arbustal 196.60 ha, en herbazal-arbustal 174.14 al año actual en ambos casos disminuyó porque según los censos de población y vivienda del INEI aumento la población y con el paso de los años ha sido constantemente talada en diversas zonas del distrito para generar áreas de producción agrícola como consecuencia cultivan más terrenos para producir alimentos.

4.5.7. Tierras desnudas

El área de esta cobertura para el año 2003 fue 290.80 ha, para el año 2018 fue 503.40 ha, el área aumentado en este periodo ha aumentado en un área de 212.60 ha; esto se debe a la degradación de los suelos, por acción antrópica, cambios climáticos, por la erosión del suelo. El abandono de tierras no planificado lleva implícito una serie de consecuencias ambientales entre las que destacan la erosión, durante los primeros años, de las parcelas agrícolas desprovistas de vegetación (Hernández 2012).

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los cambios de cobertura y uso actual en el distrito La Peca en el periodo 2003 – 2018 fueron: si cambio 964.28 ha que representa el 6.98 % del territorio del distrito y no cambio 12858.59 ha que representa el 93.02 % del territorio del distrito.

Se generó los mapas temáticos de cobertura y uso actual de la tierra del distrito La Peca para el periodo 2003 – 2018, siendo categorizados con la metodología Corine Land Cover en un nivel III, obteniendo doce categorías las cuales son: tejido urbano continuo (Tu), cultivos transitorios (Ct), cultivos permanentes (Cp), pastos (Pa), mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpe), mosaico de pastos y espacios naturales (Mpe), bosque abierto bajo (Bdb), bosque denso alto (Bda), herbazal (He), arbustal (Ar), herbazal – arbustal (He-Ar), tierras desnudas (Td).

Se elaboró los mapas con el algoritmo de máxima verosimilitud con el cual se obtuvo la fiabilidad del mapa obteniendo 96.38 % de veracidad para el año 2003 y 96.19 % de veracidad para el año 2018 el cual fue validado in situ por lo tanto según la valoración del coeficiente kappa la clasificación es casi perfecta.

La cobertura que más cambio sufrió en el periodo 2003 – 2018 fue Tierras desnudas (Td) con una ganancia de 212.60 ha equivalente al 1.54 %, esto debido a algunos factores como el deslizamiento de tierras en áreas vulnerables y el abandono de tierras que dejan de producir en busca de nuevas tierras con mejor producción; la cobertura con menos cambio fue Tejido urbano continuo con un aumento de área de 16.24 ha equivalente al 0.12 %.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda la aplicación de este tipo de estudios en zonas como: cuencas, páramos, áreas naturales protegidas y bosques, con la finalidad de obtener resultados que permitan la adecuada toma de decisiones dirigidas a la protección de este tipo de ecosistemas frágiles.

Utilizar imágenes satelitales que brinden mayor resolución espacial, para que se realicen estudios a mayor detalle y el margen de error sea mínimo.

Utilizar para estudios de cambio de cobertura y uso del suelo, diversos instrumentos de recolección de datos, como encuestas, talleres, fichas de observación y entrevistas no estructuradas; con la finalidad de coleccionar la mayor cantidad de datos posibles para conocer adecuadamente la dinámica del cambio de los usos de los suelos.

Difundir el conocimiento de las diversas aplicaciones que tienen las herramientas de sistemas de información geográfica y la fotointerpretación de imágenes satelitales, a través del fortalecimiento de las capacidades humanas en instituciones como universidades, institutos, organizaciones, etc.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña, H; Horna, J. 2012. Mapa de cobertura y uso actual de las tierras de Lambayeque. Lambayeque – Perú. Disponible en: http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Lambayeque/Memoria_Descriptiva_Vegetacion.pdf.

Alcántara, G. 2014. Estudio Especializado Análisis de los Cambios de la Cobertura y Uso de la Tierra Cajamarca. Cajamarca – Perú. 188 p. Disponible en: http://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/EE_CUT_primera_version_julio_2014.pdf. Consultado el 20 de ene. 2018.

