



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA



**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN
DEL MEDIO AMBIENTE**

**“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA SUPERFICIE OCUPADA
POR EL CULTIVO DE CAÑA DE LAS PARROQUIAS DE
VILCABAMBA, SAN PEDRO DE VILCABAMBA Y MALACATOS,
CANTÓN LOJA, PROVINCIA LOJA”**

TESIS DE GRADO PREVIO A OBTENER
EL TÍTULO DE: INGENIERA EN
MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL
MEDIO AMBIENTE.

AUTORA:

Martha Daniela Romero Córdova.

DIRECTOR:

Ing. Oscar Lenin Juela Sivisaca Mg. Sc.

1859

Loja- Ecuador

2019



CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

En calidad de Director de la tesis titulada **"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR EL CULTIVO DE CAÑA DE LAS PARROQUIAS DE VILCABAMBA, SAN PEDRO DE VILCABAMBA Y MALACATOS, CANTÓN LOJA, PROVINCIA LOJA"**, de autoría de la señorita **Martha Daniela Romero Córdova**, egresado de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certifico que la investigación ha sido dirigida, revisada y desarrollada dentro del cronograma aprobado, por tal razón autorizo se continúe con los trámites correspondientes.

Loja, 14 de agosto del 2019

Atentamente

Ing. Oscar Jueta Stivisaca, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN

En calidad de tribunal calificador de la tesis titulada "**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR EL CULTIVO DE CAÑA DE LAS PARROQUIAS DE VILCABAMBA, SAN PEDRO DE VILCABAMBA, Y MALACATOS CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA**" de autoría del Srta. Egresada Martha Daniela Romero Córdova de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certifican que ha incorporado todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto, autorizamos a la señorita egresada, su publicación y difusión.

Loja, 06 de septiembre del 2019

Atentamente:

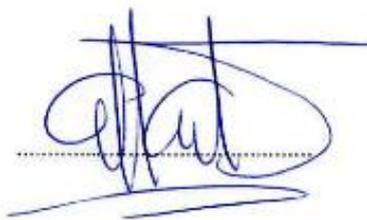
Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo Mg. Sc,

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho Mg. Sc,

VOCAL DEL TRIBUNAL



Ing. Santiago Rafael García Matailo Mg. Sc,

VOCAL DEL TRIBUNAL





AUTORÍA

Yo, Martha Daniela Romero Córdova, decreto ser autora de la presente tesis titulada **Análisis multitemporal de la superficie ocupada por el cultivo de caña de las parroquias de Vilcabamba, san pedro de Vilcabamba y Malacatos, cantón Loja, provincia Loja.,** y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y Asus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional- Biblioteca Virtual.

Martha Daniela Romero Córdova

C.I. 1104320484

Loja, 09 de septiembre del 2019

CERDAS / CIJOS DMT DIRECTOR

Ciudad Universitaria "Guillermo Falconí Espinosa" Casilla letra "S"
Teléfono: 2547 – 252 Ext. 101: 2547-200

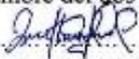
**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTPRA PARA
LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, Martha Daniela Romero Córdova, declaro ser autora de la tesis titulada “ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR EL CULTIVO DE CAÑA DE LAS PARROQUIAS DE VILCABAMBA, SAN PEDRO DE VILCABAMBA Y MALACATOS, CANTÓN LOJA, PROVINCIA LOJA”, como requisito para optar al grado de: Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI).

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los nueve días del mes de septiembre del dos mil diecinueve, firma la autora.

.....


Autora: Martha Daniela Romero Córdova

Numero de cedula: 1104320484

Dirección: Loja, Barrio Ciudad Victoria

Teléfono celular: 0979588454

Correo electrónico: mdromeroc@unl.edu.ec

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Ing. Oscar Lenin Juela Sivisaca Mg.Sc.

Tribunal de grado: Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo Mg. Sc,
 Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho Mg. Sc,
 Ing. Santiago Rafael García Matailo Mg. Sc,

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida, sabiduría, fuerzas, y la oportunidad de compartir estos momentos de emoción, alegría y grandeza, a mi querida familia por creer en mí y darme la fortaleza para poder afrontar los obstáculos, y por su amor infinito.

Mis sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional de Loja, en especial a la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente y a su personal docente, por permitirme conformar esta comunidad y formarme como profesional y persona capaz de servir a la colectividad.

Mi especial agradecimiento a mi director de tesis Ing. Oscar Juela Sivilaca Mg. Sc, por su guía, comprensión y paciencia para el desarrollo y culminación de la tesis.

A mis compañeros y amigos por el apoyo incondicional y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

A mis padres, Carlos y Jane por su incondicional apoyo, por sus esfuerzos y dedicación inagotables para conmigo, a mis hermanas y demás familiares, por cada palabra de aliento y demostrar su amor sincero y a mi sobrina Sarahí por ser un motivo de inspiración.

Martha Daniela Romero Córdova.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, a mi amado Dios por nunca dejarme caer y darme siempre las fuerzas necesarias, iluminando cada paso de mi vida, dándome la oportunidad de realizar mi objetivo.

A mis dos ángeles que Dios me dio como padres, a mi hermosa Jane y apreciado Carlos, razón por la que se debe luchar, enfrentar y superar cualquier obstáculo.

A mis hermanas, Carla y Dania, por apoyarme a plasmar mis metas como persona y por su ejemplo a seguir.

A mis abuelitos Rosa, Juanita y Nico por darme apoyo y consuelo en el momento apropiado y darme su amor incondicional.

A mi encantadora sobrina Sarahí, ella mi inspiración y razón de ser mejor cada día y por su amor incondicional.

Martha Daniela Romero Córdova.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR.....	i
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL.....	ii
AUTORÍA.....	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTORA PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
RESUMEN.....	xv
ABSTRAC.....	xvi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.2 Cobertura vegetal y uso del suelo.....	3
2.2.1 Cambio de uso de suelo.....	3
2.2.2 Factores que promueven el cambio uso de suelo.....	3
2.2.3 Efectos del cambio y uso del suelo	4
2.3 Impactos ambientales del cultivo de caña.....	4
2.4 Sistema de Clasificación de la Cobertura y Uso del suelo.....	5
2.4.1 Sistema de clasificación (Leyenda temática).....	5
2.5 Teledetección.....	6
2.6 Análisis de imágenes satelitales: correcciones y realces.....	7
2.6.1 Imágen satélital.....	7
2.6.2 Imágen Satélital Landsat.....	8

2.6.3 Correcciones de imágenes satelitales.....	9
2.6.3.1 Corrección geométrica	9
2.6.3.2 Corrección atmosférica.....	9
2.6.3.3 Corrección topográfica.....	9
2.6.4 Realces y mejoras visuales.....	9
2.6.5 Ajuste del contraste.....	10
2.6.6 Composiciones en color.....	10
2.6.7 Empleo de seudo color.....	10
2.6.8 Filtrajes.....	10
2.7 Clasificación de la imagen satelital.....	10
2.7.1 Clasificación no supervisada.....	11
2.7.1.1 Métodos de clasificación no supervisada.....	11
2.7.2 Clasificación supervisada.....	11
2.7.2.1 Métodos de clasificación supervisada.....	11
2.8 Análisis Multitemporal.....	12
2.8.1 Herramientas para realizar el análisis multitemporal.....	12
2.8.2 Técnicas utilizadas para los análisis multitemporales	13
2.8.3 Medidas del error para imágenes clasificadas: La matriz de confusión.....	13
3. METODOLOGÍA	15
3.1. Descripción del área de estudio	15
3.2 Métodos	16
3.2.1 Generación de mapas de cambios de uso del suelo de los años 1986, 1996, 2006 y 2018 en las parroquias Vilcabamba, San Pedro de Vilcabamba y Malacatos, cantón Loja, provincia Loja, utilizando herramientas de teledetección y SIG	188
3.2.1.1 Recopilación de información.....	18
3.2.1.2 Preparación de imágenes.....	18

3.2.1.3 Clasificación Digital de las imágenes satelitales.....	19
3.2.2 Cuantificación del cambio de uso del suelo en las parroquias Vilcabamba, San Pedro de Vilcabamba y Malacatos, con énfasis en los cultivos de caña	22
3.2.2.1 Detección de cambios	222
3.2.2.2 Validación de resultados	23
4. RESULTADOS	24
4.1 Generación de mapas de cambios de uso del suelo de los años, 1986, 1996, 2006 y 2018, utilizando herramientas de teledetección y SIG	24
4.2 Cuantificación del cambio de uso del suelo, con énfasis en los cultivos de caña.....	33
4.2.1 Validación de resultados: obtención de la matriz de confusión para los años de 1986,1996, 2007 y 2016	34
5. DISCUSIÓN.....	40
6. CONCLUSIONES.....	45
7. RECOMENDACIONES.....	46
8. BIBLIOGRAFÍA.....	47
9. ANEXOS.....	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clases de coberturas de suelo establecidas por el MAE.....	6
Cuadro 2. Valoración de la fuerza de concordancia del coeficiente kappa.....	14
Cuadro 3. Clases de coberturas de suelo.....	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resoluciones espaciales y radiométricas de las bandas de los sensores de Landsat 5,7 y 8.....	8
Tabla 2. Descripción de adquisición de las Imágenes de Satélite.....	18
Tabla 3. Matriz de cuantificación de coberturas y uso del suelo.....	23
Tabla 4. Tipos de exactitud para la validación de clasificación de imágenes.....	23
Tabla 5. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 1986.....	27
Tabla 6. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 1996.....	29
Tabla 7. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 2007.....	31
Tabla 8. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 2016.....	33
Tabla 9. Datos de hectáreas y porcentajes de las diferentes coberturas del suelo, de cada año de estudio.....	34
Tabla 10. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1986.....	35
Tabla 11. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1996.....	36
Tabla 12. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2007.....	37
Tabla 13. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2016.....	38
Tabla 14. Porcentajes de la verificación de la fuerza de concordancia con los cuatro periodos de estudio.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las parroquias Vilcabamba, San pedro de Vilcabamba y Malacatos, cantón Loja, provincia Loja.....	15
Figura 2. Diagrama de flujo del desarrollo metodológico.....	17
Figura 3. Diagrama de flujo del desarrollo de la clasificación supervisada en GRASS 7.4.....	21
Figura 4. Mapa de Coberturas y Uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 1986.....	26
Figura 5. Mapa de Coberturas y Uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 1996.....	28
Figura 6. Mapa de Coberturas y Uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 2007.....	30
Figura 7. Mapa de Cobertura y Uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 2016.....	32
Figura 8. Dinámica de las coberturas de cambio y uso del suelo de las parroquias Malacatos, San pedro de Vilcabamba y Vilcabamba.....	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de cobertura y uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 1986.....	54
Anexo 2. Mapa de cobertura y uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 1996.....	55
Anexo 3. Mapa de cobertura y uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 2007.....	56
Anexo 4. Mapa de cobertura y uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 2016.....	57
Anexo 5. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 1986....	58
Anexo 6. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 1996....	59
Anexo 7. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 2007....	61
Anexo 8. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 2016....	622
Anexo 9. Tendencia de decreción del cultivo de caña entre los años 1986 a 2016.....	64
Anexo 10. Tendencia de crecimiento de la cobertura de otros cultivos entre los años 1986 a 2016.....	64
Anexo 11. Tendencia de la cobertura de bosque entre los años 1986 a 2016.....	65
Anexo 12. Tendencia de la cobertura de vegetación arbustiva entre los años 1986 a 2016.....	65
Anexo 13. Tendencia de crecimiento de la cobertura de suelo descubierto entre los años 1986 a 2016.....	66
Anexo 14. Tendencia de la cobertura de otros usos/urbano entre los años 1986 a 2016.....	66
Anexo 15. Fotografías de la toma de puntos GPS en campo.....	67

**“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR EL
CULTIVO DE CAÑA DE LAS PARROQUIAS DE VILCABAMBA, SAN PEDRO
DE VILCABAMBA Y MALACATOS, CANTÓN LOJA, PROVINCIA LOJA”**

RESUMEN

El presente estudio analizó la superficie ocupada por el cultivo de caña, en el periodo de evaluación de 1986 al 2016, para lo cual se implementó diferentes técnicas de teledetección y procesos cartográficos, en base a imágenes satelitales Landsat 5 (TM), 7 (ETM+) y 8 (OLI y TIRS). Se recopiló información cartográfica primaria y secundaria, donde se analizó las imágenes satelitales Landsat del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) e información topográfica del Centro de Investigación Territorial de la Universidad Nacional de Loja (CIT), siendo procesada con los softwares libres GRASS 7.4 y QGIS 3.2. Así mismo, se realizó correcciones y realces, mejorando la calidad de las imágenes, que a su vez se utilizaron para la clasificación supervisada, además, se utilizó el método de asignación de máxima secuencialidad a posteriori, cuyos resultados fueron validados mediante matrices de confusión y el cálculo del índice kappa.

Los resultados obtenidos para el cultivo de caña, muestran que en el año de 1986 ocupó una superficie de (0,66 %), que en el año 1996 disminuyó a (0,54 %), decreciendo en el 2007 a (0,40 %) y aumentando para el 2016 a (0,50 %). Este suceso de disminución, se debe a la falta de apoyo por parte del Estado para el cañicultor, tanto a lo que se refiere a capacitaciones y créditos, así como las condiciones precarias para la comercialización y creación de precios justos para su producción, otro factor que influyó para la pérdida de la cobertura de cultivo de caña es el incremento constante de infraestructura para: fincas, quintas productivas y vacacionales.

Palabras claves: Análisis multitemporal, imágenes satelitales, cambio de uso del suelo, clasificación supervisada.

ABSTRACT

The present study analyzed the area occupied by cane cultivation, in the test period from 1986 to 2016, for which different remote sensing techniques and cartographic processes were implemented, based on Landsat 5 (TM), 7 (ETM+) and 8 (OLI and TIRS) satellite images. Primary and secondary cartographic information was collected, where the Landsat satellite images of the United States Geological Service (USGS) were analyzed and topographic information of the Territorial Research Center of the National University of Loja (CIT), being processed with the free software GRASS 7.4 and QGIS 3.2. Also, corrections and enhancements were made, improving the quality of the images, which in turn were used for the supervised classification, in addition, the method of allocation of maximum sequentially to posteriori was used, whose results were validated by confusion matrices and calculation of the kappa index.

The results obtained for the cane cultivation show that in 1986 it occupied an area of (0,66 %), which in 1996 decreased to (0,54 %), decreasing in 2007 to (0,40 %) and increasing by 2016 to (0,50 %). This decline is due to the lack of state support for the sugar cane grower, both in terms of training and credits, as well as the precarious conditions for the marketing and creation of fair prices for their production, another factor that influenced the loss of the coverage of cane cultivation is the constant increase of infrastructure for: productive and holiday farms.

Keywords: Multitemporal analysis, satellite images, land use change, supervised classification

1. INTRODUCCIÓN

Los cambios de cobertura y uso del suelo son procesos dinámicos, reconocidos a nivel global como uno de los principales causantes del deterioro ambiental, estos procesos de cambios son cada vez mayores, generando modificaciones y pérdidas en la cobertura del suelo (Ortiz, 2015). Las modificaciones históricas que producen ganancia o reducción constante de las coberturas del suelo, en áreas naturales o de origen antrópico son el resultado de factores biofísicos, económicos y sociales (Gregorio y Ayuga, 2011). Estos cambios de usos y coberturas pueden ser evaluados mediante la teledetección, misma que permite realizar un monitoreo mediante el uso de imágenes satelitales, facilitando el monitoreo de los cambios ocurridos en las coberturas naturales, urbanas y agrícolas a corto o largo plazo en el área de interés (Schowengerdt, 2007).

En América Latina y el Caribe los ecosistemas terrestres sufren modificaciones por la intensificación y degradación del suelo, aumentando áreas agrícolas que afectan directamente a la superficie de coberturas con alta vulnerabilidad a procesos de erosión y baja productividad (Santillán, 2016). En Ecuador una de las principales problemáticas para la degradación y transformación de los suelos son las prácticas agrícolas no sustentables (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2015).

Para la FAO (2015), el Ecuador destina gran parte de su superficie para la producción agrícola y alimentaria, siendo estas las principales responsables del cambio de uso del suelo en el país, destacando la producción de caña de azúcar para las cuales se han destinado grandes superficies a nivel nacional, obteniendo el 5,68 % de producción entre los periodos de 2016 y 2017. La producción de caña de azúcar está ubicada principalmente en la Región Costa, con una superficie total de 82,83 % para la provincia del Guayas. Así mismo, en la Región Sierra, las provincias de Cañar con un 8,74 % y Loja con 5,09 % de la superficie total (Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, 2017). En el año de 1990 la producción de caña en Loja aumento en un 32 % de la producción nacional hasta el 2017, generando problemas ambientales como la tala de bosques, el incremento descontrolado de monocultivos (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador, 2017). Además, la contaminación de ríos y aguas subterráneas debido al uso de plaguicidas. La compactación del suelo y la erosión por el uso intensivo de maquinaria agrícola, las emisiones de contaminantes atmosféricos por la práctica de quema de caña de azúcar antes de la cosecha, ocasionando empobrecimiento

de la diversidad biológica (vegetal y animal) debido a la eliminación de todos los seres vivos (Aguilar *et al*, 2015).

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda realizado en el año 2011, las parroquias de Vilcabamba, San Pedro de Vilcabamba y Malacatos, dedican un 41,50 % a las actividades agropecuarias, teniendo como principal actividad productiva la caña de azúcar (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2011), la cual se ve limitada debido a que la tierra se ha parcelado, siendo destinadas a fincas vacacionales y productivas, lo cual conlleva a ocasionar cambios en las superficies del suelo (Ortiz, 2016). Razón por la cual surge la siguiente pregunta de investigación ¿Cuál es el cambio de uso del suelo en la superficie ocupada por el cultivo de caña de azúcar, entre los años de 1986 y 2016 en las parroquias Vilcabamba, San Pedro de Vilcabamba y Malacatos, cantón Loja, provincia Loja?

Ante la falta de un registro histórico donde se evidencie el cambio de uso del suelo del área de estudio, nace la idea de esta investigación que tiene como objetivo general: “determinar la variación espacio temporal del cultivo de caña entre los años 1986 y 2016 en las parroquias Vilcabamba, San Pedro de Vilcabamba y Malacatos, cantón Loja, provincia Loja”. Para la realización de este trabajo se utilizaron los Sistemas de Información Geográfica “SIG” y técnicas de teledetección que nos permitieron identificar cuáles fueron los cambios entre las fechas de referencia. Además, se pudo obtener y observar el tipo de cobertura existente sobre el suelo y los cambios que han surgido a lo largo del tiempo. Así mismo, se generó mapas de cambios de uso del suelo para los cuatro periodos de tiempo, pudiendo cuantificar estos cambios con énfasis en el cultivo de caña.

Para reconocer la descripción del área de estudio y localizar la dinámica de las coberturas entre diferentes periodos de referencia, analizando los cambios del medio natural o las consecuencias de las actividades antrópicas sobre ese medio (Chuvienco, 2008), se recopiló información cartográfica disponible gratuitamente, de la página web de “science for changing world”, <http://glovis.usgs.gov/> Servicio Geológico de los estados Unidos (USGS), e información secundaria del Centro de Investigaciones Territoriales (CIT) de la Universidad Nacional de Loja.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.2 Cobertura vegetal y uso del suelo

La cobertura vegetal es un indicador de la salud de los ecosistemas (Ruiz *et al.*, 2013). Esta cobertura incluye todo lo que ocupa un espacio determinado dentro de un ecosistema, siendo estos elementos naturales que contienen todo tipo de vegetación (bosques, matorrales, producciones agrícolas, etc.), y elementos antrópicos, así como roca, suelo desnudos y cuerpos de agua (Ruiz *et al.*, 2014). El conocimiento de la cobertura y uso del suelo constituye uno de los aspectos más importantes dentro del análisis físico biótico para el ordenamiento territorial por ser indispensable no sólo en la caracterización y especialización de las unidades de paisaje, sino también, por su influencia en la formación y evolución de los suelos (Cueva y Chalan, 2010).

2.2.1 Cambio de uso de suelo

Los cambios de usos de suelo y cobertura vegetal son el referente para conocer los diferentes procesos asociados con la deforestación, degradación, desertificación del suelo y a la pérdida de la biodiversidad (Camacho *et al.*, 2017), entre otros. Los procesos de transformaciones, que experimentan las coberturas y uso del suelo de un determinado territorio o región, se los considera como la principal causa del deterioro ambiental (García *et al.* 2016). Estos cambios incrementan la vulnerabilidad de los ecosistemas, sin embargo la pérdida de biodiversidad es uno de los impactos más afectados por la transformación de las coberturas naturales (Aguayo *et al.*, 2009).

2.2.2 Factores que promueven el cambio uso de suelo

A nivel mundial, regional y local existen diferentes factores que intervienen en el cambio del uso del suelo, ya sean de origen ambiental, demográficos, económicos y socioculturales, que en su conjunto provocan deterioro ambiental y pérdida de la diversidad biológica (Gallardo, 2014).

El Ecuador, en las últimas décadas, ha experimentado cambios en su cobertura vegetal natural y del uso de suelo. El avance de la frontera agrícola, el acelerado y desordenado crecimiento de las áreas urbanas han provocado que se dañen tierras con potencial agrícola, convirtiendo suelo rural en urbano así como el desplazamiento de las áreas de cultivos y ganaderas a las laderas de las montañas o zonas menos fértiles, perdiendo la

función social y ambiental del suelo (Ministerio del Ambiente de Loja y Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2013) .

