

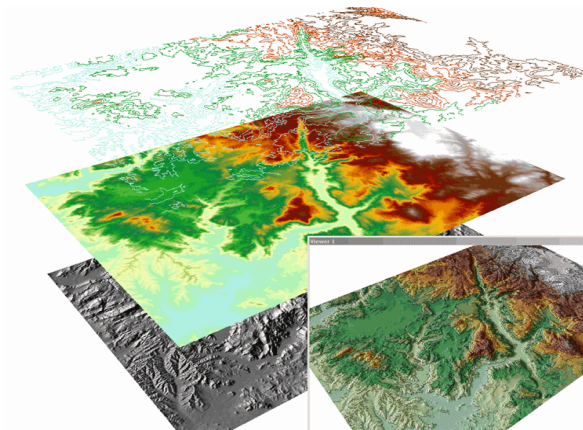


# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES

RENOVABLES

INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



TEMA:

## “ANÁLISIS MULTITEMPORAL PARA LA DETECCIÓN DE CAMBIOS DE USO DEL SUELO, EN EL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA”

Tesis de Grado Previa a la  
Obtención del Título de:  
**INGENIERO EN MANEJO  
Y CONSERVACIÓN DEL  
MEDIO AMBIENTE**

**AUTOR:** Edgar Fabricio Peña Villalta

**DIRECTOR:** Ing. Aníbal González Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2018





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

---

**CERTIFICACIÓN**

Loja, 19 de febrero de 2018

Ing. Aníbal González Mg. Sc.  
**DIRECTOR DE TESIS**

En calidad de Director de la tesis titulada **"ANÁLISIS MULTITEMPORAL PARA LA DETECCIÓN DE CAMBIOS DE USO DEL SUELO, EN EL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA"**, de autoría del señor egresado **Edgar Fabricio Peña Villalta** de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certifico que la investigación se ha realizado dentro del cronograma aprobado, por lo que autorizo se continúe con el trámite de graduación

Atentamente,

Ing. Aníbal González Mg. Sc  
**DIRECTOR DE TESIS**

## CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

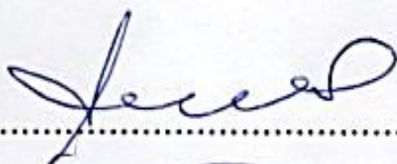
En calidad de tribunal de grado Calificador de la tesis titulada “ANÁLISIS MULTITEMPORAL PARA LA DETECCIÓN DE CAMBIOS DE USO DEL SUELO, EN EL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA” de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente **Edgar Fabricio Peña Villalta**, certificamos que se han incorporado al trabajo final de tesis todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto autorizamos al señor egresado, su publicación y difusión de la tesis.

Loja, 07 de marzo, 2018

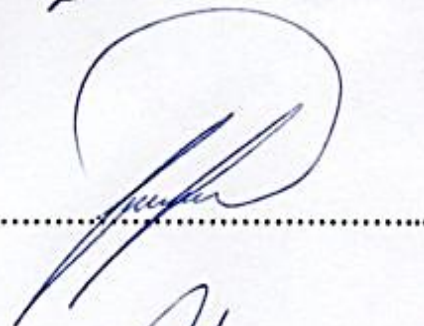
Atentamente

Ing. Aurita Gonzaga, Mg. Sc.  
**PRESIDENTA DEL TRIBUNAL**



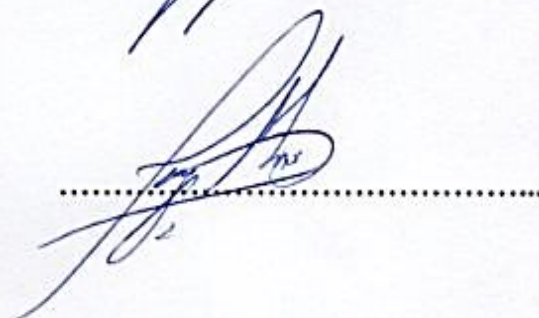
.....

Ing. Diana Ochoa Gordillo, Mg. Sc.  
**Vocal del tribunal**



.....

Ing. Jorge Miño Ordoñez, Mg. Sc.  
**Vocal del tribunal**

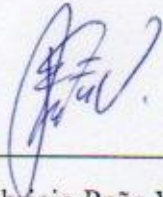


.....

## AUTORÍA

Yo, Edgar Fabricio Peña Villalta, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo.

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



---

Edgar Fabricio Peña Villalta

1900468099

Loja, 09 de marzo del 2018

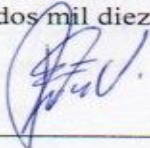
**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, **Edgar Fabricio Peña Villalta**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis titulada **“ANÁLISIS MULTITEMPORAL PARA LA DETECCIÓN DE CAMBIOS DE USO DEL SUELO, 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 Digital Institucional.

Los Usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y el 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 nueve días del mes de marzo de dos mil diez y ocho, firma el autor.



Edgar Fabricio Peña Villalta

**Cédula:** 1900468099

**Dirección:** Barrio Yahuarcoma, Loja, Ecuador

**Teléfono:** 072-102325      **Celular:** 0993088556

**Correo:** edgarpv10@gmail.com

**Datos complementarios**

**Directo de tesis:** Ing. Aníbal González González Mg. Sc

**Tribunal de Grado:** Ing. Aurita Gonzaga Figueroa Mg. Sc.

Ing. Diana Ochoa Gordillo Mg. Sc.

Ing. Jorge Miño Ordoñez Mg. Sc.

iv

**Directo de tesis:** Ing. Aníbal González González Mg. Sc

**Tribunal de Grado:** Ing. Aurita Gonzaga Figueroa Mg. Sc.

Ing. Diana Ochoa Gordillo Mg. Sc.

Ing. Jorge Miño Ordoñez Mg. Sc.

v

## **AGRADECIMIENTOS**

Uno de los esfuerzos más grandiosos de nuestra vida, constituye la carrera universitaria, por lo que expreso mi más profundo agradecimiento a todos quienes de alguna manera hicieron posible el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional de Loja, a la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, y a todos mis profesores quienes me impartieron sus conocimientos y afianzaron mi formación profesional.

De manera especial expreso mi agradecimiento al Ing. Aníbal González Mg. Sc. director de tesis, por su apoyo constante y orientación en el desarrollo de esta investigación.

Al Ingeniero Santiago Silva, quien contribuyo sustancialmente en el proceso de esta investigación con su orientación, apoyo y sugerencias. De igual manera al Ingeniero José Merino y Fabián Sotomayor, quienes contribuyeron de gran manera facilitándome la información necesaria para la elaboración de la presente investigación. A los miembros del tribunal calificador: Ing. Aurita Gonzaga, Ing. Diana Ochoa, Ing. Jorge Miño, por sus oportunas sugerencias que permitieron reforzar la presente tesis.

Y finalmente a mis familiares, amigos y compañeros, que de manera desinteresada me brindaron apoyo emocional e incondicional durante mi vida universitaria, también les extiendo mi imperecedero agradecimiento.

El Autor.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo, lleno de amor y esfuerzo lo dedico a Dios, por darme la vida, a mis padres Ludio Peña y Francisca Villalta, por el apoyo y comprensión que me supieron brindar y que gracias a ellos he culminado mi carrera profesional. De manera muy especial le dedico a mi padre que es un hombre de respeto, admiración y que el sueño de él, vernos a todos profesionales, gracias Papá.

A mi amada esposa Andrea Peña e hijo Maximiliano Peña, por estar siempre presentes en los buenos y malos momentos, este logro se los dedico con gran amor y que sirva de ejemplo, porque siempre fueron el motor de mi constante esfuerzo.

A mis hermanos: Byron y Fernando, por ayudarme a plasmar mis objetivos como persona y por ser ejemplo a seguir; y, a toda mi familia que de alguna manera aportaron con su granito de arena en este logro alcanzado.

Finalmente a mis amigos y compañeros, que hicieron de mi vida universitaria una época inolvidable y de manera especial a mi colega y cumpita Ing. Edison Guzmán por ser una persona muy querida en mi hogar. Gracias por brindarme su amistad.

**Edgar Fabricio Peña Villalta**

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO</b> .....	<b>.ii</b>
<b>AUTORÍA</b> .....	<b>iii</b>
<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>.vi</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>.vii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>.xiv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2 MARCO TEORICO</b> .....	<b>3</b>
2.1 IMAGEN SATELITAL.....	3
2.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) APLICADOS A LA MODELACIÓN DE ESCENARIOS DE DEFORESTACIÓN.....	4
2.3 TELEDETECCIÓN ESPACIAL O PERCEPCIÓN REMOTA.....	5
2.4 DEFORESTACIÓN.....	5
2.5 IMÁGENES LANDSAT.....	5
2.6 CORRECCIÓN DE IMÁGENES.....	6
2.6.1 Corrección geométrica.....	6
2.6.2 Corrección radiométrica.....	6
2.6.3 Índice de vegetación (NDVI).....	6
2.6.4 Clasificación Supervisada.....	7
2.6.5 Firma Espectral.....	7
2.7 ANÁLISIS MULTITEMPORAL.....	8
2.7.1 Herramientas para realizar los análisis multitemporales.....	8
2.7.2 Técnicas utilizadas para los análisis multitemporales.....	10
2.8 CAMBIO DE USO DEL SUELO.....	12
2.8.1 Efectos del cambio de uso del suelo.....	12
2.8.2 Importancia de los estudios de cambio de uso del suelo.....	14
2.9 MODELOS PARA ANALIZAR LOS CAMBIO DE USO DEL SUELO.....	15
2.9.1 Análisis de cadenas de Markov.....	16
2.9.2 Análisis autómatas celulares.....	17
2.9.3 Imágenes de Aptitud.....	17
2.9.4 Modelo estocástico.....	18
2.9.5 Land Change Modeler.....	18
2.9.6 CLUE (Conversion of Land use and its Effects).....	19
2.9.7 Datos generales necesarios para la modelación.....	19
<b>3 METODOLOGÍA</b> .....	<b>21</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	21



3.1.1	Ubicación y límites del cantón Catamayo.....	21
3.1.2	Ubicación geográfica.....	21
3.1.3	División política.....	21
3.1.4	Características ambientales.....	21
3.2	MATERIALES.....	22
3.3	DETERMINACIÓN DE LOS CAMBIOS DE USO DEL SUELO MEDIANTE UN ANÁLISIS MULTITEMPORAL PARA LOS PERIODOS COMPRENDIDOS ENTRE 1996 A 2015.....	23
3.3.1	Recopilación de información.....	23
3.3.2	Preprocesamiento de imágenes.....	23
3.3.3	Procesamiento de imágenes.....	27
3.3.4	Clasificación supervisada.....	29
3.3.5	Determinación del cambio de uso del suelo y de la tasa de deforestación.....	31
3.4	MODELACIÓN DE LOS CAMBIOS FUTUROS DE DEFORESTACIÓN DEL CANTÓN CATAMAYO, EN BASE AL MODELADOR DE CAMBIOS EN EL TERRENO (LCM), DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA TERRSET. .	35
3.4.1	Generación de escenarios de deforestación al año 2030 y 2060.....	35
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>40</b>
4.1	CAMBIOS DE USO DEL SUELO ACTUAL MEDIANTE UN ANÁLISIS MULTITEMPORAL PARA LOS PERIODOS COMPRENDIDOS DE 1996 A 2015.....	40
4.1.1	Estado actual del uso del suelo.....	40
4.1.2	Análisis de los cambios de uso del suelo en el catón Catamayo en el periodo 1996 – 2015.....	45
4.1.3	Cambios de Uso del Suelo Entre el Año 1996 – 2015.....	47
4.1.4	Pérdidas y Ganancias de los usos del suelo en el cantón Catamayo.....	47
4.1.5	Contribución de Cambio Neto en Bosque.....	52
4.1.6	Deforestación total anual promedio y tasa anual de cambio del cantón Catamayo.....	56
4.1.7	Tendencia del cambio.....	58
4.1.8	Variables explicativas.....	61
4.2	MODELACIÓN DE LOS CAMBIOS FUTUROS DE DEFORESTACIÓN EN EL CANTÓN CATAMAYO, EN BASE AL MODELO LAND CHANGE MODELER (LCM), DE TERRSET.....	61
<b>5</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>64</b>
5.1	CAMBIO DE USO DEL SUELO Y TASA DE DEFORESTACIÓN PERIODO 1996 – 2015.....	64
5.2	ESCENARIOS DE DEFORESTACIÓN AL 2060.....	69
5.3	ANÁLISIS METODOLÓGICO.....	69
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>75</b>
<b>9</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>83</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>Cuadro 1.</b> Observaciones realizadas en las salidas de campo, dentro del cantón Catamayo. ....	28
<b>Cuadro 2.</b> Clases de cobertura.....	29
<b>Cuadro 3.</b> Tipos de cambio identificados en el cantón Catamayo, en los periodos de 1996 y 2015 .....	32
<b>Cuadro 4.</b> Características de los tipos de cambio identificados en el cantón Catamayo, en los periodos de 1996 y 2015 .....	32
<b>Cuadro 5.</b> Matriz de cambios utilizada para el cruce de mapas .....	34
<b>Cuadro 6.</b> Datos en hectáreas y porcentajes de las unidades de cobertura de 1996 y 2015 .....	40
<b>Cuadro 7.</b> Áreas de cambio de uso del suelo del periodo 1996 – 2015. ....	45
<b>Cuadro 8.</b> Porcentaje de cambios de uso del suelo del cantón Catamayo, de los periodos 1996 – 2015. ....	47
<b>Cuadro 9.</b> Transiciones entre usos del suelo en el cantón Catamayo, periodo 1996 - 2015. ....	50
<b>Cuadro 10.</b> Cambios de uso del suelo por parroquia en hectáreas y porcentajes.....	54
<b>Cuadro 11.</b> Área deforestada en las parroquias que integran el cantón Catamayo .....	55
<b>Cuadro 12.</b> Deforestación anual y tasa de deforestación por parroquia.....	56
<b>Cuadro 13.</b> Tendencia de la deforestación desde el periodo 1996 al 2060 .....	59
<b>Cuadro 14.</b> Resultados de la modelación a los años 2030 y 2060 de los diferentes usos del suelo.....	61
<b>Cuadro 15.</b> Matriz de tabulación cruzada de los diferentes usos del suelo en el periodo 1996 a 2015 en el cantón Catamayo .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Ubicación del cantón Catamayo, respecto de la provincia de Loja .....	22
<b>Figura 2.</b> Módulo atmosc para realizar corrección atmosférica .....	24
<b>Figura 3.</b> Módulo ACP para realizar correcciones radiométricas .....	25
<b>Figura 4.</b> Módulo Vegindex utilizado para el NDVI.....	26
<b>Figura 5.</b> Módulo Texture.....	26
<b>Figura 6.</b> Proceso de segmentación de imágenes .....	30
<b>Figura 7.</b> Módulo de Change analysis de TerrSet .....	36
<b>Figura 8.</b> Mapa de Usos del Suelo del cantón Catamayo año 1996. ....	43
<b>Figura 9.</b> Mapa de Usos del Suelo del cantón Catamayo año 2015. ....	44
<b>Figura 10.</b> Mapa de áreas de cambio de uso del suelo entre el año 1996 - 2015. ....	46
<b>Figura 11.</b> Pérdidas y ganancias entre 1996 y 2015 .....	48
<b>Figura 12.</b> Mapa de áreas de cambio de uso del suelo entre el año 1996 - 2015. ....	49
<b>Figura 13.</b> Contribución de las coberturas en el cambio de bosque .....	52
<b>Figura 14.</b> Cambio Neto en Bosque entre 1996 – 2015 .....	53
<b>Figura 15.</b> Mapa de Deforestación del cantón Catamayo. ....	57
<b>Figura 16.</b> Tendencia de Deforestación al 2060.....	59
<b>Figura 17.</b> Mapa de tendencia del cambio de uso del suelo, periodo 1996 al 2060. ....	60
<b>Figura 18.</b> Mapa de uso del suelo para el año 2030. ....	62
<b>Figura 19.</b> Mapa de uso del suelo para el año 2060. ....	63

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1. GANANCIAS Y PÉRDIDAS EN BOSQUE.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO 2. GANANCIAS Y PÉRDIDAS EN AGRICULTURA .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO 3. TRANSICIÓN BOSQUE-AGRICULTURA.....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXO 4. FOTOGRAFÍAS .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO 5. MATRIZ DE TABLUCACIÓN CRUZADA.....</b>	<b>89</b>

**“ANÁLISIS MULTITEMPORAL PARA LA DETECCIÓN  
DE CAMBIOS DE USO DEL SUELO, EN EL CANTÓN  
CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA”**

## RESUMEN

La presente investigación denominada “*Análisis Multi-temporal del Cambio de Uso del Suelo en el cantón Catamayo, provincia de Loja*”, el objetivo de este estudio fue realizar el tratamiento de imágenes satelitales del periodo correspondiente a 1996 y 2015, con el propósito de generar mapas de cobertura vegetal y uso del suelo, los mismos que podrán ser analizados para determinar los cambios de uso del suelo entre los diferentes años y hacer predicción de cambios para los años 2030 y 2060. Para cumplir con esta investigación, se recopiló información geográfica de la base de datos del Servicio Geológico de Estado Unidos (USGS) y, la información cartográfica secundaria se la recopiló en el Centro de Geomática Ambiental CINFA de la Universidad Nacional de Loja UNL. Las imágenes correspondientes a los años 1996 y 2015 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. Luego de haber realizado la investigación se obtuvo que 4 1620.36 hectáreas de terreno (61.96 %) se han mantenido intactas, es decir, no presentan ningún cambio de cobertura durante este periodo, sin embargo, 2 5549.89 hectáreas (38.04 %) han experimentado cambios que van desde la deforestación provocada por el ser humano para la ampliación de pastos para ganado y agricultura, hasta la regeneración que se produce naturalmente en los ecosistemas. Entre el año 1996 y 2015 se han deforestado en el cantón Catamayo, cerca de 4 983.94 hectáreas de bosque (7.45 %), es decir 158.60 ha/año, lo que representa una tasa de deforestación anual de -0.23 %. Para modelar los cambios futuros de deforestación se realizó un procedimiento que implicó el análisis de variables que determinan cambios y la construcción de un modelo que utilice éstas variables para generar un escenario futuro de cambios, donde se ha utilizado la herramienta geomática Land Change Modeler (LCM). Con este resultado, se crearon dos mapas, uno para el año 2030 y otro para el año 2060, donde se observa que para el 2030 el bosque se reducirá a un 9.15 %, y para el 2060 a un 17.83 %; al contrario de pasto natural, pasto cultivado y cultivos que presentan la clase de Agricultura, que aumentan para el 2030 en un 42.57 % y al 2060 en un 43.04 %.

**Palabras clave:** Análisis multitemporal, cambios de usos del suelo, cantón Catamayo, Land Change Modeler.

## ABSTRACT

The present research called "*Multi-temporal Analysis of Land Use Change in Catamayo canton, Loja province*", the objective of this study is to carry out the processing of satellite images of the period corresponding to 1996 and 2015, with the purpose of generating maps of vegetation cover and land use, which can be analyzed to determine changes in land use between different years and predict changes for the years 2030 and 2060. In order to comply with this research, geographic information was collected from the database of the United States Geological Survey (USGS) and, secondary cartographic information was collected in the Center for Environmental Geomatics CINFA of the National University of Loja UNL. The images corresponding to the years 1996 and 2015 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 ground. After having carried out the research, it has been obtained that 4 1620.36 hectares of land (61.96%) have remained intact, that is, they don't present any change in coverage during this period, however, 2 5549.89 hectares (38.04%) have undergone changes ranging from deforestation caused by humans to the expansion of pastures for livestock and agriculture, to the regeneration that occurs naturally in ecosystems. Between 1996 and 2015, about 4 983.94 hectares of forest (7.45%), or 158.60 ha / year, have been deforested in the canton Catamayo, representing an annual deforestation rate of -0.23%. To model future changes in deforestation, a procedure was carried out that involved the analysis of variables that determine changes and the construction of a model that uses these variables to generate a future scenario of changes, where the Land Change Modeler geomatics tool has been used (LCM). With this result, two maps were created, one for the year 2030 and another for the year 2060, where it is observed that by 2030 the forest will be reduced to 9.15%, and for 2060 to 17.83%; in contrast to natural grass, cultivated grass and crops that present the Agriculture class, which increase by 2030 by 42.57% and by 2060 by 43.04%.

**Keywords:** Multitemporal analysis, land use changes, Catamayo canton, Land Change Modeler.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los cambios en la cobertura del suelo son el resultado de la combinación a distintas escalas espacio-temporal de una serie de factores, entre los que se encuentran: cambios naturales a largo plazo en las condiciones climáticas; procesos ecológicos y geomorfológicos como la erosión y la sucesión vegetal; variabilidad climática interanual; alteraciones antropogénicas de la cobertura vegetal y el paisaje como la deforestación y la degradación de suelos; y el efecto invernadero causado por las actividades humanas (Lambin & Strahler 1994). Los cambios de uso del suelo se han reconocido en muchos países como una de las principales causas de deterioro ambiental, (Ibarra *et al.*, 2011), y en especial en América Latina se registran pérdidas de bosques a un ritmo alarmante (Mas y Flamenco, 2011).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2009), en Ecuador la tasa de deforestación es de 0.6 y 3 %/año y según el Ministerio del Ambiente (MAE) (2012) para el periodo 1990 – 2000 la tasa de deforestación es de -0,71 % y de -0,66 % para el periodo 2000 - 2008. Esto corresponde a una deforestación anual promedio de 89 944 ha/año y 77 647 ha/año, para cada periodo respectivamente. Esta actividad en la provincia de Loja es de - 1,12 %, para el periodo 2000 – 2008 lo que equivale a 3 678 ha/año (MAE, 2012).

Además, el cambio de uso del suelo constituye una de las principales preocupaciones en el sector forestal, debido a la presión que se ejerce sobre los bosques nativos y, en cierta forma, explica el proceso de deforestación del país, por lo que su análisis reviste especial importancia en el desarrollo socio-económico del Ecuador. Su magnitud y distribución reflejan la ausencia de políticas de ordenamiento territorial que orienten el desarrollo de actividades productivas, tomando en consideración la capacidad de uso del suelo (Barrantes *et al.* 2010). Según Crespo (2011), la pérdida forestal se debe principalmente a las prácticas agrícolas no sustentables, que han ocasionado la degradación de los suelos.

En el cantón de Catamayo, perteneciente a la provincia de Loja; por ser un valle con un clima muy particular para el incremento de prácticas tanto agropecuarias como económicas, se ha podido evidenciar problemas ambientales como es la tala descontrolada de los bosques, incremento acelerado de monocultivos y de la ciudad en zonas no pertinentes, prácticas agrícolas y ganaderas insostenibles, y el uso inadecuado



del suelo de acuerdo a su aptitud y capacidad, todas estas actividades relacionadas con acciones realizadas por el ser humano, han conllevado al deterioro de la calidad ambiental, contaminación de los recursos hídricos, disminución de la cantidad y calidad del agua, pérdida de la cobertura vegetal, fragmentación de ecosistemas frágiles y conflictos de índole socio-ambiental.

Por lo tanto, la importancia de realizar un estudio multitemporal y generar modelos que permitan estimar escenarios futuros de deforestación, radica en anticipar, prevenir y mitigar dinámicas insostenibles de las actuales formas de desarrollo socioeconómico. Para esto, se han generado un sinnúmero de herramientas SIG que permiten analizar los constantes cambios en la cubierta de terreno, y generan modelos que proyectan su comportamiento en el futuro.

En la presente investigación se analizó los cambios de uso del suelo y se modeló los escenarios futuros de deforestación del cantón Catamayo, tomando como herramienta el Modelador de Cambios en el Terreno (LCM), de TerrSet; en el cual se utilizó imágenes de cobertura vegetal de dos fechas diferentes (1996 y 2015), y variables explicativas (modelo digital de terreno - DEM, evidencia del cambio, distancia a áreas de cambios, distancia a edificios y distancia a manzanas); con esto se obtuvo como resultado un análisis de cambios pasados de la cobertura del suelo, el potencial de transición de coberturas en el terreno y la predicción de cambios en el futuro.

El presente proyecto se desarrolló dando cumplimiento a los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

Analizar los cambios de uso del suelo en el cantón Catamayo, provincia de Loja.

### **Objetivos específicos**

- Determinar los cambios de uso del suelo actual mediante un Análisis Multitemporal para los periodos comprendidos de 1996 a 2015.
- Modelar la tendencia de cambio en los usos del suelo en el cantón Catamayo.

## 2 MARCO TEORICO

### 2.1 IMAGEN SATELITAL

Las Imágenes Satelitales están confeccionadas por matrices, en las que cada celda representa un píxel, las dimensiones de este píxel dependerá de la Resolución espacial del sensor. Los sensores registran la radiación electromagnética que proviene de las distintas coberturas y las almacena en cada píxel, de acuerdo a los intervalos de longitudes de onda, en las que este programado el sensor para captar.

Esta energía electromagnética es representada en cada píxel por un valor digital al cual se le agrega una tonalidad, este valor es llamado Nivel Digital (ND), la cantidad de niveles digitales que se podrá representar dependerá de la Resolución Radiométrica del sensor, para un sensor con Resolución Radiométrica de 8 bit los niveles digitales varían entre 0 y 255, siendo en la escala de grises el cero igual al color negro y el 255 igual al color blanco. La posición de cada píxel en la imagen satelital está determinada por un eje de coordenadas X, Y, Z.

X: N° de columna de la matriz.

Y: N° de fila de la matriz.

Z: Nivel digital (valor de intensidad de la escala de grises).

La información que se obtiene de las distintas bandas de las imágenes satelitales, son de gran ayuda en diversos ámbitos o análisis tales como: en la Agricultura y recursos forestales, Uso de suelo, Geología, Recurso de agua y Medio ambiente (Puerta *et al.*, 2013).

Según, Puerta *et al.*, (2013) y RS/GIS Quick Start Guides (2008) definen cada una de las características y la información que contiene las distintas bandas:

- **Banda 1** (azul), es muy útil para mapear cuerpos de agua, diferenciación entre suelo y vegetación, diferenciación entre la vegetación conífera y decidua, su desventaja es la susceptibilidad a la dispersión atmosférica, es la banda “más ruidosa”.
- **Banda 2** (verde), diseñada para evaluar el vigor de la vegetación sana, diferenciar tipos de rocas y medir la calidad de agua.

- **Banda 3** (roja), permite determinar la absorción de clorofila, por ello muy útil para la clasificación de la cubierta vegetal, agricultura y uso del suelo.
- **Banda 4** (NIR), muy útil para la delimitación de cuerpos de agua, determinar el contenido de biomasa, elaborar mapas geológicos y geomorfológicos.
- **Banda 5** (MIR), permite evaluar el contenido de humedad de la vegetación y suelo, diferenciación entre nubes u nieve.
- **Banda 6** (TIR), permite determinar el estrés térmico de la vegetación, corrientes marinas, propiedades termales del suelo.
- **Banda 7** (MIR), especialmente discrimina rocas para el mapeo hidrotermal e identificación de minerales.
- **Banda 8** (Pan), por su resolución permite que las imágenes generadas sean trabajadas para obtener ampliaciones hasta 1:25 000.

