



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**INSTITUTO DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES**

**“ESTUDIO MULTITEMPORAL DE USO DEL SUELO Y COBERTURA  
VEGETAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO AMBI, PROVINCIA IMBABURA,  
ECUADOR”**

**Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de  
Magíster en Gestión Sustentable de Recursos Naturales**

**DIRECTOR:**

MSc. José Raúl Guzmán Paz

**AUTOR:**

Ing. Edwin Guillermo Rosero Chamorro

**IBARRA – ECUADOR**

**2021**

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor del Trabajo de Grado, “ESTUDIO MULTITEMPORAL DE USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO AMBI, PROVINCIA IMBABURA, ECUADOR”, presentado por el ingeniero Edwin Guillermo Rosero Chamorro, para optar por el grado de Magíster en Gestión Sustentable de Recursos Naturales, doy fe de que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación (pública) y evaluación por parte del Jurado Examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 06 días del mes de noviembre de 2019

Lo certifico.



MSc. José Raúl Guzmán Paz

C.C.: 1002597076

DIRECTOR

## APROBACIÓN DEL JURADO

“ESTUDIO MULTITEMPORAL DE USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL DE LA  
SUBCUENCA DEL RÍO AMBI, PROVINCIA IMBABURA, ECUADOR”

Por: Ing. Edwin Guillermo Rosero Chamorro

Trabajo de grado aprobado en nombre de la Universidad Técnica del Norte por el siguiente jurado, a los 06 días del mes de noviembre de 2019.

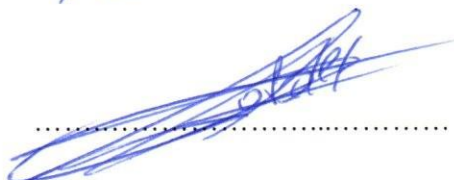
MSc. José Raúl Guzmán Paz

**Tutor del trabajo de titulación**



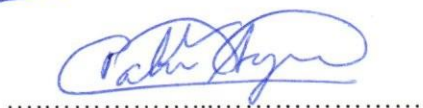
MSc. Oscar Armando Rosales Enríquez

**Asesor del trabajo de titulación**



PhD. Patricia Marlene Aguirre Mejía

**Presidenta del Tribunal de titulación**





## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	0401757265		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Rosero Chamorro Edwin Guillermo		
<b>DIRECCIÓN:</b>	La Florida, calle Los Tulipanes 2-82 y Retamas		
<b>EMAIL:</b>	guillermorosero17@gmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062631997	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0967540025

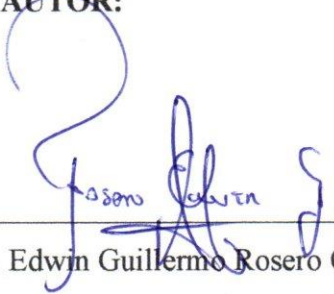
DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	“Estudio multitemporal de uso del suelo y cobertura vegetal de la subcuenca del río Ambi, provincia Imbabura, Ecuador”
<b>AUTOR:</b>	Rosero Chamorro Edwin Guillermo
<b>FECHA:</b>	04/02/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Magíster en Gestión Sustentable de Recursos Naturales
<b>TUTOR:</b>	MSc. José Raúl Guzmán Paz

## 2. 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 04 días del mes de febrero de 2021

### EL AUTOR:



Ing. Edwin Guillermo Rosero Chamorro  
C.C.: 0401757265

## REGISTRO DE POSGRADO

Guía: POSGRADO – UTN

Fecha: Ibarra, 06 de noviembre de 2019

EDWIN GUILLERMO ROSERO CHAMORRO “ESTUDIO MULTITEMPORAL DE USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO AMBI, PROVINCIA IMBABURA, ECUADOR” / Trabajo de grado de Magister en Gestión Sustentable de Recursos Naturales, Universidad Técnica del Norte “UTN”, Ibarra.

