



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE LOS RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN  
DEL MEDIO AMBIENTE

*Análisis multitemporal de la superficie ocupada por el  
cultivo de caña en el cantón Catamayo provincia de  
Loja.*

*Proyecto de tesis previo a obtener el título de  
Ingeniería en Manejo y Conservación del  
Medio Ambiente.*

**AUTOR:**

BRYAN DAVID JUMBO ALVARADO

**DIRECTOR:**

Ing. Oscar Juela Mg. Sc.

**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 EN EL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA”, autoría del señor **Bryan David Jumbo Alvarado**, egresado de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, **CERTIFICO** que la investigación ha sido culminada dentro del cronograma aprobado y autorizo continuar con los tramites de graduación pertinentes.

Loja, 11 de junio del 2019

Atentamente



Ing. Oscar Lenin Juella Sivisaca 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 EN EL CANTÓN CATAMAYO PROVINCIA DE LOJA” de autoría del Sr. Egresado Bryan David Jumbo Alvarado 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 al señor egresado, su publicación y difusión.

Loja, 29 de julio de 2019

Atentamente:

Ing. Santiago Rafael García Matailo Mg. Sc,

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho Mg. Sc,

**VOCAL DEL TRIBUNAL**



Biol. Xavier Alejandro Rojas Ruilova Mg. Sc,

**VOCAL DEL TRIBUNAL**



## AUTORÍA

Yo, **Bryan David Jumbo Alvarado** declaro ser autor del presente trabajo de tesis **titulado** “ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR EL CULTIVO DE CAÑA EN EL CANTÓN CATAMAYO PROVINCIA DE LOJA”, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus 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.



.....  
Bryan David Jumbo Alvarado

CI: 2200108310

Loja, 05 de agosto del 2019

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

Yo, Bryan David Jumbo Alvarado declaro ser autor de la tesis titulada “ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR EL CULTIVO DE CAÑA EN EL CANTÓN CATAMAYO PROVINCIA DE LOJA”, como requisito para optar al grado de Ingeniero 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 Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior con los 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 cinco días del mes de agosto del dos mil diecinueve, firma el autor

Bryan David Jumbo Alvarado  
CI. 2200108310

Dirección: Loja, Barrio Cruz de Yahuarquina  
Teléfono celular: 0999578435  
Correo electrónico: bryanman71@gmail.com

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Directora de Tesis:** Ing. Lenin Oscar Juela Sivisaca Mg. Sc.

**Tribunal de grado:** Ing. Santiago Rafael García Matailo Mg. Sc,  
Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho Mg. Sc,  
Biol. Xavier Alejandro Rojas Ruilova Mg. Sc.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios el señor todo poderoso por darme gracia y sabiduría durante toda mi carrera académica, por levantarme muchas veces cuando me sentí derrotado y sin ganas de seguir.

Gracias a él me pude formar como una persona de fe.

A mis padres, hermanos, abuelos y tíos, gracias a ellos he podido conocer el significado del amor, la comprensión, la paciencia, son la base que me sostiene como persona y me han ayudado mucho en estos años de estudiante.

A la Universidad Nacional de Loja, en especial a todo el cuerpo docente de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, por sus conocimientos impartidos hacia mi persona.

Al ingeniero Oscar Lenin Juera Sivasaca, director de este trabajo de investigación, por sus consejos y apoyo a lo largo de la elaboración de este proyecto.

-Bryan David Jumbo Alvarado

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mis padres, Magno e Isabel, por todos sus consejos, apoyo y toda su sabiduría brindada a lo largo de mi formación profesional; a mis hermanos Jair, Belén y Josué; a mis abuelitos paternos y maternos, Santos y Jacobo, Vicente y Mercedes; a mis tíos y tías, por haberme apoyado en todos los aspectos de mi vida; gracias a todos ellos he podido salir adelante y estar cerca de cumplir una de mis metas. Además, a todos los docentes, compañeros y amigos que de una forma u otra contribuyeron a mi formación académica y personal.

A la Universidad Nacional de Loja, como centro de formación académica, pilar fundamental del proceso de mi formación.

-Bryan David Jumbo Alvarado

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR .....	ii
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL .....	iii
AUTORÍA.....	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTORA PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	viii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tablas .....	xi
RESUMEN .....	xiv
SUMMARY .....	xv
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<p>El presente proyecto se desarrolló planteándose como objetivo general “Determinar la variación espacio temporal del cultivo de caña ente los años 1986 a 2018 en el cantón Catamayo provincia de Loja”. Para lo cual se plantearon los siguientes objetivos específicos: .....</p>	
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. CAMBIOS DE USO DE SUELO.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. CAMBIO DE USO DEL SUELO EMPLEANDO LA TELEDETECCIÓN .....</b>	<b>3</b>



<b>2.3.</b>	<b>TELEDETECCIÓN</b> .....	4
<b>2.4.</b>	<b>IMAGEN SATELITAL</b> .....	4
<b>2.4.1.</b>	Imágenes Satelitales Landsat .....	5
<b>2.5.</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES</b> .....	6
2.5.1.	Clasificación de la imagen satelital.....	6
2.5.2.	Clasificación no supervisada.....	6
2.5.3.	Clasificación supervisada.....	7
<b>2.6.</b>	<b>PRINCIPALES APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN</b> .....	8
<b>2.7.</b>	<b>ANÁLISIS MULTITEMPORAL.</b> .....	9
<b>2.8.</b>	<b>MATRIZ DE CONFUSIÓN.</b> .....	9
<b>2.9.</b>	<b>COEFICIENTE KAPPA.</b> .....	10
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	11
<b>3.1.</b>	<b>Descripción del Área de estudio</b> .....	11
<b>3.2.</b>	<b>MÉTODOS.</b> .....	12
<b>3.2.1.</b>	Metodología para Generar mapas de cobertura vegetal y uso de suelo de los años 1986, 1996, 2006 y 2018 del cantón Catamayo utilizando herramientas de teledetección y SIG.13	
<b>3.2.2.</b>	Metodología para Cuantificar el cambio en el uso de suelo en el cantón Catamayo con énfasis en los cultivos de caña. ....	17
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	20
<b>5.</b>	<b>DISCUSIONES</b> .....	33

<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>41</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>42</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>46</b>

## Índice de Figuras

<i>Figura 1.</i> Ubicación del cantón Catamayo, provincia Loja.....	12
<i>Figura 2.</i> Proceso metodológico (Objetivo 1 y 2) aplicado para el Análisis Multitemporal del cambio de cobertura vegetal y uso del Suelo.....	13
<i>Figura 3</i> Mapa de Coberturas de Uso de suelo del cantón Catamayo-Periodo1986.....	22
<i>Figura 4</i> Mapa de Coberturas de Uso de suelo del cantón Catamayo-Periodo1996.....	24
<i>Figura 5</i> Mapa de Coberturas de Uso de suelo del cantón Catamayo-Periodo 2007.....	26
<i>Figura 6</i> Mapa de Coberturas de Uso de suelo del cantón Catamayo-Periodo 2017.....	28
<i>Figura 7.</i> Tendencia de Crecimiento del cultivo de caña. Fuente: .....	34
<i>Figura 8.</i> Tendencia de Crecimiento de la Vegetación Arbustiva.....	35
<i>Figura 9.</i> Tendencia de Crecimiento de Otros Cultivos.....	36
<i>Figura 10.</i> Tendencia de Crecimiento de Otros Usos.....	36
<i>Figura 11.</i> Tendencia de Decrecimiento del Bosque.....	37
<i>Figura 12.</i> Dinámica en las coberturas de uso de suelo del cantón Catamayo.....	38
<i>Figura 13.</i> Dinámica del Cultivo de Caña en el cantón Catamayo-Periodo 1986 al 2017.....	38

## Índice de Tablas

Tabla 1 Resolución espaciales y radiométrica de las bandas de los sensores de Landsat 5, 7 y 8.	6
Tabla 2 Código y fecha de las imágenes Landsat tomadas para el análisis.....	14
Tabla 3 Clases de coberturas de suelo establecidas por el MAE.....	15
Tabla 4 Matriz de cuantificación de coberturas y uso del suelo. ....	17
Tabla 5 Matriz de recolección de puntos de control en campo.....	18
Tabla 6 Matriz de confusión. ....	19

Tabla 7 Datos en hectáreas y Porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 1886.....	21
Tabla 8 Datos en hectáreas y Porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 1996.....	23
Tabla 9 Datos en hectáreas y Porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 2007.....	25
Tabla 10 Datos en hectáreas y Porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 2017.....	26
Tabla 11 Datos en hectáreas y porcentajes de las coberturas vegetales y usos de suelos de los años de estudio. ....	29
Tabla 12 Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1986. ....	29
Tabla 13 Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1996. ....	30
Tabla 14 Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2007. ....	31
Tabla 15 Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2017. ....	31
Tabla 16 Resultados Precisión Global e Índice Kappa. ....	32

“Análisis multitemporal de la superficie ocupada por el cultivo de caña en el cantón Catamayo provincia de Loja”.

## RESUMEN

La presente investigación titulada “**Análisis multitemporal de la superficie ocupada por el cultivo de caña en el cantón Catamayo provincia de Loja**”, tuvo como objetivo de estudio, determinar la variación espacio temporal del cultivo de caña en el cantón Catamayo entre los años de 1986 al 2018. La investigación presentó un diseño no experimental longitudinal ya que se estudiaron imágenes satelitales de distintas fechas (1986, 1996, 2007 y 2017), esto mediante el tratamiento de imágenes Landsat 5, 7 y 8, con el propósito de generar mapas de cobertura vegetal y uso del suelo, posteriormente se analizó la variación espacial del cultivo de caña en los diferentes periodos. Para llevar a efecto esta investigación, se recopiló información geográfica de la base de datos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) y, se complementó la información cartográfica con la encontrada en el Sistema de Información Nacional, el Instituto Geográfico Militar y el Centro de Investigación Territorial (CIT) de la Universidad Nacional de Loja. Las imágenes satelitales fueron sometidas a un pre procesamiento (correcciones geométricas y atmosféricas) y procesamiento (trabajo de campo, clasificación supervisada, reclasificación y ajuste de imágenes), con el fin de obtener resultados que se asemejen a la realidad en el terreno, los cuales posteriormente fueron validados mediante el índice estadístico Kappa.

Los resultados obtenidos en la investigación demostraron que el cultivo de caña en el año de 1986 ocupaba 1888.42 ha, expandiéndose al año de 1996 en un 4.9% (1981.09 ha), aumentando considerablemente para el 2007 en un 20.7%, alcanzando una superficie de 2279.36 ha, destinado el 3,5% de la superficie total del cantón, en el año 2017 disminuyó a un 10.25% ocupando 2080.15 ha.

El aumento abrupto de la caña de azúcar en el año 2007, según la literatura, estuvo relacionado a los convenios establecidos entre el Ingenio Monterrey (MALCA) e instituciones públicas, de forma semejante el ligero decrecimiento en el año 2017 se debió al establecimiento de cultivos de caña en distintos cantones de la provincia de Loja, como Zapotillo y Amaluza, esto por parte de MALCA que es el principal productor de caña en el sur del Ecuador.

**Palabras clave:** Cultivo de Caña, Teledetección, uso de suelo, Ingenio Monterrey, variación espacio-temporal.

## SUMMARY

The present investigation entitled "**Multitemporal analysis of the area occupied by cane cultivation in the canton of Catamayo province of Loja**", had as objective of study, to determine the temporal space variation of cane cultivation in the canton Catamayo from 1986 to 2018. The research presented a non-experimental longitudinal design since satellite images of historical dates (1986, 1996, 2007 and 2017) were studied, this by means of the treatment of Landsat images 5, 7 and 8, with the purpose of generating maps of vegetation cover and land use, later the spatial variation of cane cultivation in the different periods was analyzed. To carry out this research, geographic information was collected from the database of the United States Geological Survey (USGS), and cartographic information was supplemented with that found in the National Information System, the Military Geographical Institute and the Territorial Research (CIT) of the National University of Loja. The satellite images were subjected to a pre-processing (geometric and atmospheric corrections) and processing (field work, supervised classification, reclassification and adjustment of images), in order to obtain results that resemble reality in the field, which subsequently, were validated using the Kappa statistical index.

The results obtained in the investigation demonstrated that the cane cultivation in the year 1986 was 1888.42 has, expanding to the year 1996 in a 4.9% (1981.09 has), increasing considerably for 2007 in a 20.7%, reaching an area of 2279.36 has, for 3.5% of the total surface area of the canton in the year 2017 has decreased to a 10.25 per cent occupying 2080.15 has.

The sharp increase of the sugar cane in the year 2007, according to the literature, was related to the conventions established between the Ingenuity Monterrey (MALCA) and public institutions, in a similar way the slight decrease in the year 2017 was due to the establishment of cane crops in various cantons of the province of Loja, as Zapotillo and Amaluza, this by MALCA which is the main producer of sugar cane in the south of Ecuador.

**Key words:** Cane cultivation, Remote sensing, land use, Ingenio Monterrey, Variation of space and time.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cambios de uso del suelo se han reconocido a nivel global como una de las principales causas de deterioro ambiental, ya que se ha destinado gran parte de la superficie terrestre para actividades sociales y económicas en zonas inadecuadas acuerdo a su aptitud y capacidad, conllevando al deterioro de la calidad ambiental, pérdida de la cobertura vegetal, fragmentación de ecosistemas frágiles y conflictos de índole socio-ambiental (Peña, 2018).

Así mismo en América Latina y el Caribe (LAC), se estima que el potencial agrícola está cerca de 800 millones de hectáreas de tierra, siendo este recurso esencial para cubrir las necesidades de una población de rápido crecimiento. Sin embargo, la mayor parte de esta tierra está bajo la lluviosa selva tropical, y la deforestación y la expansión de la frontera agrícola podría iniciar varios procesos de degradación de suelo con efectos dramáticos sobre muchas funciones del ecosistema (FAO, 2015).

Ecuador no es la excepción a esta problemática ya que se destina gran parte de la superficie a la producción agrícola y alimenticia, mismas que son las principales responsables del cambio de uso de suelo en el país, destacando entre estas actividades la producción de caña de azúcar para las cuales se designa gran parte de la superficie (FAO, 2015; INEC, 2010).

Particularmente, el cantón de Catamayo, en la provincia de Loja, por ser un valle con un clima muy particular permite una fácil ejecución de prácticas tanto agropecuarias como económicas, destacando la producción de caña de azúcar, la cual inició de manera industrializada en el año de 1962 con la creación del Ingenio Monterrey (MALCA) como el pilar fundamental de la producción de caña en Loja (CICAE, 2007). En el año de 1990 la producción de caña en Loja aumentó en un 32% llegando a abastecer el 7.52 % de la producción nacional (Salazar et al., 2017), esto en su mayor parte gracias al cantón Catamayo, que del área agrícola que corresponde al 6.60%, los cultivos de caña ocupan el 4.19%, siendo este el cantón donde se encuentra la mayor extensión de este cultivo (Ortiz, 2012).

Un gran factor que permite el crecimiento desmesurado y la no regulación del uso del recurso suelo, que garanticen su disponibilidad para las futuras generaciones, es la falta de información del estado del uso y cobertura de la tierra y aún más importante información de los monocultivos



los cuales se expanden en gran medida en Catamayo y la provincia de Loja, para lo cual dicha información podría ser generada mediante el empleo de técnicas de teledetección y concretamente el uso de imágenes satelitales que ofrecen posibilidades muy interesantes, por cuanto permite la detección y evaluación de los espacios afectados, favoreciendo sustancialmente la estimación de daños y su seguimiento a lo largo del tiempo (Ramírez y Zapata, 2015).

Con la aplicación de estas técnicas de teledetección espacial, los sistemas de información geográfica (SIG) y el empleo de imágenes satelitales ayudaran a responder la pregunta central de esta investigación ¿Cuál ha sido la dinámica de la superficie ocupada por el cultivo de caña de azúcar entre los años 1986 al 2018 en el cantón Catamayo?

Aportando así datos preliminares de línea base para la ejecución de futuros proyectos ambientales, sociales, productivos y económicos, que en conjunto lleven a un manejo integral de la zona de estudio.

El presente proyecto se desarrolló planteándose como objetivo general “Determinar la variación espacio temporal del cultivo de caña ente los años 1986 a 2018 en el cantón Catamayo provincia de Loja”. Para lo cual se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Generar mapas de cobertura vegetal y uso de suelo de los años 1986, 1996, 2006 y 2018 del cantón Catamayo utilizando herramientas de teledetección y SIG.
- Cuantificar el cambio en el uso de suelo en el cantón Catamayo con énfasis en los cultivos de caña.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1.CAMBIOS DE USO DE SUELO**

Los cambios de uso de suelo se pueden definir como el cambio total o parcial de vegetación de la superficie terrestre, para ser destinados a actividades económicas o agropecuarias (Semarnat, 2010).

A nivel mundial, regional y local hay diversos factores que interactúan entre sí, aportando a los cambios del uso del suelo, como los ambientales, demográficos, económicos y socioculturales, que al unificarse llegan a provocar un deterioro ambiental y pérdida de la diversidad biológica (Camacho et al., 2017). Así mismo, el cambio de uso de suelo, provocado por las actividades antropogénicas, tienden a influir en procesos naturales como son la recarga de acuíferos, escurrimiento superficial, pérdida de suelo, entre otros, por lo cual es de gran importancia conocer la dinámica de dicho cambio y sus posibles orígenes (Trucíos y Caciano, 2011)

### **2.2.CAMBIO DE USO DEL SUELO EMPLEANDO LA TELEDETECCIÓN**

A medida que ha avanzado el tiempo el conocer el porqué del cambio en la cobertura y uso del suelo, en la actualidad se ha convertido en el uno de los puntos fuertes en cuanto a investigación ambiental se refiere. Bajo este contexto los cambios ocurridos en los ecosistemas terrestres se derivan de tres factores que son: conversión de la cobertura del terreno, degradación del terreno e intensificación en el uso del terreno (Pineda, 2011).

Durante los últimos años la aplicación de las imágenes satelitales ha tenido más relevancia en los estudios de cambio de uso de suelo, ya que permite entender la dinámica de cómo se ha alterado la superficie terrestre, en su mayoría de manera negativa, esto debido a la demanda alimenticia y social que existe sobre nuestro planeta, todo esto mediante la aplicación de técnicas de teledetección que con ayuda de los Sistemas de información geográfica (SIG), se convierten en una herramienta para el estudio del cambio de coberturas y el uso de suelo (Posada et al., 2012; Bernabe et al., 2019).

### **2.3.TELEDETECCIÓN**

Técnica la cual permite la adquisición de imágenes de la superficie terrestre con la ayuda de sensores instalados en distintas plataformas las cuales gravitan en el espacio (Chuvieco, 2008). Otra definición de teledetección es entendida como una técnica de obtención de información sin entrar en contacto con ella, teniendo por objeto la captura, tratamiento y análisis de las imágenes digitales tomadas desde satélites artificiales (Pérez y Muñoz, 2008).