## **2.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) APLICADOS A LA MODELACIÓN DE ESCENARIOS DE DEFORESTACIÓN.**

La satisfacción de las necesidades del ser humano conlleva la alteración de su entorno, y entre otros aspectos determina cambios en las coberturas y los usos de la tierra. El cambio en la cobertura y el uso de la tierra es un proceso generalizado, acelerado y significativo que en muchos casos puede traer consecuencias negativas para los seres humanos (González *et al.* 2011).

Durante los últimos cincuenta años la transformación de los ecosistemas tropicales, causada principalmente por procesos de deforestación y expansión de la frontera agropecuaria, ha ocasionado impactos sin precedentes en la biodiversidad, el clima y otros servicios ecosistémicos. Como resultado, este tipo de cambios han generado perturbaciones climáticas, socioeconómicas y políticas que a su vez han afectado la calidad de vida de la población en todo el mundo (González *et al.* 2011).

El modelamiento se ha convertido en una herramienta cada vez más importante para el análisis de estos impactos. Modelar los cambios en el uso y cobertura de la tierra es crítico para formular políticas ambientales y estrategias de manejo efectivas. Sin embargo, debido a que estas transiciones constituyen procesos complejos que ocurren en múltiples escalas espaciales y temporales, al tiempo que exhiben propiedades emergentes que resultan de la acción acumulada de múltiples agentes, cualquier iniciativa para

modelar siempre tendrá implícito un alto grado de simplificación. Por definición cualquier modelo se queda corto al tratar de incorporar todos los aspectos de la realidad, pero también provee información valiosa acerca del comportamiento del sistema dentro de un rango de condiciones (González *et al.* 2011).

### **2.3 TELEDETECCIÓN ESPACIAL O PERCEPCIÓN REMOTA**

Se define la Teledetección espacial como aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales y de su transformación en información útil (Kirby 2011).

### **2.4 DEFORESTACIÓN**

Es el proceso de desaparición de los bosques o masas forestales y la conversión de la tierra a usos no forestales, directamente causada por la acción del hombre sobre la naturaleza (Ovalles 2011).

La deforestación es normalmente un cambio drástico del uso del territorio, a menudo caracterizado por la tala de árboles y la conversión a unos usos alternativos de las tierras, principalmente la agricultura (Ovalles 2011).

Entre los factores que llevan a la deforestación en gran escala se cuentan: el descuido e ignorancia del valor intrínseco, la falta de valor atribuido, el manejo poco responsable de los bosques y leyes medioambientales deficientes (Ovalles 2011).

### **2.5 IMÁGENES LANDSAT**

Según Ariza (2013), las imágenes landsat se caracterizan por la variedad de bandas que las componen. Estas imágenes se separan en 2 tipos: Landsat 8 (sensor ETM+) y Landsat 5 (sensor TM); Landsat 8 posee 11 bandas y Landsat 5 posee 7 bandas, que va desde el visible infrarrojo medio con una resolución de 30 metro.

Sin embargo, la diferencia entre ellas radica en que las Landsat 8 poseen una banda pancromática de 15 metros y en el caso de las bandas termales 10 y 11, son útiles para determinar con mayor precisión las temperaturas sobre el terreno, son tomadas a 100 metros, cubren cada escena de 170\*183 km<sup>2</sup>.

## **2.6 CORRECCIÓN DE IMÁGENES**

Las imágenes presentan otros elementos que hacen necesaria una preparación antes de pasar al uso propiamente dicho. Estos elementos están relacionados con la forma en que los sensores capturan la información y las imprecisiones que en este proceso pueden aparecer, y tratan de eliminar estas imprecisiones para que los Números Digitales de las distintas celdas reflejen fielmente la realidad presente en el momento de capturar dicha imagen (Olaya 2011).

### **2.6.1 Corrección geométrica**

Proceso mediante el cual se eliminan las posibles distorsiones en la geometría de los datos. Estas distorsiones están determinadas por las características del sensor y la interacción entre la geometría de la órbita del satélite y la forma de la superficie terrestre (Toutin 2001). A través del proceso de corrección geométrica, se repositionan los píxeles desde su ubicación original en los datos crudos a una grilla de referencia específica referida a un sistema de coordenadas cartográfico (Schowengerdt 2007).

La calidad del resultado final de este proceso estará representada por la precisión planimétrica de los datos corregidos. La precisión será función del algoritmo o modelo de transformación utilizado, la calidad geométrica y distribución de los puntos de control, y de las características geométricas del Modelo digital de elevación (MDE) (Toutin 2004).

### **2.6.2 Corrección radiométrica**

Consiste en la eliminación de las distorsiones radiométricas que pueden ser producidas por el sensor, la atmósfera y la topografía. Este proceso es indispensable para la realización de estudios multitemporales o con técnicas multisensor ya que permite integrar espectralmente datos tomados en diferentes momentos y por diferentes sensores (Lencinas 2011).

### **2.6.3 Índice de vegetación (NDVI)**

Un índice de vegetación (NDVI, por sus siglas en inglés) es una combinación de valores de reflectancia en diferentes longitudes de onda, con alta sensibilidad cambios en la vegetación y baja sensibilidad a otra información (atmósfera o suelo).

La gran mayoría de los IV están basados en el alto contraste entre la banda del rojo (R) y la del infrarrojo cercano (IRC) para la vegetación viva y verde (Tucker, 1979).

Éste se calcula de la siguiente manera:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

Donde

NIR = Near InfraRed (infrarrojo cercano)

R = Rojo

#### **2.6.4 Clasificación Supervisada**

La clasificación supervisada es una forma de clasificación que requiere por parte del operador la definición explícita de las clases a definir. En la terminología empleada para las imágenes, podemos decir que el operador debe introducir la firma espectral característica de las clases, expresada esta como los valores más habituales que aparecen para dicha clase. El proceso de clasificación asigna a un punto aquella clase cuyo conjunto de valores (típicos) de las variables estudiadas (los que vienen definidos por esa firma espectral característica) son más similares a los presentes en dicho punto (Olaya 2011).

#### **2.6.5 Firma Espectral**

Una vez que la energía electromagnética llega a la superficie terrestre, interactúa con cada tipo de material ya sea por reflexión, absorción o transmisión, de acuerdo a un patrón de respuesta espectral particular. Este comportamiento distintivo de cada tipo de material es aprovechado en procesos de clasificación de imágenes, siendo común referirse a él como “firma espectral” (Hernández y Montaner 2009).

Su determinación en forma consistente presenta algunas dificultades asociadas a las siguientes razones:

- La vegetación tiene un comportamiento dinámico debido a los cambios fenológicos que ocurren estacionalmente. Esto significa que su firma espectral cambia durante el año.
- Las condiciones de iluminación asociadas a la topografía (pendiente y orientación), la posición del sol durante el año (elevación y azimut), y las condiciones de humedad del suelo y la vegetación pueden significar variaciones importantes en el patrón de respuesta espectral.

- Debido a la resolución espacial de la mayoría de los sensores, la información contenida en un píxel es el resultado de una mezcla espectral de varios tipos de materiales. Por ejemplo, en el caso de Landsat TM / ETM+ el área asociada a un único píxel (30 x 30 m) puede estar compuesta por vegetación herbácea, vegetación arbórea, suelo desnudo y pavimento, todo lo cual queda registrado en un único nivel digital (Hernández y Montaner 2009).

## **2.7 ANÁLISIS MULTITEMPORAL**

Consiste en evaluar comparativamente dos o más imágenes de la misma zona pero de fechas diferentes (Chuvieco 1990). La observación cíclica o periódica permite el seguimiento de los diferentes procesos que influyen en una cobertura de bosque como: deforestación, regeneración, cambios de usos de suelo, áreas cultivadas, incendios, plantaciones, etc. La información que se obtiene de un análisis multitemporal permite evaluar la magnitud de los cambios, encontrar los actores principales en los procesos de cambios y suministrar información para corregir los problemas oportunamente, en caso de ser posible (Córdova y Revelo, 2012).

### **2.7.1 Herramientas para realizar los análisis multitemporales**

Dado que los fenómenos espaciales que promueven las transformaciones en las coberturas y los cambios en el uso de suelo son procesos dinámicos, éstos demandan el desarrollo y la utilización de métodos capaces de representar su constante evolución (Godoy y Soares 2008).

Los siguientes programas son ejemplos de software gratis y comerciales desarrollados por diferentes organizaciones para el análisis de imágenes digitales (Beard, 2008).

- MultiSpec, es uno de estos y fue diseñado originalmente como una herramienta de enseñanza pero ahora es utilizada por muchos usuarios para la percepción remota. También ofrece algunas herramientas sofisticadas de la clasificación de imágenes (Beard, 2008).
- OpenEV, es otro software que permite exhibir y analizar datos geoespaciales en formato vector y ráster. Éste es uno de los paquetes libres más ampliamente utilizados de la visualización de imágenes remotamente adquiridas (Farris-Manning, 2006).

- NASA Image 2000, es un paquete para el proceso de imágenes basado en Java que fue desarrollado por la NASA, y proporciona una amplia gama de funciones pero se limita en que no maneja adecuadamente sets de grandes datos (Matusow, 2012).
- GRASS, es otro software desarrollado originalmente por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos en los años 80. Es un SIG de gran alcance basado en raster con muchas capacidades de procesamiento de imágenes (Matusow, 2012).
- ASSAM, es una herramienta para el procesamiento de imágenes remotamente adquiridas y análisis espacial. Recientemente se ha creado una interface gráfica para OSSIM llamado Image Linker, que funciona en todos los sistemas operativos importantes (Matusow, 2012).
- RESORTE, el software puede exhibir y analizar imágenes remotamente adquiridas, y proporciona una combinación de SIG y de capacidades de procesamiento de imágenes. Está disponible en español y portugués, y funciona en las computadoras con Unix y Windows (Cámara *et al.*, 2008).

Los siguientes programas son ejemplos de software comerciales comúnmente usados:

- ERDAS Imagine, es un software basado en ráster, y diseñado específicamente para extraer información de imágenes remotamente adquiridas. El programa incluye un sistema comprensivo de herramientas para crear imágenes para la inclusión en un SIG y actualmente ofrece la opción de crear capas de información que pueden ser integradas en el formato Geodatabase de ESRI (Benítez, 2002).
- Image Analysis de ArcGIS, se utiliza para preparar imágenes que pueden ser usadas directamente en un SIG, para posteriormente analizar y extraer información de ellas. Esta extensión de ArcGIS le permite al usuario extraer la información actualizada de imágenes directamente en una estructura tipo Geodatabase de ESRI (Mancebo, 2008).
- TNTmips, es un sistema del análisis geoespacial que proporciona un SIG completo, un sistema de manejo de set de datos relacionales, un sistema automatizado de procesamiento de imágenes con CAD, herramientas para el modelamiento superficial, y herramientas para publicar los datos (Mancebo, 2008).
- ERMapper, es un paquete para el procesamiento de imágenes y para otros usos de las ciencias de la tierra y de la percepción remota. Ha sido diseñado para



manipular sets grandes de datos de recursos naturales (p. e. datos del satélite, geofísicos, sísmicos). Los usuarios pueden realizar integraciones complejas de datos y operaciones complejas de proceso de imágenes, en capas múltiples. Contiene una biblioteca de algoritmos estándares para el realce de la imagen, la clasificación y la síntesis de los datos. Permite la visualización 3D permite que los usuarios vean datos vector, ráster y con acceso directo a las coberturas de ARC/INFO (Mancebo, 2008).

- IDRISI, es un software integrado de SIG y de procesamiento de imágenes, que proporciona más de 250 módulos para el análisis y exhibición de información espacial digital. Herramientas para la planificación espacial, toma de decisiones, y el análisis de riesgo son incluidas junto con herramientas para la estadística espacial, el análisis superficial, y modelamiento espacial. IDRISI se utiliza para explorar, predecir, y modelar los impactos en cambio de la cubierta de tierra con la utilidad del Land Change Modeler. El programa puede procesar imágenes remotamente adquiridas con técnicas convencionales de procesamiento de imágenes (Eastman, 2009).

## **2.7.2 Técnicas utilizadas para los análisis multitemporales**

### **2.7.2.1 Composiciones multitemporales**

- Esta técnica se basa en comparar visualmente los tonos de gris o color que ofrecen dos o más imágenes de distintas fechas este método es ventajoso en categorías urbanas (Chuvieco, 2002).
- El inconveniente de esta metodología es determinar qué tipo de cambio se está efectuando por la razón que es solo una interpretación visual, por lo tanto, es muy importante tener en cuenta la visita de campo o aplicar otra técnica para tener conocimiento del fenómeno (Ponce, 2008).

### **2.7.2.2 Diferencia entre imagen**

Consiste en una simple resta entre las imágenes de dos fechas, previamente homogenizadas en cuanto a radiometría y geometría, permite discriminar aquella zona que ha experimentado cambios en el periodo de tiempo determinado, las zonas estables presentaran un valor cercano a cero, mientras las que hayan experimentado cambio

presentaran un valor distinto a cero pudiendo ser positivo o negativo (Ponce, 2008; Fundamentos de teledetección espacial, 1996). Su ecuación es la siguiente:

$$ND_c = ND_{t2}ND_{t1} + C$$

Donde:

$ND_c$  = Imagen como resultado del cambio

$ND_{t2}ND_{t1}$  = Corresponde a las imagenes del segundo y primer periodo

$C$  = Constante para evitar valores negativos

### **2.7.2.3 Componentes principales**

Se refiere a sintetizar un conjunto de bandas en otro más reducido sin perder gran parte de la información original (Atencia *et al.*, 2008). También, es una técnica de reducción de la dimensionalidad de la imagen la cual ha sido ampliamente utilizada en estudios de teledetección. Su objetivo es sintetizar las bandas originales, creando unas nuevas bandas los componentes principales (CP) de la imagen, que recojan la parte más relevante de la información original. El sentido espectral de estos componentes se obtiene a partir de la matriz de auto-vectores, en donde se evidencia la asociación entre cada componente y las bandas originales (Chuvieco, 2002).

### **2.7.2.4 Regresión**

Se emplea para estimar valores de una variable de interés a partir de otra que está fuertemente asociada con ella. Esta asociación se mide a partir de observaciones comunes en ambas variables a partir de las cuales se ajusta una función que la relacione numéricamente (Atencia *et al.*, 2008).

### **2.7.2.5 Vectores multitemporales**

Esta técnica intenta incorporar no solo la importancia, sino también la dirección del cambio entre imágenes. El principio es el siguiente, si un pixel cambia su cobertura entre dos fechas también modificará su emplazamiento espectral. La magnitud de cambio vendrá dada por la longitud del vector que separa ambos puntos (Atencia *et al.*, 2008).

## **2.8 CAMBIO DE USO DEL SUELO**

La conversión de la cubierta terrestre constituye el reemplazo de un tipo de cobertura por otro (DeFries *et al.*, 2004; Henríquez, 2012) y es medida por una transición de una categoría de cubierta de suelo a otra, como es el caso de la expansión agrícola, la deforestación, o el cambio en la extensión urbana. Cualquiera sea el cambio en la cobertura del suelo, ello conlleva cambios en la diversidad biótica, productividad primaria actual y potencial, calidad de los suelos, escorrentía y tasas de sedimentación, así como otros atributos de la superficie terrestre (DeFries *et al.*, 2004).

Los cambios en la cobertura del suelo contemporáneos son generados principalmente por la actividad humana, actividad dirigida a la manipulación de la superficie terrestre para satisfacer alguna necesidad o requerimiento individual o de la sociedad, como la agricultura (Cassman *et al.*, 2005).

### **2.8.1 Efectos del cambio de uso del suelo**

Los cambios de uso y cobertura de suelo tienen diferentes efectos sobre el medio ambiente, Pauliet *et al.*, (2005), Molina (2007), Romero y López (2007) y Vásquez *et al.*, (2008), estos autores también plantean algunos de los principales efectos tales como:

- Intensiva reducción de espacios con vegetación natural incluyendo terrenos de cultivo, áreas naturales y humedales.
- Pérdida de la biodiversidad reducción y desaparecimiento de hábitats, corredores ecológicos y parches de vida silvestre.
- Transformación del paisaje provocando el aumento de la fragmentación y disminuyendo la conectividad entre ecosistemas.
- Cambios en el ciclo hidrológico.
- Cambios en el clima urbano generando la consolidación de islas de calor al interior de las ciudades (DeFries *et al.*, 2004).
- Contaminación del aire, agua, suelos y degradación de este último factor.

Además, señalan que la expansión urbana es la perturbación ambiental más drástica, rápida e irreversible sobre el medio ambiente, que ocurre mediante una serie de cambios de usos y coberturas naturales o seminaturales por usos y coberturas urbanas. De la misma forma Molina (2007), señala que los cambios de usos y coberturas del suelo son procesos considerablemente dinámicos y continuos en ciudades en proceso de expansión y en las zonas que comprenden sus áreas metropolitanas. A continuación se definirá los efectos del cambio de uso del suelo en cada factor sea este ambiental y/o socioeconómico.

#### **a. Factores biofísicos**

Los factores biofísicos, ya sean procesos graduales, inmediatos o mediadores, definen la capacidad natural o condiciones ambientales para el cambio de uso del suelo, con un conjunto de factores bióticos y abióticos (clima, suelos, litología, topografía, relieve, hidrología y vegetación) que varía de región a región y a lo largo del tiempo (Lambin *et al.*, 2001).

#### **b. Factores económicos y tecnológicos**

Los factores económicos aparentemente juegan un papel muy importante. Esto no debería ser una sorpresa puesto que la actividad económica mundial se ha multiplicado por siete entre 1950 y el 2000 (mientras la población mundial apenas ha crecido el doble), y por ende aumentando la demanda de muchos de los servicios y bienes de los ecosistemas (Kasperson *et al.*, 2005).

#### **c. Factores demográficos**

Al menos desde el siglo XVIII, el crecimiento de la población y la presión que supone sobre el uso del suelo (especialmente las prácticas agrícolas en particular) han sido el centro de atención sobre la relación humano-ambiente. Un consenso general se ha desarrollado desde entonces proponiendo que no es el puro aumento de la población, sino que su distribución y composición, las que se han convertido en las principales características de la población, reconociendo la importancia de demandas indirectas o de consumo de la tierra por un incremento de la población urbana (Lambin *et al.*, 2001).

Mientras el crecimiento poblacional puede ser la causa de muchos cambios en la cubierta y uso del suelo, sus efectos se manifiestan frecuentemente a través de

migraciones (temporales o circulatorias) o desplazamientos de grupos de personas, ya sea espontáneamente o con apoyo del Gobierno (Tri-Academy Panel, 2001).

#### **d. Factores institucionales**

El acceso a la tierra, al trabajo, al capital, a la tecnología e información es estructurado y generalmente restringido por políticas locales y nacionales e instituciones.

Los derechos de propiedad es claramente de dominio institucional, y los terratenientes tienen ciertas capacidades para participar o definir estas instituciones. Algunas instituciones que trabajan con los derechos civiles, la democratización, las organizaciones locales, las organizaciones ambientalistas son regidas por las instituciones que marcan las normas y manejan la distribución de los recursos, y por tanto de la economía. Probablemente la más influyente política en la dinámica del cambio del uso del suelo es la política económica. Políticas específicas (créditos, apoyo al mantenimiento de precios, subsidios, tarifas, impuestos) han sido identificadas en un tercio de los casos de intensificación de la agricultura, en donde los subsidios y el apoyo a los precios permitían a los agricultores incursionar en nuevos productos de una manera rentable (McConnell y Keys, 2005).

#### **e. Factores culturales**

Numerosos factores culturales también influyen en la toma de decisiones sobre el cambio de uso de suelo a otro, aún más, es de mucha importancia el no apartarse de las condiciones o tendencias culturales de las causas subyacentes económicas y políticas, incluyendo las inequidades como el estatus de la mujer, minorías étnicas y familias pobres, que afectan el acceso a los recursos y al uso del suelo (Henríquez, 2012).

### **2.8.2 Importancia de los estudios de cambio de uso del suelo**

Los estudios del Cambio Uso del Suelo (CUS) surgieron hace muchos años cuando los investigadores observaron que los procesos en la superficie de la tierra influyen en el clima (Henríquez, 2012). A mediados de la década de 1970 se reconoció que el cambio de la cobertura del suelo modifica el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma (albedo) (Sagan *et al.*, 1979).

Entender y predecir los impactos de los procesos superficiales en el clima requiere reconstrucciones históricas y proyecciones hacia el futuro (Ramankutty y Foley, 1999), es por ello que durante las últimas dos décadas numerosos investigadores han mejorado las mediciones del cambio de la cobertura del suelo y, también han avanzado en el entendimiento de las causas del cambio, y se han realizado modelos de predicción del CUS (Lambin *et al.*, 2001).

Estos modelos de CUS ofrecen la posibilidad de analizar la sensibilidad de los patrones de uso de suelo a cambios en variables selectas. También permiten comprobar la estabilidad asociada a los sistemas sociales y medios ambientales a través de la construcción de escenarios (Veldkamp y Lambin, 2001).

Finalmente la importancia de estos estudios es que proporcionan información base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Lambin *et al.*, 2001). También explican en cierto grado la predicción que se pueden presentar en el futuro, al igual permiten calcular el impacto que estos cambios han dejado en el ambiente.

## **2.9 MODELOS PARA ANALIZAR LOS CAMBIO DE USO DEL SUELO**

Según autores como Pontius y Malanson (2005); Henríquez *et al.*, (2006) y Aguilera *et al.*, (2006), los modelos de simulación de cambios de usos y coberturas de los suelos se han vuelto cada vez una herramienta más ocupada y útil en el análisis espacial de sus patrones y sus potenciales efectos negativos sobre el territorio. No obstante, señalan la falta de aplicaciones de estos modelos de simulación a ciudades latinoamericanas.

Estos modelos de simulación, que son una representación de un componente o proceso de la realidad, son considerados como modelos dinámicos capaces de pronosticar posibles comportamientos futuros. También indican la magnitud de los cambios, su localización a futuro y sus patrones espaciales (Henríquez *et al.*, 2006).

Principalmente, estos modelos utilizan parámetros simples para las simulaciones, donde incluyen la extensión de las actuales áreas urbanas, las principales vías de transporte, la distancia a los mercados de trabajo, bienes e insumos, las condiciones topográficas, la existencia de tierras en situación especial (Henríquez y Azócar, 2007).

En la literatura se identifican básicamente dos tipos de modelos de simulación de cambio de uso y cobertura de suelo (Paegelow *et al.*, 2003; Sudhira *et al.*, 2004; Henríquez *et al.*, 2006), que están basados en modelos estadísticos de regresiones, que utilizan técnicas de regresión espacial logística principalmente, para analizar los patrones de crecimiento urbano y modelar el crecimiento de las ciudades, y modelos basados en transiciones espaciales (Henríquez *et al.*, 2006), dentro de los cuales se destaca la utilización de métodos estocásticos como Cadenas de Markov y Autómatas Celulares (Jenerette y Wu, 2001; Pontius y Malanson, 2005; Henríquez *et al.*, 2006), los cuales han sido integrado y complementados con la confección de imágenes de aptitud mediante una Evaluación Multicriterio (Pontius y Malanson, 2005; Henríquez *et al.*, 2006), Estos modelos por separado presentan limitaciones debido a que fallan en interactuar con los factores causales que dirigen el crecimiento urbano tales como el crecimiento de población, la disponibilidad de tierra, y la proximidad a los centros de la ciudad y las carreteras (Sudhira *et al.*, 2004). A continuación se describirá algunos modelos para la predicción de los usos del suelo.

### **2.9.1 Análisis de cadenas de Markov**

Es un procedimiento de predicción del cambio del uso del suelo que utiliza la combinación de Autómatas Celulares y las Cadenas de Markov (Eastman, 2009). Las Cadenas de Markov pueden simular cambios de predicción de varias clases de transición. La cadena espacio-temporal de Markov se puede utilizar para cuantificar la cantidad de cada categoría en el paisaje. Por lo tanto, la ubicación de la transición el cambio se basa en mapas de aptitud y la regla de contigüidad (Pontius *et al.*, 2005).

Las Cadenas de Markov son utilizadas para estimar las probabilidades de que un uso de suelo determinado cambie en un periodo dado a otro uso de suelo (Paegelow *et al.*, 2003). También se utilizan para estimar las probabilidades de que un uso de suelo determinado cambie en un periodo dado a otro uso de suelo (Paegelow *et al.*, 2003), por ello resulta ser una herramienta de utilidad para el estudio de la dinámica que se produce en el territorio, aportando información útil cuando se desea generar propuestas para la ordenación y uso del espacio y la planificación del territorio (Paegelow *et al.*, 2003).

## 2.9.2 Análisis autómatas celulares

El modelamiento a través de Autómatas Celulares ha tenido un progresivo desarrollo. Son cada vez más los modelos de cambio de uso de suelo basado en este método (Sudhira *et al.*, 2004; Aguilera *et al.*, 2006). Esta herramienta matemática compleja, fue desarrollada por John Von Neuman y Stanislaw Ulam, y es mundialmente conocida gracias al popular *Game of life*, publicado en 1970 por John Conway (Aguilera *et al.*, 2006).

Diversos autores que han realizado modelos basados en Autómatas Celulares, señalan que éstos son capaces de modelar dinámicas espaciales, reproduciendo patrones complejos, tales como los que se manifiestan en las ciudades (Sudhira *et al.*, 2004; Aguilera *et al.*, 2006; Henríquez *et al.*, 2006). Los Autómatas Celulares reproducen estas dinámicas espaciales en base a reglas simples, como son la representación de los usos en celdas, la influencia de celdas vecinas, como también reglas de transición, que están en relación con accesibilidad, transición potencial de cada celda, entre otras (Henríquez *et al.*, 2006).

Este modelo también es capaz de modelar dinámicas espaciales (Aguilera *et al.*, 2006; Henríquez *et al.*, 2006). Además incluye de mejor manera variables físicas y sociales basado en regresión logística (Aguilera *et al.*, 2006).

## 2.9.3 Imágenes de Aptitud

Se pueden definir como el interés o disposición a emplazar un uso o cobertura de suelo en algún lugar. Esta aptitud o disposición es de carácter básico, lo cual implica que no incluye necesariamente una visión de idoneidad de ocupación del territorio, sino que representa tendencias registradas en el periodo de análisis o áreas propuestas por instrumentos de planificación. Estas imágenes son el resultado de una suma lineal ponderada obtenida mediante una Evaluación Multicriterio (EMC), y tienen como objetivo crear para cada uso o cobertura de suelo una imagen que presenta las predicciones al tiempo medelado (Henríquez *et al.*, 2006)

- Restricciones o limitantes: Se trata de criterios que restringen la disponibilidad de algunas alternativas según la actividad evaluada. Con estos criterios se excluyen varias categorías de la capa analizada para la evaluación. Se genera una capa binaria



(0 ó 1) en la cual un código representa las alternativas susceptibles de ser elegidas para la actividad, y otra, la no disponibilidad para la actividad (Rivera, 2001).

- Forzamientos o Factores: Es un criterio que realza o detracta la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración. Se mide en una escala continua, y se genera en una capa con rangos que van desde cero (nula aptitud) a 255 (máxima aptitud) (Rivera, 2001).