DIRECTOR DE TESIS: MSc. José Raúl Guzmán Paz

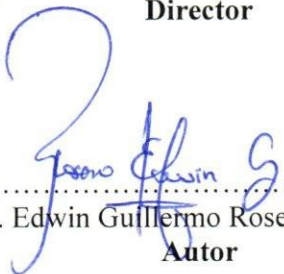
El principal objetivo de la presente investigación fue: Evaluar la multitemporalidad de los cambios producidos en el uso del suelo y cobertura vegetal en la subcuenca del río Ambi; cuantificar las principales causas de los cambios producidos en la subcuenca del río Ambi, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat, ASTER y Sentinel; determinar la tasa de deforestación de la subcuenca del río Ambi; elaborar una predicción de uso del suelo al año 2050 a partir de las dinámicas historias de cobertura vegetal en la subcuenca del río Ambi.

Fecha: Ibarra, 06 de noviembre de 2019



.....

MSc. José Raúl Guzmán Paz  
**Director**



.....

Ing. Edwin Guillermo Rosero Chamorro  
**Autor**

## **DEDICATORIA**

A:

Mi Dios por darme la oportunidad de adquirir mayor sabiduría.

Mi familia por su apoyo incondicional en todo momento.

Mi hijo Mateo por ser mi razón de seguir adelante.

*Edwin Guillermo Rosero*

## **RECONOCIMIENTO**

*A mis docentes, en especial a mi tutor ingeniero José Guzmán y mi asesor ingeniero Oscar Rosales por su apoyo e interés en el transcurso de la investigación.*

*A la coordinadora del programa de maestría, doctora Patricia Aguirre por su apoyo durante el transcurso de mis estudios.*

*Edwin Guillermo Rosero*



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Contextualización del problema .....	1
1.2. Problema de investigación.....	1
1.4. Objetivos de la investigación.....	2
1.4.1. Objetivo general .....	2
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Justificación.....	3
CAPITULO II .....	5
MARCO REFERENCIAL .....	5
2.1. Cuenca Hidrográfica.....	5
2.1.1. Tipos de Unidades Hidrográficas.....	5
2.2. Uso del suelo .....	6
2.3. Cobertura vegetal.....	6
2.4. Sistemas de información geográfica (SIG).....	6
2.5. Sensores remotos .....	7
2.6. Análisis multitemporal .....	8
2.6.2. Teledetección .....	8
2.7. Imagen satelital.....	9
2.7.1. LANDSAT .....	9
2.7.2. ASTER .....	10
2.7.3. SENTINEL.....	10
2.7.4. Características de las imágenes de satélite.....	11
2.8. Deforestación.....	11
2.8.1. Tasa de deforestación.....	11
2.9. Predicción de cambios.....	12
CAPITULO III.....	12
MARCO METODOLÓGICO .....	14
3.1. Descripción del área de estudio.....	14
3.1.1. Ubicación geográfica.....	15
3.1.2. Aspectos socioeconómicos.....	16
3.1.3. Factores bióticos y abióticos .....	16
3.1.1. Diseño y tipo de investigación .....	23
3.1.2. Diseño.....	23