APN – SIB (Administración de Parques Nacionales - Sistema de Información de Biodiversidad). 2005. Protocolo para el pre procesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la administración de parques nacionales. Buenos Aires – Argentina. Disponible en: <https://docplayer.es/15642474-Protocolo-para-el-preprocesamiento-de-imagenes-satelitales-landsat-para-aplicaciones-de-la-administracion-de-parques-nacionales.html>. Consultado el 20 de ene. 2018.

Arnillas, C.A; Barrena, V; Llactayo, W; Ortíz, H; Regal, F; Rubín, E de Celis; Vásquez, P; Drenkhan, F; Llerena, CE; Espino, P; García, V; Gonzáles-Zúñiga, S; Gushiken, E; López, D y Vásquez, R. 2012. Informe final del proyecto: análisis de las dinámicas de cambio de cobertura de la tierra en la comunidad andina. Componente nacional Perú – Primera Etapa. Centro de datos para la conservación (CDC-UNALM). Laboratorio de teledetección (LTAUNALM). Dirección general de ordenamiento territorial - Ministerio del Ambiente (DGOT - MINAM). Fundación para el Desarrollo Agrario (FDA). Lima - Perú. pp. 56.

Ariza, A. 2013. Descripción y corrección de productos Landsat 8. Bogotá. Colombia. IGAC. 42 p

Butler, M.J.A.; Mouchot, M.C.; Barale, V.; LeBlanc C. 1990. Aplicación de la tecnología de percepción remota a las pesquerías marinas: manual introductorio. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 295. Roma, FAO. 212 p. Disponible en: <http://www.fao.org/3/t0355s/T0355S00.HTM>. Consultado el 20 de enero del 2018.

Cabana, D. 2016. Determinación del cambio de cobertura vegetal en la municipalidad distrital de Paratia, Lampa, Puno utilizando imágenes de satélite años 1988.

Carletta, J. 1996. Assessing agreement on classification tasks: The kappa statistic. *Computational Linguistics*, 22(2), pp. 249–254.

Cieza, D. 2017. Análisis de cambios de cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales del distrito de Matara Periodos 1991 – 2003 – 2016. Cajamarca, Perú.

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

Chuvienco, E. 1996. Fundamentos de teledetección especial. 3ª. Ed. Revisada. Ediciones Rialp. Madrid, España.

Chuvienco, E. 2002. Fundamentos de Teledetección espacial. España. Rialp S.A. 457 p.

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

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

Eastman, RJ. 1999. Guide to GIS an imagen processing. Volume 2da edición. Clark Labs. Worcester, MA. 170 pp.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y la Alimentación). 2006. Políticas Pecuarias (en línea). Consultado el 28 dic. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a0262s.pdf>.

FAO. 2017. Cambios en la cobertura forestal. Programa de Evaluación de Recursos Forestales (FRA). Documento de Trabajo 36. Roma.55 p.

Hernández, O. 2012. Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del Municipio del Distrito Central años 1987 y 2006.

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

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia). 2010. Metodología corine land cover. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>. Consultado el 21 de may. 2018.

Lambin, EF; Turner, BL; Geist, HJ; Agbola, SB; Angelsen, A; Bruce, JW; Coomes, OT; Dirzo, R; Fischer, G; Folke, C; George, PS; Homewood, K; Imbernon, J; Leemans, R; Li, X; Moran, EF; Mortimore, M; Ramakrishnan, PS; Richards, JF; Skanes, H; Steffen, W; Stone, GD; Svedin, U; Veldkamp, TA; Vogel, C & Xu, J. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11: 261-269.

Linares, M. 2012. Plan de Desarrollo Concertado Local al 2021. Municipalidad Provincial de Jaén 124 p.

Lillesand, T & Kiefer, R. 2003. Remote sensing and image interpretation, Wiley, New York.

Lozano, E. 2006. Análisis de cambio multitemporal de uso de la tierra en la cuenca alta del Río Santo Domingo, Estado Mérida, Venezuela. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 147 p.