#### **2.9.4 Modelo estocástico**

Este método ha presentado mejores resultados, en comparación con métodos de regresión, en la simulación de escenarios de crecimiento urbano que consideran el proceso “salto de rana”. Además incluye de mejor manera variables físicas y sociales que modelos basados en regresión logística (Aguilera *et al.*, 2006). Porque puede simular varias categorías a la vez y recoge el carácter estocástico del uso del suelo urbano (Pontius y Malanson, 2005; Henríquez y Azócar, 2007).

#### **2.9.5 Land Change Modeler**

El Land Change Modeler (LCM) para la sostenibilidad ecológica de IDRISI es un modelo de análisis del cambio en la cobertura y uso del suelo y también de predicción. Este modelo proporciona un completo análisis de los cambios en el suelo mediante la creación de mapas y gráficos del cambio del suelo, transiciones y tendencias de los tipos de suelo. En cuanto al módulo de predicción, este modelo es capaz de crear escenarios de cambio del uso del suelo con la integración de los factores biofísicos y socioeconómicos que influyen en el cambio de uso de la tierra. Por lo general, los factores biofísicos integrados en el modelo son tipo de uso del suelo, la altitud, la pendiente (derivada de los modelos digitales de elevación-MDE), y características hidrológicas (distancia a los ríos y lagos). En cuanto a los factores socioeconómicos, el modelo podría utilizar la infraestructura (carreteras) y la demografía (Oñate y Bosque, 2010).

La principal ventaja de este modelo es la sencilla interfaz que puede ser utilizado como una herramienta de apoyo para la evaluación del impacto en el hábitat y la biodiversidad. El resultado proporciona una serie de escenarios espaciales explícitos y mapas de vulnerabilidad. Los mapas de vulnerabilidad son generalmente elegidos para la evaluación del impacto de uso del suelo, ya que provee análisis integrales del potencial

de cambio. Una herramienta de validación está disponible también para evaluar la calidad del mapa de predicción en relación con un mapa de la realidad (Jiang, 2007; Jaimes 2008).

### **2.9.6 CLUE (Conversion of Land use and its Effects)**

El modelo CLUE-s (Conversion of Land use and its Effects), es una herramienta para comprender mejor los patrones de uso del suelo y explorar posibles cambios futuros en el uso del suelo a escala regional (Verburg y Overmars, 2007). Este modelo es uno de los modelos de asignación del suelo más utilizado en el mundo con aplicaciones en diferentes regiones y diversa extensión. El modelo CLUE-s se utiliza para diferentes propósitos, tales como agricultura, deforestación y análisis urbano (Henríquez, 2012).

La metodología integra el análisis espacialmente explícito de las relaciones entre el uso del suelo y sus fuerzas motrices a una técnica dinámica de simulación para explorar los cambios en el uso del suelo bajo los supuestos de los escenarios.

El modelo CLUE ha sido desarrollado para aplicaciones a nivel continental o mundial. Utiliza datos “soft” cuando los datos de alta resolución no están disponibles, lo que suele ocurrir en las áreas extensas. El modelo CLUE se basa en datos de alta resolución en donde cada píxel sólo contiene un tipo de uso de suelo (Verburg y Overmars, 2007).

### **2.9.7 Datos generales necesarios para la modelación**

Según, Henríquez (2012) señala que para la realización de una modelación de escenarios futuros en estudios relacionados a cambios de coberturas o usos del suelo, se puede utilizar algunas de las variables que en los siguientes literales se presentan:

#### **a. Cambio de la cubierta y uso del suelo**

- Proyecciones geográficas de la información de la cobertura y uso del suelo (líneas base: dinámica del desarrollo urbano, industrial, agricultura de regadío y de secano, áreas semi-naturales y áreas naturales forestales/no forestales);
- Proyecciones geográficas de áreas legalmente protegidas; y,
- Proyecciones geográficas históricas (a partir de datos históricos).

## **b. Ambiental**

- El clima (precipitación, temperatura, radiación, humedad relativa, etc.);
- Datos topográficos (altitud, pendientes y orientaciones);
- Suelos (carbono orgánico del suelo, fertilidad, textura, etc.);
- Transporte de nutrientes; y,
- Degradación de los recursos: suelo, agua (superficial y subterránea), aire.

## **c. Económico**

- Estructura de la producción multisectorial (economía en su totalidad, no sólo los sectores agrícolas);
- Usos de los insumos (tecnología, insumos agroquímicos, mano de obra, maquinaria, riego);
- Precios, subsidios e impuestos (a nivel provincial o nacional); e,
- Infraestructura. Dos aspectos: la ubicación física y la tasa de uso.

## **d. Social**

- Censo de población y los patrones espaciales;
- La distribución del ingreso;
- Migraciones;
- Tenencia de la tierra, derechos de agua, acceso a las tierras comunales, etc.); y,
- Salud (distribución de la relación real / potencial de enfermedades).

## **e. Factores multinivel (local/global)**

- Crecimiento demográfico, cambio en la estructura poblacional y la migración;
- Demanda de energía, productos y servicios (patrones de consumo, turismo);
- Estilos de vida y las interacciones urbano-rurales;
- Fenómenos extremos y variabilidad en las condiciones biofísicas;
- Fuerzas macroeconómicas;
- Políticas y directivas nacionales; y,
- Fuerzas externas: globalización, regímenes comerciales, acuerdos internacionales.

### **3 METODOLOGÍA**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

##### **3.1.1 Ubicación y límites del cantón Catamayo**

El cantón Catamayo está ubicado en el cálido valle de Garrochamba al sur del país en la Zona de Planificación siete en la provincia de Loja (Figura 1); sus límites son: Al Norte con la provincia de El Oro y el cantón Loja, al Sur con los cantones de Gonzanamá y Loja. Al este por el cantón Loja y al oeste por los cantones de Chaguarpamba, Olmedo y Paltas. Se encuentra a una distancia de 36 km de la ciudad de Loja.

##### **3.1.2 Ubicación geográfica**

Según Clavijo y Castillo (2007), 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:

Latitud 04° 0' y 03° 50' S  
Longitud 79° 30' y 79° 15' W

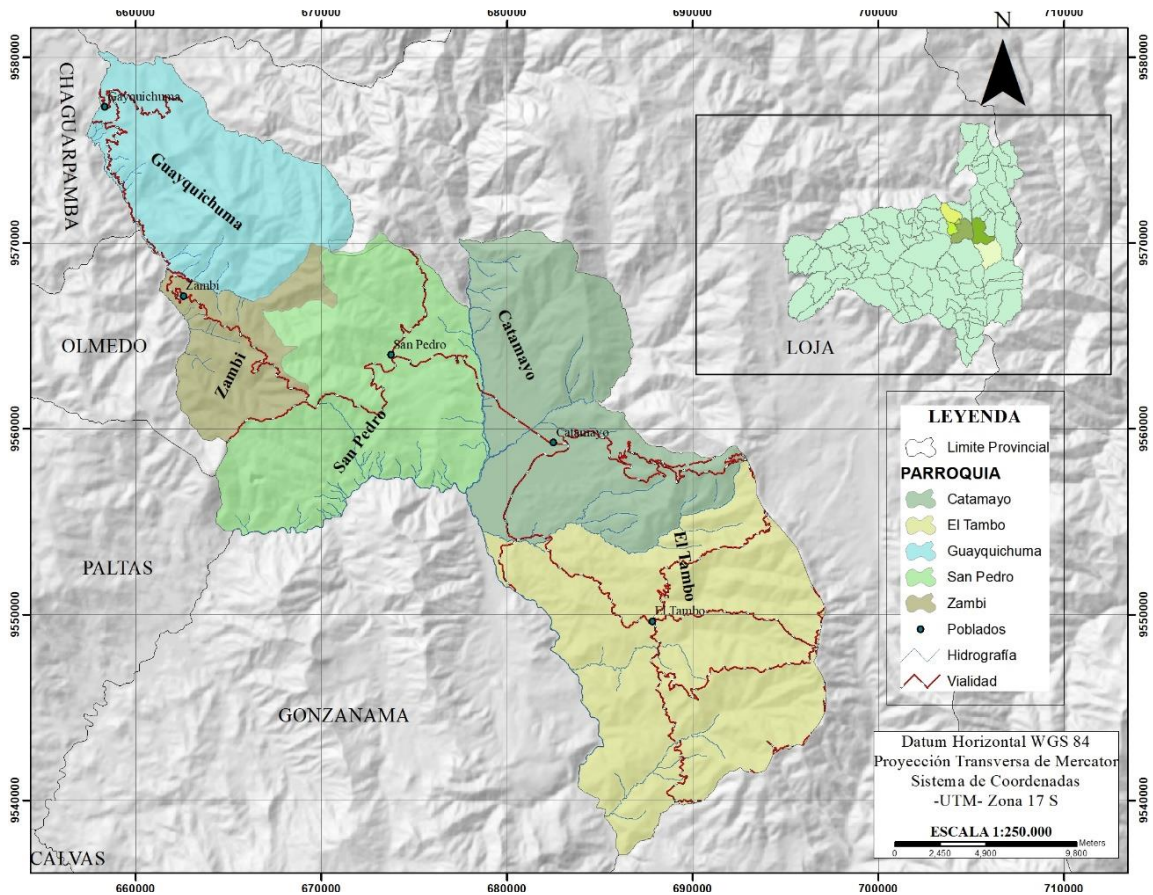
##### **3.1.3 División política**

El cantón tiene 1 parroquia urbana y 4 parroquias rurales y 47 barrios. Parroquia urbana: Catamayo y parroquias rurales: El Tambo, Guayquichuma, San Pedro de la Bendita y Zambi.

##### **3.1.4 Características ambientales**

Catamayo presenta una orografía irregular en la periferia del valle con elevaciones como: Guachichambo, Déquel, Lacarpa, Santana, Ramplán, Chalchuma, Santiago, Urcupunta, Las Aradas, Capilla Alta y Pucará. También El Villonaco y la cadena montañosa de la Loma del Oro, el cerro Colambo y Chivato, Las Chinchas y las Palmas (Guzmán *et al.*, 2009). 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 (Clavijo y Castillo, 2007).

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 (Clavijo y Castillo, 2007).



**Figura 1.** Ubicación del cantón Catamayo, respecto de la provincia de Loja

### 3.2 MATERIALES

- Imágenes Landsat 5 TM, 8 OLI con resolución de 30 y 15m., Datum WGS 84 de 1996 y 2015;
- Mapa base del cantón Catamayo, Escala 1: 80000, Datum WGS 84;
- SIG: TerrSet, ERDAS IMAGINE 2014 y ArcGis 10.3;
- Fotografías Aéreas de Catamayo
- Google Earth;
- Información cartográfica secundaria existente en el Centro de Geomática Ambiental CINFA de la Universidad Nacional de Loja UNL e información bibliográfica de estudios relacionados a la temática de esta investigación;

- Cámara Fotográfica;
- Libreta de campo;
- Bolígrafos; y,
- Sistema de Posicionamiento Global GPS

### **3.3 DETERMINACIÓN DE LOS CAMBIOS DE USO DEL SUELO MEDIANTE UN ANÁLISIS MULTITEMPORAL PARA LOS PERIODOS COMPRENDIDOS ENTRE 1996 A 2015.**

#### **3.3.1 Recopilación de información**

Para el análisis multitemporal y cambios de uso del suelo, se usaron dos imágenes de satélite antes mencionadas en los materiales, se las obtuvo de la base de datos del Servicio Geológico de Estado Unidos (USGS).

La información cartográfica secundaria se la recopiló en el Centro de Geomática Ambiental CINFA de la Universidad Nacional de Loja.

#### **3.3.2 Preprocesamiento de imágenes**

Este proceso consistió en la búsqueda de imágenes de satélite disponibles de la zona de estudio en los diferentes servidores web, donde se analizó el porcentaje de nubes, problemas de bandeamiento, pixeles perdidos, correcciones geométricas, periodo de disponibilidad. Se realizaron correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas y se obtuvieron parámetros físicos y se derivaron bandas adicionales para mejorar la interpretación visual y digital de las escenas seleccionadas. En si se trató de obtener una imagen de buena calidad para poder realizar el procesamiento.

##### **3.3.2.1 Corrección Geométrica**

Una vez obtenida la información, se realizó una corrección geométrica u ortorrectificación de las imágenes de manera que se eliminen las distorsiones topográficas en la superficie terrestre.

En las imágenes de satélite de la serie Landsat TM5 y OLI 8, seleccionadas fue corregida su posición geométrica a la zona de Ecuador, en la proyección WGS84 zona 17S, ya que inicialmente al momento de importar a la zona de trabajo tenían la posición al norte. Este problema se lo corrigió en la metadata de cada una de las imágenes.

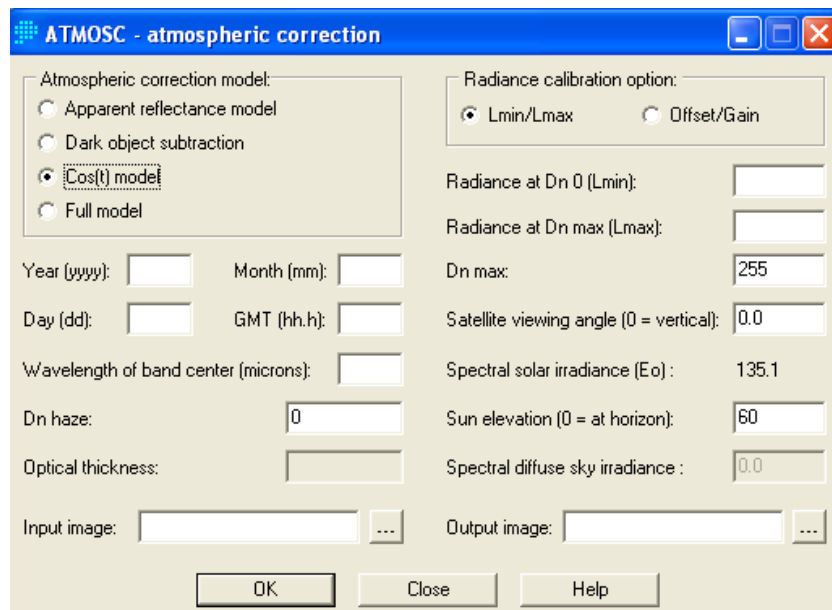
### 3.3.2.2 Correcciones radiométricas

#### a. Corrección atmosférica

Se procedió a realizar la corrección atmosférica a cada imagen, con la finalidad de eliminar los problemas causados por las distorsiones provocadas por la atmosfera al momento de toma de las escenas. Se trabajó con el módulo de Atmosc (Figura 2) disponible en el software TerrSet. La información requerida por el modulo se obtuvo de la metadata de cada imagen.

Los datos que el modulo requiere de cada imagen son:

Elevación solar, Offset, Sain, Lmin/Lmax, centro de la longitud de onda, fecha de adquisición de la imagen.



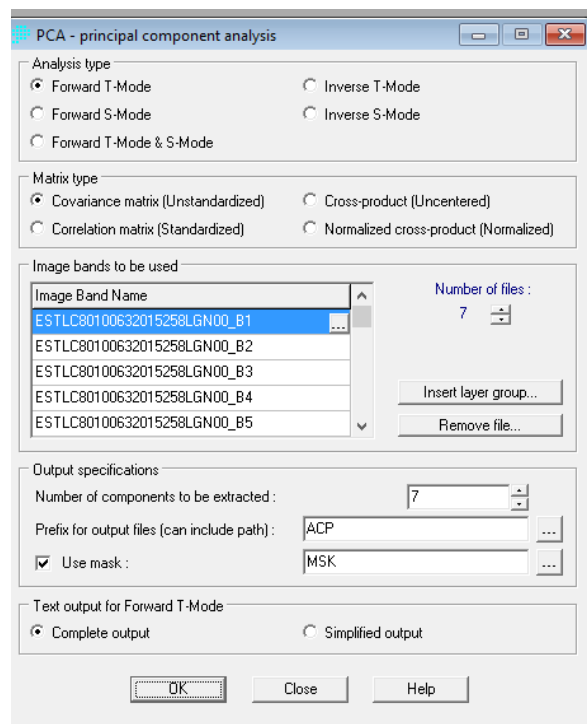
**Figura 2.** Módulo atmosc para realizar corrección atmosférica

#### b. Análisis de Componentes Principales (ACP)

El objetivo del Análisis de Componentes Principales (A.C.P.) es resumir un grupo amplio de variables en un nuevo conjunto (más pequeño) sin perder una parte significativa de la información original (Chuvieco, 1996). Para el usuario final de teledetección, el objetivo del A.C.P. es construir una o varias imágenes que incrementen su capacidad de diferenciar distintas coberturas. Es por ello que al realizar una composición color resulta interesante usar, en lugar de algunas bandas de la imagen, los componentes principales 1, 2 y 3 en la secuencia RGB respectivamente.

El A.C.P. puede aplicarse como realce previo a la interpretación visual o como procesamiento anterior a la clasificación. En general, esta técnica incrementa la eficiencia computacional de la clasificación porque reduce la dimensionalidad de los datos.

Además, los componentes principales se emplearon para corregir las consecuencias que las condiciones atmosféricas y los efectos que la radiación provoca en la calidad de los datos de las escenas de satélite. En la figura 3 se indica el módulo.



**Figura 3.** Módulo ACP para realizar correcciones radiométricas

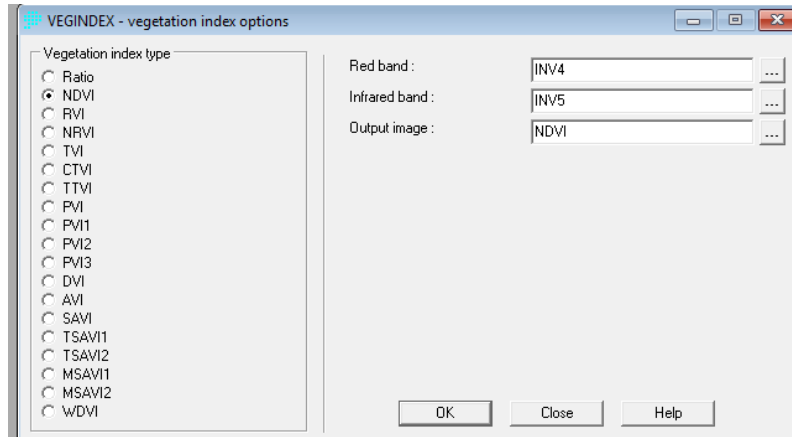
### c. Generación de Índices de Vegetación

Con el propósito de discriminar de forma más clara la abundancia de vegetación y mejorar la clasificación de las imágenes, se generó el índice de vegetación a través del módulo NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada). El índice también ayuda a atenuar el efecto producido por la sombras en las zonas donde el relieve es bastante pronunciado. Se utilizó el módulo VEGINDEX para crear estos canales, donde hay que ingresar las bandas que se utilizan para este fin, en imágenes Landsat 5 se utilizó las bandas 4 y 3 en Landsat OLI 8 las bandas 5 y 4 en el programa TerrSet, el cual se realizó una combinación de las bandas roja e infrarroja. Este proceso se generó para cada imagen de los diferentes años, como se expresa en la siguiente fórmula:



$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

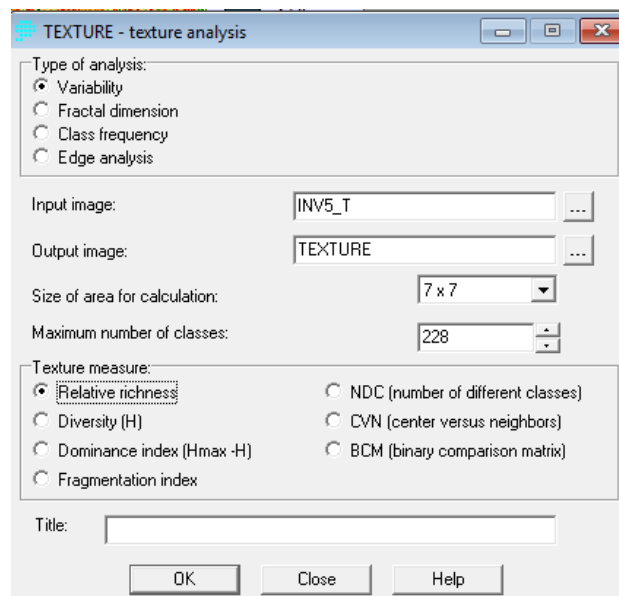
NIR: infrarrojo cercano  
RED: Rojo



**Figura 4.** Módulo Vegindex utilizado para el NDVI

#### d. Generación de banda textural

Esta banda se creó utilizando el módulo TEXTURE (figura 5), con el fin de generar una banda que contenga las características texturales. Calcula la medida de variabilidad (dimensión fraccional, frecuencia de clases, análisis de bordes, y otras) usando un molde de 3 por 3, 5 por 5 o 7 por 7.



**Figura 5.** Módulo Texture

Con todos estos tratamientos aplicados a cada imagen, se procedió hacer grupos de imágenes que contenían todas las bandas agrupadas en un solo archivo para posteriormente realizar la clasificación supervisada.

### **3.3.3 Procesamiento de imágenes**

El procesamiento de imágenes se refiere a la obtención del producto final de una imagen de satélite, en lo que respecta a su clasificación supervisada, que es el producto tangible de la interpretación visual y digital, donde fue necesario conocer el territorio y tomar datos en campo para realizar la clasificación.

#### **3.3.3.1 Trabajo de campo**

Antes de clasificar las imágenes, se efectuaron salidas de campo hacia las áreas accesibles del cantón Catamayo para reconocer, a través de la observación, los tipos de cobertura que no se visualizan correctamente en la imagen (Cuadro 1).

Para este fin se ocupó la imagen de satélite actual y un mapa de ubicación (Escala 1: 80000, Datum WGS 84) para ubicar los puntos GPS en las observaciones realizadas.

**Cuadro 1.** Observaciones realizadas en las salidas de campo, dentro del cantón Catamayo.

<b>N°</b>	<b>COORDENADA E (m)</b>	<b>COORDENADA N (m)</b>	<b>REFERENCIA</b>
1	693095	9557756	Pasto Cultivado
2	691065	9557622	Paramo
3	689234	9557132	Pasto Natural
4	687452	9558349	Matorral Xerofítico
5	685652	9557949	Matorral Xerofítico
6	685687	9560634	Matorral Xerofítico
7	669089	9562024	Bosque
8	667551	9563808	Bosque
9	663490	9566586	Pasto Natural
10	662126	9568420	Bosque
11	659947	9571205	Bosque
12	659000	9575363	Bosque
13	660373	9576947	Bosque
14	659637	9577947	Bosque
15	699861	9561506	Matorral Xerofítico
16	673338	9563155	Matorral Xerofítico
17	674546	9563443	Matorral Xerofítico
18	678881	9561891	Cultivos
19	680415	9551383	Matorral Seco Bajo
20	679994	9554795	Matorral Seco Bajo
21	681408	9554217	Matorral Seco Bajo
22	682267	9553913	Cultivos
23	683367	9552088	Cultivos
24	684760	9551822	Cultivos
25	685543	9550841	Cultivos
26	686457	9548803	Matorral Xerofítico
27	686800	9547822	Matorral Xerofítico
28	687851	9549557	Urbano
29	688135	9548076	Cultivos
30	688289	9545607	Matorral Xerofítico
31	688715	9544468	Matorral Xerofítico

**Fuente:** El autor

### 3.3.4 Clasificación supervisada

Para realizar de mejor forma la clasificación, se obtuvo un conocimiento previo de la zona de estudio, se trabajó sobre una composición de bandas RGB 5, 6, 4 y con los puntos de control tomados en campo, se generó un archivo de firmas espectrales, las mismas que permitió obtener una imagen de mejor discriminación de los píxeles para la identificación de los diferentes usos del suelo.

Para clasificar las imágenes se definió previamente la escala de trabajo y las clases de cobertura, de acuerdo al protocolo de leyenda temática establecida por el programa de socio bosque del MAE 2012. Como las imágenes Landsat son imágenes para trabajar a nivel regional, y tomando en cuenta el tamaño del píxel de 30 x 30 m y remuestreado a 15 m, la escala que se definió fue 1: 50 000, y las coberturas que se identificaron fueron las siguientes para las tres imágenes: (Ver cuadro 2).

**Cuadro 2.** Clases de cobertura

<b>CDG</b>	<b>Cobertura</b>
<b>1</b>	Bosque Natural
<b>2</b>	Vegetación Secundaria
<b>3</b>	Matorral Seco Bajo
<b>4</b>	Matorral Xerofítico
<b>5</b>	Cultivos
<b>6</b>	Pasto Cultivado
<b>8</b>	Pasto Natural
<b>9</b>	Mosaico Agropecuario
<b>10</b>	Páramo
<b>11</b>	Plantaciones Forestales
<b>12</b>	Urbano

**Fuente:** El autor

#### 3.3.4.1 Identificación de sitios de entrenamiento

El procedimiento que se utilizó fue de identificar sitios con características homogéneas en base a la interpretación visual de imágenes de satélite, utilizando la combinación de bandas 5, 6, 4 RGB, para estudios de vegetación en imágenes Landsat 8

OLI. Todas las muestras fueron almacenadas con un punto de GPS realizando una descripción de la categoría muestreada y detalladas en el mapa impreso.

El método que se utilizó para la colección de los datos de campo, fue mediante recorridos por las zonas que se encontraban cerca de las vías de acceso tanto vial, fluvial y de caminos de herradura, los que presentaban características espectrales homogéneas, luego se analizó en el programa.

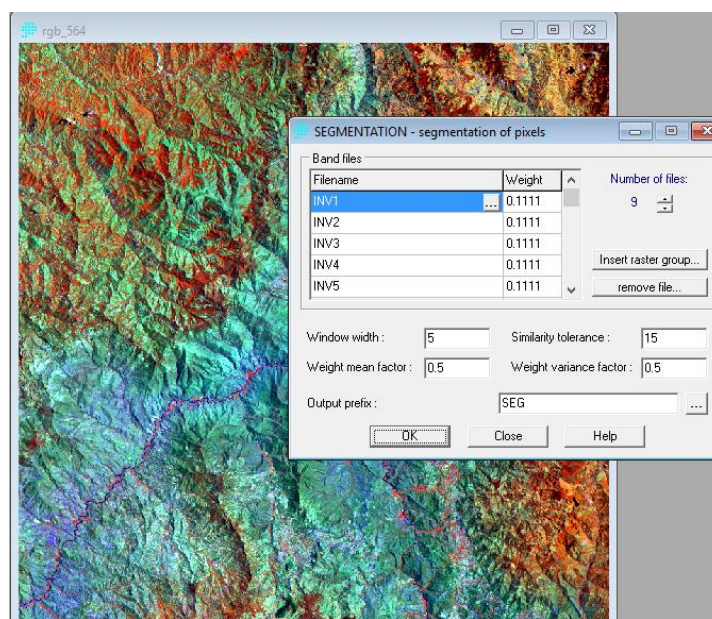
### 3.3.4.2 Segmentación de imágenes

Se utilizó el método de segmentación de imágenes que el cual agrupa los pixeles adyacentes en segmentos de la imagen según su semejanza espectral. La SEGMENTACIÓN emplea el método de la delineación de cuenca hidrográfica en función de la variación.