3.1.3.	Tipo de investigación .....	24
3.2.	Procedimiento de la investigación.....	24
3.2.1.	Fase I: Cuantificación de las principales causas de los cambios producidos en la cuenca del río Ambi .....	25
3.2.1.1.	Recopilación de información bibliográfica y cartográfica.....	25
3.2.1.2.	Selección de imágenes satelitales en diferentes períodos.....	26
3.2.1.3.	Teledetección.....	26
3.2.2.	Fase 2: Determinar la tasa de deforestación.....	28
3.2.3.	Fase 3: Elaborar una predicción de uso del suelo al año 2050.....	29
CAPITULO IV	.....	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN O PROPUESTA	.....	31
4.1.	Cuantificación de las principales causas de los cambios producidos en la subcuenca del río Ambi, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat, ASTER y Sentinel. ....	31
4.1.1.	Selección de imágenes satelitales en diferentes periodos .....	31
4.1.1.2.	Teledetección.....	33
4.1.1.3.	Análisis multitemporal, determinación de causas de cambios .....	34
a)	Clasificación supervisada.....	35
4.1.2.	Determinación de la tasa de deforestación de la subcuenca del río Ambi.....	39
4.1.3.	Elaboración una predicción de uso del suelo al año 2050 a partir de las dinámicas historias de cobertura vegetal en la subcuenca del río Ambi .....	40
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	42
5.1.	CONCLUSIONES.....	42
5.2.	RECOMENDACIONES .....	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	44
ANEXOS	.....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Mamíferos, subcuenca del río Ambi .....	18
Tabla 2. Reptiles, subcuenca del río Ambi.....	19
Tabla 3. Anfibios, subcuenca del río Ambi.....	19
Tabla 4. Textura de suelo, subcuenca del río Ambi .....	23
Tabla 5. Superficie de uso del suelo y cobertura vegetal, año 1991 .....	35
Tabla 6. Superficie de uso del suelo y cobertura vegetal, año 2001 .....	36
Tabla 7. Superficie de uso del suelo y cobertura vegetal, año 2017 .....	36
Tabla 8. Matriz de Confusión, imagen Sentinel, año 2017 .....	38
Tabla 9. Índice Kappa, clasificación supervisada imagen Sentinel, año 2017.....	39
Tabla 10. Superficie de uso del suelo y cobertura vegetal, año 2050 .....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la subcuenca del río Ambi .....	15
Figura 2. Red hídrica, subcuenca del río Ambi.....	15
Figura 3. Clasificación Pfafstetter, subcuenca del río Ambi.....	16
Figura 4. Cobertura vegetal y uso del suelo, subcuenca del río Ambi .....	17
Figura 5. Isoyetas, subcuenca del río Ambi .....	21
Figura 6. Isoyetas, subcuenca del río Ambi .....	21
Figura 7. Climas, subcuenca del río Ambi .....	22
Figura 8. Textura de suelo, subcuenca del río Ambi.....	23
Figura 9. Esquema metodológico.....	25
Figura 10. Imagen satelital Landsat, año 1991.....	31
Figura 11. Imagen satelital ASTER, año 2001.....	32
Figura 12. Imagen satelital Sentinel, año 2017 .....	32
Figura 13. Imagen satelital Landsat, año 1991.....	33
Figura 14. Imagen satelital ASTER, año 2001.....	33
Figura 15. Imagen satelital Sentinel, año 2017 .....	34
Figura 16. Resultados de análisis multitemporal, año 1991.....	35
Figura 17. Resultados del análisis multitemporal, año 2001.....	36
Figura 18. Resultados del análisis multitemporal, año 2017.....	37
Figura 19. Puntos de control sobrepuestos en la clasificación supervisada imagen Sentinel, año 2017 .....	38
Figura 20. Resultados de la predicción de cambios, año 2050.....	41
Figura 21. Levantamiento de puntos de control de la cobertura y uso del suelo .....	49
Figura 22. Punto de control, clase cultivos .....	49
Figura 23. Punto de control, clase vegetación boscosa y arbustiva .....	50
Figura 24. Punto de control, clase cuerpos de agua .....	50
Figura 25. Puntos de control, clase zona urbana .....	51
Figura 26. Matriz de Confusión e Índice Kappa, imagen Sentinel, año 2017.....	52
Figura 27. Mapa base .....	53
Figura 28. Mapa de red hídrica .....	54
Figura 29. Clasificación Pfafstetter.....	55
Figura 30. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo .....	56

Figura 31. Mapa de isoyetas.....	57
Figura 32. Mapa de isotermas .....	58
Figura 33. Mapa de clima.....	59
Figura 34. Mapa de textura del suelo .....	60
Figura 35. Mapa de taxonomía del suelo .....	61
Figura 36. Mapa de clasificación supervisada, Landsat 1991 .....	62
Figura 37. Mapa de clasificación supervisada, Aster 2001 .....	63
Figura 38. Mapa clasificación supervisada, Sentinel 2017 .....	64
Figura 39. Predicción de cambios de cobertura vegetal y uso del suelo, año 2050 .....	65

## GLOSARIO

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.

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

GLCF: Facilitadora de Cobertura Global de la Tierra.

GPS: Sistema de Posicionamiento Global.

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.

MAE: Ministerio del Ambiente del Ecuador.

MDT: Modelo Digital de Terreno

NASA: Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio.