2.2.3 Efectos del cambio y uso del suelo

La expansión urbana surge a causa de la rápida degradación de la cobertura del suelo, siendo esta irreversible sobre el medio ambiente (Sandoval, 2009). Además, Cueva y Chalan (2010), hablan sobre los efectos que ocurren en los cambios de usos y coberturas naturales o seminaturales por usos y coberturas urbanas, siendo estos:

- Intensiva reducción de espacios con vegetación natural incluyendo terrenos de cultivo, áreas naturales y humedales.
- Pérdida de la biodiversidad reducción y desaparecimiento de hábitats, corredores ecológicos y parches de vida silvestre.
- Transformación del paisaje provocando el aumento de la fragmentación y disminuyendo la conectividad entre ecosistemas.
- Contaminación del aire, agua, suelos y degradación del suelo.
- Cambios el ciclo hidrológico, en el clima urbano generando la consolidación de islas de calor al interior de las ciudades.

2.3 Impactos ambientales de la caña de azúcar

La extensión de monocultivos ha dejado gran parte del suelo estéril, puesto que algunos suelos con características pobres en nutrientes requieren que se incremente la aplicación de agroquímicos, en especial de herbicidas y fertilizantes nitrogenados, para lograr niveles altos de producción, provocando drásticos efectos ambientales secundarios, afectando a su estructura, compactándolos y degradándolos (Altieri, 2009).

Los estudios sobre los impactos ambientales producidos por el cultivo de la caña de azúcar se han desarrollado generalmente en Australia, Sudáfrica e India: el mundo anglosajón del sur, y Estados Unidos, siendo estos donde se ha dado mayor importancia, a la contaminación del ambiente por dicho monocultivo (Herrero, 2014).

Entre los principales impactos ambientales del cultivo de la caña de azúcar se encuentran los efectos ocasionados por el cambio de uso del suelo, así como la contaminación de ríos y aguas subterráneas debido al uso de plaguicidas. La compactación del suelo y la erosión

debido al uso intensivo de maquinaria agrícola, las emisiones de contaminantes atmosféricos por la práctica de quema de caña de azúcar antes de la cosecha, ocasionando empobrecimiento de la diversidad biológica (vegetal y animal) debido a la eliminación de todos los seres vivos (Aguilar *et al.*, 2015).

Para Zuaznábar, (2010) uno de los impactos ambientales más relevantes ocasionados por el cultivo de la caña de azúcar son los humos generados por la quema, provocando contaminación debido a que emiten al aire monóxido de carbono, hidrocarburos, óxido de azufre y aumenta las emisiones de gases de efecto invernadero, siendo este el principal agente del cambio climático, ocasionando daños a la salud de los seres vivos. Además, afecta al soporte de la actividad agrícola, matando a insectos, lombrices y microorganismos que hacen posible la vida del suelo, produciendo pérdida de nutrientes y esterilización del suelo, de la misma manera, ahuyenta a las aves que desempeñan un papel importante en la regulación de plagas (Herrero, 2014).

Estudios realizados en la red experimental del Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), indicaron que el monocultivo de la caña de azúcar contribuye a la degradación paulatina del suelo, con una disminución progresiva en el contenido de materia orgánica debido fundamentalmente a métodos inadecuados de manejo (Morales *et al.*, 2011).

2.4 Sistema de Clasificación de la Cobertura y Uso del suelo

2.4.1 Sistema de clasificación (Leyenda temática)

Este sistema de clasificación ha sido construida de forma jerárquica, en un convenio del MAGAP- MAE- CLIRSEN, para niveles de tierra I y II: el primer nivel corresponde a las clases de cobertura/ usos definido por el Grupo Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) adaptado para el Ecuador, el segundo nivel representado por coberturas/ usos más detallados, siendo estas de importancia para el Ministerio del Ambiente (MAE y MAGAP, 2013).

Cuadro 1. Clases de coberturas de suelo establecidas por el MAE.

Nivel I	Nivel II
Bosque	Bosque nativo
	Plantación forestal
Tierra agropecuaria	Cultivo semipermanente
	Cultivo permanente
	Pastizal
	Mosaico agropecuario
Vegetación arbustiva y herbácea	Vegetación arbustiva
	Vegetación herbácea
	Paramo
Cuerpos de agua	Natural
	Artificial
Zonas antrópicas	Área poblada
	Infraestructura
Otras tierras	Glaciar
	Área sin cobertura vegetal
Sin información	Sin información

Fuente: MAE y MAGAP, (2013).

2.5 Teledetección

La teledetección es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores aéreos o espaciales, además, es la recopilación de información de la superficie terrestre sin entrar en contacto con ella, en la actualidad se realiza mediante sensores a bordo de satélites aerotransportados, dichos sensores miden la cantidad de radiación electromagnética que refleja la superficie de la tierra y los objetos que hay en ella, que permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre (Sarría, 2011a).

Chuvienco, (2008) acotó que un sistema de teledetección está compuesto básicamente de los siguientes elementos:

- Fuente de energía: que supone el origen de la radiación electromagnética emitida que detecta el sensor, se la denomina teledetección activa. La fuente de energía más importante es el sol.
- Cubierta terrestre: se conformada por todas las distintas masas de coberturas vegetales, suelos, construcciones humanas y cuerpos de agua, que reciben la energía y la reflejan según sus características físicas.

- Sistema sensor: conforma por el sensor y la plataforma que lo sostiene. Su misión es capturar la energía que proviene de las cubiertas terrestres, codificarlas y grabarlas, para enviarlas directamente al sistema de recepción.
- Sistema de recepción comercialización: en este sistema se recibe la información transmitida por la plataforma, para grabar en el formato indicado, pudiendo así realizar las correcciones necesarias, para finalmente distribuirlas a los usuarios.
- Interprete: se encarga de transformar datos en información temática de cada área de estudio, en forma visual o digitalmente, para resolver un problema.
- Usuario final: analiza los resultados que son producto de la interpretación, además estudia aplicaciones que de él se deriven.

2.6 Análisis de imágenes satelitales: correcciones y realces

2.6.1 Imágen satélital

Para Sarría (2003c), la imágen satélital es un conjunto de matrices, una por cada canal del sensor, en la que aparecen números del 0 al 255, el cero indica que no llega nada de radiación desde ese punto y el 255 que llega el valor más alto de radiación. Estos valores se denominan niveles digitales (ND). El mismo autor menciona que, cada píxel de la imágen viene definido por un número entero, traducción de la radiancia recibida por el sensor para una determinada parcela de la superficie terrestre y en una determinada banda del espectro. Este valor numérico se denominará ND, el nombre se justifica por tratarse de un valor numérico, no visual, pero que puede fácilmente traducirse a una intensidad visual o, si se prefiere, a un nivel de gris, mediante cualquier convertidor digital analógico (Reuter, 2002).

El Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Información (2013), menciona que existen tres tipos de imágenes satelitales que son captadas mediante un sensor digital a bordo del satélite. El primer grupo agrupado por imágenes pancromáticas que miden la reflectancia en una amplia parte del espectro electromagnético, esta única banda suele abarcar la parte visible y de infrarrojo cercano del espectro; los datos pancromáticos se representan por medio de imágenes en blanco y negro. Así mismo el segundo grupo se encuentran las imágenes multispectrales capturan los niveles de radiancia, procedentes de la superficie terrestre, que son transformados en valores numéricos que se denominan

niveles digitales. Y el tercer grupo se encuentra asociado por imágenes hiperespectrales, que son representadas en fotografías, midiendo la reflectancia, permitiendo detectar la vegetación, suelos y rocas.

2.6.2 Imágen satélital Landsat

Las imágenes Landsat se caracterizan por la variedad de bandas que las componen. Estas imágenes se separan en 3 tipos: Landsat 5 (sensor TM), Landsat 7 (Sensor ETM+) y Landsat 8 (Sensor OLI y TIRS); las dos primeras poseen 7 bandas multiespectrales que van desde el visible hasta el infrarrojo medio, con una resolución de 30 metros, en la mayoría de ellas (Ruiz *et al.*, 2017). El mismo autor menciona, que las imágenes Landsat 8 obtenidas por el sensor (OLI) y (TIRS) constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9.

Para Ruiz *et al.*, 2017, las bandas espectrales aumentan o se modifican de acuerdo a la creación de nuevos satélites. A continuación, se presentan las bandas espectrales de acuerdo a los sensores a utilizar de donde se obtendrán las imágenes multiespectrales (ver tabla 1)

Tabla 1. Resoluciones espaciales y radiométricas de las bandas de los sensores de Landsat 5,7 y 8.

Sensores de los satélites Landsat						
Bandas	TM		ETM +		OLI and TIRS	
	Resolución (Metros)	Intervalo	Resolución (Metros)	Intervalo	Resolución (Metros)	Intervalo
Banda 1	30	0,45- 0,52µm	30	0,45-0,52 µm	30	0,43-0,45 µm
Banda 2	30	0,52-0,60 µm	30	0,53-0,61 µm	30	0,45-0,51 µm
Banda 3	30	0,63-0,69 µm	30	0,63-0,69 µm	30	0,53-0,59 µm
Banda 4	30	0,76-0,90 µm	30	0,78-0,90 µm	30	0,64-0,67 µm
Banda 5	30	1,55-1,75 µm	30	1,55-1,75 µm	30	0,85-0,88 µm
Banda 6	120	10,4-12,5 µm	30	10,4-12,5 µm	30	1,57-1,65 µm
Banda 7	30	2,08-2,35 µm	30	2,08-2,35 µm	30	2,11-2,29 µm
Banda 8			15	0,52-0,90 µm	15	0,50-0,68 µm
Banda 9					30	1,36-1,38 µm
Banda 10					100	10,60-11,19 µm
Banda 11					100	11,50-12,51 µm

Fuente: Modificado a partir de Ruiz *et al.*, (2017).

2.6.3 Correcciones de imágenes satelitales

2.6.3.1 Corrección geométrica

Ambrosi (2005), afirma que las correcciones geométricas son necesarias realizarlas por dos motivos: A variaciones espaciales ocurridas en el proceso de captura de la información e inherentes al movimiento del sensor, y por necesidad de ajustar, dicha información, a un sistema de referencia determinado (sistema geodésico, proyección cartográfica, etc.). La corrección geométrica ajusta a una imagen a un nuevo espacio de referencia donde cada píxel tiene asignado el valor XY que le corresponda en un sistema de proyección geográfica determinado: es el espacio de proyección (Gregorio *et al.*, 2008).

2.6.3.2 Corrección atmosférica

La corrección atmosférica o radiométrica intenta eliminar problemas mecánicos en el sensor que generan valores erróneos en píxeles concretos y la corrección geométrica ubica los píxeles en el espacio geográfico corrigiendo las posibles distorsiones (Sarría, 2003c). Es decir, la corrección atmosférica trata de evaluar y eliminar las distorsiones que la atmósfera introduce en los valores de radiancia que llegan al sensor desde la superficie terrestre (Gregorio *et al.*, 2008).

2.6.3.3 Corrección topográfica

Este tipo de corrección ayuda a compensar las diferencias de iluminación solar, debidas a la variación altitudinal del terreno; las zonas de umbría presentaban menos reflectividad de lo que debieran, mientras que las zonas en solana presentaban una reflectividad más alta de lo esperado. Al realizar esta corrección se va a verificar que se eliminan ciertas sombras que aparecían en las imágenes por la baja iluminación, de esta manera se puede conseguir homogeneizar la variabilidad espectral dentro de cada uno de los modelos (Chuvienco, 2008).

2.6.4 Realces y mejoras visuales

Se puede determinar varios tipos de realces que son los que nos ayudan a mejorar la visualización de las imágenes, eliminar ruido, restara ciertas características geométrica, estos realces pueden ser efectuados a través de software o de hardware donde se procesaran los tratamientos digitales necesarios a las imágenes (Esteban y Flores, 2017).

El principal objetivo del realce de la imagen es procesar una imagen de tal manera que el resultado obtenido sea el apropiado para una aplicación específica (Pérez y Muñoz, 2006).

2.6.5 Ajuste del contraste

Los procesos de ajustes del contraste adoptan la resolución radiométrica de la imagen a la capacidad del monitor de visualización, son conocidos como transformación del histograma (Reuter, 2002). Se realiza sobre un pixel, sin tener en cuenta los de su alrededor (Basterra, 2011).

2.6.6 Composiciones en color

Al representarse los tres colores básicos (rojo, verde, azul); puede utilizarse cada canal para representar la intensidad de una banda y obtener así una composición de color, la más obvia sería simular el color real: para ello, en landsat, la correspondencia entre bandas y canales sería: $B1=B$, $B2=G$, $B3=R$ (Reuter, 2002).

2.6.7 Empleo de pseudo-color

Interpreta a una imagen e incluso si esta imagen cuenta con una banda. El pseudo-color es necesario para crear una Tabla de Referencia de Color (CLUT) que asocie el ND de una sola banda a distintos componentes (rojo, verde y azul) (Chuvieco, 2008).

2.6.8 Filtrajes

Los filtros que tienen mayor utilización para mejorar una imagen son los de paso bajo que asignan a cada pixel el valor medio de los pixeles circundantes; o los de paso alto (para resaltar zonas de gran variabilidad), consiste en aplicar a cada uno de los pixeles de la imagen de una matriz de filtrado (generalmente de 3x3) que genera un nuevo valor mediante una media ponderada del valor original y los de los 8 pixeles circundante (Chuvieco, 2008).

2.7 Clasificación de la imagen satelital

Para Espín *et al.*, (2015), las clasificaciones de imágenes satelitales más comunes son la supervisada y la no supervisada.

2.7.1 Clasificación no supervisada

En la clasificación no supervisada no se establece ninguna clase a priori, aunque es necesario determinar el número de clases que queremos establecer, y dejar que las defina un procedimiento estadístico (Carvallo, 2012).

2.7.1.1 Métodos de clasificación no supervisada

- Algoritmo Isodata

El Isodata es el algoritmo más adecuado para delimitar los grupos de valores homogéneos dentro de la imagen, el cual calcula los promedios de las clases o agrupaciones que eventualmente están distribuidos en el espacio de decisión. Además, el mismo autor señala unos parámetros de control que son significativos, debido a que el usuario no los conoce, siendo estos, el número de grupos espectrales que se encuentran en las imágenes y el valor idóneo de la dispersión interna o la distancia entre los grupos (Gutiérrez y Bedoya, 2005).

2.7.2 Clasificación supervisada

En esta clasificación se establecen clases conocido a priori, estas clases deben caracterizarse en función del conjunto de variables mediante la medición de las mismas en individuos cuya pertenencia a una de las clases no presente dudas (áreas de entrenamiento) (Carvallo, 2012).

2.7.2.1 Métodos de clasificación supervisada

- Mínima distancia

Por el cual el pixel se asigna a la clase más cercana, es decir el algoritmo de mínima distancia consiste en asignar cada celdilla a la clase respecto a cuyo vector de medias está más próxima en el espacio de variables; como medida de distancia se utilizó la distancia euclidiana (Chuvieco, 2008). Además, en esta clasificación, los valores espectrales de las coberturas, se realizan mediante sitios de entrenamiento, correspondiendo generalmente a sitios, que se han podido muestrear previamente en el campo (Vázquez, 2015).

- Máxima verosimilitud o máxima probabilidad

El clasificador de máxima verosimilitud o máxima probabilidad es aquel que asume los datos y estos siguen una función de distribución normal para asignar la probabilidad de

que un píxel cualquiera pertenezca a cada una de las clases; el píxel se asigna de este modo a la clase a la que es más probable que pertenezca (Carvalho, 2012).

- **Algoritmo Sequential Maximun a Posteriori (SMAP)**

El SMAP es un método de clasificación contextual que realiza una clasificación de los píxeles por regiones y no de manera individual, en este sentido se puede considerar también un método de segmentación (Sánchez, 2016). Es las celdillas que se encuentran cercanas en una imagen pertenecen a la misma clase, por lo que trabaja fraccionando la imagen en varias resoluciones, se usan esta resolución de fragmentación más gruesa para obtener una función de densidad a priori para la más fina a partir de la que, utilizando un enfoque bayesiano, obtener una distribución a posteriori (Sánchez, 2016).

2.8 Análisis Multitemporal

El análisis multitemporal permite detectar cambios entre dos fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio y planeando, las medidas adecuadas para evitar su deterioro o asegurar su mejor conservación. “El objetivo de los estudios multitemporales es encontrar una forma de combinar o integrar en el proceso varias imágenes correspondientes a diferentes fechas” (Chuvioco, 2008).

2.8.1 Herramientas para Realizar los Análisis Multitemporales

Se pueden encontrar diferentes herramientas para desarrollar el análisis multitemporal entre estas tenemos:

- Grass: (Geographic Resources Analysis Support System) software SIG bajo licencia GNU General Public License (GPL). Puede soportar información tanto ráster como vectorial y posee herramientas de procesado digital de imágenes (Matusow, 2012).
- Qgis: QuantumGIS es un Sistema de Información Geográfica con código abierto, admite diversos formatos siendo estos datos ráster y vectoriales (Training y Darin, 2014). QGIS corre actualmente sobre la mayoría de las plataformas Unix, Windows y Mac OSX, además aspira a ser un SIG de uso fácil, brindando funcionalidades y características básicas comunes y más avanzada (Domingo, 2013).
- OpenEV: Es una biblioteca libre de visión artificial que desde 1999 se viene empleando en todo tipo de aplicaciones que requieren incorporar el reconocimiento

de objetos, analiza datos geoespaciales en formato vector y ráster (Farris y Manning, 2006).

- Nasa Image 2000: Procesa imágenes basado en Java, fue desarrollado por la NASA, y proporciona varias funciones pero se limita en que no maneja adecuadamente sets de grandes datos (Matusow, 2012).
- ASSAM: Herramienta que sirve para procesar imágenes remotamente adquiridas y análisis espacial (Potts y Mark, 2006).
- Resorte: Analiza imágenes remotamente adquiridas, y proporciona una combinación de SIG y de capacidades de procesamiento de imágenes (Souza y Freitas, 2008).
- MultiSpec: Ofrece algunas herramientas sofisticadas de la clasificación de imágenes (Biehl y Landgrebe, 2011).

2.8.2 Técnicas utilizadas para los análisis multitemporales

2.8.2.1 Medidas del error para imágenes clasificadas: La matriz de confusión

Para la verificación de una imagen clasificada, la recogida de referencia y extracción del valor de la imagen permitirá obtener un listado de puntos de verificación, para los que poseemos tanto su cobertura real como la deducida por la clasificación (Chuvieco, 2008). El mismo autor acotó, que en esta matriz las columnas indican la clase de referencia, y las filas representan las categorías deducidas de la clasificación. Ambas tendrán el mismo número y significado, donde se suman $n \times n$, la n indica el número de categorías (matiz cuadrada).

Esta matriz expresa el número de puntos de verificación donde se expresa el acuerdo entre dos fuentes (mapa y la realidad) (Chuvieco, 2008). El interés de esta tabla proviene de su capacidad para determinar conflictos entre categorías, es por ello que no solo conocemos la fiabilidad global de la clasificación, sino también la exactitud para cada una de las clases obtenidas, y así poder determinar los principales conflictos entre ellas (Sacristán, 2017).

- Coeficiente Kappa (k)

El coeficiente Kappa calcula la correspondencia inter-observador entre la imagen clasificada y la realidad, es un índice que mide la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación con un clasificador automático y la aleatoriedad de lograr una clasificación correcta con un clasificador cualquiera que pueda conducir a resultados

aparentemente correctos en la matriz de confusión (Berlanga y Ruiz, 2007). Este coeficiente puede tomar valores de -1 a +1, mientras más se acerca a +1 es mayor el grado de concordancia y mientras más se acerca a -1 mayor es el grado de discordancia (Cerde y Villarroel, 2008).

La definición conceptual del coeficiente kappa es la siguiente:

$$\left[K = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \right]$$

Donde;

r = número de fila de la matriz

x_{ii} = número de observaciones en el elemento de la fila i y la columna i (es decir, sobre la diagonal mayor)

x_{i+} = total de observaciones en la fila i (es el total marginal a la derecha de la matriz)

x_{+i} = total de observaciones en la columna i (total marginal al pie de la matriz)

N = número total de observaciones incluidas en la matriz.

Cuadro 2. Valoración de la fuerza de concordancia del coeficiente kappa.

Coeficiente kappa	Fuerza de concordancia
0,00	Pobre
0,01 - 0,20	Leve
0,21 - 0,40	Aceptable
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 - 0,80	Considerable
0,81 - 1,00	Casi perfecta

Fuente: Cerda y Villarroel, (2008).

3. METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

El proyecto de investigación se llevó a cabo en las parroquias rurales de Loja, ubicadas aproximadamente a 40 km al Sur-Occidente, en la Cordillera de los Andes y la Cordillera de Sabanilla. Sus límites son: al Norte con las parroquias urbanas del cantón Loja y el Tambo (Cantón Catamayo); al Sur con las parroquias Quinara y Yangana; al Este con la provincia de Zamora Chinchipe y al Oeste con el cantón Quilanga y Gonzanamá (PDOT, 2014).

Las parroquias de Vilcabamba, San Pedro de Vilcabamba y Malacatos cuentan con una extensión de 434,19 km², y un rango altitudinal de 11500 - 1600 m s.n.m, ubicándose entre las coordenadas geográficas UTM Zona 17S de 4°15'39" Latitud Sur y 79° 13' 21" de Longitud Oeste (PDOT, 2014).