### **2.4.IMAGEN SATELITAL**

Las imágenes satelitales son capturadas mediante un sistema óptico-electrónico, el cual consiste en un sensor que gira sobre la superficie terrestre, adquiriendo la radiación emitida y reflejada de los objetos situados sobre ella. Esta energía captada por el sensor está definida por el Nivel Digital (ND), que codifica digitalmente esta radiancia, para una parcela de terreno y en una banda específica, en 8 bits (0 a 255) para el caso de las imágenes LANDSAT (posteriormente se explicara sobre ellas). La colección de todos estos datos se constituye en un arreglo matricial que tiene una unidad mínima de observación (parcela) denominada píxel (Picture Element de su sigla en inglés) con un número entero que puede convertirse en una intensidad luminosa o nivel de gris y con una localización espacial (Delisles y Quan, 2013).

Un punto a considerar en este proceso de generación de información son las transformaciones de los ND's originales que permiten una mejor disposición para generar información de muchos tipos; en otras palabras, se genera nueva información a partir de las bandas espectrales disponibles en una imagen satelital, esto por medio de la combinación de cada una de las bandas. Las más comunes son: conversión de ND a valores físicos de reflectividad y temperatura, transformaciones multibandas como índices de vegetación, entre otros cocientes, componentes principales y análisis lineal de mezclas espectrales (Chuvieco, 2008).

Existen tres tipos de imágenes satelitales las cuales son capturadas mediante un sensor digital dentro de una plataforma satelital. El primer grupo de imágenes son las 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 cuales se representan por medio de imágenes en blanco y negro, con este tipo de imágenes se puede localizar, medir e identificar

accidentes superficiales y objetos principalmente por su apariencia física, tamaño y orientación. Mientras que en el segundo grupo se encuentran las imágenes multiespectrales capturan los niveles de radiancia, procedentes de la superficie terrestre, que son transformados en valores numéricos que se denominan niveles digitales. Y por último tenemos en el tercer grupo las imágenes hiperespectrales (estas imágenes se representan en fotografías) las cuales miden la reflectancia en muchas bandas que permite detectar especialmente vegetación, suelos y rocas (López, 2015).

#### **2.4.1. Imágenes Satelitales Landsat**

El programa Landsat en conjunto con la Aeronáutica Nacional y Administración Espacial - NASA y el portal USGS proporciona el registro más largo de las imágenes satelitales de la superficie de la tierra que existe. Cada día, los satélites Landsat proporcionan información esencial para ayudar a los administradores de tierras y los responsables políticos a tomar decisiones sabias sobre nuestros recursos y nuestro medio ambiente (Landsat Science, 2019).

Gracias a la obtención de datos ininterrumpido más largo de la superficie de la tierra vista desde el espacio, Landsat Tierra-observación de la NASA ha proporcionado al planeta la información sin precedentes sobre los cambios de la cubierta terrestre y sus efectos residuales desde 1972. El conocimiento obtenido durante 40 años de datos continuos contribuye a la investigación sobre el clima, el ciclo del carbono, el ciclo del agua, los ecosistemas y los cambios en la superficie de la Tierra, así como la comprensión de los efectos causados por los seres humanos visibles en la superficie terrestre (NASA, 2019)

Los últimos 3 satélites Landsat han sido el 5 (TM), 7 (ETM+) y 8 (OLI), de los cuales el único que se encuentra en funcionamiento es el satélite Landsat 8. A continuación, se detallan cada una de las bandas por cada uno de los sensores (Tabla 1):

Tabla 1 *Resolución espaciales y radiométrica de las bandas de los sensores de Landsat 5, 7 y 8.*

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

Fuente: USGS GLOVIS, 2009.

## 2.5. CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

### 2.5.1. Clasificación de la imagen satelital

Para la clasificación de imágenes satelitales existen diferentes tipos de clasificaciones encontrándose entre las más comunes la clasificación supervisada y la no supervisada.

### 2.5.2. Clasificación no supervisada

La clasificación no supervisada es un proceso el cual se lo realiza sin conocimiento previo del lugar, en el cual se agrupan píxeles con valores digitales similares. Para todas las bandas y cada una de estas agrupaciones son llamadas clases espectrales, las cuales se supone corresponden a un tipo de cobertura del terreno. Entre las metodologías empleadas para desarrollar este tipo de clasificación son del tipo agrupamiento (del inglés clustering), y recientemente se ha trabajado con los modelos neuronales (Silva et al., 2011).

La aplicación de este tipo de clasificación se basa en la búsqueda automática de grupos con valores homogéneos dentro de las imágenes, ya que al ser un método sin conocimiento previo del lugar pueden ocurrir algunas respuestas no tan acertadas, como por ejemplo, que una categoría esté expresada en varias clases espectrales, así mismo, que dos o más categorías compartan una sola clase espectral o que varias categorías compartan clases espectrales y la respuesta donde el resultado es que haya una correspondencia entre las clases espectrales y las categorías (Silva et al., 2011).

### **2.5.3. Clasificación supervisada**

Para la clasificación se parte de una visita previa al lugar de estudio con el fin de coleccionar un conjunto de clases, las cuales deben caracterizarse en función de las variables a las cuales se va a medir, es decir el tipo de terreno a estudiar, con la finalidad de que cada una de las clases no presente dudas al momento de realizar las áreas de entrenamiento (Hidalgo, 2017).

Con este conocimiento se definen y se delimitan sobre la imagen las áreas de entrenamiento, las mismas que agrupan características espectrales de áreas homogéneas, posteriormente son utilizadas para “entrenar” un algoritmo de clasificación, el cual calcula los parámetros estadísticos de cada banda para cada uno de los sitios de entrenamiento, evaluando los ND de la imagen, comparándolos y asignarlos a una respectiva clase (Chuvienco, 2008). Es importante garantizar que los píxeles elegidos son lo más homogéneo posible, y que cada clase es claramente separable. La clasificación supervisada pretende definir las clases temáticas que no tengan claro significado espectral considerada por esto como un método artificial (Posada et al., 2012).

#### **2.5.3.1. Algoritmos de clasificación**

- **Por mínima distancia.** Se basa también en conceptos geométricos dentro del espacio de atributos. En este caso se emplea únicamente la media de cada clase, prescindiéndose de la desviación típica. Para cada uno de los elementos a clasificar se calcula la distancia euclídea en el espacio de atributos entre la media de cada clase y dicho elemento (Olaya, 2014).
- **Por mínima distancia de Mahalanobis.** En este algoritmo se asume que las covarianzas de las clases son iguales, tiene una semejanza al método de mínima distancia mencionado anteriormente (Chuvienco, 2008).

- **Por máxima probabilidad.** Este algoritmo toma en cuenta las diferentes probabilidades de que se encuentren determinadas cubiertas en la escena (probabilidad a priori) lo cual permite calcular la probabilidad a posteriori (Chuvieco, 2008).
- **Empleando Redes Neuronales.** El método de clasificación empleando redes neuronales se basa en utilizar un número de neuronas sensitivas igual al número de parámetros de entrada (tantos como bandas \* parámetros de cada clase) y un número de neuronas efectoras igual al número de clases deseado. Durante el proceso la red es entrenada con los datos de ROIs (Regiones de Interés), introducidos y aplicada para clasificar el resto de píxeles no asignados (Chuvieco, 2008).

## 2.6. PRINCIPALES APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN

Para Pérez y Muñoz (2006), las aplicaciones de la Teledetección se extienden a través de una gran variedad de disciplinas en las que la variable espacial entra en juego.

Como ejemplo de aplicaciones en las que las imágenes espaciales han acreditado su valía como herramienta de investigación, podemos mencionar las siguientes:

- Estudios de erosión en playas y arenales.
- Inventarios de recursos para estudios de impacto ambiental.
- Cartografía geológica.
- Control de la acumulación naval para la previsión de riesgos y disponibilidad hidroeléctrica.
- Control de movimientos de iceberg.
- Estimación de modelos de escorrentía y erosión.
- Análisis en tiempo real de masas nubosas.
- Medidas de aguas superficiales y humedales.
- Verificación de contenidos de salinidad.
- Cartografía térmica de la superficie del mar para el estudio de las corrientes marinas.
- Cartografía de la cobertura vegetal del suelo.
- Predicción de rendimientos de cultivos.

## **2.7. ANÁLISIS MULTITEMPORAL.**

Esta técnica denominada análisis multitemporal permite obtener diferentes conclusiones relacionadas con los cambios espaciales de un lugar en específico o región. Este procedimiento analítico multitemporal implica que los diferentes datos provenientes de diferentes fechas, tengan que llegar a ser un conjunto único de datos (Condori et al., 2018).

Además, Chuvieco (2008), menciona que es un análisis el cual se lo realiza comparando dos imágenes satelitales de un mismo lugar, pero diferente fecha, y las coberturas contenidas en ellas, permitiendo evaluar cambios en las imágenes clasificadas. Cabe mencionar que un análisis multitemporal es de mayor atracción cuando se lo realiza con varias imágenes ya que el van a diferir las condiciones.

Para este tipo de análisis, las imágenes multiespectrales, deben estar separadas como mínimo 3 años en el tiempo, lo cual es ideal para detectar los cambios del sector en estudio, además las imágenes deben ser de la misma estación en caso de que fuere posible, con la finalidad de asegurando una fácil interpretación, una alta confiabilidad en los resultados como en los análisis de datos (Chuvieco, 2008).

En el ámbito mundial actual es una de las metodologías de más uso, ya que esta metodología es utilizada para identificar, describir, cuantificar y monitorear los cambios de la cobertura vegetal, los avances de la frontera agrícola y los patrones de comportamiento de estas unidades espaciales, por actividades y alteraciones antropogénicas o cambios climáticos, así como la descripción de escenarios tendenciales. El análisis multitemporal permite entender las condiciones del pasado y su potencial futuro en un contexto de cambio global. Los estudios sobre ocupación del suelo están basados en la caracterización sistemática de la cobertura de la superficie terrestre, a partir de los patrones de información que proporcionan imágenes aéreas o de satélite. El resultado final es la cartografía de cambio de la vegetación y uso de suelo sobre la serie temporal de imágenes (Alvera, 2018).

## **2.8.MATRIZ DE CONFUSIÓN.**

Se la denomina también como matriz de error o tabla de contingencia, esta matriz se la construye a base de una imagen satelital, la cual es una herramienta de comparación, en la que se recogen los



conflictos generados entre clases, es decir, se establece una relación entre la cobertura real y la clasificación. La diagonal de esta matriz expresa el número de puntos (píxeles, hectáreas, etc.), en donde se produce un acuerdo entre las dos fuentes (mapas o la realidad), mientras los espacios marginales suponen errores de asignación (Chuvieco, 2008).

El mismo autor menciona que los niveles de fiabilidad global son tomados en cuenta por medio de cuatro parámetros:

- Errores de omisión, se refieren a elementos que perteneciendo a esa clase no aparecen en ella por estar erróneamente incluidos en otra.
- Errores de comisión, elementos que no perteneciendo a una clase aparecen en ella.
- Exactitud del usuario, que está en relación inversa con los errores de comisión.
- Exactitud del productor, que está en relación inversa con los errores de omisión.

## **2.9.COEFICIENTE KAPPA.**

El valor kappa permite conocer el grado de concordancia entre la imagen satelital y la clasificación si esta se acerca o no a la realidad. Así mismo evalúa si se ha clasificado las categorías del estudio con exactitud, donde un valor kappa igual a 1 indica una concordancia fuerte, es decir entre la realidad y el mapa, mientras que el valor cercano a 0 muestra que el acuerdo observado es débil y considerado al azar (Chuvieco, 2008).

Además, Ruiz (2013), expresó sobre la proporción en la reducción del error al aplicar la clasificación respecto al error que se hubiera producido realizando una asignación de clases completamente aleatoria, este coeficiente lleva implícita información sobre los elementos marginales fuera de la diagonal principal. Además, recoge en un solo valor información sobre el proceso y permite la comparación directa de varias matrices (Ecuación 1).

$$k = \frac{N \sum X_{ij} - N \sum X_{i+} - X_{+i}}{N^2 - \sum X_{i+} - X_{+i}}$$

Donde:

N: número total de observaciones incluidas en la matriz.

X<sub>ij</sub>: número de observaciones en el elemento de la fila i y columna j.

X<sub>i+</sub>: total de observaciones en fila i.

X<sub>+i</sub>: total de observaciones en la columna i.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Descripción del Área de estudio

El cantón Catamayo está ubicado en el valle de Garrochamba al sur del País en la Zona de Planificación siete en la provincia de Loja (Figura 1); sus límites son: Norte la provincia de El Oro y el cantón Loja, en el Sur con los cantones de Gonzanamá y Loja. Este por el cantón Loja y Oeste con los cantones de Chaguarpamba, Olmedo y Paltas. Su cabecera parroquial se encuentra a una distancia de 36km de la ciudad de Loja. El cantón Catamayo tiene una extensión de 649 km<sup>2</sup>, con un rango altitudinal de 400 a 1800 msnm, se encuentra ubicado entre las siguientes coordenadas geográficas ( Nivicela y Castillo, 2010): Latitud 04° 0' y 03° 50' S Longitud 79° 30' y 79° 15' W (Ver Figura 1).

El cantón cuenta con una parroquia urbana, cuatro parroquias rurales y 47 barrios. La parroquia urbana: Catamayo y sus parroquias rurales: El Tambo, Guayquichuma, San Pedro de la Bendita y Zambí. La precipitación media anual llega a los 357 mm. El periodo lluvioso comienza en febrero y termina en abril, aunque en el mes de octubre también hay presencia de pocas lluvias ( Nivicela y Castillo, 2010).

Por su ubicación y las características geográficas de la región el piso climático del cantón Catamayo corresponde a la zona tropical interandina. La temperatura media anual es de 23,7 °C, por lo cual, corresponde al área ecológica llamada Monte Espino Premontano, la vegetación existente es rala y de estepa seca (Nivicela y Castillo, 2010).

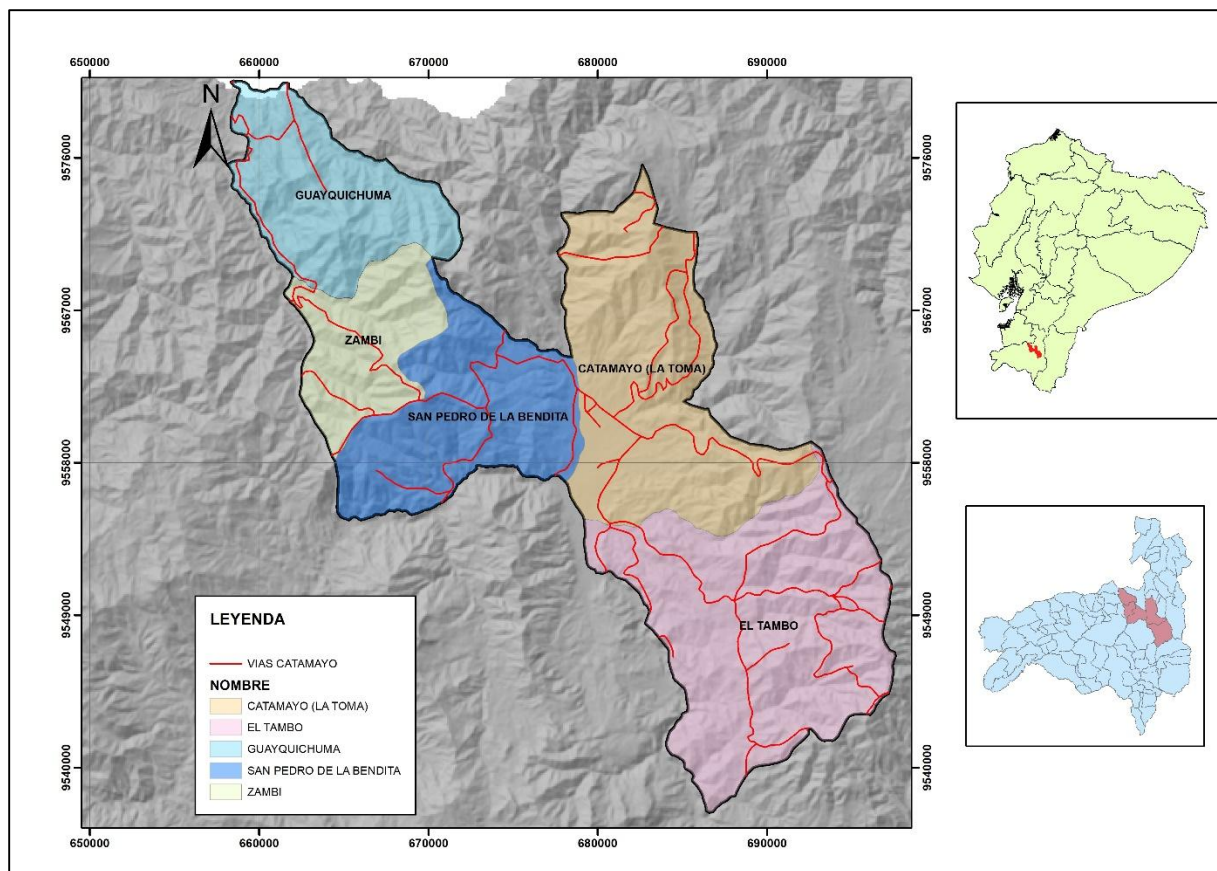


Figura 1. Ubicación del cantón Catamayo, provincia Loja.

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.METODOS.

La presente investigación se basa en un diseño no experimental longitudinal, puesto que se realizaron análisis de información histórica de imágenes tipo satelitales Landsat de 4 años correspondiente a los siguientes 1986, 1996, 2006 y 2018. Presentando así mismo un carácter descriptivo – analítico. Descriptivo, ya que se describió información verídica y fiable, conceptos y características de la zona de estudio; permitió conocer el uso actual del suelo para la posterior comparación con los resultados históricos del análisis de cambio generado en la cobertura del suelo a causa de la producción de caña de azúcar en el cantón Catamayo. De carácter analítico, ya que permitió el análisis, cuantificación y verificación de los resultados de las diferentes coberturas de suelo, remplazadas por la producción de caña de azúcar del sector, esto a partir de los mapas de cambio de uso de suelo generados en diferentes SIG's aplicados en la teledetección.

