



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE POSTGRADO**



**MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL  
DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**“Análisis Multitemporal del Uso del Suelo y Cobertura Vegetal de la  
Cuenca del Río Tahuando y Proyección de Cambios al Año 2031, en el  
Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura”**

Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magíster en Gestión  
Integral de Cuencas Hidrográficas

**TUTOR:**

Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez, MSc.

**AUTOR:**

Ing. Manuel Mesías Rosero Mier

**IBARRA – ECUADOR**

2017



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## INSTITUTO DE POSGRADO BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	DE	1001789682	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Y	Rosero Mier Manuel Mesías	
<b>DIRECCIÓN:</b>		Urbanización La Victoria, calles José Larrea y Jijón y Carlos Barahona, conjunto habitacional Amsterdam, casa 5.	
<b>EMAIL:</b>		<a href="mailto:manuel.rosero@ambiente.gob.ec">manuel.rosero@ambiente.gob.ec</a> ; <a href="mailto:manungocv@hotmail.com">manungocv@hotmail.com</a>	
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0939481950

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	“Análisis Multitemporal del Uso del Suelo y Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Tahuando y Proyección de Cambios al Año 2031, en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura”
<b>AUTOR:</b>	Rosero Mier Manuel Mesías

<b>FECHA:</b>	2017/10/02
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez, MSc.

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Rosero Mier Manuel Mesías, con cédula de ciudadanía Nro. 1001789682, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 02 días del mes de octubre de 2017

**EL AUTOR:**




---

**Rosero Mier Manuel Mesías**  
**C.C.: 1001789682**



## **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

### **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Rosero Mier Manuel Mesías, con cédula de ciudadanía Nro. 1001789682, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado: **“Análisis Multitemporal del Uso del Suelo y Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Tahuando y Proyección de Cambios al Año 2031, en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 02 días del mes de octubre de 2017



---

**Rosero Mier Manuel Mesías**  
C.C.: 1001789682

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de Tutor del Trabajo de Grado, ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL DE LA CUENCA DEL RÍO TAHUANDO Y PROYECCIÓN DE CAMBIOS AL AÑO 2031, EN EL CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA, presentado por el ingeniero Manuel Mesías Rosero Mier, para optar por el grado de Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, doy fe de que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación (privada y pública) y evaluación por parte del Jurado Examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los dos días del mes de marzo del 2017



**Ing. Oscar Armando Rosales E., MSc.**  
**C.C.: 0400933529**

## MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL  
DE LA CUENCA DEL RÍO TAHUANDO Y PROYECCIÓN DE CAMBIOS AL AÑO  
2031, EN EL CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA”

Trabajo de titulación revisado por Miembros del Tribunal, por lo cual se autoriza la  
presentación como requisito para obtener el título de:

## MAGÍSTER EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

### APROBADO

MSc. Oscar Armando Rosales Enríquez.  
**Tutor de trabajo de titulación**

PhD. José Alí Moncada Rangel  
**Tribunal de titulación**

Mgs. Lucía Del Rocío Vásquez Hernández.  
**Tribunal de titulación**

Mgs. María José Romero Astudillo  
**Tribunal de titulación**

Ibarra - Ecuador  
2017

## **DEDICATORIA**

A:

*Mi esposa, Gladys por todo su esfuerzo, confianza y apoyo incondicional en todo momento.*

*Mis hijas, Lizbeth y Nathaly por su comprensión y amor.*

*Mi sobrino, Guillermo por el apoyo brindado para el desarrollo de esta investigación.*

*Mis docentes, por cada conocimiento y experiencia brindada en el transcurso de mi formación les doy las gracias.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A mi familia por su amor y apoyo en cada momento y decirles que los llevo en mi corazón.*

*A Dios por darme la fuerza necesaria para luchar por mis sueños cada día y por*

*compartir con personas maravillosas en todo este ciclo de mi vida.*

*A mis docentes por brindarme sus conocimientos y formación como profesional, en*

*especial al Ingeniero Oscar Rosales por su apoyo y amistad en este trabajo, además a mis*

*asesores, Doctor Alí Moncada, Magíster Lucía Vásquez y Magíster María José Romero, por*

*su apoyo en la revisión para la culminación de mi tesis.*

*A mis compañeros Byron, Margarita, Yadira y Maribel por haberme apoyado durante el*

*transcurso de la formación y lograr nuestro objetivo.*

*Finalmente agradezco a todas las personas que en su debido momento me brindaron su*

*apoyo como algunos familiares y amigos.*

# ÍNDICE

	<b>Págs.</b>
TUTOR.....	i
AUTOR .....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	v
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
GLOSARIO.....	xvi
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT .....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1. Planteamiento del Problema.....	3
1.1. Antecedentes .....	3
1.2. Problema.....	4
1.3. Formulación del Problema .....	5
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1. Objetivo general .....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5

	<b>Págs.</b>
1.5. Justificación.....	5
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>8</b>
2. Marco Teórico .....	8
2.1. Microcuenca Hidrográfica.....	8
2.1.1. Límites de una cuenca .....	9
2.1.3. Importancia de la cuenca .....	11
2.1.4. Características biofísicas y sociales de la cuenca.....	12
2.2. Uso de Suelo.....	12
2.2.1. Cambios de uso de suelo .....	13
2.2.2. Cobertura vegetal .....	13
2.2.3. Vegetación Arbustiva.....	14
2.2.4. Bosque Nativo .....	14
2.2.5. Bosque Plantado .....	14
2.2.6. Cuerpos de agua .....	15
2.2.7. Cultivos y áreas intervenidas.....	15
2.2.8. Zonas Ganaderas .....	16
2.2.9. Zonas Urbanas.....	16
2.2.10. Sistemas de Información Geográfica .....	16
2.3. Teledetección.....	19
2.4. Imágenes Satelitales .....	19
2.4.1. Obtención de Imágenes .....	20
2.4.1. Aplicaciones de teledetección en los cambios de uso del suelo.....	25
2.4.2. Análisis multitemporal .....	25
2.4.3. Métodos de análisis multitemporal.....	26
2.4.4. Índice de vegetación normalizada (NDVI) .....	28
2.5. Proyección de la Pérdida de Cobertura Vegetal .....	28

	<b>Págs.</b>
2.5.1. Land Change Modeler (LCM).....	28
2.6. MARCO LEGAL .....	30
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>34</b>
3. Metodología.....	34
3.1. Tipo de Investigación .....	34
3.2. Diseño de la Investigación.....	34
3.3. Área de Estudio .....	34
3.3.1. Datos Generales.....	34
3.3.2. Factores climáticos .....	35
3.3.3. Flora y Fauna.....	36
3.4. Procedimiento para la Recolección de la Información .....	37
3.5. Instrumentos y Equipos Utilizados.....	37
3.5.1. Materiales y equipos de campo .....	37
3.5.2. Materiales y equipos de oficina .....	37
3.6.1. Reconocimiento y delimitación del área de estudio.....	38
3.6.2. Adquisición de imágenes en diferentes períodos .....	38
3.6.3. Clasificación de imágenes .....	40
3.6.4. Análisis Multitemporal de las Imágenes .....	44
3.6.5. Cálculo de la tasa de deforestación .....	44
3.6.6. Elaboración de cartografía base y temática.....	45
3.6.7. Elaboración de mapas de cobertura vegetal y uso actual de los años 1991, 2001 y 2013.....	45
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>46</b>
4. Resultados y Discusión.....	46
4.1. Resultados .....	46

	<b>Págs.</b>
4.1.1. Cambios de uso del suelo en la cuenca .....	46
4.1.2. Tasa de Deforestación .....	53
4.1.3. Matriz de confusión e Índice Kappa.....	54
4.1.4. Predicción de uso del suelo al año 2031.....	55
4.2. Discusión.....	56
4.2.1. Cuantificación de los cambios en las categorías de uso del suelo y cobertura vegetal.....	56
4.2.2. Determinación de la tasa de deforestación mediante el uso de imágenes de los satélites Landsat (TM, OLI) y ASTER.....	57
4.2.3. Proyección de cambios de uso del suelo y cobertura vegetal a partir del procesamiento digital de imágenes satelitales Landsat al año 2031.....	58
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>59</b>
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	59
5.1. Conclusiones .....	59
5.2. Recomendaciones.....	60
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>61</b>
6. Bibliografía.....	61
<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>66</b>
7. Anexos.....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Págs.</i>
Tabla 1. Características de las imágenes .....	24
Tabla 2. Coordenadas referenciales de la cuenca del río Tahuando.....	35
Tabla 3. Categorías obtenidas en la Clasificación No Supervisada a partir de la imagen Landsat (1991).....	46
Tabla 4. Categorías obtenidas en la Clasificación No Supervisada a partir de la imagen ASTER (2001).....	47
Tabla 5. Categorías obtenidas en la Clasificación No Supervisada a partir de la imagen Landsat (2017).....	48
Tabla 6. Categorías obtenidas en la Clasificación Supervisada a partir de la imagen Landsat (1991).....	49
Tabla 7. Categorías obtenidas en la Clasificación Supervisada a partir de la imagen ASTER (2001).....	49
Tabla 8. Categorías obtenidas en la Clasificación Supervisada a partir de la imagen Landsat (2017).....	50
Tabla 9. Categorías obtenidas en el Análisis de Componentes Principales a partir de la imagen Landsat (1991) .....	51
Tabla 10. Categorías obtenidas en el Análisis de Componentes Principales a partir de la imagen ASTER (2001).....	52
Tabla 11. Categorías obtenidas en el Análisis de Componentes Principales a partir de la imagen Landsat (2017).....	52
Tabla 12. Cuadro comparativo de cobertura vegetal y uso del suelo de las diferentes imágenes satelitales .....	53
Tabla 13. Valor de píxel (categorías) .....	55
Tabla 14. Resultados de la predicción de uso del suelo al año 2031 en la cuenca del río Tahuando .....	55
Tabla 15. Cuadro comparativo Landsat 2017 - Predicción 2031 .....	56

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Págs.</b>
Gráfico 1. Clasificación No Supervisada de la imagen Landsat (1991).....	47
Gráfico 2. Clasificación No Supervisada de la imagen ASTER (2001).....	47
Gráfico 3. Clasificación No Supervisada de la imagen Landsat (2017).....	48
Gráfico 4. Clasificación Supervisada de la imagen Landsat (1991).....	49
Gráfico 5. Clasificación Supervisada de la imagen ASTER (2001).....	50
Gráfico 6. Clasificación Supervisada de la imagen Landsat (2017).....	50
Gráfico 7. Análisis de Componentes Principales Landsat (1991).....	51
Gráfico 8. Análisis de Componentes Principales de la imagen ASTER (2001).....	52
Gráfico 9. Análisis de Componentes Principales de la imagen Landsat (2017).....	53
Gráfico 10. Tasa de deforestación estimada (1991-2017).....	54
Gráfico 11. Resultados de predicción de uso del suelo al año 2031 en la cuenca del río Tahuando .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Págs.</b>
Figura 1. Mapa de división política .....	35
Figura 2. Vegetación arbustiva dentro de la cuenca del río Tahuando.....	66
Figura 3. Matorral y plantación con especies nativas (polylepis) .....	66
Figura 4. Ganadería, pasturas en el sector Zuleta.....	67
Figura 5. Cultivos, extensión de la frontera agrícola; y ganadería .....	67
Figura 6. Cultivos de ciclo corto .....	68
Figura 7. Extensión agropecuaria en la cuenca del río Tahuando .....	68
Figura 8. Bosque nativo (bosque seco).....	69
Figura 9. Ganadería en páramo.....	69
Figura 10. Río Tahuando, sector La Victoria .....	70
Figura 11. Cuerpo de agua, Laguna de Yahuarcocha.....	70
Figura 12. Resultados de Matriz de confusión e Índice Kappa .....	71
Figura 13. Mapa Base de la Cuenca del Río Tahuando .....	72
Figura 14. Mapa de Ubicación de la Cuenca del Río Tahuando .....	73
Figura 15. Mapa de División Política de la Cuenca del Río Tahuando.....	74
Figura 16. Mapa de Uso del Suelo y Cobertura Vegetal, MAGAP (2015).....	75
Figura 17. Mapa de Uso del Suelo y Cobertura Vegetal, Landsat 1991 .....	76
Figura 18. Mapa de Uso del Suelo y Cobertura Vegetal, Aster 2001 .....	77
Figura 19. Mapa de Uso del Suelo y Cobertura Vegetal, Landsat 2017 .....	78
Figura 20. Mapa de Uso del Suelo y Cobertura Vegetal, Predicción - 2031.....	79

## GLOSARIO

**ACUS COC:** Área de Conservación y Uso Sustentable de la Cordillera Oriental de Carchi.

**ACCUS:** Análisis del Cambio de Cobertura y Uso del Suelo.

**ACP:** Análisis de componentes principales.

**BVPZACZ:** Bosque y Vegetación Protectores Zuleta Anexos Cia. Ltda., y Comunidad de Zuleta.

**CATIE:** Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

**CCUT:** Cambio de Cobertura y Uso de la Tierra.

**CLIRSEN:** Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos.

**CONAE:** Comisión Nacional de Actividades Espaciales.

**CONALI:** Comité Nacional de Límites Internos.

**COOTAD:** Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización.

**ESDI:** La interfaz de datos Ciencias de la Tierra es la aplicación web de la GLCF.

**ETM+:** Enhanced Thematic Mapper Plus.

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

**GAD's:** Gobiernos Autónomos Descentralizados.

**GADM:** Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal.

**GADP:** Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial.

**GLCF:** Facilitadora de Cobertura Global de la Tierra.

**GPS:** Sistema de Posicionamiento Global.

**IAFE:** Instituto de Astronomía y Física del Espacio de Argentina.

**IEE:** Instituto Espacial Ecuatoriano.

**IGM:** Instituto Geográfico Militar.

**INAMHI:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

**INEC:** Instituto Nacional de Estadística y Censos.

**Landsat:** LAND = tierra y SAT = satélite.

**LCM:** Land Change Modeler.

**LiDAR:** Light Detection and Ranging ó Laser Imaging Detection and Ranging.

**MAE:** Ministerio del Ambiente del Ecuador.

**MDT:** Modelo Digital de Terreno.

**MUC:** Modified UNESCO Classification.

**NASA:** Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio.

**ND:** Niveles digitales.

**NDVI:** Índice de Vegetación Normalizada.

**OLI:** The Operational Land Imager.

**ONG's:** Organizaciones No Gubernamentales.

**PDOT:** Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.

**SIG:** Sistemas de Información Geográfica.

**SNI:** Sistema Nacional de Información.

**PNBV:** Plan Nacional del Buen Vivir.

**REDD:** Programa de las Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones Causadas por la Deforestación y Degradación de los Bosques.

**RGB:** Red, Blue, Green.

**SNAP:** Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador.

**TIRS:** Thermal Infrared Sensor.

**TM:** Thematic Mapper.

**UNESCO:** Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

**UNICEF:** Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia.

**USGS:** Servicio Geológico de los Estados Unidos.

**UTM:** Universal Transverse Mercator.

**WGS:** World Geodetic System.

## RESUMEN

La cuenca del río Tahuando, en el transcurso del tiempo, ha sido afectada por cambios de uso y cobertura vegetal, sin conocer exactamente cuáles son las causas y el espacio que ocupan en dicha cuenca hidrográfica. Se realizó un análisis multitemporal para evidenciar tales cambios, usando imágenes satelitales Landsat de los años 1991, 2017 y Aster del año 2001. El objetivo general fue analizar las variaciones en el cambio de uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca del río Tahuando. Para identificar estas variaciones se aplicaron técnicas de Teledetección a las imágenes satelitales de los años 1991, 2001 y 2017. Además, se establecieron cinco categorías que son las razones principales que intervienen en el cambio de uso del suelo, tales como: agricultura, ganadería, zonas pobladas, cuerpos de agua y cobertura vegetal que fueron cuantificadas para cada imagen satelital. En el año 2017 con la imagen satelital OLI se obtuvo con el método de clasificación supervisada, que la agricultura ocupó 16.826 hectáreas; la ganadería ocupó una superficie de 2.479 hectáreas; en las zonas pobladas se evidenció 3.719 hectáreas, los cuerpos de agua ocuparon 232 hectáreas, y la cobertura vegetal 11.801 hectáreas. Además, se estimó el cálculo de la tasa de deforestación en -0,12% para el periodo 1991-2017, disminuyendo 15 hectáreas/año por el cambio de uso del suelo o pérdida de cobertura vegetal. Para entender los cambios que experimentará la cuenca hidrográfica se realizó una predicción a partir del año 2017 hasta el año 2031, donde se evidenció que en los próximos 14 años la cobertura vegetal de la cuenca tendrá cambios positivos y negativos. Estos se ven reflejados con la pérdida de 17 hectáreas/año respecto a agricultura, 18 hectáreas/año de cobertura vegetal. De igual forma, se producirá un incremento de 0,35 hectáreas/año en áreas para ganadería y 32 hectáreas/año para zonas urbanas.

**Palabras claves:** teledetección, tasa de deforestación.

## ABSTRACT

The basin of Tahuando River, through time, has been affected by changes in the land use and the vegetation cover. The causes of change and the affected area in the river basin are not well known. A multitemporal analysis was carried out to evidence such changes. I was used Landsat satellite images from 1991, 2017 as well Aster satellite images from 2001. The general objective was to analyze the variations in land-use change and vegetation cover of the Tahuando river basin. To identify these variations, remote sensing techniques were applied to the satellite images of 1991, 2001 and 2017. Moreover, five categories were established, which are the main reasons that cause changes in the land use. The categories were: agriculture, cattle raising, populated areas, water bodies and vegetation cover that were quantified for each satellite image. In 2017, with the satellite imagine OLI supervised classification method, the results showed that agriculture occupied 16,826 hectares; cattle raising 2,479 hectares; the populated areas covered 3,719 hectares, water bodies occupied 232 hectares, and plant cover 11,801 hectares. In addition, the deforestation rate was estimated in -0.12% for the 1991-2017 period, decreasing 15 hectares/year due to the change in land use or the loss of vegetation cover. In order to understand the changes that the river basin will experience, a prediction was made from 2017 to 2031, where it is evident that in the next 14 years the vegetation cover in the river basin will have positive and negative changes. These changes are reflected in the loss of 17 hectares/year due to agriculture and 18 hectares/year because of the loss of vegetation cover. Likewise, there will be an increase of 0.35 hectares/year for cattle raising and 32 hectares/year for urban areas.

**Keywords:** remote sensing, valuation of deforestation.

## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, desde la reforma agraria y colonización de los años setenta, se aceleró el proceso de ampliación de la frontera agropecuaria. Estos factores han producido un incremento considerable en la tasa de deforestación. De acuerdo al Mapa de Ecosistemas del Ecuador Continental (Ministerio del Ambiente del Ecuador , 2012), la tasa anual de cambio de cobertura boscosa fue de -0.71% para el período 1990 - 2000 y de -0.66% para el período 2000 - 2008. Esto corresponde a una deforestación anual promedio de 89.944 ha/año y 77.647 ha/año, para cada período respectivamente. Los ecosistemas terrestres están siendo degradados, lo que implica la transformación debido a la conversión de la cobertura vegetal e intensificación del uso del suelo. La provincia de Imbabura registró una tasa anual de deforestación anual promedio de 2.258 hectáreas para el período 1990-2000 y 1.240 hectáreas en el período 2000-2008 (MAE, 2012).

La vegetación ha cambiado en pérdidas de cobertura vegetal debido a las actividades antrópicas y el aprovechamiento inadecuado de los bosques nativos existentes. Otros factores del cambio de uso de suelo son las migraciones campesinas han ocasionado el crecimiento un crecimiento desordenado en las ciudades; además, la falta de orientación de las políticas y programas que incentiven a un desarrollo sustentable.

La microcuenca es el ámbito lógico para planificar el uso y manejo de los recursos naturales, en la búsqueda de la sostenibilidad de los sistemas de producción y los diferentes medios de vida. En este espacio ocurren las interacciones entre el uso y manejo de los recursos naturales y el comportamiento de los mismos recursos. De esta manera, cuando se busca integrar los objetivos de producción y protección de los recursos naturales de la microcuenca; los diferentes entidades gubernamentales y no gubernamentales deberían tomar en cuenta como herramienta primordial la planificación de las acciones de forma técnica y estratégica para lograr mejorar los sistemas de producción y el manejo integral de los recursos naturales. Estas acciones están ligadas al uso y manejo del suelo que se realice en la microcuenca normalmente presentan un impacto medible a mediano o largo plazo, ya sea positivo o negativo, sobre la recuperación o deterioro del suelo, el balance de biomasa y la cobertura vegetal, la cantidad y calidad del agua, la fauna, entre otras variables importantes para la sostenibilidad de los sistemas de producción.

Generalmente los estudios del cambio de uso del suelo y de cobertura vegetal evalúan la velocidad de la deforestación/reforestación en el tiempo, además determinan su extensión geográfica, llegando a conocer las causas sociales y económicas de los cambios, en las escalas global, regional y local (Ojima, Galvin, y Turner, 1994). El análisis multitemporal permite detectar cambios de usos entre diferentes fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio (Chuvieco, 1996).

Uno de los estímulos en el proceso de la biogeografía ha sido el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías geoinformáticas como los sistemas de información geográfica (SIG) y una variedad de métodos estadísticos espaciales (Liria, 2008). Así, el presente estudio implementa procedimientos en los métodos GIS y análisis espaciales de imágenes satelitales, como herramientas y alternativas tecnológicas para el reconocimiento de unidades geográficas naturales (Escalante et al., 2007).

En la actualidad existen herramientas tecnológicas que permiten conocer los cambios producidos en el transcurso del tiempo, así como el estado actual respecto a los usos del suelo a través de procesamiento de información de imágenes satelitales, logrando optimizar tiempo por la rapidez para la adquisición de información actualizada. Se puede estudiar áreas de gran extensión, ya que en general, las imágenes satelitales son más baratas que la toma de fotos aéreas. La accesibilidad a lugares remotos, ya que desde el espacio no existen fronteras, y se puede observar cada espacio geográfico de interés.

# CAPÍTULO I

## 1. Planteamiento del Problema

### 1.1. Antecedentes

Los cambios producidos en la cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca hidrográfica se deben principalmente a actividades antrópicas. Como se menciona en Peralvo y Cuesta (2014), las dinámicas de cambio de cobertura y uso de la tierra (CCUT) juegan un papel preponderante en procesos de modificación de la biosfera (Turner et al., 1995) (Foley et al., 2005).