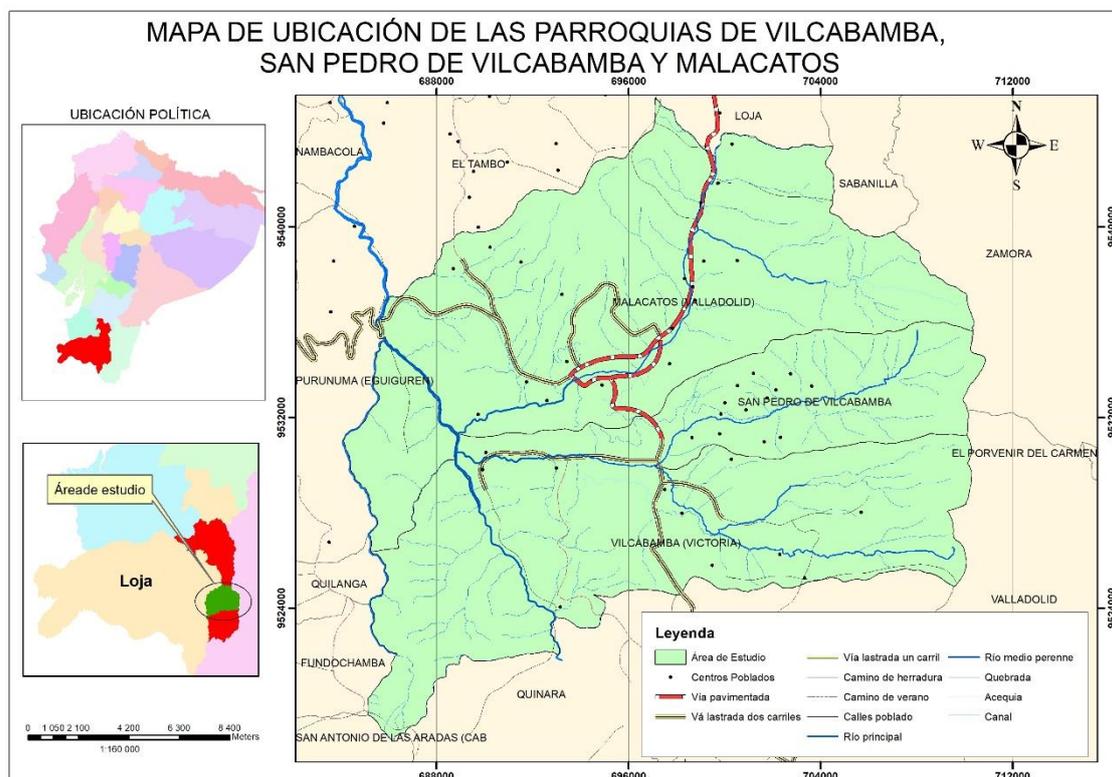


Figura 1. Ubicación de las parroquias Vilcabamba, San Pedro de Vilcabamba y Malacatos, cantón Loja, provincia Loja.

Fuente: Elaboración propia.

Las parroquias rurales de Loja cuentan políticamente con 44 barrios rurales y 17 barrios urbanos. Además, presentan características ambientales, presentando una topografía accidentada y de difícil acceso con alturas que varían desde los 700 hasta 1700 m s.n.m.,

se constituye prácticamente en una cuenca, donde todos los drenajes naturales (quebradas y lagunas) escurren desde la parte alta hacia el río Solanda, que es una afluente del río Catamayo. El territorio se encuentra subdividido en micro-macro cuencas o drenajes menores los cuales drenan sus aguas en las quebradas que atraviesan el territorio de las parroquias. El tipo de clima es relativamente un clima Ecuatorial Alto Montano, Ecuatorial Mesotérmico Seco y Ecuatorial Mesotérmico semi-Húmedo, y posee una temperatura que se mantiene entre 18 y 22 °C, llegando a temperaturas mínimas de 5°C (PDOT, 2015b).

3.2 Métodos

La investigación presenta un diseño no experimental longitudinal, pues se analizó información histórica de imágenes satelitales Landsat correspondiente a los años 1986, 1996, 2007 y 2016.

Para el análisis y procesamiento de la información cartográfica primaria y secundaria, se seleccionó el software libre GRASS 7.4 y QGIS 3.2, mismos que nos permitieron obtener resultados de buena calidad por cada imagen procesada.

El método adaptado de Chuvieco (2008), se describe sistemáticamente a continuación:

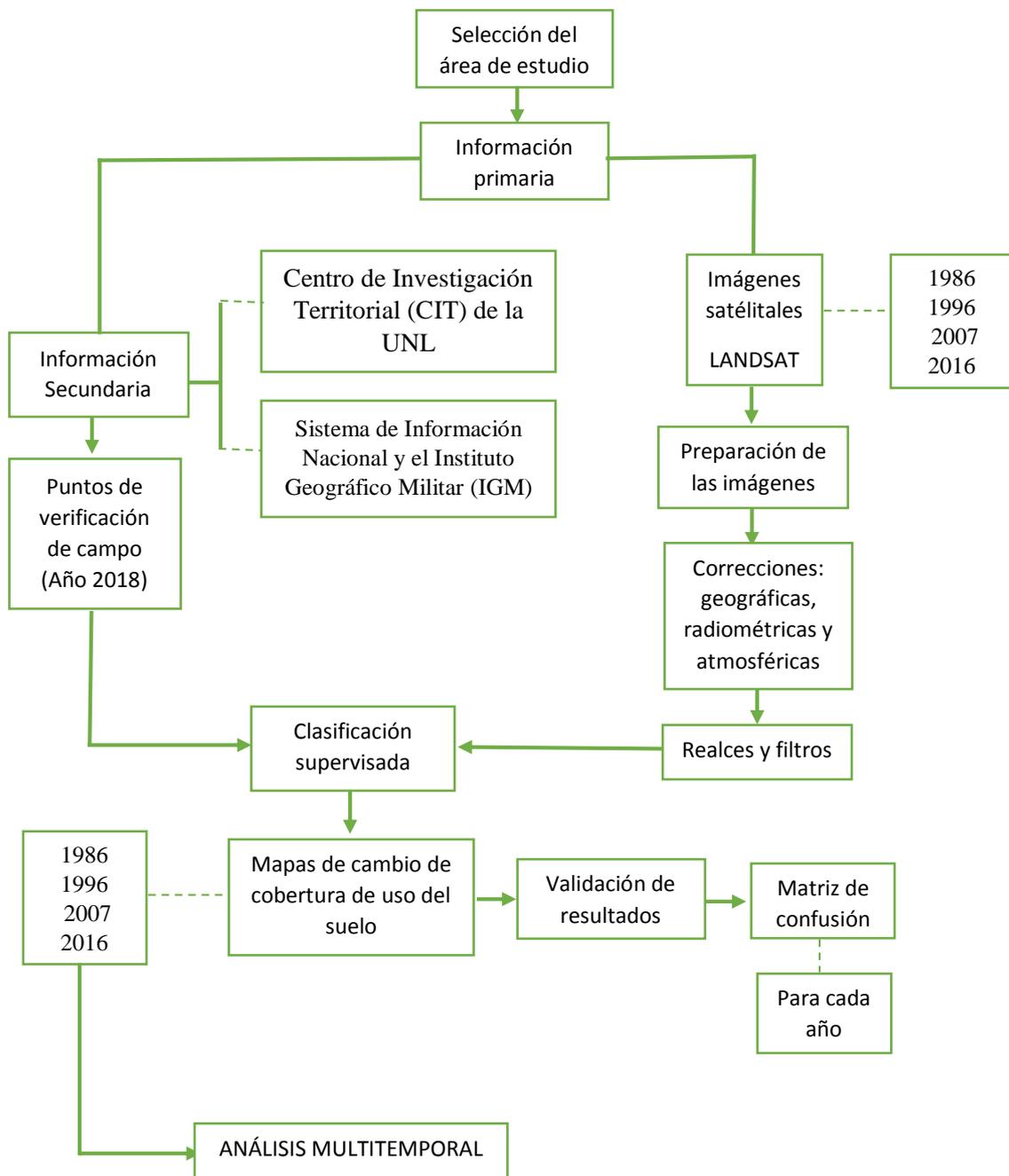


Figura 2. Esquema del desarrollo metodológico.
Fuente: Modificado a partir de Chuvieco, (2008).

En esta investigación se ha planteado la siguiente metodología para cada objetivo de estudio:

3.2.1 Generación de mapas de cambios de uso del suelo de los años 1986, 1996, 2006 y 2018 en las parroquias Vilcabamba, San Pedro de Vilcabamba y Malacatos, cantón Loja, provincia Loja, utilizando herramientas de teledetección y SIG.

Para el desarrollo del primer objetivo se realizó el siguiente proceso:

3.2.1.1 Recopilación de la Información

Como primera actividad se realizó la recopilación de información, mediante la toma de puntos GPS y el reconocimiento en campo de las coberturas y usos, con el propósito de identificar las firmas espectrales de los usos actuales del suelo; para esto se utilizó información cartográfica secundaria para ubicar los puntos de difícil interpretación visual.

Así mismo, se recopiló la información cartográfica “imágenes satelitales” disponible gratuitamente, de la página web de “science for changing world”, <http://glovis.usgs.gov/>, (USGS) (ver tabla 2), también se utilizó información secundaria del Centro de Investigaciones Territoriales (CIT) de la Universidad Nacional de Loja, el Sistema Nacional de Información (SNI) y el Instituto Geográfico Militar (IGM).

Tabla 2. Descripción de adquisición de las Imágenes de Satélite.

Imágenes	Path Row	Sensor	Spacecraft	Fecha de adquisición
1986	010 – 063	TM	Landsat 5	1986/12/04
1996	010 - 063	TM	Landsat 5	1996/07/08
2007	010 - 063	TM	Landsat 5	2007/08/24
2016	010 - 063	ETM+	Landsat 7	2016/11/20

Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que, debido a la presencia de nubes y sombras de nubes en los periodos del 2006 y 2018, fue necesario utilizar imágenes de los periodos del 2007 y 2016, con la finalidad de poder excluir la mayor cantidad de zonas sin información y obtener así una mejor visualización de la cobertura vegetal del área de estudio para su posterior clasificación.

3.2.1.2 Preparación de las imágenes: correcciones y realces

A continuación, se describe cada uno de los procesamientos que se realizaron:

- Correcciones

Primero se realizaron correcciones de tipo geométrica, ajustando las imágenes para que se encuentre con una misma localización. La siguiente corrección fue de tipo radiométrica, este paso se lo hizo convirtiendo la información del pixel niveles digitales (ND), a radiancia captada por el sensor. Seguido se efectuó la corrección atmosférica para eliminar las interferencias de la atmosfera (porcentajes de nubes y problemas de ruido). Con este proceso se eliminó todas las irregularidades detectadas en las imágenes satelitales, en su localización de puntos de control, transformación de coordenadas y en la radiometría de los píxeles que componen a cada imagen.

- Realces

Para facilitar y mejorar la interpretación visual y realce de las imágenes se procedió a realizar composiciones de imágenes, donde se aplicó cada uno de los tres colores primarios (rojo, verde y azul) a cada una de las bandas de la imagen. La elección de las bandas para realizar la composición, y el orden de los colores destinados a cada una, dependerá del tipo sensor al que corresponda la imagen. Esta composición facilitó la cartografía de masas vegetales, cuerpos de agua, infraestructuras (urbano y antrópico), nubes, suelos, etc., (Chuvienco, 2008).

3.2.1.3 Clasificación digital de las imágenes satelitales

- Etapa de entrenamiento

Con las imágenes corregidas, se realizó una clasificación supervisada, con la ayuda del programa GRASS 7.4 y QGIS 3.2, tomando como apoyo las firmas espectrales de las diferentes coberturas y uso actual que se levantaron en la salida de campo. Una vez definido las firmas espectrales para cada cobertura vegetal se procedió a establecer las siguientes categorías: cultivo de caña (CC), otros cultivos (OC), vegetación arbustiva (VA), suelo descubierto (SD), bosque (B), otros usos (Ou), cuerpos de agua (CA), nubes (N) y Sombra de nubes (Nb).

Las coberturas de usos de suelo del área de estudio se establecieron tomando como referencia el protocolo metodológico para elaborar mapas de cobertura y uso de suelo de tierra de Ecuador Continental del MAE 2015.

Las imágenes Landsat por su tamaño de pixel de 30 m x 30 m y remuestreado a 15 m en el caso de Landsat 7 y 8, tienen la característica para trabajos a nivel regional. La escala de trabajo definida fue 1:30000. La leyenda temática que se presenta a continuación nos indica las coberturas del nivel II de MAE, modificadas para esta investigación (ver cuadro 3).

Cuadro 3. Clases de coberturas del suelo.

Nivel II	Nivel de trabajo
Bosque nativo	Bosque
Plantación forestal	
Cultivo semipermanente	Otros cultivos
Cultivo permanente	
Mosaico agropecuario	
Pastizal	
Cultivo semipermanente	Cultivo de caña
Vegetación arbustiva	Vegetación arbustiva
Vegetación herbácea	
Paramo	
Área poblada	Urbano, vías, antrópico
Infraestructura	
Área sin cobertura vegetal	Suelo descubierto
Sin información	Nubes
Cuerpos de agua (Natural, artificial)	Sombra de nubes y cuerpos de agua*
Sin información (sombras de nubes)	

Nota: * La categoría sombras de nubes y cuerpos de agua, al presentar una respuesta espectral similar, así como el porcentaje de área es mínimo, y al no ser sujeto de análisis en esta investigación se las unificó.

Fuente: Modificado a partir de MAE y MAGAP, (2015).

- Etapa de asignación

La base para la etapa de asignación es la etapa de entrenamiento, de esta manera se determina a cada uno de los pixeles de la imagen al valor que le corresponde, esto se realiza con la ayuda de una capa de polígonos (áreas de entrenamiento), que está asociada a una tabla de atributos donde se especifica el tipo de coberturas y uso del suelo. Cuando se definieron las áreas de entrenamiento fue necesario tener en cuenta que estas áreas cubran todos los casos particulares de las clases para que puedan extraerse las características comunes a todas las tipologías que se vayan a englobar en una única clase (Olaya, 2014).

Finalmente se realizó la clasificación supervisada de las imágenes mediante algoritmos de clasificación con la ayuda del programa GRASS y la terminal del sistema operativo

Linux-Ubuntu. Para esta etapa se utilizaron dos algoritmos de clasificación, máxima verosimilitud (*i.maxlik*) y máxima secuencialidad a posteriori (*i.smap*).

El proceso de clasificación supervisada se detalla en el siguiente diagrama de flujo:

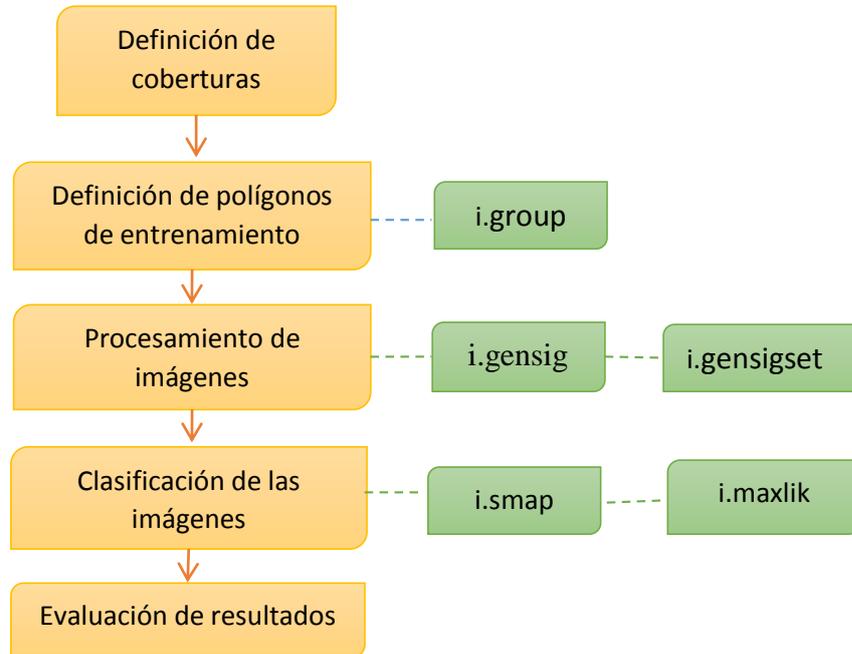


Figura 3. Esquema del desarrollo de la clasificación supervisada en GRASS 7.4.
Fuente: Elaboración propia.

En el software GRASS 7.4, la clasificación supervisada de las imágenes se realizó con los siguientes comandos:

- ***i.group***: nombre del grupo de imágenes satelitales q se va analizar, obtiene las capas del mapa ráster en un grupo, el usuario asigna los grupos y subgrupos, además se selecciona las capas del mapa ráster que se van a residir en ella (Lizarazo, 2013).
- ***i.gensig***: procesamiento para obtener las muestras de entrenamiento a partir del archivo ráster, genera la estadística para el algoritmo de clasificación *i.maxlik* a partir de mapas ráster (Lizarazo, 2013).
- ***i.gensigset***: procesamiento que genera la estadística para el algoritmo de clasificación *i.smap* a partir de mapas ráster (Lizarazo, 2013).
- ***i.maxlik***: algoritmo de máxima verosimilitud realiza una clasificación mediante la reflectancia espectral de datos de imágenes, se genera con información de firmas espectrales del comando *i.gensig* (Lizarazo, 2013).

- *i.smap*: algoritmo de máxima secuencialidad a posteriori genera una clasificación de imagen contextual (segmentación de imágenes), a partir de la estimación que se obtiene en el comando *i.gensigset* (Lizarazo, 2013).

Este proceso se realizó para todas las imágenes satelitales, el primer método que se aplicó es el de máxima secuencial a posteriori (SMAP) que trata de mejorar la precisión de la segmentación mediante la segmentación de la imagen en regiones en lugar de segmentación de cada pixel por separado (GRASS GIS, 2019). El segundo método que se realizó fue el de máxima verosimilitud (ML), que clasifica a cada pixel por separado (GRASS GIS, 2019). La calidad de la clasificación de la imagen dio como resultado que el método de máxima secuencialidad a posteriori (SMAP) es el de mejores resultados para los periodos analizados.

3.2.2 Cuantificación del cambio de uso del suelo en las parroquias Vilcabamba, San Pedro de Vilcabamba y Malacatos, con énfasis en los cultivos de caña.

Una vez finalizado el proceso de digitalización y categorización de las coberturas del suelo, se realizó el siguiente proceso:

3.2.2.1 Detección de cambios

Para la detección de cambios de coberturas y uso de suelo, se identificaron y calcularon áreas de cada imagen procesada. Esta información fue generada a partir de la siguiente matriz (ver tabla 3):

Tabla 3. Matriz de cuantificación de coberturas y uso del suelo.

N°	Uso del suelo	Periodo 1		Periodo 2		Periodo n	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%
1	Cultivo de caña						
2	Otros cultivos						
3	Suelo descubierto	P1	(P1/ ΣP1)	P2	(P2/ ΣP2)	Pn	(Pn/ ΣPn)
4	Vegetación		*100		*100		*100
5	arbustiva						
6	Bosque						
7	Otros usos						
8	Nubes						
	Sombra de nubes y cuerpos de agua						
	Total		ΣP1		ΣP2		ΣPn

Nota: P1, P2, Pn: cuantificación del uso de suelo del primer y segundo periodo. ΣP1, ΣP2: sumatoria total de los tipos de cobertura del primer y segundo periodo. Σ (P2-P1): sumatorio total del cambio neto entre el primer y segundo periodo.

Fuente: Veliz, (2015).

3.2.2.2 Validación de resultados

Para la validación de los resultados de la clasificación, se ejecutó un análisis de exactitud, donde se realizó una matriz de confusión y se determinó el coeficiente Kappa. Para este proceso se tomaron 70 puntos aleatorios, que se generaron con la herramienta de creación de vectores QGIS 3.2, tomando en consideración para la imagen del año 2016 los puntos tomados en campo. Este proceso de asignación de puntos se lo realizó de manera manual, y los valores obtenidos se los comparó con resultados de cada clasificación.

En la siguiente tabla se indica la forma de realizar la matriz de confusión:

Tabla 4. Tipos de exactitud para la validación de clasificación de imágenes.

	Matriz de confusión				Total	Exactitud usuario	Error comisión
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase n			
Clase 1	X_{11}				X_{1+}	X_{11}/X_{1+}	$1-X_{11}/1+$
Clase 2		X_{22}			X_{2+}	X_{22}/X_{2+}	$1-X_{22}/2+$
Clase 3			X_{33}		X_{3+}	X_{33}/X_{3+}	$1-X_{33}/3+$
Clase n				X_{nn}	X_{n+}	X_{nn}/X_{n+}	$1-X_{nn}/n+$
Total	X_{+1}	X_{+2}	X_{+3}	X_{+n}	ΣX_{ij}		
Exactitud productor	X_{11}/X_{+1}	X_{22}/X_{+2}	X_{33}/X_{+3}	X_{nn}/X_{+n}			
Error omisión	$1-X_{11}/X_{+1}$	$1-X_{22}/X_{+2}$	$1-X_{33}/X_{+3}$	$1-X_{nn}/X_{+n}$			

Fuente: Chuvieco, (2008).

Con la matriz de confusión se generan tres tipos de exactitud: exactitud global, exactitud del usuario y la exactitud del productor (ver tabla 4). Las medidas de exactitud mencionadas, solo se basan en resultados parciales de la matriz, por lo tanto, no aprovechan todos los datos en su totalidad, a su vez se toman resultados aleatorios, que pueden llevar a interpretaciones sesgadas del método. Para corregir los tipos de exactitud, se utiliza el “Coeficiente Kappa”(Felipe y Vásquez, 2011).