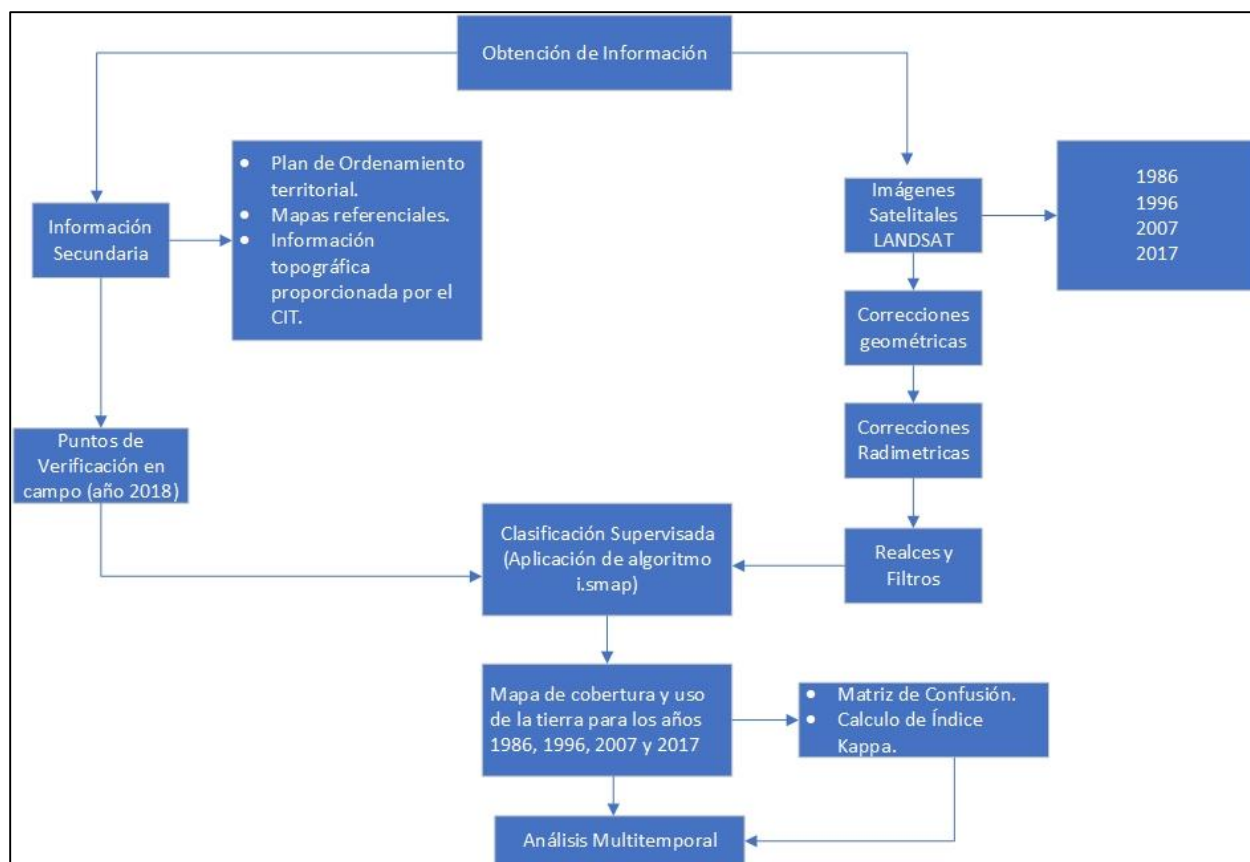


Figura 2. Proceso metodológico (Objetivo 1 y 2) aplicado para el Análisis Multitemporal del cambio de cobertura vegetal y uso del Suelo.

Fuente: Modificado a partir de Chuvieco, 2008

### 3.2.1. Metodología para Generar mapas de cobertura vegetal y uso de suelo de los años 1986, 1996, 2006 y 2018 del cantón Catamayo utilizando herramientas de teledetección y SIG.

#### Recopilación de la Información

- a) La información cartográfica se recopiló gratuitamente, del repositorio web de “science for changing world”, <http://glovis.usgs.gov/>, (USGS) las cuales correspondieron a imágenes satelitales de los años 1986, 1996, 2006 y 2018 (Ver Tabla 2), es importante mencionar que no se pudo obtener imágenes Landsat del año 2006 y 2018, esto debido a que presentaban grandes porcentajes de ruido y nubosidad dentro de la zona de estudio, por lo cual se tomaron imágenes de años cercanos en este caso 2007 y 2017.

Tabla 2 Código y fecha de las imágenes Landsat tomadas para el análisis.

Imágenes Landsat	Fecha
LC08_L1TP_010063_20170819_20170826_01_T1	19-agosto-2017
LT05_L1TP_010063_20070824_20161111_01_T1	24-agosto-2007
LT05_L1TP_010063_19960724_20170103_01_T1	24-Julio-1996
LT05_L1TP_010063_19861204_20170215_01_T1	04-diciembre-1986

Fuente: Elaboración propia

- b) Se complementó la información cartográfica con la encontrada en el Sistema de Información Nacional, el Instituto Geográfico Militar y el Centro de Investigación Territorial (CIT) de la Universidad Nacional de Loja. Todo esto siguiendo la metodología planteada por Chuvieco (2008) para análisis de cambio de uso de suelo, además, de ser la que más se ajusta al tema de investigación.
- c) De igual manera se seleccionó los softwares más adecuados para realizar el estudio, que en este caso se trabajó con GRASS y QGIS, así como con otros softwares libres, todos estos programas dentro del sistema operativo de Linux Ubuntu.

### **Preparación de las imágenes satelitales: correcciones y realces**

#### ***Correcciones***

- a) En este punto se analizó el porcentaje de nubes, problemas de bandeamiento, píxeles perdidos, etc., con la finalidad de realizar correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas, para cada una de las imágenes
- b) Mediante este proceso se eliminaron anomalías, de localización, o en la radiometría de los píxeles que componen cada una de las imágenes. De la misma manera se las dispuso en la posición geográfica correcta (georreferenciación), o reconstruyendo la radiancia detectada por el sensor a partir de los Niveles Digitales (ND) de la imagen (Chuvieco, 2008).
- c) Estos tres tipos de correcciones se realizaron mediante el empleo de un lenguaje de programación dentro del software GRASS.

### **Realces**

- a) Con el fin de tener una visión de mejor calidad de la imagen a trabajar y realzar las imágenes se procedió se realizaron composiciones.
- b) Esto se aplicó mediante la generación de la combinación RGB (rojo, verde y azul) color real. Como las 4 imágenes que se emplearon en el estudio fueron de diferente sensor se escogieron las bandas 3,2, 1 para el sensor TM y ETM+, por otro lado, para el sensor OLI se utilizaron las bandas 4,3,2 que corresponde a las bandas rojo verde y azul (RGB) estos del satélite Landsat. Esta composición facilitó la cartografía de masas vegetales, láminas de agua, ciudades, entre otros., (Chuvieco, 2008).
- c) Este proceso se lo realizó en el software de Qgis y Grass.

### **Clasificación digital de las imágenes satelitales**

- a) Para la realización de la clasificación se procedió a delimitar áreas de entrenamiento, necesarias para realizar una clasificación supervisada, por lo cual se seleccionaron coberturas de uso de suelo, según lo indica en el protocolo del MAE.
- b) Las clases de cobertura vegetal y uso de suelo para este estudio se establecieron mediante la ayuda de información del protocolo metodológico para elaborar mapas de cobertura y uso de suelo de tierra de Ecuador Continental del MAE 2015.

Las imágenes Landsat son para trabajar a nivel regional, se tomó en cuenta el tamaño del pixel de 30m x 30m y en el casco de Landsat 7 y 8 remuestreado a 15m. A continuación, se presentan las coberturas vegetales y usos de suelo en niveles I y II de interés tomadas del MAE y adaptadas para fines del estudio (Ver Tabla 3).

Tabla 3 *Clases de coberturas de suelo establecidas por el MAE*

<b>CODIGO</b>	<b>COBERTURAS</b>	
	<b>NIVEL I</b>	<b>NIVEL II</b>
<b>1</b>	Cultivo de Caña	Caña Caña Cultivada
<b>2</b>	Vegetación Arbustiva	Vegetación Arbustiva Suelo Descubierta
<b>3</b>	Bosque	Bosque Comercial
<b>4</b>	Otros Usos	Áreas Urbanas y Vías
<b>5</b>	Nubes	
<b>6</b>	Otros Cultivos	Mosaico de Cultivos

Fuente: MAE, MAGAP. (2015). [www.ambiente.gob.ec](http://www.ambiente.gob.ec). [www.magap.gob.ec](http://www.magap.gob.ec).

- c) La determinación de las categorías y su facilidad de interpretación con el uso de las imágenes satelitales, se debe a que se realizaron recorridos por zonas específicas con características homogéneas con la finalidad de identificar las distintas reflectancias entre varias categorías para facilitar posteriormente la generación de áreas de entrenamiento.
- d) Las áreas de entrenamiento se digitalizaron de manera manual, delimitando diversas zonas en las que se conocía con anterioridad el tipo de cobertura existente y zonas homogéneas donde se podía distinguir fácilmente el tipo de cobertura, esto mediante el empleo de una capa de tipo polígonos, asociado en un campo de la tabla de atributos el tipo de clase presente para cada uno de los polígonos delimitados sobre la imagen. Es importante definir estas zonas de entrenamiento procurando que cubran todos los casos particulares de las clases donde haya homogeneidad para que puedan extraerse las características comunes a todas las subtipologías que se vayan a englobar en una única clase (Olaya, 2014).
- e) Finalmente se realizó la clasificación digital de las imágenes mediante un lenguaje de programación empleado algoritmos con la ayuda del programa Grass y la terminal del sistema operativo Linux Ubuntu.
- f) La clasificación se realizó de la siguiente manera: en primer lugar se creó un grupo de imágenes con las bandas, para esto se utilizó el módulo de Grass “i.group”; como paso subsiguiente se generó el archivo de respuesta espectral de las diferentes clases, a partir del grupo de imágenes y de las áreas de entrenamiento, utilizando el módulo “i.gensigset”; como último paso se ejecutó el algoritmo de clasificación “i.smap”. A continuación, se describen cada una de las características de los comandos utilizados para la clasificación de las imágenes:

#### ***i.group***

Permite obtener capas de mapa ráster en un grupo de imagen mediante la asignación a grupos y subgrupos denominados por el usuario, lo que permite al usuario ejecutar los análisis en cualquier combinación de las capas de mapa ráster en un grupo. El usuario crea los grupos y subgrupos y selecciona las capas de mapa ráster que se van a residir en ellas, GRASS Development Team (2012).

#### ***i.gensigset***

Es un método no interactivo para generar la entrada al algoritmo “i.smap”. Se utiliza como el primer paso en el proceso de clasificación, lee una capa de mapa ráster, llamada el mapa

de la formación, que cuenta con algunos de los píxeles o regiones que han sido clasificadas. “i.gensigset” extrae las firmas espectrales de una imagen basada en la clasificación de los píxeles en el mapa de formación y pone estas firmas a disposición de “i.smap” GRASS Development Team (2012).

### ***i.smap***

Realiza la clasificación contextual de imágenes utilizando el algoritmo de máximo secuencial de estimación a posteriori (SMAP). Este algoritmo es utilizado para segmentar imágenes multiespectrales utilizando el modelo de clase espectral conocido como distribución de la mezcla de Gauss, también se puede utilizar para segmentar imágenes multiespectrales basado en media simple espectral y parámetros de covarianza GRASS Development Team (2012).

### **3.2.2. Metodología para Cuantificar el cambio en el uso de suelo en el cantón Catamayo con énfasis en los cultivos de caña.**

#### **Detección de cambios en el uso del suelo**

- a) Para la cuantificación de la cobertura del suelo, se trabajó con las imágenes clasificadas anteriormente por cada periodo de tiempo. Con esto se determinó las áreas y se cuantificó cada cobertura de periodo cada uno de los periodos. La información se ordenó en la siguiente matriz (Ver Tabla 4):

Tabla 4 *Matriz de cuantificación de coberturas y uso del suelo.*

Nº	Uso del suelo	Periodo 1		Periodo 2		Periodo n	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%
1	Cultivo de caña						
2	Vegetación Arbustiva						
3	Bosque						
4	Otros Usos	P1	$(P1 / \Sigma P1) * 100$	P2	$(P2 / \Sigma P2) * 100$	Pn	$(Pn / \Sigma Pn) * 100$
5	Nubes						
6	Otros Cultivos						
	Total	$\Sigma P1$		$\Sigma P2$		$\Sigma Pn$	

Fuente: Veliz F. 2015. Análisis multi-temporal del cambio de uso del suelo en el cantón Zapotillo, provincia de Loja.



## Validación de resultados

- a) En esta fase de verificación se la pudo realizar a través de puntos de control tomados en campo e imágenes satelitales de alta resolución del sector. Los puntos recolectados se dispondrán en la siguiente matriz (Ver Tabla 5):

Tabla 5 *Matriz de recolección de puntos de control en campo.*

Nº	Id	Uso de suelo	Coordenadas	
			X	Y
1	1			
2	2			
3	3			
n	n			

Fuente: Elaboración Propia

- b) La calidad final de los resultados de la clasificación de las imágenes, fue evaluada por el procedimiento de matriz de confusión (Tabla 6) (Chuvienco, 2008), para lo cual se tomó 100 puntos aleatoriamente generados con el uso de una de las herramientas de Qgis e incluyendo dentro de los puntos los tomados en campo, repartidos en cada una de las clases, por cada imagen clasificada, el proceso de asignación de puntos a cada una de las clases se lo realizó de manera manual, y, los valores obtenidos se los comparó con los resultados de cada clasificación.
- c) Mediante la generación de la matriz de confusión se compararon los datos de referencia y reales con los resultados en la clasificación. De igual manera, se determinó la precisión global y el estadístico Kappa para determinar la concordancia y confiabilidad de los resultados de la clasificación supervisada.

Tabla 6 *Matriz de confusión.*

		Referencia						
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase n	Total	Exactitud usuario	Error comisión	
<b>Clase 1</b>	$X_{11}$				$X_{1+}$	$X_{11}/X_{1+}$	$1-X_{11}/1+$	
<b>Clase 2</b>		$X_{22}$			$X_{2+}$	$X_{22}/X_{2+}$	$1-X_{22}/2+$	
<b>Clase 3</b>			$X_{33}$		$X_{3+}$	$X_{33}/X_{3+}$	$1-X_{33}/3+$	
<b>Clase n</b>				$X_{nn}$	$X_{n+}$	$X_{nn}/X_{n+}$	$1-X_{nn}/n+$	
<b>Total</b>	$X_{+1}$	$X_{+2}$	$X_{+3}$	$X_{+n}$	$\Sigma X_{ij}$			
<b>Exactitud productora</b>	$X_{11}/X_{+1}$	$X_{22}/X_{+2}$	$X_{33}/X_{+3}$	$X_{nn}/X_{+n}$				
<b>Error omisión</b>	$1-X_{11}/X_{+1}$	$1-X_{22}/X_{+2}$	$1-X_{33}/X_{+3}$	$1-X_{nn}/X_{+n}$				

Fuente: Chuvieco E. 2008. Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio.

## **4. RESULTADOS**

Producto de la metodología aplicada con el empleo de imágenes satelitales, se obtuvieron cuatro mapas de cobertura de usos del suelo, así como la cuantificación de cada una de ellas correspondientes al cantón Catamayo. A continuación, se presentan los resultados:

### **4.1. MAPAS DE COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO DE LOS AÑOS 1986, 1996, 2006 Y 2018 DEL CANTÓN CATAMAYO UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN Y SIG.**

Se identificaron coberturas de usos del suelo correspondientes al cantón Catamayo durante cuatro periodos de tiempo. Los mapas de cobertura y uso de suelo elaborados corresponden a una escala de impresión 1:230000. En cada uno de estos mapas las coberturas de usos de suelo identificados corresponden cultivos de caña (caña sembrada y caña cultivada), vegetación arbustiva, bosque (Bosque naturales y Comercial), otros usos (Áreas Urbanas y Vías), otros cultivos (Mosaico de Cultivos). En este caso también, debido a la presencia de nubosidad en las imágenes satelitales, se generó una clase correspondiente a nubes. Cabe recalcar que para este tipo de investigaciones el porcentaje con respecto a la presencia de nubosidad debe ser menor al 20% para que no afecte o interfiera con las otras clases y en los resultados de las clasificaciones.

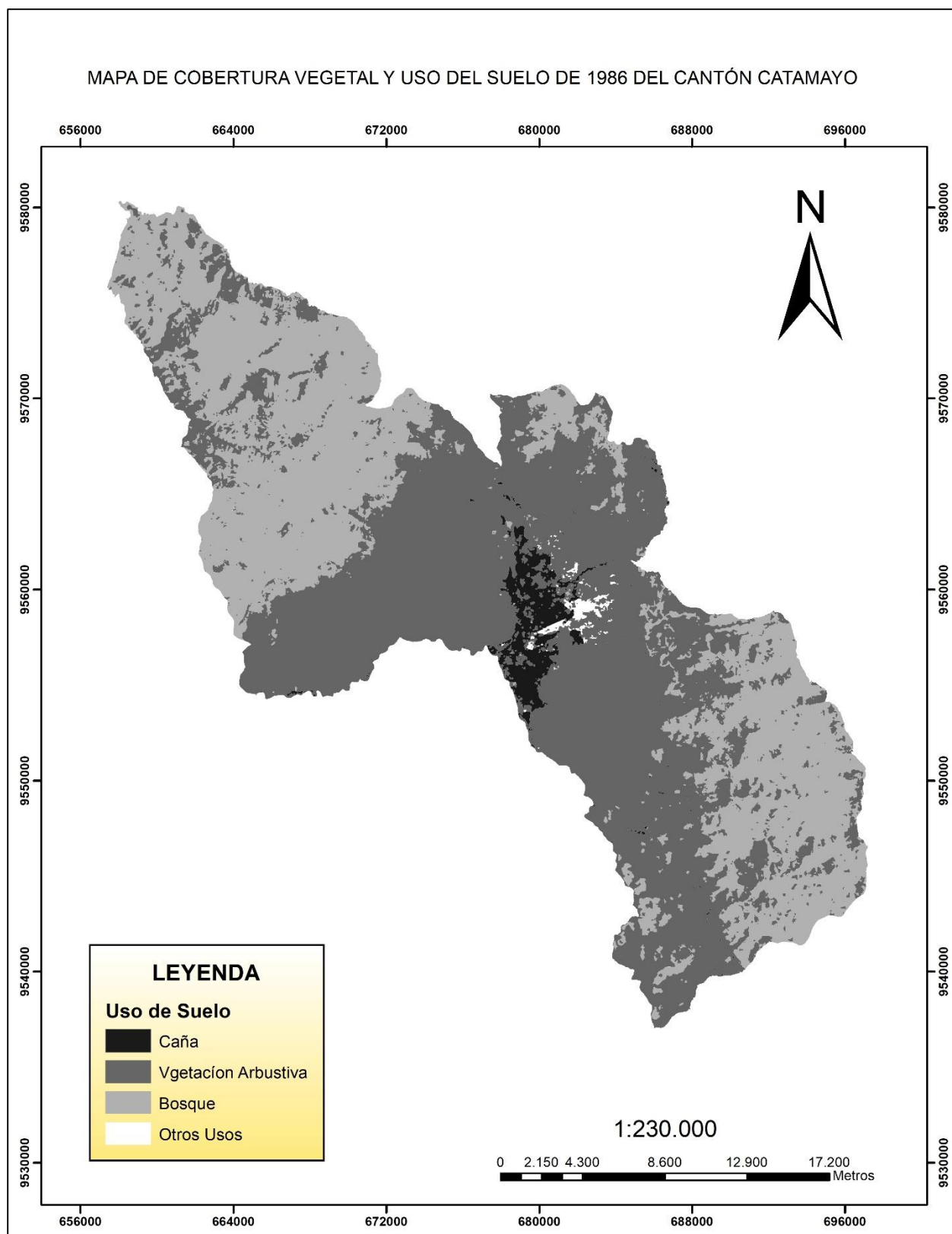
El área total sobre la cual se trabajó en el cantón Catamayo fue una superficie de 65 191.04 ha. A continuación, se presentan los mapas correspondientes a cada uno de los años estudiados con sus respectivas cuantificaciones de cada cobertura y uso de suelo obtenido:

Tabla 7 Datos en hectáreas y Porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 1886.