Dichos cambios generan múltiples impactos en los sistemas socioeconómicos y ambientales con consecuencias importantes para la sustentabilidad, seguridad alimentaria, biodiversidad y la vulnerabilidad de ecosistemas y personas a procesos de cambio ambiental global. Los cambios de cobertura y uso de la tierra corresponden tanto al reemplazo total de un tipo de cobertura por otra (ejemplo, deforestación), como a cambios en el manejo del territorio (ejemplo, extensión agrícola), que pueden generar modificaciones en la estructura y composición de ecosistemas naturales (Lesschen , Verburg, & Staal , 2005). Las dinámicas de cambio de cobertura generan impactos en la estructura y composición de las comunidades bióticas en páramos y sobre los procesos ecosistémicos, a través de mecanismos directos e indirectos. La conversión de ecosistemas naturales a usos agrícolas o pecuarios reemplaza casi totalmente la flora y fauna nativas y genera cambios en condiciones físicas en suelos, microclimas, ciclos de nutrientes, entre otros procesos de impacto (Chhabra et al, 2006). Adicionalmente, los ecosistemas altoandinos son susceptibles a las alteraciones en la estructura y composición del paisaje como resultado de la fragmentación creciente asociada a la conversión de ecosistemas. Remanentes pequeños de páramos expuestos a una frontera agrícola activa pueden presentar cambios en condiciones biofísicas e impactos sobre las comunidades bióticas (Tovar, Seijmonsbergen, y Deivenvoorden, 2014).

De acuerdo García, Cedillo, y Balderas, (2012), los procesos de cambio en el uso del suelo se derivan de la interacción de diversos factores geográficos, económicos, políticos, sociales, demográficos y culturales. En donde se identificó y evaluó los cambios en el uso

del suelo ocurridos en la microcuenca del río San José, entre los años 2000 y 2008, donde se utilizó el software ArcGIS y funciones matemáticas (Isodata) para calcular los cambios de uso de suelo y evaluar la pérdida de áreas boscosas próximas a zonas agrícolas. El cambio más significativo se presenta sobre áreas forestales transformadas en agricultura de temporal.

## **1.2. Problema**

Según el COOTAD (2010), los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales rurales promoverán actividades de preservación de la biodiversidad y protección del ambiente para lo cual impulsarán en su circunscripción territorial programas y/o proyectos de manejo sustentable de los recursos naturales y recuperación de ecosistemas frágiles; protección de las fuentes y cursos de agua; prevención y recuperación de suelos degradados por contaminación, desertificación y erosión; forestación y reforestación con la utilización preferente de especies nativas y adaptadas a la zona; y, educación ambiental, organización y vigilancia ciudadana de los derechos ambientales y de la naturaleza. Si bien es cierto los diferentes GAD's cuentan con sus respectivos planes de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT), mismos en la práctica no se dan cumplimiento ya que existe un irrespeto a zonas de protección permanente, avance de frontera agrícola, asentamientos humanos irregulares, entre otros.

Los ecosistemas terrestres como lo cita Ruiz, Save y Herrera (2014), han sufrido grandes transformaciones. La mayoría debido a la conversión de la cobertura del terreno y a la degradación e intensificación del uso del suelo (Lambin, 1997). La actividad humana ha sido la gran transformadora del paisaje en los últimos 300 años (Aguayo, Pauchard, Azócar y Parra, 2009). Por ejemplo, los bosques y selvas de América Latina para el año 2000 se habían reducido en más de un 50% de su cobertura original; en particular, países como Brasil, México y Costa Rica fueron el centro de las mayores alteraciones (Velázquez, et al., 2007).

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2013), los datos estadísticos agropecuarios para la región Sierra, indican que el 25,2% y el 21,8% del suelo cultivable está dedicado a pastos naturales y cultivados respectivamente; seguidos por un 8,6% de cultivos transitorios y 6,5% de permanentes. A pesar de que los agricultores de esta zona se dedican a la siembra de una gran variedad de cultivos de ciclo corto, el amplio terreno

ocupado por pastos cultivados y naturales para la actividad ganadera es predominante en la región. Por estas razones en la cuenca del río Tahuando se realizan actividades antrópicas, como la agricultura, ganadería, asentamientos urbanos, entre otras; constituyendo razones principales del cambio y uso del suelo que cada año se van incrementando, así como también la falta de estudios específicos que demuestren la pérdida de cobertura vegetal dentro de la cuenca, razón por la cual el presente estudio permitirá contar con información actualizada para tomar medidas de mitigación que reduzcan el impacto que se ocasiona en los ecosistemas naturales de la cuenca.

### **1.3. Formulación del Problema**

¿Existen diferencias de pérdida de uso del suelo y cobertura vegetal en la cuenca del río Tahuando en los periodos 1991-2001-2017?

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

- Analizar las variaciones en el cambio de uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca del río Tahuando.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Cuantificar los cambios en las categorías de uso del suelo y cobertura vegetal.
- Determinar la tasa de deforestación mediante el uso de imágenes de los satélites Landsat (TM, OLI) y ASTER.
- Realizar una proyección al año 2031 de cambios de uso de suelo y cobertura vegetal a partir del análisis de las dinámicas históricas de cobertura vegetal.

### **1.5. Justificación**

En los últimos años no se han realizado estudios sobre el cambio de uso del suelo en esta cuenca hidrográfica, por tal razón el estudio multitemporal sobre uso de suelo y cobertura vegetal permitirá evaluar, verificar y determinar a través de técnicas de sensores remotos los cambios en la vegetación, la tasa de deforestación y las causas de cambio de las áreas afectadas mediante la comparación digital de imágenes de satélite Landsat (Sensor: TM,

OLI) y ASTER para determinar los cambios en las categorías de uso de suelo y cobertura vegetal que se han producido en el transcurso del tiempo y cifras reales de superficie de uso del suelo existente en el mismo, aplicando técnicas de Teledetección con softwares especializados como son ERDAS y ArcGIS. Además, al realizar la proyección al año 2031, se evidenció las variaciones de la pérdida de cobertura vegetal y el incremento de la ocupación antrópica en los próximos 14 años.

El COOTAD dentro de sus atribuciones para los diferentes niveles de GAD's contempla que deben aprobar el plan provincial, municipal, parroquial de desarrollo y el de ordenamiento territorial formulados participativamente con la acción del consejo de planificación y las instancias de participación ciudadana, así como evaluar la ejecución de aquellos. Sin embargo, dichos planes no tienen una articulación entre ellos, lo cual ha ocasionado que cada GAD tenga una visión diferente o casi nula en el manejo del recurso hídrico.

El presente estudio se enmarca en la línea de investigación “biotecnología, energía y recursos naturales renovables”, además, aporta a las diferentes estrategias planteadas dentro del Plan Nacional del Buen Vivir (2013-2017) para el cumplimiento del **Objetivo 3**. Mejorar la calidad de vida de la población, **3.8**. Propiciar condiciones adecuadas para el acceso a un hábitat seguro e incluyente. **b**. Impulsar desde los gobiernos autónomos descentralizados el adecuado y eficiente ordenamiento territorial, la planificación y la consolidación equilibrada de las ciudades, con especial atención a los espacios rurales. **Objetivo 7**. Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global. **7.2**. Conocer, valorar, conservar y manejar sustentablemente el patrimonio natural y su biodiversidad terrestre, acuática continental, marina y costera, con el acceso justo y equitativo a sus beneficios. **d**. Impulsar el análisis de paisajes y la interacción socioeconómica del territorio en los procesos de planificación y de ordenamiento territorial, de manera articulada entre los diferentes niveles de Gobierno. **7.6**. Gestionar de manera sustentable y participativa el patrimonio hídrico, con enfoque de cuencas y caudales ecológicos para asegurar el derecho humano al agua. **a**. Armonizar el marco normativo e institucional del patrimonio hídrico como bien público, para fortalecer su rectoría, regulación, control técnico, gestión, planificación, coordinación y evaluación de manera coordinada, desconcentrada y descentralizada. **b**. Establecer mecanismos integrales y participativos de conservación, preservación, manejo sustentable, restauración y reparación integral de la funcionalidad de las cuencas hidrográficas, con criterios de equidad social,

cultural y económica. **d.** Fortalecer el ordenamiento territorial basado en el manejo integral y sistémico de las cuencas hidrográficas, a fin de garantizar la provisión de agua para el consumo humano, el riego, los caudales ecológicos, las actividades productivas y la hidroelectricidad.

## **CAPÍTULO II**

### **2. Marco Teórico**

#### **2.1. Microcuenca Hidrográfica**

El significado de cuenca hidrográfica es de conocimiento público, es importante remarcar la necesidad de considerar la microcuenca bajo un enfoque social, económico y operativo, además del enfoque territorial e hidrológico tradicionalmente utilizado. De esta manera, la microcuenca se define como una pequeña unidad geográfica donde vive una cantidad de familias que utiliza y maneja los recursos disponibles, principalmente suelo, agua y vegetación. Desde el punto de vista operativo, la microcuenca posee un área que puede ser planificada mediante la utilización de recursos locales y un número de familias que puede ser tratado como un núcleo social que comparte intereses comunes (agua, servicios básicos, Infraestructura, organización, entre otros). Cabe destacar que en la microcuenca ocurren interacciones indivisibles entre los aspectos económicos (relacionados a los bienes y servicios producidos en su área), sociales (asociados a los patrones de comportamiento de las poblaciones usuarias directas e indirectas de los recursos de la cuenca) y ambientales (vinculados al comportamiento o reacción de los recursos naturales frente a los dos aspectos anteriores). Por ello, la planificación del uso y manejo de los distintos recursos en la microcuenca debe considerar todas estas interacciones.

La microcuenca permite que tanto quienes usan el agua de la cuenca (población, actividades de ganadería, riego, entre otros), como quienes la aprovechan de afuera (población de los pueblos, y ciudades, industrias, entre otros) perciban la relación estrecha que tienen con las personas usuarias directas de la tierra, a través del agua.

La cuenca hidrográfica constituye un espacio de terreno limitado por el relieve; es decir, por las partes más altas de las montañas, laderas y colinas. La característica principal es el sistema de drenaje superficial que se desarrolla dentro de la cuenca, debido a que sus aguas escurren a un punto en común, que fluye a un río principal y se integra al mar, lago u otro río más grande (CATIE, 1996).

La cuenca se establece de forma cóncava, lo que permite que todas las fuentes de agua dentro de estos límites converjan a un río principal y sus tributarios, de la cual la cuenca toma su nombre. El tamaño y forma de una cuenca hidrográfica está influenciada directamente por las condiciones geológicas del terreno (Fraume, 2007).

La FAO en 1990 define a las cuencas hidrográficas como: “Una unidad territorial formada por un río con sus afluentes, y por un área colectora de las aguas. En la cuenca están contenidos los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como: agua, suelo, vegetación y fauna. Todos ellos mantienen una continua y particular interacción con los aprovechamientos y desarrollos productivos del hombre”.

### **2.1.1. Límites de una cuenca**

Los límites de una cuenca dependen de la topografía y están determinados por una línea imaginaria divisoria de aguas; por lo general, en las zonas que conforman los límites de la cuenca, se presentan cambios de dirección de las pendientes. Otra forma de considerar los límites de una cuenca es la línea que se define por las elevaciones más altas de la capa freática.

### **2.1.2. Contextos de la microcuenca**

La dimensión de una microcuenca está definida por la naturaleza. Sin embargo, algunas veces hay que hacer ciertos ajustes operativos en función de las capacidades de las instituciones vinculadas con su manejo y desarrollo. La microcuenca es un ámbito geográfico, hidrológico, económico, social y ambiental complementario con otros ámbitos. Hacia adentro, se complementa con la finca (familia) y comunidad (estructura social); hacia afuera, se complementa con ámbitos naturales, como la subcuenca y cuenca o ámbitos político-administrativos, como los municipios y departamentos. Los bosques en todo el mundo han sufrido cambios positivos y negativos, en cantidad y calidad. Este proceso de cambio se encuentra asociado a factores económicos sociales y ambientales (FAO - CATIE, 2000). Causas principales:

- ***Avance de la frontera agrícola y expansión de ganadería***

Estas actividades son la principal causa del cambio de cobertura del uso del suelo, conduciendo a la deforestación, Según el MAE (2012) “Es un proceso de conversión

antrópica del bosque en otra cobertura y uso de la tierra; bajo los umbrales de altura, cobertura del dosel o área establecida en la definición de bosque. No se considera deforestación a las zonas de plantaciones forestales removidas como resultado de cosecha o tala, y donde se espera que el bosque se regenere naturalmente o con la ayuda de prácticas silviculturales”.

En proceso de colonización se agudizó con el avance de la frontera agrícola por las grandes migraciones campesinas en los años 60 y 70, buscaba convertir a la agricultura ecuatoriana en un productivo negocio de campesinos y empresarios agrícolas. Se propugnaba, sostiene, promover un proceso de movilidad social que brinde iguales oportunidades a todos los ecuatorianos en dirección de construir una sociedad más democrática.

El avance de la frontera agrícola consiste en el penetrar y limpiar el bosque o vegetación nativa para cultivar la tierra con diferentes especies (monocultivos, en mejores casos practicar agroforestería), agotando en cada cosecha la fertilidad del suelo por las inadecuadas prácticas agrícolas, forzando a limpiar nuevas tierras para la agricultura y adecuando las anteriores para la ganadería (FAO - CATIE, 2000).

- ***Dependencia de leña para el consumo energético***

La leña y el carbón vegetal son consideradas como una fuente alternativa de energía en beneficio de las comunidades campesinas que tienen este recurso cercano y es explotado de forma inadecuada (FAO - CATIE, 2000).

- ***Tenencia de la tierra***

Es uno de los factores que afectado en el desarrollo del país debido a la concentración de la tierra con mayor productividad en pocas manos y por ende el desplazamiento de las comunidades campesinas a tierras montañosas, provocando a largo plazo el proceso de deforestación y un desequilibrio en la naturaleza predecible (FAO - CATIE, 2000).

- ***Legislación***

En muchas ocasiones las leyes ambientales no son aplicadas, por esa razón no existe un manejo adecuado de los recursos en todos los ecosistemas naturales existentes (FAO - CATIE, 2000).

- ***Falta de Coordinación Interinstitucional***

Una ineficiente coordinación entre las instituciones encargadas de garantizar un desarrollo ambiental sustentable y del ordenamiento territorial ha dificultado el manejo integral de los recursos naturales (FAO - CATIE, 2000).

- ***Incendios Forestales***

En los últimos años el número de incendios se ha incrementado, los cuales son provocados de forma antrópica en parte para la agricultura (deshierbe, preparación de la siembra, entre otras); ganadería (rejuvenecimiento de pastos). También los incendios pueden ser producidos de forma natural debido a las sequías (FAO - CATIE, 2000).

### **2.1.3. Importancia de la cuenca**

Las cuencas hidrográficas comprenden un sistema natural que está formado por un conjunto de elementos que se interrelacionan entre sí, dentro de estos elementos se pueden destacar el agua, el bosque, el suelo y los estratos geológicos.

Las unidades hidrológicas tienen gran importancia por la relación directa que existe a lo largo de las cuencas entre sus partes altas y bajas, de forma que las acciones que el hombre realiza en la parte alta afectan de forma definitiva en la parte baja (Franquet, 2005). Las cuencas hidrográficas son importantes, además, porque cumplen diferentes funciones tales como:

- **Función hidrológica:** Captación de agua de diferentes fuentes (ríos, arroyos, entre otras) almacenamiento de agua y descarga de la misma en diferentes tiempos a través de escurrimiento.
- **Función ecológica:** Provee diversidad de zonas en la cuenca que permiten que el agua intercambie elementos con el suelo y además es el hábitat para diversidad de flora y fauna.
- **Función ambiental:** Constituye un sumidero de CO<sub>2</sub>, alberga bancos de germoplasma (especies no genéticamente modificadas), regula la carga hídrica y los ciclos biogeoquímicos, así como conserva la biodiversidad.
- **Función socioeconómica:** Suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población; genera un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad.

De esta manera la importancia de las cuencas hidrográficas trasciende los límites cantonales, provinciales e incluso nacionales.

#### **2.1.4. Características biofísicas y sociales de la cuenca**

Las características biofísicas están definidas por ciertos parámetros que se presentan dentro de una cuenca hidrográfica y determinan las condiciones de la cuenca, como lo son:

- Relieve
- Hidrografía
- Clima
- Geología y geomorfología
- Vegetación y pisos altitudinales
- Fauna silvestre
- Socioeconomía

#### **2.2. Uso de Suelo**

Cuando se utiliza el término “uso de suelo” se hace referencia a la actuación humana dentro de la naturaleza, entendiéndose a estos como asentamientos humanos, zonas agrícolas, áreas de protección, entre otras. El uso que se determina para el suelo causa cambios en los paisajes, los ecosistemas y el medio ambiente, existen usos de suelo como los sectores urbanos que se vuelven consumidores de la cobertura vegetal y a expensas de zonas productivas (Miliarium, 2004).

El uso de suelo es una forma de clasificación de diferentes ocupaciones dependiendo del comportamiento del mismo, desde el punto de vista del aporte hídrico, ya que el tipo de ocupación del mismo afecta la interacción del agua con el suelo y la vegetación, y las implicaciones de la demanda de estos. Al estudiar el uso de suelo se determina diferentes enfoques tales como:

- **Funcional:** Por la función que desarrolla el suelo en la actividad que se desarrolla en él. (forestales, agrícolas, urbanismos, espacios protegidos, entre otras)
- **Formal:** Siendo la ocupación del suelo lo que se identifica en el momento de analizar el uso, este tipo de análisis se da a partir de características visuales como color, textura, forma, entre otras (Monocultivos, usos estables, entre otras).

- **Multidimensional:** Una mezcla de los anteriores.

### **2.2.1. Cambios de uso de suelo**

Los cambios del uso de suelo son la variación existente en un territorio determinado del uso desarrollado en el mismo; es decir, en función del tiempo, existen varios usos de suelo en un mismo sector de estudio y análisis. La importancia del cambio de uso de suelo afecta a diferentes factores que llegan a tener implicaciones a nivel global, generando altos índices de deforestación y degradación.

### **2.2.2. Cobertura vegetal**

La cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos. (Geoinstitutos, s.f.)

Su distribución en la tierra depende de los factores climáticos y de los suelos. La relación entre la vegetación y el clima es muy grande. Tiene tanta importancia que inclusive se llega a dar nomenclatura (nombre) a los climas según el tipo de vegetación que crece en la zona donde ellos imperan. Por eso se habla de un clima de selva de un clima de sabana de un clima de páramo, entre otros.

La cobertura vegetal corresponde a los atributos biofísicos de la superficie terrestre y los usos del suelo a los distintos propósitos humanos con los que se aprovechan estos atributos, determinan el funcionamiento de los ecosistemas terrestres: afectan directamente a su biodiversidad, contribuyen a los cambios climáticos locales, regionales y globales y son las fuentes primarias de la degradación de los suelos. La transformación perceptible y generalizable de la vegetación o los usos antrópicos por medio de un intervalo de tiempo en determinada porción de terreno es reconocida como el análisis del cambio en la cobertura y uso del suelo (ACCUS). De esta manera, el ACCUS es una herramienta para caracterizar una región y es un elemento básico del diagnóstico para el ordenamiento territorial. En la actualidad el ACCUS se considera el procedimiento más confiable para medir la

deforestación, la alteración y la transformación de los usos del suelo y su dinámica a través del tiempo.

### **2.2.3. Vegetación Arbustiva**

Según el Mapa de Vegetación Arbustiva del Ecuador Continental del MAE (2013-2104), la provincia de Imbabura presenta 46, 495.84 ha, de vegetación arbustiva.

### **2.2.4. Bosque Nativo**

Es un ecosistema arbóreo, caracterizado por la presencia de árboles y arbustos de múltiples especies nativas, edades y alturas variadas, regenerado por sucesión natural, con una asombrosa biodiversidad de vegetales, animales y microorganismos, que viven en armonía.

Según el Art. 263 del TULSMA, lo define como un ecosistema arbóreo, primario o secundario regenerado por sucesión natural, que se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados, con uno o más estratos. Para fines del presente no se considera bosque nativo aquellas formaciones boscosas constituidas por especies pioneras que de manera natural forman poblaciones coetáneas, y aquellas formaciones boscosas cuya área basal a la altura de 1.30 m. es inferior al 40% del área basal de la formación boscosa nativa primaria correspondiente.

### **2.2.5. Bosque Plantado**

Son poblaciones arbóreas sembradas o plantadas bajo la supervisión e intervención del hombre en el proceso de forestación y reforestación, sea con una o varias especies; por lo general tienen una misma edad, altura y similar densidad entre individuos.

Según la FAO (2006), los bosques plantados representan cerca del siete por ciento del área mundial de bosques o cerca del dos por ciento del área mundial de tierra, es decir, un poco menos de 300 millones de hectáreas. Al mismo tiempo, éstos suministran más de la mitad de la madera destinada al uso industrial producida en el mundo, y tanto su extensión como productividad siguen creciendo. Comparados con los bosques que se regeneran naturalmente, los bosques plantados constituyen una inversión mayor por unidad de área y producen normalmente un valor superior mediante sus productos y servicios.

Según el Ministerio del Ambiente, en Ecuador existe una superficie de 163.000 hectáreas de plantaciones, de las cuales las plantaciones de la Sierra representan el 50 % y el restante 50% se localiza en la Costa y Amazonía. Aproximadamente el 48% corresponden en su mayoría a especies de pino y eucalipto, mientras que en la costa existen 20.000 ha de teca, 10.000 ha de balsa y 20.000 ha de otras plantaciones tropicales.

#### **2.2.6. Cuerpos de agua**

Pueden ser una masa o extensión de agua, tal como un lago, mar u océano que cubre parte de la Tierra. Algunos cuerpos de agua son artificiales, como los estanques, aunque la mayoría son naturales. Los cuerpos de agua son un elemento básico para el desarrollo de la vida y base de innumerables actividades productivas, razón por la cual todas las sociedades humanas se han desarrollado entorno a estos. No obstante, este desarrollo a implicado intervenciones en los cuerpos de agua provocando diversas modificaciones en las características físicas, químicas y biológicas de estos y de los ecosistemas que se desarrollan en ellos, a nivel tal, que no siempre es posible determinar cuáles eran sus condiciones originales (De la Fuente, Sabando, y Pérez , 2010).