Se emplean tres pasos:

- **Segmentation:** se extraen los polígonos con características espectrales semejantes.
- **Segtrain:** se selecciona las firmas espectrales de las clases previamente establecidas.
- **Segclas:** se procede a clasificar la imagen.

En la siguiente imagen (figura 6) se describe la segmentación:



**Figura 6.** Proceso de segmentación de imágenes

### **3.3.4.3 Fase de asignación**

Una vez analizadas y reagrupadas las firmas se ejecutó la clasificación teniendo en cuenta algunos tipos de clasificadores:

- Clasificador de mínima distancia
- Clasificador de paralepípedos
- Clasificador de Mahalanobis distance
- Clasificador de Máxima Probabilidad

Se seleccionó el clasificador de Máxima Probabilidad, es un algoritmo paramétrico que asume distribución estadística para las clases consideradas, y se conoce los sitios de entrenamiento en territorio, es uno de los más empleados en la clasificación supervisada. (Eastman, 2012, 180 p.)

### **3.3.4.4 Análisis post clasificación.**

Este análisis se lo utilizó para reorganizar aquellos píxeles que se categorizaron en forma incorrecta, agrupar categorías y agregar clases que por tener la misma reflectividad son difícilmente separables. Para identificar los sitios de entrenamiento se utilizó la Herramienta Áreas de Interés (AOI), que consiste en crear polígonos manualmente, verificando su homogeneidad en cada sitio. Con esto se obtuvieron las clases finales de la clasificación.

### **3.3.5 Determinación del cambio de uso del suelo y de la tasa de deforestación.**

A continuación se explica el procedimiento que se utilizó para el análisis de los cambios de uso del suelo y la tasa de deforestación, entre los diferentes periodos.

#### **3.3.5.1 Identificación del cambio de uso del suelo.**

Una vez clasificadas las imágenes, se utilizó la técnica de tabulación cruzada, con ayuda del módulo Intersect, del programa ArcMap 10.3 se sobrepusieron las imagen de 1996 y 2015, con esto se generó una base de datos, la cual se especificó el tipo de cambio entre coberturas; para tener como resultado un mapa con los cambios que han sucedido entre estos dos periodos.

Los tipos de cambio se definieron en base a los recorridos de campo e información bibliográfica estudiada. En el Cuadro 3, se describe los tipos de cambio que se identificaron:

**Cuadro 3.** Tipos de cambio identificados en el cantón Catamayo, en los periodos de 1996 y 2015

<b>Tipo de Cambio</b>
Deforestación
Degradación de Ecosistema Natural
Desarrollo Agrícola
Desarrollo Civil
Desarrollo Forestal
Movimiento de Cauce de Ríos
Regeneración Natural
Sucesión Natural
Sin Cambios
Sin Información

**Fuente:** El autor

**Cuadro 4.** Características de los tipos de cambio identificados en el cantón Catamayo, en los periodos de 1996 y 2015

<b>TIPO DE CAMBIO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Deforestación</b>	Se refiere a áreas cuya superficie forestal ha sido destruida por acción humana, debido principalmente a talas o quemas realizadas con el propósito de adquirir madera o para obtener suelo para agricultura y ganadería
<b>Degradación de Ecosistema</b>	Son áreas de ecosistemas naturales que han sido degradadas durante el transcurso del tiempo, debido a causas antrópicas.
<b>Desarrollo Agrícola</b>	Son áreas que han sido producidas para obtener réditos de tipo económico y alimenticio.
<b>Desarrollo Civil</b>	Son las superficies que han sido ocupadas para la construcción de vías y la expansión de ciudades.

<b>Desarrollo Forestal</b>	Es la actividad que permitan en el largo plazo una mejor calidad de vida, y una protección y conservación de los recursos naturales y el ambiente con visión sostenible.
<b>Movimiento de Cauce de Río</b>	Se refiere a aquellas áreas en donde los cursos de los ríos han cambiado, debido a efectos climáticos y a la extracción de materiales pétreos.
<b>Regeneración Natural</b>	Son aquellas áreas que se han ido recuperando naturalmente en el transcurso del tiempo, en ausencia de la intervención humana, después de haber sufrido una alteración. Esta acción resulta en el incremento de la funcionalidad del ecosistema, la complejidad y estructura en la diversidad de especies vegetales y la disponibilidad de un hábitat, entre otros.
<b>Sucesión Natural</b>	Son aquellas áreas en donde se ha dado un proceso gradual por el cual el ecosistema ha cambiado a otro, y se ha desarrollado durante un periodo de tiempo.
<b>Sin Cambios</b>	Esta categoría se le ha dado a aquellas áreas que durante el periodo de tiempo analizado, no han sufrido cambios en la cobertura vegetal.
<b>Sin Información</b>	Se refiere a aquellas áreas que no han sido analizadas, debido a que no hay información que argumente los cambios generados durante el periodo de tiempo analizado.

**Fuente:** El autor

En el siguiente cuadro 5, se muestra la matriz utilizada para el análisis de cambios entre las fechas señaladas.



**Cuadro 5.** Matriz de cambios utilizada para el cruce de mapas

Cambios		Cobertura 2015												
Cobertura 1996	1986	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Bosque Natural	1													
Vegetación Secundaria	2													
Matorral Seco bajo	3													
Matorral Xerofítico	4													
Cultivos	5													
Pasto Cultivado	6													
Pasto Natural	7													
Cuerpos de Agua	8													
Páramo	9													
Plantaciones Forestales	10													
Urbano	11													
Mosaico Agropecuario	12													
Nubes	13													

**Fuente:** El autor

### 3.3.5.2 Análisis de la tasa de deforestación

Para calcular las distintas métricas de deforestación, se utilizó las fórmulas empleadas en el estudio “**Estimación de la Tasa de Deforestación del Ecuador Continental**”. La primera corresponde a la deforestación total anual promedio para un período determinado, definida como:

$$R = \frac{A1-A2}{t2-t1} \quad (2)$$

Donde R es la deforestación total anual promedio, A2 y A1 son las áreas de bosque en la fecha final (t2) e inicial (t1), respectivamente (Puyravaud 2003).

Adicionalmente, se realizó el cálculo de la tasa de cambio anual, que se obtiene por medio de la comparación del área cubierta por bosque en la misma región en dos épocas diferentes. La fórmula empleada en el estudio resulta de una tasa porcentual anual, usada frecuentemente para cálculos de esta índole (Puyravaud 2003).

$$q = \left(\frac{A2}{A1}\right)^{1/(t2-t1)} - 1 \quad (3)$$

Donde  $q$  es la tasa de cambio anual,  $A_2$  y  $A_1$  son las áreas de bosque en la fecha final ( $t_2$ ) e inicial ( $t_1$ ), respectivamente (Puyravaud 2003).

### **3.4 MODELACIÓN DE LOS CAMBIOS FUTUROS DE DEFORESTACIÓN DEL CANTÓN CATAMAYO, EN BASE AL MODELADOR DE CAMBIOS EN EL TERRENO (LCM), DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA TERRSET.**

Para modelar los cambios futuros de deforestación se realizó un procedimiento que implicó el análisis de variables determinadoras de cambios y la construcción de un modelo que utilice estas variables para generar un escenario futuro de cambios.

#### **3.4.1 Generación de escenarios de deforestación al año 2030 y 2060**

La predicción de cambios terrestres se elaboró utilizando el Modelador de Cambios en el Terreno (LCM) para Sustento Ecológico. Se trata de un software integrado dentro de TerrSet, orientado al constante problema de conversión acelerada del terreno y a las necesidades analíticas bien especificadas de la conservación de la biodiversidad.

El proceso constó de tres pasos:

- Análisis de cambios.
- Modelador del potencial de transición.
- Predicción de cambios.

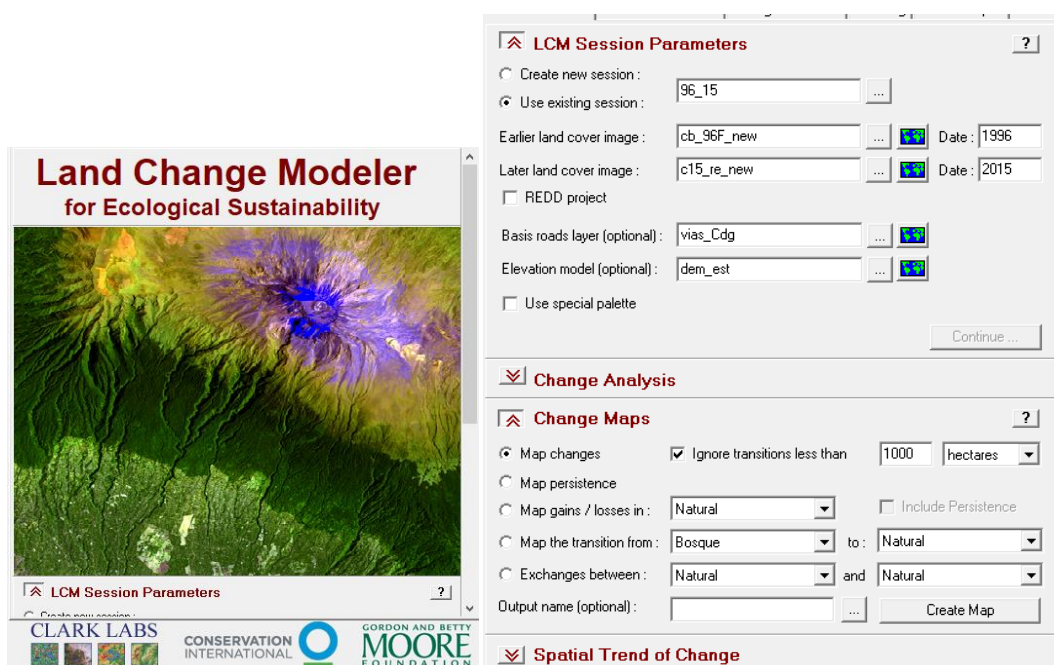
El cual se basa en los cambios históricos de los mapas de superficie terrestre, para proyectar a futuros escenarios (Eastman, 2012, 227p).

Se diseñó un escenario de cambios históricos entre el periodo 1996 al 2015; se evaluó los cambios de este periodo y a partir de esto se creó una imagen de uso del suelo estimada al año 2015, la misma que fue validada con la imagen real de uso del suelo actual al 2015, el proceso de validación sirve para obtener el porcentaje de certeza de la estimación y así realizar las proyecciones al 2030 y 2060, en periodos de quince y treinta años.

Para crear los mapas de transiciones, se estableció una transición menor a 1000 ha, con el propósito de filtrar únicamente las clases más significativas y las que son esenciales para entender y modelar los cambios.

También se creó un mapa de tendencias espaciales de cambios, dejando por defecto una tendencia de tercer orden, para generalizar ampliamente el patrón de cambio.

En la siguiente figura 7 se muestra el módulo, con las especificaciones antes descritas:



**Figura 7.** Módulo de Change analysis de TerrSet

### 3.4.1.1 Variables Explicativas

Estas variables explicativas ayudan a simular donde ocurrirá la deforestación dentro del modelo, asumen la distribución espacial de los factores biofísicos y socioeconómicos juegan un importante rol para obtener los sitios de explotación del paisaje. (Brown, 2003, 20 p)

- La cobertura vegetal y uso del suelo, permite generar mapas de cambio de cobertura y uso de la tierra (CCUT), así como las matrices de cambio utilizadas para calcular las tasas de deforestación para los periodos 1996 - 2015.
- La presencia de comunidades y centros urbanos, así como infraestructura y servicios asociados, puede explicar una parte de la pérdida de cobertura vegetal (Geist & Lambin, 2001; Forrest et al., 2008).
- El porcentaje de pérdida de cobertura vegetal aumenta con la proximidad a los caminos (Geist & Lambin, 2001). Sin embargo, la influencia de cada camino depende de su transitabilidad y, por lo tanto, de su rol en la reducción de los costos

de transporte al mercado de diferentes productos agrícolas o pecuarios (Locklin & Haack, 2003; Fleck et al., 2007)

- La elevación y pendiente, son factores de selección para la ubicación de actividades productivas, sobre todo al efecto topográfico sobre la temperatura, por la gradiente térmica, la humedad.

Para la zona de estudio se elaboró las siguientes variables:

- Mapa de cobertura vegetal del año 1996
- Mapa de cobertura vegetal del año 2015
- Evidencia del cambio
- Modelo de elevación digital del terreno
- Mapa de distancia a áreas de cambio
- Distancia a edificios
- Distancia a manzanas

#### **3.4.1.2 Proceso de Predicción de Cambios en LCM**

En esta parte se realizó todo el proceso integrado en Land Change Modeler (LCM), el mismo que consiste en obtener los datos de cambios ocurridos en dos fechas de estudio en este caso 1996 al 2015. Se obtuvieron los cambios entre categorías de clases de uso del suelo, y la tendencia del cambio, como una representación espacial de los sitios de cambio en territorio. Con estos datos se obtuvieron los potenciales de transición que ocurren entre las fechas y se agregan variables que ayudan a describir los procesos de cambios. Finalmente se realizó la predicción de uso del suelo a futuro, el mismo que es validado con una imagen de uso del suelo de fecha actual 2015, para obtener el dato de cuanto se predijo en forma correcta el uso del suelo actual.

#### **3.4.1.3 Evaluación de cambios**

En este proceso se realizó la evaluación del cambio entre las categorías de los mapas del periodo en estudio, donde se obtuvo las ganancias, pérdidas, cambio neto, persistencia y mapeo de transiciones específicas entre las clases de cobertura vegetal, se obtuvieron mapas de tendencias que explican espacialmente los cambios en el territorio para el periodo estudiado.

Dentro de este proceso se pasó por varias etapas, la primera fue analizar los cambios de uso del suelo, utilizando las imágenes clasificadas de 1996 y 2015; en la segunda fase se modeló las dos transiciones más importantes (bosque- agricultura y agricultura-bosque) utilizando las variables explicativas. En la tercera fase se especificó la fecha final de predicción de cambios, eligiendo el modelo de predicción suave, el cual da como resultado un mapa de vulnerabilidad al cambio para el conjunto de transiciones seleccionadas.

El mapa producido fue validado, como resultado se obtuvo un mapa con la distribución espacial de los errores y aciertos del modelo, con el cual analizó el funcionamiento del modelo, las zonas que obtuvieron mayores errores y la causa de esos errores.

#### **3.4.1.4 Predicción del cambio de uso del suelo**

La predicción se la realizó en el panel Change Prediction, donde se generaron los mapas de uso del suelo al 2030 y 2060, considerando periodos de tiempo en intervalos de quince y treinta años. Se generan dos mapas uno de variable discreta que representa el uso del suelo y otro en escala continua que representa el riesgo de cambio.

#### **3.4.1.5 Calibración y Validación del modelo**

El proceso de validación es esencial en el modelo predictivo cuantitativo (Isaaks y Srivastava 1989, Park y Kim 2002, Pontius et al., 2007). En el modelado LUCC basado en SIG, se puede evaluar una simulación comparándola con su mapa de referencia, considerado como una observación "verdadera" (Pontius et al., 2007). El elemento común de estos procesos de validación es la separación de los datos para la calibración y la validación. A partir de este contexto, el modelo de deforestación de referencia se calibró con datos de 1996 y 2015, y los datos de 2015 se utilizaron para validar la calibración.

La validación se realizó utilizando el módulo ROC y la observación verdadera; donde la estadística determina cuanto una superficie continua predice bien los lugares dado la distribución de una variable booleana, obteniéndose el porcentaje de aceptación del modelo generado con las variables utilizadas.

ROC, calcula la característica operativa relativa al otorgar una medida de la correspondencia entre una imagen cuantitativa modelada que muestra la probabilidad de

que exista una clase particular y una imagen booleana de esa clase como ocurre en verdad. (Eastman, 2012)

La validación con la observación verdadera, incluye comparar con la imagen actual de cobertura del año 2015, dónde resultado es un mapa con la distribución espacial de los errores y aciertos del modelo.

Con este mapa se obtiene el porcentaje de certeza que se obtuvo utilizando la siguiente formula:

$$\text{Porcentaje de certeza (\%)} = \frac{\text{Hits}}{\text{Hits+False Alarma}} \quad (3)$$

**Hits:** número de celdas acertadas

**False alarma:** número de falsos cambios

La metodología implementada se basa en técnicas para el tratamiento digital de imágenes de satélite; lo que abarca desde el pre-procesamiento y procesamiento de imágenes. El pre-procesamiento incluye la selección de imágenes de satélite del sensor Landsat 5 TM y Landsat OLI 8; se realizaron correcciones geométricas y atmosféricas. Y en el procesamiento de imágenes se obtuvo la clasificación supervisada de imágenes de satélite, donde se desarrolló recorridos de campo para obtener información correspondiente a los diferentes tipos de cobertura vegetal y llegar a obtener una imagen clasificada para cada fecha de estudio.

La determinación de la tasa de deforestación, se desarrolló a través de la implementación de la técnica de la matriz de tabulación cruzada, utilizando la fórmula propuesta por Puyravaud, la misma ha sido utilizada por el MAE para determinar la tasa de deforestación para el Ecuador continental.

Los escenarios de deforestación se generaron utilizando el Modelador de Cambios en el Terreno para Sustento Ecológico (LCM), donde se estructura la base de datos de acuerdo a los requerimientos del modelo, hasta obtener mapas de uso del suelo al 2060, considerando periodos de diez años; el resultado del modelo se ha validado con una imagen actual al 2015, para obtener el porcentaje de validación del modelo, en base a estos mapas se genera la tendencia y tasa de deforestación al 2060.

## 4 RESULTADOS

Luego de haber estudiado y procesado toda la información primaria y secundaria, en formato digital y levantamiento en campo, se analizó los cambios de uso del suelo y modelación de escenarios de cambios de uso de suelo y deforestación del cantón Catamayo; A continuación se presentan los resultados:

### 4.1 CAMBIOS DE USO DEL SUELO ACTUAL MEDIANTE UN ANÁLISIS MULTITEMPORAL PARA LOS PERIODOS COMPRENDIDOS DE 1996 A 2015.

#### 4.1.1 Estado actual del uso del suelo.

Mediante la aplicación de la metodología seleccionada se obtuvieron los siguientes resultados sobre el uso actual del suelo y cobertura vegetal (cuadro 6).

Para el año 1996 la cobertura vegetal fue de 39 265.48 ha, que representa el 58.68 % del área del cantón Catamayo (Ver Figura 8), mientras que para el año 2015 (Ver Figura 9) la superficie de la cobertura vegetal disminuyó en 2.12 %, paralelo a esta disminución existen indicadores positivos de regeneración en la vegetación secundaria aumentando en datos porcentuales en 4.34 %.

También se observa una reducción en el resto de los estratos de vegetación sean estos matorral seco bajo y matorral xerofítico lo cual indica que se transformaron en otros usos del suelo, no descartando la posibilidad que parte de estos se hayan convertido en vegetación secundaria.

El cuadro 6, se presentan las categorías de uso y sus respectivos porcentajes para los tiempos evaluados.

**Cuadro 6.** Datos en hectáreas y porcentajes de las unidades de cobertura de 1996 y 2015

Cobertura	1996		2015	
	ÁREA	%	ÁREA	%
<b>Bosque Natural</b>	9685.6	14.5	6 728.97	10.05
<b>Vegetación Secundaria</b>	2 928.09	4.4	5 838.78	8.7
<b>Matorral Seco Bajo</b>	13 338.47	19.9	13 475.03	20.1

<b>Matorral Xerofítico</b>	13 313.32	19.9	11 791.37	17.6
<b>Cultivos</b>	2 246.35	3.4	2 887.3	4.3
<b>Pasto Cultivado</b>	1 047.16	1.6	6 169.95	9.2
<b>Pasto Natural</b>	22 813.01	34.09	17 492.15	26.1
<b>Cuerpos de Agua</b>	160.52	0.24	168.12	0.25
<b>Mosaico Agropecuario</b>	707.39	1.06	1423.82	2.1
<b>Páramo</b>	280.83	0.43	181.27	0.27
<b>Plantaciones</b>	184.33	0.26	91.43	0.14
<b>Urbano</b>	209.63	0.32	651.01	0.97
<b>Nubes</b>	-	-	27.43	0.04
<b>TOTAL</b>	66 914.7	100	66 914.7	100

**Fuente:** Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)

Evidentemente hay una reducción significativa de pasto natural y matorral xerofítico, de 22 813.01 ha en 1996 sufrió un descenso a 17 492.15 ha en 2015 y, de 13 313.32 ha en 1996 descendió a 11 791.37 ha en 2015, es decir, una disminución del 7.99 % y 2.3 % respectivamente. La causa principal es la conversión de éstas coberturas a pastos cultivados, mosaico agropecuario y cultivos que en el periodo de 1996 a 2015 pasó de 1 047.16 ha a 6 169.95 ha y de 707.39 ha a 1 423.82 ha, con un incremento del 7.66 % y 1.07 respectivamente.

De la misma manera con los cultivos, hubo un aumento del 0.95 %; debido a que la agricultura y ganadería son actividades de subsistencia y se realizan sin especificaciones técnicas, provocando el declive de ecosistemas cuyo proceso de regeneración es lento.

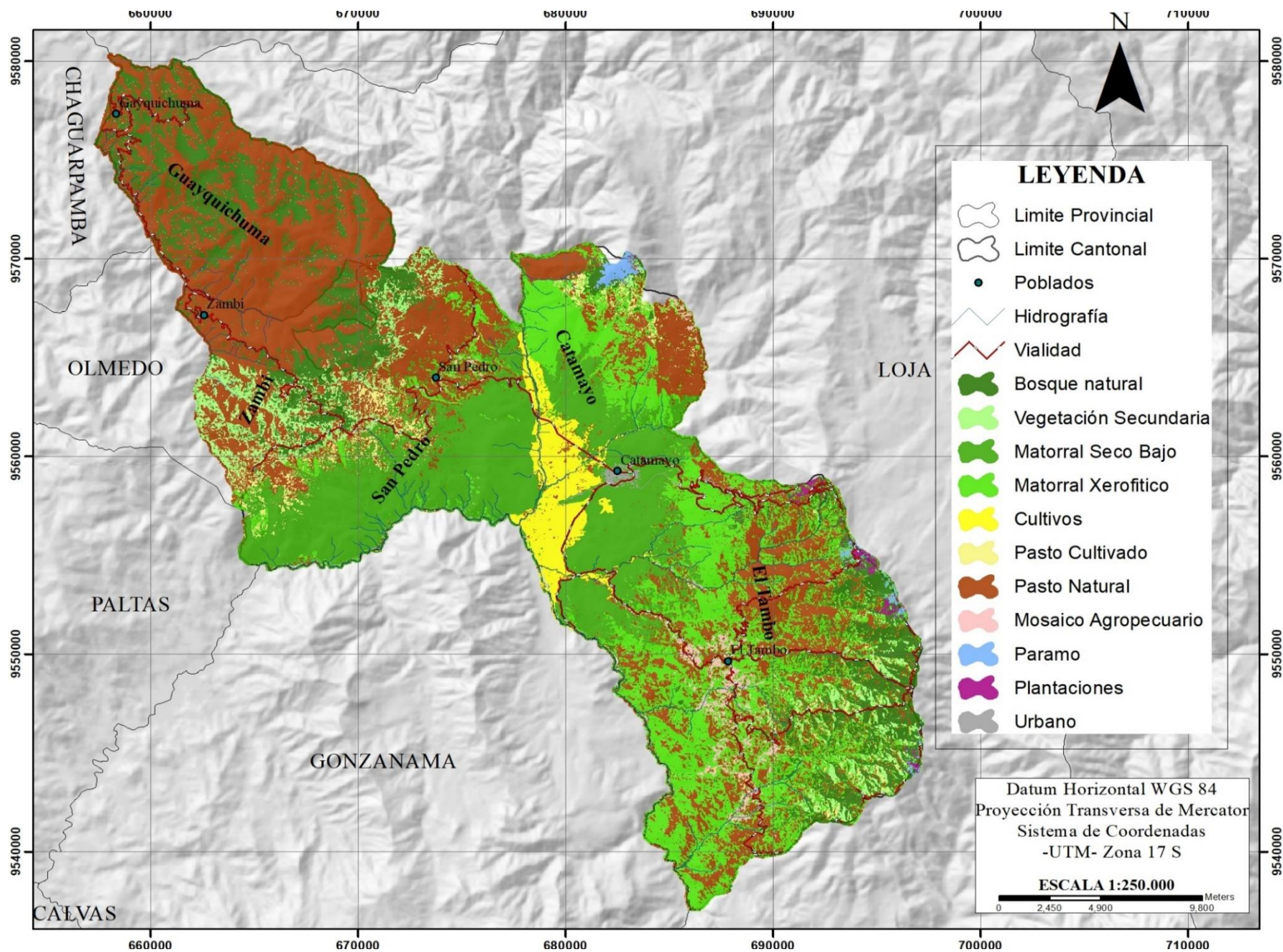
La misma tendencia se muestra para el bosque natural con una reducción de 9 686.6 ha a 6 728.97 ha, teniendo una pérdida para el año 2015 de 4.45 %, sus causas evidentemente serían la transformación a pastos cultivados y la deforestación. No obstante, la vegetación secundaria ha tenido cambios beneficiosos, con ganancias de 4.3 % al año 2015.

Para el remanente del matorral seco bajo, la tendencia ha ido en ascenso, de 13 338.47 ha incremento a 13 475.03 ha, con un 0.2 % de ganancias, debido a que en estas zonas, la intervención humana es escasa.