4. RESULTADOS

Después de haber realizado el procesamiento de toda la información cartográfica primaria y secundaria, se procedió a identificar los cambios que se han dado en la cobertura del suelo. En este capítulo se indica los resultados que se han obtenido para cada uno de los objetivos planteados:

4.1 Generación de mapas de cambios de uso del suelo de los años, 1986, 1996, 2006 y 2018, utilizando herramientas de teledetección y SIG.

Se realizó la clasificación supervisada de las imágenes satelitales con la finalidad de identificar las distintas coberturas existentes durante los cuatro periodos de estudio. Los mapas de cobertura y uso del suelo fueron elaborados a una escala de impresión de 1:50000, en la leyenda temática se determinaron diferentes usos de cobertura del suelo existentes, en el área de estudio (ver cuadro 3). También se generó una categoría de nubes debido a que, en las imágenes de los periodos de 1986, 1996 y 2007 había la presencia de este fenómeno. Es necesario tener en cuenta que el porcentaje máximo de nubosidad que debe contener una imagen es del 20 % para que no afecte los resultados de las clasificaciones.

A continuación, se presentan los mapas obtenidos para cada uno de los periodos estudiados con sus respectivas características de la cobertura y uso de suelo obtenido:

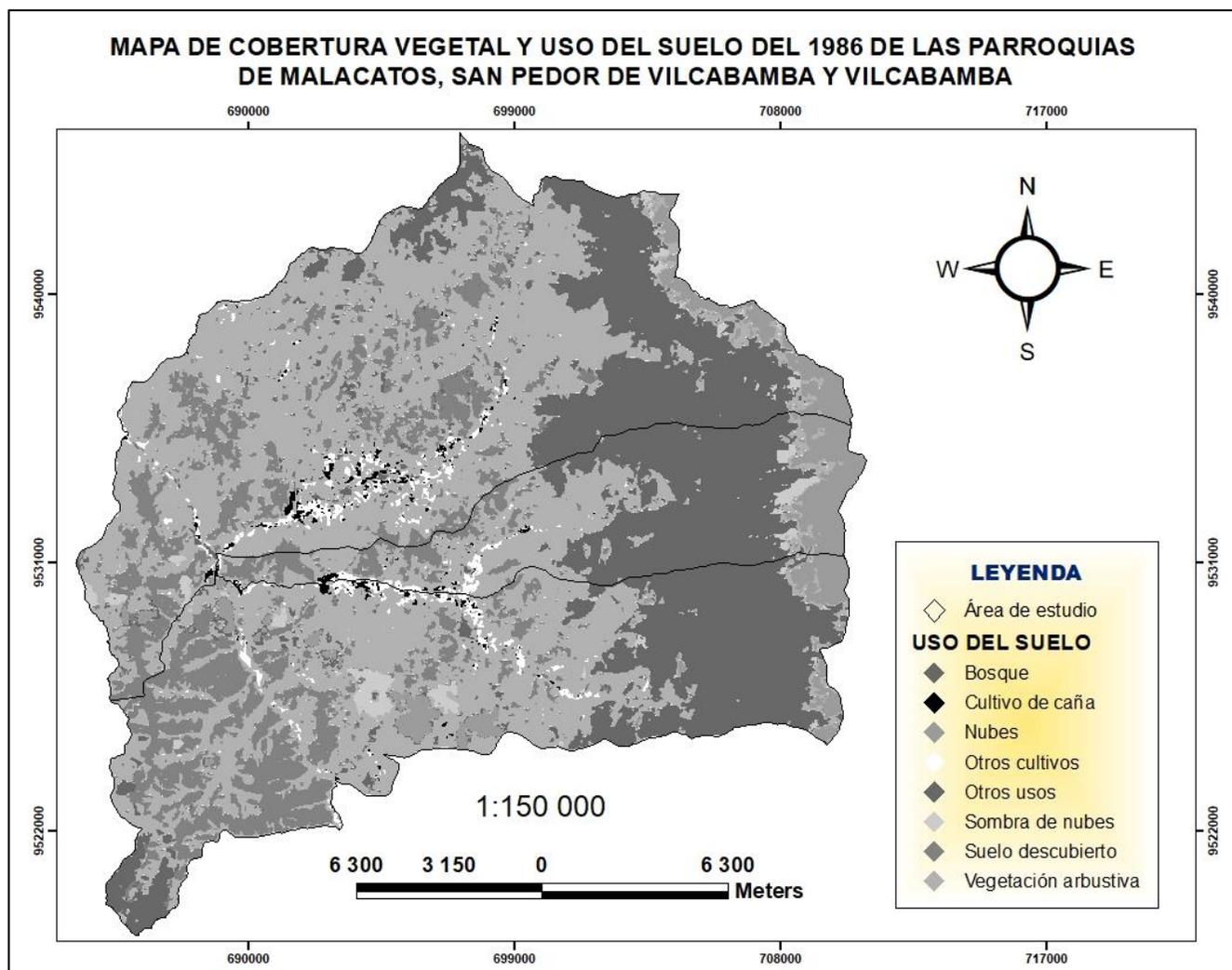


Figura 4. Mapa de Coberturas y Uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 1986.
Fuente. Elaboración propia.

Tabla 5. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 1986.

Código	Cobertura	1986	
		Ha	%
1	Cultivo de caña	285,33	0,66
2	Otros cultivos	759,77	1,75
3	Suelo descubierto	6570,41	15,17
4	Vegetación arbustiva	21307,54	49,19
5	Bosque	11125,55	25,68
6	Otros usos/ urbano	537,21	1,24
7	Nubes	2092,01	4,83
8	Sombra de nubes y cuerpos de agua	641,02	1,48
Total		43318,84	100,00

Fuente: Elaboración propia.

Las superficies evaluadas para el año de 1986 (ver figura 4 y tabla 5) en el área total de las parroquias de estudio ocupan las siguientes extensiones: cultivo de caña con 285,33 ha cubriendo el (0,66 %), seguido de vegetación arbustiva con 21307,54 ha (49,19 %), bosque con 11125,55 ha (25,68 %), otros usos con 537,21 ha equivalente al (1,24 %) y por último el (4,83 %) correspondiente a 2092,01 ha de nubes, esta cobertura aparece debido a que en algunas imágenes Landsat se llega a obtener un porcentaje alto de nubosidad (ver anexo 1).

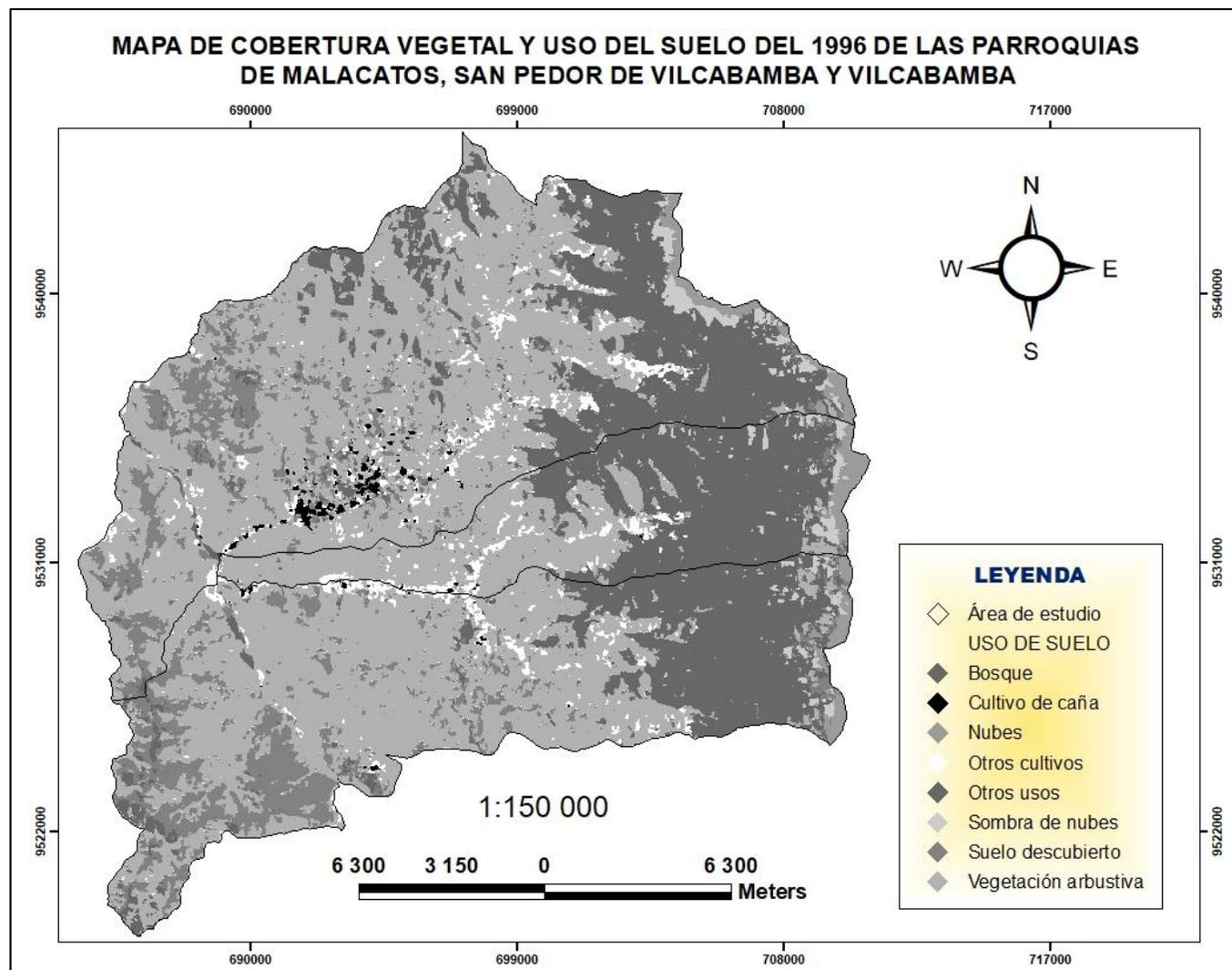


Figura 5. Mapa de Coberturas y Uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 1996.
Fuente. Elaboración propia

Tabla 6. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 1996.

Código	Cobertura	1996	
		Ha	%
1	Cultivo de caña	234,23	0,54
2	Otros cultivos	1497,33	3,46
3	Suelo descubierto	4645,74	10,72
4	Vegetación arbustiva	23370,92	53,95
5	Bosque	11394,76	26,30
6	Otros usos/ urbano	736,27	1,70
7	Nubes	743,51	1,72
8	Sombra de nubes y cuerpos de agua	696,08	1,61
	Total	43318,84	100,00

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al año de 1996, se observa en la figura 5 y tabla 6 que el cultivo de caña ocupa 234,23 ha equivalente al (0,54 %) de la superficie total del área de estudio. Las coberturas con mayores extensiones son: vegetación arbustiva con 23370,92 ha (53,95 %) y bosque con 11394,76 ha (26,30 %). Así mismo, se encuentran en menores proporciones la coberturas de otros cultivos con 1497,33 ha (3,46 %), seguido de otros usos con 736,22 ha representado el (1,70 %), y por último se obtuvo el (1,72 %) de nubes (ver anexo 2).

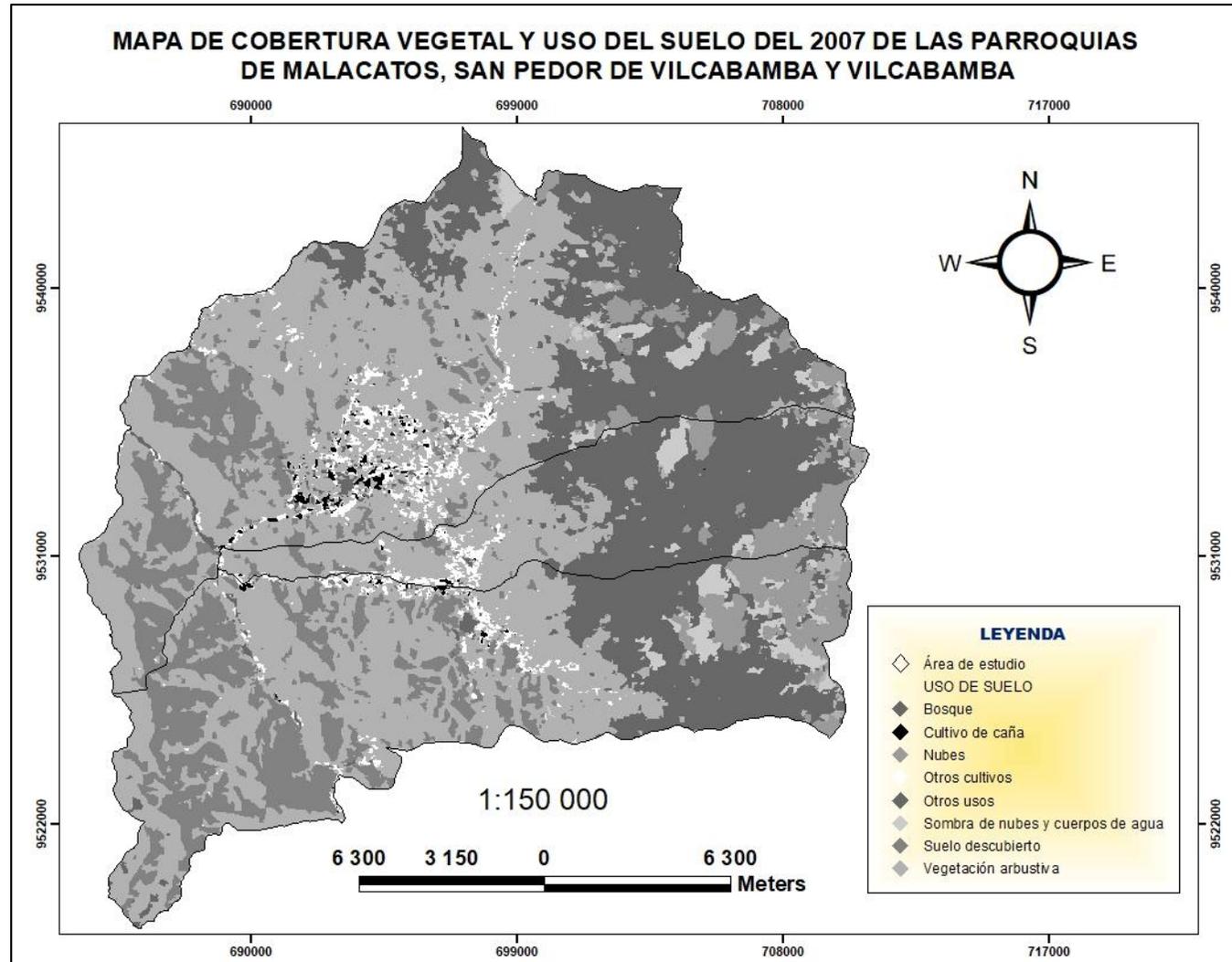


Figura 6. Mapa de Coberturas y Uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 2007.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Datos en hectáreas y porcentajes de cobertura y uso de suelo del año 2007.

Código	Cobertura	2007	
		Ha	%
1	Cultivo de caña	178,52	0,40
2	Otros cultivos	1307,12	3,00
3	Suelo descubierto	6477,96	15,00
4	Vegetación arbustiva	19921,27	46,00
5	Bosque	11429,51	26,40
6	Otros usos/ urbano	304,93	0,70
7	Nubes	2440,63	5,60
8	Sombra de nubes y cuerpos de agua	1258,90	2,90
Total		43318,84	100,00

Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2007 (ver figura 6 y tabla 7) el cultivo de caña ocupó 178,52 ha correspondiente al (0,40 %). Las coberturas con mayores extensiones son vegetación arbustiva 9921,27 ha (46,00 %), seguida de bosque con 11125,55 ha de un (25,68 %). Así mismo, en menores porcentajes se encuentran las coberturas de otros usos con 537,21 ha (1,24 %) y el (1,48 %) correspondiente a 641,02 ha de sombra de nubes y cuerpos de agua de la superficie total del área de estudio (ver anexo 3).

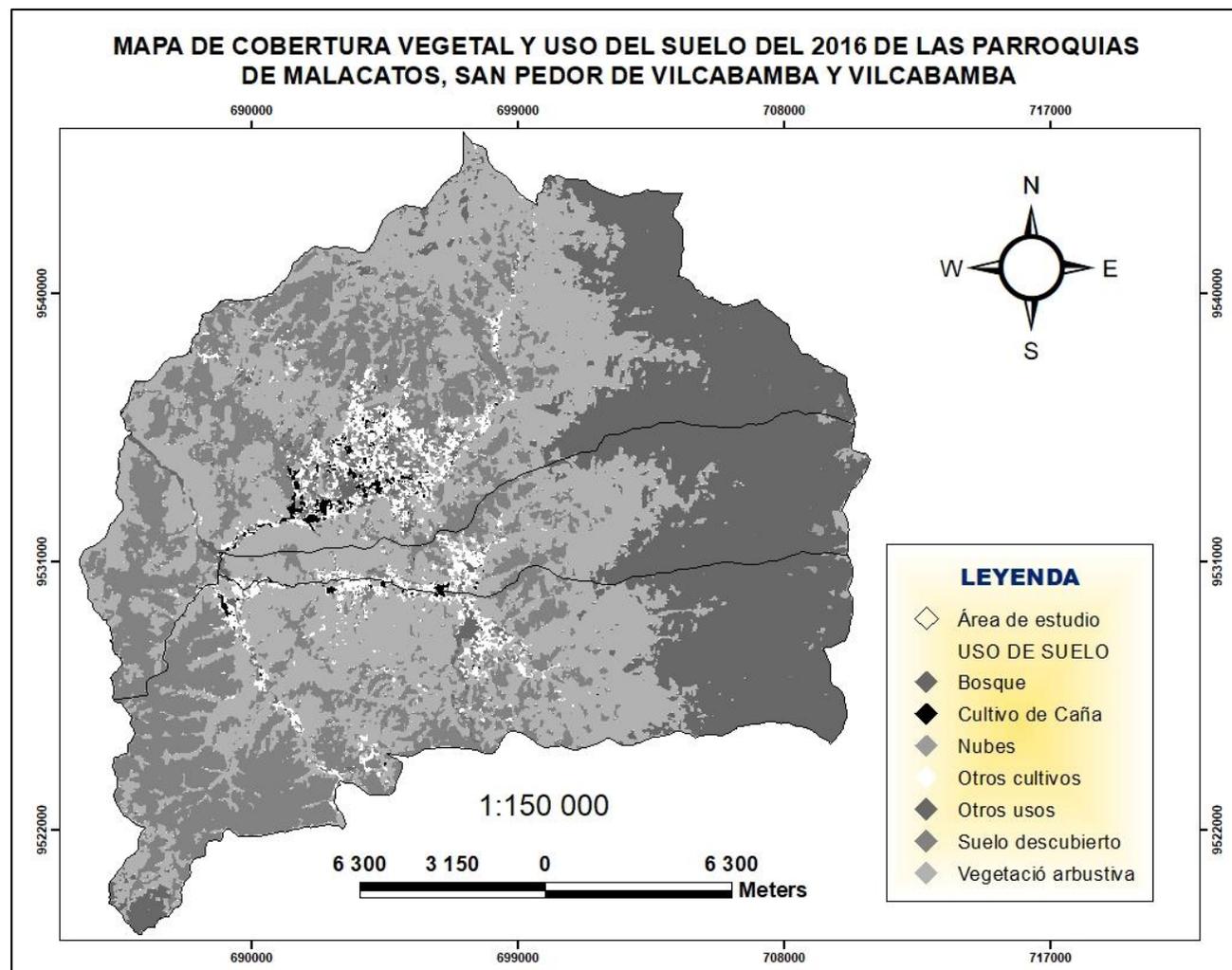


Figura 7. Mapa de Cobertura y Uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 2016.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 2016.

Código	Cobertura	2016	
		Ha	%
1	Cultivo de caña	226,51	0,50
2	Otros cultivos	1658,03	3,80
3	Suelo descubierto	10918,87	25,20
4	Vegetación arbustiva	18809,92	43,40
5	Bosque	11173,80	25,80
6	Otros usos/ urbano	501,03	1,20
7	Nubes	-	-
8	Cuerpos de agua	29,68	0,10
Total		43317,84	100,00

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 8 y figura 7 muestran que en el año 2016 el cultivo de caña cuenta con 226,51 ha en un (0,50 %), la cobertura con mayor extensión es la de vegetación arbustiva con 18809,92 ha (43,40 %), seguida de bosque con 11173,80 ha cubriendo un (25,80 %), con valores menores se obtuvieron las coberturas de otros usos con 501,03 ha (1,20 %) y cuerpos de agua con 29,68 ha correspondiente al (0,10 %) de la superficie total de las parroquias de estudio (ver anexo 4).

4.2 Cuantificación del cambio de uso del suelo, con énfasis en los cultivos de caña

De acuerdo con los resultados obtenidos en la clasificación supervisada, se pudo obtener la cuantificación de los cambios de usos de las superficies de cobertura vegetal. Además, en la figura 8 se aprecia de mejor manera la dinámica de las coberturas de uso del suelo para los cuatro periodos distribuidos en 30 años de estudio. A continuación, se describen los porcentajes y hectáreas de las diferentes coberturas del suelo, para cada periodo de tiempo (ver tabla 9).