#### **2.2.7. Cultivos y áreas intervenidas**

El uso que se hace del suelo en la mayoría de los casos ocasiona cambios sin precedentes en los paisajes, los ecosistemas y el medio ambiente. Las áreas urbanas y sus infraestructuras son los consumidores de suelo con un crecimiento acelerado, generalmente a expensas de la tierra de producción agrícola. El paisaje rural está cambiando debido a la intensificación de la agricultura, el abandono de las tierras y la explotación forestal.

El conflicto de uso del suelo nos ayuda a analizar las relaciones mutuas entre las vocaciones de uso de las tierras y el uso actual de las mismas. Cuando existe discrepancia entre los usos actual y potencial se presentan desequilibrios, debido a que el uso actual no es el más adecuado, causando erosión y degradación de las tierras, disminución de la productividad agrícola, entre otros. Metodológicamente los conflictos de uso se determinan realizando un cruce de datos entre la cobertura de uso actual de la tierra, con la cobertura de uso potencial. El resultado de este proceso permite luego de una confrontación de usos, generar un mapa de conflictos donde se ubican las áreas de uso adecuado o no conflictivo. La jerarquización

de conflictos de uso de la tierra permite identificar prioridades para el ordenamiento territorial y constituye la base para la determinación de los tipos de uso alternativos.

#### **2.2.8. Zonas Ganaderas**

El término ganadería se define como una actividad económica que consiste en la crianza de animales para el consumo humano, esta actividad se encuentra dentro de las actividades del sector primario. La ganadería en conjunto con la agricultura son actividades que el hombre ha venido ejerciendo desde hace mucho tiempo, en un principio eran realizadas con fines de supervivencia, para cubrir sus necesidades de alimentación y vestido, entre otras cosas. Luego cuando se comenzó con la domesticación de animales, se hizo posible utilizarlos para el transporte de cargas y trabajos agropecuarios (ConceptosDefinicion, 2015).

#### **2.2.9. Zonas Urbanas**

La definición de “urbano” cambia de un país a otro y, con las reclasificaciones periódicas, también puede variar a lo largo del tiempo dentro de un mismo país, lo que dificulta las comparaciones directas. Una zona urbana se puede definir por medio de uno o más de los siguientes factores: criterios administrativos o fronteras políticas (como formar parte de la jurisdicción de un municipio o comité de la ciudad); el tamaño de la población (cuando el número mínimo de habitantes en los asentamientos urbanos de la región es de 2.000, aunque puede oscilar entre 200 y 50.000); la densidad demográfica; la función económica (por ejemplo, cuando la actividad primordial de una gran mayoría de los habitantes no es la agricultura, o cuando existe empleo de sobra); y la existencia de características urbanas (como calles pavimentadas, alumbrado público o alcantarillado). En 2010 vivían en zonas clasificadas como urbanas 3.500 millones de personas (Unicef, 2012).

#### **2.2.10. Sistemas de Información Geográfica**

En los últimos años, la manera de obtener información ha evolucionado de tal manera que en la actualidad encontramos información de muy buena calidad y bajo costo, como son las imágenes satelitales de alta resolución que proporcionan navegadores GPS para poder realizar levantamientos de campo georreferenciados, herramientas de software que procesan y analizan la información de manera gráfica y alfanumérica, si a esto se suma un equipo multidisciplinario, denominando un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Los SIG son herramientas muy versátiles que tienen un campo amplio de aplicación, mediante un conjunto de procedimientos sobre una base de bases no gráfica o descriptiva de objetos con representaciones reales que tienen representación gráfica y son propensos a mediciones ya sea de su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la Tierra. Toda información que es medible y tiene localización es considerada como geográfica.

La versatilidad de los SIG se verifica en su aplicación, que se presenta en un marco extenso dentro del cual se nombra trabajos de investigación científica, gestión de los recursos y activos, arqueología, evaluación de impactos ambientales, generación de cartografía temática y otros (Carmona y Monsalve, 2008).

#### 2.2.10.1. Softwares de SIG

Existen un sin número de sistemas de información geográfica que se diferencian por las herramientas que ofrecen y por su licencia libre o comercial, en la investigación se utilizaron los siguientes:

- ***ArcGIS***

Mediante el software ArcGIS se puede visualizar, crear, manipular y gestionar la información geográfica con la que se trabaja de manera sistémica, permitiendo explorar, ver y analizar datos según sus parámetros, relaciones y tendencias, obteniendo nuevas capas de información con nuevas bases de datos. El programa consta de una interfaz gráfica amigable, es fácil de usar y contiene una gran ayuda en línea. Gracias a esta herramienta es posible construir mapas que permiten la visualización de patrones, tendencias y singularidades, una librería que ayuda a la elaboración rápida de mapas permite guardarlos en diferentes formatos y editarlos rápidamente (Cure, 2012)

ArcGIS permite realizar análisis espaciales como: consulta de datos, realizar predicciones y revisar la relación entre estos, tiene además la capacidad de realizar geoprosos, permitiendo desarrollar ajustes dinámicos de la información. (Sortwaregis, 2010). **Esri** (*Environmental Systems Research Institute*) es una empresa fundada por Jack Dangermond en 1969 que en sus inicios se dedicaba a trabajos de consultoría del territorio. Actualmente desarrolla y comercializa software para Sistemas de Información Geográfica y es una de las compañías líderes en el sector a nivel mundial. Tiene su sede en California, EE. UU. La

popularidad de sus productos ha supuesto la generalización de sus formatos de almacenamiento de datos espaciales en el campo de los Sistemas de Información Geográfica vectoriales, entre los que destaca el *shapefile*. Su producto más conocido es ArcGIS (Esri, 2017).

- ***ERDAS IMAGINE***

Según TecnoGeo (2014), Erdas Imagine es la solución más eficaz en procesos de teledetección, el cual posee herramientas avanzadas de análisis de imágenes de fuentes diversas, satélite, vuelo aéreo, drones, sensores LiDAR, datos Radar, para la generación de nueva información. Con ERDAS IMAGINE, puedes visualizar los resultados en 2D, 3D y crear videos y composiciones de mapa y dispone de tres niveles de funcionalidad, que se adaptan a las necesidades de cada usuario con varios beneficios como la interfaz intuitiva con asistentes para el procesado, además facilita la producción en el soporte a formatos, procesamiento en *batch*, entre otros, y la capacidad de procesamiento raster y vectorial con lenguaje de modelado gráfico.

- ***IDRISI Selva***

IDRISI Selva es la industria líder en funcionalidad analítica raster y cubre toda la gama de los requerimientos para SIG y sensores remotos desde incertidumbre sobre las bases de datos y modelación espacial hasta mejoramiento y clasificación de imágenes. Se incluyen utilidades especiales para el monitoreo ambiental y el manejo de recursos naturales, junto con análisis de cambio y series de tiempo, apoyo a las decisiones de criterios y objetivos múltiples, análisis de incertidumbre, modelos de simulación, interpolación de superficies y la caracterización de estadísticas. Sin embargo, a pesar de la naturaleza altamente sofisticada de estas utilidades, el sistema es de fácil manejo (Eastman, 2012).

### **2.2.11. Aplicación de los Sistemas de Información Geográficas en cambios de uso del suelo**

Los SIG son en la actualidad una herramienta imprescindible en la toma de decisiones respecto al manejo de los recursos, siendo especialmente interesantes en la valoración de los recursos forestales (inventario, seguimiento y determinación de la idoneidad de localización) y en el manejo de los recursos (análisis, modelización, y predicciones para la toma de decisiones de gestión) (Sánchez, Fernández y Illera, s.f.).

### **2.3. Teledetección**

La Teledetección es el proceso por el cual se adquiere información sobre un objeto sin estar en contacto directo con él, a través de un flujo energético entre el sensor y la superficie (Araya, 2009).

Es conocida comúnmente como percepción remota, la teledetección es la técnica que permite obtener información sobre un objeto, superficie o fenómeno a través del análisis de los datos adquiridos por un instrumento que no está en contacto con él. Se basa en que cada objeto, área o fenómeno emite un espectro electromagnético específico, en función de su propia naturaleza y de las radiaciones que recibe. La reflectancia de ese espectro electromagnético se denomina firma espectral, la cual hace distinguible a ese objeto, superficie o fenómeno de los demás (GeoPlaDes, 2010).

Según Romero (2006), la Teledetección ofrece grandes posibilidades para la realización de progresos en el conocimiento de la naturaleza, aunque todavía no se ha logrado todo lo que de ella se esperaba debido a que se deben realizar perfeccionamientos en el nivel de resolución espacial (tamaño de pixel), espectral (número de sensores) y temporal (frecuencia de adquisición) de los datos. Además, es necesario un mayor rigor científico en la interpretación de los resultados obtenidos, tratando de no extraer conclusiones definitivas de los estudios medioambientales realizados mediante técnicas de Teledetección. Los modelos que se elaboran para interpretar los datos de Teledetección deberán tener como objetivo eliminar los efectos ocasionados por la variabilidad en las condiciones de captación, la distorsión provocada por la atmósfera, y la influencia de parámetros tales como la posición del sol, pendiente, exposición, y altitud.

### **2.4. Imágenes Satelitales**

Las imágenes satelitales son las que se obtienen de la captación energética reflejada o emitida por los objetos que se encuentran en la superficie terrestre, dichas imágenes son digitales y se encuentran conformadas por un conjunto de píxeles que definen la unidad mínima de identificación digital. Cada pixel de la imagen tiene un valor numérico que determina la respuesta de los objetos situados en la superficie a una fuente de energía, esta respuesta varía en función a las características biofísico-químicas de los cuerpos y es lo que permite diferenciar los en una imagen.

Estas imágenes son capturadas gracias a los sensores de las plataformas que se encuentran en los satélites, estos sensores captan la energía reflejada o emitida por los objetos, las imágenes pueden ser caracterizadas a partir de tres parámetros: espacial, espectral y radiométrica. (Portillo, 2005).

Una imagen satelital o imagen de satélite se puede definir como la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Las imágenes satelitales son matrices de celdas conocidas como píxeles, formadas por un determinado número de filas y columnas. Cada una de esas celdas representa un área geográfica indivisible, determinando así el detalle espacial mínimo que se puede distinguir dentro de la imagen. El tamaño de la superficie que puede ser representada (es decir, el tamaño del píxel), varía dependiendo del satélite y de los sensores que tiene la imagen (Scan Terra, 2006).

Cada píxel contiene un valor numérico, que representa en promedio la cantidad de energía solar que esa superficie refleja. Como la energía que se refleja depende de que lo haya sobre ella (cultivo, barbecho, suelo desnudo, asfalto), los sensores ubicados en los satélites captan distintos niveles y calidades de energía, que luego pasan a ser distintos colores en una imagen ya formada (Scan Terra, 2006).

Las imágenes de satélite empleadas para los estudios multitemporales son las del satélite Landsat sensores TM y OLI, estas imágenes son multiespectrales con 6 bandas, resolución espacial de 30 metros y resolución temporal de 16 días. Las imágenes son gratuitas y se las puede obtener de la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS (<http://www.usgs.gov/>).

#### **2.4.1. Obtención de Imágenes**

Las imágenes satelitales que se obtienen por los satélites de teledetección ofrecen una representación única de la Tierra, sus recursos naturales y el impacto que el hombre ejerce sobre ella, además la teledetección ha demostrado una fuente rentable de valiosa información para numerosas aplicaciones, entre las que cabe mencionar la planificación urbana, vigilancia del medio ambiente (áreas protegidas), cambios de uso del suelo, explotación minera, prospección petrolífera y muchas otras.

El valor de las imágenes de satélite e información extraída de las mismas es evidente, debido a que ofrecen una visión global de objetos y detalles de la superficie terrestre y facilitan la comprensión de algunos que pueden no verse con claridad cuando se los observa al ras de la tierra, además proporciona facilidad de tener una visión parcial de la tierra sin tener que desplazarse.

Algunas ventajas evidentes de las imágenes satelitales son que muestran mucho más de lo que el ojo puede observar, es así que devela detalles ocultos que de otra forma estaría fuera de su alcance. Por ejemplo, algunas imágenes muestran el estado sanitario de la vegetación, la existencia de minerales o la misma contaminación del ambiente. Cabe mencionar que existen satelitales que pueden capturar imágenes de superficie terrestre, aunque exista la presencia de nubes.

Para trabajar se puede obtener imágenes Landsat a través de la Universidad de Maryland, *Global Land Cover Facility* (Facilitadora de Cobertura Global de la Tierra) <http://glcf.umd.edu/> de *Earth Science Data Interface* (ESDI); como también de la página web <http://www.usgs.gov/> perteneciente a Servicio Geológico de los Estados Unidos o *U.S. Geological Survey* (USGS).

- Aplicaciones de Sensor Landsat en la Detección de Cambios de Cobertura Vegetal

La teledetección se utilizará como una valiosa herramienta a la hora de establecer indicadores de degradación y conservación de los recursos naturales, es decir, en evaluar la dinámica en los cambios de usos de suelo y cobertura vegetal. El programa Landsat se inició en 1972 con el lanzamiento del Landsat-1. En 1999 se lanzó el más reciente Landsat-7. Landsat-5 fue lanzado en 1984, y es el satélite de teledetección que más tiempo lleva en órbita operativo. Los satélites Landsat disponen de dos sensores, MSS (*Multispectral scanner*) y TM (*Thematic mapper*). El sensor TM tiene mayor resolución radiométrica (8 bits) que el MSS (6 bits). El satélite Landsat-7 incorpora el sensor ETM (*Enhanced Thematic Mapper*) que añade a las bandas ya disponibles en el TM, un canal pancromático con resolución espacial de 15 metros. Su órbita se sitúa a 705 km de altitud, y sobrevuela la misma zona cada 16 días (USGS, 2017).

Este sensor es el más empleado en aplicaciones agrícolas, forestales, usos del suelo, hidrología, recursos costeros y monitoreo ambiental, además está involucrado a estudios territoriales en el ámbito ambiental, poniendo énfasis este sensor en la resolución espacial, temporal y espectral.

- Imágenes Landsat

Es una constelación de satélites (*LAND = Tierra* y *SAT = satélite*) que se integraban en la primera misión de EEUU para el monitoreo de los recursos terrestres. Las imágenes Landsat están compuestas por 7 u 8 bandas espectrales, especialmente elegidas para el monitoreo de la vegetación, aplicaciones geológicas y estudio de los recursos naturales. Estas bandas pueden combinarse generando nuevas imágenes que incrementan notablemente sus aplicaciones.

Las imágenes Landsat se caracterizan por la variedad de bandas que las componen. Estas imágenes se separan en 2 tipos: Landsat 8 (sensor OLI) y Landsat 5 (sensor TM); ambas poseen 6 bandas multiespectrales que van desde el visible hasta el infrarrojo medio, con una resolución de 30 metros, en la mayoría de ellas. Sin embargo, la diferencia entre ellas radica en que las Landsat 8 poseen una banda pancromática de 15 metros y en el caso de la banda termal, aumenta la resolución de 120 a 60 metros. Cada escena cubre 180 x 175 km<sup>2</sup>. Las principales aplicaciones de estas imágenes se centran en la identificación y clasificación de las distintas cubiertas que existen en la superficie terrestre, determinación de humedad del suelo, clasificación de la vegetación, mapas hidrotermales y estudios multitemporales. Existen imágenes de archivo desde 1982 (GeoSoluciones, s.f.).

Según la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE, 2017) las principales aplicaciones de las imágenes Landsat son: agricultura, forestación, cambio del uso de la tierra, desertificación, recursos hídricos, geología, silvicultura.

Landsat 8 (OLI), el 11 de febrero del 2013 fue lanzado el satélite Landsat 8 (LDCM: *Landsat Data Continuity Mission*, Misión de Continuidad de la Información Landsat), gracias a una operación conjunta entre la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Landsat 8, que reemplaza a Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM, cuenta con 2 instrumentos de toma de datos: el OLI, *Operational Land Imager*, o Generador Operacional de Imágenes de Tierra y el TIRS, *Thermal Infrared*

*Sensor*, o Sensor Infrarrojo Térmico. (Bergman, R. 2016). Las escenas de Landsat 8 tendrán un total de 11 bandas espectrales, 9 tomadas por el OLI y 2 por el TIRS.

- ASTER

ASTER (*The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) es un esfuerzo cooperativo entre la NASA y el Ministerio de Comercio Economía e Industria de Japón METI. En 1999 el instrumento se lanzó a bordo del satélite TERRA de la NASA. El objetivo principal de la misión ASTER es mejorar el entendimiento de los procesos a escala local y regional que ocurren sobre o cerca de la superficie de la tierra y en la atmósfera inferior, incluyendo la interacción superficie-atmósfera.

ASTER presenta una órbita heliosincrónica a una distancia de 705 kilómetros, con un ciclo de repetición de 16 días, un ancho de barrido de 60 kilómetros y una distancia entre orbitas de 172 Km. ASTER está compuesto por 3 subsistemas, VNIR, SWIR y TIR; cada uno de cuales presenta características particulares tales como 3 bandas en la región espectral del visible e infrarrojo cercano (VNIR) con una resolución espacial de 15 metros; 6 bandas en la región espectral del infrarrojo de onda corta (SWIR) con una resolución espacial de 30 metros y 5 bandas en el infrarrojo térmico con una resolución espacial de 90 metros (ERSDAC, 2001). ASTER también presenta un telescopio con visión hacia atrás que escanea en la región espectral de la banda 3B, lo que nos permite realizar modelos digitales de terreno (MDT) por pares estereoscópicos.

- Características espectrales, espaciales, radiométricas

La resolución es el número de píxeles que integran un sensor de satélite, es decir, es la capacidad de discernir objetos o detalles de un determinado tamaño en las imágenes captadas. Las imágenes de satélite se caracterizan por las siguientes resoluciones: espectral, espacial y radiométricas.

**Tabla 1.** Características de las imágenes

Sensor	Subsistema	Banda No.	Rango Espectral $\mu\text{m}$ (micrómetro)	Resolución Espacial	Resolución Radiométrica
<b>TM</b>	VNIR	1	0,45-0,52	30 metros	8 bits
		2	0,53-0,60		
		3	0,63-0,69		
		4	0,76-0,90		
	SWIR	5	1,55-1,75	30 metros	8 bits
		7	2,08-2,35		
	TIR	6	10,4-12,5	120 metros	8 bits
<b>ASTER</b>	VNIR	1	0,52-0,60	15 metros	8 bits
		2	0,63-0,69		
		3N	0,78-0,86		
		3B	0,78-0,86		
	SWIR	4	1,600-1,700	30 metros	8 bits
		5	2,145-2,185		
		6	2,185-2,225		
		7	2,235-2,285		
		8	2,295-2,365		
		9	2,360-2,430		
	TIR	10	8,125-8,475	90 metros	12 bits
		11	8,745-8,825		
		12	8,925-9,275		
		13	10,25-10,95		
14		10,95-11,65			
<b>OLI</b>	-	1	0,43-0,45	30	16 bits
	VIR	2	0,45-0,51	30	
		3	0,53-0,59	30	
		4	0,64-0,67	30	
		NIR	5	0,85-0,88	
	SWIR	6	1,57-1,85	30	
		7	2,11-2,29	30	
	PAN	8	0,50-0,68	15	
	-	9	1,36-1,38	30	
	TIRS	10	10,60-11,19	100	
		11	11,50-12,51	100	

**Fuente:** Elaboración propia

#### **2.4.1. Aplicaciones de teledetección en los cambios de uso del suelo**

El procesado de datos e imágenes de satélite es una herramienta útil para el estudio de la degradación de suelos. En este trabajo se han seleccionado imágenes de diferentes sensores para analizar algunos casos de erosión y pérdida de calidad del suelo: contaminación, pérdida de materia orgánica (incendios, deforestación), salinización, sellado, erosión e hidromorfismo. Los sensores más utilizados para este tipo de estudio son los de resolución espacial y espectral media (embarcados en los satélites Landsat, Spot, ASTER, EO, entre otros), los de alta resolución temporal (embarcados en los satélites MODIS, NOAA, entre otros.) y los sensores con radar (Pérez González y García Rodríguez, 2011).

#### **2.4.2. Análisis multitemporal**

Se realiza mediante la comparación de las coberturas vegetales interpretadas en dos imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas y permite los cambios en la situación de las coberturas que han sido clasificadas. Como los meses de un año y los años entre sí difieren en sus características climáticas, un análisis multitemporal es mucho más eficiente que el análisis de una sola imagen (Calvo y Ortiz, 2012).

Un estudio realizado en el Ecuador continental, para conocer la tasa de deforestación, mantuvo la siguiente metodología, el primer paso utilizado fue el de segmentación, que establece regiones homogéneas (polígonos) dentro de la imagen. Cada segmento o polígono fue clasificado de acuerdo a un método no supervisado, el cual clasifica los segmentos en base a sus atributos espectrales. Finalmente, los mapas se revisaron y editaron visualmente para resolver problemas de mezcla espectral o mezcla entre clases temáticas (MAE, 2012).

La incertidumbre asociada a los mapas de uso y cobertura de la tierra se cuantificó mediante la combinación de distintas estrategias que incluyeron trabajo de campo y uso de imágenes satelitales de referencia, de acuerdo al contexto de accesibilidad existente en distintas regiones del Ecuador. La incertidumbre de cada mapa de cobertura y uso de la tierra generada se cuantificó utilizando el índice estadístico Kappa, el cual evalúa si la clasificación ha discriminado las categorías de interés con exactitud. Un valor Kappa igual a 1 indica un acuerdo pleno entre la realidad y el mapa, mientras un valor cercano a 0 sugiere que el acuerdo observado es puramente debido al azar. El valor de Kappa nacional es el promedio de los generados y validados independientemente por áreas de trabajo. El índice

Kappa a nivel nacional es de aproximadamente 0.7 para los mapas de 1990, 2000 y 2008 (MAE, 2012).

### 2.4.3. Métodos de análisis multitemporal

- Clasificación No Supervisada

Según Alonso (2006), la clasificación no supervisada no se establece ninguna clase a priori, aunque es necesario determinar el número de clases a establecer, y se utilizan algoritmos matemáticos de clasificación automática. Los más comunes son los algoritmos de *clustering* que divide el espacio de las variables en una serie de regiones de manera que se minimice la variabilidad interna de los píxeles incluidos en cada región. Cada región de este espacio de variables define de este modo una clase espectral. En la clasificación no supervisada se obtiene los datos más rápidamente que con la supervisada esa sería una cuestión importante ya que según el trabajo que vayas a realizar tendrías que valorar cual te conviene más.