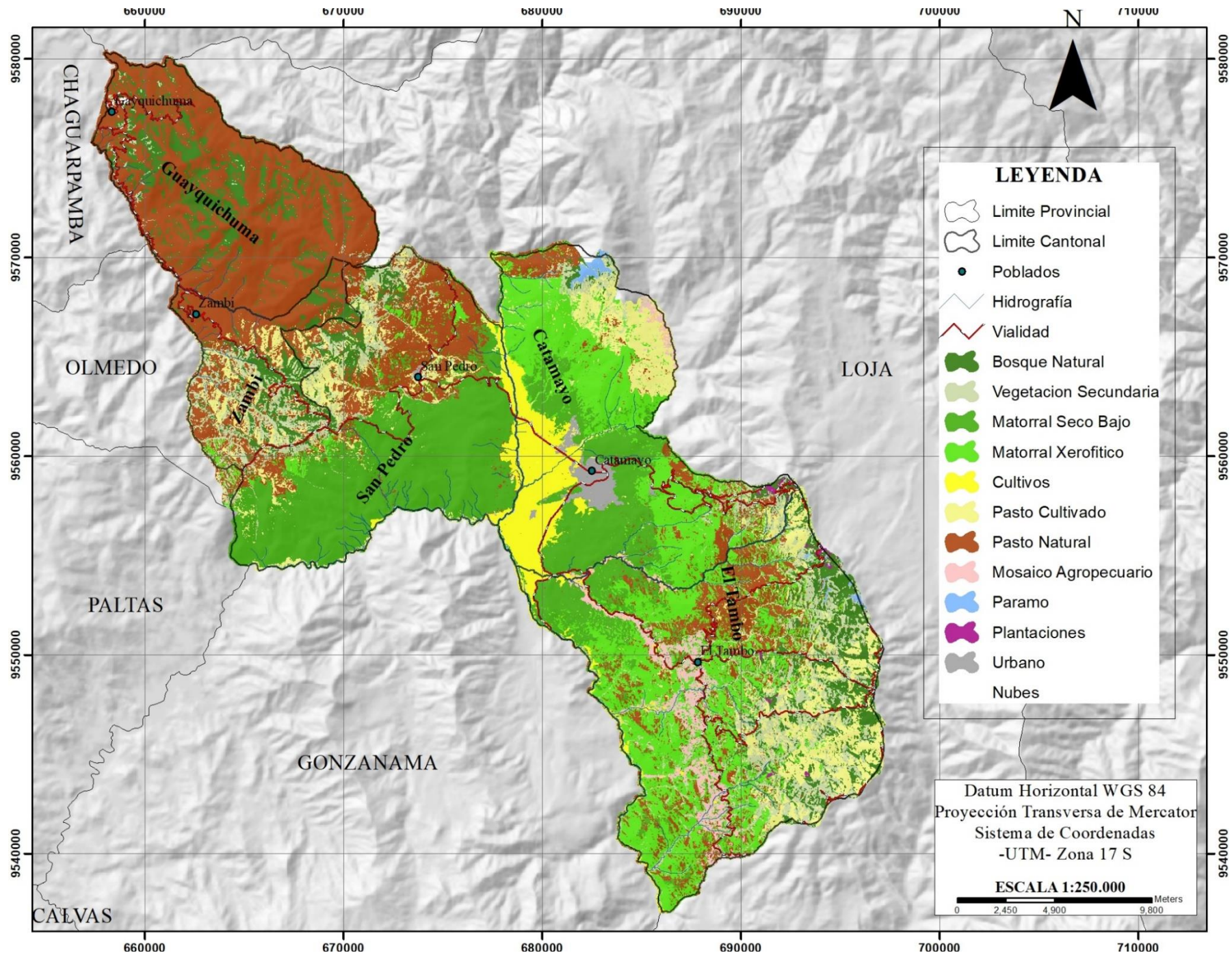


De igual forma, el páramo ha sufrido pérdidas de 280.83 ha a 181.27, teniendo una reducción de esta clase para el año 2015 de 0.16 % y, la misma realidad sucede para las plantaciones teniendo una disminución de 184.33 ha a 91.43 asumiendo una disminución del 0.12% para el año 2015.

No obstante, para mejorar su calidad de vida, las poblaciones se han asentado en sectores donde sea factible trabajar, por lo que la infraestructura se ha incrementado en un 0.65%



**Figura 8.** Mapa de Usos del Suelo del cantón Catamayo año 1996.  
**Fuente:** USGS



**Figura 9.** Mapa de Usos del Suelo del cantón Catamayo año 2015.  
**Fuente:** USGS

#### **4.1.2 Análisis de los cambios de uso del suelo en el catón Catamayo en el periodo 1996 – 2015.**

Los mapas de cobertura vegetal y uso del suelo que se generaron permitieron interpretar el análisis de los cambios de uso del suelo del años 1996 – 2015, los resultados se han descrito en cuadros y representados en mapas y gráficas, como se presenta a continuación:

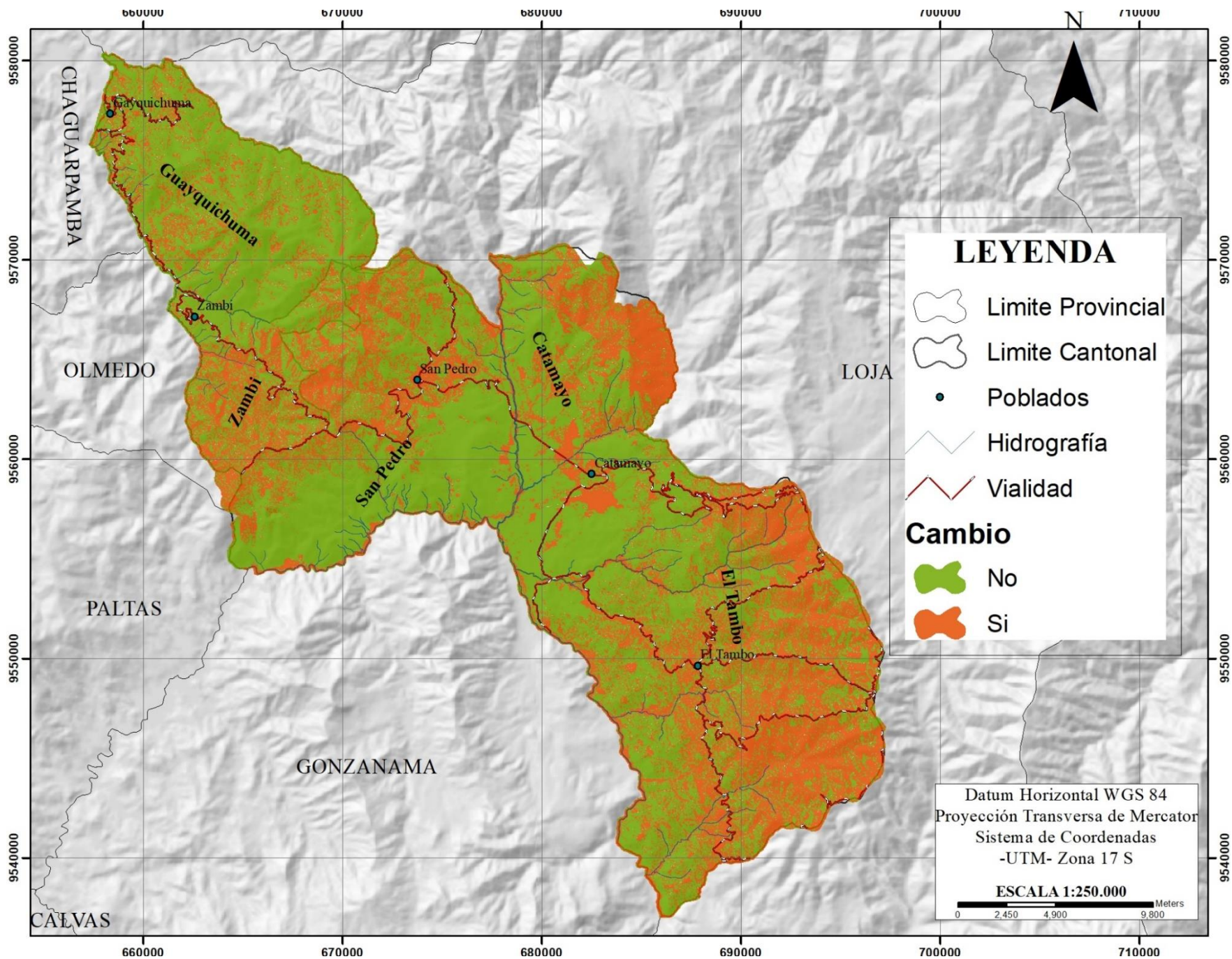
##### **4.1.2.1 Mapa de Áreas de Cambio de Uso del Suelo Entre el Año 1996 – 2015**

En el catón Catamayo en los diez y nueve años estudiados, el 61.9 % de su superficie se mantuvo sin cambios, y el porcentaje restante (38.04 %) se produjeron transformaciones, pero; no se puede decir que estas permutaciones sean del todo negativas, han experimentado cambios que van desde la deforestación provocada por el ser humano para la ampliación de pastos para ganado y agricultura, hasta la regeneración que se produce naturalmente en los ecosistemas (Cuadro 7 y Figura 10).

**Cuadro 7.** Áreas de cambio de uso del suelo del periodo 1996 – 2015.

<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Sin Cambios	4 1620.36	61.96
Cambios	2 5549.89	38.04
<b>Total</b>	<b>6 7170.25</b>	<b>100</b>

**Fuente:** USGS



**Figura 10.** Mapa de áreas de cambio de uso del suelo entre el año 1996 - 2015.  
**Fuente:** USGS

### 4.1.3 Cambios de Uso del Suelo Entre el Año 1996 – 2015

Los tipos de cambio de uso del suelo se los determinó en base a la siguiente clasificación, tomando en cuenta las características de cada área, como se muestra a continuación:

Los valores consignados en el Cuadro 8, permiten conocer los tipos de cambio que se han definido durante este periodo. También se han representado en gráficas y en forma de mapa, como se muestra a continuación en la figura 11 y 12:

**Cuadro 8.** Porcentaje de cambios de uso del suelo del cantón Catamayo, de los periodos 1996 – 2015.

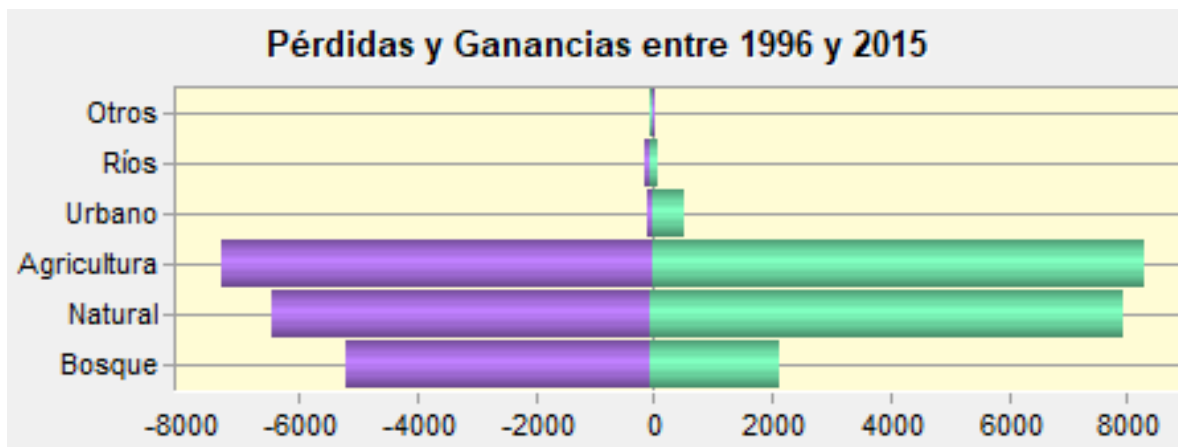
<b>CAMBIOS</b>	<b>ÁREA (has)</b>	<b>%</b>
<b>Deforestación</b>	4 983.94	7.5
<b>Degradación de Ecosistema</b>	4 191.94	6.3
<b>Desarrollo Agrícola</b>	4 980.26	7.5
<b>Desarrollo Civil</b>	56.34	0.08
<b>Desarrollo Forestal</b>	20.27	0.03
<b>Movimiento de Cauce de Río</b>	238.64	0.37
<b>Regeneración Natural</b>	7 321.09	10.9
<b>Sucesión Natural</b>	3 434.37	5.1
<b>Sin Cambios</b>	4 1620.36	62.2
<b>Sin Información</b>	27.43	0.04

**Fuente:** USGS

<b>DEFORESTACIÓN TOTAL ANUAL</b>	<b>158.60 ha/año</b>
<b>TASA DE CAMBIO ANUAL</b>	<b>0.23%</b>

### 4.1.4 Pérdidas y Ganancias de los usos del suelo en el cantón Catamayo.

Cabe mencionar que para modelar el cambio de uso del suelo se unificaron ciertas clases: matorral xerofítico, matorral seco bajo y paramo en una categoría llamada “Natural”, así mismo los cultivos, pastos cultivados y pasto natural se lo clasifico en “Agricultura”. En la figura 11 se representa las pérdidas y ganancias de las clases identificadas.



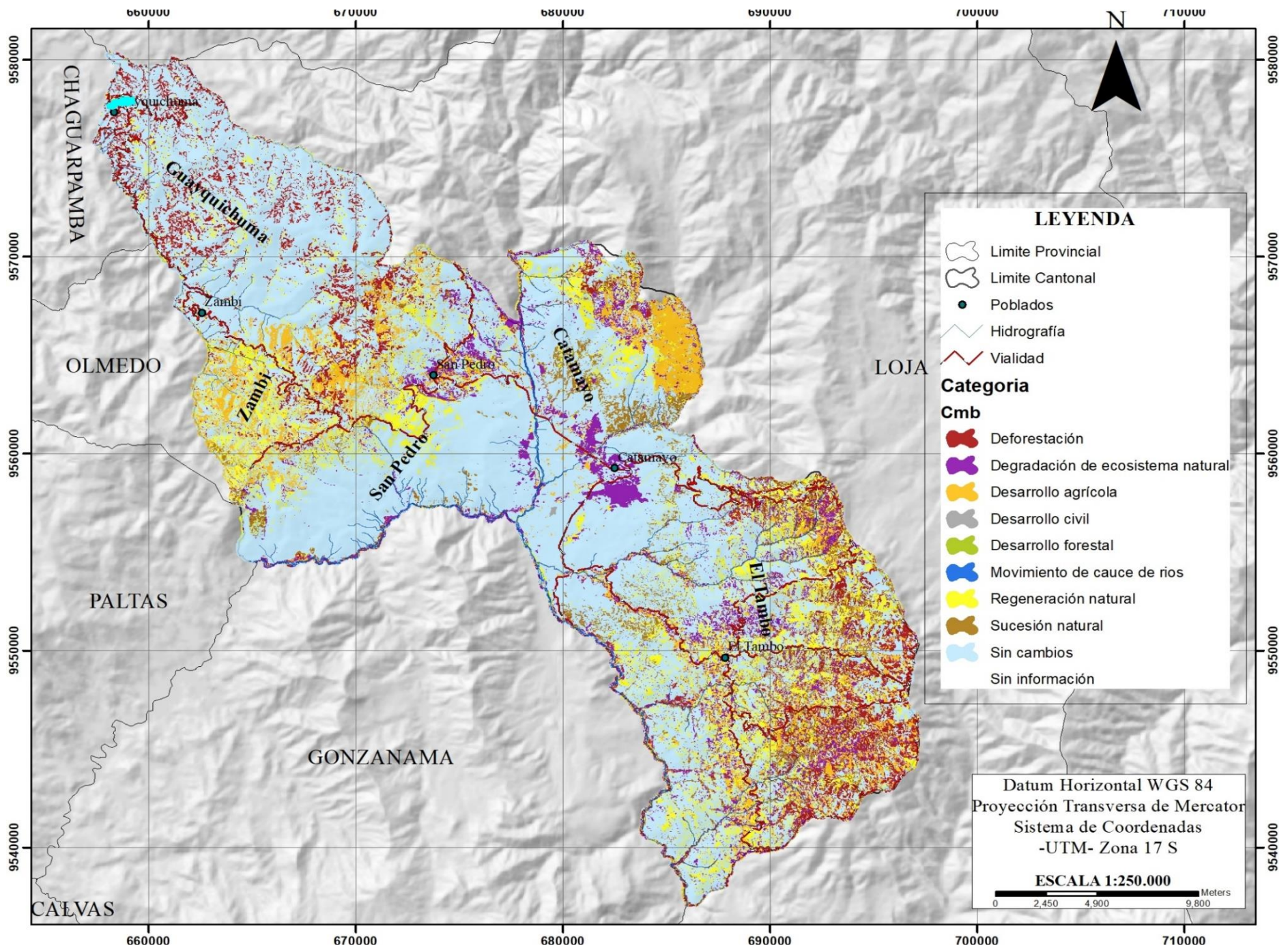
**Figura 11.** Pérdidas y ganancias entre 1996 y 2015

**Fuente:** USGS

En la figura 11 se muestran las pérdidas y ganancias que se han producido en el territorio del cantón Catamayo. Se puede visualizar que en el Bosque y Natural (Matorral Xerofítico, Matorral Seco Bajo y Páramo) se ha producido transiciones muy significativas con respecto a estas métricas, en cuanto al Bosque, se han dado más pérdidas de aproximadamente 5 206 ha y 2 193 ha se ha ganado. Cabe señalar que para la clase Natural ha tenido más ganancias de aproximadamente 8 007 ha.

En lo concerniente a la clase Agricultura que se ha demostrado que se dan más ganancias por el aumento de actividades agrícolas con una superficie 8 281 ha, seguido por la clase Urbano que corresponde a la infraestructura que en 19 años ha ganado 521 ha en comparación a sus pérdidas que son de 82 ha.

Los ríos y otros no han sufrido mucha diferencia en las superficies que han perdido y ganado, pero no deja ser importante. En la matriz de tabulación cruzada o también conocida como matriz de cambio se puede visualizar los datos, es presentada en el capítulo de Anexos (Cuadro 15, Anexo 5).



**Figura 12.** Mapa de áreas de cambio de uso del suelo entre el año 1996 - 2015.  
 Fuente: USGS



En el Cuadro 9, se observa que todas las categorías sufrieron intercambios, por lo que se muestra que el área de estudio presenta una dinámica de cambio muy considerable. Uno de estos cambios significativos e importantes se ha dado en el remanente de bosque natural, es decir que sumado el matorral xerofítico y el matorral seco bajo dan una superficie total perdida de 398.84 has (estas han sido reemplazadas por bosque natural) pero, también en este último ecosistema se dan transiciones indicadoras de pérdidas trascendentes de 331.4 has (Ver Cuadro 15, Anexo 5); que han pasado de bosque natural a matorral xerofítico y matorral seco bajo. Observándose también de la misma forma pérdidas y ganancias en los demás usos del suelo que han sufrido transiciones entre clases temáticas.

**Cuadro 9.** Transiciones entre usos del suelo en el cantón Catamayo, periodo 1996 - 2015.

1	Boque Natural a Matorral Xerofítico	61	<b>Pasto Natural a Cuerpo de Agua</b>
2	Boque Natural a Matorral Seco Bajo	62	Pasto Natural a Mosaico Agropecuario
3	Boque Natural a Pasto Cultivado	63	Pasto Natural a Nubes
4	Boque Natural a Cultivos	64	Plantación Forestal a Bosque Natural
5	Boque Natural a Pasto Natural	65	Plantación Forestal a Matorral Xerofítico
6	Boque Natural a Plantación Forestal	66	<b>Plantación Forestal a Matorral Seco Bajo</b>
7	Boque Natural a Paramo	67	Plantación Forestal a Pasto Cultivado
8	Boque Natural a Vegetación Secundaria	68	Plantación Forestal a Cultivos
9	Boque Natural a Urbano	69	Plantación Forestal a Pasto Natural
10	Boque Natural a Cuerpos de Agua	70	Plantación Forestal a Paramo
11	Boque Natural a Mosaico Agropecuario	71	Plantación Forestal a Vegetación Secundaria
12	Boque Natural a Nubes	72	Plantación Forestal a Mosaico Agropecuario
13	Matorral Xerofítico a Bosque Natural	73	Paramo a Bosque Natural
14	Matorral Xerofítico a Matorral Seco Bajo	74	Paramo a Matorral Xerofítico
15	Matorral Xerofítico a Pasto Cultivado	75	Paramo a Matorral Seco Bajo
16	Matorral Xerofítico a Cultivos	76	Paramo a Pasto Cultivado
17	Matorral Xerofítico a Pasto Natural	77	Paramo a Cultivos
18	Matorral Xerofítico a Plantación Forestal	78	Paramo a Pasto Natural
19	Matorral Xerofítico a Paramo	79	Paramo a Plantación Forestal
20	Matorral Xerofítico a Vegetación Secundaria	80	Paramo a Vegetación Secundaria
21	Matorral Xerofítico a Urbano	81	Paramo a Urbano
22	Matorral Xerofítico a Cuerpo de Agua	82	Vegetación Secundaria a Bosque Natural
23	Matorral Xerofítico a Mosaico Agropecuario	83	Vegetación Secundaria Matorral Xerofítico

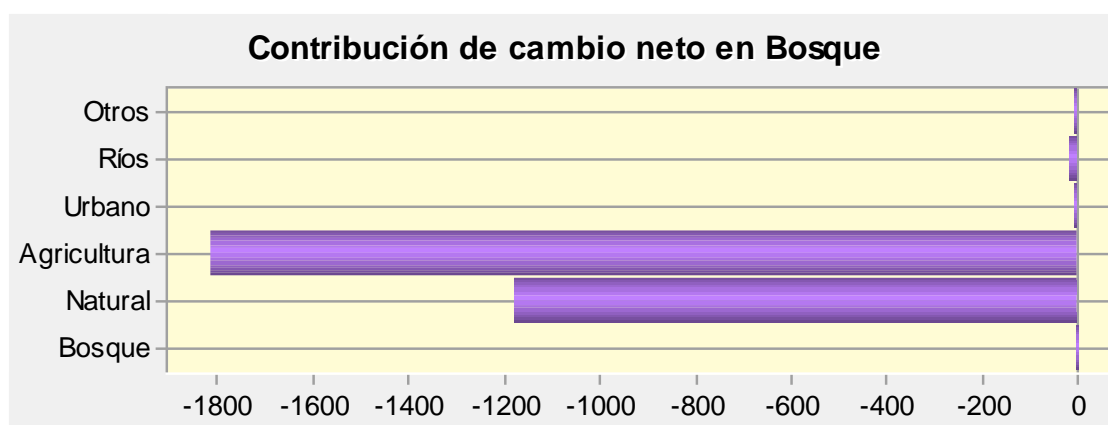
24	Matorral Seco Bajo a Bosque Natural	84	Vegetación Secundaria a Matorral Seco Bajo
25	Matorral Seco Bajo a Matorral Xerofítico	85	Vegetación Secundaria a Pasto Cultivado
26	Matorral Seco Bajo a Pasto Cultivado	86	Vegetación Secundaria a Cultivos
27	Matorral Seco Bajo a Cultivos	87	Vegetación Secundaria a Pasto Natural
28	Matorral Seco Bajo a Pasto Natural	88	Vegetación Secundaria a Plantación Forestal
29	Matorral Seco Bajo a Plantación Forestal	89	Vegetación Secundaria a Paramo
30	Matorral Seco Bajo a Paramo	90	Vegetación Secundaria a Urbano
31	Matorral Seco Bajo a Vegetación Secundaria	91	Vegetación Secundaria a Cuerpo de Agua
32	Matorral Seco Bajo a Urbano	92	Vegetación Secundaria a Mosaico Agropecuario
33	Matorral Seco Bajo a Cuerpo de Agua	93	Urbano a Bosque Natural
34	Matorral Seco Bajo a Mosaico Agropecuario	94	Urbano a Matorral Xerofítico
35	Pasto Cultivado a Bosque Natural	95	Urbano a Matorral Seco Bajo
36	Pasto Cultivado a Matorral Xerofítico	96	Urbano a Pasto Cultivado
37	Pasto Cultivado a Matorral Seco Bajo	97	Urbano a Cultivos
38	Pasto Cultivado a Cultivos	98	Urbano a Pasto Natural
39	Pasto Cultivado a Pasto Natural	99	Urbano a Plantación Forestal
40	Pasto Cultivado a Paramo	100	Urbano a Vegetación Secundaria
41	Pasto Cultivado a Vegetación secundaria	101	Urbano a Cuerpo de Agua
42	Pasto Cultivado a Mosaico Agropecuario	102	Urbano a Mosaico Agropecuario
43	Cultivos a Bosque Natural	103	Cuerpo de Agua a Bosque natural
44	Cultivos a Matorral Xerofítico	104	Cuerpo de Agua a Matorral Xerofítico
45	Cultivos a Matorral Seco Bajo	105	Cuerpo de Agua a Matorral Seco Bajo
46	Cultivos a Pasto Cultivado	106	Cuerpo de Agua a Pasto Cultivado
47	Cultivos a Pasto Natural	107	Cuerpo de Agua a Cultivos
48	Cultivos a Vegetación Secundaria	108	Cuerpo de Agua a Pasto Natural
49	Cultivos a Urbano	109	Cuerpo de Agua a Plantación Forestal
50	Cultivos a Cuerpo de Agua	110	Cuerpo de Agua a Vegetación Secundaria
51	Cultivos a Mosaico Agropecuario	111	Cuerpo de Agua a Mosaico Agropecuario
52	Pasto Natural a Bosque Natural	112	Mosaico Agropecuario a Bosque Natural
53	Pasto Natural a Matorral Xerofítico	123	Mosaico Agropecuario a Matorral Xerofítico
54	Pasto Natural a Matorral Seco Bajo	124	Mosaico Agropecuario a Matorral Seco Bajo
55	Pasto Natural a pasto Cultivado	125	Mosaico Agropecuario a Pasto Cultivado
56	Pasto Natural a Cultivos	126	Mosaico Agropecuario a Cultivos
57	Pasto Natural a Plantación Forestal	127	Mosaico Agropecuario a Pasto Natural
58	Pasto Natural a Paramo	128	Mosaico Agropecuario a Vegetación Secundaria
59	Pasto Natural a Vegetación Secundaria	129	Mosaico Agropecuario a Urbano
60	Pasto Natural a Urbano	130	Mosaico Agropecuario a Cuerpo de Agua

**Fuente:** El autor

#### 4.1.5 Contribución de Cambio Neto en Bosque

Entre el año 1996 y 2015 se deforestaron dentro del cantón Catamayo cerca de 4 983.94 ha de bosque (7.45 %), es decir, 158.60 ha/año, lo que representa una tasa de deforestación anual de -0.23 %. Esta cifra refleja el uso inadecuado de los recursos naturales que las comunidades han ejercido para uso comercial y agropecuario (Ver Anexo 1).

Como se muestra en la Figura 13, las coberturas que mayormente han contribuido para el cambio en bosque, son la agricultura, seguido del natural y en menor proporción los cuerpos de agua (Ver Anexo 3).



**Figura 13.** Contribución de las coberturas en el cambio de bosque  
**Fuente:** USGS

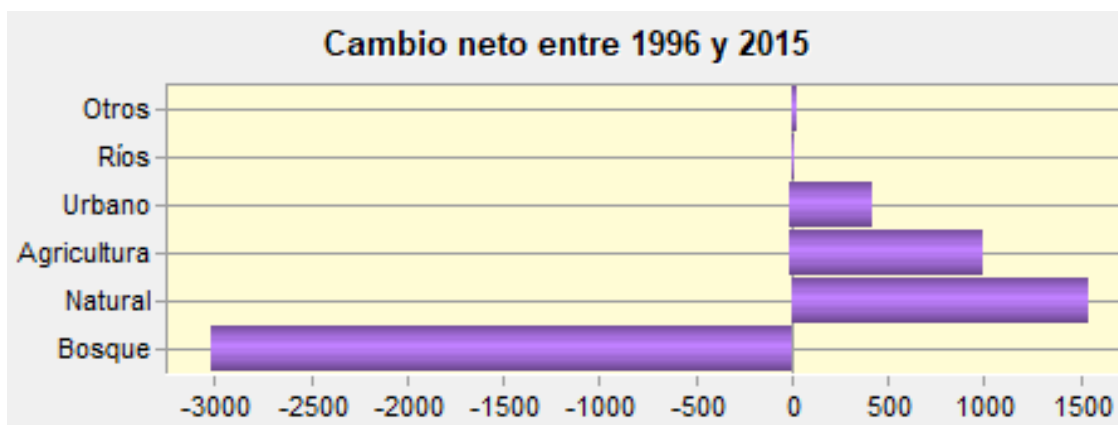
La degradación del ecosistema natural sigue siendo una cobertura que ha sido degradado en los últimos años (4 191.94 ha – 6.3%) (Ver cuadro 8), especialmente por efecto de las actividades agrícolas (7.5 %) que se realizan para la producción.