PDyOT: 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.

TIRS: Thermal Infrared Sensor.

TM: Thematic Mapper.

USGS: Servicio Geológico de los Estados Unidos.

UTM: Universal Transverse Mercator.

WGS: World Geodetic System.

# “ESTUDIO MULTITEMPORAL DE USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO AMBI, PROVINCIA IMBABURA, ECUADOR”

**Autor:** Ing. Edwin Rosero  
**Tutor:** MSc. José Guzmán  
**Año:** 2019

## RESUMEN

El análisis multitemporal mediante técnicas de teledetección contribuye a evidenciar las dinámicas de cambios de uso del suelo y cobertura vegetal que han ocurrido en un periodo de tiempo, deduciendo la evolución natural o las repercusiones humanas en los ecosistemas. El propósito del estudio fue de cuantificar las principales causas de cambios producidos en la subcuenca del río Ambi en el 1991-2017. Por otra parte, se determinó la tasa de deforestación en el periodo 1991- 2017 y predicción de los cambios que ocurrirán al año 2050. La metodología fue cuantitativa, usando técnicas de análisis espacial a imágenes satelitales de tres distintas fechas correspondientes a los sensores Landsat TM (1991), Aster L1T (2001) y Sentinel 2B (2017), sometiénolas al método de clasificación supervisada se obtuvo firmas espectrales como vegetación boscosa y arbustiva, páramo, pastos, cultivos, cuerpos de agua y zonas pobladas dentro de la subcuenca. Por lo tanto, las causas principales de cambio de uso del suelo y cobertura vegetal fueron agricultura y ganadería evidenciándose un incremento del 15,87% en áreas con ganaderas y una reducción del 9,77% en cultivos desde 1991 hasta 2017, seguido del crecimiento urbano correspondiente a 1,45%. Por lo tanto, la tasa de deforestación en este periodo es -0,63% equivalente a 340, 41 hectáreas deforestadas anualmente, siendo evidente en el mapa de predicción de cambios de la subcuenca, donde prevalece para el año 2050 el 54.69% de las zonas antrópicas y por consecuencia la fragmentación de ecosistemas naturales que ha conllevado con el manejo inadecuado de los recursos naturales de esta unidad hidrográfica.

**Palabras clave:** Análisis multitemporal, imágenes satelitales, teledetección.

# “MULTITEMPORAL STUDY OF LAND USE AND PLANT COVER OF THE AMBI RIVER SUB-BASIN, IMBABURA PROVINCE, ECUADOR”

**Author:** Ing. Edwin Rosero

**Tutor:** MSc. José Guzmán

**Year:** 2019

## ABSTRACT

Multitemporal analysis using remote sensing techniques helps to demonstrate the dynamics of changes in land use and plant cover that have occurred over a period of time, deducing natural evolution or human impacts on ecosystems. The purpose of the study was to quantify the main causes of changes in the Subbasin of the River Ambi from 1991-2017. On the other hand, the rate of deforestation was determined in the same period and prediction of the changes that will occur from 2050. The methodology was quantitative, using spatial analysis techniques with satellite imagery of three different dates corresponding to the Landsat TM (1991), Aster L1T (2001) and Sentinel 2B (2017) sensors, subjecting them to the supervised classification method obtained spectral signatures such as forested and shrub vegetation, wasteland, pastures, crops, bodies of water and populated areas within the sub-basin. Therefore, the main causes of land use change and plant cover were agriculture and livestock, showing an increase of 15.87% in areas with livestock and a 9.77% reduction in crops from 1991 to 2017, followed by urban increase reciprocated 1.45%. Therefore, the rate of deforestation in this period is -0.63% equivalent to 340.41 hectares deforested annually, being evident in the map of prediction of changes of the sub-basin, by 54.69% of anthropic areas prevail for the year 2050 and by the fragmentation of natural ecosystems that has led to the inadequate management of the natural resources of this hydrographic unit.