En la Clasificación No Supervisada utiliza un algoritmo llamado *Isodata*, este algoritmo agrupa píxeles con respuestas espectrales similares, los mismos que son identificados usando la técnica de análisis *Iterative Self-Organizing Data*, este algoritmo está diseñado para trabajar con datos de 8-bit. Las desventajas de este proceso se obtiene clases no contiguas, es decir, pueden existir píxeles aislados, además es 100% dependiente de los datos, por ejemplo, en el caso de una imagen con mucha interferencia atmosférica los datos podrían variar. A diferencia de todo esto existen también algunas ventajas, pocos parámetros para definir, necesita poco conocimiento de los datos (análisis), es un proceso exitoso para encontrar los *clusters*, es decir, los promedios de los valores de los datos.

- Clasificación Supervisada

La clasificación supervisada se basa en la disponibilidad de áreas de entrenamiento. Se trata de áreas de las que se conoce a priori la clase a la que pertenecen y que servirán para generar una signatura espectral característica de cada una de las clases. Se denominan clases informacionales. Estas deben ser áreas lo más homogéneas posibles y en las que sepamos lo que había el día que se tomó la imagen. Por ello esta operación se realiza el mismo día en el

que el satélite toma la imagen y luego se compra esta. Otra posibilidad es utilizar fotografía aérea o información de otro tipo.

Obtener las características de reflectividad de cada una de las clases implica una simple consulta a las imágenes. La respuesta espectral de una clase será la respuesta espectral media de sus píxeles (Alonso, 2006). La clasificación supervisada tiene una mejor calidad en cuestión de resultados ya que como su nombre lo dice se tiene que ir supervisando dato por dato y se realiza con muestreos de campo.

La Clasificación Supervisada necesita una identificación de muestras, es decir, determinar físicamente cuales son los píxeles que se utilizaran como base para la generación de las clases “*clusters*”, luego existe una evaluación de firmas para saber qué tan correcto están las muestras que se tomaron y así evitar la mezcla de las mismas para evitar confusión en el momento de clasificación, además se puede usar reglas de evaluación de clasificación, realizando probabilidades estadísticas o una serie de límites de acuerdo a los valores de cada píxel. La desventaja de este proceso emerge de ser un método de clasificación más avanzado, ya que requiere de un conocimiento previo de los datos, clases que se obtiene y de los métodos de clasificación, en conclusión, depende de un conocimiento más avanzado del manejo de información espectral. Y la ventaja proporciona al usuario el control de los datos.

- Análisis de Componentes Principales de Cobertura Vegetal

El análisis por componentes principales es una técnica muy utilizada, con bandas de una fecha con los siguientes objetivos: realizar los valores originales de las bandas, descorrelación de bandas, compresión de datos, combinación entre bandas de diferente resolución espacial (*merge*), fusión de bandas multiespectrales con bandas pancromáticas, entre otros.

Los valores de los píxeles de las bandas originales son convertidos en valores, que no tienen un significado físico en el terreno. El análisis estadístico en la cual se basa esta técnica tiene algunas particularidades como es el de eliminar la mayor parte de las diferencias en las bajas frecuencias de la imagen, realizando una calibración relativamente automática entre imágenes.

#### **2.4.4. Índice de vegetación normalizada (NDVI)**

El NDVI mide la relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres. Aplicando a las comunidades de plantas, el índice arroja valores de intensidad del verdor de la zona, y da cuenta de la cantidad de vegetación presente en una superficie y su estado de salud o vigor vegetativo. El NDVI es un índice no dimensional, y por lo tanto sus valores van de -1 a +1. En la práctica, los valores que están por debajo de 0,1 corresponden a los cuerpos de agua y la tierra desnuda, mientras que los valores más altos son indicadores de la actividad fotosintética de las zonas de matorral, el bosque templado, la selva y la actividad agrícola (Meneses, 2011).

#### **2.5. Proyección de la Pérdida de Cobertura Vegetal**

La proyección tiene como fin determinar áreas con mayor susceptibilidad a ser afectadas por procesos de conversión de ecosistemas naturales, esto consiste en la implementación de un modelo empírico que caracterice los procesos de conversión de la vegetación natural observados en el período aproximado. Además, cabe mencionar que la proyección cumple con el objetivo dotar de información sobre la magnitud, estructura, crecimiento, distribución de la población y de sus características económicas, sociales y demográficas, que sirva de base para la elaboración de planes generales de desarrollo y la formulación de programas y proyectos a cargo de organismos de los sectores público y privado (GeoPlaDes, 2010).

##### **2.5.1. Land Change Modeler (LCM)**

*Land Change Modeler* para ArcGIS es una innovadora extensión software *land planning* y ayuda a la toma de decisiones para ArcGIS. Usado mayoritariamente para priorizar la conservación y los esfuerzos de planificación, *Land Change Modeler* le permite analizar rápidamente el *land cover change*, simular futuros cambios en los escenarios modelar escenarios para emisiones REDD, y modelar posibles impactos en la biodiversidad.

Con un flujo de trabajo automatizado, y sencillo de usar, *Land Change Modeler* simplifica sobremanera las complejidades de los análisis y sus cambios, los recursos, el asentamiento del terreno, entre otros. *Land Change Modeler* proporciona una solución de principio a fin de que sus análisis necesitan. El módulo *Land Change* está incluido dentro del software IDRISI Selva and *Image Processing* y está disponible como una extensión para su uso con *Esri ArcGIS Product* es compatible con ArcGIS 10.2 SP2 o superior.

Esta extensión para software ArcGIS está orientada a predecir y estudiar los acelerados cambios que hoy ocurren en la conversión del terreno y la biodiversidad del mismo. Está compuesto por varios módulos:

*El analizador de cambios:* le permitirá comparar dos mapas de diferentes fechas, y reevaluar como ha cambiado la situación en el tiempo, incluyendo una herramienta de abstracción y de análisis de superficie, para descubrir los cambios más complejos.

*Modelador para Cambios Potenciales:* usando la información sobre las transiciones ocurridas en el terreno e incorporando mapas medioambientales, con *Land Change Modeler* puede crear un *layer* de datos GIS que exprese una transición potencial, como muestra de lo que podrá pasar en un futuro. Cada transición esta modelada con *Logistic Regresion* o con una red neural *Mlti-Layer Perceptron*, resultando un mapa para cada transición, declarando el potencial de cambio. Las variables ambientales pueden ser estáticas o dinámicas (además estas se recalculan en cada iteración durante el curso de la predicción).

*Predicting Change:* Las predicciones sobre cambios dinámicos se basan en transiciones históricas y modelos a lo largo de un intervalo de tiempo. La cantidad de cambios se puede modelar a través de un análisis *Markov Chain*. *Land Change Modeler* permite especificar el número de etapas durante las cuales las variantes son actualizadas. A cada etapa el sistema comprueba la presencia de intervenciones planeadas, como parámetros que pueden influir en el desarrollo del proceso de predicción (por ejemplo, nuevas carreteras, entre otros). Se pueden crear varios tipos de predicciones, incluyendo algunas más duras, con un sólo toque. Una predicción más suave también se proporciona.

*Impact Assessment for Habitat and Biodiversity:* En *Land Change Modeler* hay un amplio rango de herramientas para asegurar las consecuencias para que un cambio sea ecológicamente sostenible, eso incluye herramientas para controlar asentamiento de especies, análisis de los cambios de hábitat, entre otros. El software hará predicciones de posibles cambios en los hábitats de las especies que mejor se adaptan a dichos asentamientos, incluyendo hábitats primarios y secundarios.

*Planing Interventions: Land Change Modeler* permitirá planear las intervenciones que pueden alterar el curso de un desarrollo, incluyendo incentivos, como áreas reservadas, modificación de infraestructuras y corredores biológicos.

## **2.6. MARCO LEGAL**

El presente proyecto está enmarcado en la línea de investigación propuesta en el programa de Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas del Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica del Norte. Además, está sustentada en el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) Art. 132.- Ejercicio de la competencia de gestión de cuencas hidrográficas. Los gobiernos autónomos descentralizados regionales, en coordinación con todos los niveles de gobierno, implementarán el plan de manejo de cuencas, subcuencas y microcuencas, en sus respectivas circunscripciones territoriales.

En el Artículo 136.- Ejercicio de las competencias de gestión ambiental.- De acuerdo con lo dispuesto en la Constitución, el ejercicio de la tutela estatal sobre el ambiente y la corresponsabilidad de la ciudadanía en su preservación, se articulará a través de un sistema nacional descentralizado de gestión ambiental, que tendrá a su cargo la defensoría del ambiente y la naturaleza a través de la gestión concurrente y subsidiaria de las competencias de este sector, con sujeción a las políticas, regulaciones técnicas y control de la autoridad ambiental nacional, de conformidad con lo dispuesto en la ley.

Los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales rurales promoverán actividades de preservación de la biodiversidad y protección del ambiente para lo cual impulsarán en su circunscripción territorial programas y/o proyectos de manejo sustentable de los recursos naturales y recuperación de ecosistemas frágiles; protección de las fuentes y cursos de agua; prevención y recuperación de suelos degradados por contaminación, desertificación y erosión; forestación y reforestación con la utilización preferente de especies nativas y adaptadas a la zona; y, educación ambiental, organización y vigilancia ciudadana de los derechos ambientales y de la naturaleza.

Estas actividades serán coordinadas con las políticas, programas y proyectos ambientales de todos los demás niveles de gobierno, sobre conservación y uso sustentable de los recursos naturales.

La Planificación del Desarrollo y del Ordenamiento Territorial según el Artículo 295.- Planificación del desarrollo. Los gobiernos autónomos descentralizados, con la participación protagónica de la ciudadanía, planificarán estratégicamente su desarrollo con visión de largo plazo considerando las particularidades de su jurisdicción, que además permitan ordenar la localización de las acciones públicas en función de las cualidades territoriales. Los planes de desarrollo deberán contener al menos los siguientes elementos:

- a) Un diagnóstico que permita conocer las capacidades, oportunidades y potencialidades de desarrollo, y las necesidades que se requiere satisfacer de las personas y comunidades;
- b) La definición de políticas generales y particulares que determinen con claridad objetivos de largo y mediano plazo;
- c) Establecimiento de lineamientos estratégicos como guías de acción para lograr los objetivos; y,
- d) Programas y proyectos con metas concretas y mecanismos que faciliten la evaluación, el control social y la rendición de cuentas.

De acuerdo al Artículo 297.- Objetivos del ordenamiento territorial. - El ordenamiento del territorio regional, provincial, distrital, cantonal y parroquial, tiene por objeto complementar la planificación económica, social y ambiental con dimensión territorial; racionalizar las intervenciones sobre el territorio; y, orientar su desarrollo y aprovechamiento sostenible, a través de los siguientes objetivos:

- a) La definición de las estrategias territoriales de uso, ocupación y manejo del suelo en función de los objetivos económicos, sociales, ambientales y urbanísticos;
- b) El diseño y adopción de los instrumentos y procedimientos de gestión que permitan ejecutar actuaciones integrales y articular las actuaciones sectoriales que afectan la estructura del territorio; y,
- c) La definición de los programas y proyectos que concreten estos propósitos.

Los gobiernos autónomos descentralizados metropolitanos y municipales, en la ejecución de su competencia de uso y control del suelo, tendrán en cuenta los objetivos contenidos en este artículo.

Artículo 466.- Atribuciones en el ordenamiento territorial. - Corresponde exclusivamente a los gobiernos municipales y metropolitanos el control sobre el uso y ocupación del suelo en el territorio del cantón, por lo cual los planes y políticas de ordenamiento territorial de este nivel racionalizarán las intervenciones en el territorio de todos los gobiernos autónomos descentralizados.

El plan de ordenamiento territorial orientará el proceso urbano y territorial del cantón o Distrito para lograr un desarrollo armónico, sustentable y sostenible, a través de la mejor utilización de los recursos naturales, la organización del espacio, la infraestructura y las actividades conforme a su impacto físico, ambiental y social con el fin de mejorar la calidad de vida de sus habitantes y alcanzar el Buen Vivir.

El plan de ordenamiento territorial deberá contemplar estudios parciales para la conservación y ordenamiento de ciudades o zonas de ciudad de gran valor artístico e histórico, protección del paisaje urbano, de protección ambiental y agrícola, económica, ejes viales y estudio y evaluación de riesgos de desastres. Con el fin de garantizar la soberanía alimentaria, no se podrá urbanizar el suelo que tenga una clara vocación agropecuaria, salvo que se exista una autorización expresa del organismo nacional de tierras. El ordenamiento del uso de suelo y construcciones no confiere derechos de indemnización, excepto en los casos previstos en la ley.

Artículo 467.- Ejecución de los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial. Los planes de desarrollo y de ordenamiento se expedirán mediante ordenanzas y entrarán en vigencia una vez publicados; podrán ser actualizados periódicamente, siendo obligatoria su actualización al inicio de cada gestión.

Los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial serán referentes obligatorios para la elaboración de planes operativos anuales, programas, proyectos, instrumentos presupuestarios y demás herramientas de gestión de cada gobierno autónomo descentralizado.

Con el objeto de evaluar los logros y avances del Plan Nacional de Desarrollo y optimizar las intervenciones públicas en el territorio, los gobiernos autónomos descentralizados informarán semestralmente, a la Secretaría Técnica del Sistema Nacional el avance o logro de las metas establecidas.

## CAPÍTULO III

### 3. Metodología

En este capítulo se describe los diferentes métodos, técnicas y equipos utilizados para cumplir con diferentes objetivos propuestos en la presente investigación, aplicando nuevas tecnologías para estudios ambientales que permitan generar información para la toma de decisiones en el manejo de los recursos hídricos.

#### 3.1. Tipo de Investigación

Los tipos de investigación científica que se tomaron en cuenta fueron: *exploratoria*, da una visión general de cuanto se aproxima a una determinada realidad de temas que han sido poco explorados y reconocidos; y *descriptiva*, puntualiza algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permitan conocer su estructura o comportamiento, con lo cual se pueden obtener resultados que describan la realidad del área de estudio.

#### 3.2. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es no experimental, debido a que no manipula ninguna variable, sino se observan los fenómenos que pueden ocurrir en un contexto natural, que a su vez pueden llegar a ser analizados y generar resultados de interés para la ciudadanía.

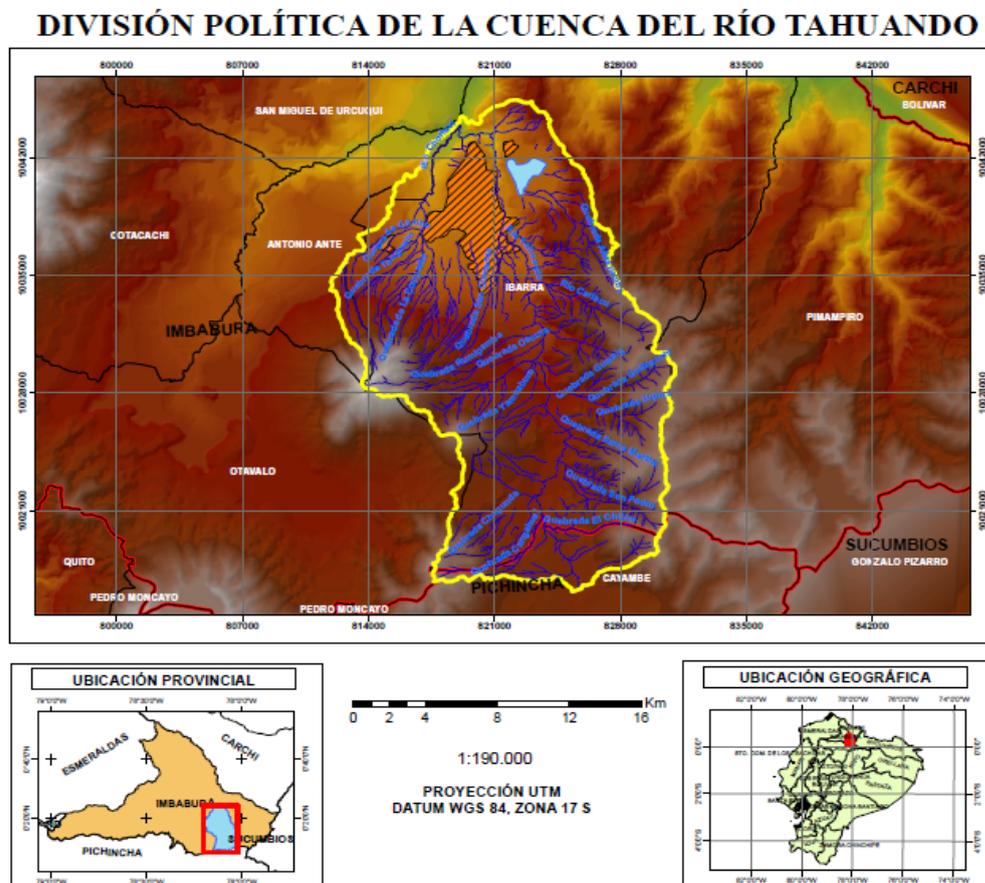
#### 3.3. Área de Estudio

El área de estudio está localizada en las parroquias de Angochagua, La Esperanza, San Francisco, Sagrario, Priorato y Salinas, en el cantón Ibarra, también la parroquia de Imbaya perteneciente al cantón Antonio Ante y la parroquia de San Pablo de Lago del cantón Otavalo de la provincia de Imbabura y en la parroquia Olmedo perteneciente al cantón Cayambe, provincia Pichincha, en la República del Ecuador (**Figura 1**).

##### 3.3.1. Datos Generales

La cuenca del río Tahuando posee un área de 35.065,07 hectáreas, siendo constituida por una red hídrica, los afluentes más importantes son: río Chorlaví, quebrada Yuracruz, quebrada San Clemente, río Cariacu, quebrada Rumipamba, quebrada Cucho de Torres,

quebrada La Rinconada, quebrada Yanajaca, quebrada Santa Martha, quebrada San Pedro, quebrada Guayrapungo y quebrada El Chilco (**Figura 1**).



**Figura 1.** Mapa de división política

- Coordenadas geográficas del área de estudio

**Tabla 2.** Coordenadas referenciales de la cuenca del río Tahuando

Punto	X	Y
1	822102	10045439
2	825316	10016171
3	830139	10032009
4	813639	10028500

### 3.3.2. Factores climáticos

- Precipitación y temperatura

Según información de tipo vectorial obtenida desde el Geoportal del SNI (INAMHI, 2008), la precipitación oscila entre 0 mm y 2.000 mm/año, con un promedio de 1.000 mm anuales

en toda la cuenca. En cuanto a la temperatura esta varía entre un rango de 6 °C a 20 °C, teniendo un promedio anual de 13 °C en el espacio geográfico de la cuenca.

### 3.3.3. Flora y Fauna

Respecto a la flora de la cuenca se han registrado 154 especies vegetales aproximadamente según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial GAD Parroquial Angochagua (2015), que conforman parte del bosque nativo y páramo. Entre las especies endémicas más dominantes que se encuentran en el bosque se tienen:

- Pumamaqui (*Oreopanax ecuadorensis*)
- Colca (*Miconia papillos*)
- Zapatitos (*Calceolaria hyssopifolia*)
- Espino (*Acacia macracantha*)
- Guarango (*Caesalpinia spinosa*)

En lo que respecta al ecosistema páramo, que es de gran importancia para la localidad, se encuentra representado especialmente por plantas herbáceas características de estos ecosistemas, como son las poaceas de los géneros *Calamagrostis*, *Festuca*, *Stipa*. Otras especies de flora característica del pajonal constituyen las pequeñas rosetas y otras hierbas pequeñas de una variedad de géneros como: *Senecio*, *Lupinus*, *Gentianella*, *Halenia*, *Gunnera*, *Sisyrinchium*, *Satureja*, *tellaria*, *Lachemilla*, *Ranunculus*, *Castilleja*, *Bartsia*, *Geranium* e *Hypochaeris*, y helechos del género *Jamesonia* y *Eriosorus*.

En cuanto a la fauna existente dentro de la cuenca existen aproximadamente 66 especies animales entre aves, mamíferos, reptiles, anfibios. La especie endémica en peligro de extinción es el cóndor (*Vultur gryphus*), entre las especies de fauna más representativas se encuentran:

- Lobo de páramo (*Lycalopex culpaeus*)
- Puma (*Puma concolor*)
- Tucán andino (*Andigena laminirostris*)
- Venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*)
- Lagartija (*Pholidobolus montium*)
- Rana (*Gastrotheca* sp.)

### **3.4. Procedimiento para la Recolección de la Información**

La recolección de datos refiere al uso de una gran diversidad de técnicas que pueden ser utilizadas por el analista para desarrollar los sistemas de información. Estos instrumentos se aplicarán en un momento en particular, con la finalidad de buscar información que será útil a una investigación en común.

En el presente estudio se realizó toma de puntos de control para proceder a la recolección de datos de especies vegetales seleccionadas, y su posterior análisis dentro de los Sistemas de Información Geográfica, luego se realizó el análisis entre métodos empleados y análisis espacial.

Mediante el empleo de la extensión *Land Change Modeler* para IDRISI Selva se elaborará un mapa de uso de suelo y de la cobertura vegetal de la microcuenca del río Tahuando para el año 2031, con el fin de conocer las variaciones existentes que pueden producir en 14 años, el objetivo de análisis de proyección al año 2031 podrá ayudar a determinar áreas con mayor susceptibilidad a ser afectadas por procesos de conversión de ecosistemas naturales en el período 2017 – 2031.

### **3.5. Instrumentos y Equipos Utilizados**

A continuación, se detallan los instrumentos y materiales empleados en el desarrollo de la investigación.

#### **3.5.1. Materiales y equipos de campo**

- Libretas de campo
- Navegador GPS Garmin Montana 650
- Cámara fotográfica
- Vehículo 4x4

#### **3.5.2. Materiales y equipos de oficina**

- Cartas topográficas digitales del IGM escala 1:50 000
- Imágenes satelitales Landsat, ASTER y Ortofotos

- Computador
- Softwares ArcGIS 10.3, ERDAS IMGINE e IDRISI Selva 17.0

### **3.6. Métodos**

En el siguiente apartado se indica el método aplicado para cumplir con cada uno de los objetivos planteados en la presente investigación.