Código	Cobertura	Área(ha)	1986	%
1	<b>Cultivo de Caña</b>	1888,42		2,9
2	<b>Vegetación Arbustiva</b>	35635,83		54,7
3	<b>Bosque</b>	27381,26		42,0
4	<b>Otros Usos</b>	285,52		0,4
5	<b>Nubes</b>	-		-
6	<b>Otros Cultivos</b>	-		-
	<b>Total</b>	65191,04		100

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 7 muestra que, en el año de 1986 la cobertura del cultivo de caña fue de 1888.42 ha., valor que representa el 2.9 % del área total del cantón Catamayo. La vegetación arbustiva ocupó la mayor extensión de superficie con 35 635.26 ha (54.7%), seguida de bosque con 27 381.26 ha (42.0%) y por último en menor proporción se encuentra otros usos con un 0.4% correspondiente a 285.52 ha, esto se puede también ver gráficamente en la figura 3 o en el anexo I.



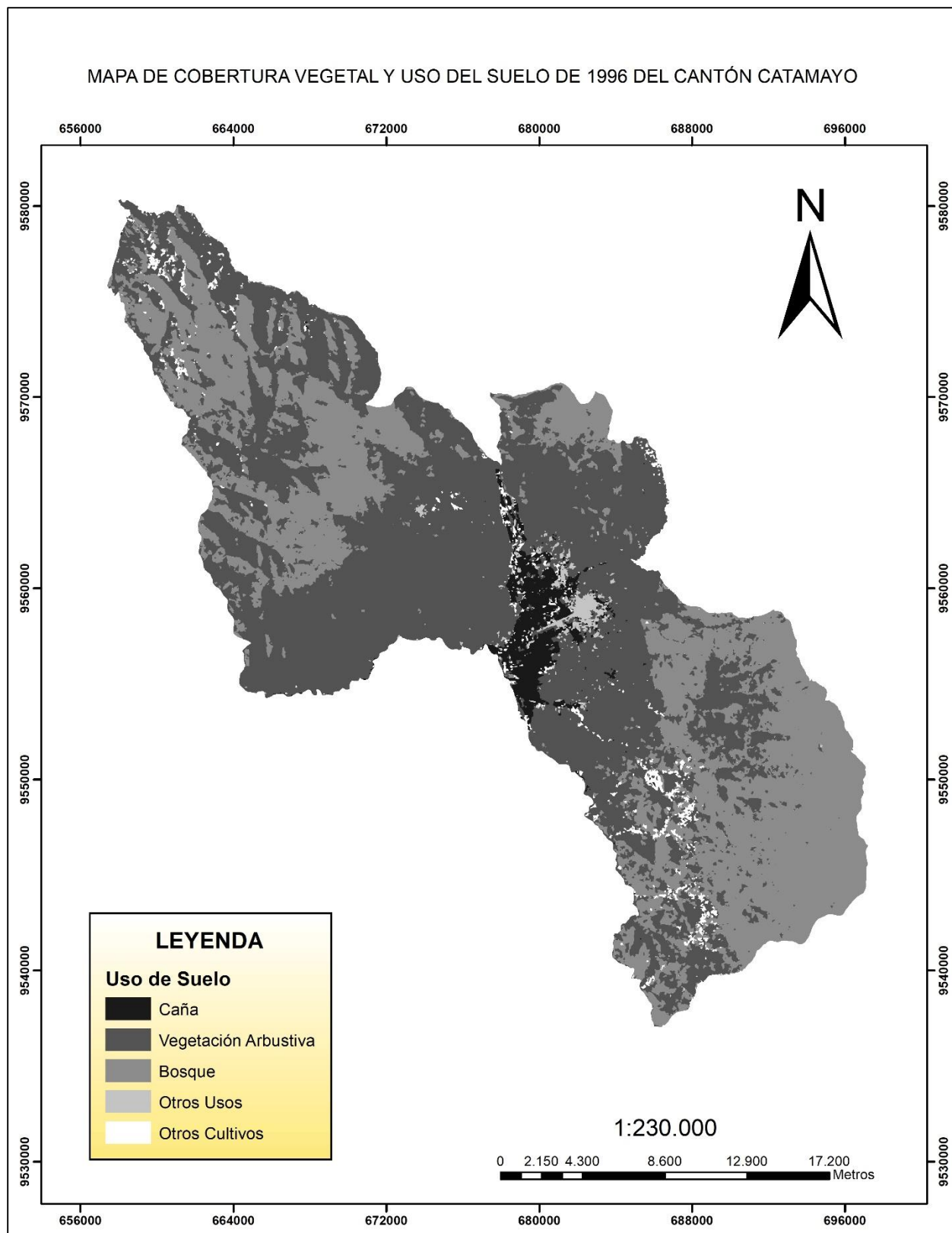
*Figura 3* Mapa de Coberturas de Uso de suelo del cantón Catamayo-Periodo1986.  
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8 *Datos en hectáreas y Porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 1996.*

Código	Cobertura	1996 Área (ha)	%
1	<b>Cultivo de Caña</b>	1981,09	3,0
2	<b>Vegetación Arbustiva</b>	35921,89	55,1
3	<b>Bosque</b>	25564,56	39,2
4	<b>Otros Usos</b>	575,11	0,9
5	<b>Nubes</b>	-	-
6	<b>Otros Cultivos</b>	1148,39	1,8
	<b>Total</b>	65191,04	100

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 8 indica que el año 1996 la cobertura de cultivo de caña ocupó 1981.09 ha., correspondiente al 3,0%, seguido de vegetación arbustiva con 35 921.89 ha (55,1%), bosque con 25 564.56 ha (39.2%), otros cultivos con 1148.39 ha (1.8%) y otros usos con 575.11 % equivalente a 504.54 ha. Así mismo podemos apreciar gráficamente esto en la figura 4 o en el anexo II.



*Figura 4* Mapa de Coberturas de Uso de suelo del cantón Catamayo-Periodo1996.

Fuente: Elaboración Propia

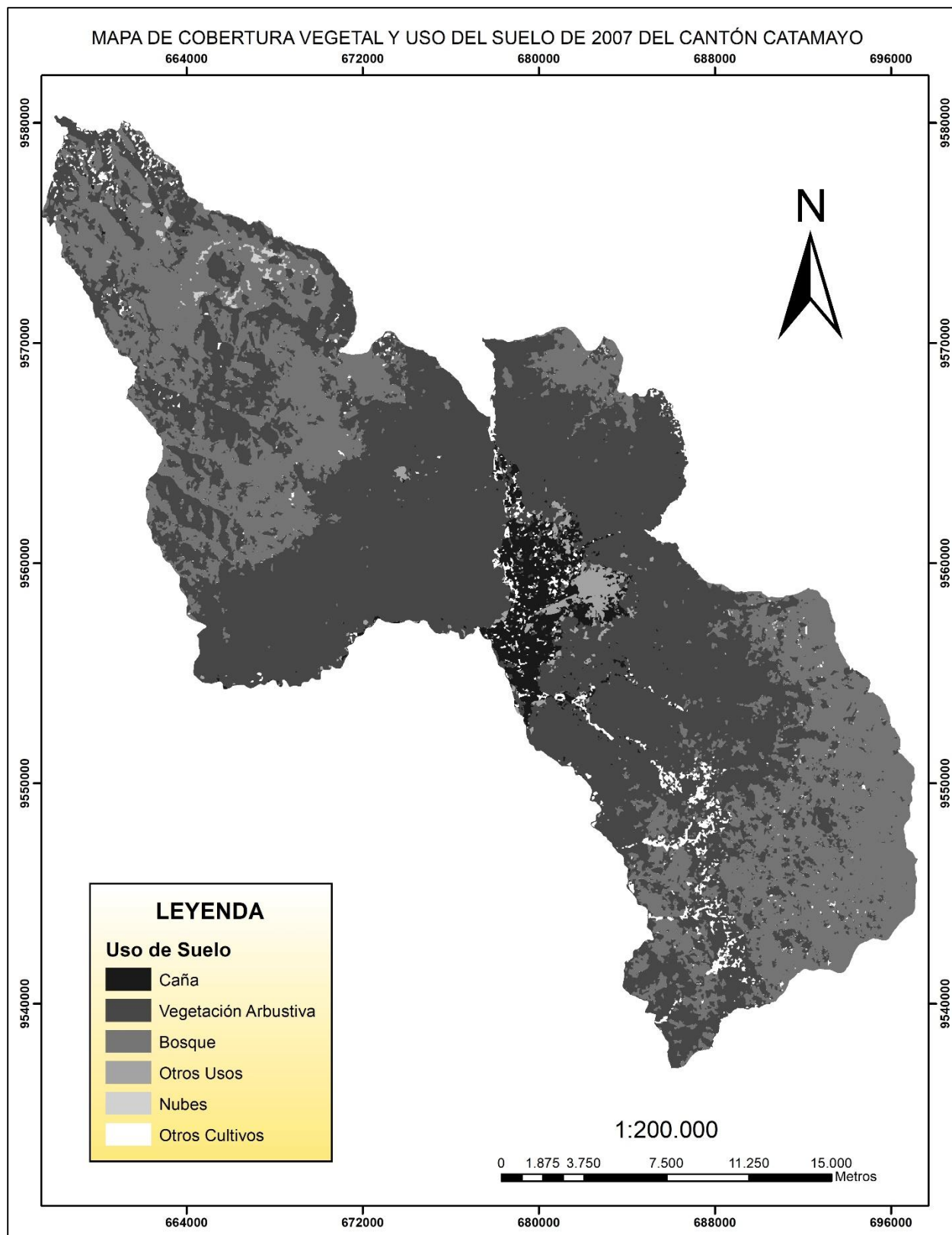
Tabla 9 *Datos en hectáreas y Porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 2007.*

Código	Cobertura	2007	
		Área (ha)	%
1	<b>Cultivo de Caña</b>	2279,36	3,5
2	<b>Vegetación Arbustiva</b>	38331,29	58,8
3	<b>Bosque</b>	22293,17	34,2
4	<b>Otros Usos</b>	798,01	1,2
5	<b>Nubes</b>	220,32	0,3
6	<b>Otros Cultivos</b>	1268,88	1,9
	<b>Total</b>	65191,04	100

**Fuente:** Elaboración Propia

Con respecto al año 2007, se muestra en la tabla 9 que el cultivo de caña ocupa 2279.36 ha, de un 3.5 % del área total del cantón Catamayo; las coberturas con mayor extensión es la vegetación arbustiva con 38 331.29 ha (59.8 %), seguido por bosque con un 22 293.17 ha representado el 34.2% y la cobertura correspondiente a otros cultivos 1268.88 ha (1.9%). Las coberturas con menores porcentajes son otros usos con 798.01 ha (1.2 %) y nubes con 220.32 ha (0.3 %) esta última cobertura aparece ya que en algunas imágenes Landsat tienden a tener gran cantidad de nubosidad en los últimos años. En la figura 5 o el anexo III se aprecia todo esto de una manera más didáctica.





*Figura 5* Mapa de Coberturas de Uso de suelo del cantón Catamayo-Periodo 2007.

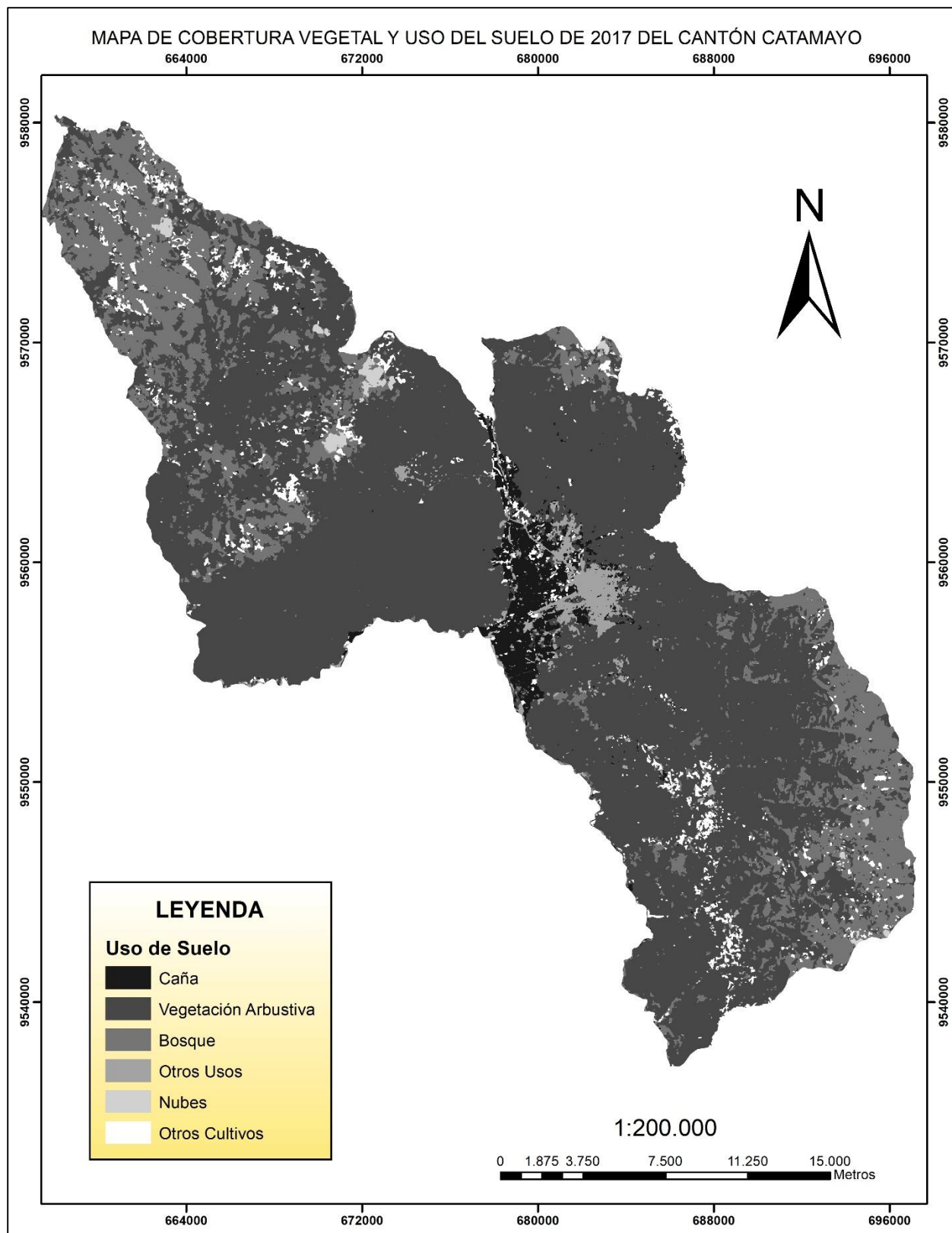
Fuente: Elaboración Propia.

*Tabla 10* Datos en hectáreas y Porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 2017.

Código	Cobertura	2017	
		Área (ha)	%
1	<b>Cultivo de Caña</b>	2082,15	3,2
2	<b>Vegetación Arbustiva</b>	46395,58	71,2
3	<b>Bosque</b>	12790,07	19,6
4	<b>Otros Usos</b>	1408,55	2,2
5	<b>Nubes</b>	355,52	0,5
6	<b>Otros Cultivos</b>	2159,17	3,3
	<b>Total</b>	65191,04	100

Fuente: Elaboración Propia

Para el año del 2017, el cultivo de caña ocupó un área de 2082.15 ha (3.2%), de manera semejante con las demás coberturas se mantiene la misma tendencia, la mayor cobertura es la vegetación arbustiva 46 395.58 ha (71.2%), seguido por bosque con 12 790.07 ha (19.6%) y un 3.3% ocupado por otros cultivos representado 2159.17 ha, con valores menores se determinó la cobertura de otros usos con 1408.55 ha (2.2%) y nubes con 0.5 % siendo 355.52 ha, de la superficie total del cantón Catamayo (Tabla 10).



*Figura 6* Mapa de Coberturas de Uso de suelo del cantón Catamayo-Periodo 2017.

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.2. CUANTIFICACIÓN DEL CAMBIO EN EL USO DE SUELO EN EL CANTÓN CATAMAYO CON ÉNFASIS EN LOS CULTIVOS DE CAÑA.

A continuación, se presentan la cuantificación y validación de cada una de las coberturas vegetales por cada año de estudio, esto con el fin de conocer el grado de concordancia, así como la fiabilidad de los resultados, para lo cual se empleó la matriz de confusión donde se pueden observar la exactitud de usuario y productor de cada una de las coberturas, esto finalmente validado por el índice de kappa.