El desarrollo socioeconómico que representa el desarrollo civil y forestal (56.34 ha. – 0.08 %; 20.27 – 0.03 % respectivamente) (Ver cuadro 8), si bien no presenta un cambio importante durante el transcurso del tiempo analizado es uno de los procesos que actualmente presenta mayor progreso, y que se ve visualizado en la construcción de vías y el crecimiento de ciudades y comunidades, que en un futuro representaran un cambio significativo para los ecosistemas.

Un aspecto positivo que se produce en las áreas degradadas por ausencia de las actividades humanas, es la regeneración y sucesión natural, la cual ha mejorado el estado de la vegetación en 4 1620.36 ha (62.2 %) (Ver cuadro 8). Esto posiblemente se deba a

que muchas personas han cambiado las actividades agropecuarias por la migración a la ciudad. No obstante, también tiene que ver la participación de las poblaciones en proyectos de conservación que están contribuyendo a mejorar la calidad de los bosques.

Resumiendo los resultados anteriores, en la Figura 14, se muestra el cambio neto en bosque, entre el periodo 1996 – 2015



**Figura 14.** Cambio Neto en Bosque entre 1996 – 2015  
**Fuente:** USGS

Es importante analizar estos resultados a nivel de las parroquias que integran el cantón Catamayo, con el propósito de conocer cuáles de estas ejercen más presión sobre los bosques con sus actividades, por tal motivo en los siguientes cuadros 10, 11 y 12 se muestran los cambios más importantes que se han dado en cada parroquia en hectáreas y porcentajes:

**Cuadro 10.** Cambios de uso del suelo por parroquia en hectáreas y porcentajes

<b>PARROQUIA</b>	<b>Desarrollo Agrícola (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Desarrollo Civil (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Desarrollo Forestal (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Regeneración Natural (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Degradación de Ecosistema (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Movimiento de cauce (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Sucesión Natural (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Sin cambios (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Sin Información (ha)</b>	<b>%</b>
<b>Catamayo</b>	4980.12	26.09	54.80	33.19	20.27	50	7054.83	24.44	4186.74	34.60	213.63	30.97	3434.36	30.66	41592.93	25.47	0	0
<b>San Pedro de la Bendita</b>	4414.18	23.12	55.87	33.84	0	0	7105.74	24.62	3665.38	30.29	237.60	34.45	3383.68	30.21	41104.22	25.17	0	0
<b>Zambi</b>	4031.43	21.12	0	0	0	0	5113.80	17.72	501.33	4.14	0	0	947.66	8.46	19763.95	12.10	0	0
<b>Guayquichuma</b>	713.55	3.74	0	0	0	0	2310.68	8.00	0	0.00	0	0	0	0	19352.80	11.85	27.43	100
<b>El Tambo</b>	4949.79	25.93	54.44	32.97	20.27	50	7281.87	25.23	3747.39	30.97	238.51	34.58	3434.36	30.66	41462.68	25.39	0	0
<b>TOTAL</b>	19089.07	100	165.11	100	40.54	100	28866.92	100	12100.84	100	689.74	100	11200.06	100	163276.58	100	27.43	100

**Fuente:** USGS

De los datos mostrados en el cuadro 10, se determina que para el tipo de cambio “Desarrollo Socioeconómico”, que corresponden al desarrollo agrícola, civil y forestal, los mayores cambios se han registrado en las parroquias Catamayo y el Tambo en 5 055.19 ha y 5 024.5 ha respectivamente, a diferencia de las parroquias Guayquichuma y Zambí que muestran valores menores (7 13.55 ha y 4 766.1 ha respectivamente).

De igual forma, las parroquias que presentan mayor área de degradación de ecosistema son Catamayo, El Tambo y San Pedro de la Bendita en 34.60 % (4 186.74 ha); 30.96 % (3 747.39 ha) y 30.29 % (3 665.38). Además, muestran mayor área de regeneración con un 25.23 % en la parroquia El Tambo y, 24.62 % en San Pedro de la Bendita. No obstante, en El Tambo durante los 19 años se ha incrementado la actividad agrícola, presentando un 25.93 % (4 949.79 ha), lo que ha ocasionado mayor área de degradación de ecosistema en todo el cantón.

Las parroquias que han registrado mayor sucesión natural son las parroquias Catamayo y El Tambo en 30.66 % cada una y Zambí en menor proporción 8.46 %.

**Cuadro 11.** Área deforestada en las parroquias que integran el cantón Catamayo

<b>PARROQUIA</b>	<b>ÁREA DEFORESTADA (ha)</b>	<b>%</b>
<b>Catamayo</b>	324.945	6.8
<b>San Pedro de la Bendita</b>	591.065	12.4
<b>Zambí</b>	427.237	8.9
<b>Guayquichuma</b>	1 560.496	32.8
<b>El Tambo</b>	1 850.619	38.9
<b>TOTAL</b>	4 754.362	100

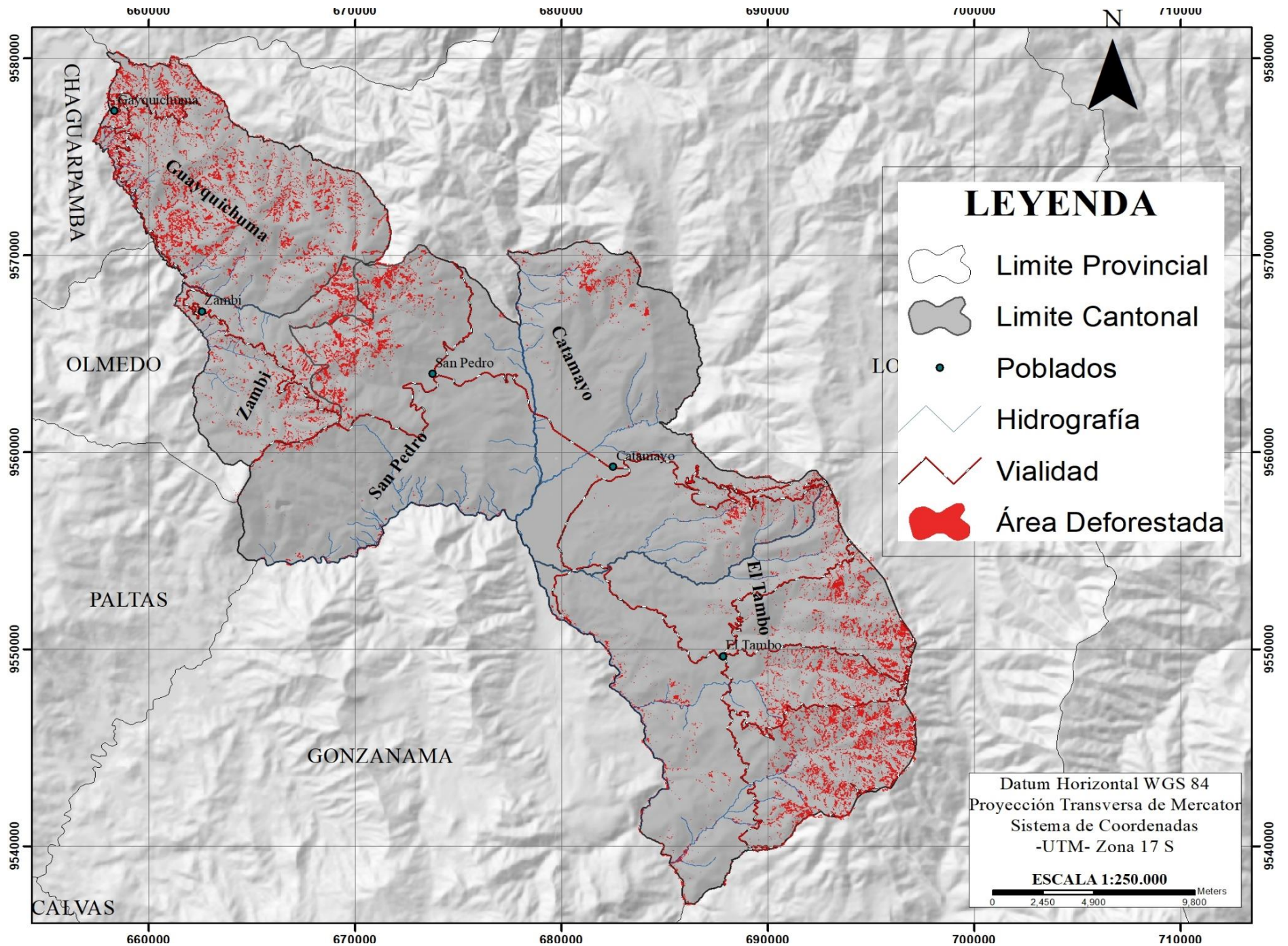
**Fuente:** USGS

#### 4.1.6 Deforestación total anual promedio y tasa anual de cambio del cantón Catamayo

**Cuadro 12.** Deforestación anual y tasa de deforestación por parroquia

<b>PARROQUIA</b>	<b>ÁREA DE BOSQUE EN 1996 (ha)</b>	<b>ÁREA DE BOSQUE EN 2015 (ha)</b>	<b>DEFOREST. TOTAL ANUAL (ha)</b>	<b>TASA DE DEFORESTACIÓN (%)</b>
<b>Catamayo</b>	428.42	213.91	11.29	-0.03
<b>San Pedro de la Bendita</b>	1 086.85	641.87	23.42	-0.02
<b>Zambi</b>	1 080.81	1 073.58	0.38	-0.03
<b>Guayquichuma</b>	3 543.41	2 383.41	61.05	-0.02
<b>El Tambo</b>	3 150.88	2 179.07	51.15	-0.02
<b>TOTAL</b>	9 290.37	6 491.84	147.29	

**Fuente:** USGS



**Figura 15.** Mapa de Deforestación del cantón Catamayo.  
**Fuente:** USGS



En los cuadros 11 y 12 se exponen los cálculos de deforestación en las diferentes parroquias que integran el cantón Catamayo. La parroquia con mayor superficie deforestada es el Tambo (38.9 %) y Guayquichuma (32.8 %) (Ver cuadro 11); así también, son las parroquias que registran mayor tasa de deforestación (-0.02 %) y en donde se evidencia mayor cantidad de degradación de ecosistema 30.9 %. Así mismo, El Tambo es una de las parroquias con alto grado de desarrollo socioeconómico (5 024.5 ha), seguido de Catamayo con 5 055.19 ha.

Cabe mencionar que en la parroquia de El Tambo, una de las actividades productivas es la agricultura, por lo que es evidente que muchos pobladores deforestan áreas de bosque para producir sus parcelas, no obstante, la actividad agrícola es extensiva, es decir que hay grandes áreas de pasto con poco sembrío, por lo que esta parroquia es también la que mayor área regenerada tiene (25.2 %).

La parroquia con menor área deforestada es Catamayo y Zambí con 6.84 y 8.99 % (Ver cuadro 12) respectivamente, esto se debe a que en Zambí es una de las parroquias con menor degradación del ecosistema (4.14 %).

San Pedro de la Bendita también registra una tasa de deforestación alta de -0.02 % esto se relaciona con el alto porcentaje de desarrollo agrícola (23.1 %) que en la parroquia se ha venido dando los últimos años lo que conlleva a una degradación del ecosistema muy alarmante (30.3 %), puesto que es una zona muy turística por su cercanía a la Basílica del Cisne.

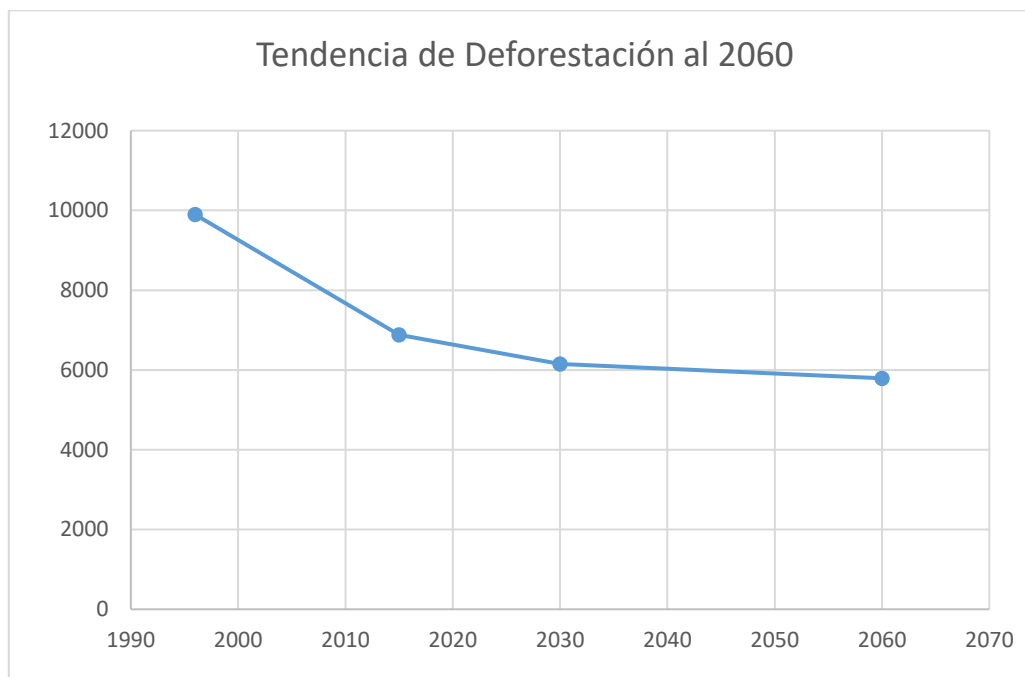
#### **4.1.7 Tendencia del cambio**

En la figura 17 a través del mapa se representa espacialmente la tendencia del cambio de las clases que cambiaron de bosque a otras categorías de uso, en este caso los cambios significativos son de bosque a pastos cultivados para el desarrollo agrícola y la regeneración natural de pastizales a matorrales y bosques; sus valores están en escala continua de 0 a 1, mientras más se acerca a uno, la tendencia es más relevante. En el cuadro 13 se muestra la tendencia de deforestación para el año 2060 y su respectiva grafica en la figura 16.

**Cuadro 13.** Tendencia de la deforestación desde el periodo 1996 al 2060

Año	Cobertura	Superficie (ha)
1996	Bosque	9 895.14
2015	Bosque	6 881.78
2030	Bosque	6 150.53
2060	Bosque	5 792.6

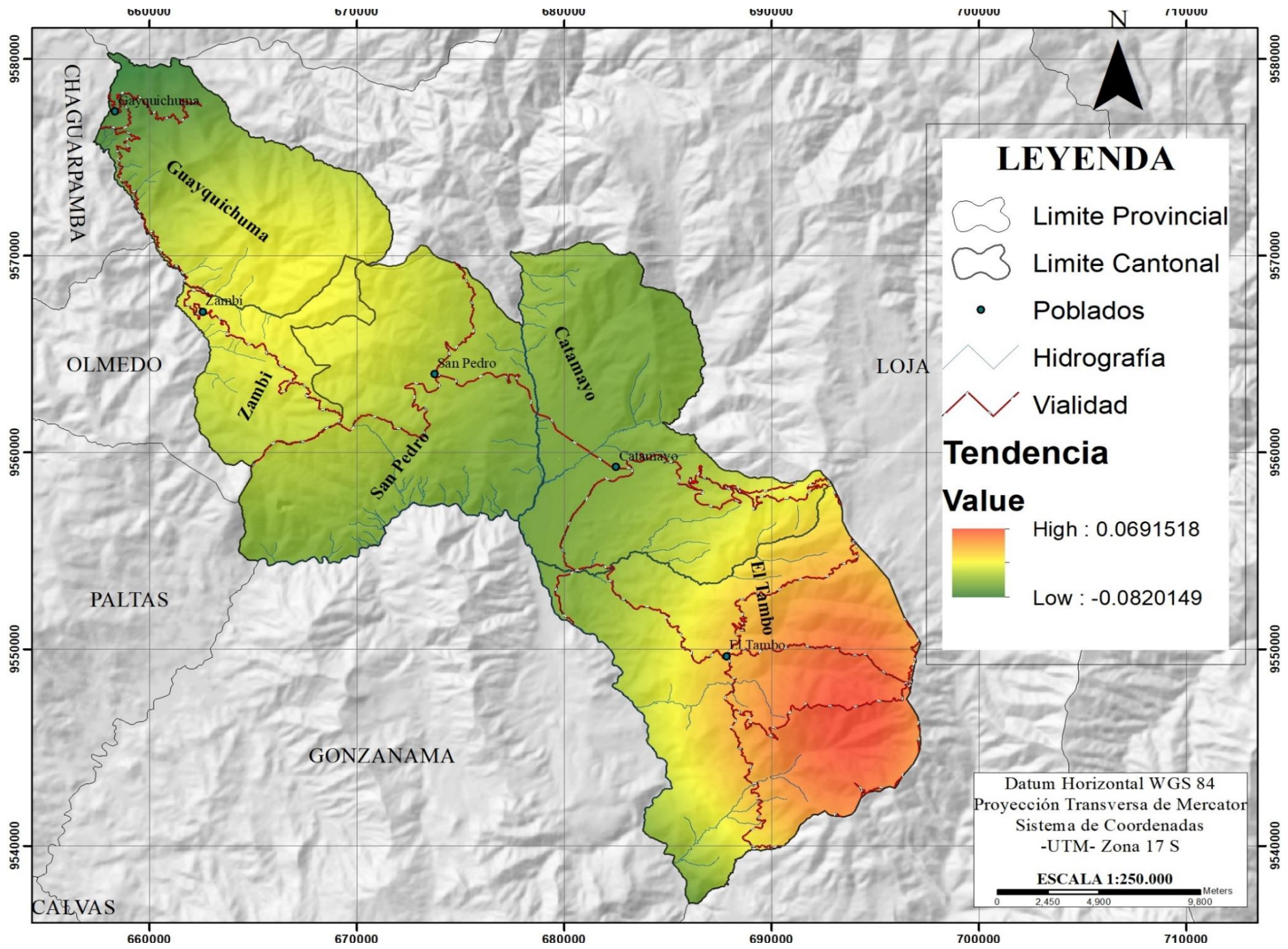
Fuente: USGS



**Figura 16.** Tendencia de Deforestación al 2060

Fuente: USGS

En la gráfica de la figura 16, se establece que la tendencia de la deforestación al 2060, la cobertura de bosque decrece, en 1 089.18 ha, lo que significa que anualmente se deforestarán 24.21 ha/año, y la tasa de deforestación estimada para el periodo es de -0.002 %.



**Figura 17.** Mapa de tendencia del cambio de uso del suelo, periodo 1996 al 2060.  
**Fuente:** USGS

#### 4.1.8 Variables explicativas

Las variables explicativas que se seleccionaron para calibrar el modelo fueron: el modelo digital de terreno (DEM), evidencia del cambio, distancia a áreas de cambios, distancia a edificios y distancia a manzanas.

#### 4.2 MODELACIÓN DE LOS CAMBIOS FUTUROS DE DEFORESTACIÓN EN EL CANTÓN CATAMAYO, EN BASE AL MODELO LAND CHANGE MODELER (LCM), DE TERRSET.

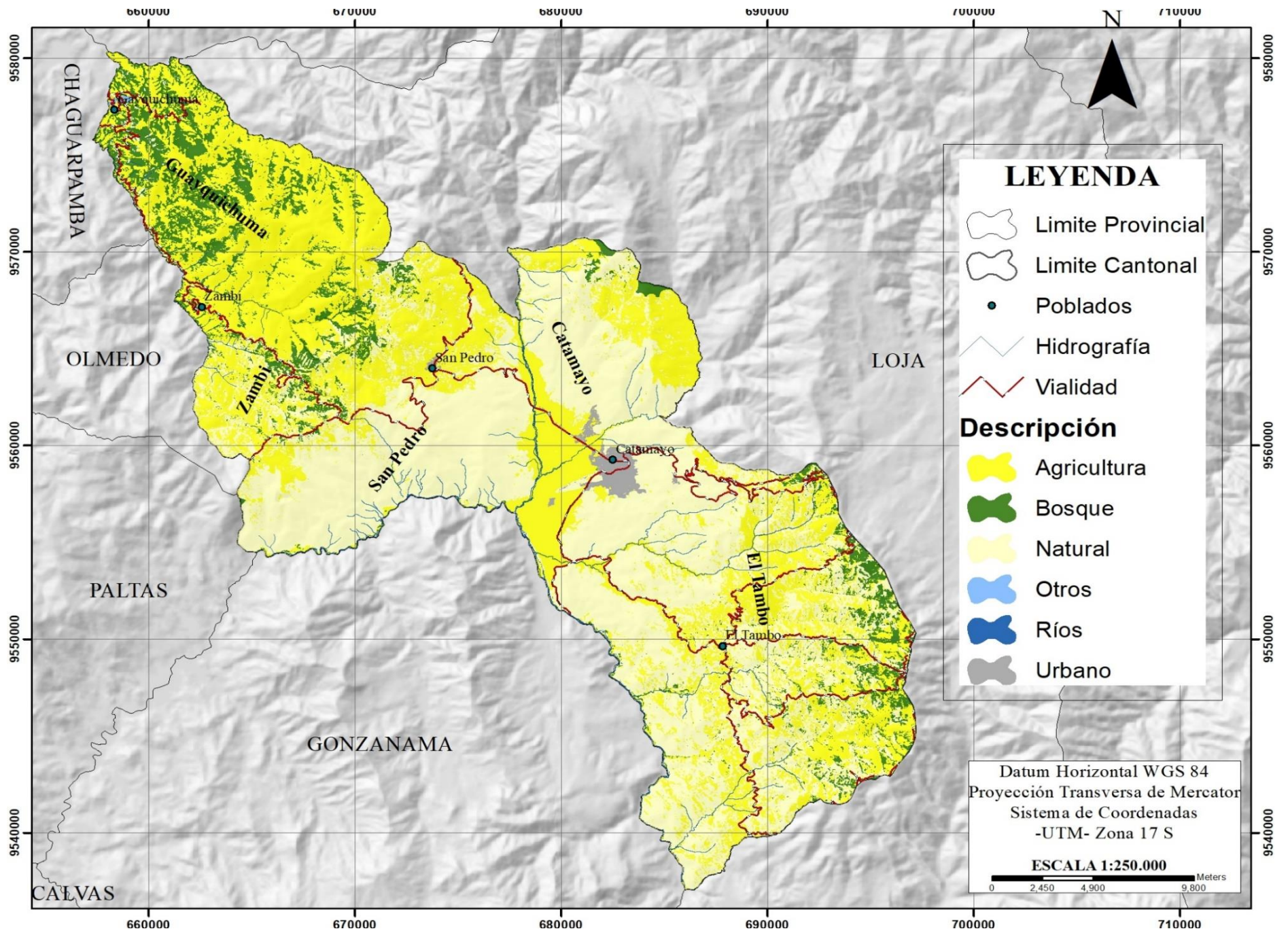
Con el modelo se pudo obtener la predicción de cambios para dos periodos; como se muestra en las siguientes figuras 18 y 19.

Para el año 2030 y 2060 como indican las figuras 18 y 19, se pronostica que el bosque en el cantón Catamayo disminuya su superficie en un 0.9 y 0.47 % respectivamente (766.52 y 306.26 has) en relación al año 2015. Pero la clase agricultura presenta crecimientos significativos y a los periodos modelados, este uso del suelo crecerá 1 203.25 y 310.51 has. La clase Natural (cultivos, pastos natural y cultivado) aumentarán en términos porcentuales al 2060 en un 9.04 %. La infraestructura se predice que a partir del año 1996 al 2060 aumente 439.83 ha (0,67 %). En los cuerpos de agua se observa disminución del 0,06 % (47.01ha) y en el área de otros que corresponde a nubes se mantiene igual.

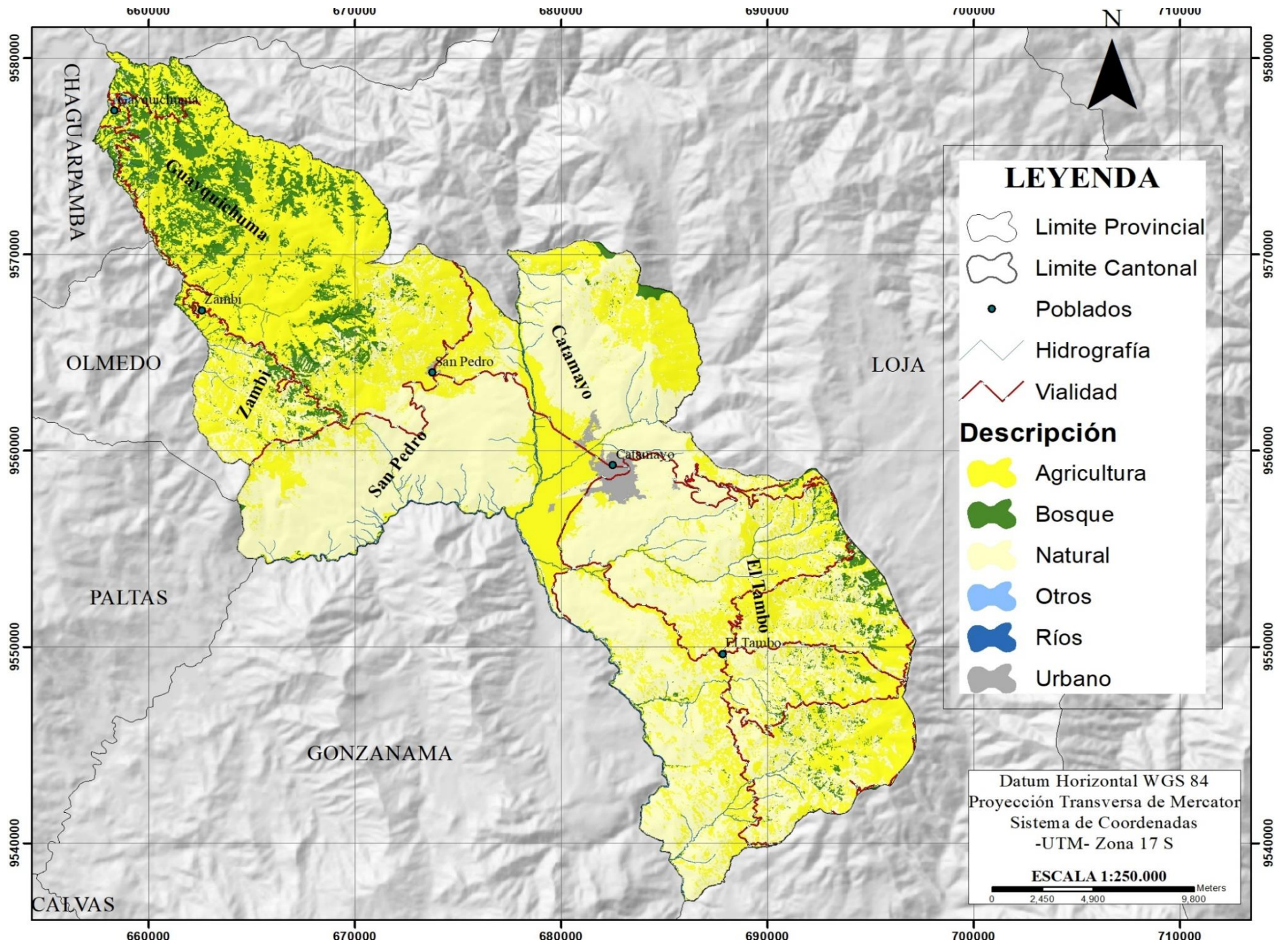
**Cuadro 14.** Resultados de la modelación a los años 2030 y 2060 de los diferentes usos del suelo

N°	Uso del Suelo	Año 1996		Año 2015		Año 2030		Año 2060	
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
1	Agricultura	26 106.52	39.01	26 549.4	39.67	27 752.65	42.57	28 063.16	43.04
2	Bosque	9 685.6	14.47	6 728.97	10.05	5 962.45	9.15	5 656.19	8.68
3	Natural	26 932.62	40.26	25 447.67	38.02	30 683.54	47.15	30 679.63	47.06
4	Ríos	160.52	0.24	168.12	0.25	121.11	0.19	121.11	0.19
5	Urbano	209.63	0.32	651.01	0.97	649.46	0.99	649.46	0.99
6	Otros	-	-	27.43	0.04	27.49	0.04	27.51	0.04
	TOTAL	63 294.89	100	59 572.6	100	65 196.71	100	65 197.04	100

Fuente: USGS



**Figura 18.** Mapa de uso del suelo para el año 2030.  
**Fuente:** USGS



**Figura 19.** Mapa de uso del suelo para el año 2060.  
**Fuente:** USGS

## 5 DISCUSIÓN

A partir del análisis de la información obtenida, se puede entender el comportamiento progresivo de los cambios del uso y cobertura del suelo, en un periodo de 19 años (1996 – 2015) en el cantón Catamayo. Los cambios de uso del suelo presentan dinámicas complejas que dependen del tipo de cobertura, las interacciones ecológicas, físicas, ambientales y de las actividades socioeconómicas (Guerrero *et al.*, 2008).