#### **3.6.1. Reconocimiento y delimitación del área de estudio**

Se realizaron recorridos en la cuenca del río Tahuando en donde se delimitó el área de estudio mediante puntos de control, para el trabajo de campo se empleó un navegador GPS y una libreta de campo para registrar los datos de ubicación de los diferentes tipos de cobertura y uso del suelo dentro de la cuenca.

#### **3.6.2. Adquisición de imágenes en diferentes períodos**

Esta adquisición se realizó por medio de la descarga de imágenes Landsat de los sensores TM, ETM+ y OLI con resolución espacial de 30 m de la página web *The U.S. Geological Survey* (USGS), usando el visor *Glovis* donde se proporciona imágenes satelitales de diferentes periodos. También del interfaz *Earthdata* de la NASA, se obtuvo la imagen Aster (2001) y Ortofotos del proyecto SIGTIERRAS (2013), además por medio de cartografía base del Geoportal del Instituto Geográfico Militar (IGM), es decir, cartas topográficas 1:50 000 de Ibarra, San Pablo de Lago, Mariano Acosta y Cayambe.

- Selección de imágenes

Se emplearon dos imágenes satelitales la primera imagen satelital se obtuvo a través del satélite Landsat 5 TM año 1991, para el año 2001 se usó una imagen Aster del satélite LIT y para el año 2013 un mosaico Ortofotos del programa SIGTIERRAS. Se procuró que las imágenes utilizadas en el análisis presentaran el menor porcentaje de cobertura de nubes dentro del área de estudio (es decir con un porcentaje de nubes correspondiente menor a 20%), así mismo se manipularon las bandas multiespectrales RGB 432 para visualizar la cobertura vegetal. También fue necesario verificar en cada imagen la existencia de los metadatos particularmente los necesarios para realizar las correcciones radiométricas de las imágenes.

- Tratamientos de imágenes

Este procedimiento fue tan solo para la imagen Landsat debido a que las demás se encuentran ya rectificadas geométricamente y radiométricamente.

Pre – Procesamiento: consistió en la transformación de las imágenes al formato \*.img de Erdas, que originalmente se obtienen en archivos independientes para cada una de las bandas que forman la imagen y formato .tiff (*Tagged Image File Format*); la transformación realizada mediante el programa de tratamiento digital ERDAS IMAGE, el módulo *Raster*, comando *Spectral (Layer Stack)* para producir una imagen de salida que agrupe las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 de la imagen con la extensión \*.img.

Correcciones Geométricas. Georreferenciación de imágenes satelitales: la corrección geométrica en general permite que las imágenes satelitales utilizadas eliminen distorsiones geométricas indeseables y adaptarla a proyecciones cartográficas deseadas; es de hacer notar que las imágenes contaban con su respectiva georreferenciación por lo que se procuró su verificación observando para cada una de las imágenes los datos de latitud y longitud respectivas, y que ambas imágenes posean el sistema de coordenadas de Proyección (WGS 84), Esferoide (Clarke, 1866), y Datum para el Ecuador. Este procedimiento se realizó para las imágenes provenientes del sensor TM.

Correcciones Radiométricas (Radianza y Reflectancia): transformadas las imágenes satelitales a formato \*.img, y verificada la georreferenciación se realizó la corrección radiométrica para las imágenes satelitales 1990, 2000 y 2014, la corrección Atmosférica al Tope de la Atmosfera (TOA) es decir la reflectancia. Coinciden en el abordaje de esta temática y el tratamiento ideal para la corrección, el cual consiste en la estimación de los ND (números digitales) de los píxeles erróneos respecto a los ND de los píxeles vecinos. Utilizando el algoritmo propuesto por Instituto de Astronomía y Física del Espacio de Argentina (IAFE).

El cálculo de la radianza se realizó mediante el algoritmo  $L = G * DN + B$ , cada uno de los elementos requeridos por el algoritmo se obtuvo del metadato de cada imagen descargada.

$$L = G * DN + B$$

En donde:

L: Radianza

G: Gain

B: Bias

ND: Numero Digital

- Corrección atmosférica (ATCOR), *Haze Reduction*

Con la herramienta *Radiometric – Haze Reduction*, corrección atmosférica (ATCOR) se realizó una transformación de las imágenes de satelitales: se redujo la influencia de la iluminación atmosférica y solar. Se comparó imágenes de satélite multitemporales con diferentes tiempos de adquisición. Las diferencias obtenidas son cambios reales en lugar de a las diferencias de la condición atmosférica. Además, se comprobó las imágenes multisensor con bandas espectrales similares. Se comparó los datos de reflectancia de tierra recuperados de imágenes satelitales (1991, 2000, 2015) para la reflectancia del suelo medido en el campo (Puntos de Control). Y se mejoró los resultados de la detección de cambios y algoritmos de clasificación.

- Corte de las imágenes satelitales

Después de realizada las correcciones geométrica y radiométrica se realizó el corte de las imágenes, y continuar el tratamiento de las imágenes para el área de estudio. El corte se realizó desplegando en el *viewer* de ERDAS IMAGINE la imagen satelital a cortar, luego dentro del mismo *viewer* se ejecuta la opción en formato vectorial (*shape*) y se carga el archivo que delimita la cuenca hidrográfica.

En este proceso se observó que tanto la imagen satelital y el vector de la cuenca posean las mismas unidades de georreferenciación, las imágenes satelitales utilizadas en este análisis multitemporal requieren poseer una misma extensión de área cortada. Las imágenes se cargaron cada una en ventanas de visualización y se vinculan al vector utilizando la opción *Link/Unlink, Geographical*, esto permite el enlace o encadenamiento de las imágenes de los años 1991, 2001 y 2013 respectivamente.

### **3.6.3. Clasificación de imágenes**

Tomando en cuenta que el tratamiento de las imágenes satelitales se realizó para lograr una clasificación de la cobertura del suelo con mayor representatividad, también se utilizó el

criterio fisonómico estructural que valora conjuntos vegetales y antrópicos homogéneos dentro del área de estudio. Los que posteriormente se convertirán en mapas temáticos que describen las clases más representativas de la clasificación.

- Clasificación de las Imágenes

*La Clasificación No Supervisada* es un método que se utilizó debido que se desconoce a detalle la cobertura vegetal del área de estudio; se utilizaron diferentes mapas temáticos incluidos en este trabajo (Mapa de Ecosistemas Vegetales, Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra) que muestran para el caso de la cuenca del río Tahuando de las diferentes clasificaciones de cobertura vegetal. La clasificación no supervisada consistió en un procedimiento que permitió mediante el software Erdas agrupar en diferentes clases espectrales los píxeles con similitudes.

En la clasificación no supervisada se tuvo presente aspectos como: contar con varias imágenes satelitales Landsat, valorar los datos contenidos en la imagen, así como la calidad, presencia de cobertura de nubes, clasificación del área de estudio basada en el algoritmo de agrupamiento de los píxeles, representación tabular de la clasificación, tablas estadísticas, análisis de datos digitales, y evaluación de los resultados (determinación de exactitud y confiabilidad de la clasificación multiespectral)

Para las tres imágenes se realizó la clasificación no supervisada, mediante el programa Erdas Imagine 2013, módulo *Classifier* opción *Unsupervised Classification* se ingresó cada imagen previamente tratada y el nombre de la nueva imagen resultante; el software Erdas mediante el algoritmo *KMeans* agrupa los píxeles en conglomerados con características espectrales similares, al utilizar la opción *Clustering Option* se seleccionan las bandas 4, 3, 2 y finalmente a través del criterio de vecino más cercano los píxeles se agruparon en 5 clases.

*La Clasificación Supervisada* se basó en la disponibilidad de áreas de entrenamiento. Se trata de áreas de las que se conoce “a priori” la clase a la que pertenecen y que servirán para generar una signatura espectral característica de cada una de las clases, esta técnica procesó las imágenes en las diferentes fechas, se procedió a seleccionar áreas como muestra para la clasificación en la imagen (*Drawing Polygon*), luego *Raster Supervised Signature Editor Create New Signature from AOI* se repitió este proceso para identificar las

siguientes clases en cada una de las imágenes. Cada clase creada fue definida con un nombre, un color específico y se generó el archivo con las muestras tomadas. Para finalizar *Raster Supervised Supervised Classification*, se obtuvo un mapa de clasificación de la cuenca.

Adicionalmente se evaluó los resultados con el índice de Kappa y matriz de confusión, permitiendo conocer el acierto de nuestra clasificación realizada al azar. Finalmente se aplicó el *Análisis por Componentes Principales*, a partir del índice de vegetación normalizada (NDVI), clasificación supervisada y clasificación no supervisada de las imágenes satelitales Landsat (1991, 2001 y 2013) para la cuenca del río Tahuando se buscó la detección de posibles cambios ocurridos en la cobertura vegetal durante el período seleccionado. Por medio del software ERDAS IMAGINE módulo *Spectral* con las opciones GIS Análisis, función *Layer Stack*, se realizó la evaluación de la cobertura vegetal, el proceso consistió en el traslape de las tres imágenes, lo que permitió generar una nueva imagen en formato *raster* con extensión \*.img, y se observaron los cambios en las diferentes coberturas de vegetación. Para la interpretación final se asignó la combinación de bandas R (NDVI), G (clasificación supervisada) y B (clasificación no supervisada).

- Matriz de Confusión

Esta matriz fue realizada tan solo para la clasificación supervisada de la imagen Landsat - 2017, después de realizada la comparación con la fuente externa de datos considerados la “realidad d de terreno” (Puntos de Control tomados con el navegador GPS), con estos datos se realizó una matriz donde se describió la cobertura vegetal con su respectivas coordenadas UTM y fotografía como respaldo.

La matriz de confusión en ERDAS permitió medir cuatro parámetros: *Exactitud del productor*: porcentaje de superficie de referencia de cada clase que ha sido correctamente clasificada. *Error de omisión*: porcentaje de la superficie de referencia que no ha sido clasificada como tal, y por tanto omitida. *Exactitud del usuario*: porcentaje de superficie estimada de cada clase que ha sido correctamente clasificada. *Error de comisión*: porcentaje de superficie estimada de cada clase que ha sido confundida con superficie de la otra clase. Por tanto, incorrectamente clasificada.

- Recodificación de la Clasificación o Agrupamiento de Píxeles en Clases

El agrupamiento de clases asignó un nuevo valor numérico a una o todas las clases contenidas en la imagen, estas dejaron de tener un valor numérico y se convirtieron en valores asignados, porque tiene como objetivo conglomerar o agrupar los píxeles de la imagen satelital clasificada en clases. La clasificación de la cobertura vegetal en cada imagen identificó cinco categorías: agricultura, cobertura vegetal, cuerpos de agua, ganadería, zonas pobladas con el programa ERDAS.

Se clasificó realizando un conjunto de clases predefinidas a partir su relevancia con respecto a la resolución de las imágenes, este conjunto será llamado esquema de clasificación (o sistema de clasificación). El propósito de este esquema es proporcionar una estructura para organizar y categorizar la información que puede extraerse de los datos obtenidos en el transcurso de la investigación.

El esquema de clasificación que se utilizó para la elaboración de los mapas de cobertura vegetal se basará únicamente en su estructura. Por tal motivo se agrupó coberturas de uso y ocupación del suelo, según la similitud de los píxeles que poseen las siguientes coberturas: *bosque nativo*, *vegetación herbácea*, *vegetación arbustiva*, *páramo*, *plantaciones forestales*.

- Identificación de los Conglomerados

Mediante el algoritmo *Clump* del módulo *Interpreter* opción *GIS Analysis*, se obtuvo el reconocimiento de conglomerados o grupo de celdas, píxeles adyacentes, es decir vecino más cercano con la misma categoría de clasificación, para cada imagen clasificada. Con la opción *Clump* se descartó los agrupamientos o conglomerados con la unidad mínima cartografiable y se utilizó la opción *Eliminate*, lo que permitió establecer el valor en hectáreas de la unidad mínima a cartografiar, en este caso se consideró como unidad cartografiable los valores mayores a una hectárea, lo que significa que valores menores pertenecientes a un determinado conglomerado pasan a formar parte de otro.

- Verificación de los Resultados de la Clasificación

Se evaluó la calidad en la correspondencia de la clasificación, escogiendo de forma aleatoria una serie de puntos sobre la imagen clasificada, mediante la opción *Accuracy Assessment* del menú de clasificación de ERDAS IMAGINE, debiendo ser comprobados

en reconocimiento de campo. La generación de la matriz de Confusión y el índice Kappa son los que determinaron la precisión de la clasificación de acuerdo a una escala de valores del índice Kappa (Cohen, 1960).

Valoración del Índice Kappa (Valor K):

Fuerza de la Concordancia < 0,21 Pobre 0,21 – 0,40

Débil 0,41 – 0,60 Moderada 0,61 – 0,80

Buena 0,81 – 1,0 Muy Buena

#### **3.6.4. Análisis Multitemporal de las Imágenes**

A partir de las imágenes clasificadas (1991, 2001 y 2017) se buscó la detección de posibles cambios ocurridos en la cobertura vegetal durante el período seleccionado. Por medio del programa ERDAS IMAGINE módulo *Interpreter* opciones *GIS Análisis función Matrix*, se realizó la evaluación de la cobertura vegetal por medio de las dos imágenes tratadas, el proceso permite el traslape de ambas imágenes para generar una nueva imagen en formato *raster* con extensión \*.img, y se observan los cambios en las diferentes coberturas de vegetación, adicionalmente se archivan los datos en formato .txt para la generación de tablas en formato Excel.

#### **3.6.5. Cálculo de la tasa de deforestación**

La tasa de deforestación se procedió a calcular aplicando la fórmula utilizada por el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) (ex CLIRSEN) en el estudio de la deforestación del Ecuador continental, la que se detalla a continuación:

$$t = \left( \left( 1 - \frac{S1}{S2} \right) * \frac{1}{n} \right) * 100$$

Donde:

t= tasa de deforestación estimada en (%)

S1= Superficie inicial (ha)

S2= Superficie final (ha)

n= Número de años

### **3.6.6. Elaboración de cartografía base y temática**

Una vez realizado el diagnóstico y validación de información como fase previa, se procedió a la elaboración del mapa base, en el que se representó toda la información topográfica, planimétrica, altimétrica y toponímica que caracteriza el área de estudio.

Con el área delimitada se procedió a realizar la cartografía necesaria usando los puntos GPS tomados en el campo y se elaboró los mapas base y temáticos correspondiente, para ello se usó el software ArcGIS 10.3 con licencia académica del Laboratorio de Geomática (UTN).

### **3.6.7. Elaboración de mapas de cobertura vegetal y uso actual de los años 1991, 2001 y 2013**

Se procedió a elaborar el mapa de uso de suelo y cobertura vegetal actual por medio de la teledetección (análisis multitemporal), usando las imágenes Landsat del sensor TM. Con las imágenes Landsat y Aster como insumo principal se procedió a realizar los mapas necesarios para evidenciar la variación en cuanto a cobertura vegetal y uso del suelo de la cuenca.

Para la elaboración de los mapas se usó una escala de 1: 120.000, en vista de que existen áreas pequeñas que no se las pueden visualizar a esta escala, por tal razón se consideraron superficies cartografiables mayores a tres hectáreas.

- Verificación de campo y ajuste de la clasificación

La verificación se realizó de forma estratificada, con énfasis en aquellas áreas con unidades cartográficas, donde la respuesta espectral de las clases no permita su completa identificación (presencia de nubes) y con menor detalle en aquellas unidades que no presentaban confusión espectral.

La información colectada se procesó a partir de una identificación visual dentro de la cuenca hidrográfica, donde se analizó los siguientes parámetros: estructura, altura, cobertura, especies dominantes y composición florística. Y finalmente la verificación ayudo a conocer las causas de las variaciones de la cobertura vegetal.

## CAPÍTULO IV

### 4. Resultados y Discusión

Una vez realizados los análisis con las diferentes imágenes Landsat y ASTER usadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

#### 4.1. Resultados

##### 4.1.1. Cambios de uso del suelo en la cuenca

Al realizar las tres clasificaciones: supervisada, no supervisada y PCA de las imágenes Landsat (TM, OLI) y Aster de los años 1991, 2001 y 2017, respectivamente, se obtuvieron los siguientes datos respecto a los cambios ocurridos en los diferentes años.

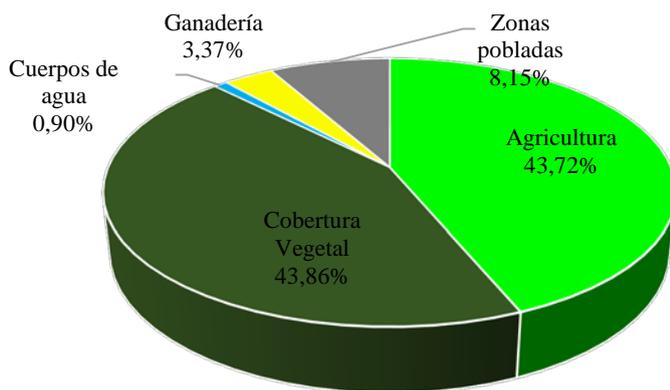
#### Clasificación No Supervisada

- Para el año 1991 correspondiente a la imagen Landsat, se cuantificaron los cambios ocurridos en la cuenca del río Tahuando, de acuerdo a las categorías de uso del suelo propuestas anteriormente (*Ver. Tabla 3 y Gráfico 1*).

**Tabla 3.** Categorías obtenidas en la Clasificación No Supervisada a partir de la imagen Landsat (1991)

Categorías	Área (ha)	Porcentaje (%)
<b>Agricultura</b>	15.329,16	43,72
<b>Cobertura Vegetal</b>	15.376,81	43,85
<b>Cuerpos de agua</b>	314,27	0,9
<b>Ganadería</b>	11.82,62	3,37
<b>Zonas pobladas</b>	2.857,77	8,15
<b>TOTAL</b>	<b>35.060,63</b>	<b>100</b>

INSTITUTO DE POSGRADO

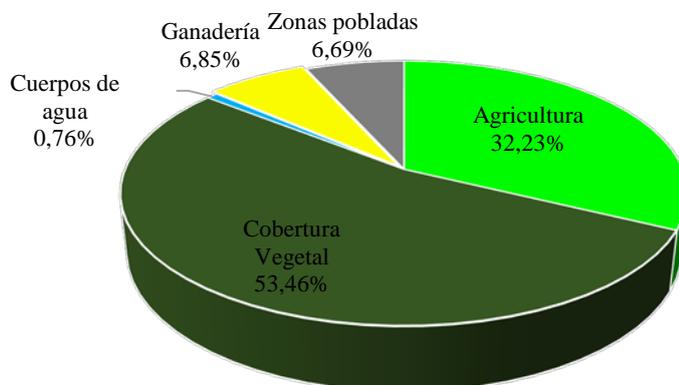


**Gráfico 1.** Clasificación No Supervisada de la imagen Landsat (1991)

- Para el año 2001 según la imagen Aster, se determinó los siguientes cambios ocurridos en la cuenca del río Tahuando, respecto al uso del suelo ocurrido en este año. (Ver. **Tabla 4** y **Gráfico 2**)

**Tabla 4.** Categorías obtenidas en la Clasificación No Supervisada a partir de la imagen ASTER (2001)

Categorías	Área (ha)	Porcentaje (%)
<b>Agricultura</b>	11.300,87	32,23
<b>Cobertura Vegetal</b>	18.744,36	53,46
<b>Cuerpos de agua</b>	267,14	0,76
<b>Ganadería</b>	2.402,71	6,85
<b>Zonas pobladas</b>	2.347,05	6,69
<b>TOTAL</b>	<b>35.062,13</b>	<b>100</b>

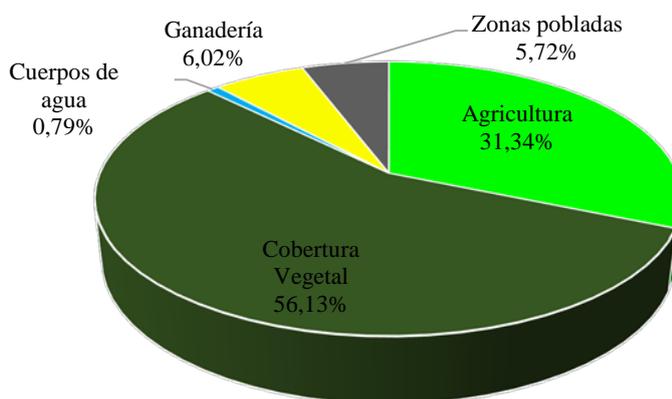


**Gráfico 2.** Clasificación No Supervisada de la imagen ASTER (2001)

- Para el año 2017 según la imagen Landsat, se determinó los siguientes cambios ocurridos en la cuenca del río Tahuando, respecto al uso del suelo en este año. (Ver. **Tabla 5** y **Gráfico 3**)

**Tabla 5.** Categorías obtenidas en la Clasificación No Supervisada a partir de la imagen Landsat (2017)

Categorías	Área (ha)	Porcentaje (%)
<b>Agricultura</b>	10.985,73	31,33
<b>Cobertura Vegetal</b>	19.676,07	56,11
<b>Cuerpos de agua</b>	277,53	0,79
<b>Ganadería</b>	2.111,72	6,02
<b>Zonas pobladas</b>	2.006,53	5,72
<b>TOTAL</b>	<b>35057,58</b>	<b>100</b>



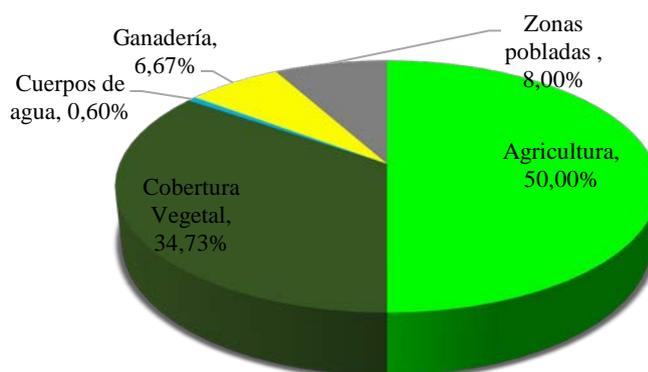
**Gráfico 3.** Clasificación No Supervisada de la imagen Landsat (2017)

### Clasificación Supervisada

- Según el análisis realizado a la imagen Landsat (1991), se observan los siguientes cambios ocurridos en la cuenca del río Tahuando. (Ver. **Tabla 6**, **Gráfico 4** y Anexo: **Figura 17**)