Tabla 11 *Datos en hectáreas y porcentajes de las coberturas vegetales y usos de suelos de los años de estudio.*

Código	Cobertura	1986		1996		2007		2017	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
1	<b>Cultivo de Caña</b>	1888,42	2,9	1981,09	3,0	2279,36	3,5	2082,15	3,2
2	<b>Vegetación Arbustiva</b>	35635,83	54,7	35921,89	55,1	38331,29	58,8	46395,58	71,2
3	<b>Bosque</b>	27381,26	42,0	25564,56	39,2	22293,17	34,2	12790,07	19,6
4	<b>Otros Usos</b>	285,52	0,4	575,11	0,9	798,01	1,2	1408,55	2,2
5	<b>Nubes</b>	-	-	-	-	220,32	0,3	355,52	0,5
6	<b>Otros Cultivos</b>	-	-	1148,39	1,8	1268,88	1,9	2159,17	3,3
	<b>Total</b>	65191,04	100	65191,04	100	65191,04	100	65191,04	100

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12 *Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1986.*

Uso de Suelo	Caña	Vegetación Arbustiva	Bosque	Otros Usos	Nubes	Otros Cultivos	Total	Exactitud de Usuario	Error de Comisión
Caña	6						6	1	0
Vegetación Arbustiva		44	7				51	0,86	0,14
Bosque		10	31				41	0,76	0,24
Otros Usos				2			2	1	0
Nubes					-		0		
Otros Cultivos						-	0		
<b>Total</b>	6	54	38	2	0	0	<b>100</b>		
Exactitud del Productor	1	0,81	0,82	1					
Error de Omisión	0	0,19	0,18	0					

Fuente. Elaboración propia

En la tabla 12, la clasificación del año de 1986, presenta en el cultivo de caña una exactitud de usuario y productor de 1, esto en las 1888.42 ha calculadas. De forma similar, para las coberturas de vegetación arbustiva de las 35 635.83 ha calculadas, se obtuvo una exactitud de usuario del 0.86 y una exactitud de productor de 0.81. La cobertura de bosque se estimó 27 381.26 ha, esto con una exactitud de usuario de 0.76 y una exactitud de productor del 0.82. La cobertura correspondiente a otros usos tuvo 285.52 ha, con una exactitud de usuario y productor de 1.

Tabla 13 *Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1996.*

Uso de Suelo	Caña	Vegetación Arbustiva	Bosque	Otros Usos	Nubes	Otros Cultivos	Total	Exactitud de Usuario	Error de Comisión
Caña	2						2	1	0
Vegetación Arbustiva		60	3				63	0,95	0,05
Bosque		4	27			1	32	0,84	0,16
Otros Usos				1			1	1	0
Nubes					-		0	-	-
Otros Cultivos			1			1	2	0,5	0,5
Total	2	64	31	1	0	2	100		
Exactitud del Productor	1	0,94	0,87	1	-	0,5			
Error de Omisión	0	0,06	0,13	0	-	0,5			

Fuente. Elaboración propia

En la tabla 13, la clasificación del año de 1996, presenta para el cultivo de caña una exactitud de usuario y productor de 1, esto en las 1981.09 ha calculadas. Para las coberturas de vegetación arbustiva de las 35 921.89 ha calculadas, se obtuvo una exactitud de usuario del 0.95 y una exactitud de productor de 0.94. La cobertura de bosque se estimó 25 564.56 ha esto con una exactitud de usuario de 0.84 y una exactitud de productor del 0.87. La cobertura correspondiente a otros usos tuvo 575.11 ha, con una exactitud de usuario y productor de 1, y la cobertura correspondiente a otros cultivos con una exactitud de usuario y productor de 0.5 de las 1148.39 ha calculadas.

Tabla 14 *Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2007.*

Uso de Suelo	Caña	Vegetación Arbustiva	Bosque	Otros Usos	Nubes	Otros Cultivos	Total	Exactitud de Usuario	Error de Comisión
Caña	3						3	1	0
Vegetación Arbustiva		52	4				56	0,93	0,07
Bosque		5	27		2	1	35	0,77	0,23
Otros Usos				1			1	1	0
Nubes					1		1	1	0
Otros Cultivos						4	4	1	0
<b>Total</b>	3	57	31	1	3	5	<b>100</b>		
Exactitud del Productor	1	0,91	0,87	1	0,33	0,8			
Error de Omisión	0	0,09	0,13	0	0,67	0,2			

Fuente. Elaboración propia

En la clasificación del año del 2007 (Tabla 14), se obtuvo para el cultivo de caña una exactitud de usuario y productor de 1, esto en las 2279.36 ha calculadas. Para las coberturas de vegetación arbustiva de las 38 331.29 ha calculadas, se obtuvo una exactitud de usuario del 0.93 y una exactitud de productor de 0.91. En la cobertura de bosque se estimó 22 293.17 ha esto con una exactitud de usuario de 0.77 y una exactitud de productor del 0.87. La cobertura correspondiente a otros usos tuvo 798.01 ha con una exactitud de usuario y productor de 1. En cuanto a nubes se obtuvo 220.32 ha, con una exactitud de usuario del 1 y una exactitud de productor de 0.33, por último, la cobertura correspondiente a otros cultivos con una exactitud de usuario de 1 y del productor de 0.8 de las 1268.88 ha calculadas.

Tabla 15 *Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2017.*

Uso de Suelo	Caña	Vegetación Arbustiva	Bosque	Otros Usos	Nubes	Otros Cultivos	Total	Exactitud de Usuario	Error de Comisión
Caña	5						5	1	0
Vegetación Arbustiva		54	7				61	0,89	0,11
Bosque		1	26				27	0,96	0,04
Otros Usos				2			2	1	0
Nubes					1		1	1	0
Otros Cultivos		1	1			2	4	0,5	0,5
<b>Total</b>	5	56	34	2	1	2	<b>100</b>		
Exactitud del Productor	1	0,96	0,76	1	1	1			
Error de Omisión	0	0,04	0,24	0	0	0			

Fuente. Elaboración propia

Para el año del 2017 (tabla 15), presenta para el cultivo de caña una exactitud de usuario y productor de 1, esto en las 2081,15 ha calculadas. Para las coberturas de vegetación arbustiva de las 46395.58 ha calculadas, se obtuvo una exactitud de usuario del 0.89 y una exactitud de productor de 0.96. La cobertura de bosque se estimó 12790.07 ha esto con una exactitud de usuario de 0.96 y una exactitud de productor del 0.76. La cobertura correspondiente a otros usos tuvo 1408.55 ha, esto con una exactitud de usuario y productor de 1, para nubes se obtuvo 355.52 ha con una exactitud de usuario y productor de 1 y la cobertura correspondiente a otros cultivos con una exactitud de usuario de 0.5 y productor de 1 de las 2159.17 ha calculadas.

Finalmente, mediante los resultados obtenidos en la matriz de confusión por cada año, dieron como resultados del cálculo del índice estadístico Kappa los siguientes, para los periodos de 1996 y 2017, presentan un porcentaje dentro del rango 0.81 – 1%, con una fuerza de concordancia dentro del rango de muy buena. Los periodos de 1986 y 2007 presenta un porcentaje de dentro del rango de 0.61-0.80% que representa una fuerza de concordancia buena (Tabla 16).

Tabla 16 *Resultados Precisión Global e Índice Kappa.*

Periodo	Precisión global	Índice Kappa	Fuerza de concordancia
1986	0.83	0.70	Bueno
1996	0.91	0.82	Muy Bueno
2007	0.88	0.79	Bueno
2017	0.90	0.82	Muy Bueno

Fuente. Elaboración propia

## 5. DISCUSIONES

Estudios realizados indican que el cantón Catamayo se caracteriza por ser el principal productor de caña de azúcar abarcando el 95% de la producción de la provincia de Loja, destinando hasta 2300 ha, de superficie terrestre a este tipo de cultivos (Torres, 2016). De la misma manera Peña (2018), señala en su estudio realizado entre los años de 1996 al 2015, que los cultivos agrícolas ocupan un 4.2% de la superficie total del cantón, con una extensión de 2736.4 ha, teniendo a la caña como el principal cultivo. Estos estudios concuerdan con los valores obtenidos en la presente investigación, donde del año de 1986 al 2017, periodo analizado en este estudio, se obtuvo un incremento del cultivo de caña del 10.25%, con una superficie de 2082.15 ha, teniendo su mayor incremento en el año del 2007 con un 20.7%, con respecto al año de 1986, alcanzando 2279.09 ha. Este hecho se produjo principalmente por proyectos llevados a cabo por el MAGAP, el Gobierno Autónomo Descentralizado de Catamayo y el Ingenio Monterrey en el año de 2007, los cuales buscaban una mayor producción, mejorar la calidad de vida de los cañicultores, así como elevar el nivel de producción de azúcar por parte del Ingenio Monterrey, facilitando los subsidios a este sector, apertura de líneas de crédito, canales de riego e inclusive conservación y potencialización de los suelos destinados al cultivo de la caña de azúcar (Torres, 2016). Por otra parte, se produjo una disminución en la superficie ocupada por el cultivo de caña en el año del 2017, debido a que el Ingenio Monterrey principal productor de caña del cantón comenzó a ocupar otros espacios para sus cultivos en distintos lugares de la provincia de Loja como Zapotillo y Amaluza, por mencionar algunos, así como el hecho de que se destinaron espacios donde anteriormente se producía caña a la construcción de infraestructura urbana.



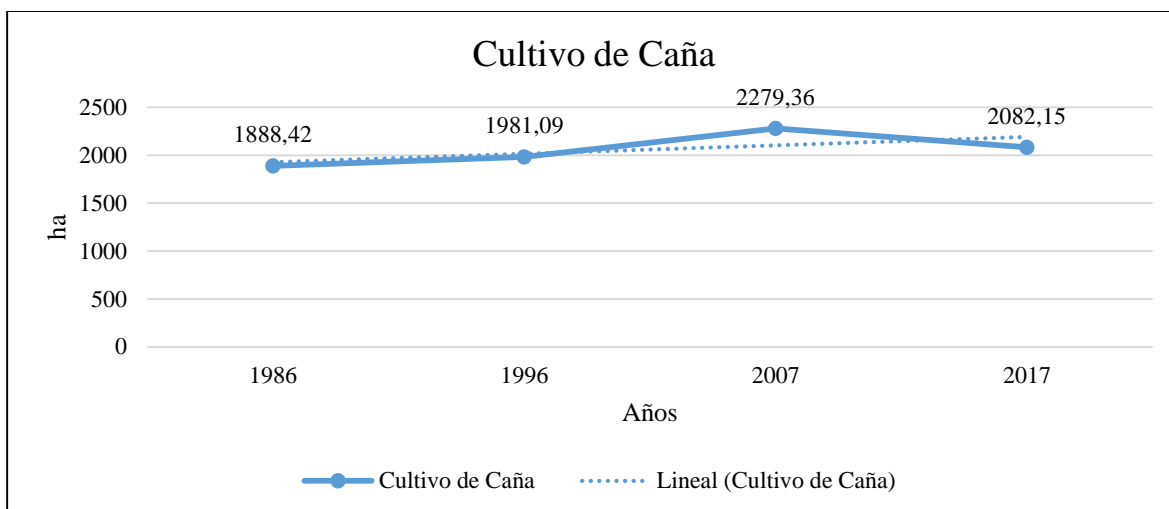
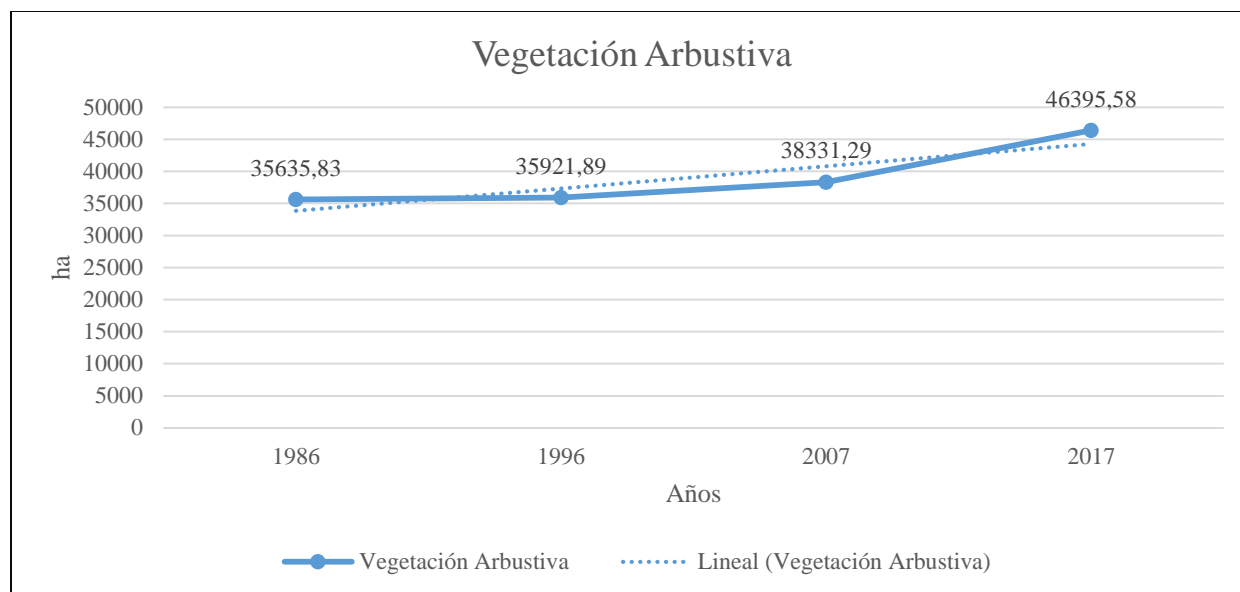


Figura 7. Tendencia de Crecimiento del cultivo de caña. Fuente: Elaboración propia.)

El estudio realizado por Cueva y Chalán (2010), manifiesta que, en la vegetación arbustiva, predomina la flora menor a 2m, la cual se desarrolla de forma natural y espontánea en zonas con características de poca precipitación, sean estos sitios bajos o altos, de igual forma acota que este tipo de vegetación ocupa una superficie mayor al 60% del cantón Catamayo. Así mismo, Ortiz (2012), menciona que la vegetación arbustiva, gracias a las condiciones climáticas y geográficas se extiende por el 80% del cantón, corroborando los valores obtenidos en la investigación, donde la vegetación arbustiva al año del 2017 ocupa una superficie de 46 395.58 ha, representando el 71.2% de la superficie total del cantón. Este tipo de vegetación, se ha beneficiado gracias a las condiciones biofísicas del cantón, que al encontrarse ubicada en un valle, la mayoría de las lluvias se quedan en las parte alta de la cuenca del río Catamayo, mientras que en la parte baja los niveles de precipitación anuales promedio son inferiores, con medias anuales de 383 mm, siendo ligeramente superior a los niveles registrados en Zapotillo (368 mm) (Richter, 2005).



*Figura 8.* Tendencia de Crecimiento de la Vegetación Arbustiva.  
Fuente: Elaboración propia.

En lo que se refiere a la cobertura de otros cultivos, Peña (2018) menciona que en el 2010 se destinaron tierras al cultivo en huertas, caracterizadas por estar compuestas de policultivos de ciclo corto (maíz blanco, frejol, arveja, papa) y cultivos perennes, así mismo afirma que, cuatro años más tarde se dieron huertos de cultivos de árboles frutales, banano, limón, yuca, caña, tomate y otras especies de ciclo corto en una extensión de 1423.82 ha. En esta investigación la clase otros cultivos, tuvo en el año del 2017 una superficie de 2159,17 ha, representado un 3,3 % de la superficie total del cantón Catamayo (Figura 9), esto por la intensificación de producción en años posteriores, de diversos productos agrícolas en las distintas parroquias del cantón. Esto se asemeja a lo mencionado por Ortiz (2012), quien afirma que en el cantón Catamayo, se destinan al área agrícola el 2.9% de la superficie total, sin contar con el porcentaje del cultivo de caña el cual es de un 4.19%. Es importante mencionar que no se tiene datos de otros cultivos en el año de 1986 debido a que las características de la imagen no permiten la identificación de la respuesta espectral de este uso de suelo y además no se cuenta con información de campo de este periodo.

En la cobertura de otros usos se consideró la parte de infraestructura urbana y rural, canales de riego y superficies de uso antrópico, donde Vega (2016) menciona que la superficie destinada a este tipo de cobertura es de 712.7 ha, esto sin tomar en cuenta las vías ni caminos vecinales, al no considerarlos en su investigación. Peña (2018), señala que entre los años de 1996 al 2016 la apertura de vías y caminos vecinales ha ejercido presión sobre el ecosistema del cantón Catamayo,

aumentando su infraestructura de 209.63 ha, a 651.01 ha, solo dentro de la parroquia urbana de Catamayo; sin considerar las demás parroquias; a diferencia de los estudios antes mencionados, la cobertura de otros usos entre los años de 1986 al 2017, tuvo un crecimiento de 285.52 ha, a 1408.55 ha (Figura 10), con un incremento superior al 390%, representando el 2.2% de la superficie total del cantón Catamayo; lo cual se relaciona con lo mencionado anteriormente, en referencia a la pérdida de espacios para la producción de caña en el periodo del 2017, destinando mayor superficie a la parte urbana.

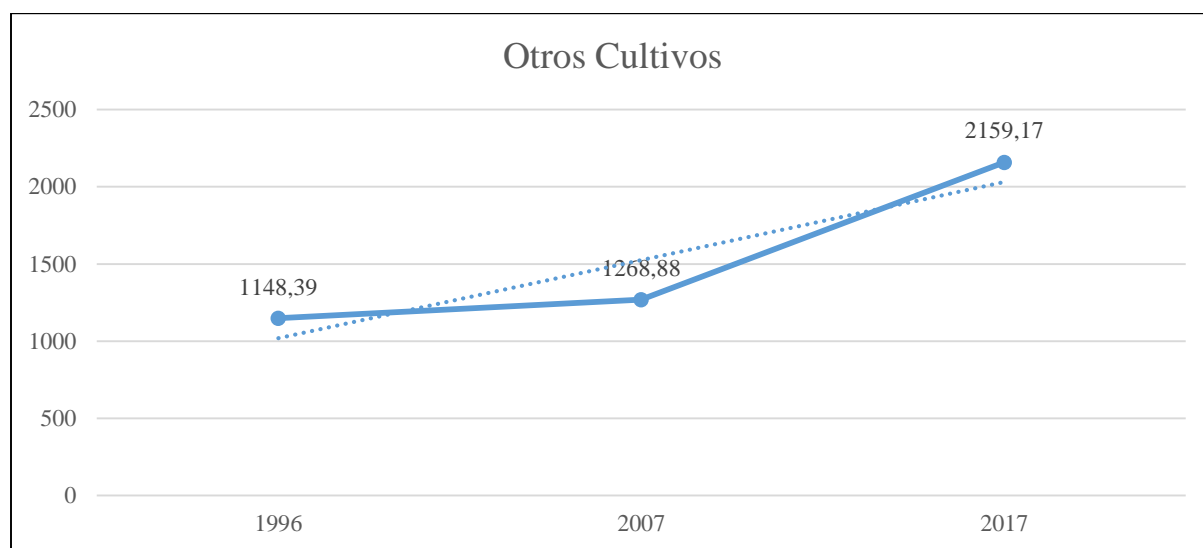


Figura 9. Tendencia de Crecimiento de Otros Cultivos.  
Fuente: Elaboración propia.