### 5.1 CAMBIO DE USO DEL SUELO Y TASA DE DEFORESTACIÓN PERIODO 1996 – 2015

Estudios realizados indican que esta cobertura vegetal natural y de gran importancia alberga una diversidad única de flora, posee 15 unidades vegetales, los más representativos son los matorrales húmedos y secos que cubren 52.28 % de todo el cantón, otro dato importante son los pastizales 30.84 % (Cueva, 2012). Cabe mencionar que en este estudio estos remanentes hasta la fecha se han venido degradando. En cuanto a los matorrales se ha dado una pérdida de hasta un 37.75 %, los pastizales han ido en aumento (35.36 %) debido a varios aspectos de índole productiva, según el Ministerio de Obras Públicas (MTO), en su estudio de impacto ambiental realizado para el mejoramiento de la vía Catamayo – Loja (2015), los pastizales vienen siendo el medio de sustento de las familias, ya que son considerados para la crianza de ganado vacuno, bovino, porcino y caprino.

En cuanto a la deforestación total neta anual promedio a nivel de Ecuador según el estudio realizado por MAE en el 2015 sobre datos de bosques, ecosistemas, especies, carbono y deforestación del Ecuador continental, se dan cerca de 4 7497 ha/año, con una tasa anual promedio de - 0,37 % desde el año 2008 – 2014; y para la provincia de Loja una deforestación anual de 1 815 ha/año para el mismo periodo, haciendo una comparación especialmente con el cantón, tenemos un área deforestada de 4 754.36 ha, siendo la parroquia con más porcentaje la de El tambo (38.93 %) con una deforestación total anual de 51.15 ha/año y -0.02 la tasa de deforestación.

Los ecosistemas de páramo en Ecuador, ocupan alrededor de 18 500 Km<sup>2</sup> y se ven amenazados por el avance de la frontera agrícola y la forestación con especies no nativas (Hermeza *et al* 2008); en cuanto a esto el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial

del cantón Catamayo (2012 – 2022) (PDOTC), señala que el Páramo tiene un área de 56.5 ha correspondiente al 0.1 % del área del cantón y que corresponde al 0.08 % de la superficie total de la provincia de Loja, este ecosistema formado por vegetación arbustiva y herbácea es una de las áreas de alto valor para la conservación, ante ello, en los últimos 19 años se ha mantenido su conservación natural en un 0.27 % por las actividades que los pobladores están realizando para conservarlo (Páramo de la parte alta de Catamayo y El Tambo).

El Proyecto Socio Bosque otorga un incentivo financiero por la conservación del páramo que puede llegar hasta los 30 USD por ha, está orientado al mercado de carbono y servicios ambientales que busca el control territorial en 4 millones de bosques tropicales y 800 mil hectáreas de páramos (80% de los páramos no protegidos); sin embargo, el valor no es significativo debido a los esfuerzos que Gobiernos Parroquiales conjuntamente con el Ministerio del Ambiente (MAE), han hecho para impedir su degradación.

En cuanto a la parroquia Guayquichuma, según el PDOTC (2012 – 2022) tomando como referencia el estudio realizado por Cueva & Chalan 2010 y que se corroboró con las fotografías aéreas proporcionadas por SIG tierras pertenecientes al año 2010, manifiestan que este ecosistema de bosque natural ocupa un área de 14 836.1 ha correspondientes al 22, 8 % del área total del cantón, dicha área, según este estudio no han presentado evidencias significativas de degradación, lo cual ha permitido una regeneración natural del 8 % en cuanto a vegetación arbustiva, además incluye vegetación en recuperación cuya altura no es superior a los 6 m.

La presencia de agroforestería, en los últimos años se ha ido extendiendo especialmente en el sector del Tambo; con el propósito de obtener beneficios de la tierra sin provocar daños sobre ella, es decir, como una alternativa para manejar adecuadamente el recurso suelo, ante aquello, el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de El Tambo (PDOTT) (2015) menciona que para esta actividad la realizan a través de especies arbóreas como el faique (*Acacia macracantha Humb.*), moshquera (*Crotton sp.*) y en la parte más alta con el cedro (*Cedrela odorata*) y con cultivos de ciclo corto, anual, temporal y bajo riego.

También hay zonas que se han recuperado naturalmente, un ejemplo es Catamayo (24.44 %) que a pesar de tener un alto porcentaje de degradación del ecosistema (34.60



%) y en donde ha habido un proceso de sucesión muy significativo (30 %) se han venido dando buenas prácticas sostenibles y tecnificadas en cuanto al campo productivo de caña de azúcar, esto se contempla con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento del Territorio de la Provincia de Loja (PDOTPL) 2014, donde existen áreas dedicadas al monocultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) principalmente ubicada en la cabecera cantonal del cantón Catamayo, con una extensión de 2 736.4 ha, con un porcentaje de 4,2 % correspondiente al área total del cantón, estos cultivos hasta la actualidad se han incrementado en un 0.11 %. No obstante, hay que mencionar que esta es una de las parroquias con menor área deforestada 11.29 ha/año ocupando una tasa anual de -0.03 % y es que a lo largo de los años esta parroquia ha practicado la producción agrícola para obtención de recursos económicos. En cuanto al estudio del PDOTC (2012 – 2022) el remante de matorral seco bajo que es predominante en los alrededores del valle de Catamayo, esta unidad de vegetación existen un área de 5 678.9 has correspondiente al 8.7 % del área total del cantón Catamayo y según los resultados de la tesis se han generado ganancias en un 11.43 %, lo que se puede corroborar con la sucesión natural que se está dando en este remante.

Así mismo, Catamayo se caracteriza por tener matorrales seco bajo y xerofítico, esta vegetación arbustiva que no supera los 2 m de alto se desarrollan especies como: faique (*Acacia macracantha Humb. & Bonpl. Ex Will*); moshquera (*Crotton sp.*); zapote de perro (*Capparis scabrida Kunth*); ceibo blanco (*Chorisia sp.*). Esta vegetación se encuentra en los sectores del cantón Zapotillo, en los alrededores del valle de Catamayo y en el límite norte del cantón Saraguro, abarcando en estos tres cantones cerca de 50 968 ha (4,62%) a nivel provincial, en cuanto a nivel cantonal, nuestros resultados arrojan que este matorral xerofítico ocupa un porcentaje de 17.62 %, además se lo puede encontrar en las partes bajas de El Tambo y San Pedro de la Bendita.

El estudio realizado por Cueva & Chalán 2010, manifiestan que en el pasto natural predomina la vegetación herbácea que se desarrollan de forma natural y espontánea, luego de alteraciones de la vegetación original, es decir, sin recibir ningún tipo de cuidado, es característica en zonas con poca precipitación, sean estos sitios bajos o de altura, en los primeros se encuentra el pasto yaragua (*Hyparrhenia rufa*), se desarrollan especies como paja (*Schizachyrium sp.*) y Puya (*Puya sp.*) Se ubican en zonas intermedias en las parroquias de San Pedro y el Tambo. El área de este ecosistema es de 15 024.5 has, correspondiente a 23,1% del área total del cantón Catamayo, no obstante el PDOTPL

(2014), manifiesta que esta clase de pasto natural a nivel provincial se puede apreciar con mayor representatividad, cubriendo cerca de 17.37 % donde se da menor actividad productiva. Haciendo mención a Cueva y Chalan, desde aquella fecha hasta la culminación de nuestro estudio se han producido cambios positivos en cuanto a este ecosistema, teniendo ganancias de 3.04 % lo que da a notar que se está dando una sucesión natural muy significativa para ambas parroquias en un 30.21 y 30.66 % respectivamente.

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de Zambí (PDOTZ) (2015), en la parroquia la deforestación se da de igual forma por ampliación de la frontera agrícola, con el propósito de cultivar la tierra lo lleva a efectuar prácticas anti técnicas de tala de árboles que luego se utilizan como combustible y para establecimiento de cercas, el área deforestada en la parroquia Zambí en nuestro estudio abarca cerca de 427.24 has lo que conlleva a la pérdida de especies vegetales nativas de la zona como resultado de la tala indiscriminada de los bosques y erosión de los suelos debido a la desaparición de la cobertura vegetal.

En cuanto al desarrollo agrícola y en sí, a la producción de cultivos en la parte alta y baja de El Tambo, en base al informe técnico presentado por Naturaleza y Cultura en el 2010, El Tambo presenta tierras destinadas al cultivo en huertas, caracterizadas por estar compuestas de policultivos de ciclo corto (maíz blanco, frejol, arveja, papa) y cultivos perennes. En el cantón esta cobertura vegetal se la encuentra en la parte alta y media de la parroquia El Tambo con un área de 645,4 ha correspondiente al 1.0 %; además otro estudio realizado por el PDOTC cuatro años después en esta parroquia se vienen dando huertos de cultivos de árboles frutales, banano, limón, yuca, caña, tomate y otras especies de ciclo corto en una extensión de 12 077.9 ha correspondiente al 2.0 %, del cantón Catamayo. Cabe mencionar que en nuestro estudio esta clase de Mosaico Agropecuario ubicado en la zona de El Tambo se ha venido intensificando la producción, por lo que cuenta con un área de 1 423.82 ha, esta producción se la realiza más para consumo de las familias ya que cuentan con bajos recursos económicos.

La apertura de nuevas y caminos vecinales también ha sido un factor que ha ejercido presión sobre los ecosistemas; en este periodo la infraestructura aumentó de 209.63 ha a 651.01 ha (0.97 %), especialmente en Catamayo (5 %), donde se observa el crecimiento desordenado de la ciudad; y esto podría continuar hacia las demás comunidades, sino se aplican los planes de ordenamiento territorial para las cabeceras cantonales y parroquiales, en donde actualmente no hay.

Otro tipo de clase estudiado son las plantaciones forestales y en especial el pino (*Pinus patula* y *P. radiata*) son sembradas con fines productivos o de reforestación. Se encuentran con mayor frecuencia en Saraguro, Loja, Gonzanamá, Espíndola, Paltas, Calvas, Celica, Sozoranga y Olmedo, en una superficie total de 3 355 ha (0,30%) (PDOT Provincial de Loja). Así mismo, según el PDOTC (2012 – 2022) estas plantaciones se encuentran ubicadas en la parte alta en el sector de Ucarangui, en la parroquia de El Tambo y la parte alta de Catamayo, entre el límite de las parroquias el Tambo y Catamayo con el cantón Loja, la extensión es de 203,7 has de pino plantado correspondiente al 0,3 % del área del cantón Catamayo; y a nivel del periodo de estudio, estas plantaciones forestales ocupan una extensión de 20.27 has en un porcentaje de cambio de 0.03 % y de igual forma se encuentran ubicadas en la parte alta de Catamayo y El Tambo.

Además, en la provincia de Loja existen 19 áreas de bosque y vegetación protectores (ABVP), que ocupan 5,85% del territorio provincial, es decir 647,06 km<sup>2</sup>, y dos parques nacionales (PN) legalmente reconocidos por el Ministerio del Ambiente (MAE), que representan 3,83%, igual a 423,92 km<sup>2</sup> (PDOTPL), a nivel cantonal, Catamayo se encuentra dentro de la reserva de la biosfera Podocarpus – El Cóndor, esta denominación es una categoría reconocida por la UNESCO, probada el 18 de septiembre de 2007. Específicamente la cabecera cantonal de Catamayo, se encuentra inmersa en esta Reserva de Biosfera, con 14 570 has, la finalidad de este declaratoria es de promover la conservación de paisajes ecosistemas y especies de la zona e impulsar procesos de planificación y ejecución de proyectos a favor de la conservación de la diversidad biológica y cultural del área, para alcanzar un modelo de desarrollo sustentable. Dentro de la categoría de bosques Protectores en el cantón existen aproximadamente 9,5 has que pertenece al bosque protector Santa Rita, es una pequeña área que se encuentra en el margen del río Catamayo, en la jurisdicción de la parroquia El Tambo, la mayor parte de esta área se encuentra en el cantón Gonzanamá.

Así mismo, en el cantón existen áreas que están dentro del proyecto Socio Bosque, las áreas que están dentro de este proyecto se encuentran ubicadas en las parroquias de Guayquichuma con un área de 279.45 has, en la parroquia de San Pedro de la Bendita con una superficie 649 has y en la parroquia El Tambo el área que pertenece a este proyecto es de 93.56 has obteniéndose un total de 1 022 has, mencionando estos resultados, se resalta que en el cantón Catamayo existe una gran pérdida del ecosistema (4 191.94 has), teniendo como buena opción este proyecto que de seguro dará buenos resultados.

## **5.2 ESCENARIOS DE DEFORESTACIÓN AL 2060**

Al analizar los resultados que generó el módulo Land Change Modeler (LCM), el primer resultado como se observa en la figura 11, es la estadística grafica del cambio de uso para el periodo de análisis, que representan las ganancias y pérdidas netas de cada clase de uso del suelo, donde el bosque ha perdido en relación a lo que ha ganado, y la clase agricultura que abarca los cultivos, pastos cultivados y pastos naturales en el periodo gana frente a lo que ha perdido; estas dos clases son las que influyen en el modelo de deforestación. A partir de este proceso se generó el mapa de tendencia del cambio de uso del suelo como se ve en la figura 24; se muestra en forma espacial los lugares donde el cambio de uso del suelo ha tenido el mayor impacto escalado en un mapa de variable continua con una escala de 0 a 1, cero no tiene impacto y uno son los sectores de mayor impacto. Para el periodo 1996 – 2015, la zona de El Tambo es donde se encuentran ubicadas las actividades productivas y el impacto de deforestación es elevado.

El modelo de deforestación generado al 2030, estima que la perdida de bosque nativo continuará afectando en este periodo, donde el cambio principal será provocado por la implementación de áreas de pastos plantados. La tasa de deforestación estimada para esta fecha es de -0.007 % y para el 2060 será de -0.002 pero esto podría elevarse de acuerdo a cambios que se presenten en el territorio, sobre todo por la construcción de nuevas vías, intensificación de la producción agrícola entre otros.

La tendencia de la deforestación al 2060 se gráfica en la figura 24, se describe la línea de decrecimiento de los bosques, estimando una pérdida de alrededor de 1 089.18 ha, lo que anualmente corresponderá a 24.21 ha/año.

## **5.3 ANÁLISIS METODOLÓGICO**

La metodología propuesta permitió obtener los resultados propuestos por cada objetivo específico, desde la generación de la línea base en base al tratamiento de imágenes de satélite, hasta determinar los cambios de uso del suelo obteniendo la tasa de deforestación, y a partir de este resultado se realizó la modelación de la deforestación utilizando el módulo Land Change Modeler (LCM).

Dentro del desarrollo del módulo LCM, todas las variables son espaciales, pero no permite ingresar datos estadísticos de población y que son importantes para evaluar la

deforestación analizada desde el punto de vista económico productivo como: consumo energético de combustibles, ingresos de venta de madera, manejo de chacras, otros.

En el proceso metodológico la variable que corresponde a vialidad (accesibilidad) categoriza tres tipos de vías: primero, segundo y tercer orden; ya en el desarrollo del trabajo de campo se encontró otro tipo de accesos, como son caminos de herradura y rutas fluviales; el modelo no permite ingresar más categorías de vías, lo que limita la interpretación.

## 6 CONCLUSIONES

Del presente proceso investigativo se concluye lo siguiente:

- La metodología empleada en este trabajo, a partir de la combinación de técnicas de Teledetección, SIG y análisis estadístico simple, ha demostrado que para estudios relacionados en cambios de usos del suelo es efectiva, 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, tiene un área de 65 201.85 ha; que para el 2015 están distribuidas el 18.77 % por bosques, 41.80 % por pastos, cultivos y mosaico agropecuario, 0.27 % Páramo, 37.75 % matorrales, 0.25 % cuerpos de agua, 0.97 % infraestructura, 0.14 % plantaciones forestales y 0.04 % nubes.
- Entre el año 1996 y 2015, las coberturas que disminuyeron su área son el bosque en un 4.42 % y el páramo en un 0.16 %, y las coberturas que mayormente ha aumentado son los pastos y cultivos en 1.73 %; estos valores demuestran que durante este periodo la actividad agrícola ha sido la principal actividad económica que ha ocasionado los principales cambios en las coberturas.
- El área que ha cambiado durante el periodo analizado es de 25 549.89 ha, lo que representan el 38.04 % del cantón; en cambio, el área que se ha mantenido intacta y no ha sufrido cambios es de 4 1620.36 ha, es decir el 61.96 % del cantón.
- Anualmente se deforestan dentro del cantón Catamayo, 158.60 has de bosque, lo que representa una tasa anual de -0.23%. Este valor está representado principalmente por la extracción de madera, actividades agropecuarias y quemas para la apertura de pastizales.
- Las parroquias con mayor superficie deforestada son El Tambo y Guayquichuma con 1 850.619 ha (38.93 %) y 1560.49 ha (32.81 %), lo que representa una tasa de

deforestación de 0.02 % y 0.02 % respectivamente, es decir, que anualmente se deforesta en la parroquia El Tambo 51.15 ha y en Guayquichuma 61.05 ha.

- Para que el modelo de predicción de cambios tenga mayor efectividad, es necesario que las variables a incorporarse sean representativas, es decir, expliquen de forma precisa los cambios que se dan en un área.

## 7 RECOMENDACIONES

Para finalizar la presente investigación se recomienda lo siguiente:

- Para fundamentar el estudio realizado, sería importante ampliar la investigación hacia el componente socioeconómico, con el propósito de conocer el grado de influencia que este ejerce sobre los cambios de uso del suelo del cantón Catamayo.
- Los organismos competentes con ayuda de las comunidades, deberían establecer áreas estratégicas dentro del cantón, para la conservación de microcuencas, desarrollo de potencial turístico y participación en programas de incentivos económicos como SOCIOBOSQUE.
- Ofrecer asesoramiento y tecnificación en las actividades agropecuarias para que las áreas destinadas a la producción sean lo suficiente rentables económicamente aumentando la productividad en la menor área posible o en las superficies que en la actualidad ya están intervenidas, para que no se obligue a sus propietarios a colonizar nuevos territorios avanzando con la brecha de la frontera agrícola y desplazar o reducir las superficies de vegetación natural.
- Si bien la tasa de deforestación en el cantón, es baja, es importante que los organismos gubernamentales realicen alianzas con ONGs y comunidades, para el mantenimiento y la conservación de los ecosistemas.
- Formar gestores comunitarios ambientales capaces de dirigir y dar seguimiento a los procesos de transformación en favor de superar los problemas ambientales que afectan a los bosques.
- Definir y ejecutar los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de las parroquias que conforman el cantón, para evitar problemas de tenencia de tierras y expansión descontrolada de las zonas urbanas.



- Sería interesante poder obtener información actualizada de las variables a utilizar para el modelo de predicción de cambios, así como también, la infraestructura a desarrollarse en el futuro, lo que permitirá una mejor precisión de los resultados.
- Para reducir los efectos que el desarrollo socioeconómico traerá en los ecosistemas, especialmente bosque en el futuro, es necesario que los gobiernos descentralizados realicen proyectos con la participación de las comunidades para conservar los bosques, sin afectar el desarrollo económico de las comunidades.
- Es importante que se establezca un sistema para la actualización del catastro rural de las parroquias, que involucre los aspectos sociales y ambientales, de tal manera que constituya una herramienta de utilidad en otros proyectos.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Ariza, A. 2013. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). Bogota-Colombia. 46 p.
- Aguilera F., Soria J., y Valenzuela L. 2006. Explorando el crecimiento en la aglomeración urbana de Granada: Un modelo basado en Autómatas Celulares. XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías Geográficas, Granada, España.
- Aguirre J., y Kvist L. 2005. Composición florística y Estado de Conservación de los Bosques Secos del Sur-Occidente del Ecuador. Loja Ecuador. 35 p.
- Atencia V., Contreras J., y Vergara D. 2008. Estudio Multitemporal de Imágenes Satelitales con fines de delimitación del complejo bajo San Jorge Margen Izquierdo (B13) y diagnóstico de zonas intervenidas antrópicamente (Agricultura y Ganadería). Ingeniero Agrícola. Sincelejo, Universidad de Sucre. 117 p.
- Benítez J. 2002. Ortorretificación de fotografías aéreas utilizando el Software ERDAS Imagine. (En línea). Consultado 06 de junio, 2017.
- Barrantes G., H. Chaces y M. Vinueza. 2010. El bosque en el Ecuador: una visión transformada para el desarrollo y la conservación. Quito, Ecuador. 47p.
- Beard R. 2008. Modulo sobre teledetección y análisis de cambio de usos y cobertura de la tierra. Universidad Tecnológica de Panamá.
- Cámara G., Souza R., Freitas U., Garrido J., Computers y Graphics. 2008. SPRING Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. (En línea). Consultado 06 de junio del 2017. 20 (3): 395-403.
- Cassman, K., Wood S., Choo P.S., Dixon J., Gaskell J., Khan S., Lal R, Pretty J., Primavera J., Ramankutty N., Viglizzo E., Kadungure S., Kanbar N., Porter S., y Tharme R. (2005). Cultivated systems. In: Scholes R, Rashid H (eds) Millennium Ecosystem Assessment: Working group on conditions and trends. Island Press, Washington D.C.

- Clavijo M., y G. Castillo. 2007. Estudio Histórico y Geográfico del Valle de Catamayo. (Consultado marzo 10, 2016).
- Chuvieco E. 1990. Fundamentos de Teledetección Espacial. Ediciones Rialp, S.A. Colección Monografías y Tratados Ger. Serie Geográfica y Ecología tratados. Madrid, España. 449 p.
- Chuvieco E. 2002. Teledetección Ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio. Ariel Ciencia. Barcelona, España.
- Córdoba C., y Revelo L. 2012. Análisis multitemporal para la identificación y cambio de la cobertura vegetal y uso de la tierra en la Microcuenca Dolores, Municipio de Pasto, departamento de Nariño, en el periodo comprendido entre 1985 a 2007. Tesis Especialista en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Facultad de Ciencias y Tecnologías, Universidad Santo Tomas. Colombia. 94 p.
- Crespo R. 2011. La política ambiental ecuatoriana: enfoque crítico de los principales hitos de los últimos quince años. Quito, Ecuador. 37-43 p.
- Cueva J. 2012. Elaboración y Análisis del Estado de la Cobertura Vegetal de la provincia de Loja – Ecuador. Tesis Master en Conservación y Gestión del Medio Natural. Universidad Internacional de Andalucía. Universidad de Sevilla. España. 88 p.
- DeFries, R., Asner, G., y Houghton, R. 2004. Trade-offs in landuse decisions: Towards a framework for assessing multiple ecosystem responses to land-use change. In: DeFries RS, Asner GP, Houghton RA (eds) Ecosystems and land use change. Geophysical Monograph 153. American Geophysical Union, Washington D.C. p 1–9
- Eastman J. 2006. IDRISI Andes, Guide to GIS and Image Processing. Worcester, MA: Clark Labs, Clark University. 328 p.
- Eastman R. 2009. IDRISI Taiga Guide to GIS and Image Processing. Clark University. (En línea). Consultado 06 de junio del 2017.
- Eastman, J. R. (2012). IDRISI Selva, guía para SIG y procesamiento de imágenes. Worcester. USA.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2009. Situación de los bosques del mundo.
- Farris-Manning P. 2006. OpenEV. Canada. (En línea). Consultado 06 de junio del 2017.
- Geist H. y E. Lambin. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience*: 52(2):143-50.
- Geomorfología del Catamayo Chira. 2006. Estudio Geoambiental de la Cuenca del río Catamayo – Chira.
- Guzmán D., J. González y E. Pazuña. 2009. Economía de la migración en la provincia de Loja cantón Catamayo. Tesis Economista, Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador. 168 p.
- Godoy M., y Soares B., 2008. Modelling intra-urban dynamics in the Savassi neighborhood, Belo Horizonte city, Brazil. In: Paegelow M. & M. T. Camacho Olmedo (eds.), *Modelling Environmental Dynamic*, Parte 2. Pp.: 318 – 338. *Environmental Science and Engineering*. Springer.
- González J., A. Etter, A. Sarmiento, S. Orrego, C. Ramírez, *et al.* 2011. Análisis de tendencias y patrones espaciales de deforestación en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 64 p.
- Guerrero, G., O. Masera & J. F. Mas. 2008. Land use/Land cover change dynamics in the Mexican Highlands: current situation and long term scenarios. In: *Modelling Environmental Dynamics: Advances in Geomatic Solutions*. Paegelow, M. & M. T. Camacho (Eds). *Environmental Science and Engineering*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 390 pp.
- Henríquez, C., Azócar, G. y Aguayo, M. 2006. Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, N° 36. p 61-74.
- Henríquez C., y Azócar G. 2007. Propuesta de modelos predictivos en la planificación territorial y evaluación de impacto ambiental. (En línea). *Revista Electrónica de*

Geografía y Ciencias Sociales. Barcelona: Universidad de Barcelona, Vol. XI, N° 245 (41). (Consultado 20 de agosto 2017).

Henríquez L. 2012. Escenarios Futuros de uso de suelo para el análisis del efecto del cambio global en los recursos hídricos aplicado al acuífero de La Mancha Oriental. Tesis Master en Ingeniería hidráulica y Medio Ambiente Intensificación: Recursos hídricos. Universidad Politécnica de Valencia. España. 225 p.