Tabla 9. Datos de hectáreas y porcentajes de las diferentes coberturas del suelo, de cada año de estudio.

Cobertura	1986		1996		2007		2016	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Cultivo de caña	285,33	0,66	234,23	0,54	178,52	0,40	226,51	0,50
Otros cultivos	759,77	1,75	1497,33	3,46	1307,12	3,00	1658,03	3,80
Suelo descubierto	6570,41	15,17	4645,74	10,72	6477,96	15,00	10918,87	25,20
Vegetación arbustiva	21307,54	49,19	23370,92	53,95	19921,27	46,00	18809,92	43,40
Bosque	11125,55	25,68	11394,76	26,30	11429,51	26,40	11173,80	25,80
Otros usos/ urbano	537,21	1,24	736,27	1,70	304,93	0,70	501,03	1,20
Nubes	2092,01	4,83	743,51	1,72	2440,63	5,60	-	-
Sombra de nubes y cuerpos de agua	641,02	1,48	696,08	1,61	1258,90	2,90	29,68	0,10
TOTAL	43318,84	100,00	43318,84	100,00	43318,84	100,00	43317,84	100,00

Fuente: Elaboración propia.

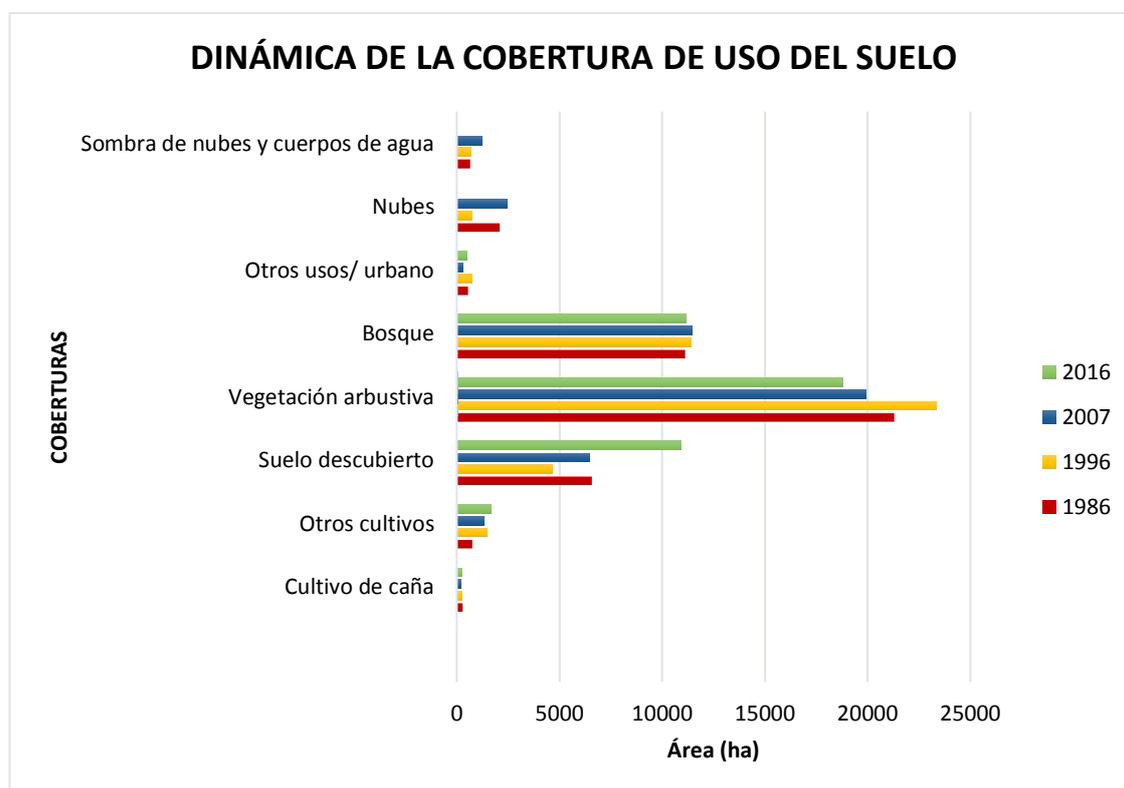


Figura 8. Dinámica de las coberturas de cambio y uso del suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Validación de resultados: obtención de la matriz de confusión para los años de 1986, 1996, 2007 y 2016

Descripción de la matriz de confusión obtenida para cada año de estudio:

Tabla 10. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1986.

CLASES DE COBERTURA DEL SUELO	CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE 1986								TOTAL	Exactitud del usuario	Error de comisión
	1 (C)	2 (OC)	3 (SD)	4 (VA)	5 (B)	6 (OU)	7 (N)	8 (SN)			
1.Cultivo de caña	9								9	100	0
2.Otros cultivos		4							4	100	0
3.Suelo descubierto			6	4	1				11	54,55	45,45
4.Vegetación arbustiva			1	25	1				27	92,59	7,41
5.Bosque					12				12	100	0
6.Otros usos						3			3	100	0
7.Nubes							3		3	100	0
8.Sombras de nubes								1	1	100	0
TOTAL	9	4	7	29	14	3	3	1	70		
Exactitud del productor	100	100	85,71	86,21	86,71	100	100	100			
Error de omisión	0	0	14,29	13,79	13,29	0	0	0			
Exactitud global	90,00										
Índice kappa	86,95										

Fuente: Elaboración propia.

El año de 1986 (ver tabla 10), presentó una exactitud de usuario y de productor de 100 para la cobertura de “cultivo de caña”, “otros cultivos”, “otros usos” y “nubes”, esto en sus (285,33 ha), (759,77 ha), (537,21 ha) y 2(092,01 ha) calculadas respectivamente. Así mismo, para la cobertura de “vegetación arbustiva” se estimó (21307,54 ha) con exactitud de usuario de 92,59 y productor de 86,21. La cobertura correspondiente a “bosque” tuvo (11125,54 ha), con exactitud de usuario de 100 y productor de 86,71, por último “suelo descubierto” con exactitud de usuario de 54,55 y de productor de 85,71 de las (6570,41 ha) evaluadas.

Tabla 11. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1996.

CLASES DE COBERTURA DEL SUELO	CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE 1996								TOTAL	Precisión del usuario	Error de comisión
	1 (C)	2 (OC)	3 (SD)	4 (B)	5 (OU)	6 (N)	7 (SN)	8 (VA)			
1. Cultivo de caña	8								8	100	0
2.Otros cultivos		8	1						9	88,89	11,11
3. Suelo descubierto			6		1			1	8	75,00	25,00
4.Bosque				12				3	15	80,00	20,00
5.Otros usos					7			1	8	87,50	12,50
6.Nubes						3			3	100	0
7.Sombras de nubes y cuerpos de agua							3		3	100	0
8.Vegetación arbustiva			3					14	17	82,35	17,65
TOTAL	8	8	10	12	8	3	3	19	71		
Exactitud del productor	100	100	60	100	87,50	100	100	73,68			
Error de omisión	0	0	40	0	12,50	0	0	26,32			
Exactitud global	85,90										
Índice Kappa	83,25										

Fuente: Elaboración propia.

Para la clasificación del año de 1996 (ver tabla 11) las coberturas de “cultivo de caña” y “nubes” presentaron una exactitud de usuario y de productor de 100, esto en sus (285,23 ha) y (743,51 ha) evaluadas respectivamente. De la misma manera, para las coberturas de: “otros cultivos” se obtuvo una exactitud de usuario de 88,89 y de productor de 100 en sus (1497,33 ha); “vegetación arbustiva” con exactitud de usuario de 75,00 y exactitud de productor de 60,00 en sus (23370,92 ha); la cobertura correspondiente a “bosque” con (11394,60 ha), con una exactitud de usuario de 80,00 y productor de 100, finalmente la cobertura de “otros usos” con valores de exactitud y productor de 87,50 de las (736,27 ha) calculadas.

Tabla 12. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2007.

CLASES DE COBERTURA DEL SUELO	CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DEL 2007									TOTAL	Exactitud del usuario	Error de comisión
	1 (C)	2 (OC)	3 (SD)	4 (VA)	5 (B)	6 (OU)	7 (N)	8 (SN)				
1.Cultivo de caña	6									6	100	0
2.Otros cultivos		7								7	100	0
3.Suelo descubierto			6	2						8	75,00	25,00
4.Vegetación arbustiva		1		13	2					16	81,25	18,75
5.Bosque				2	11					13	84,62	15,38
6.Otros usos					2	5				7	71,43	28,57
7.Nubes							8			8	100	0
8.Sombras de nubes					1			4		5	80,00	20,00
TOTAL	6	8	6	17	16	5	8	4		70		
Exactitud del productor	100	87,50	100	76,47	68,75	100	100	100				
Error de omisión	0	12,50	0	23,53	31,25	0	0	0				
Exactitud global	85,71											
Índice kappa	83,18											

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 12, la clasificación realizada para el año 2007, presenta para el “cultivo de caña” y “nubes” una exactitud de usuario y de productor de 100, esto en sus (178,52 ha) y (2440,63 ha) calculadas respectivamente. Para la cobertura de “otros cultivos” de las (1307,12 ha) evaluadas, se obtuvo una exactitud de usuario de 100 y de productor de 87,50. La cobertura de “vegetación arbustiva” en sus (19921,27 ha), obtuvo exactitud de usuario de 81,25 y de productor de 76,47. La cobertura de “bosque” estimó (11429,51 ha), con exactitud de usuario de 84,62 y de productor de 68,75. Por último, la cobertura correspondiente a “otros usos” tuvo (304,93 ha), con una exactitud de usuario de 71,43 y de productor de 100.

Tabla 13. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2016.

CLASES DE COBERTURA DEL SUELO	CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DEL 2016								TOTAL	Exactitud del usuario	Error de comisión
	1 (C)	2 (OC)	3 (SD)	4 (VA)	5 (B)	6 (OU)	7 (CA)				
1.cultivo de caña	6								6	100	0
2.Otros cultivos		7							7	100	0
3.Suelo descubierto		2	13	2					17	76,47	23,53
4.Vegetación arbustiva			1	13	1				15	86,67	13,33
5.Bosque					12				12	100	0
6.Otros usos						9			9	100	0
7.cuerpos de agua							4		4	100	0
TOTAL	6	9	14	15	13	9	4		70		
Exactitud del productor	100	77,78	92,86	86,67	92,31	100	100				
Error de omisión	0	22,22	7,14	13,24	7,69	0	0				
Exactitud global	91,43										
Índice kappa	89,72										

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para la matriz de confusión del año 2016 se presentó en las coberturas de “cultivo de caña”, “otros usos” y “cuerpos de agua” una exactitud de usuario y de productor de 100, esto en sus (226,51 ha), (501,03 ha) y (29,68 ha) calculadas respectivamente. En cuanto a la cobertura de “otros cultivos” de las (1658,03 ha) evaluadas, se obtuvo una exactitud de usuario de 100 y de productor de 77,78. Para “vegetación arbustiva” se estimó (18809,92 ha), con una exactitud de usuario del 86,67 y productor de 86,67, y la cobertura correspondiente a “bosque” con una exactitud de usuario de 100 y productor de las con (11173,8 ha) (ver tabla 13).

En la tabla 14 se observan los resultados obtenidos en la matriz de confusión para cada periodo de tiempo, siendo estos, la exactitud global, considerándose muy satisfactoria, debido a que los resultados son la comparación de puntos tomados aleatoriamente con la clasificación supervisada de una imagen satelital. Además, se aplicó otra técnica de exactitud “Índice Kappa” con la totalidad de la información obtenida del cruce vectorial de las dos capas comparadas, considerado que todos los valores obtenidos en los diferentes periodos tienen una fuerza de concordancia casi perfectas, por encontrarse entre los rangos de 0,81 - 100.

Tabla 14. Porcentajes de la verificación de la fuerza de concordancia con los 4 periodos de estudio.

Periodo	Exactitud global	Índice Kappa	Fuerza de concordancia
1986	90,00	86,95	Casi perfecta
1996	85,92	83,25	Casi perfecta
2007	85,71	83,18	Casi perfecta
2016	91,43	89,72	Casi perfecta

Fuente: Elaboración propia.

5. DISCUSIÓN

Existen diferentes estudios en todo el mundo relacionadas con el cambio de uso del suelo, y el análisis multitemporal como los que realizaron: (Killeen *et al.*, 2005), (Pérez y Sendra, 2007), (Velázquez *et al.*, 2002.), (Zuzell *et al.*, 2007), (Silva y Rubio, 2013), (Veliz, 2015), (Palacios, 2015), (Pinos y Arévalo, 2017). Estos estudios permiten conocer las tendencias de procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada, así mismo el crecimiento de asentamientos humanos, de infraestructura y servicios que impacta la calidad del ambiente (Velázquez *et al.*, 2002), alterando la funcionalidad de los ecosistemas, siendo el cambio de uso del suelo uno de los principales agentes de transformación y alteración en la vegetación (Pinos y Arévalo, 2017).

La respuesta al cambio de uso del suelo en el área de estudio se puede observar en la figura 8 y en la tabla 9, donde se detallan los cambios de las categorías de uso del suelo, la superficie y el porcentaje que se presentó para los periodos de 1986, 1996, 2007 y 2016. Este cambio se refiere a las hectáreas que incrementaron o disminuyeron en cada categoría (Trucíos, 2013). En los 30 años comprendidos en el estudio, las categorías de cultivo de caña y vegetación arbustiva han disminuido su superficie, pero bosque se ha mantenido de manera lineal, la cobertura de suelo descubierto y otros cultivos indican un incremento en su superficie. Lo que respecta a nubes, sombradas nubes y cuerpos de agua no se analizó, debido a que en estas categorías no existe la posibilidad de identificar el tipo de cobertura y uso. Así mismo, para la categoría sombras de nubes y cuerpos de agua, la respuesta espectral es similar.

Loja es una provincia con abundante producción agrícola, representada por el 7,64 % de la superficie a nivel nacional, siendo la caña de azúcar el cultivo de mayor producción con 5,09 % (INEC, 2011). El Gobierno Provincial de Loja, (2012) menciona que la mayor cobertura de caña de azúcar se encuentra en el valle de Catamayo y además se encuentra en pequeños valles ubicados en la parroquia, el Ingenio del cantón Espíndola y en las parroquias de Quinara, Malacatos y Vilcabamba del Cantón Loja, ocupando una superficie 0,37 %. Según los datos obtenidos en este estudio (ver anexo 9), la cobertura de caña para el año 1986 fue de 0,66 % del área de estudio, para el 1996 la superficie ocupada para este uso decreció a 0,54 %; superficie que en el 2007 disminuyó a 0,40 %. Para Ortiz, (2016) este suceso de disminución se debe a la falta de apoyo por parte del Estado para el cañicultor, tanto a lo que se refiere a capacitaciones y créditos, así como

las condiciones precarias para la comercialización y creación de precios justos para su producción.

En el periodo del 2007 - 2016 el análisis da como resultado el incremento de la superficie de caña, en un porcentaje de 0,50 del área total, así como menciona Quezada, (2017) en los años de 2006 - 2007 se realizó un convenio entre MALCA, MAGAP, y GAD de Catamayo, para fortalecer e incrementar la producción de caña en este cantón, causando un efecto positivo en los cañicultores de las parroquias analizadas, que se incentivaron a incrementar la superficie para este uso de suelo.

La extensión de monocultivos ha dejado gran parte del suelo estéril, puesto que algunos suelos con características pobres en nutrientes requieren que se incremente la aplicación de agroquímicos, en especial de herbicidas y fertilizantes nitrogenados, para lograr niveles altos de producción, provocando drásticos efectos ambientales secundarios, afectando a su estructura, compactándolos y degradándolos (Altieri, 2009). Esto se contrasta con este estudio, en donde podemos observar que la superficie ocupada para el cultivo de caña en el periodo de estudio tiende a disminuir en un 20,61 %, en relación con el año de 1986, que es el año de inicio de estudio, lo cual se relaciona con el informe del Banco Central del Ecuador, (2017) a través de su programa de Coyuntura, que pone a consideración de usuarios, los resultados obtenidos del Sector Agropecuario en el cultivo de caña de azúcar, determinando que esta coyuntura experimenta una caída, debido a los bajos rendimientos de producción alcanzados.

Para Zuaznábar, (2010) uno de los impactos ambientales más relevantes ocasionados por el cultivo de la caña de azúcar es el humo generado por la quema, provocando contaminación debido a que emiten al aire monóxido de carbono, hidrocarburos, óxido de azufre y aumenta las emisiones de gases de efecto invernadero, siendo este el principal causante del cambio climático, ocasionando daños a la salud de los seres vivos. Además, afecta al soporte de la actividad agrícola, matando a insectos, lombrices y microorganismos que hacen posible la vida del suelo, produciendo pérdida de nutrientes y esterilización del suelo (Herrero, 2014).

Además, Cevallos, (2016) menciona que la pérdida de la cobertura de cultivo de caña, está relacionada con el incremento constante de la superficie para infraestructuras, fincas productivas y vacacionales existentes desde 1976. Esto a su vez se relaciona con estudios elaborados en la red experimental del Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), que indican que el monocultivo de la caña de azúcar contribuye a la

degradación paulatina del suelo, con una disminución progresiva en el contenido de materia orgánica debido fundamentalmente a métodos inadecuados de manejo (Morales *et al.*, 2011).

Es importante mencionar que entre los principales impactos ambientales por la producción de la caña de azúcar se encuentran los efectos ocasionados por el cambio de uso del suelo, así como la contaminación de ríos y aguas subterráneas debido al uso de plaguicidas. La compactación del suelo y la erosión debido al uso intensivo de maquinaria agrícola, las emisiones de contaminantes atmosféricos por la práctica de quema de caña de azúcar antes de la cosecha, ocasionando empobrecimiento de la diversidad biológica (vegetal y animal) debido a la eliminación de todos los seres vivos (Aguilar *et al.*, 2015).

Para la cobertura de otros cultivos, Cevallos, (2016) menciona que en el periodo 2004 - 2010 hubo un aumento progresivo de 108 ha de cultivos en huertas, caracterizadas por estar compuestas por fincas productivas de cultivos de ciclo corto como: maíz, frejol, arveja, papa, haba, entre otros, y cultivos permanentes como: caña, café, plátanos y frutos. Por otro lado, el PDOT de Loja, (2014a) afirma que otro componente que influye en el crecimiento de esta cobertura, son las prácticas de una agricultura más amigable con el ambiente (orgánica y agroecológica) que está ganando espacio en estas parroquias por la demanda de productos alimenticios, los turistas y residentes extranjeros. Estos acontecimientos se relacionan con datos obtenidos en este estudio (ver anexo 10), ocupando 759,77 ha para el año de 1986 y aumentando a 1658,03 ha con respecto al 2016.

En la provincia de Loja existe una tasa anual de deforestación de 18,15 ha/año, en su cobertura boscosa (MAE, 2015). En las parroquias de estudio la mayor proporción de territorio (70 %) corresponden a zonas de conservación y protección de bosque nativos, paramos u otra vegetación nativa (Mendoza, 2017). Indicando en la presente investigación que la cobertura boscosa en el 2016 ocupa 11173,80 ha correspondientes al 25,80 % de superficie total del área de estudio (ver anexo 11). Esto se debe a que la mayor parte del área del bosque se encuentran en áreas protegidas: El Parque Nacional Podocarpus, ocupa una superficie de 14022,33 ha que representa el 7,41 % del área cantonal. El Parque Colambo Yacuri, con una superficie de 15314,83 ha representa el 8,09 % de la superficie cantonal, incluyendo a Quinara y Yangana (PDOT, 2015b). Además, se encuentra localizado en la parroquia de Vilcabamba el Bosque protector Rumihuilco, con una superficie total de 39,20 ha equivalente al 0,02 % en su zona de amortiguamiento (PDOT, 2015b). El programa socio bosque es otro factor para la

conservación y protección de bosques, consistiendo en la entrega de incentivos económicos por parte del MAE a propietarios/as individuales y a comunidades campesinas e indígenas (PDOT, 2015c). Para la FAO, (2019) estas áreas de protección y conservación, disminuyen los impactos negativos ocasionados por las actividades antrópicas.

El estudio realizado por Cevallos (2016), menciona que la disminución de la cobertura de vegetación arbustiva fue uno de los hechos demostrados en esta área, presentando mayores cambios en los años 2004 – 2010; esto tiene concordancia con los datos obtenidos en este estudio, donde se puede evidenciar que entre los años del 2007 - 2016 se presentó mayor pérdida de esta cobertura en un 43,40 % de su superficie total (ver anexo 12). Además, Espinosa (2016), cita que el rápido crecimiento del turismo es una fuerza principal de la pérdida de biodiversidad en las parroquias, por contar con un clima agradable e ideal para ser visitado durante todo el año, llamando la atención de los turistas. Esto ha ocasionado un aumento paulatino de la fragmentación en la zona, disminuyendo la vegetación arbustiva y vegetal herbácea desde 1986 - 2016 a un 43,40 % de superficie total del área de estudio.

Todos los sucesos antes mencionados, se ven reflejados en el incremento de la cobertura de suelo descubierto, siendo la cobertura de suelo eliminada por intervención humana o por efectos naturales (Veliz, 2015). Así mismo, el PDOT de Vilcabamba, (2015b) menciona que la degradación de los suelos se evidencia en el aumento de áreas agropecuarias (3,41%) y de las zonas antrópicas (0,25%) desde el año 1990 al 2008, disminuyendo la cobertura de vegetación arbustiva y herbácea en (0,25%), esto se asemeja a los datos obtenidos en esta investigación, que en los años de 1986 - 2016, la cobertura de suelo descubierto aumento su superficie a 25,20 % del área total de estudio (ver anexo 13).