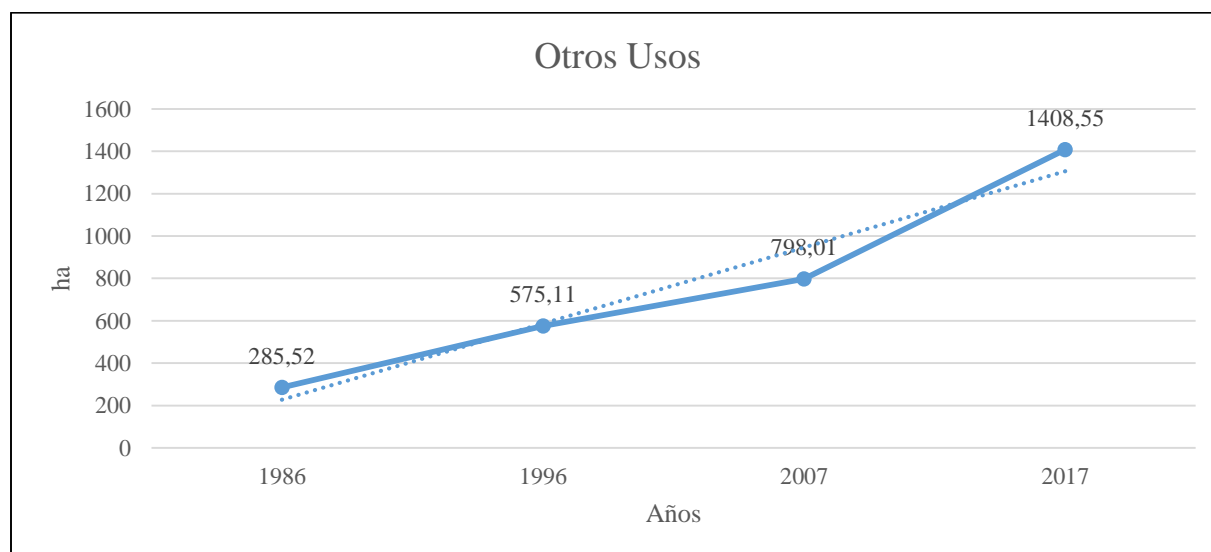


Figura 10. Tendencia de Crecimiento de Otros Usos.  
Fuente: Elaboración propia.

Todos estos incrementos antes mencionados, se ven reflejados en la disminución de la cobertura vegetal correspondiente a bosque (Figura 11). Peña (2018), cita que según un estudio realizado por el MAE en el 2015, la provincia de Loja tiene una tasa anual de deforestación de 1815 ha/año, así mismo menciona que en el cantón Catamayo en el año del 2016, la superficie ocupada por bosque es de 14 655.69 ha; con una tasa de deforestación anual de 158.60 ha/año; mientras que en esta investigación al año del 2017 ocupa un 19.6% (12 790.07 ha) de la superficie total del cantón. Esta disminución de bosque puede estar relacionada con el aumento gradual de la clase otros usos (Área urbana, vías y canales de riego) y Otros cultivos ya que, al existir una mayor población, crece la demanda de productos alimenticios, así como la creación de distintos espacios para realizar actividades económicas de diversas índoles.

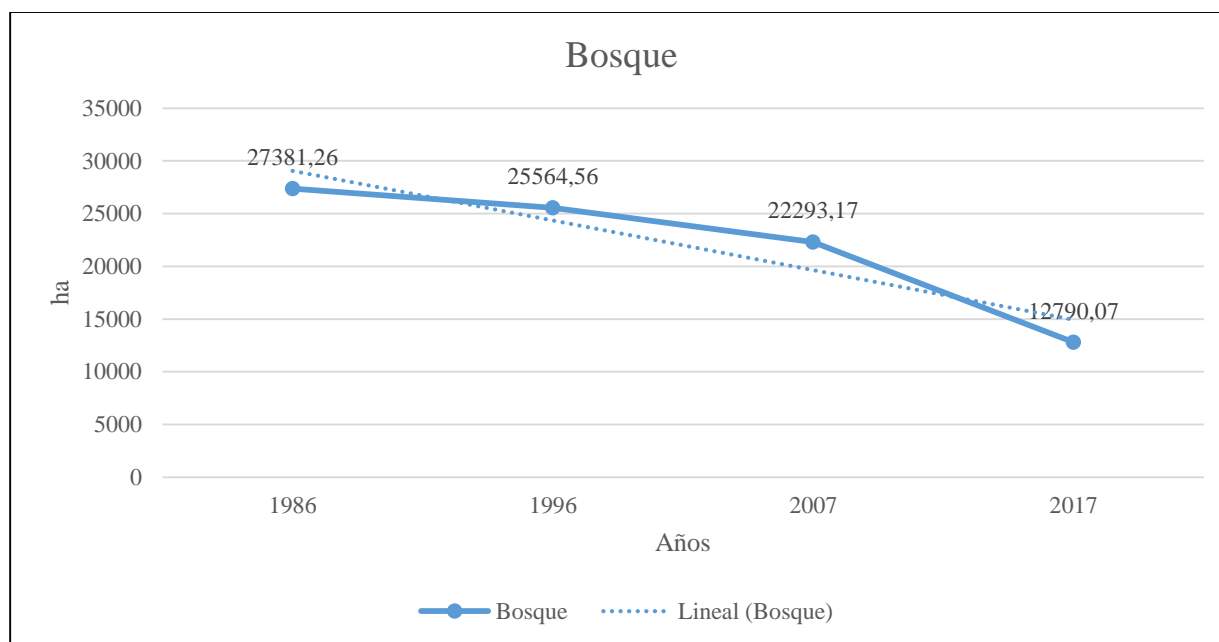


Figura 11. Tendencia de Decrecimiento del Bosque.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12 se puede visualizar mediante un diagrama de barras, cual ha sido la dinámica de las coberturas en estudio, donde se puede visualizar de mejor manera como ha sido el crecimiento de la superficie de la vegetación arbustiva, otros usos y otros cultivos, de la misma manera se puede observar el declive de la cobertura correspondiente a bosque para cada uno de los años de estudio.

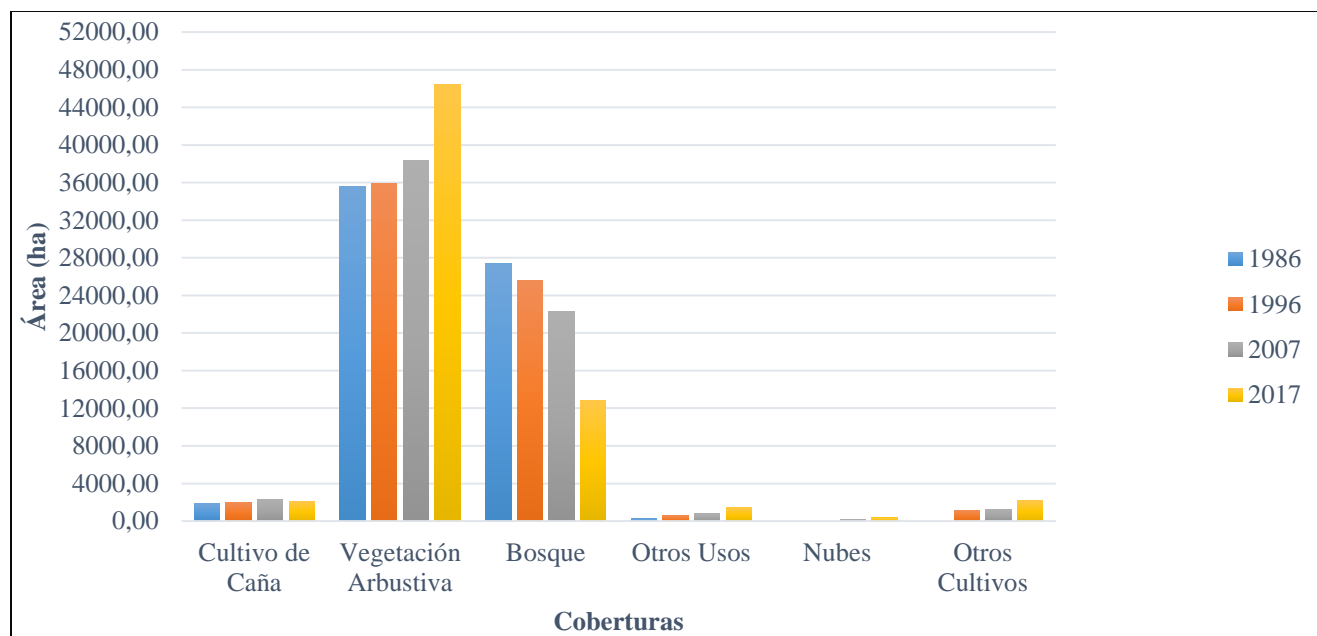


Figura 12. Dinámica en las coberturas de uso de suelo del cantón Catamayo.

Fuente. Elaboración propia

Y para una mejor visualización (Figura 13), del cultivo de caña que es la cobertura de uso de suelo de interés en el estudio se generó un diagrama de barras donde se observa la dinámica para cada uno de los años, su ascenso y descenso desde el año de 1986 al 2017.

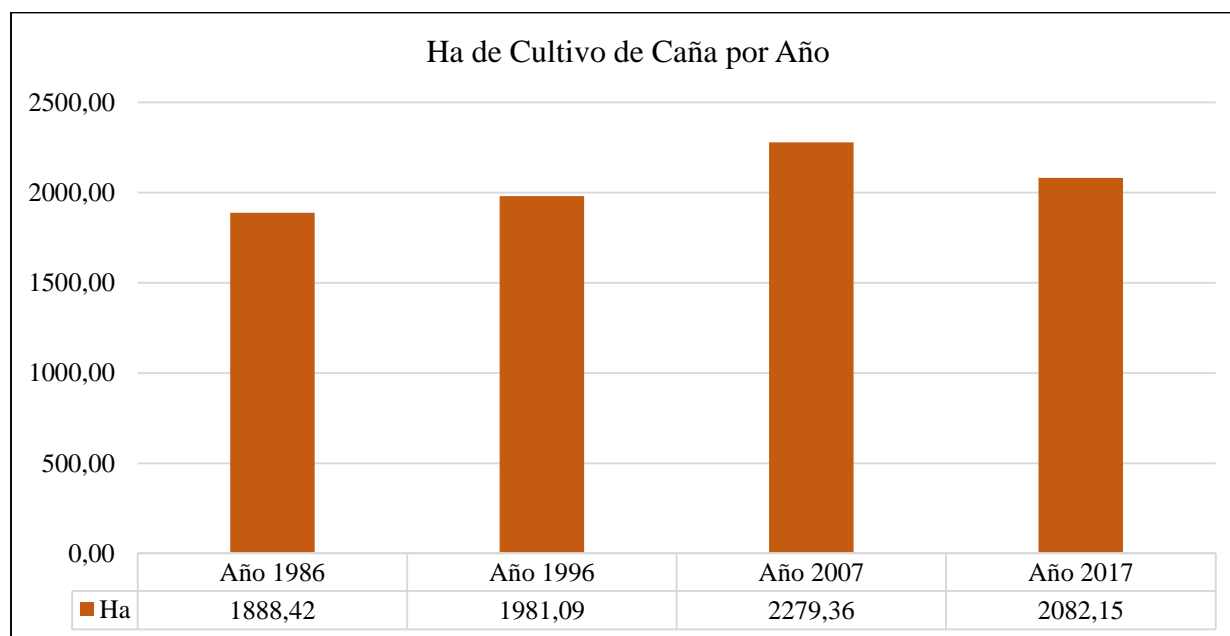


Figura 13. Dinámica del Cultivo de Caña en el cantón Catamayo-Periodo 1986 al 2017.

Fuente. Elaboración propia

En cuanto a lo que se refiere al grado de fiabilidad de las clasificaciones mediante el uso del índice kappa (Tabla 16), se tomó en cuenta lo mencionado por Chuvieco, (2008) que entre el valor se encuentre más cercano a 1 mayor relación con la realidad tendrá. Con lo que respecta al año de 1986, se obtuvo una fuerza de concordancia del 0.72 %, este valor se encuentra dentro del rango de bueno y es menor en cuanto a los otros 3 años de estudio, esto debido a que la calidad de la imagen satelital no es muy buena, además de no se contaba con información de campo correspondiente a este periodo.

En el año del 2007 se obtuvo un coeficiente de concordancia del 0.79 dentro del rango de bueno, pero al estar cerca del 0.80%, tiene una fiabilidad de clasificación cercana a la realidad. Las clasificaciones correspondientes a los años de 1996 y 2018, dieron una fiabilidad del 0.82 encontrándose dentro del rango de muy bueno, que nos permite tener una mayor confiabilidad de los resultados y que se ha discriminado correctamente cada categoría. El porcentaje de fiabilidad tanto de productor como de usuario varía en función del año y la clase, pero en general se puede decir que esta fiabilidad se encuentra sobre el 70% llegando a alcanzar en algunos casos el 100% de confiabilidad.

La cubierta de interés que corresponde al cultivo de caña presenta una confiabilidad del 100% dentro de todas las clasificaciones realizadas, tanto de productor como de usuario, entendiéndose que el algoritmo aplicado y la clasificación son satisfactorias para este tipo de estudio.

## 6. CONCLUSIONES

- Las clasificaciones realizadas entre los años de 1986 al 2017 muestran una confiabilidad entre rangos de bueno (0.60-0.80) y muy bueno (0.80–1.00) del índice estadístico kappa, demostrando que, a partir de la combinación de técnicas de Teledetección, SIG y un análisis estadístico simple se puede obtener resultados efectivos en estudios de cambios de usos del suelo, ya que no sólo permite obtener imágenes categorizadas de las coberturas, sino que también permite cuantificar los cambios y observar su dinámica a diferentes niveles de detalle.
- El Cantón Catamayo, abarca una superficie de 65 191.04 ha; que para el año del 2017 se encuentran distribuidas el 3.2% por cultivos de caña, 71.2% por vegetación arbustiva, 19.6% por bosque, 2.2% por otros usos y 3.3% otros cultivos.
- A lo largo de más de 30 años que comprende el estudio, el cultivo de caña de azúcar ha tenido altos y bajos, en cuanto a superficie ocupada se refiere, teniendo los cambios más significativos en el 2007 con una ganancia de superficie del 20.7% y un 10.25% en el 2017, con respecto a las 1888.42 ha del año de 1986.
- Entre el año 1986 y 2017, la cobertura que mayor disminución de área tuvo fue el bosque en un 53.3% y la cobertura que mayormente ha aumentado fue otros usos en un 390%; estos valores demuestran que durante este periodo las actividades tanto económicas y de producción han sido los principales causantes del cambio en las coberturas.

## 7. RECOMENDACIONES

Para dar por culminada la presente investigación, se recomienda lo siguiente:

- Las entidades gubernamentales competentes con ayuda de las comunidades, deberían establecer áreas estratégicas dentro del cantón, para los procesos de producción económica, como de conservación y desarrollo de potencial turístico.
- Crear Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de las parroquias, tomando en cuenta los resultados obtenidos en diferentes proyectos de investigación realizados en el cantón, para evitar problemas de expansión de monocultivos y expansión descontrolada de las zonas urbanas.
- Difundir los resultados de la investigación en el cantón, para que la comunidad conozca y se informe sobre los cambios en el uso de suelo y pueda dar un mejor manejo a sus tierras.
- Extender la investigación a otros cantones de la provincia de Loja, para obtener un visión más real de cómo han avanzado los cultivos de caña dentro del cantón y cuál ha sido su repercusión.



## 8. BIBLIOGRAFIA

- Alvera, N. (2018). Estudio Multitemporal de Cambio de Uso del Suelo, en la Microcuenca del Río Escudillas. Maestría en Gestión Sustentable de los Recursos Naturale. Universidad Técnica del Norte Instituto de Postgrado.
- Bernabe V., García L., Gardezi, A., Riesco J.A, Giménez C., García F. (2019). La aplicación de la Teledetección en los cambios de la cobertura vegetal. Aplicación al tramo medio del río Jarama (Guadalajara). Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales, 2(41).
- Camacho R., Camacho, J. M., Balderas, Á., Sánchez M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. *Madera y Bosques*, 23(3), 39.
- Chuvieco, E. (2008). Teledeteccion ambiental. La observacion de la tierra desde el espacio (3rd ed.). Barcelona, España.
- CICAE. (2007). Informativa. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador. El Triunfo, Ecuador. 70 p.
- Clavijo M., y Castillo, G. (2010). Estudio histórico y geográfico del Valle de Catamayo. Facultad de Filosofía letras y ciencias de la Educación. Universidad de Cuenca.
- Condori J., Loza G., Mamani F., y Solíz H. (2018). *Journal of the Selva Andina Research Society*. In *Journal of the Selva Andina Research Society* (Vol. 9). Universidad Católica Boliviana San Pablo.

Delisles, P., y Quan, A. L. (2013). Uso de las imágenes de satélites y los SIG en el campo de la Ingeniería Agrícola Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 22, núm. 4, octubre-diciembre, 2013, pp. 75-80 Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez La Habana, Cuba.

FAO. (2015). Alianza Mundial Por El Suelo. Resumen Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, Roma, Italia

Hidalgo, M. (2017). Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. En Sistemas de Información Geográfica y Teledetección (págs. 101-118). Murcia: Universidad de Murcia. Obtenido de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). Plan de fortalecimiento del sistema estadístico agropecuario. 216.

Landsat Science. (18 de 03 de 2019). About Landsat Then and Now. Obtenido de About Landsat Then and Now: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>

López, M. (2015). Análisis Multitemporal Del Cambio De La Cobertura Vegetal. Universidad Central Del Ecuador

NASA. (19 de 03 de 2019). National Aeronautics and Space Administration- NASA. Obtenido de Landsat Overview: [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/landsat/overview/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/overview/index.html)

Olaya, V. (2014). Sistemas de Información Geográfica. Girona.

- Ortiz, C. (2012). Elaboracion y Análisis del Estado de la Provincia de Loja - Ecuador. Universidad Internacional de Andalucía
- Peña, E. (2018). Análisis Multitemporal para la Detección de Cambios de Uso del Suelo, en el Cantón Catamayo, Provincia de Loja. Universidad Nacional De Loja Considerando : 1–38.
- Peréz, C., y Muñoz, L. (2008). Teledetección: nociones y aplicaciones. In Journal of Chemical Information and Modeling (Vol. 53).
- Pineda, O. (2011). Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago. 82. Maestra en Geomática. Centro Público de Investigación CONACYT
- Posada, E., Mauricio, H., Daza, R., Carolina, N., y Delgado, E. (2012). Manual de prácticas de percepción remota con el programa ERDAS IMAGINE 2011. 1–102.
- Ramírez, A. (2015). Análisis Multitemporal Mediante Sensores Remotos De Cobertura De La Tierra Para El Periodo De Tiempo 1999 - 2011 En El Municipio De San Jacinto, Bolívar. 20.
- Richter, M. (2005). Climatic heterogeneity and vegetation diversity in southern Ecuador investigated by phytoindication. In Revista Peruana de Biología (Vol. 12).
- Ruiz, V., Savé, R., Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Mirafior Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011. España: Asociación Española de Ecología Terrestre.
- Salazar, D., Cuichán, M., Ballesteros, C., Márquez, J., y Orbe, D. (2017). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. 17. Unidad de Estadísticas Agropecuarias - ESAG.