**Tabla 6.** Categorías obtenidas en la Clasificación Supervisada a partir de la imagen Landsat (1991)

Categorías	Área (ha)	Porcentaje (%)
<b>Agricultura</b>	17.528,89	49,99
<b>Cobertura Vegetal</b>	12.177,45	34,73
<b>Cuerpos de agua</b>	210,22	0,6
<b>Ganadería</b>	2.337,08	6,66
<b>Zonas pobladas</b>	2.806,22	8
<b>TOTAL</b>	<b>35.059,86</b>	<b>100</b>

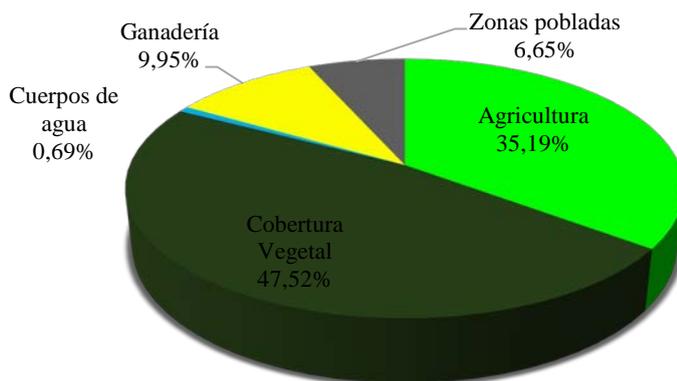


**Gráfico 4.** Clasificación Supervisada de la imagen Landsat (1991)

- Del análisis realizado respecto a la imagen ASTER (2001), se evidenciaron los siguientes cambios producidos en la cuenca del río Tahuando. (Ver. **Tabla 7**, **Gráfico 5** y Anexo: **Figura 18**)

**Tabla 7.** Categorías obtenidas en la Clasificación Supervisada a partir de la imagen ASTER (2001)

Categorías	Área (ha)	Porcentaje (%)
<b>Agricultura</b>	12.337,34	35,18
<b>Cobertura Vegetal</b>	16.660,27	47,51
<b>Cuerpos de agua</b>	243,34	0,69
<b>Ganadería</b>	3.489,73	9,95
<b>Zonas pobladas</b>	2.332,48	6,65
<b>TOTAL</b>	<b>35.063,16</b>	<b>100</b>

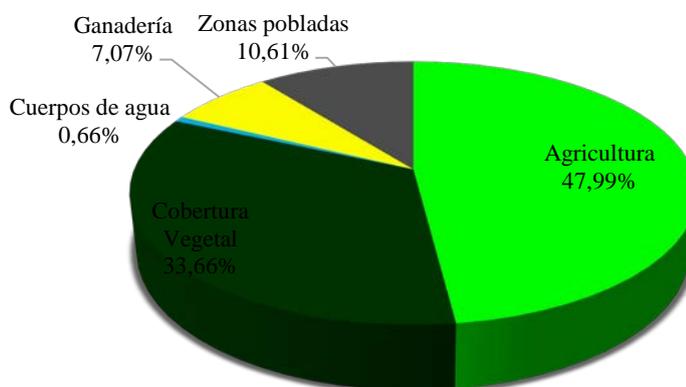


**Gráfico 5.** Clasificación Supervisada de la imagen ASTER (2001)

- Según el análisis realizado a la imagen Landsat (2017), se observan los siguientes cambios generados en la cuenca del río Tahuando. (Ver. **Tabla 8**, **Gráfico 6** y Anexo: **Figura 19**)

**Tabla 8.** Categorías obtenidas en la Clasificación Supervisada a partir de la imagen Landsat (2017)

Categorías	Área (ha)	Porcentaje (%)
<b>Agricultura</b>	16.826,32	47,99
<b>Cobertura Vegetal</b>	11.801,53	33,66
<b>Cuerpos de agua</b>	232,05	0,66
<b>Ganadería</b>	2.479,58	7,07
<b>Zonas pobladas</b>	3.719,03	10,61
<b>TOTAL</b>	<b>35.058,51</b>	<b>100</b>



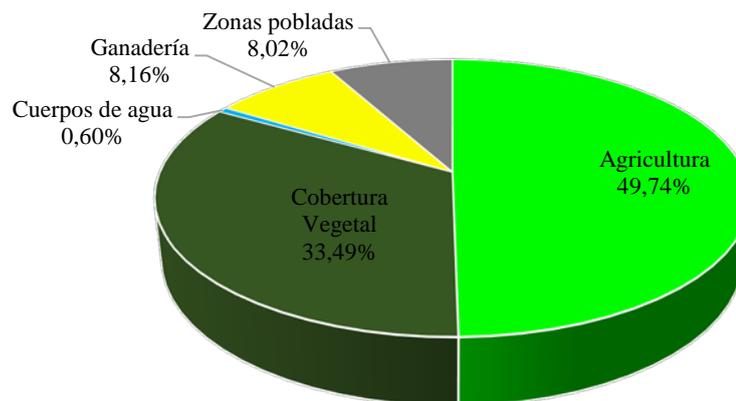
**Gráfico 6.** Clasificación Supervisada de la imagen Landsat (2017)

### Análisis de Componentes Principales

- Según el Análisis de Componentes Principales realizados para la imagen Landsat, se obtuvieron las siguientes superficies respecto a las cinco categorías utilizadas (Ver. **Tabla 9** y **Gráfico 7**).

**Tabla 9.** Categorías obtenidas en el Análisis de Componentes Principales a partir de la imagen Landsat (1991)

Categorías	Área (ha)	Porcentaje (%)
<b>Agricultura</b>	17.437,08	49,73
<b>Cobertura Vegetal</b>	11.740,51	33,48
<b>Cuerpos de agua</b>	210,22	0,6
<b>Ganadería</b>	2.861,13	8,16
<b>Zonas pobladas</b>	2.810,86	8,02
<b>TOTAL</b>	<b>35.059,80</b>	<b>100</b>

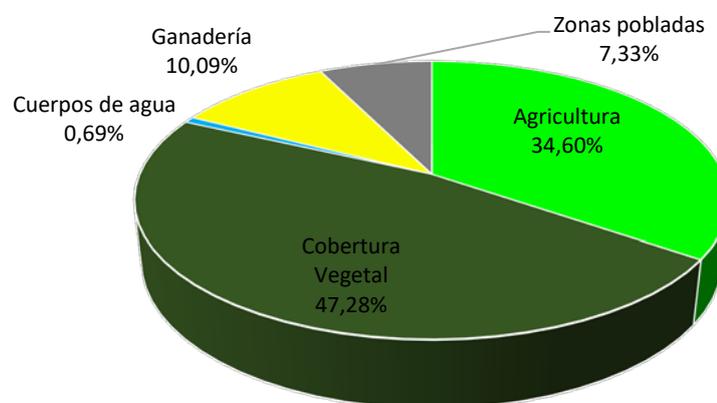


**Gráfico 7.** Análisis de Componentes Principales Landsat (1991)

- Según el Análisis de Componentes Principales realizados para la imagen Aster, se obtuvieron las siguientes superficies respecto a las cinco categorías utilizadas (Ver. **Tabla 10** y **Gráfico 8**).

**Tabla 10.** Categorías obtenidas en el Análisis de Componentes Principales a partir de la imagen ASTER (2001)

Categorías	Área (ha)	Porcentaje (%)
<b>Agricultura</b>	12.132,73	34,6
<b>Cobertura Vegetal</b>	16.577,67	47,28
<b>Cuerpos de agua</b>	243,34	0,69
<b>Ganadería</b>	3.538,67	10,09
<b>Zonas pobladas</b>	2.570,79	7,33
<b>TOTAL</b>	<b>35.063,20</b>	<b>100</b>



**Gráfico 8.** Análisis de Componentes Principales de la imagen ASTER (2001)

- Según el Análisis de Componentes Principales realizados para la imagen Landsat, se obtuvieron las siguientes superficies respecto a las cinco categorías utilizadas (Ver. **Tabla 11** y **Gráfico 9**).

**Tabla 11.** Categorías obtenidas en el Análisis de Componentes Principales a partir de la imagen Landsat (2017)

Categorías	Área (ha)	Porcentaje (%)
<b>Agricultura</b>	16.934,83	48,3
<b>Cobertura Vegetal</b>	11.614,12	33,12
<b>Cuerpos de agua</b>	231,77	0,66
<b>Ganadería</b>	2.530,62	7,22
<b>Zonas pobladas</b>	3.746,99	10,69
<b>TOTAL</b>	<b>35.058,33</b>	<b>100</b>

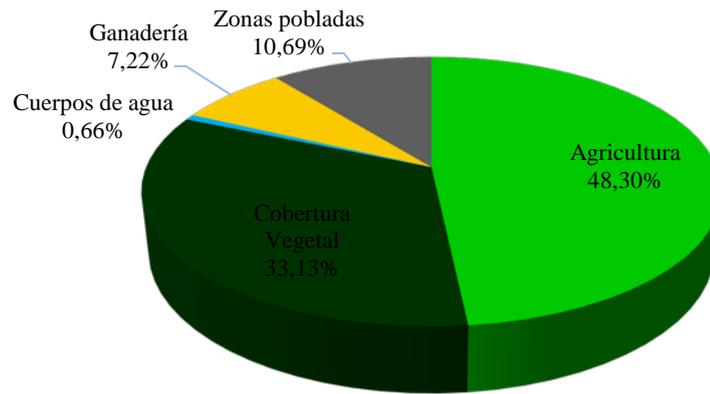


Gráfico 9. Análisis de Componentes Principales de la imagen Landsat (2017)

• **Variación de la cobertura vegetal y uso de suelo**

Tabla 12. Cuadro comparativo de cobertura vegetal y uso del suelo de las diferentes imágenes satelitales

		Agricultura		Cobertura Vegetal		Cuerpos de Agua		Ganadería		Zonas Pobladas	
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Landsat 1991	CS	17528,89	49,99	12177,45	34,73	210,22	0,6	2337,08	6,66	2806,22	8
	CNS	15329,16	43,72	15376,81	43,85	314,27	0,9	1182,62	3,37	2857,77	8,15
	ACP	17437,08	49,73	11740,51	33,48	210,22	0,6	2861,13	8,16	2810,86	8,02
ASTER 2001	CS	12337,34	35,18	16660,27	47,51	243,34	0,69	3489,73	9,95	2332,48	6,65
	CNS	11300,87	32,23	18744,36	53,46	267,14	0,76	2402,71	6,85	2347,05	6,69
	ACP	12132,73	34,6	16577,67	47,28	243,34	0,69	3538,67	10,09	2570,79	7,33
Landsat 2017	CS	16826,32	47,99	11801,53	33,66	232,05	0,66	2479,58	7,07	3719,03	10,61
	CNS	10985,73	31,33	19676,07	56,11	277,53	0,79	2111,72	6,02	2006,53	5,72
	ACP	16934,83	48,3	11614,12	33,12	231,77	0,66	2530,62	7,22	3746,99	10,69

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Tasa de Deforestación

El cálculo de la tasa de deforestación para la cuenca del río Tahuando, se determinó en base a la fórmula implementada por el ex CLIRSEN en la actualidad Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), al disponer de imágenes de diferentes años, se tomó en cuenta el cálculo para tres periodos, utilizando los datos generados en la *Clasificación Supervisada* de las imágenes, se tomó en cuenta para este cálculo la categoría *Cobertura vegetal con formada por: Bosque nativo, páramo, vegetación arbustiva y plantaciones forestales.*

- Tasa de deforestación (1991-2001)

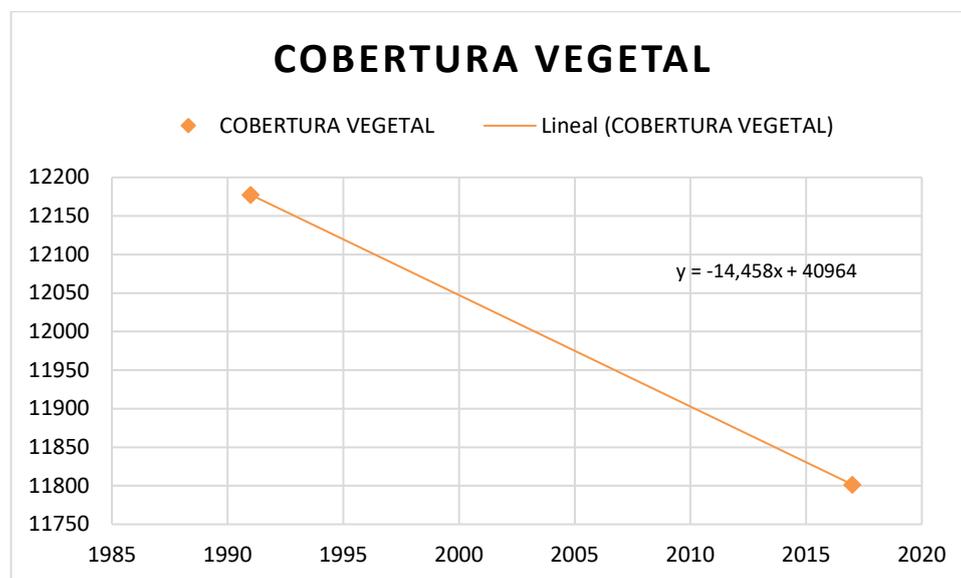
La cobertura vegetal en el año 1991 (Landsat) fue de 12.177,45 hectáreas, a diferencia que en el año 2001 (Aster) esta categoría fue de 16.660,27 hectáreas, dando como resultado una tasa de deforestación de 2,69 %.

- Tasa de deforestación (2001-2017)

Para el año 2001 utilizando la imagen Aster la cobertura vegetal fue de 16.660,27 hectáreas, mientras que para el año 2017 con imágenes Landsat esta categoría representó 11.801,53 hectáreas, obteniendo una tasa de deforestación de -2,57%.

- Tasa de deforestación (1991-2017)

Para el periodo (1991-2017), usando los resultados anteriormente expuestos de las imágenes Landsat, en el año 1991 se obtuvieron 12.177,45 hectáreas de cobertura vegetal, mientras que en el año 2017 esta categoría existe 11.801,53 hectáreas, con lo cual la tasa de deforestación fue -0,12% (Ver. **Gráfico 10**).



**Gráfico 10.** Tasa de deforestación estimada (1991-2017)

#### 4.1.3. Matriz de confusión e Índice Kappa

Una vez realizada la Clasificación Supervisada para la imagen Landsat año 2017, se procedió a realizar la *Accuracy Assessment* en el software ERDAS IMAGINE, determinado para cada categoría/clase el valor de pixel (Ver. **Tabla 13**), finalmente se obtuvo la

confiabilidad de la toma de datos y categorización en cada clase, donde se evidenció una Matriz de Confusión del 95,65%, y además se obtuvo un Índice Kappa de 0,9354, otorgando a la clasificación una aceptable confianza con la labor de campo realizada (*Ver. Anexo: Figura 12*).

**Tabla 13.** Valor de píxel (categorías)

Categoría	Valor de píxel
<b>Agricultura</b>	2
<b>Cobertura vegetal</b>	7
<b>Cuerpos de agua</b>	1
<b>Ganadería</b>	3
<b>Zonas pobladas</b>	135

Cada categoría mantiene un valor de píxel determinado por la imagen usada, en este caso la imagen satelital Landsat (8 bits) de acuerdo al número digital ( $ND = 2^n$ ).

#### 4.1.4. Predicción de uso del suelo al año 2031

Una vez realizada la predicción de uso del suelo, usando el software IDRISI Selva, se obtuvo cambios representativos con el aumento o disminución de ciertas categorías al año 2031, determinado las categorías que ponderan en superficie. (*Ver. Tabla 14, Gráfico 11 y Anexo: Figura 20*)

**Tabla 14.** Resultados de la predicción de uso del suelo al año 2031 en la cuenca del río Tahuando

Categorías	Área (ha)	Porcentaje (%)
<b>Agricultura</b>	16.586,19	47,3
<b>Cobertura Vegetal</b>	11.546,55	32,93
<b>Cuerpos de agua</b>	231,56	0,66
<b>Ganadería</b>	2.484,49	7,09
<b>Zonas pobladas</b>	4.163,44	11,87
<b>TOTAL</b>	<b>35.012,23</b>	<b>100</b>

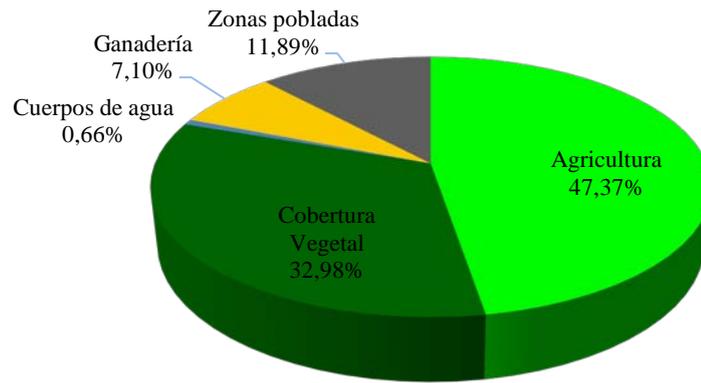


Gráfico 11. Resultados de predicción de uso del suelo al año 2031 en la cuenca del río Tahuando

Tabla 15. Cuadro comparativo Landsat 2017 - Predicción 2031

	Agricultura		Cobertura Vegetal		Cuerpos de Agua		Ganadería		Zonas Pobladas	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
<b>Landsat 2017</b>	16826,3	48	11801,53	33,7	232,05	0,66	2479,6	7,07	3719	10,61
<b>Predicción 2031</b>	16586,2	47,3	11546,55	32,9	231,56	0,66	2484,5	7,09	4163,4	11,87
<b>DIFERENCIA</b>	240,13	0,68	254,98	0,73	0,49	0,001	-4,91	-0	-444,4	-1,27

## 4.2. Discusión

En base a los resultados obtenidos del análisis multitemporal respecto a las imágenes utilizadas, se pueden generar varios insumos que permitan realizar una discusión sobre los cambios de uso y cobertura del suelo generados en la cuenca del río Tahuando.

### 4.2.1. Cuantificación de los cambios en las categorías de uso del suelo y cobertura vegetal

De acuerdo al análisis que fue realizado por Martínez (2009), en el sector Zuleta usando imágenes Aster, determinó el 39,1% de vegetación natural remanente y las actividades antrópicas presentaron el 60,8% que incluyen zonas agrícolas, ganaderas y plantaciones forestales. Los resultados son similares en cuanto a los cambios ocurridos dentro de la parte alta de la cuenca, donde se evidencia la mayor presencia de cobertura vegetal constituida por bosque nativo, matorral y páramo, y en la presente investigación para el año 2017, usando una imagen similar, se evidenció que en la cuenca la zona ganadera ocupa el 7,07%, la agricultura obtuvo 47,99% y las zonas pobladas alcanzaron el 10,61%, dando como resultado el 60% de la superficie total de la cuenca, demostrando claramente que son las

principales causas de cambios ocurridos en la cuenca hidrográfica. Además, el estudio realizado por Rosero (2016) en el Bosque Protector Zuleta, usando una imagen satelital Landsat, sensor OLI, se registraron para el año 2015 zonas agrícolas que ocuparon 19,30%, en cambio las zonas ganaderas se situaron en 14,77%, las mismas que se determinaron como las causas primordiales de los cambios ocurridos dentro del bosque protector. Cabe mencionar que el bosque protector, se encuentra inmerso dentro de la parte alta de la cuenca del río Tahuando, donde los cambios de uso del suelo han ocurrido por las mismas causas antrópicas. Según el estudio realizado por Enríquez (2016), en la cordillera oriental de la provincia del Carchi, usando imágenes satelitales Landsat, evidenció que los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo fueron ocasionados por las actividades humanas ocupando 16,24% cultivos, 30,84% pastos y 0,21 zonas urbanas. Otro estudio multitemporal de cobertura vegetal y uso del suelo fue realizado por GeoPlaDes (2010), usando imágenes satelitales ASTER, en el Nororiente del Ecuador, concluyó que en el periodo 1990-2008 se ha perdido aproximadamente 250000 hectáreas de bosque primario por causas como la expansión de la frontera agropecuaria y otras actividades extractivas (tala ilegal).

#### **4.2.2. Determinación de la tasa de deforestación mediante el uso de imágenes de los satélites Landsat (TM, OLI) y ASTER**

Según el Mapa de Deforestación Histórica del Ecuador Continental (MAE, 2012), donde la tasa de deforestación anual estimada para la provincia de Imbabura en el período 1990-2000 fue de 2.258 hectáreas y en el período 2000-2008 fue de 1.240 hectáreas. Al implementar la fórmula para calcular la tasa de deforestación estimada, efectuada por el ex CLIRSEN, Rosero (2016) en el estudio mencionado anteriormente se obtuvo que en el periodo 1991-2015 la tasa de deforestación dentro del Bosque Protector fue de -0,27%, es decir, 8,40 hectáreas que se pierden cada año. En el presente estudio usando la misma fórmula, la tasa de deforestación estimada para el periodo 1991-2017 se encuentra en -0,12%, lo que implica que anualmente 14,5 hectáreas han sufrido cambio de uso, con lo cual se refleja una disminución de la cobertura vegetal en la cuenca, especialmente de las categorías bosque, páramo, plantaciones forestales y matorral.

#### **4.2.3. Proyección de cambios de uso del suelo y cobertura vegetal a partir del procesamiento digital de imágenes satelitales Landsat al año 2031**

GeoPlaDes (2010) realizó una proyección al año 2030 del cambio de uso del suelo y cobertura vegetal en la Provincia de Zamora Chinchipe, determinaron áreas susceptibles en los cantones que más han sufrido deforestación en el lapso de 20 años son Zamora y Chinchipe, perdiendo 23816 hectáreas y 21384 de cobertura vegetal en los últimos 20 años. El cantón Zamora posee aun el 14% de la cobertura vegetal provincial, mientras que Chinchipe aporta con el 8%. Sin embargo, los cantones más susceptibles a sufrir cambio al 2030 son Yantzaza, Paquisha y El Pangui, donde se estima la pérdida 11365 hectáreas, 2540 hectáreas 6281 hectáreas respectivamente.