Para la detección de cambios de la cobertura de otros usos se consideró los factores, tanto económicos como ambientales, la infraestructura (urbana y rural), zonas de minería, vías y superficies de uso antrópico. Por lo tanto, estos factores se ven reflejadas en los resultados obtenidos, indicando variaciones existentes desde 1986 - 2016 con 501,03 ha correspondiente al 1,20 % de su superficie total. Además, Ruiz *et al.*, (2014) menciona que otros factores para el cambio de uso de suelos están relacionados con, las migraciones campesinas, así como también La Organización de Naciones Unidas señala como causa

de cambio de uso de suelo al bajo desarrollo económico, la falta de políticas e instituciones basadas en la comunidad y la falta de impulso a la ciencia (FAO, 2015).

En este sentido, es importante mencionar que uno de los factores más importantes que influyó para el cambio de la cobertura de otros usos es la explotación minera, existiendo en el área de estudio 48 concesiones mineras, la mayoría con permiso ambiental, pero en algunos casos los permisos ambientales están en trámite (Agencia de Regulacion y Control Minero Rendición de Cuentas Institucional, 2015). Así mismo, el Municipio de Loja (2014), pone a consideración La Ordenanza Municipal citada en el Capítulo III de Jurisdicción y Competencia, art. 8 indicando que está prohibido la explotación de materiales áridos y pétreos en el perímetro urbano de la ciudad y parroquias rurales, junto a los senderos ecológicos y turísticos. Esto se demuestra con los resultados de la investigación, donde la superficie de esta categoría ha disminuido en un 0,70 % en los periodos de 1996 - 2007, aumentando en los años 2007 - 2016 en 1,20 % de su superficie total del área de estudio (ver anexo 14).

Finalmente, a partir del cálculo de la fiabilidad global y del índice kappa se pudo validar los resultados obtenidos para los cuatro periodos de estudio, donde se determinó la fuerza de concordancia de las clasificaciones, permitiendo evaluar si las clasificaciones han discriminado las categorías de interés con exactitud. Chuvieco, (2008) menciona que el valor kappa igual a 1 indica un acuerdo pleno entre la realidad y el mapa clasificado, mientras un valor cercano a 0 sugiere que el acuerdo observado es puramente debido al azar. En la tabla 14, los periodos de 1986, 1996, 2007 y 2016 presentaron porcentajes dentro del rango de 81 a 100 %, lo cual indicó una fuerza de concordancia casi perfecta. Estos valores permiten determinar que los pixeles han sido clasificados correctamente a la clase que corresponden y discriminados de las clases a las que no corresponden (Chuvieco, 2008).

6. CONCLUSIONES

- Los mapas generados para los diferentes periodos obtuvieron altos porcentajes de concordancia con valores de 0,81 a 100 %, esto según el índice kappa, demostrando que la metodología empleada en esta investigación nos permitió obtener imágenes categorizadas de las coberturas y cuantificar los cambios existentes, observando su dinámica en diferentes niveles de detalle.
- Al realizar el cambio de uso de suelo para la cobertura de cultivo de caña de azúcar, en el periodo comprendido de 30 años (1986 - 2016), se puede evidenciar el decrecimiento en su superficie en un 0,16 %.
- EL uso de suelo en el área de estudio analizada a partir de la cobertura, nos indica que otros cultivos para el año del 2016 ha aumentado, alcanzando una superficie total de 3,80 %, con respecto al año de 1986 que su superficie fue de 1,75 %, siendo una de las coberturas con mayores cambios significativos.
- Para los años de 1986 a 2016, la cobertura con mayores variaciones, en cuanto a superficie total se refiere, fue la de otros usos con el 1,20 %, indicando que los cambios de uso del suelo no solo se dan por factores ambientales (naturales y antrópicos) o infraestructura (urbana y rural), sino que también, por el bajo desarrollo económico, zonas de minería, vías y la falta de impulso a la ciencia.

7. RECOMENDACIONES

- Dado a que existen pocos estudios relacionados con el análisis multitemporal dentro de la zona de estudio y, además, falta de información temática, se propone generar estudios para años posteriores, que permitan conocer la proyección de los usos del suelo, con el fin de obtener información más detallada, que posteriormente sirvan de base para la planificación y actualización de Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT).
- Efectuar estudios de aptitud del suelo, con la finalidad de destinar las mejores zonas acordes a las necesidades que requieran los habitantes del área de estudio, con el objeto de aprovechar de mejor manera sus tierras.
- La clasificación supervisada es un método confiable, por lo que se sugiere utilizar esta metodología para estudios similares de análisis multitemporales, aplicando la técnica de teledetección.
- Promover la importancia de la teledetección en la elaboración de diferentes estudios en áreas investigativas, siendo de gran aporte, validez y utilidad para la comunidad científica.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, M., Azócar, G., Parra, O., y Pauchard, A. (2009). Land use change in the south central Chile at the end of the 20 th century. Understanding the spatio-temporal dynamics of the landscape. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82(3), 361–374.
- Aguilar, N., Alejandre, J., y Espinosa, R. (2015). Emergy and LCA evaluation of sugar industry in Veracruz, Mexico. *Cultivos Tropicales*, 36(4), 144–157. Retrieved from <http://ediciones.inca.edu.cu>
- Alejandra, E. M. G. (2016). La Universidad Católica de Loja AREA BIOLÓGICA
AUTOR : Espinosa Medina Guissell Alejandra.
- Altieri, M. A. (2009). LOS Impactos Ecológicos de los Sistemas de Producción de Biocombustibles a Base de Monocultivos s Gran Escala en América. 59–67.
- Ambrosi, G. G. J. (2005). Correcciones radiométricas y geométricas de imágenes para la detección de cambio de uan serie tempotal. (9).
- ARCOM. (2015). Agencia de Regulación y Control Minero Rendición de Cuentas Institucional Del Periodo 2015 Contenido. Retrieved from [http://www.controlminero.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Informe Rendición de Cuentas 2015.pdf](http://www.controlminero.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Informe_Rendición_de_Cuentas_2015.pdf)
- Ariza, F. J., y Rodríguez, J. (2018). Control Estricto de Matrices de Confusión POR Medio de Distribuciones Multinomiales Dep . de Ingeniería Cartográfica , Geodésica y Fotogrametría . Universidad de Jaén . 215–227.
- Basterra, I. (2011). Catedra De Fotointerpretacion: Teledeteccion-Imágenes Satelitales-Procesamiento Digital De Imagenes. 33. Retrieved from <http://ing.unne.edu.ar/dep/goeciencias/fotointer/pub/teoria2011/parte02/tdi.pdf>
- BCE. (2017). Banco Central del Ecuador. Reporte de Conyuntura Sector Agropecuario. 38. Retrieved from <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Encuestas/Coyuntura/Integradas/etc201604.pdf>
- Robles, C. A., y Ruiz, A. (2007). Analysis of change trends of the mangrove forest in Teacapan-Agua Brava lagoon system, Mexico. An approximation using Landsat satellite images. *Universidad y Ciencias*, 23(1), 29–46.

- Biehl, L., Landgrebe, D., y Biehl, L. (2011). An Introduction & Reference For MultiSpec. 9, 193.
- Cevallos, A. X. K. (2016). Universidad Técnica Particular de Loja Área BIOLÓGICA. Retrieved from <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/15545/1>
- Camacho, S. R., Camacho, S. J. M., Balderas., P. M. Á., y Sánchez, L. M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: Estudio de caso en progreso hidalgo, estado de México. *Madera Bosques*, 23(3), 39–60. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331516>
- Cámara, G., Souza, R., Freitas, U., y Garrido, J. (2008). SPRING Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling.
- Carvalho, A. (2012). Clasificación y características clínicas de las espondiloartropatías. *Medwave*, 2005(4), 101–118. <https://doi.org/10.5867/medwave.2005.04.1202>
- Cerda, L. J., y Villarroel Del P. L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación: Coeficiente de Kappa. *Revista Chilena de Pediatría*, 79(1), 54–58.
- Chuvieco, E. (2008). Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio (3rd ed.). Barcelona, España.
- CINCAE. (2017). Centro de Investigación de la Caña de Azúcar en Ecuador. Informe anual - 2017. 74. Retrieved from <http://cincae.org/wp-content/uploads/2013/04/Informe-Anual-2017.pdf>
- Cueva, J., y Chalan, L. (2010). Cobertura vegetal. 1–44.
- Domingo, G. (2013). Introducción a los SIG Software QGIS. 1–38.
- ESPAC. (2017). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. *Agro Sur*, 2(2), 88–88. <https://doi.org/10.4206/agrosur.1974.v2n2-09>
- Espín, T. N., Gomariz, C. F., Cánovas, G. F., y Alonso, S. F. (2015). Comparación de Métodos de Clasificación de Imágenes de Satélite. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 67, 327–347.
- Esteban, M., y Flores, R. (2017). Tratamientos estadísticos en imágenes de satélite , realces y mejoras visuales , realces radiométrico , espacial y espectral visual. 3(2), 593–613.
- FAO. (2015). Estado mundial del recurso suelo, resumen técnico. Organización de las

- Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- FAO. (2019). Biodiversidad Para Una Agricultura Sostenible. 32. Retrieved from <http://www.fao.org/3/CA2227ES/ca2227es.pdf>
- Farris y Manning, P. (2006). OpenEV.
- Felipe, A., y Vásquez, R. (2011). Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/5241/1/andresfeliperodriguezvasquez.2011.pdf>
- Gallardo, B., M., y Gallardo, B., M. (2014). Cambios de usos del suelo y simulación de escenarios en la Comunidad de Madrid. Retrieved from <https://eprints.ucm.es/25253/>
- García S. A., Nájera, G. O., y Murray, N. R. (2016). Dinámica espacio-temporal de la cobertura y uso del suelo en una cuenca hídrica. *Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 5(9), 29–42.
- GPL. (2012). Gobierno Provincial de Loja. 606.
- GRASS GIS. (2019). Retrieved July 8, 2019, from <https://grass.osgeo.org/index.php>
- Gregorio, J., y Ayuga, R. (2011). Análisis multitemporal mediante teledetección espacial y SIG del cambio de cobertura del suelo en el municipio de Danlí , El Paraíso , en los años. 25–271.
- Gregorio, R. A. J., Paz, P. F., Ambrosi, G. G. J., y Sarría, F. (2008). Correcciones a las imágenes de satélites. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(1), 1–12. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.228>
- Gutiérrez, M. A., William, J., & Bedoya, B. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos : “ LANDSAT – ETM + ETM + .”
- Herrero, H. R. (2014). El impacto socioambiental de la caña de azúcar y los biocombustibles. *ULÚA. Revista de Historia, Sociedad y Cultura*, 1(23), 147–179.
- INEC. (2011). Instituto Nacional de Estadística y Censos. Reporte Estadístico el Sector

- Agropecuario. <https://doi.org/10.1007/s00426-018-0995-6>
- INEGI. (2013). Imágenes de satélite Elementos de percepción remota 28. Retrieved from http://www3.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/imagenes/imgsatelite/metadatos/elem_per_rem.pdf
- Killeen, Y. J., Siles, T. M., Soria, L., y Correa, L. (2005). Estratificación de vegetación y cambio de uso de suelo en los (Vol. 40). Retrieved from [http://www.mobot.org/MOBOT/Research/madidi/pdf/03Estratificacin40-3\(1\).pdf](http://www.mobot.org/MOBOT/Research/madidi/pdf/03Estratificacin40-3(1).pdf)
- Lizarazo, I. (2013). Introducción al procesamiento de imágenes usando GRASS GIS 7.0. 53.
- MAE. (2015). Ministerio del Ambiente del Ecuador. Datos de bosques, ecosistemas, especies, carbono y deforestación del Ecuador continental. Estadísticas de Patrimonio Natural., 20.
- MAE y MAGAP. (2013). Mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador continental, escala 1:100.000. 1–49. Retrieved from <http://mapainteractivo.ambiente.gob.ec/>
- Matusow, D. (2012). NASA Image2000. NASA Goddard Space Flight Center.
- Mendoza, Z. A., Mendoza, N. A., y Ch, J. M. (2017). Biodiversidad de la provincia de Loja , Ecuador Biodiversity of the province of Loja , Ecuador. 24(2), 523–542.
- Morales, E. M., Ramirez, J. A., Albán, Á., Escobar, B. yadira, García, L. F., y Peña, M. E. (2011). Compactación de suelos cultivados con caña de azúcar en la zona sur del Valle del Cauca. Parte I. Acta Agronómica, 60, 245–252.
- Municipio de Loja. (2014). Ordenanza Municipal para regular, autorizar y controlar la explotación y transporte de materiales áridos y pétreos en el cantón loja el concejo municipal de loja considerando. Retrieved from
- Training, O., Training, P., y Darin, C. (2014). QGIS User Guide. Igarss 2014, (1), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Olaya, V. (2014). Sistemas de Informacion Geografica. Girona.
- Ortiz, A. D. (2016). Universidad Nacional de Loja. Retrieved from [https://dspace.unl.edu.ec/bitstream/123456789/10970/1/ANGEL ORTIZ \(BIBLIOTECA\).pdf](https://dspace.unl.edu.ec/bitstream/123456789/10970/1/ANGEL%20ORTIZ%20(BIBLIOTECA).pdf)

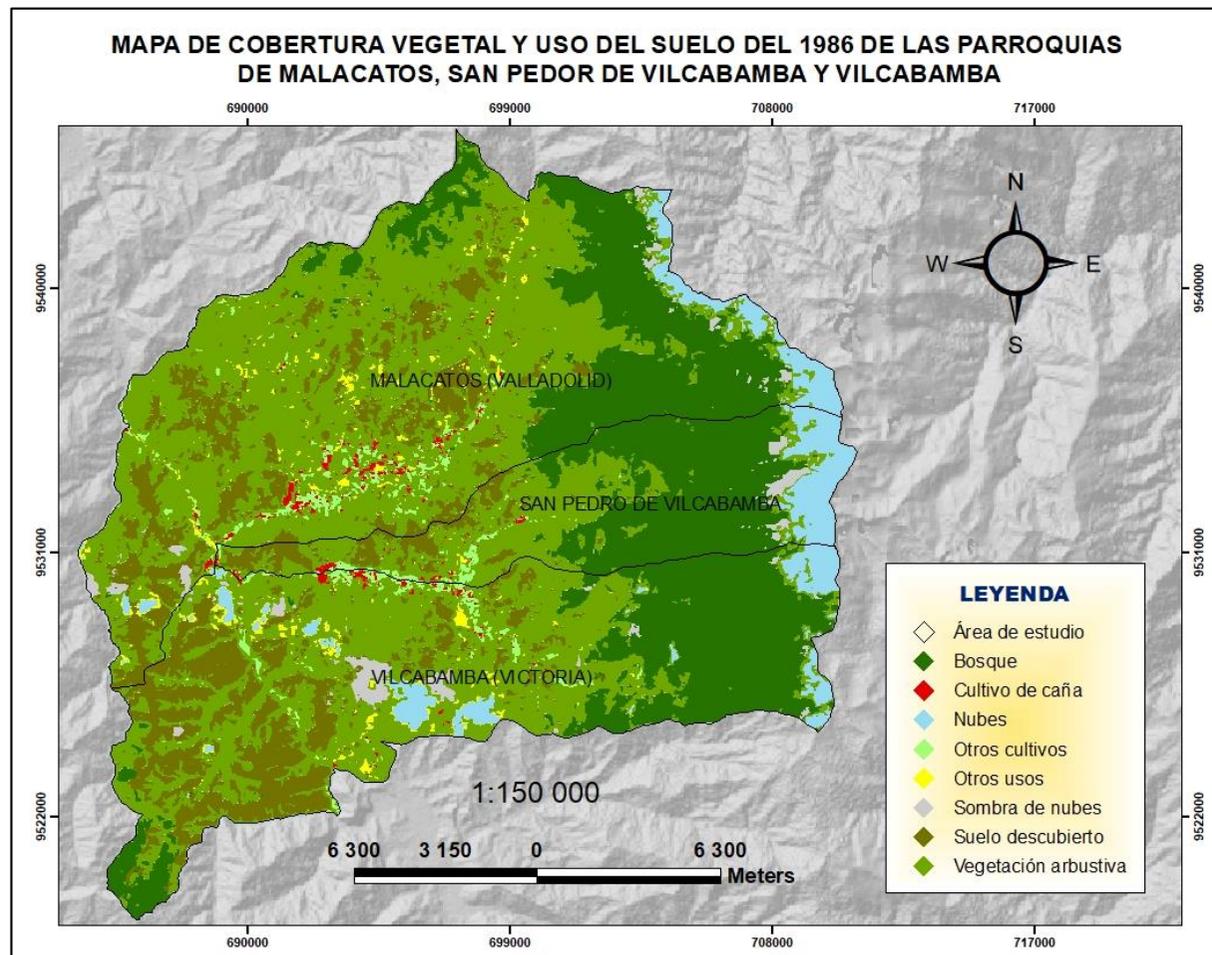
- ORTIZ, D. L. V. (2015). Analisis Multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca las minas, corregimiento de la laguna, municipio de pasto, departamento de nariño.
- Palacios, E. (2015). Análisis multitemporal en la cobertura boscosa de la zona norte del departamento del Chocó, 1990 - 2014. 1990–2014.
- PDOT. (2014a). Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial de Loja 2014-2022. 547. Retrieved from <https://www.loja.gob.ec/>
- PDOT. (2015b). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial parroquia Vilcabamba, cantón Loja, provincia Loja.
- PDOT. (2015c). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia Malacatos Cantón Loja Provincia Loja. 352.
- Pérez Gómez, U., y Sendra, J. B. (2007). Serie Geográfica-Profesora María de los Ángeles Díaz Muñoz. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/cuencas.asp?id>
- Pérez Gutiérrez, C., y Muñoz Nieto, A. L. (2006). Teledetección: nociones y aplicaciones. Carlos Pérez Gutiérrez, Ángel Luis Muñoz Nieto.
- Pinos, A. N. (2017). Prospective land use and vegetation cover on land management - Case canton Cuenca. *Estoa*, 5(9), 7–19. <https://doi.org/10.18537/est.v005.n009.02>
- Potts, G., y Mark, L. (2006). Open Source Software Image Map (OSSIM): Users Guide.
- Quezada, M. S. (2017). Estudio de la cadena de valor de la caña de azúcar. Caso Ingenio Monterrey, cantón Catamayo. Retrieved from
- Reuter, F. (2002). Práctico 9: Procesamiento Digital De Imágenes. Carpeta de Trabajos Prácticos: Teledetección Forestal, 69–85.
- Ruiz, L. A., Estornell, J., y Erena, M. (2017). Nuevas plataformas y sensores de teledetección Aplicados a la gestión del agua, la agricultura y el medio ambiente. In Xii Congreso De La Asociación Española De Teledetección. Retrieved from http://www.aet.org.es/congresos/xvii/XVII_Congreso_AET_actas.pdf
- Ruiz, V., Savé, R., y Herrera, A. (2013). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54029508016>. Ecosistemas: Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente, 22(3), 117–123.

- Ruiz, V., Savé, R., y Herrera H, A. (2014). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, (11), 57–68. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i11.1605>
- Sacristán Romero, F. (2017). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Civilizar*, 5(9), 1. <https://doi.org/10.22518/16578953.701>
- Sánchez, M. J. M. (2016). Investigación Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la Matriz de Confusión. *Pensamiento Matemático*, 6, 9–26.
- Sandoval, G. (2009). Análisis del proceso de cambio de uso y cobertura de suelo en la expansión urbana del gran Valparaíso, su evolución y escenarios futuros. 79.
- Santillán, D. E., Escuela, N., Panamericana, A., y Honduras, Z. (2016). Análisis multitemporal de usos y coberturas de la tierra en el período 2005-2016 en el valle de Sico-Paulaya, Honduras. Retrieved from <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5747/1/IAD-2016-T040.pdf>
- Alonso Sarría, F. (2011). Capítulo 10. Teledetección. *SIGMUR. SIG y Teledetección En La Universidad de Murcia*, 84(4), 181–218.
- Sarría, A., F. (2003a). Plataformas, sensores y canales. *Teledetección*, 29–50. Retrieved from <http://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema03.pdf>
- Sarría, F. (2003b). Correcciones a las imágenes de satélites. *Teledetección*, 79–88. Retrieved from <http://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema07.pdf>
- Schowengerdt, R. A. (2007). *Remote sensing : models and methods for image processing*. Academic Press.
- Silva Schweitzer, A. M., y Rubio Farinelli, M. L. (2013). Análisis de cambios de uso del suelo en la Delegación Municipal de Ingeniero White (Buenos Aires, Argentina): aplicación de geotecnologías. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 23(1), 133–146. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v23n1.35580>
- Trucíos, R. (2013). Interpretación del cambio en vegetación y uso de suelo.
- Vázquez De La Torre Rodrigo Javier. (2015). Metodología para ajustar clasificaciones supervisadas de imágenes satelitales.