Malleux Jorge. 2002. Evaluación integral de los recursos forestales. Universidad Nacional Agraria la Molina- UNALM. Perú. 98 p.

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

Mendoza, M. E. & Masera, O. 2011. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de

deforestación. Investigaciones Geográficas, Boletín N° 44. Instituto de Geografía – UNAM. México. 18-38 p.

MINAM (Ministerio del Ambiente - Perú).2014. Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina (en línea). Lima, Perú. Consultado 22 abril 2018. Disponible en: <content/uploads/sites/18/2013/10/Informe-final-de-Proyecto-Dinamica-de-los-ambios-de-la-Tierra-CAN.pdf>

Morgan Urbano & López Urbano. 1997. Erosión y conservación del suelo. Ediciones mundi prensa. 87, 205, 209, 210 p.

Murdiyarsa, D. & Wasrin, U. R. 1995. Estimating land-use change and carbon release from tropical forest conversion using remote-sensing techniques. *Journal of Biogeography*, 22: 715721.

Nájera-González, O., Bojórquez-Serrano, J. I., Cifuentes-Lemus, J. L., y MarcelañoFlores, S. 2010. Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit. *Revista Bio Ciencias*, 1(1).

Ñique A., M.; Gutiérrez G., R.; Vivar L., L.; Durand T., E. & Verastegui P., M. 2006. Experiencias de educación ambiental no formal en áreas adyacentes al Parque Nacional Tingo María.

Ortiz, E. 2001. Sistemas de Información Geográfica. In: Informe de Proyecto: Aplicación de los sistemas de información geográfica al manejo de recursos naturales (ASIGMARN). Vicerrectoría de Investigación y Extensión, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, CR. p. 34-37.

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

Peralvo, M. y Bastidas, L. 2014. Monitoreo de cambio de cobertura y uso de la tierra a escala de sitios. Protocolo 3 - Versión 1. CONDESAN/COSUDE: Quito,

Ecuador. Disponible en: <https://condesan.org/wp-content/uploads/2017/07/protocolo-investigacion1.pdf>.

Pérez, U. 1997. Principios de los sistemas de información geográfica y su aplicación dentro de la planificación y manejo ambiental de las cuencas hidrográficas. Universidad de Tolima. Ibagué, CO. 130 p.

Pérez, U; Ardila, M; Montoya, A 1992. Uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para el Ordenamiento Territorial. s.e. Consultado 18 oct. 2018. Disponible en https://www.academia.edu/605637/UsodeunSistema_deInformacion_Geografica_SIG_para_elOrdenamientoTerritorial.

Petraglia, C; Acosta, S; Acosta, L. 2015. Sistema de clasificación de cobertura de la ttietta – FAO. Uruguay.; 23 jul. Consultado en 18 ene. 2018. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2567871>.

Robbins, C.S., J.R. Sauer, R.S. Greenberg and S. Droege 1989. "Population declines North American birds that migrat to the tropics", Proc. Of National Academy of Sciences, Vol. 86, Nº. 19, 7658-7662 P.

Rodríguez, D; Sánchez, N; Dominguez, J; Santa Marta, C. 2015. Cuestiones de Teledetección. Editorial UNED. España. 447 p. disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=tXxxCgAAQBAJ&pg=PA269&d%20atriz+de+confusi%C3%B3n&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjyhciOxdHUAhVDJCYKHRurDY4Q6AEIQDAG#v=onepage&q&f=false>. Consultado el 18 de ene. 2018.

Ruiz, V., Savé, R., y Herrera, A. 2013. Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Mirafior Moropotente Nicaragua, 1993- 2011.

Saldaña Torres, M. 2010. "Determinación del cambio de cobertura vegetal en el área de conservación municipal "Bosques de Huamantanga", utilizando imágenes de satélite. Tesis Ing. Forestal. Jaén-Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. 78 p.

SRGIS (Sensores Remotos y Gis). 2005. Guía Básica sobre Imágenes Satelitales y sus Productos.

Sobrino. J.A. 1989. Teledetección. España: Guada Impresores S.L. Madrid – España.