Mientras que Rosero (2016) menciona, que las causas de cambio de uso del suelo incrementan en el año 2030 dentro del Bosque Protector Zuleta y por ende en la cuenca del río Tahuando en cierta superficie, en cuanto a zonas ganaderas se incrementarían 3% y en zonas agrícolas 1,16%. A diferencia que en la cuenca del río Tahuando las cifras al año 2031, habrá un incremento de 0,03% en ganadería, a diferencia que en agricultura disminuirá en 0,62%, pero en zonas pobladas habría un incremento del 1,28%, que derivaría en el crecimiento de actividades antrópicas y el cambio de uso dentro de la cuenca.

## CAPÍTULO V

### 5. Conclusiones y Recomendaciones

#### 5.1. Conclusiones

- De acuerdo al análisis multitemporal realizado para la cuenca del río Tahuando, se determinó que las causas principales en el cambio de uso y cobertura del suelo son la ganadería, agricultura, debido a la baja productividad en los suelos y zonas pobladas por el crecimiento demográfico.
- La tasa de deforestación estimada de la cuenca hidrográfica es de -0,12%, provocando la pérdida 14,5 hectáreas por año de cobertura vegetal.
- En la predicción realizada a partir del año 2017 – 2031, se determinó que la cobertura vegetal de la cuenca experimentará cambios positivos y negativos, los mismos que se ven reflejados con la pérdida de 17,15 hectáreas/año respecto a agricultura, 18,21 hectáreas/año de cobertura vegetal; de igual forma se producirá un incremento de 0,35 hectáreas/año en ganadería y 31,74 hectáreas/año para zonas pobladas.
- En el caso de cuerpos de agua, no se evidenció la presencia de cambios, debido que dentro del análisis por el tamaño de la unidad mínima cartografiable que se tomó en cuenta para el procesamiento de datos fue de tres hectáreas, con lo cual muchos cuerpos de agua inferiores a este valor fueron discriminados, el único cuerpo de agua cartografiable fue la Laguna de Yahuarcocha.
- Los diferentes GAD's provinciales, cantonales y parroquiales inmerso en la cuenca de río Tahuando, cuentan con Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT), sin embargo, estos no contemplan un manejo integral participativo de la cuenca hidrográfica.

## 5.2. Recomendaciones

- Los resultados obtenidos en el presente estudio podrán ser usados como insumo o instrumento de planificación y actualización de los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) para los diferentes GAD's o instituciones que lo requieran.
- Continuar con la aplicación de estudios similares para disponer de un monitoreo continuo de la cuenca del río Tahuando, y cuencas con las mismas características de uso del suelo y cobertura vegetal de la provincia de Imbabura.
- La Clasificación Supervisada fue el método con mayor nivel de confiabilidad por lo que se sugiere utilizar esta metodología para estudios similares de análisis multitemporales aplicando técnica de Teledetección.
- La combinación de las técnicas de la Clasificación Supervisada, No Supervisada y Análisis de Componentes Principales, pueden emplearse para estimar tasas de deforestación de ecosistemas andinos conformados por las coberturas vegetales de bosque, páramo, plantaciones forestales y matorral.
- Para estimar tasas de deforestación en áreas medianas y pequeñas se sugiere emplear imágenes comerciales con fina resolución espacial, para obtener resultados con áreas mínimas cartografiables superiores a una hectárea.



## CAPÍTULO VI

### 6. Bibliografía

- Aguayo, A., Pauchard, A., Azócar, G., & Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista chilena de historia natural* 82, 361-374.
- Alonso. (2006). *Teledetección*. Obtenido de [http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node74\\_mn.html](http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node74_mn.html)
- Araya Morales , E. J. (2009). *Manual de procesos en fotografías aéreas e Imágenes de satélite*. San José - Costa Rica .
- Bermang, S. A. (2015). *Landsat 8: el nuevo satélite para observar la Tierra*. . Obtenido de <http://www.ambiente.gov.ar/default.asp?IdArticulo=11948>
- Calvo Obando , A., & Ortiz Malavassi, E. (2012). Frangmentación de la cobertura forestal en Costa Rica durante los periodos 1997-2000 y 2000-2005. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*.
- Carmona , A., & Monsalve , J. (2008). *Sistemas de Información Geográficos*.
- Chhabra, A., Geist, H., Houghton, R. A., Haberl, H., Braimoh, A. K., Vlek, P. G., . . . Lambin, E. F. (2006). Multiple Imapcts of Land-Use/Cover Change. *Earth and Environmental Science*, 71-116.
- Chuvienco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección. Tercera Edición revisada*. Madrid. España: Ediciones RIALP.
- Clark Labs, Clark University. (2015). *TerrSet Software Features* . Obtenido de <https://clarklabs.org/>
- CODIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL, COOTAD . (2010). *CODIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL, AUTONOMÍA Y DESCENTRALIZACIÓN*. Quito.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*.
- Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). (2017). *SAOCOMIA PLATAFORMA SATELITAL*. Obtenido de <http://www.conae.gov.ar/index.php/espanol/2017>



- ConceptosDefinicion. (10 de Abril de 2015). *Definición de Ganadería*. Obtenido de <http://conceptodefinicion.de/ganadería/>
- Crespo Enríquez , M. (2016). *Análisis de cambio de uso y cobertura de la tierra para el ACUS COC* .
- Cure López, L. M. (2012). *Determinación de la influencia del cambio de uso de suelo en la calidad ambiental de la cuenca del río Déleg*. Cuenca . Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2003/11/UPS-CT002364.pdf>
- De la Fuente, A., Sabando, M. C., & Pérez , J. (2010). *CLASIFICACIÓN DE CUERPOS DE AGUA*. Santiago.
- Eastman, J. R. (Junio de 2012). *IDRISI Selva. Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes*. Obtenido de <https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/IDRISI-Selva-Spanish-Manual.pdf>
- Escalante, T., Rodríguez, G., Gámez, N., León, L., Barrera, O., & Sánchez Cordero, V. (2007). Biogeografía y conservación de los mamíferos. En: Luna, I, et al. (eds.). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Ciudad de México: UNAM.
- ESRI. (2017). *ArcGIS*. Obtenido de Work Smarter With ArcGIS: <http://www.esri.com/arcgis/about-arcgis>
- FAO - CATIE. (2000). *Evaluación de Recursos Forestales (FRA), Bibliografía comentada: cambios en la cobertura forestal*. Nicaragua: Forest Resources Assessment-WP 34.
- FAO. (1998). *Directrices para la recopilación sistemática de datos relativos a la pesca de captura* . Obtenido de INDICADORES, TIPOS DE DATOS Y VARIABLES: <http://www.fao.org/docrep/005/x2465s/x2465s06.htm>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., . . . Snyder, P. K. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309-570.
- Franquet Bernis, J. M. (2005). *Cálculo Hidráulico de las Conducciones Libres y Forzadas. Una aproximación de los métodos estadísticos*. Cataluña: Copyrapid, 43.500 Tortosa. ISBN: 84-9330364-2-0.
- Fraume Restrepo, N. J. (2007). *Diccionario Ambiental* . Ecoe Ediciones. ISBN 9586484629, 9789586484626.
- García Orozco, J. A., Cedillo Guitiérrez, J. G., Juan Pérez, J. I., & Balderas Plata, M. Á. (2012). Procesos de cambio en el uso del suelo de una microcuenca en el altiplano mexicano. El caso del río San José en el estado de México. *Papeles de Geografía*, 63-73.



- Geografía, Planificación y Desarrollo (GeoPlaDes). (2009). *ESTUDIO MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO EN LOS AÑOS 1990-2008 Y PROYECCIÓN AL 2030*. Quito: Producto Contrato The Nature Conservancy - NTA 0216 09.
- Geoinstitutos. (s.f.). *Artículos. La cobertura vegetal en la cuenca del canal de Panamá*. Obtenido de [http://www.geoinstitutos.com/art\\_03\\_cober2.asp](http://www.geoinstitutos.com/art_03_cober2.asp)
- GeoPlaDes. (2010). *Estudio Multitemporal de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo entre los Años 1990, 2010 y Proyección al 2030 a Escala 1:50.000 para el Centro y Sur Oriente de la Amazonía Ecuatoriana y Sistematización de la información sobre los aspectos socio-económicos...* Obtenido de [http://portal.sni.gob.ec/c/document\\_library/get\\_file?uuid=dfd9c4ae-be34-4e08-9f0f-fa5c896ee234&groupId=10156](http://portal.sni.gob.ec/c/document_library/get_file?uuid=dfd9c4ae-be34-4e08-9f0f-fa5c896ee234&groupId=10156)
- GeoSoluciones . (s.f.). *Imágenes Satelitales*. Obtenido de <http://www.geosoluciones.cl/documentos/imagenes.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos . (2013). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuarias Continua (ESPAC)*.
- Lambin, E. F. (1997). Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in physical Geography*, 375-393.
- Lesschen , J. P., Verburg, P. H., & Staal , S. J. (2005). Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes in land use and farming systems. *LUCC Focus 3 Office and ILRI 2005*.
- Liria, J. (2008). Sistemas de información geográfica y análisis espaciales: un método combinado para realizar estudios panbiogeográficos. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79, 281-284.
- Martínez, C. (2009). Dinámica de cambios de uso del suelo en zonas altoandinas del Ecuador. *Fundación EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino* .
- Meneses Tovar, C. L. (2011). *El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i2560s/i2560s07.pdf>
- Miliarium Aureum, S. L. (8 de Octubre de 2004). *Indicadores de la calidad del suelo*. Obtenido de [www.miliarium.com](http://www.miliarium.com)
- Ministerio del Ambiente del Ecuador . (2012). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador*. Quito: Subsecretaria de Patrimonio.



- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2012). *Línea Base de Deforestación Ecuador Continental*. Quito-Ecuador.
- Ojima, D., Galvin, K., & Turner, B. (1994). The Global Impsct of Land-use Change. *BioScience* 4(5), 300-304.
- Peralvo, M., & Cuesta, F. (2014). *Las dinámicas de CCUT en los Andes como punto de encuentro entre sistemas sociales y ambientales*.
- Pérez González, M. E., & García Rodríguez, M. P. (Junio de 2011). APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN EN DEGRADACIÓN DE SUELOS. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles N.º 61 - 2013*, 285-308. Obtenido de [http://eprints.ucm.es/32690/1/2013\\_BAGE\\_14-PEREZ.pdf](http://eprints.ucm.es/32690/1/2013_BAGE_14-PEREZ.pdf)
- Portillo, J. (2005). *Determinación de usos del suelo mediante análisis multitemporal de imágenes Landsat en los Oasis de la provincia de Mendoza*. Ecoatlas.
- Romero, F. S. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental . *Revista científica de la Sociedad Española de Acuicultura AquaTIC, n° 24-2006*, 13-41.
- Rosero, E. (2016). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del bosque protector Zuleta, en la sierra norte del Ecuador*. Ibarra.
- Ruiz, V., Save, R., & Herrera Herrera, A. (2014). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Mirafior Moropotente Nicaragua, 1993-2011. *Revista Científica de FARERM-Esteli. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano. N° 11*, 57-68.
- Sánchez, M. A., Fernández, A. A., & Illera, P. (s.f.). *Los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión Forestal*. Obtenido de <http://www.aet.org.es/congresos/viii/alb24.pdf>
- Scan Terra. (2006). *Consultora. Nociones introductorias: Fundamentos físicos de la teledetección*. Obtenido de [http://www.scanterra.com.ar/conozca\\_mas.html](http://www.scanterra.com.ar/conozca_mas.html)
- Servicio Geológico de los Estados Unidos, USGS. (s.f.). *Landsat*. Obtenido de <http://www.usgs.gov/>
- Sortwaregis. (2010). *ArcView GIS 9.3*. Obtenido de <http://www.sofwaregis.cl/arcgis.html>
- Tecnogeo. (2014). *ERDAS IMAGINE*. Obtenido de <http://www.tecnogeo.es/soluciones/fotogrametria-teledeteccion-y-sig/erdas-imagine/>



TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE

(TULSMA). (2015). Decreto Ejecutivo 3516. En R. O. 2003, *Ultima modificación: 04 de mayo de 2015.*

Tovar, C., Seijmonsbergen, A. C., & Deivenvoorden, J. F. (2014). Cambio en el uso del suelo/cobertura y los patrones de configuración espacial de la jalca periana entre 1987 y 2007. Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos. *CONDESAN*, 353-375.

Turner, B. L., Skole, D., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L., & Leemans, R. (1995). *Land-Use and Land-Cover Change: Science/Research Plan. IGBP Report 35.* Stockholm: Royal Swedish Academy of Sciences.

Unicef. (2012). *Definiciones*. Obtenido de <https://www.unicef.org/spanish/sowc2012/pdfs/SOWC-2012-Definiciones.pdf>

USGS. (junio de 2017). *Landsat*. Obtenido de <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Velázquez, A. M., Palacio, J., Díaz, R., Moyorga, C., Alcántara, R., & Fernández, T. (2007). *Análisis de cambio de uso del suelo. Informe técnico convenio INE-Instituto de Geografía, UNAM.* Ciudad de México DF, México.

## CAPÍTULO VII

### 7. Anexos



**Figura 2.** Vegetación arbustiva dentro de la cuenca del río Tahuando



**Figura 3.** Matorral y plantación con especies nativas (polylepis)



**Figura 4.** Ganadería, pasturas en el sector Zuleta



**Figura 5.** Cultivos, extensión de la frontera agrícola; y ganadería



**Figura 6.** Cultivos de ciclo corto



**Figura 7.** Extensión agropecuaria en la cuenca del río Tahuando



**Figura 8.** Bosque nativo (bosque seco)



**Figura 9.** Ganadería en páramo



**Figura 10.** Río Tahuando, sector La Victoria



**Figura 11.** Cuerpo de agua, Laguna de Yahuarcocha



CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

Image File : d:/tesismanuel/erdas\_tratamiento\_ing/clasificación supervidasa/landsat\_2017\_cs/landsat\_2017\_cs\_f.img  
 User Name : Guillermo  
 Date : Tue Mar 07 11:58:06 2017

ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Unclassified	0	0	0	---	---
Cuerpos de agua	0	0	0	---	---
Agricultura	11	11	11	100.00%	100.00%
Ganadería	4	4	4	100.00%	100.00%
Cobertura veget	2	3	2	100.00%	66.67%
Zonas pobladas	6	5	5	83.33%	100.00%
Totals	23	23	22		

Overall Classification Accuracy = 95.65%

----- End of Accuracy Totals -----

KAPPA (K<sup>^</sup>) STATISTICS

Overall Kappa Statistics = 0.9354

Conditional Kappa for each Category.

Class Name	Kappa
Unclassified	0.0000
Cuerpos de agua	0.0000
Agricultura	1.0000
Ganadería	1.0000
Cobertura vegetal	0.6349
Zonas pobladas	1.0000