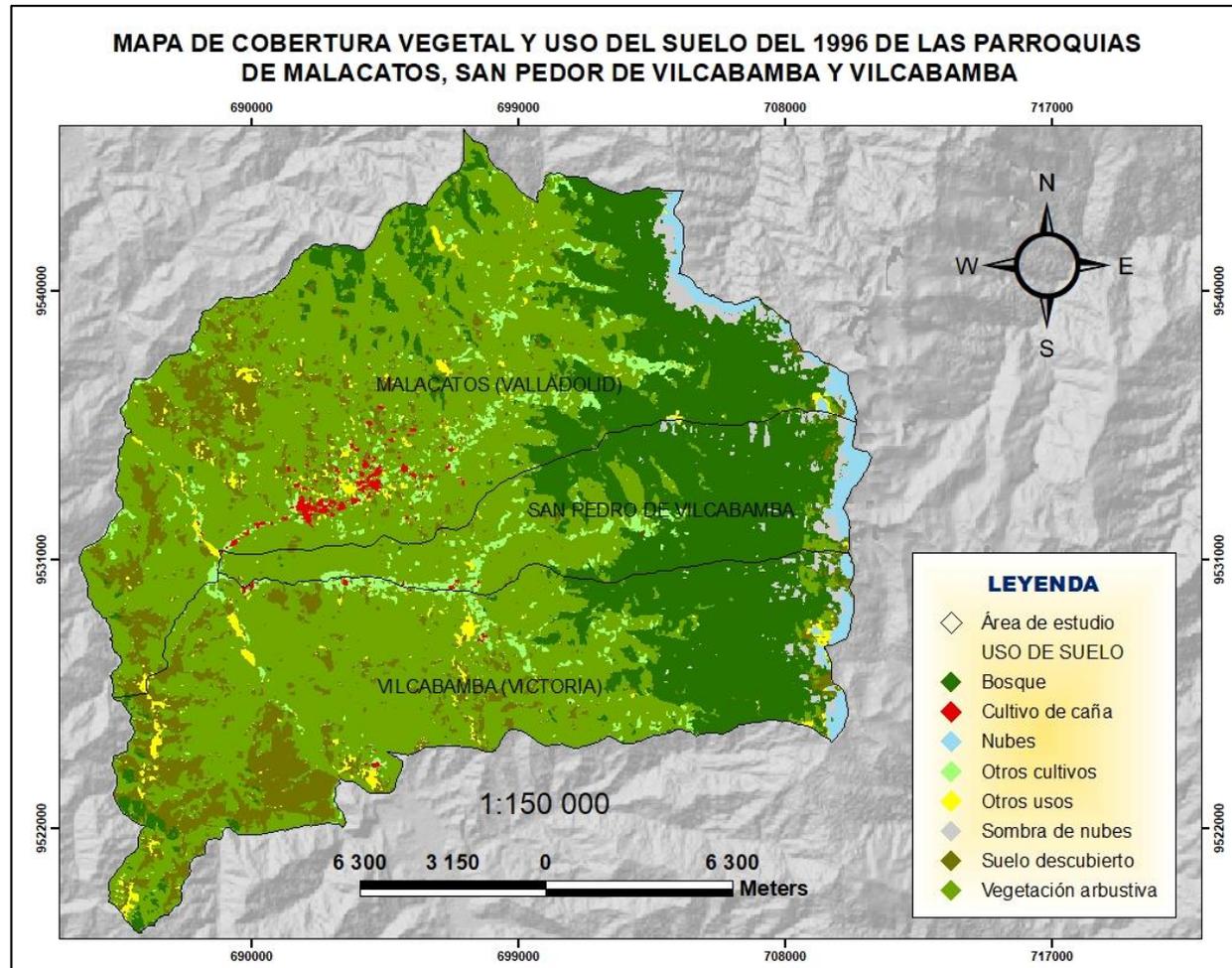
- Velázquez, A.J. F., Díaz, G. J. R., Mayorga, S. R., Alcántara, P. C., Castro, R., ... Palacio, Y. J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México.
- Veliz, F. (2015). Análisis Multi.temporal del cambio de uso del suelo en el canton Zapotillo provincia de Loja (Vol. 21).
- Zuaznábar, J. A. C. R. (2010). Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. i balance del carbono. 31(1), 5–13.
- Zuzell; Diaz Suarez, Jorge; Schiettecatte, Wuoter; Ruiz , Maria E.; Almoza Hernanadez, Y. (2007). Efecto de la cobertura vegetal de cultivos agrícolas principales sobre el proceso de erosión en suelos de la cuenca del río Cuyaguaje Effect of the vegetation cover the main agricultural crops over soil erosion in Cuyaguaje river watershed. Revista Ciencia Técnicas Agropecuarias.

9. ANEXOS

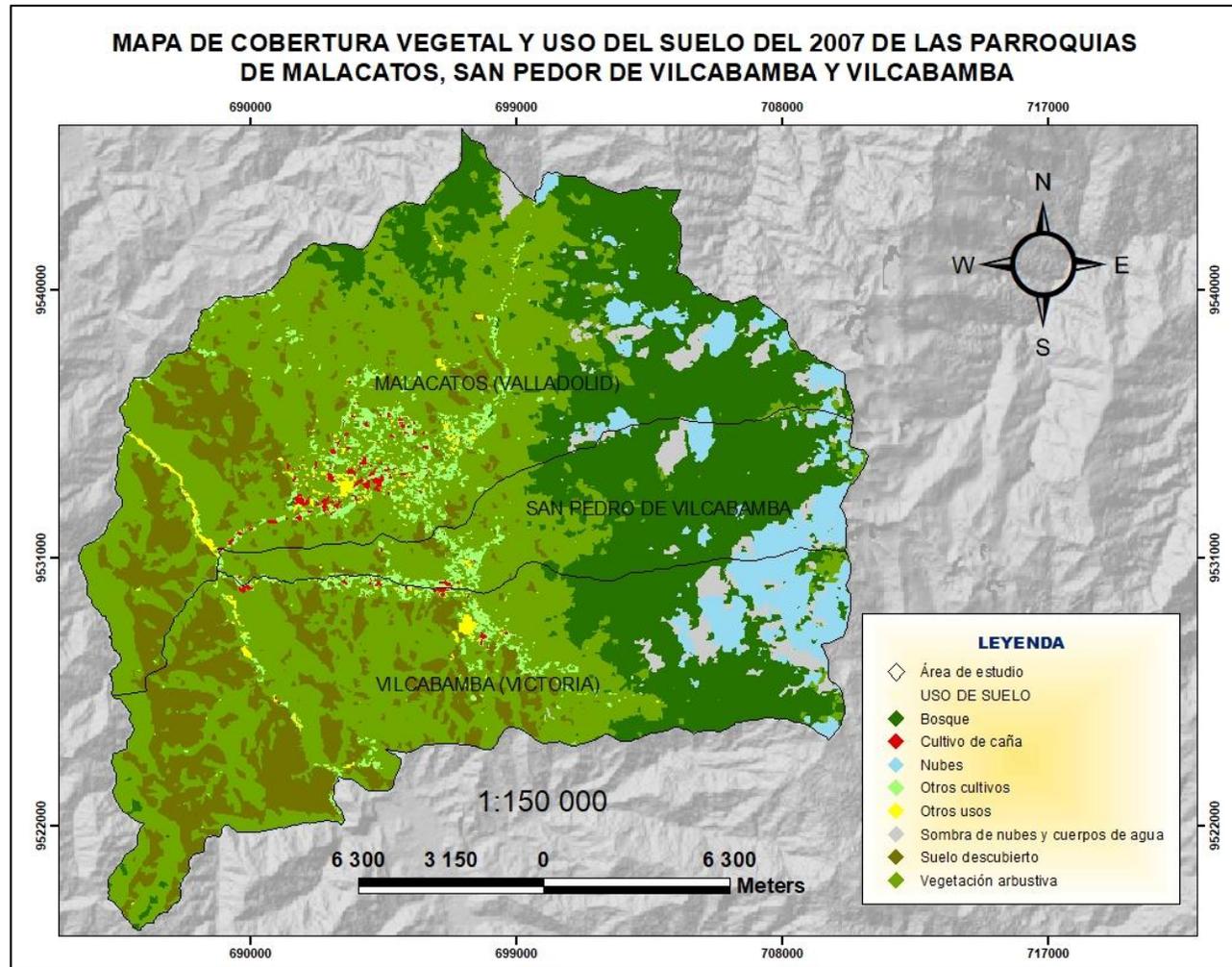
Anexo 1. Mapa de cobertura y uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 1986.



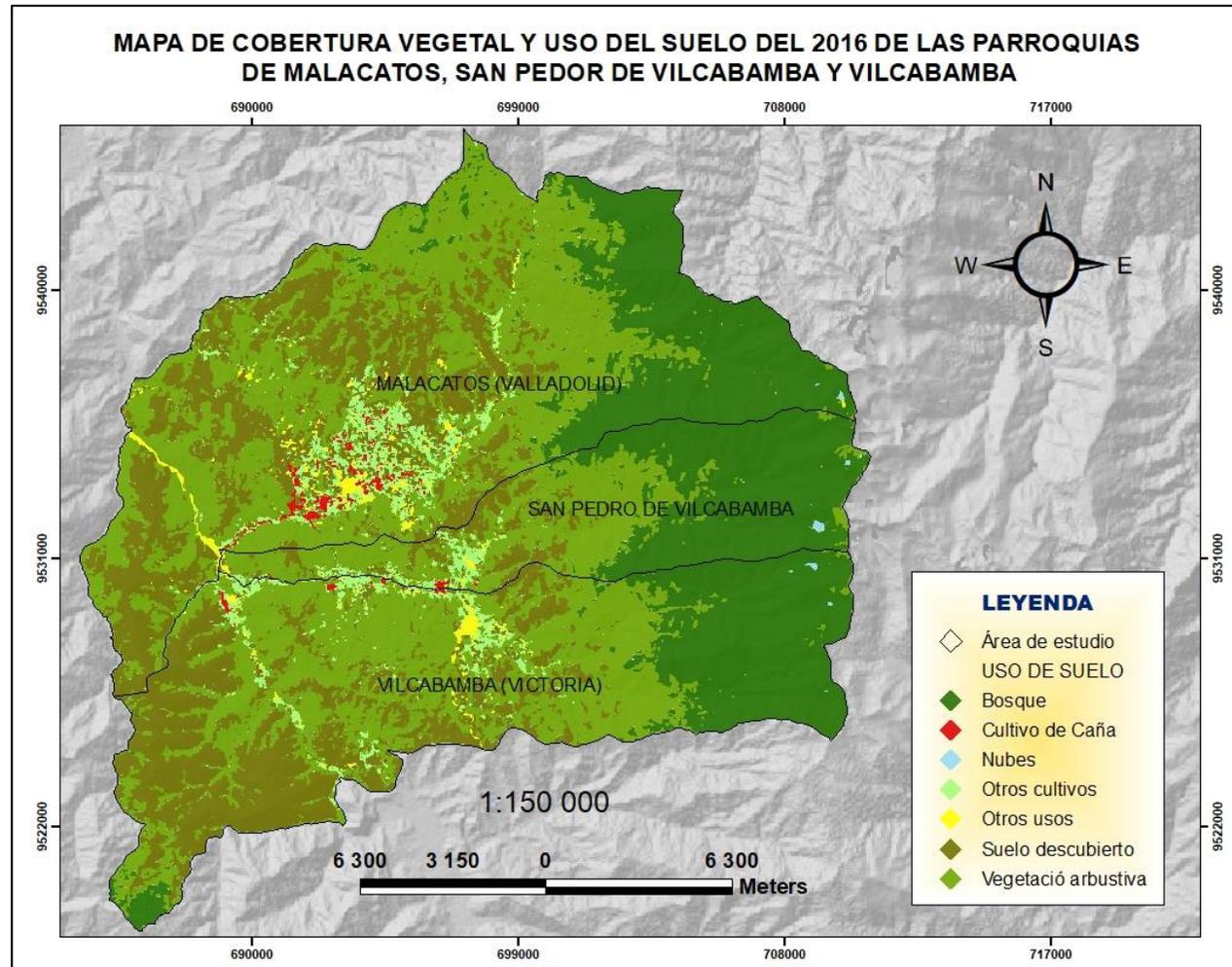
Anexo 2. Mapa de cobertura y uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 1996.



Anexo 3. Mapa de cobertura y uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 2007.



Anexo 4. Mapa de cobertura y uso de suelo de las parroquias Malacatos, San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba-Periodo 2016.



Anexo 5. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 1986.

Número	Cobertura de uso del suelo	X	Y
1	Vegetación arbustiva	689510.059	9525452.859
2	Vegetación arbustiva	690582.0324	9530757.725
3	Suelo descubierto	686138.8285	9523704.313
4	Vegetación arbustiva	690284.5365	9536071.758
5	Suelo descubierto	699159.9448	9530623.454
6	Vegetación arbustiva	685616.2443	9520367.945
7	Vegetación arbustiva	685626.9809	9532568.665
8	Vegetación arbustiva	691352.3489	9538124.891
9	Otros cultivos	697845.0943	9528415.366
10	Cultivo de caña	698670.9074	9537049.11
11	Suelo descubierto	694320.3432	9537051.527
12	Nubes	695173.5106	9526074.452
13	Cultivo de caña	692675.1542	9533911.44
14	Bosque	704006.479	9537744.035
15	Cultivo de caña	691311.7437	9532769.15
16	Suelo descubierto	692874.7272	9526004.239
17	Nubes	709049.4022	9530738.972
18	Bosque	704328.7079	9535286.016
19	Vegetación arbustiva	689985.232	9538061.998
20	Suelo descubierto	692018.7334	9524595.702
21	Nubes	709351.4867	9525226.129
22	Suelo descubierto	687368.2856	9537279.416
23	Vegetación arbustiva	700710.0773	9533404.548
24	Suelo descubierto	688221.848	9521539.048
25	Sombra de nubes	687869.3038	9530177.308
26	Bosque	704212.9937	9527214.735
27	Otros usos	693645.9441	9532872.305
28	Vegetación arbustiva	704078.1188	9526659.088
29	Vegetación arbustiva	701655.6681	9533090.48
30	Suelo descubierto	698829.5166	9533594.453
31	Vegetación arbustiva	697033.1706	9530962.264
32	Vegetación arbustiva	687081.7456	9536027.1
33	Vegetación arbustiva	699581.0618	9540602.372
34	Suelo descubierto	704420.7425	9534586.564
35	Suelo descubierto	688645.2097	9528229.033
36	Otros cultivos	692374.6656	9532726.691
37	Suelo descubierto	688270.1048	9536363.414
38	Vegetación arbustiva	703313.7737	9527218.439
39	Vegetación arbustiva	688936.5663	9537531.893
40	Cultivo de caña	697963.8361	9535851.101
41	Bosque	707886.4472	9529459.939
42	Cultivo de caña	692490.7925	9530136.017
43	Bosque	700714.3638	9543375.058
44	Otros cultivos	700479.9969	9532233.539
45	Bosque	703374.3196	9536316.666

46	Cultivo de caña	695336.1578	9529921.697
47	Nubes	705961.0167	9539363.981
48	Vegetación arbustiva	702153.448	9531592.857
49	Bosque	696445.075	9542057.411
50	Vegetación arbustiva	685367.0677	9531099.394
51	Vegetación arbustiva	700824.6085	9537684.004
52	Otros usos	695300.5137	9525146.5
53	Vegetación arbustiva	698483.6855	9541102.105
54	Vegetación arbustiva	690584.0744	9535137.013
55	Bosque	697466.6206	9544351.874
56	Nubes	709586.8633	9532638.622
57	Cultivo de caña	688592.661	9530617.04
58	Vegetación arbustiva	692010.2997	9537343.619
59	Vegetación arbustiva	693087.0187	9525646.663
60	Bosque	709584.5401	9528794.152
61	Otros cultivos	696725.6372	9534118.642
62	Suelo descubierto	694709.6403	9531694.386
63	Nubes	695720.2654	9525300.731
64	Vegetación arbustiva	697537.8258	9536462.249
65	Otros usos	697290.0855	9528680.753
66	Cultivo de caña	689297.2063	9531560.58
67	Bosque	692618.9806	9541127.562
68	Otros cultivos	688929.2331	9537160.146
69	Vegetación arbustiva	701913.2582	9528161.736
70	Bosque	701196.3272	9536426.944

Anexo 6. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 1996.

Número	Cobertura de uso del suelo	X	Y
1	Otros cultivos	688732.0383	9530408.682
2	Otros cultivos	694280.6541	9530183.336
3	Otros usos	697279.0339	9528683.824
4	Vegetación arbustiva	692118.2383	9527725.851
5	Bosque	703358.8299	9535607.621
6	Bosque	706734.8104	9538991.666
7	Bosque	702171.1133	9527816.804
8	Bosque	704118.3108	9526790.067
9	Bosque	708161.7481	9536758.936
10	Bosque	707763.1089	9538212.292
11	Cultivo de caña	689686.654	9529982.75
12	Bosque	705673.8659	9530781.411
13	Nubes	710064.2023	9526046.548
14	Cultivo de caña	697771.4683	9528455.831
15	Vegetación arbustiva	689266.9237	9533892.715
16	Suelo descubierto	700803.003	9525817.06
17	Cultivo de caña	695432.4983	9535318.869
18	Cultivo de caña	691625.2685	9532711.051

29	Bosque	703239.2599	9531275.588
20	Suelo descubierto	695131.4219	9527373.204
21	Vegetación arbustiva	691847.4891	9539938.304
22	Vegetación arbustiva	694855.5385	9523755.553
23	Vegetación arbustiva	695526.3271	9536632.445
24	Vegetación arbustiva	686984.7462	9530058.266
25	Vegetación arbustiva	689171.6455	9528417.376
26	Cultivo de caña	694322.2551	9536096.858
27	Bosque	707174.2963	9531284.106
28	Otros usos	696364.4321	9537404.283
29	Bosque	706516.8482	9534336.3
30	Suelo descubierto	692421.6956	9537739.123
31	Suelo descubierto	686448.0131	9523320.387
32	Otros cultivos	701378.1894	9536417.03
33	Otros cultivos	702507.8645	9532333.959
34	Otros usos	689874.3535	9527717.46
35	Vegetación arbustiva	692010.8092	9540345.234
36	Vegetación arbustiva	692611.2165	9530949.406
37	Otros usos	709356.3385	9528544.304
38	Vegetación arbustiva	695057.9015	9525543.528
39	Otros cultivos	697936.0239	9535603.358
40	Cultivo de caña	696616.6392	9534112.186
41	Sombra de nubes	709579.7626	9526318.877
42	Bosque	704174.7907	9538688.708
43	Otros cultivos	696414.0896	9534749.159
44	Bosque	708949.6649	9533104.101
45	Vegetación arbustiva	699982.5826	9532326.464
46	Sombra de nubes	709938.4176	9531509.673
47	Otros usos	688053.1291	9532469.984
48	Bosque	707202.0548	9537142.574
49	Cultivo de caña	697350.6556	9535834.883
50	Otros cultivos	695387.8683	9535187.866
51	Vegetación arbustiva	699884.3501	9541591.477
52	Suelo descubierto	693118.0032	9538778.133
53	Cultivo de caña	694072.3533	9533470.623
54	Otros usos	708858.1625	9528859.124
55	Sombra de nubes	707307.843	9539331.33
56	Otros usos	693841.0086	9527716.617
57	Suelo descubierto	692538.6982	9527764.479
58	Otros cultivos	703777.4794	9529103.452
59	Vegetación arbustiva	685781.7988	9534408.138
60	Nubes	704140.6072	9535634.896
61	suelo descubierto	688704.2653	9524495.501
62	Otros cultivos	703081.4382	9537426.7
63	Otros cultivos	694664.9212	9533919.833
64	Bosque	702616.8163	9525520.134
65	Suelo descubierto	686539.1538	9536318.789
66	Bosque	702404.3398	9534683.039

67	Nubes	704934.9319	9540095.409
68	Bosque	703176.9827	9542886.175
69	Otros usos	686654.3454	9521499.415
70	Vegetación arbustiva	685489.8667	9530504.335

Anexo 7. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 2007.