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

Turner II, B. L. 2001. Land–use and land-cover change: advances in 1.5 decades of sustained international research, GAIA, vol 10, no. 4, 269-272 p.

Woodwell, G.M., J.E. Hobbie, R.A. Houghton, J.M. Mellilo, B.J. Peterson, G.R. Shaver, T.A. Stone, B. Moore and A.B. Park. 1983. Deforestation measured by landsat: steps toward a method, DOE, Springfield, Virginia, EUA.

Zorogastúa Cruz, P., Quiroz Guerra, R., & Garatuza Payán, J. (2011). Evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satélite en Piura Perú. *Ecología aplicada*, 10(1), 13-22.

ANEXO

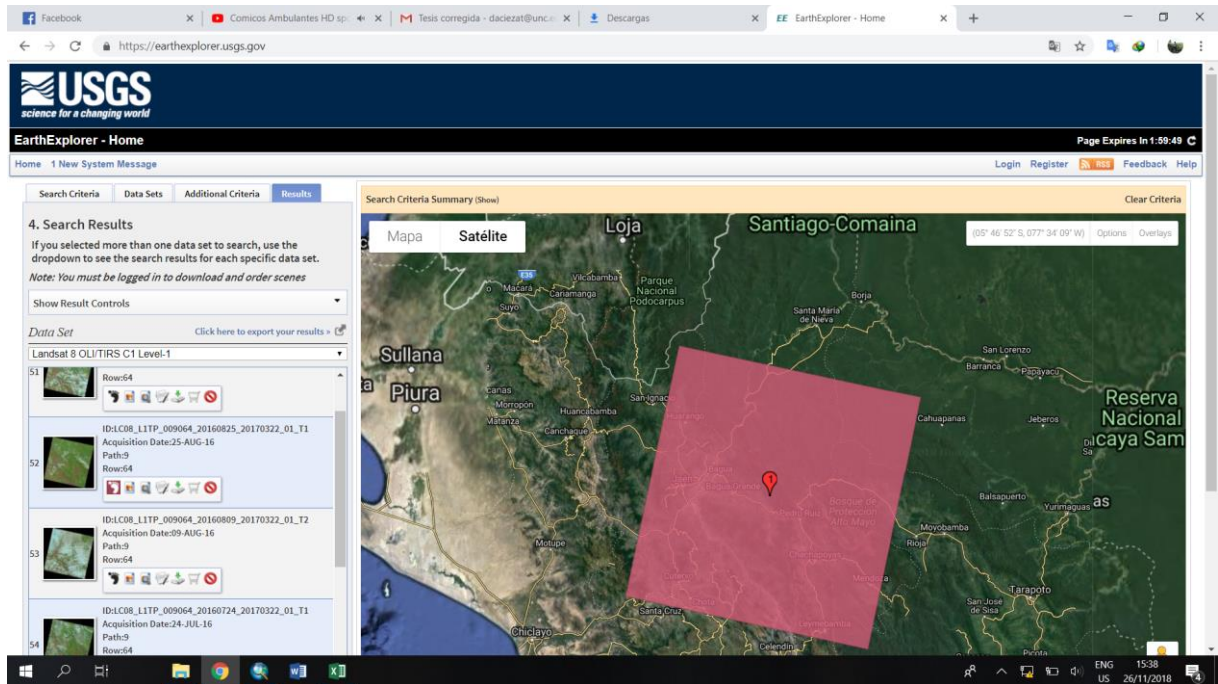


Figura 23. Selección de imagen para el área de estudio

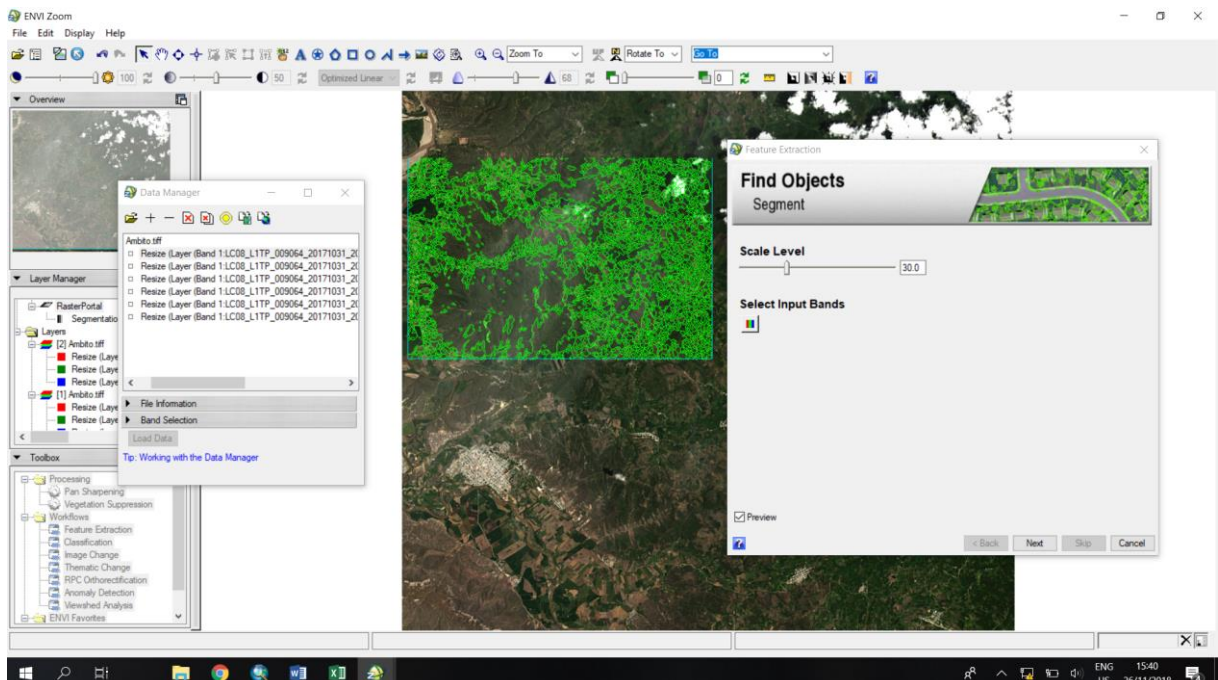