Semarnat. (4 de 11 de 2010). (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). Obtenido de [:http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/02\\_Vegetacion/2.1\\_Vegetacion/index.shtml](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/02_Vegetacion/2.1_Vegetacion/index.shtml)

Silva, C., Gama, L., Galindo, A., y Olthoff, A. (2011). Clasificación no supervisada de la cobertura de suelo de la región Sierra de Tabasco mediante imágenes LANDSAT ETM+. *Universidad y Ciencia*, 27(1), 33–41.

Soto P. (2016). Estudio de la cadena de valor de la caña de azúcar. Caso Ingenio Monterrey, cantón Catamayo. Universidad Técnica Particular de Loja.

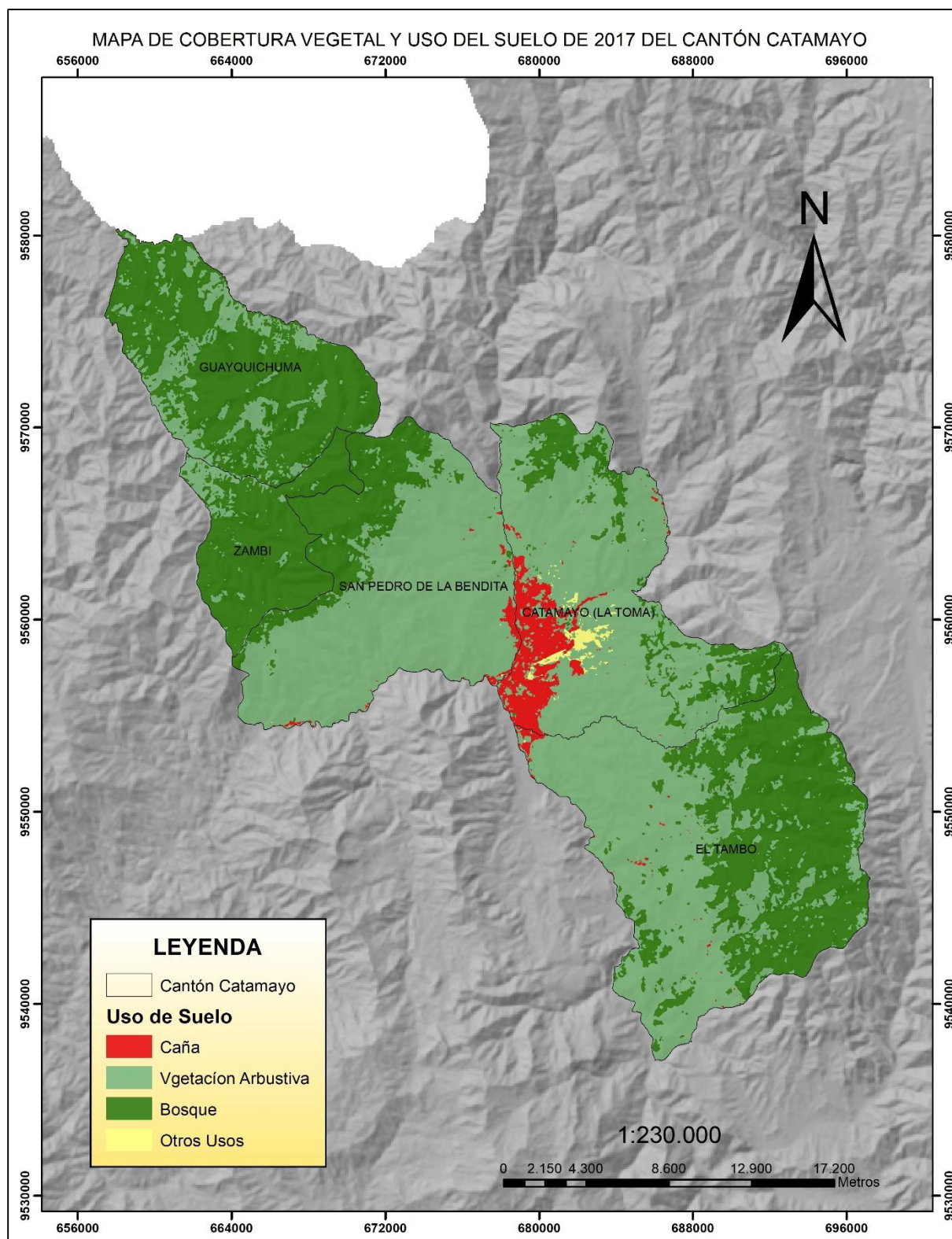
Survey, U. S. (09 de Mayo de 2013). United States Geological Survey. Obtenido de United States Geological Survey.: [http://www.usgs.gov/climate\\_landuse/lcs/default.asp](http://www.usgs.gov/climate_landuse/lcs/default.asp)

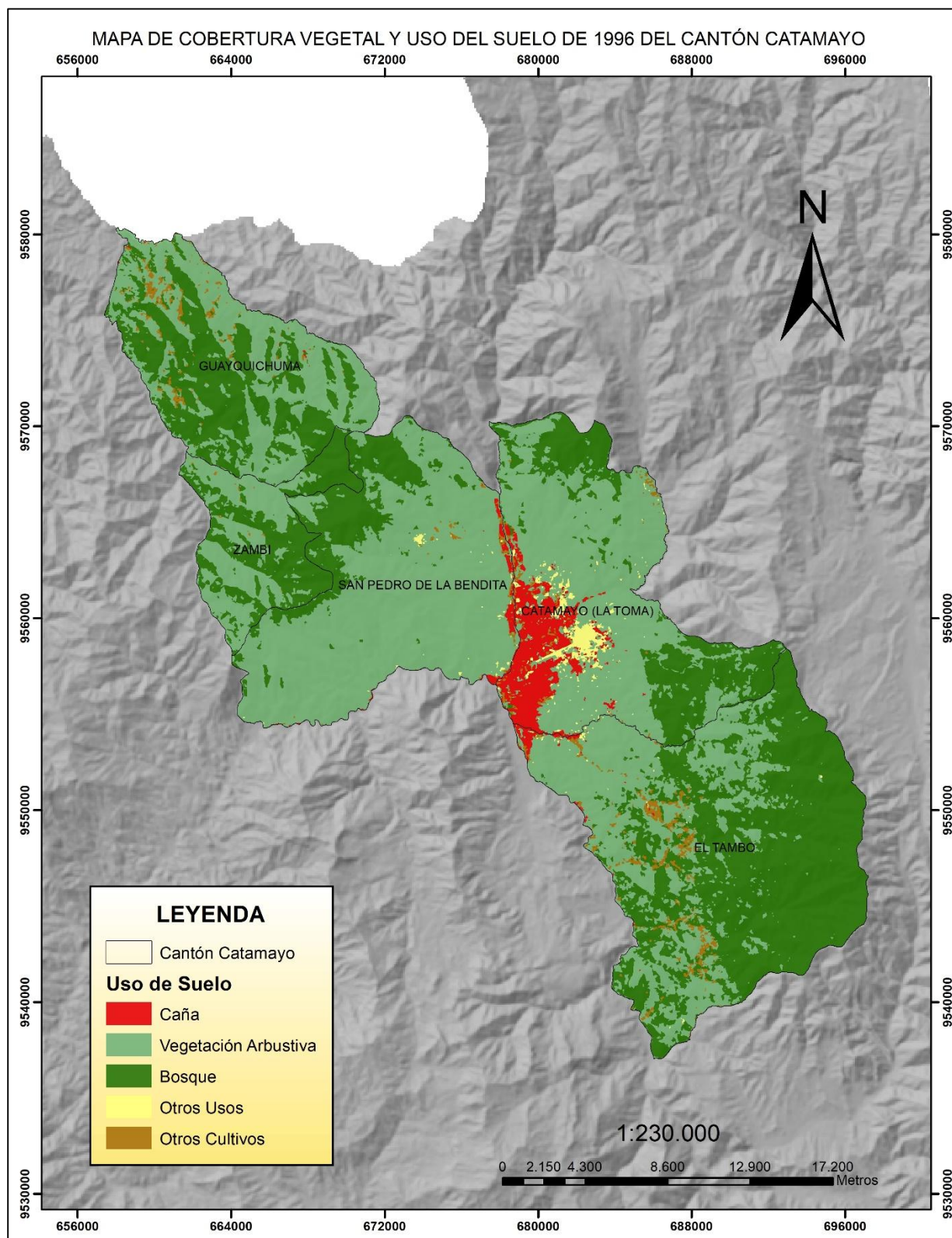
Trucíos, L., y Caciano, R. (2011). Interpretation of Change in Land and Soil Use. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 359–367. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. México

Vega, J. (2016). Determinación de zonas susceptibles a erosión hídrica en los cantones de Catamayo y Gonzanamá de la provincia de Loja, utilizando sistemas de información geográfica y teledetección. 92. Universidad Nacional de Loja.

## 9. ANEXOS

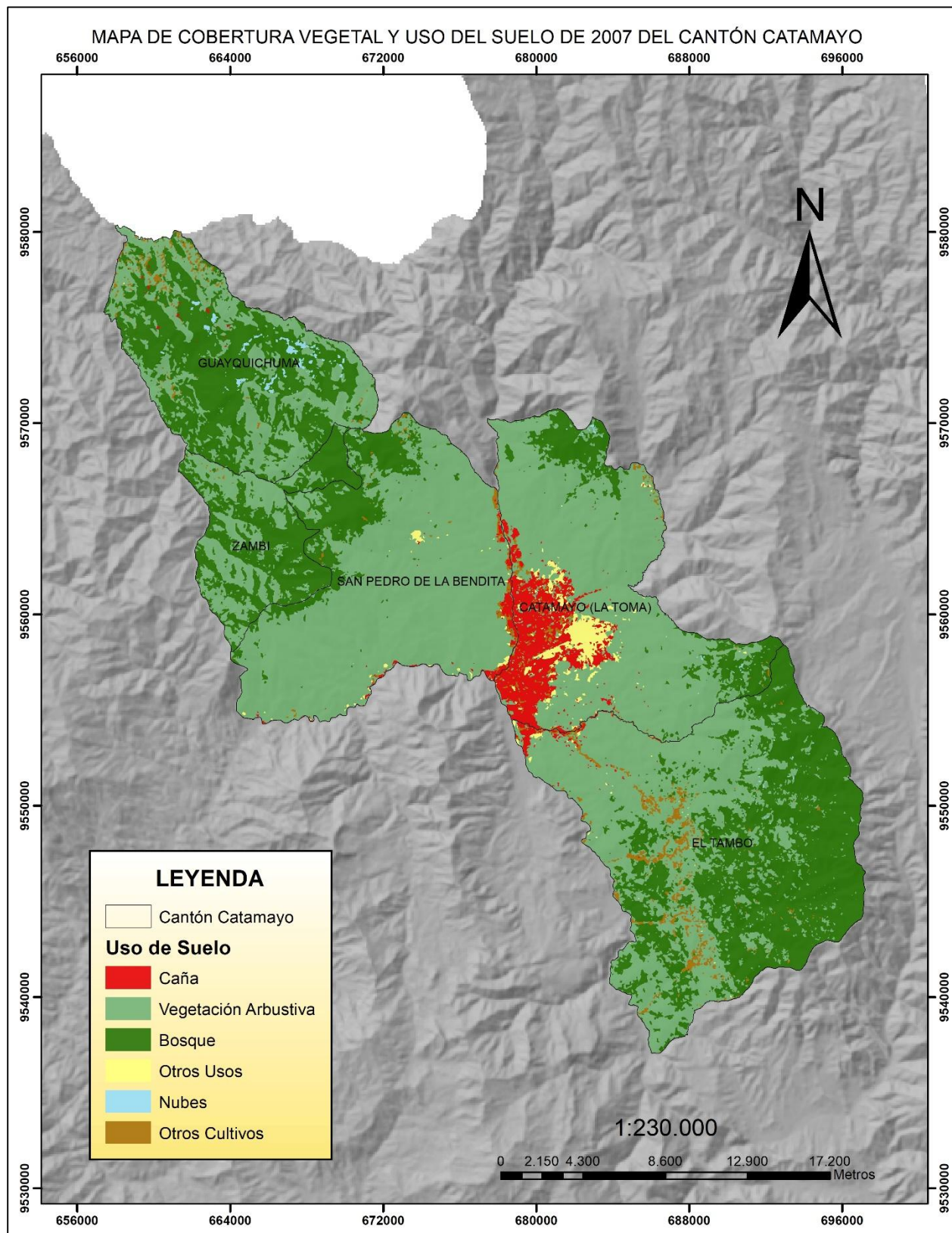
### Anexo I. Mapa de Cobertura Vegetal de 1986.



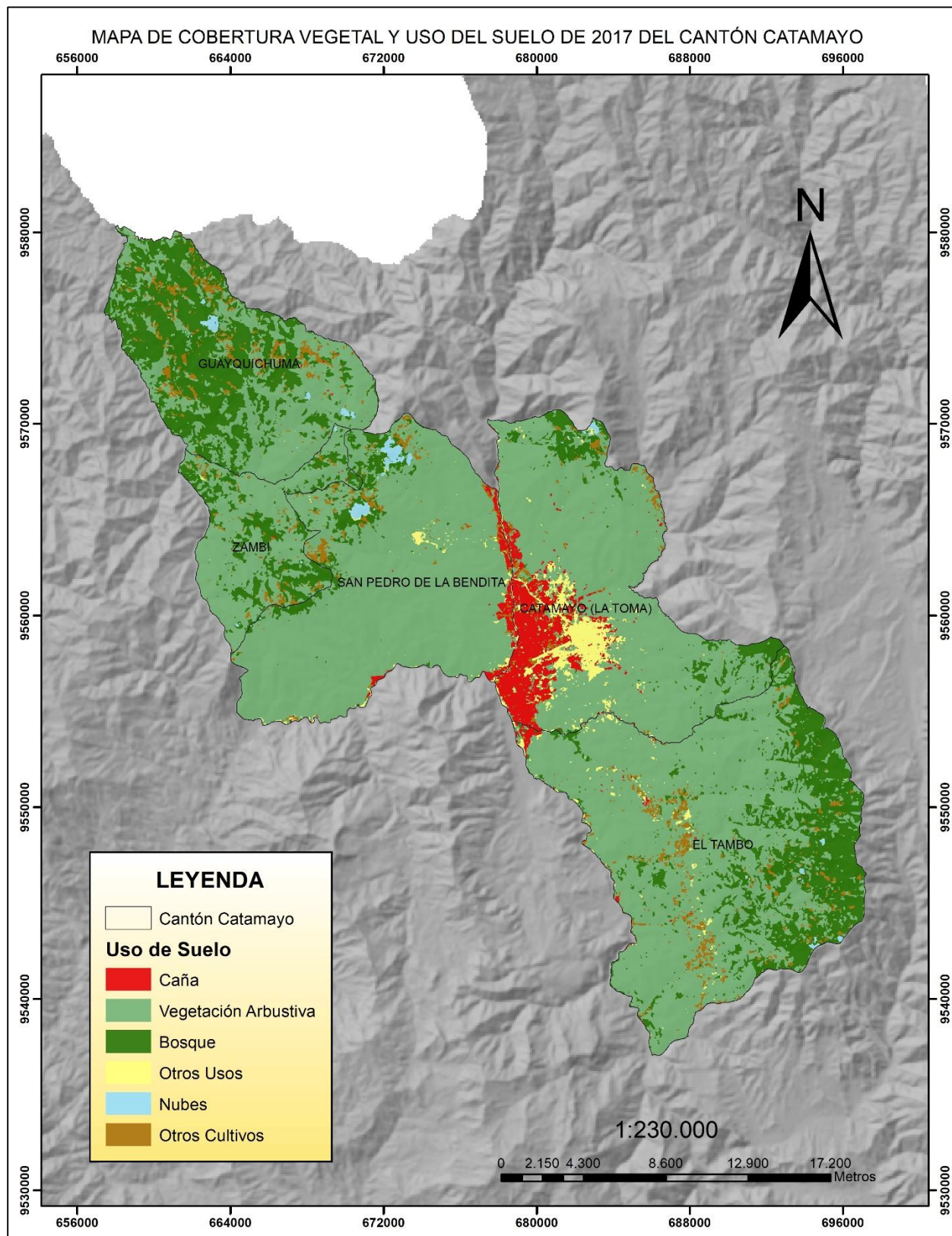
**Anexo II. Mapa de Cobertura Vegetal de 1996.**



### Anexo III. Mapa de Cobertura Vegetal de 2007.



Anexo IV. Mapa de Cobertura Vegetal de 2017.