Número	Cobertura de uso del suelo	X	Y
1	Suelo descubierto	691614.943	9527094.806
2	Vegetación arbustiva	693870.5803	9535835.801
3	Vegetación arbustiva	703572.654	9538719.937
4	Bosque	701086.9845	9524931.831
5	Vegetación arbustiva	697426.0171	9539484.622
6	Vegetación arbustiva	692311.1151	9541128.832
7	Nubes	708072.8458	9531775.587
8	Otros usos	697338.2457	9528656.271
9	Suelo descubierto	694426.1606	9525446.25
10	Nubes	702403.6645	9536021.794
11	Bosque	708225.5614	9532984.996
12	Vegetación arbustiva	700480.1727	9530787.085
13	Otros cultivos	691123.8418	9537283.256
14	Otros usos	688488.3408	9531518.821
15	Sombra de nubes	708268.6345	9527935.837
16	Otros cultivos	697429.0343	9531062.729
17	Bosque	706791.085	9527722.531
18	Otros cultivos	698261.2434	9538489.447
19	Bosque	706142.2412	9525834.475
20	Vegetación arbustiva	692535.784	9522380.05
21	Sombra de nubes	708354.2874	9532380.213
22	Vegetación arbustiva	691986.5121	9523965.309
23	Cultivo de caña	693359.3622	9533891.531
24	Otros usos	693211.5849	9533498.03
25	Bosque	695940.9191	9541877.283
26	Sombra de nubes y agua	707257.9637	9537860.711
27	Suelo descubierto	690867.5721	9523343.628
28	Otros cultivos	697755.8006	9528651.914
29	Vegetación arbustiva	697075.7889	9531980.025
30	Bosque	697909.6016	9542483.623
31	Bosque	701380.0357	9533869.417
32	Suelo descubierto	686707.0962	9533085.596
33	Nubes	704446.2696	9538669.678
34	Otros cultivos	696309.6193	9531750.715
35	Otros usos	697780.467	9539111.152
36	Sombra de nubes y agua	701437.6784	9535015.476
37	Suelo descubierto	688391.9937	9534545.322
38	Cultivo de caña	695134.7002	9535415.232
39	Vegetación arbustiva	695089.803	9533582.698

40	Suelo descubierto	687619.054	9535762.834
41	Sombra de nubes	704379.3562	9529158.05
42	Nubes	706102.282	9538153.422
43	Suelo descubierto	685835.2052	9533499.734
44	Vegetación arbustiva	702985.112	9525476.616
45	Nubes	710140.8393	9530653.716
46	Bosque	697011.1081	9543265.308
47	Bosque	701634.7678	9543469.586
48	Cultivo de caña	689740.3072	9529929.264
49	Bosque	704414.2656	9529881.53
50	Otros cultivos	693942.7451	9537114.093
51	Nubes	709249.621	9535690.571
52	Nubes	708690.5875	9528428.041
53	Vegetación arbustiva	684719.8667	9530163.928
54	Otros usos	703729.7202	9538927.964
55	Suelo descubierto	691128.1705	9534710.919
56	Otros cultivos	694405.0313	9531416.22
57	Cultivo de caña	696469.9933	9529923.656
58	Bosque	705078.4244	9536249.051
59	Cultivo de caña	691643.9283	9532881.741
60	Bosque	703423.5354	9525843.385
61	Vegetación arbustiva	700147.5203	9528148.154
62	Bosque	700848.9208	9530665.329
63	Vegetación arbustiva	694186.4054	9541144.118
64	Nubes	710711.0448	9534342.989
65	Suelo descubierto	685945.3974	9519999.977
66	Vegetación arbustiva	685917.3192	9520648.979
67	Otros usos	692861.9413	9533788.421
68	Otros usos	693357.9748	9533272.964
69	Vegetación arbustiva	696834.0713	9528099.286
70	Vegetación arbustiva	689764.8168	9533357.996

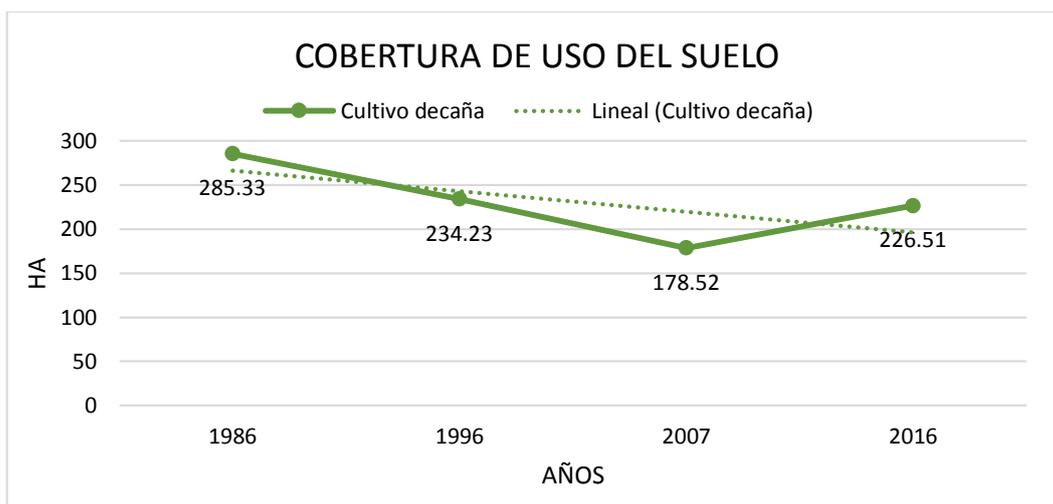
Anexo 8. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 2016.

Número	Cobertura del uso del suelo	X	Y
1	Bosque	703656.0567	9534915.423
2	Otros usos	693149.0608	9533413.078
3	Bosque	704142.6663	9529901.136
4	Otros cultivos	693536.0302	9529878.779
5	Vegetación arbustiva	691789.8519	9526267.675
6	Suelo descubierto	689415.2706	9539400.637
7	Bosque	706572.0456	9531099.843
8	Suelo descubierto	696077.705	9525450.982
9	Cuerpos de agua	709897.4035	9536410.556
10	Suelo descubierto	700427.7829	9526922.826
11	Vegetación arbustiva	701649.1204	9535096.255
12	Otros usos	696297.6566	9537563.434

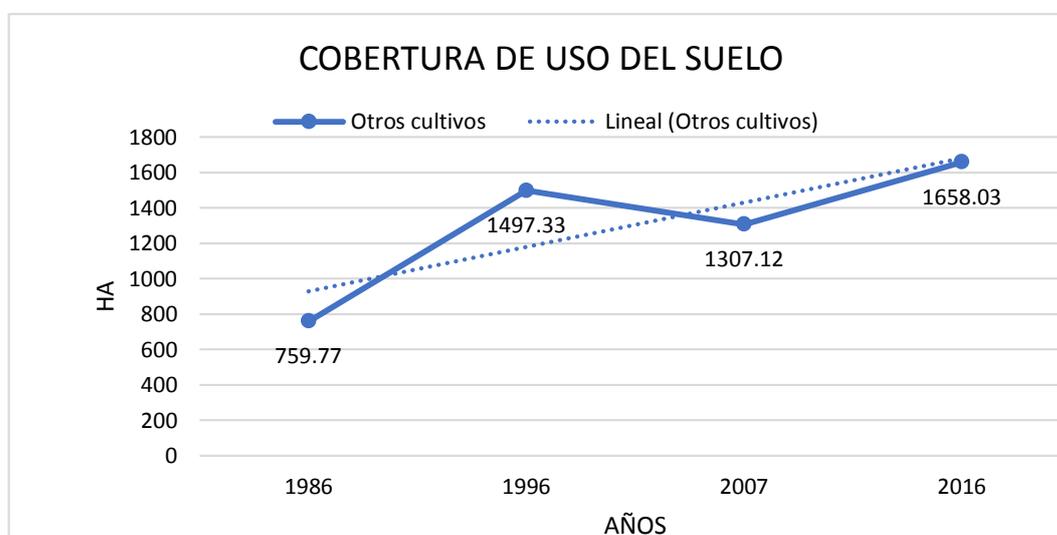
13	Suelo descubierto	687812.5209	9526956.621
14	Suelo descubierto	688762.1503	9522134.396
15	Bosque	702708.0675	9538783.249
16	Suelo descubierto	689915.2547	9529874.758
17	Vegetación arbustiva	697484.4358	9536029.636
18	Bosque	704832.9067	9535837.12
19	Suelo descubierto	688369.6647	9539159.283
20	Otros usos	690815.3722	9526367.764
21	Bosque	704922.651	9540203.166
22	Otros cultivos	693355.9713	9536233.718
23	Vegetación arbustiva	693924.6537	9524869.516
24	Vegetación arbustiva	703390.4355	9528319.67
25	Otros usos	697198.8403	9525744.13
26	Bosque	703846.1292	9532077.183
27	Otros usos	697298.4419	9528566.239
28	Cuerpos de agua	709023.8562	9530712.92
29	Vegetación arbustiva	701215.6209	9542017.762
30	Suelo descubierto	693488.3431	9534394.892
31	Suelo descubierto	694070.5795	9529650.999
32	Cultivo de caña	691517.2655	9533589.395
33	Bosque	705293.2607	9537782.767
34	Otros usos	688665.6382	9531347.548
35	Bosque	705944.7831	9534240.854
36	Suelo descubierto	698626.2347	9529479.229
37	Vegetación arbustiva	693589.8279	9540627.708
38	Otros cultivos	692807.6505	9523953.924
39	Bosque	709171.9899	9529252.618
40	Otros cultivos	691176.6688	9538415.25
41	Cultivo de caña	691296.4104	9532704.663
42	Suelo descubierto	686634.2361	9523483.918
43	Vegetación arbustiva	696482.1768	9526532.654
44	Suelo descubierto	692236.318	9537886.393
45	Vegetación arbustiva	686503.8992	9531014.88
46	Otros usos	691237.3062	9535472.813
47	Vegetación arbustiva	698998.5941	9540465.725
48	Cultivo de caña	696749.8029	9534276.194
49	Suelo descubierto	692858.9639	9526286.673
50	Suelo descubierto	687337.1519	9519611.899
51	Otros usos	689195.7056	9524030.181
52	Vegetación arbustiva	699965.9462	9532975.485
53	Suelo descubierto	686417.2152	9532926.674
54	Vegetación arbustiva	694582.1834	9525041.89
55	Suelo descubierto	700632.2008	9530440.346
56	Suelo descubierto	687877.7768	9522102.637
57	Otros usos	694473.7997	9540409.789
58	Cultivo de caña	694247.3063	9533618.512
59	Otros cultivos	692202.4581	9534704.109
60	otros cultivos	698376.4679	9532317.359

61	Suelo descubierto	697009.426	9530817.755
62	Cuerpos de agua	709487.8353	9529519.008
63	Vegetación arbustiva	690033.4356	9526514.525
64	Cultivo de caña	693270.506	9534689.567
65	Bosque	705344.4428	9526778.733
66	Cuerpos de agua	709085.5505	9532066.392
67	Vegetación arbustiva	688982.1037	9525099.973
68	Vegetación arbustiva	693413.2442	9528441.617
69	Bosque	707563.7331	9538446.256
70	Cultivo de caña	693852.9897	9535625.543

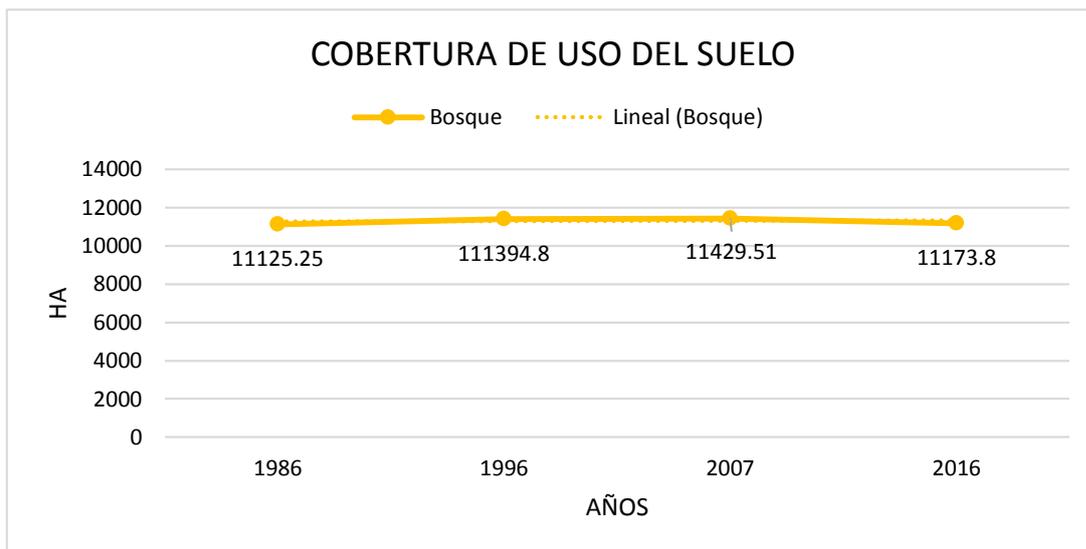
Anexo 9. Tendencia de decreción del cultivo de caña entre los años 1986 a 2016.



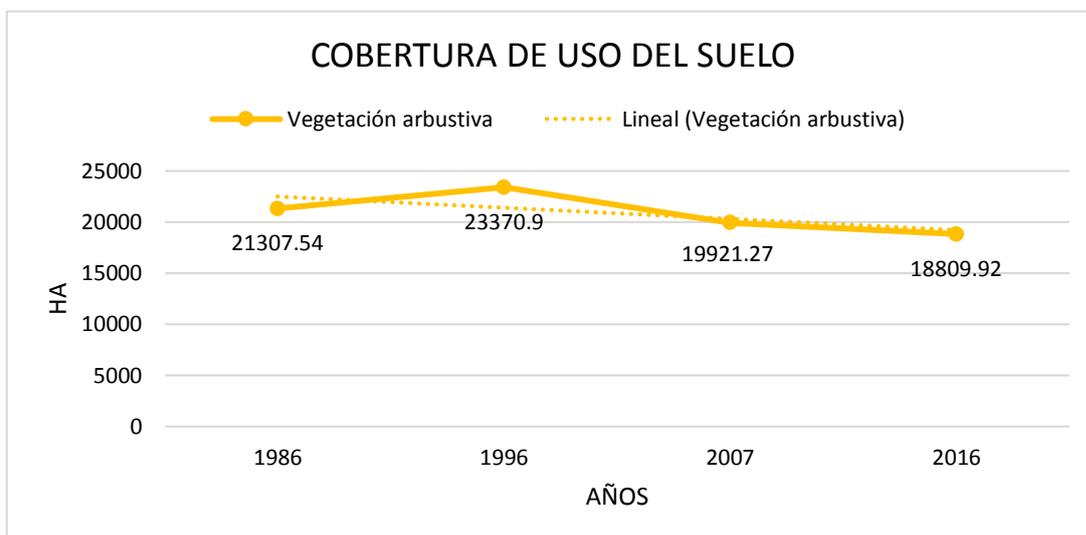
Anexo 10. Tendencia de crecimiento de la cobertura de otros cultivos entre los años 1986 a 2016.



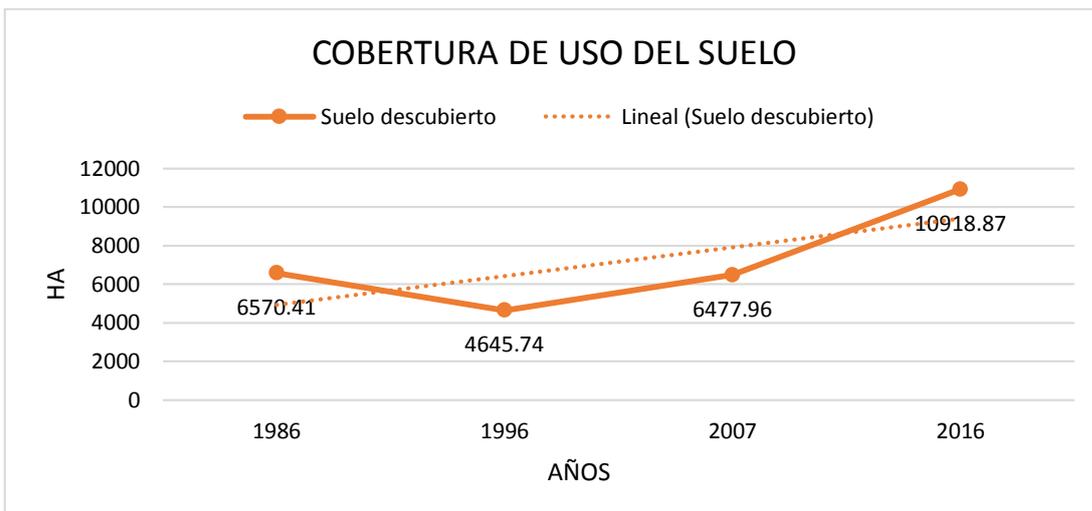
Anexo 11. Tendencia de la cobertura de bosque entre los años 1986 a 2016.



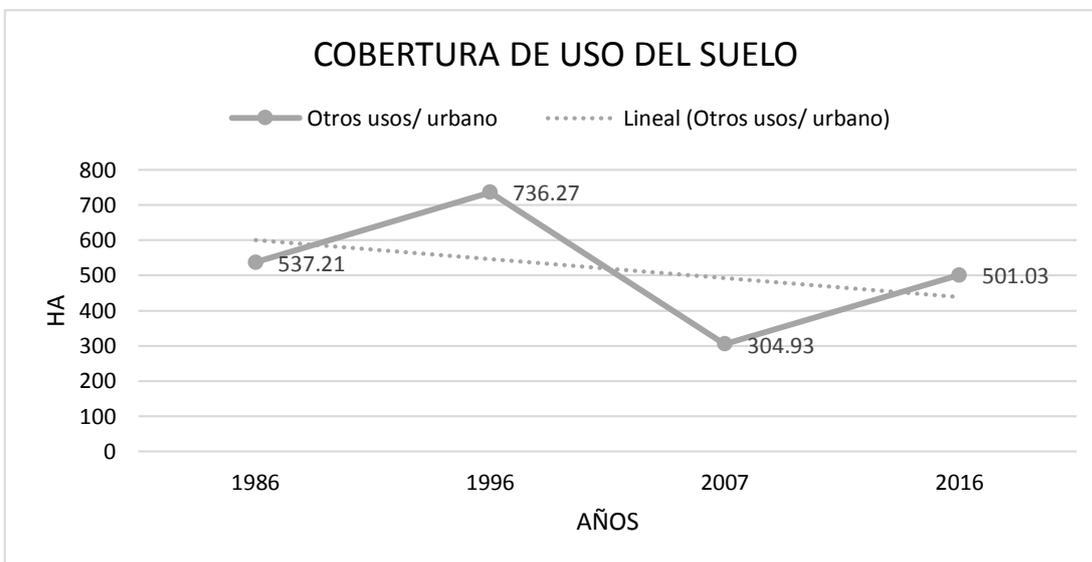
Anexo 12. Tendencia de la cobertura de vegetación arbustiva entre los años 1986 a 2016.



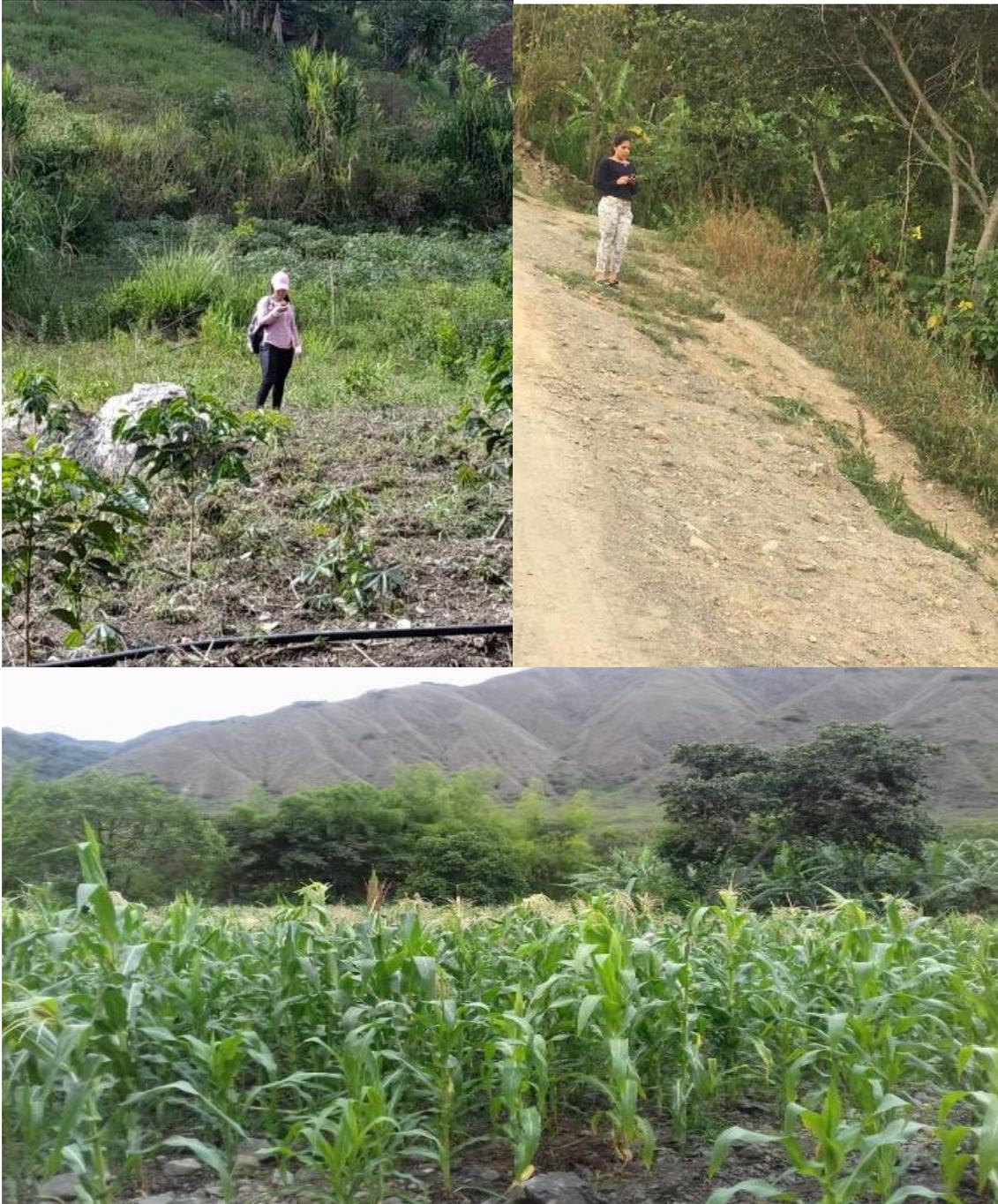
Anexo 13. Tendencia de crecimiento de la cobertura de suelo descubierto entre los años 1986 a 2016.



Anexo 14. Tendencia de la cobertura de otros usos/urbano entre los años 1986 a 2016.



Anexo 15. Fotografías de la toma de puntos GPS en campo.**Identificación y toma de puntos GPS en zonas de cultivo de caña.**



Toma de puntos GPS en zonas Agropecuarias.



Identificación y toma de puntos GPS en zonas de minería.