**Keywords:** Multitemporal analysis, satellite images, remote sensing.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Contextualización del problema

El cambio de uso del suelo y cobertura vegetal es un proceso dinámico, originado por las actividades antropogénicas, siendo evidente en las cuencas hidrográficas en sus zonas de protección permanente de quebradas, ríos y laderas. Estos cambios provocan pérdida de cobertura boscosa, disminución en cantidad y calidad de agua y erosión del suelo (CORPONARIÑO, 2008). A nivel mundial la calidad del agua es imprescindible para la salud y la vida de las poblaciones tanto rurales como urbanas, encontrándose directamente relacionada con la gestión forestal. Los cambios en la cobertura y uso del suelo tienen graves repercusiones en el abastecimiento de agua. Por lo tanto, se conoce que tres cuartas partes del agua dulce accesible del planeta provienen de cuencas hidrográficas boscosas, las investigaciones ponen de manifiesto que el 40% de las 230 cuencas hidrográficas más importantes del mundo han perdido más de la mitad de su vegetación original (FAO, 2018).

En el Ecuador de acuerdo con el Mapa de Ecosistemas del Ecuador Continental (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2012) la tasa anual de cambio de cobertura boscosa en el Ecuador continental fue de -0,71% para el período 1990 - 2000 y de -0,66% para el período 2000 – 2008 (FAO, 2015). Afectando ecosistemas terrestres que están siendo degradados mediante un proceso de transformación que conlleva a la conversión de la cobertura vegetal e intensificación del uso del suelo. Por tal motivo en la provincia de Imbabura se registró una tasa de deforestación anual promedio de 2.258 hectáreas para el período 1990-2000 y 1.240 hectáreas en el período 2000-2008 (MAE, 2012).

### 1.2. Problema de investigación

Los problemas que mantiene la subcuenca del río Ambi son la contaminación de los recursos hídricos, conflictos de tierra, pérdida de biodiversidad, limitada atención en las zonas de riesgo por deslizamientos de tierra y la producción agropecuaria no sustentable, entre otras (Almeida, 2014). Por esta razón, la acción humana ha provocado un desbalance hídrico en la subcuenca debido a las actividades como la agricultura, ganadería y asentamientos urbanos, constituyendo razones principales del cambio en 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 subcuenca



(Muñoz, Rodríguez y Romero, 2009). Por lo tanto, se obtendrá cartografía actualizada que permitirá tomar medidas de mitigación que reduzcan el impacto que se ocasiona en los ecosistemas naturales. Por otra parte, en la subcuenca del río Ambi es evidente las variaciones producidas en la cobertura vegetal. Debido a causas como la contaminación y deforestación producido por el cambio de uso de la tierra afectando los recursos hídricos, flora y fauna (Almeida, 2014). Estas causas están relacionadas con contaminación del recurso hídrico por el uso excesivo de agroquímicos y descargas de aguas residuales provenientes de manufactura textil, que han contaminado el agua que se aprovechaba para otras actividades como la agricultura y ganadería (Cedeño, 2016). En la actualidad estas causas no han sido controladas en la subcuenca por ende el recurso hídrico ha disminuido de forma considerable debido al inadecuado impidiendo ser usado para la agricultura provocando el avance de la frontera agrícola hacia los remanentes de vegetación arbustiva y páramos existente que regulan el agua a las zonas bajas.

De acuerdo con el 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 subcuenca del río Ambi se realizan actividades antrópicas, como la agricultura, ganadería y 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 subcuenca. Mediante el presente estudio se contará con información actualizada para tomar medidas de mitigación que reduzcan el impacto que se ocasiona en los ecosistemas naturales.

### **1.3. Formulación de problema**

¿Existen cambios en el uso del suelo y cobertura vegetal en los periodos 1991-2001 y 2001-2017?

### **1.4. Objetivos de la investigación**

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

- Evaluar la multitemporalidad de los cambios producidos en el uso del suelo y cobertura

vegetal en la subcuenca del río Ambi.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Cuantificar las principales causas de los cambios producidos en la subcuenca del río Ambi, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat, ASTER y Sentinel.
- Determinar la tasa de deforestación de la subcuenca del río Ambi.
- Elaborar una predicción de uso del suelo al año 2050 a partir de las dinámicas historias de cobertura vegetal en la subcuenca del río Ambi.