----- End of Kappa Statistics -----

**Figura 12.** Resultados de Matriz de confusión e Índice Kappa

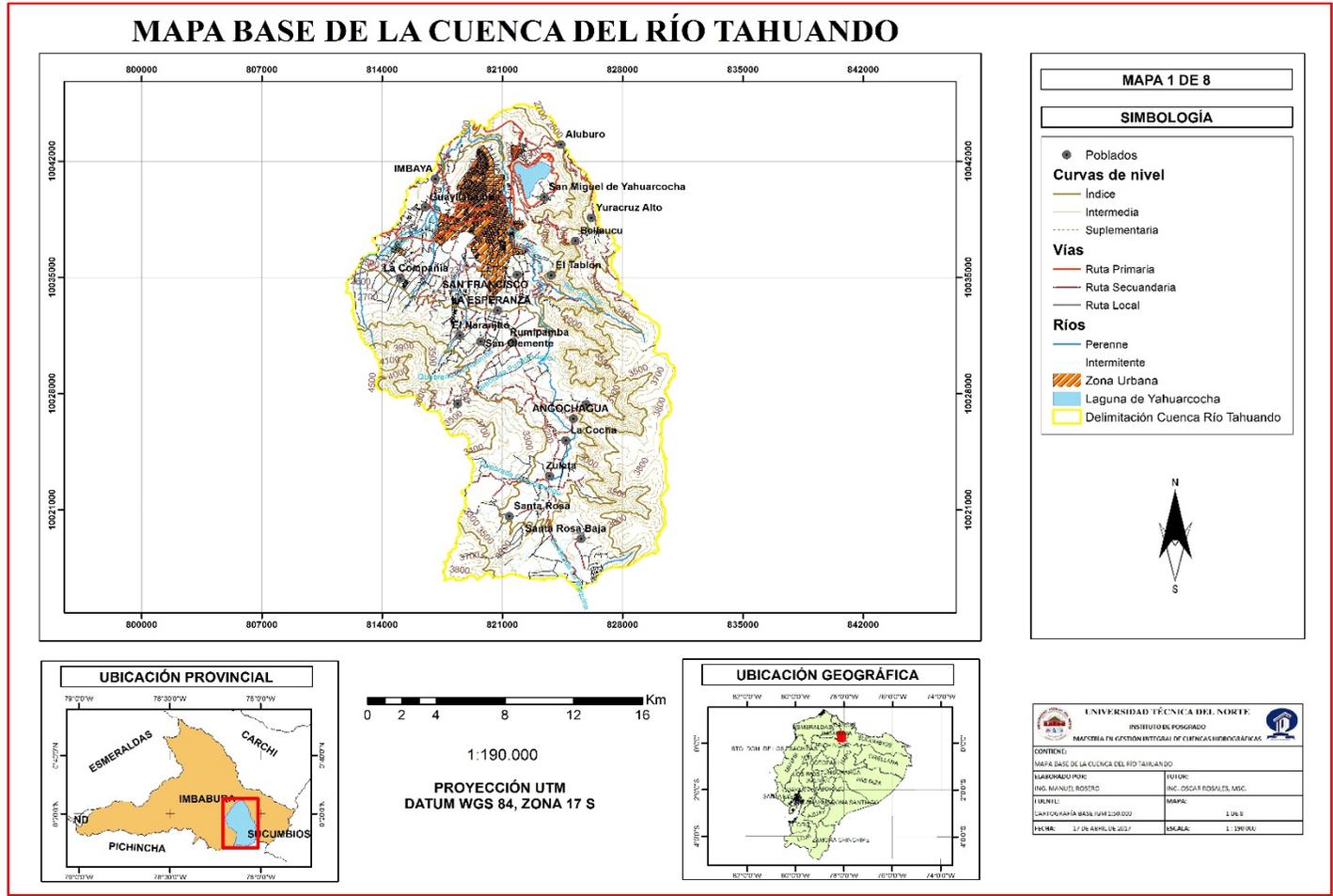


Figura 13. Mapa Base de la Cuenca del Río Tahuando

# MAPA DE UBICACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO TAHUANDO

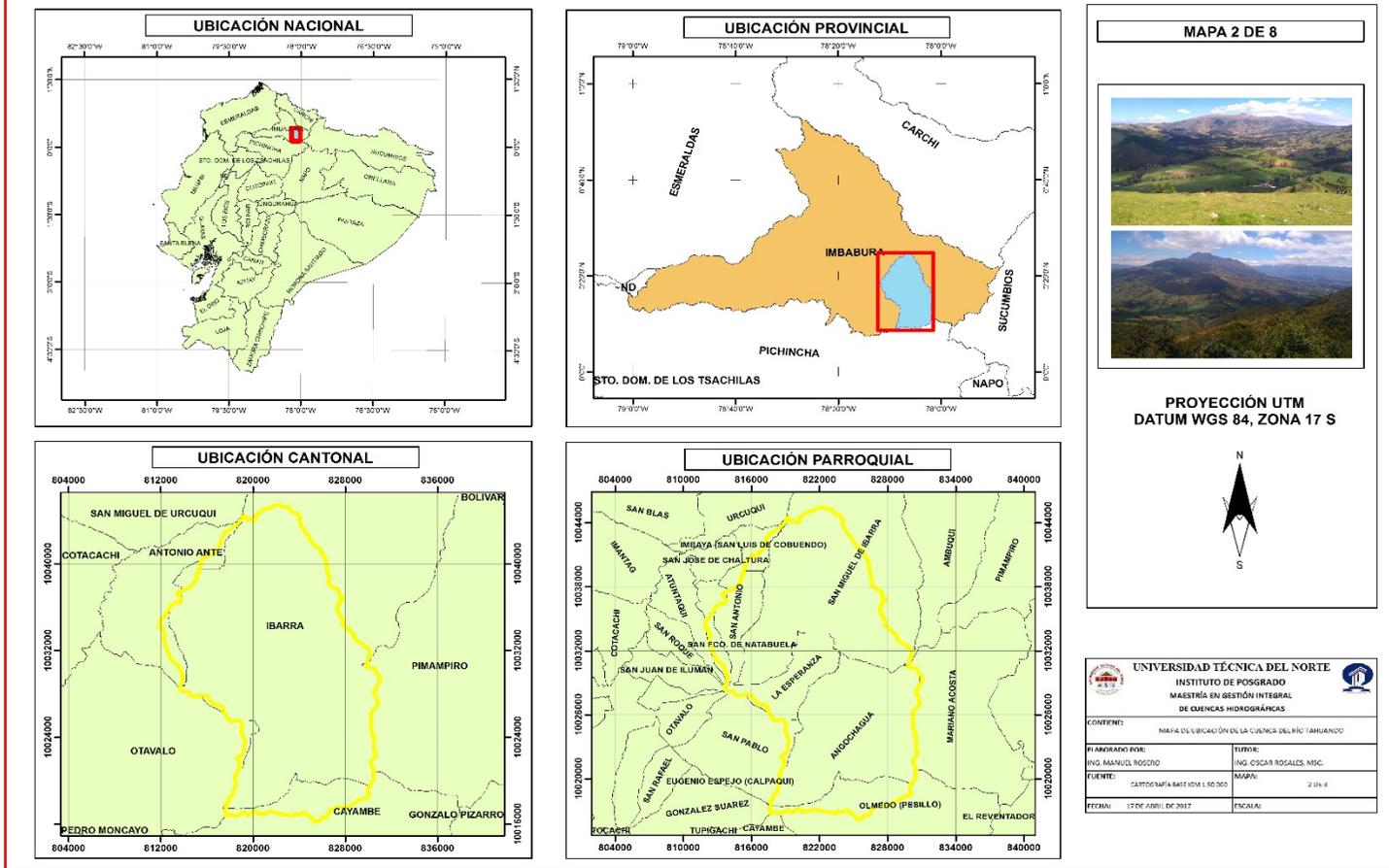
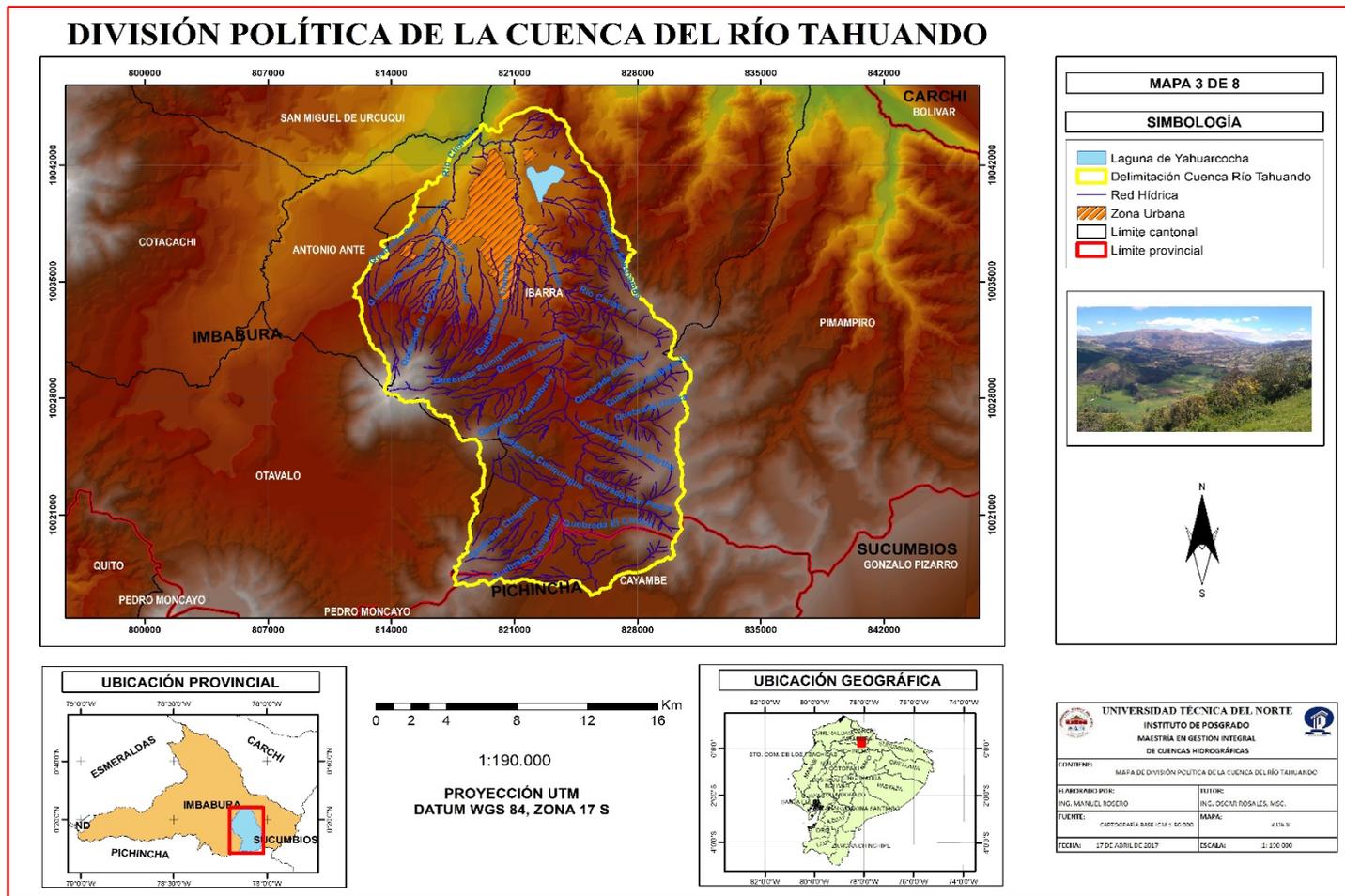
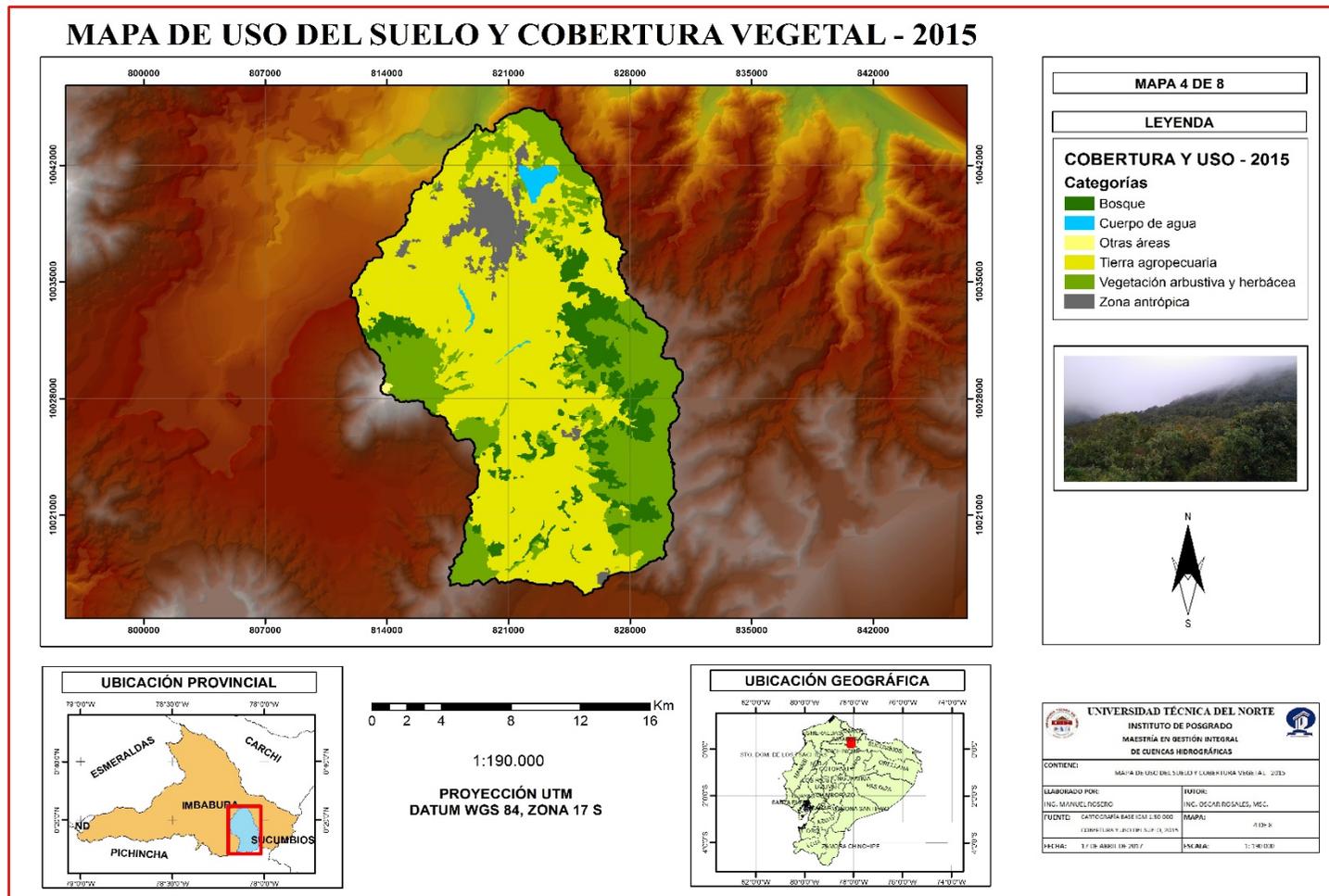


Figura 14. Mapa de Ubicación de la Cuenca del Río Tahuando



**Figura 15.** Mapa de División Política de la Cuenca del Río Tahuando



**Figura 16.** Mapa de Uso del Suelo y Cobertura Vegetal, MAGAP (2015)

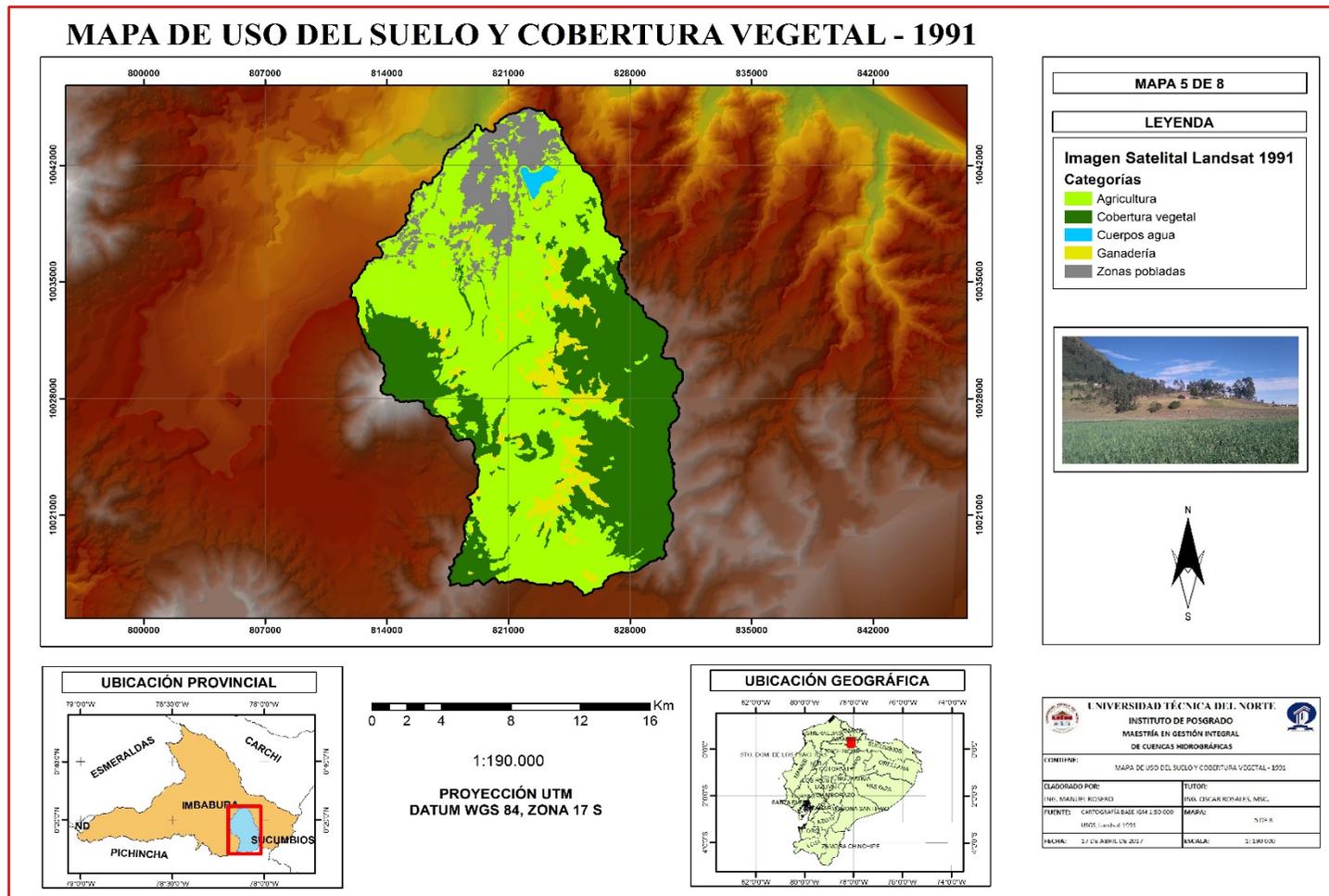


Figura 17. Mapa de Uso del Suelo y Cobertura Vegetal, Landsat 1991

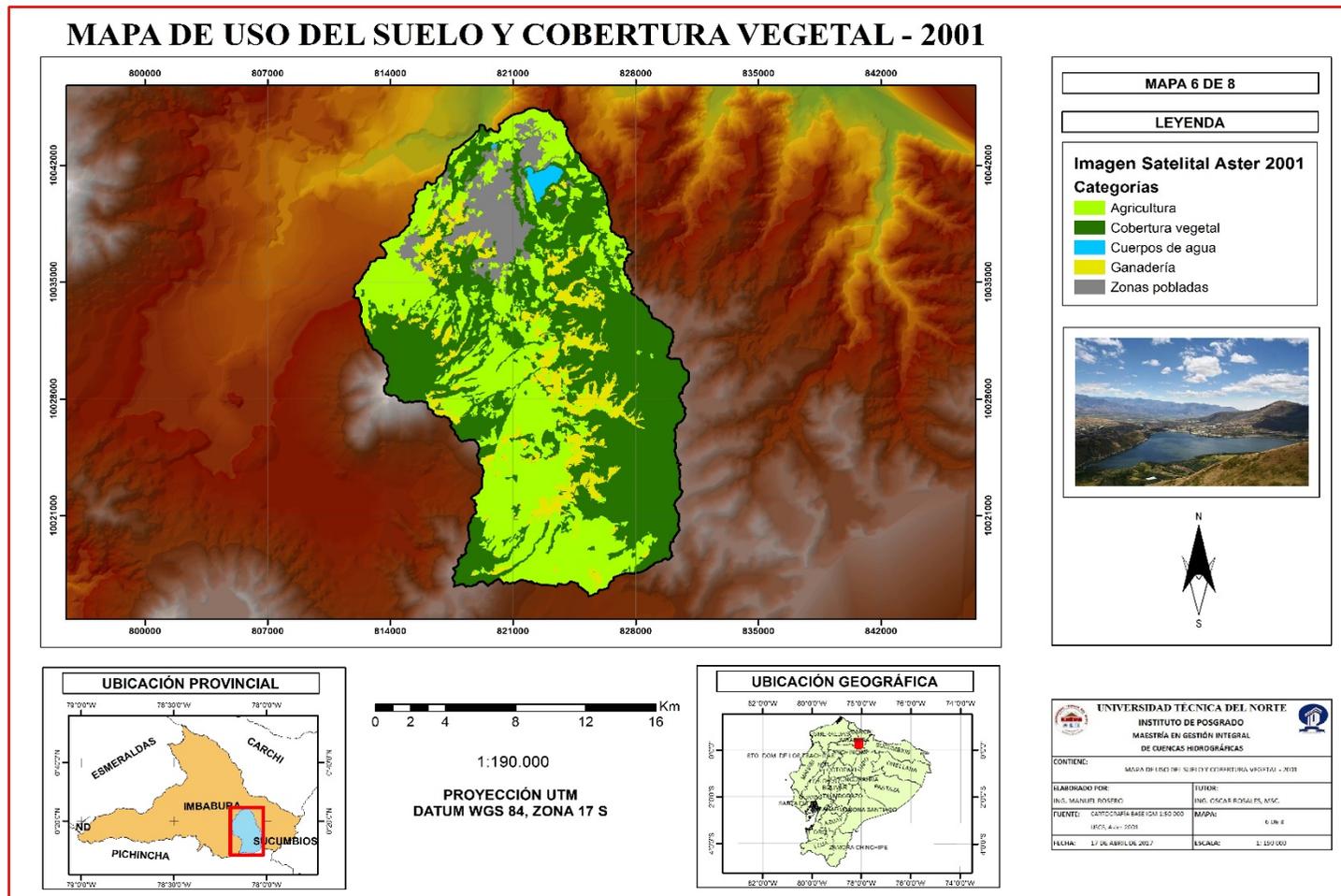
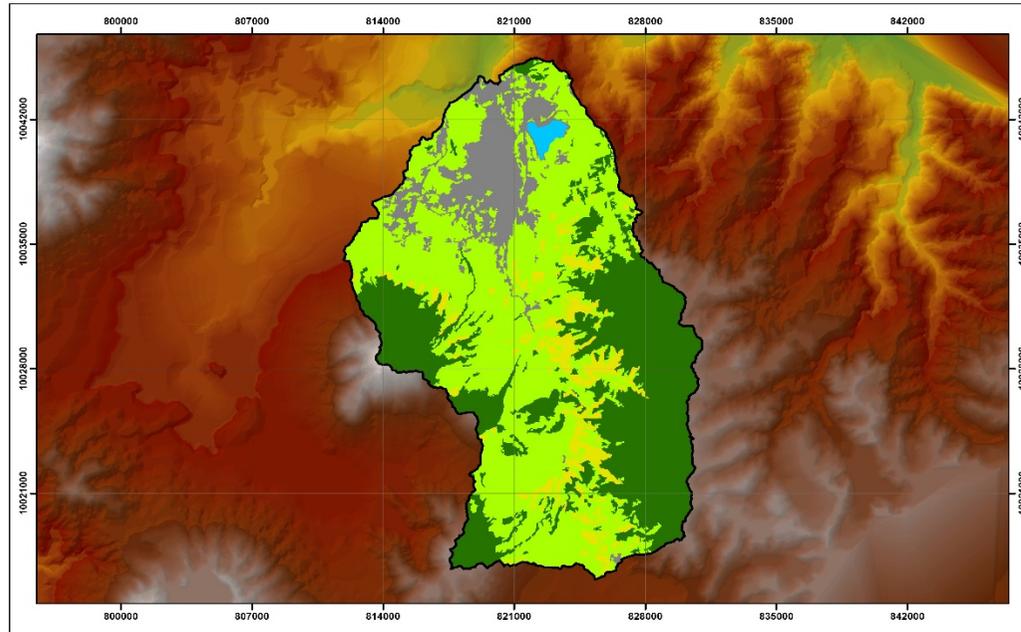


Figura 18. Mapa de Uso del Suelo y Cobertura Vegetal, Aster 2001

# MAPA DE USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL - 2017



**MAPA 7 DE 8**

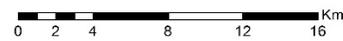
**LEYENDA**

**Imagen Satelital Landsat 2017**

**Categorías**

- Agricultura
- Cobertura vegetal
- Cuerpos de agua
- Ganadería
- Zonas pobladas





1:190.000  
 PROYECCIÓN UTM  
 DATUM WGS 84, ZONA 17 S



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE</b> INSTITUTO DE POSGRADO MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	
CONTIENE: MAPA EN UNIÓN SUAVES Y COBERTURA VEGETAL 2017	
ELABORADO POR: ING. SANTIAGO RIVERA	TUTOR: ING. OSCAR KUSALIAS, M.Sc.
NUMERO: CARTOGRAFÍA BÁSICA I (M. L. 200)	MAPA: 7 DE 8
FECHA: 17 DE ABRIL DE 2017	ESCALA: 1:190.000

Figura 19. Mapa de Uso del Suelo y Cobertura Vegetal, Landsat 2017

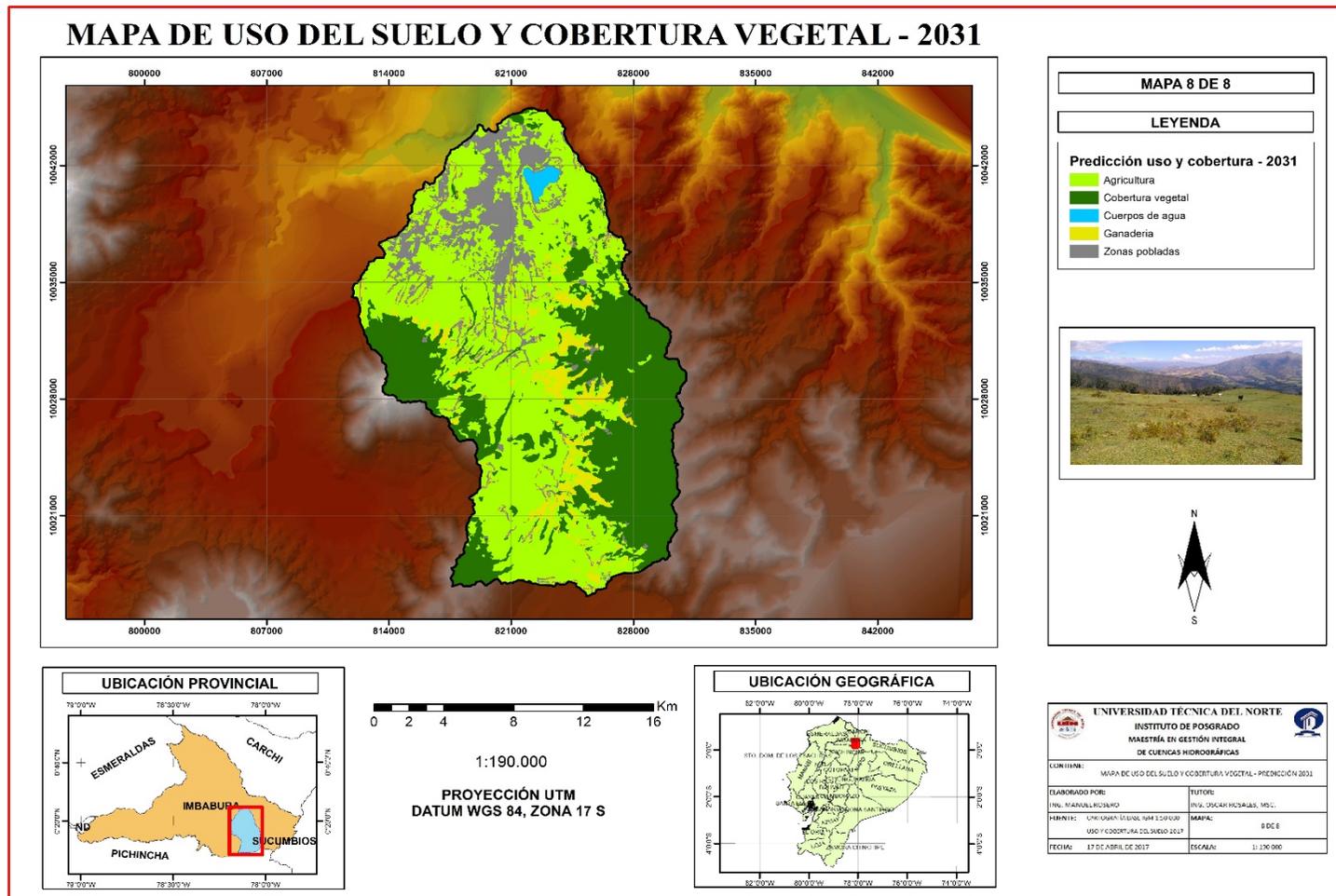


Figura 20. Mapa de Uso del Suelo y Cobertura Vegetal, Predicción - 2031