**Anexo V. Coordenadas de puntos para el año de 1986.**

<b>N°</b>	<b>Uso de suelo</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	Suelo Descubierta	670032,306	9562408,49
2	Bosque	659941,309	9578518,52
3	Bosque	691871,159	9550432,25
4	Suelo Descubierta	688600,914	9539904,83
5	Suelo Descubierta	679806,343	9553361,51
6	Suelo Descubierta	684365,205	9553977,48
7	Suelo Descubierta	680623,045	9562148,33
8	Bosque	665056,609	9566484,59
9	Suelo Descubierta	686335,372	9564454,84
10	Bosque	689094,896	9552745,08
11	Bosque	660159,707	9573884,55
12	Suelo Descubierta	691093,885	9545522,54
13	Suelo Descubierta	685160,041	9559395,91
14	Suelo Descubierta	685168,651	9563061,95
15	Suelo Descubierta	685121,88	9553799,43
16	Bosque	693371,774	9548641,5
17	Suelo Descubierta	675362,499	9557773,96
18	Bosque	665346,791	9562226,78
19	Suelo Descubierta	675884,591	9564308,52
20	Suelo Descubierta	674302,832	9559808,73
21	Suelo Descubierta	665652,483	9557854,59
22	Bosque	666040,682	9571897,37
23	Bosque	693764,713	9542842,56
24	Caña	678337,297	9564922,5
25	Suelo Descubierta	671539,745	9559458,87
26	Bosque	684066,177	9547015,7
27	Suelo Descubierta	694837,188	9551562,68
28	Suelo Descubierta	686406,502	9547840,29
29	Suelo Descubierta	666508,314	9559720,65
30	Bosque	693185,227	9550079,58
31	Bosque	686619,113	9542158,22
32	Suelo Descubierta	664354,071	9555455,56
33	Bosque	689390,352	9550559,41
34	Suelo Descubierta	666116,703	9575109,29
35	Bosque	664149,943	9571678,46
36	Suelo Descubierta	665273,744	9563926,65
37	Suelo Descubierta	695396,925	9545799,54
38	Suelo Descubierta	672847,716	9558746,44

39	Caña	680013,255	9560952,36
40	Suelo Descubierta	667873,98	9568834
41	Suelo Descubierta	684523,816	9540523,21
42	Suelo Descubierta	680376,832	9569471,07
43	Suelo Descubierta	695364,427	9543073,92
44	Suelo Descubierta	686036,513	9564234,59
45	Bosque	681126,099	9569236,39
46	Suelo Descubierta	685976,008	9541331,15
47	Bosque	685638,388	9544971,28
48	Suelo Descubierta	672615,072	9568018,48
49	Bosque	663150,922	9561623,55
50	Bosque	662308,039	9562117,31
51	Bosque	663047,999	9562206
52	Suelo Descubierta	691583,736	9556883,82
53	Bosque	692609,377	9543641,45
54	Suelo Descubierta	674490,871	9568302,64
55	Suelo Descubierta	675726,251	9562935,72
56	Bosque	691167,63	9550936,95
57	Bosque	662757,945	9571179,71
58	Suelo Descubierta	674460,727	9558505,73
59	Bosque	695859,546	9547109,12
60	Suelo Descubierta	668842,027	9563781,74
61	Bosque	686966,785	9558023,24
62	Bosque	694317,725	9548949,71
63	Bosque	660875,07	9574318,28
64	Suelo Descubierta	663349,338	9563601,5
65	Suelo Descubierta	688025,7	9546057,79
66	Bosque	679699,027	9567490,12
67	Suelo Descubierta	688705,26	9543471,14
68	Bosque	665945,206	9560877,01
69	Suelo Descubierta	675577,889	9563557,69
70	Caña	679238,952	9553439,29
71	Bosque	662776,396	9566200,51
72	Bosque	681797,281	9569694,3
73	Suelo Descubierta	692516,581	9554443,02
74	Suelo Descubierta	671407,289	9557576,69
75	Bosque	692797,616	9555699,71
76	Bosque	660321,313	9574186,87
77	Bosque	667127,915	9567119
78	Suelo Descubierta	673776,469	9558621,12
79	Bosque	687281,317	9540634,19

80	Suelo Descubierta	689093,447	9549317,32
81	Caña	678948,012	9556670,65
82	Suelo Descubierta	690494,384	9543287,89
83	Suelo Descubierta	678289,326	9562396,69
84	Suelo Descubierta	686580,313	9549179,41
85	Suelo Descubierta	677276,075	9561594,29
86	Suelo Descubierta	678059,063	9565793,55
87	Bosque	663646,278	9574332,51
88	Suelo Descubierta	686734,257	9553790,64
89	Bosque	691674,894	9543272,31
90	Caña	679508,818	9557270,28
91	Suelo Descubierta	684052,382	9561269,25
92	Bosque	661935,181	9570990
93	Bosque	658951,662	9577773,3
94	Suelo Descubierta	684913,154	9566611,01
95	Suelo Descubierta	682766,934	9567880,69
96	Suelo Descubierta	664863,707	9556392,34
97	Suelo Descubierta	686032,727	9555502,95
98	Otros Usos	682391,674	9559157,59
99	Otros Usos	681158,713	9558310,92
100	Caña	681137,547	9558977,67

#### Anexo VI. Coordenadas de puntos para el año de 1996.

N°	Uso de Suelo	X	Y
1	Suelo Descubierta	667020,936	9567230,83
2	Bosque	667132,275	9570151,84
3	Suelo Descubierta	682956,429	9552828,01
4	Suelo Descubierta	674517,601	9567029,94
5	Suelo Descubierta	662998,192	9563272,33
6	Suelo Descubierta	681361,182	9558291,47
7	Suelo Descubierta	685825,682	9564767,53
8	Bosque	663080,838	9570986,41
9	Suelo Descubierta	664185,065	9564400,07
10	Suelo Descubierta	689743,668	9547106,29
11	Suelo Descubierta	683168,983	9555334,41
12	Bosque	664468,494	9573413,57
13	Suelo Descubierta	666414,07	9557339,66
14	Suelo Descubierta	694262,996	9552904,82
15	Suelo Descubierta	664613,315	9554752,35
16	Suelo Descubierta	663318,493	9567170,01

17	Bosque	688725,983	9547112,46
18	Suelo Descubierta	689854,405	9552415,33
19	Suelo Descubierta	670081,663	9573518,94
20	Bosque	693768,796	9554966,27
21	Suelo Descubierta	692142,534	9548642,34
22	Suelo Descubierta	666279,131	9566817,99
23	Bosque	696651,564	9544404,29
24	Bosque	667648,922	9562012,38
25	Bosque	669391,638	9573032,8
26	Bosque	664050,86	9559897,32
27	Bosque	662686,443	9566951,34
28	Suelo Descubierta	689154,916	9554776,1
29	Suelo Descubierta	665952,45	9575445,81
30	Otros Usos	682950,11	9559053,33
31	Bosque	692893,719	9544913
32	Suelo Descubierta	677508,225	9565933,53
33	Bosque	690635,696	9543644,8
34	Suelo Descubierta	686591,093	9559485,7
35	Suelo Descubierta	691064,233	9549033,63
36	Bosque	688338,328	9549017,94
37	Bosque	670442,406	9567033,5
38	Suelo Descubierta	685643,376	9553888,16
39	Suelo Descubierta	677735,928	9558738,23
40	Bosque	689771,032	9556476,29
41	Bosque	688396,959	9557018,5
42	Caña	680476,967	9560889,88
43	Suelo Descubierta	663477,428	9575805,88
44	Suelo Descubierta	667314,237	9556444,05
45	Bosque	688075,542	9558121,31
46	Bosque	670377,463	9569002,55
47	Bosque	689867,758	9545743,73
48	Suelo Descubierta	689692,105	9547150,45
49	Suelo Descubierta	661265,023	9576589,51
50	Suelo Descubierta	693153,979	9543686,46
51	Suelo Descubierta	691862,334	9551685,02
52	Suelo Descubierta	671105,024	9566495,87
53	Otros Cultivos	683515,426	9552155,52
54	Suelo Descubierta	685525,982	9555587,29
55	Bosque	684671,924	9542094,69
56	Bosque	685990,667	9548460,27
57	Suelo Descubierta	666081,005	9561627,07

58	Suelo Descubierta	669087,339	9572125,45
59	Bosque	660333,816	9574687,34
60	Suelo Descubierta	668643,791	9569744,97
61	Suelo Descubierta	692641,502	9548799,95
62	Suelo Descubierta	668057,256	9557007,83
63	Suelo Descubierta	683471,072	9548978,91
64	Suelo Descubierta	664743,398	9575514,3
65	Bosque	692115,224	9544975,84
66	Suelo Descubierta	683444,151	9555226,16
67	Suelo Descubierta	674908,311	9567948,86
68	Suelo Descubierta	665882,734	9566543,99
69	Bosque	679325,99	9564427,37
70	Bosque	690633,232	9551308,86
71	Bosque	686510,988	9546645,48
72	Bosque	693200,778	9555657,34
73	Suelo Descubierta	664078,631	9566116,72
74	Suelo Descubierta	671775,527	9563821,98
75	Suelo Descubierta	681684,728	9554246,55
76	Suelo Descubierta	684511,476	9553325,25
77	Suelo Descubierta	664690,948	9564861,15
78	Suelo Descubierta	679979,277	9565410,96
79	Otros Cultivos	660613,543	9577044,8
80	Suelo Descubierta	685602,172	9554253,9
81	Suelo Descubierta	672864,446	9564264,69
82	Suelo Descubierta	682973,415	9561393,86
83	Bosque	672524,277	9567134,61
84	Suelo Descubierta	666352,509	9563217,97
85	Bosque	694321,029	9551206,17
86	Suelo Descubierta	672908,797	9569921,13
87	Suelo Descubierta	684908,094	9554986,88
88	Suelo Descubierta	687042,177	9558840,94
89	Suelo Descubierta	664321,651	9569319,86
90	Suelo Descubierta	689191,666	9542379,32
91	Suelo Descubierta	660917,931	9579010,19
92	Bosque	665417,486	9560475,35
93	Suelo Descubierta	661909,746	9574176,24
94	Suelo Descubierta	691213,068	9553121,26
95	Suelo Descubierta	691157,296	9542497,49
96	Suelo Descubierta	686789,388	9559365,63
97	Suelo Descubierta	684941,494	9562790,05
98	Suelo Descubierta	666224,172	9571389,82

99	Bosque	668945,39	9565128,92
100	Caña	679542,647	9559990,94

**Anexo VII. Coordenadas de puntos para el año de 2007.**

N°	Uso de Suelo	X	Y
1	Bosque	668406,261	9570564,68
2	Suelo Descubierta	685370,115	9551503,96
3	Suelo Descubierta	685670,363	9552596,39
4	Suelo Descubierta	685623,939	9550441,47
5	Suelo Descubierta	684485,569	9564665,3
6	Suelo Descubierta	670161,799	9562068,63
7	Suelo Descubierta	674362,288	9564464,83
8	Otros Cultivos	688164,253	9549106,87
9	Suelo Descubierta	684210,919	9553654,37
10	Suelo Descubierta	665248,267	9555201,18
11	Suelo Descubierta	691161,482	9553958,07
12	Suelo Descubierta	685022,839	9565502,43
13	Suelo Descubierta	671209,529	9559883,78
14	Bosque	659138,989	9574814,91
15	Suelo Descubierta	668329,087	9558405,03
16	Bosque	660639,62	9574576,11
17	Bosque	690561,207	9547262,79
18	Suelo Descubierta	665613,532	9566530,31
19	Suelo Descubierta	669020,323	9556581,38
20	Suelo Descubierta	660955,803	9571221,54
21	Suelo Descubierta	670779,4	9561492,45
22	Bosque	663124,506	9573903,73
23	Bosque	694415,544	9547538,34
24	Bosque	682807,08	9566525,44
25	Suelo Descubierta	665564,714	9557213,5
26	Suelo Descubierta	683103,645	9563587,01
27	Suelo Descubierta	677537,253	9558745,22
28	Suelo Descubierta	672010,68	9565180,95
29	Suelo Descubierta	686959,359	9546014,99
30	Suelo Descubierta	667601,914	9567008,47
31	Bosque	670762,065	9566666,49
32	Suelo Descubierta	681978,638	9551083,87
33	Bosque	659290,076	9574023,72
34	Otros Cultivos	686212,677	9540006,07
35	Suelo Descubierta	694234,882	9543448,64

36	Suelo Descubierta	674652,547	9557473,98
37	Suelo Descubierta	665569,737	9566863,66
38	Bosque	667510,115	9563212,79
39	Bosque	689392,325	9548176,44
40	Bosque	661140,495	9569601,79
41	Bosque	671131,697	9571623,68
42	Suelo Descubierta	683283,794	9549798,06
43	Bosque	681413,174	9569769,65
44	Suelo Descubierta	684685,896	9541428,43
45	Otros Cultivos	686361,499	9544022,97
46	Nubes	662078,038	9575957,73
47	Bosque	668246,94	9564026,8
48	Nubes	693729,006	9547352,43
49	Suelo Descubierta	683034,787	9552967,46
50	Suelo Descubierta	685093,305	9556692,62
51	Suelo Descubierta	691546,373	9551077,85
52	Suelo Descubierta	684218,618	9557269,66
53	Bosque	658833,2	9575152,12
54	Bosque	673629,049	9568844,42
55	Caña	679864,053	9555283,27
56	Suelo Descubierta	669833,004	9557105,08
57	Suelo Descubierta	685352,762	9549349,21
58	Suelo Descubierta	693475,318	9550390,99
59	Suelo Descubierta	682233,996	9555306,49
60	Otros Cultivos	688309,107	9548730,96
61	Bosque	660214,882	9571946,69
62	Suelo Descubierta	684477,953	9550912,63
63	Suelo Descubierta	672926,354	9559088,62
64	Suelo Descubierta	668860,701	9560022,42
65	Bosque	667957,643	9566488,66
66	Bosque	658651,694	9577754,02
67	Bosque	693954,973	9553673,9
68	Bosque	689399,24	9548059,83
69	Suelo Descubierta	682284,058	9567483,93
70	Suelo Descubierta	681582,015	9552764,08
71	Bosque	681883,453	9568877,42
72	Suelo Descubierta	671360,814	9571595,53
73	Caña	679180,483	9559723,71
74	Suelo Descubierta	670279,543	9558456,19
75	Suelo Descubierta	680696,794	9553081,8
76	Suelo Descubierta	686473,483	9542753,98

77	Suelo Descubierta	663797,522	9566400,5
78	Suelo Descubierta	681243,317	9555095,55
79	Bosque	695346,974	9549388,48
80	Suelo Descubierta	676947,928	9558491,31
81	Suelo Descubierta	676335,322	9563237
82	Bosque	681475,091	9567640,74
83	Suelo Descubierta	684520,1	9545074,28
84	Suelo Descubierta	682201,13	9563585,66
85	Bosque	696859,523	9546773,56
86	Bosque	669079,736	9561321,2
87	Suelo Descubierta	682235,266	9568171,86
88	Bosque	692126,946	9555630,43
89	Suelo Descubierta	674440,743	9559671,61
90	Otros Cultivos	688368,639	9542111,48
91	Suelo Descubierta	690413,632	9540369,9
92	Caña	680487,515	9559667,93
93	Suelo Descubierta	691380,602	9558025,84
94	Suelo Descubierta	692017,969	9551087,59
95	Nubes	667738,976	9573665,93
96	Bosque	667343,842	9561020,89
97	Bosque	661600,808	9567496,84
98	Bosque	661812,634	9573085,73
99	Suelo Descubierta	663619,152	9563092,44
100	Otros Usos	681807,839	9561107,73

#### Anexo VIII. Coordenadas de puntos para el año de 2017.

N°	Uso de Suelo	X	Y
1	Suelo Descubierta	691030,444	9556700,96
2	Bosque	694328,214	9549224,13
3	Suelo Descubierta	667673,9	9566242
4	Suelo Descubierta	674586,533	9566929,76
5	Suelo Descubierta	668529,075	9574381,2
6	Suelo Descubierta	659882,856	9572151,29
7	Suelo Descubierta	673719,116	9559478,67
8	Bosque	663603,564	9571586,13
9	Bosque	692042,841	9556853,41
10	Suelo Descubierta	665859,015	9568268,5
11	Suelo Descubierta	668120,069	9562973,49
12	Bosque	664791,26	9574256,84
13	Otros Usos	683540,12	9557397,58



14	Suelo Descubierta	680374,539	9555255,6
15	Otros Usos	682964,883	9559721,23
16	Suelo Descubierta	688069,48	9552640,04
17	Suelo Descubierta	686920,782	9551577,01
18	Suelo Descubierta	672118,397	9557223,09
19	Suelo Descubierta	665449,357	9568314,52
20	Suelo Descubierta	692232,18	9553793,61
21	Bosque	694755,999	9550723,58
22	Suelo Descubierta	676287,978	9561408,56
23	Suelo Descubierta	669146,573	9564058,23
24	Bosque	690196,966	9557375,4
25	Suelo Descubierta	665355,853	9555452,67
26	Suelo Descubierta	662887,649	9566994,86
27	Suelo Descubierta	669978,188	9563575,21
28	Suelo Descubierta	674166,86	9569788,69
29	Bosque	689395,186	9543460,48
30	Suelo Descubierta	688053,329	9551614,66
31	Bosque	681376,37	9568156,28
32	Suelo Descubierta	687647,975	9542796,97
33	Suelo Descubierta	672778,928	9563396,42
34	Suelo Descubierta	669137,496	9557039,15
35	Suelo Descubierta	663644,8	9575158,77
36	Bosque	681435,008	9570418,76
37	Suelo Descubierta	688078,326	9552359,35
38	Suelo Descubierta	667082,35	9563533,47
39	Suelo Descubierta	677678,892	9564797,6
40	Bosque	696302,782	9547360,9
41	Suelo Descubierta	681408,144	9562122,09
42	Suelo Descubierta	688418,98	9556370,81
43	Bosque	661344,394	9567771,35
44	Bosque	671723,744	9568447,72
45	Caña	679718,461	9554891,55
46	Nubes	672373,412	9568180,26
47	Bosque	666729,755	9565312,45
48	Suelo Descubierta	675363,183	9559893,27
49	Suelo Descubierta	671904,436	9563689,61
50	Bosque	693568,03	9546856,13
51	Suelo Descubierta	680358,698	9563944,08
52	Suelo Descubierta	670359,998	9558828,22
53	Bosque	692883,358	9545046,11
54	Suelo Descubierta	679678,149	9568827,38

55	Suelo Descubierta	687002,575	9553618
56	Suelo Descubierta	674583,986	9563069,97
57	Suelo Descubierta	667610,212	9574093,64
58	Otros Cultivos	688174,008	9544049,4
59	Suelo Descubierta	672266,239	9562691,61
60	Bosque	661567,316	9572670,32
61	Suelo Descubierta	664014,776	9558894,37
62	Bosque	665495,133	9562761,03
63	Bosque	677736,557	9569906,66
64	Bosque	680254,002	9570405,43
65	Bosque	659309,149	9577411,85
66	Suelo Descubierta	670163,653	9570029,27
67	Suelo Descubierta	687798,211	9558187,74
68	Suelo Descubierta	675423,253	9557473
69	Suelo Descubierta	670843,275	9571091,33
70	Suelo Descubierta	686580,284	9552730,76
71	Suelo Descubierta	689769,079	9542423,67
72	Bosque	666357,002	9560618,96
73	Bosque	667580,954	9560743,29
74	Bosque	692597,885	9546499,72
75	Suelo Descubierta	678061,203	9557880,73
76	Suelo Descubierta	692293,301	9554059,24
77	Suelo Descubierta	666714,138	9566595,12
78	Suelo Descubierta	674465,898	9562291,17
79	Caña	680085,333	9554950,65
80	Bosque	660266,142	9576678,34
81	Bosque	661980,868	9573968,71
82	Bosque	659413,907	9576995,02
83	Suelo Descubierta	669774,311	9573082,65
84	Suelo Descubierta	683292,784	9554620,55
85	Suelo Descubierta	690143,488	9552705,26
86	Caña	678969,563	9554946,46
87	Suelo Descubierta	675358,582	9557306,19
88	Bosque	668415,586	9562492,58
89	Bosque	667882,1	9562418,04
90	Suelo Descubierta	672221,904	9566738,21
91	Otros Cultivos	687893,046	9546495,8
92	Bosque	690589,226	9541580,53
93	Bosque	691544,222	9558345,38
94	Bosque	691312,757	9546086,51
95	Suelo Descubierta	668482,868	9566410,2

96	Bosque	663130,614	9572315,49
97	Bosque	669540,118	9566549,71
98	Bosque	660320,544	9576760,23
99	Caña	680343,457	9559565,16
100	Caña	679714,698	9559427,22