Figura 24. Segmentación del área de estudio

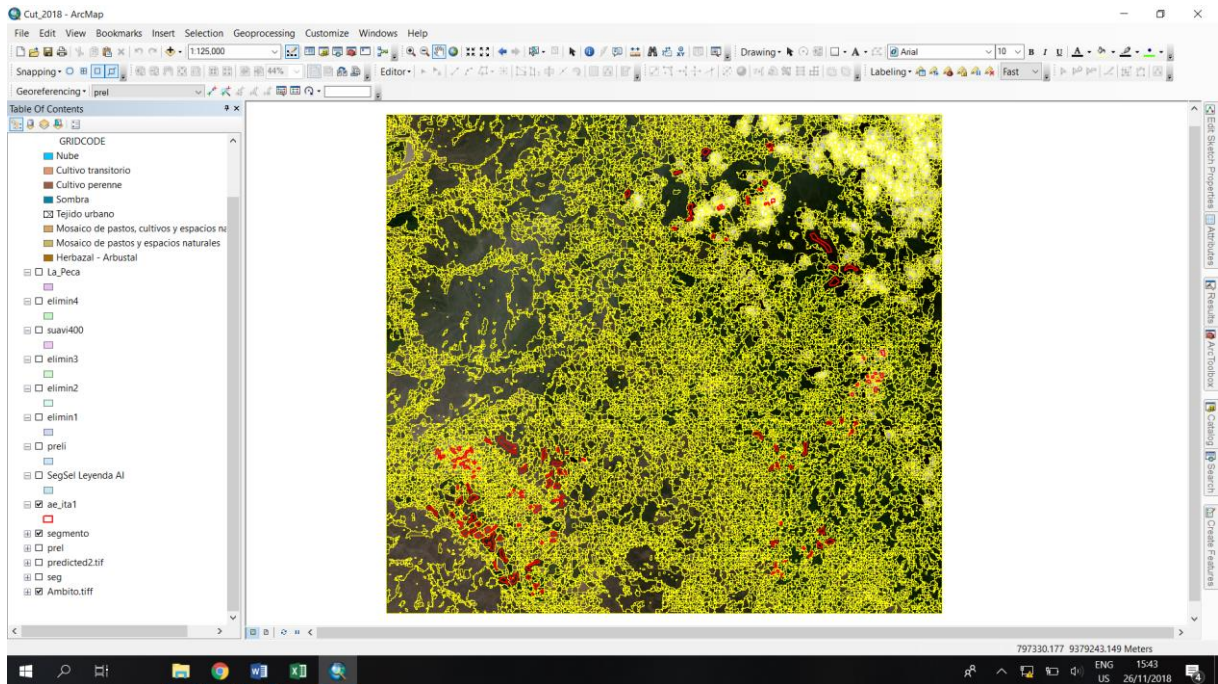


Figura 25. Digitalización de áreas de entrenamiento

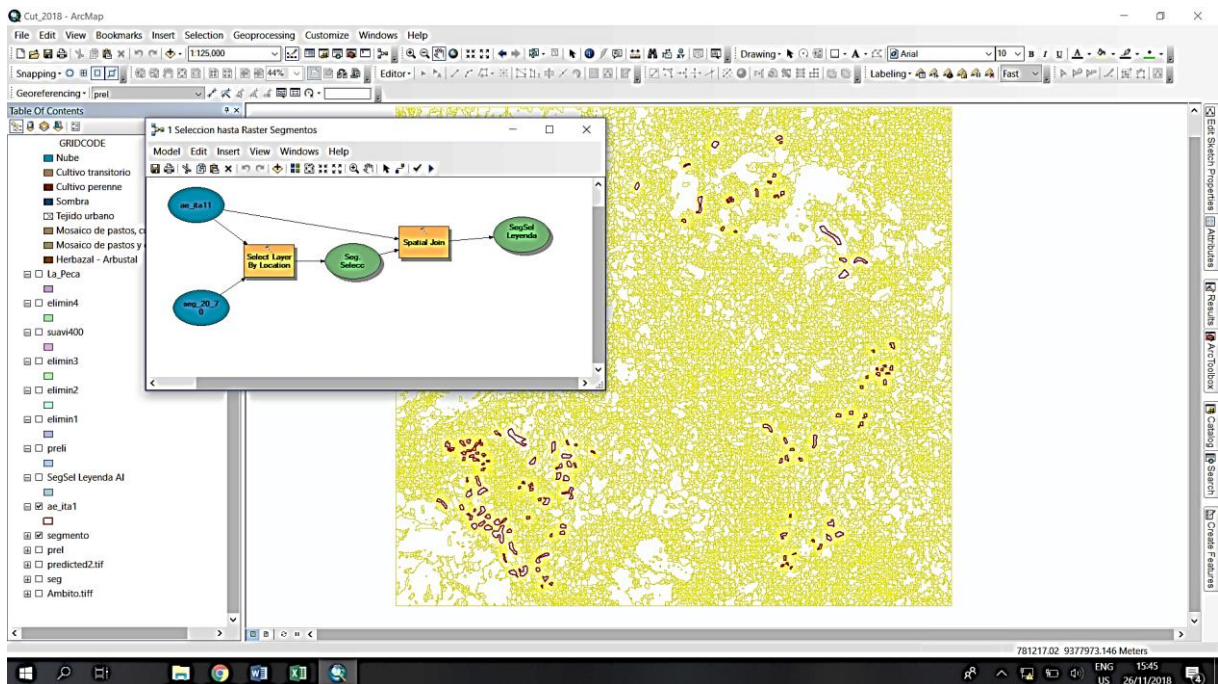


Figura 26. Aplicación del ModelBuilder para generar el SegSelec