Hernández J. y D. Montaner. 2009. Patrones de respuesta espectral. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Chile. 14 p.

Ibarra J., Rigoberto Román, Karla Gutiérrez, Jacobo Gaxiola, Víctor Arias, Maximiano Bautista. 2011. Cambio en la cobertura y uso de suelo en el norte de Jalisco, México: Un análisis del futuro, en un contexto de cambio climático. Ambiente y Agua – An Interdisciplinary Journal of Applied Science, 6 (19).

Jaimes, N.; Sendra, J.; Delgado, M.; Rocha, W. (2008). Analysis of land use changes in the State of Mexico using regression analysis and GIS: an approach to the deforestation processes Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN 0188-4611, 69: 33-52

Jiang, Z. (2007) The Road Extension Model in the Land Change Modeler for Ecological Sustainability of IDRISI. 15th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems, November 7-9, 2007, Seattle, WA.

Kasperson R., Archer E., Caceres D., Dow K., Downing T., Elmqvist T., Folke C., Han G., Iyengar K., Vogel C., Wilson K., y Ziervogel G. 2005. Vulnerable people and places. In: Scholes R, Rashid H (eds) Millenium Ecosystem Assessment. Working group on conditions and trends, Island Press, Washington D.C.

Kirby E. 2011. Metodología para la generación de ortoimágenes. Tesis M. Sc. Sistemas de Información Geográfica, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador. 25p.

Lambin E. y Strahler A. 1994. Indicators of land-cover change for change vector analysis in multitemporal space at coarse spatial scales. International Journal of Remote Sensing 15: 2099–2119pp.

- Lambin E., Turner F., Helmut J., Geist, Samuel B. Agbola, Arild Angelsen, John W, Bruce, Oliver T. comes, Rodolfo Dirzo, Gunther Fischer, Carl Folke, P.S. George, Katherine Homewood, Jacques Imbernon, Rik Leemans, Xiubin Li, Emilio F. Moran, Michael Mortimore, P.S. Ramakrishnan, John F. Richards, Helle Skanes, Will Steffen, Glenn D. stone, Uno Svedin. Tom A. Veldkamp, Coleen Vogel y Jianchu Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*.
- Jenerette D., y Wu J. 2001. Analysis and simulation of land-use change in the central Arizona – Phoenix region, USA. *Landscape Ecology* 16: 611–626.
- Lencinas J. 2011. Tecnología geomática para la evaluación de bosques nativos en Patagonia. 60 p.
- MAE (Ministerio del Ambiente EC) 2012. Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental, Quito-Ecuador.
- MAE. 2015. Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental. (Consultado marzo 08, 2016).
- MAE. 2015. Socio Bosque: Programa de Protección de Bosques. (Consultado marzo 08, 2016).
- MTOP. Ampliación y Mejoramiento de la Vía Aereopuerto - Catamayo - Loja, cantones Catamayo y Loja, provincia de Loja. (Consultado marzo 07, 2018).
- Mancebo S., Ortega E., Valentín A., Martín B., y Martín L. 2008 Libro SIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental. Madrid, España.
- Mas, J., y Flamenco A. 2011. Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTrópico*, NS 5 (1), Artículo 1: 1-24. (En línea). Consultado 01 de abril 2016.
- Matusow D. 2012. NASA Image2000. NASA Goddard Space Flight Center. (En línea). Consultado 06 de junio, 2017.

- McConnell W., Keys E. 2005. Meta-analysis of agricultural change. In: Moran EF, Ostrom E (eds) Seeing the forest and the trees: Human-environment interactions in forest ecosystems. MIT Press, Cambridge London.
- Molina M. 2007. Efectos de los tipos de urbanización asociados al crecimiento urbano del área metropolitana de Santiago sobre la generación y comportamiento de micro islas de calor. Memoria para optar al Título de Geógrafo, Universidad de Chile.
- Naturaleza y Cultura. 2010. Informe técnico de Desarrollo Sustentable de la provincia de Loja. (Consultado septiembre 19, 2016).
- Olaya V. 2011. Sistemas de Información Geográfica. 911 p. (Consultado marzo 09, 2016).
- Oñate-Valdivieso, F., y Bosque J. 2010. Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios of hydrological modeling. *Journal of Hydrology* 395: 256-263.
- Ovalles P. 2011. Identificación de las causas de la deforestación y la degradación de los bosques en la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana. 85 p.
- Paegelow M., Camacho M. y Menor T. 2003. Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje, *GeoFocus* 3, ISSN: 1578-5157.
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento del Territorio de la Provincia de Loja (PDOTPL). 2014 (Consultado marzo 08, 2016).
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Catamayo (PDOTC). 2012 – 2022. (Consultado marzo 08, 2016).
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de Zambi (PDOT). 2015. (Consultado agosto 10, 2016).
- Ponce C. 2008. Análisis de cambio de cobertura vegetal y fragmentación en el corredor de conservación comunitaria El Ángel-Bosque Golondrinas, Provincia del Carchi

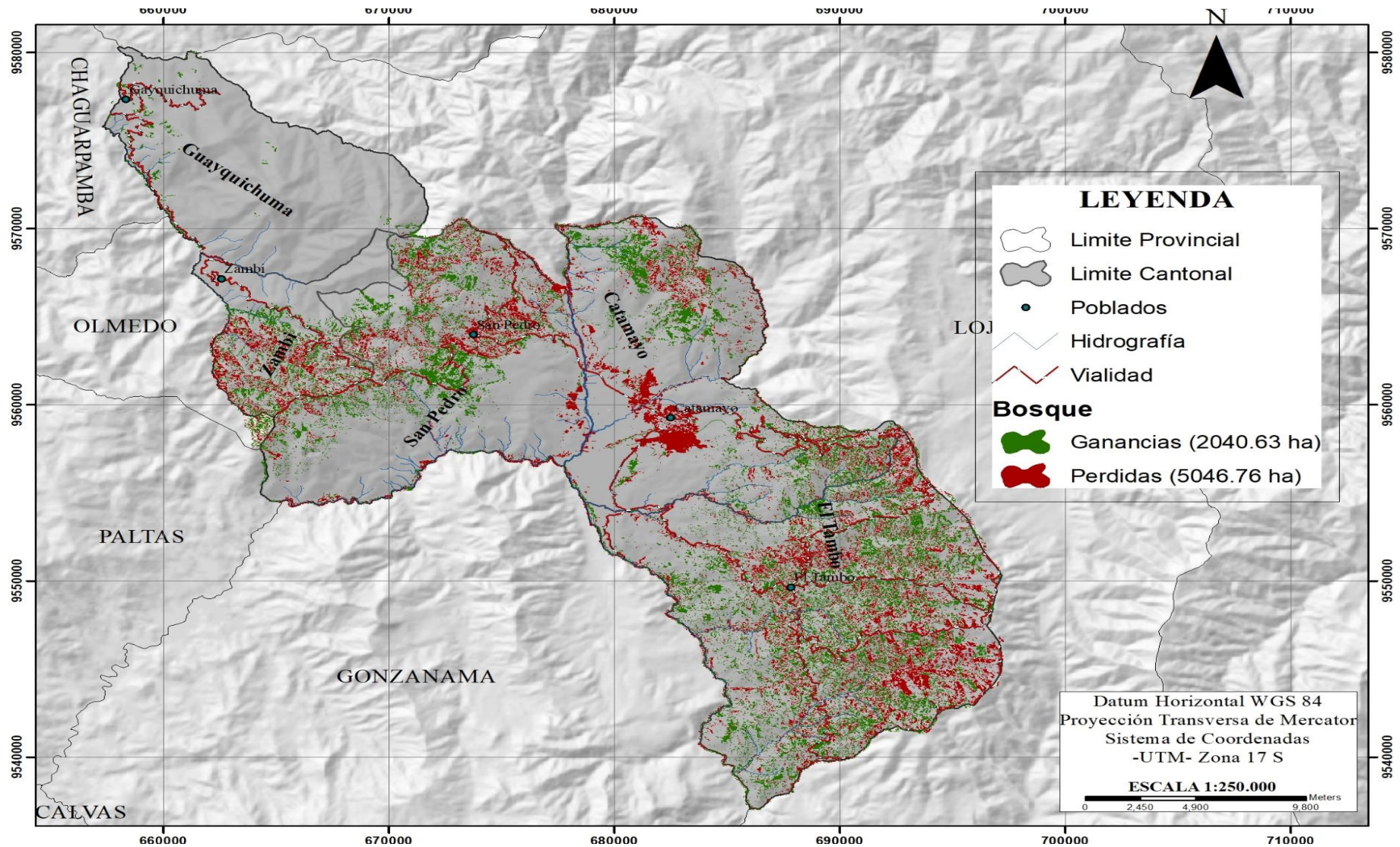
- (1996-2005). Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente. Carchi, Ecuador. Escuela Politécnica del Ejército. 110 p.
- Pontius, R. G., E. Shusas and M. McEachern 2004, "Detecting important categorical land changes while accounting for persistence", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, N° 101 Vol. 2–3, p 251–268.
- Pontius R., y Malanson, J. 2005 Comparison of the structure and accuracy of two land change models, *International Journal of Geographical Information Science*, N° 19, Vol. 2, p 243-265.
- Puerta R., J. Rengifo, y N. Bravo. 2013. *Manual de ArcGis 10 Nivel Intermedio: Departamento de Ciencias de los Recursos Naturales Renovables*. Perú. 117 p.
- Puyravaud J., 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management* 177:593-596.
- Ramankutty N., y Foley J. 1999. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochem* 13 (4): 997–1027.
- Rivera H. 2001. *Aplicación de la Evaluación Multicriterio para la Asignación de Funciones al Territorio de la Reserva Nacional Valdivia. Proyecto Manejo Sustentable del Bosque Nativo (Conaf / Gtz)*.
- RS/GIS Quick Start Guides 2008. *Landsat Spectral Band Information*. (En línea). Consultado 08 de junio 2013.
- Sagan C., Toon O., y Pollack J. 1979. Anthropogenic albedo changes and the Earth's climate.
- Schowengerdt R. 2007. *Remote sensing: models and methods for image processing*. Third edition. Elsevier. 558 p.
- Sudhira H.S., Ramachandra T.V., y Jagadish K.S. 2004. Urban sprawl: metrics, dynamics and modelling using GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5. p 29-39.



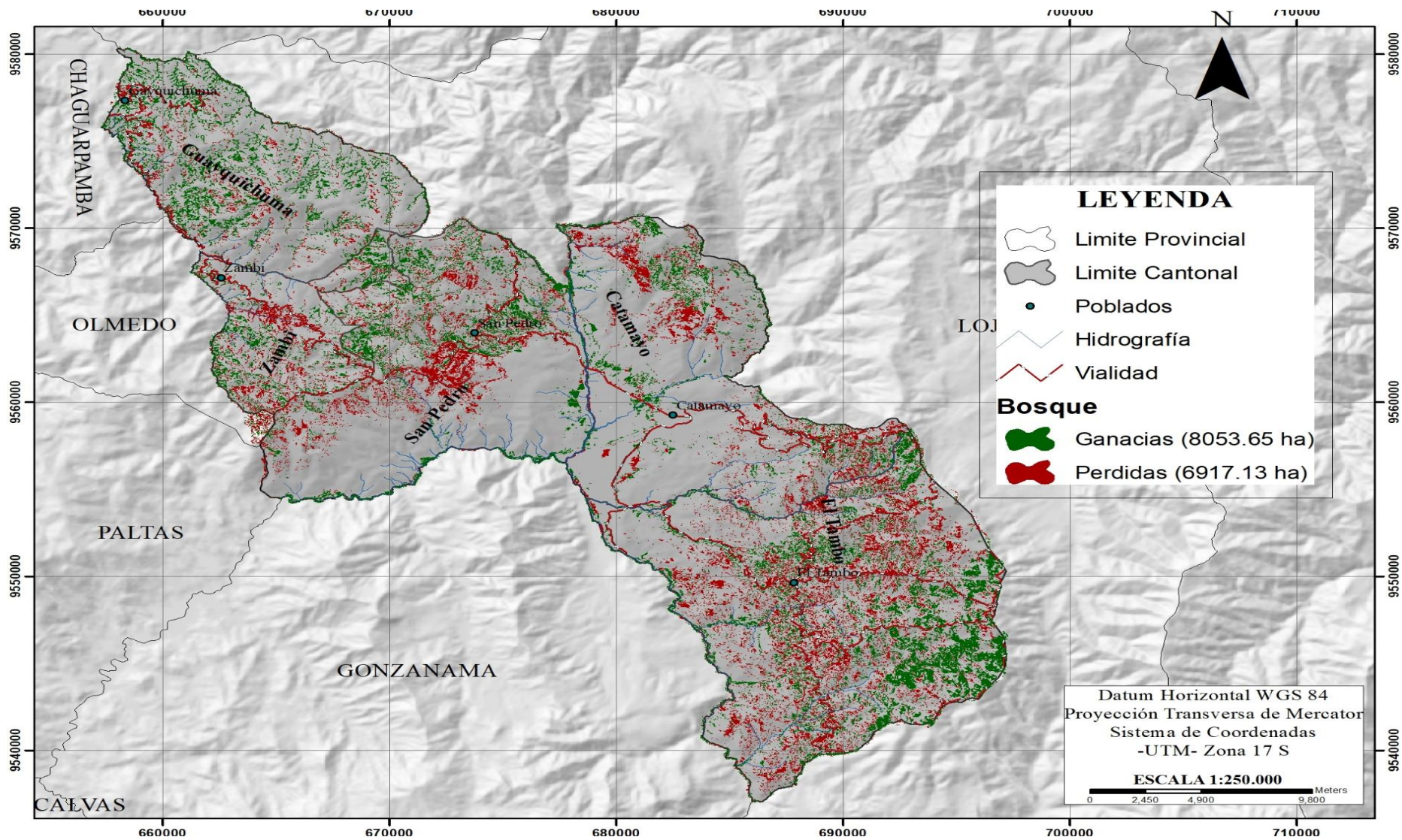
- Toutin T. 2001. Geometric processing of Ikonos GEO images with DEM. Proceedings of the Joint ISPRS Workshop “High Resolution Mapping from Space 2001” Hannover.
- Toutin T. 2004. Review paper: geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. *International Journal of Remote Sensing*. 25 (2004): 1893-1924.
- Tri-Academy Panel. 2001. Population and land use in India, China, and the United States: Context, observations, and findings. In: Indian National Science Academy, Chinese Academy of Sciences, and U.S. National Academy of Sciences (eds) *Growing populations, changing landscapes: Studies from India, China, and the United States*. National Academy Press: Washington D.C.
- Tucker C. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2): 127-150
- USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos). 2007. Initial Data Characterization, Science Utility and Mission Capability Evaluation of Candidate Landsat Mission Data Gap Sensors. Reporte Técnico. Versión 1.0
- Vásquez A., Romero H., Fuentes C., López, C. y Sandoval, G. 2008. Evaluación y simulación de los efectos ambientales del crecimiento urbano observado y propuesto en Santiago de Chile. *Anales del Congreso de Geografía Rural*.
- Veldkamp A., y Lambin E. 2001 Editorial: predicting landuse change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. p 1 – 6
- Verburg P. y Overmars K. 2007 Dynamic simulation of landuse change trajectories with the CLUE-s model. In: Koomen, E., Stillwell, J., Bakema, A. and Scholten, H.J. (eds.). *Modeling Landuse Change. Progress and applications*. The GeoJournal Library, Volume 90. Springer. p 321-338.

# 9 ANEXOS

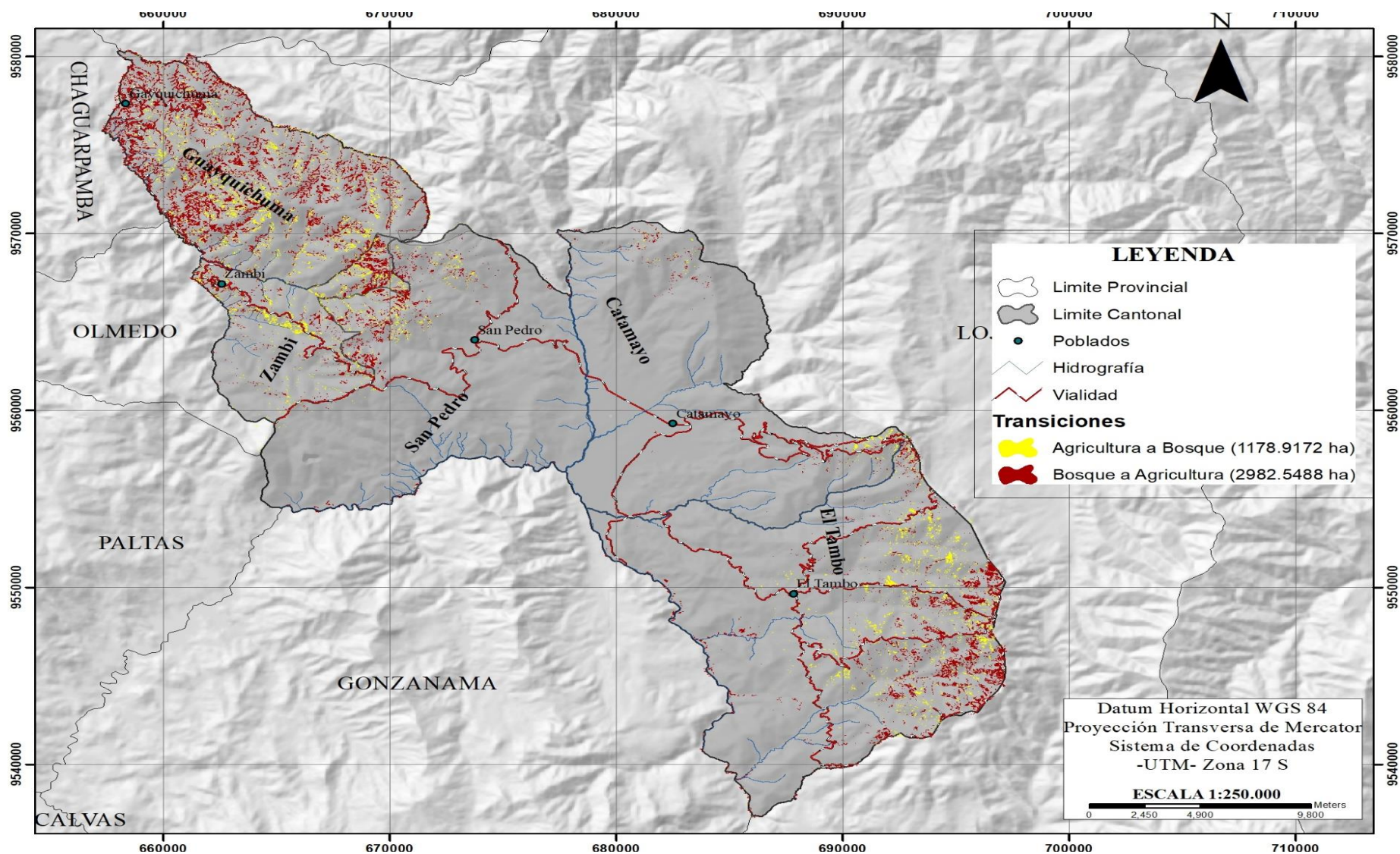
## ANEXO 1. GANANCIAS Y PÉRDIDAS EN BOSQUE



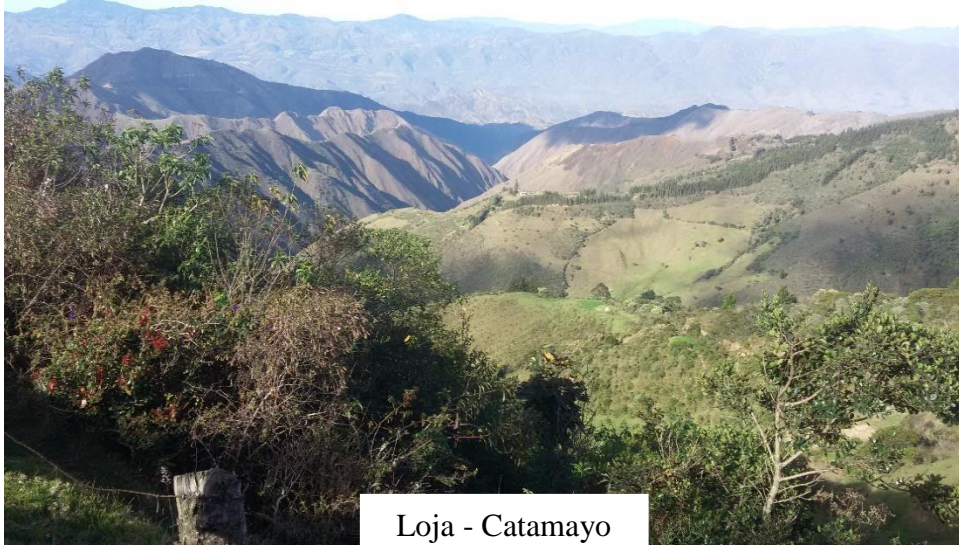
## ANEXO 2. GANANCIAS Y PÉRDIDAS EN AGRICULTURA



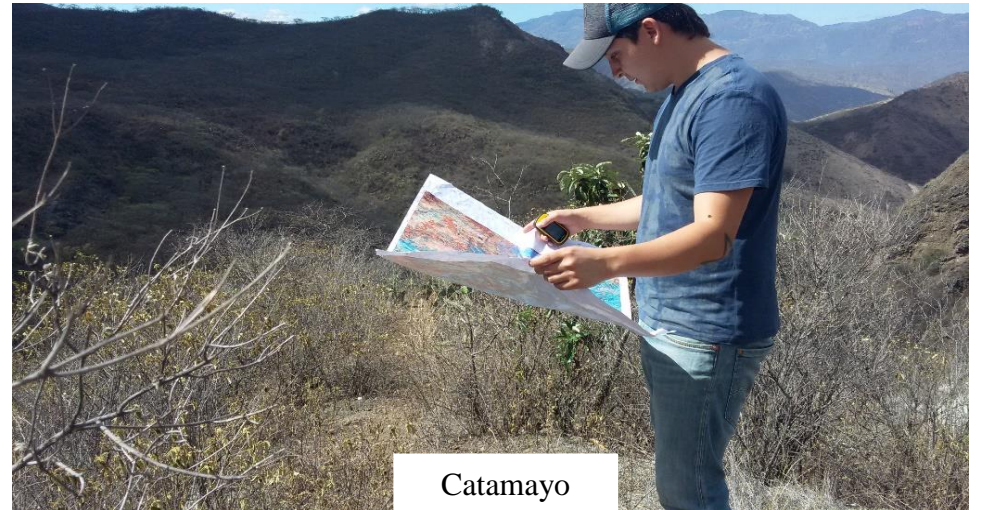
### ANEXO 3. TRANSICIÓN BOSQUE-AGRICULTURA



#### ANEXO 4. FOTOGRAFÍAS



Loja - Catamayo



Catamayo



Zambi



Guayquichuma



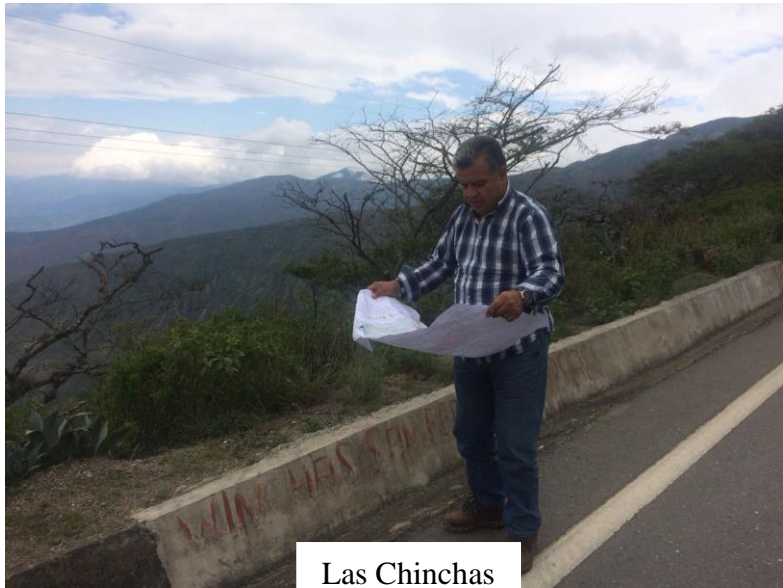
San Pedro



San Pedro



El Tambo



Las Chinchas

## ANEXO 5. MATRIZ DE TABLUCACIÓN CRUZADA

**Cuadro 15.** Matriz de tabulación cruzada de los diferentes usos del suelo en el periodo 1996 a 2015 en el cantón Catamayo

USO DEL SUELO	AÑO 2015													TOTAL (T1)	
	BN	MX	MB	PC	C	PN	PF	PA	VS	UR	MR	MA	NU		
AÑO 1996	BN	4657.35	278.67	52.73	934.53	69.75	1944.86	18.52	7.01	1639.22	0.62	17.42	38.03	9.18	9667.89
	MX	390.00	8015.15	591.61	1131.00	147.59	1093.25	18.37	9.27	1428.36	19.91	11.31	442.71	0.00	13298.53
	MB	8.84	843.02	11111.28	203.75	328.05	263.47	0.14	0.30	34.11	444.24	44.59	45.73	0.00	13327.52
	PC	6.63	114.69	265.54	411.15	1.10	177.18	0.00	0.60	64.01	0.00	0.00	5.34	0.00	1046.24
	C	0.87	3.33	76.85	10.80	2039.50	5.33	0.00	0.00	2.06	32.47	35.29	39.04	0.00	2245.54
	PN	1101.67	2280.65	1250.44	2658.88	239.01	13459.93	20.15	24.24	1208.99	21.88	14.86	497.35	18.26	22796.31
	PF	129.02	3.71	0.03	5.20	0.07	3.40	28.26	0.63	13.80	0.00	0.00	0.07	0.00	184.19
	PA	50.44	2.72	0.09	28.12	0.001	4.86	5.20	137.53	50.66	0.10	0.00	0.00	0.00	279.72
	VS	337.14	95.80	25.78	720.84	4.87	474.53	0.12	0.25	1235.52	0.01	0.13	30.95	0.00	2925.94
	UR	1.52	29.03	21.78	3.43	0.88	14.22	0.36	0.00	8.04	130.25	0.08	0.05	0.00	209.64
	CA	1.69	2.45	45.66	25.28	29.75	3.34	0.08	0.00	5.77	0.00	44.10	0.88	0.00	159
MA	37.02	115.76	24.02	28.88	20.56	15.50	0.00	0.00	140.41	1.54	0.18	322.92	0.00	706.79	
TOTAL (T2)	6722.19	11784.98	13465.81	6161.86	2881.131	17459.87	91.2	179.83	5830.95	651.02	167.96	1423.07	27.44		

Dónde: **BN:** Bosque Natural; **MX:** Matorral Xerofítico; **MB:** Matorral Seco Bajo; **PC:** Pasto Cultivado; **C:** Cultivos; **PN:** Pasto Natural; **PF:** Plantación Forestal; **PA:** Páramo; **VS:** Vegetación Secundaria; **UR:** Urbano; **CA:** Cuerpos de Agua; **MA:** Mosaico Agropecuario; **NU:** Nubes.