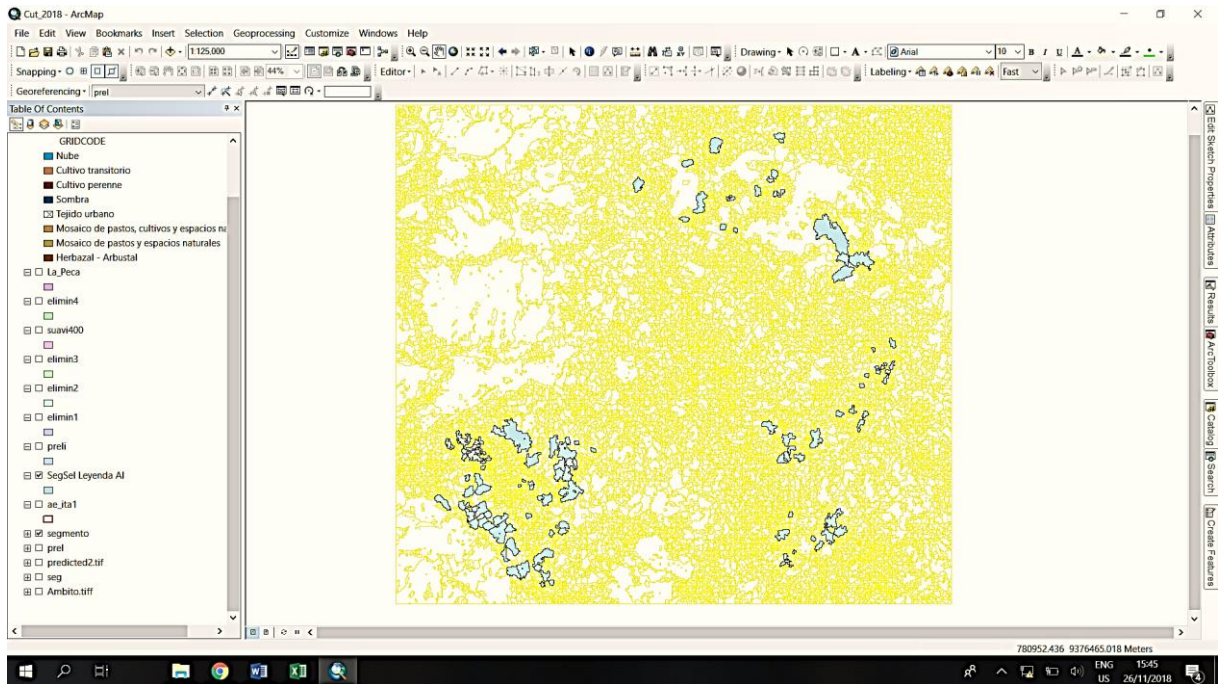


Figura 27. Imagen SegSelect

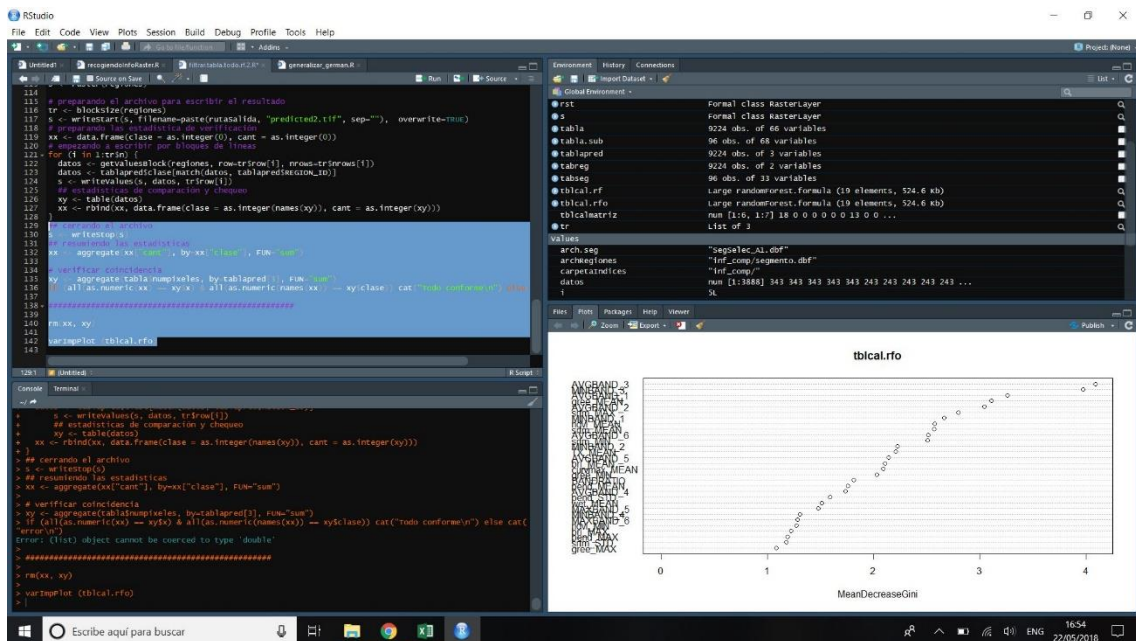


Figura 28. Ejecución del scrip recogiendoinforaster.r

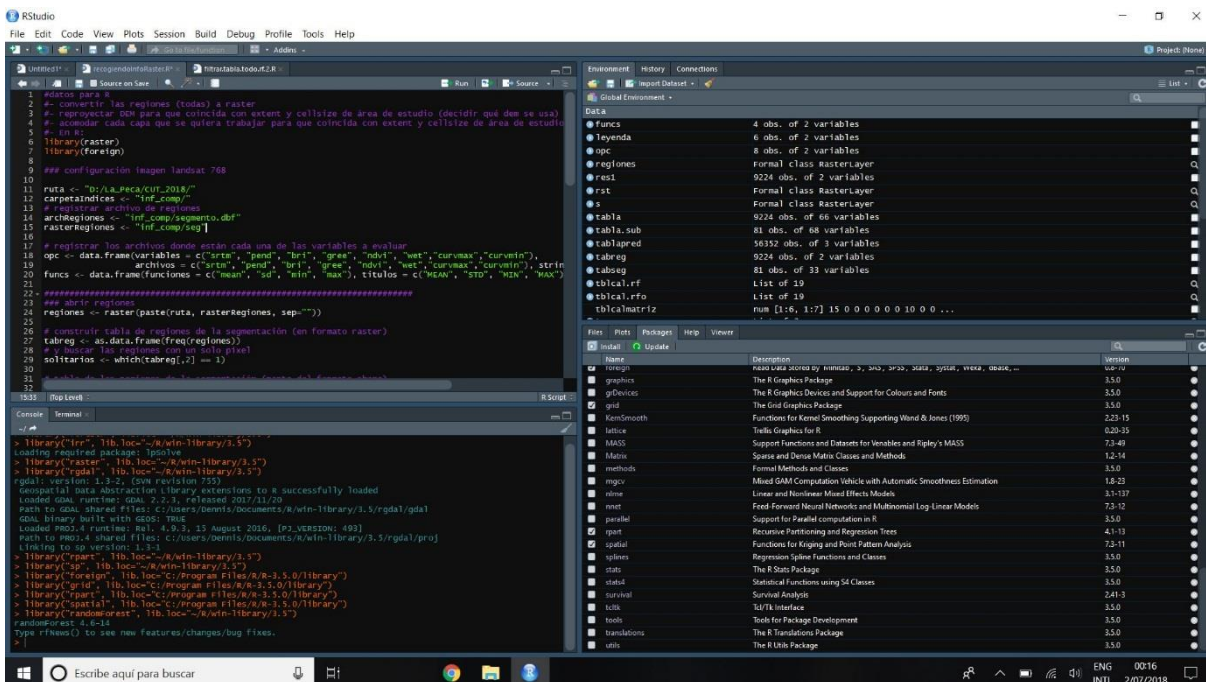


Figura 29. Ejecución del scrip random forest