#### **1.5. Justificación**

Para solucionar la problemática en torno al tema hídrico, el sector público, los diferentes niveles de gobierno y los actores sociales y comunitarios, deberán tener un papel fundamental, que enmarque su gestión bajo los lineamientos de la política sectorial y nacional. A fin de lograr un manejo sustentable del recurso hídrico, es indispensable considerar el caudal ecológico de las cuencas hídricas, la demanda del recurso por tipos de uso y la implementación de sistemas de monitoreo y control de la calidad del agua y además el monitoreo de la cobertura vegetal que garanticen su equilibrio (SENPLADES, PNBV, 2013).

En la actualidad es posible conocer los cambios producidos en el transcurso del tiempo usando herramientas tecnológicas, que también permiten evidenciar el estado actual respecto a los usos del suelo a través de geoprocésamiento de imágenes satelitales logrando optimizar tiempo por la rapidez de adquirir información actualizada (Chuvieco, 1992). Por tal motivo el estudio pretende cuantificar los cambios de coberturas y usos del suelo en la subcuenca del río Ambi, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat, ASTER y Sentinel.

La aplicación de técnicas de teledetección para la identificación de las causas de cambios del uso del suelo y cobertura vegetal y el monitoreo de los recursos naturales que se encuentran en la subcuenca del río Ambi, han generado un importante avance en cuanto al detalle y cantidad de información obtenidos. Se muestra en este trabajo datos e información disponible en la actualidad para realizar este tipo de estudios en la región y se discute el potencial de cada uno dependiendo de la zona, los recursos disponibles y el detalle buscado.

La teledetección espacial permitió conocer los cambios ocurridos en el transcurso del tiempo,

mediante imágenes de satélite, cuáles pueden ser analizadas usando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para establecer de manera automatizada los cambios ocurridos en la cobertura vegetal en un periodo de interés. Se presenta en este trabajo la cartografía temática generada y los resultados obtenidos, indicativos de la dinámica de usos de suelo y cobertura vegetal dentro de la subcuenca. Finalmente, los datos generados y mapas pueden ser de utilidad para una mejor toma de decisiones en la construcción de los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDyOT), y a su vez para el desarrollo y bienestar de la zona y sus habitantes, siendo capaces de generar políticas ambientales que a favor de la gestión sustentable del recurso natural dentro de la subcuenca.

El presente estudio aporta a las diferentes estrategias dentro del Plan Toda Una Vida (2017-2021) para el cumplimiento del **objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones**, política 3.1: Conservar, recuperar y regular el aprovechamiento del patrimonio natural y social, rural y urbano, continental, insular y marino-costero, que asegure y precautele los derechos de las presentes y futuras generaciones.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO REFERENCIAL**

#### **2.1. Cuenca Hidrográfica**

Las cuencas hidrográficas son paisajes conocidos de las cordilleras en su descenso hacia los valles, como arroyos y torrentes que corren río abajo. Denominadas asimismo áreas de desagüe o cuencas fluviales constituyen las zonas desde que la lluvia o la nieve al derretirse bajan hacia un río, lago, embalse, estuario, humedal, el mar o el océano (FAO, 2009). Siendo una cuenca hidrográfica un área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación se unen para formar un solo curso de agua. También como la unidad natural definida por la existencia de la divisoria de las aguas en un territorio dado (Ordoñez, 2011).

##### **2.1.1. Tipos de Unidades Hidrográficas**

De acuerdo con la división y codificación Pfafstetter, asumida oficialmente por el Ecuador en el 2010 mediante el Acuerdo Ministerial SENAGUA Nro. 2010-66 (UICN, 2008), se consideran tres tipos de unidades hidrográficas de drenaje:

- a) Cuenca, es un área que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero si contribuye con flujo a otra unidad de drenaje o al curso principal del río.
- b) Intercuenca, es un área que recibe drenaje de otra unidad aguas arriba, a través del curso del río considerado como el principal, y permite el paso de este hacia la unidad de drenaje contigua hacia aguas abajo. Es decir, una intercuenca, es una unidad de drenaje de tránsito del río principal.
- c) Cuenca interna, es un área de drenaje que no recibe flujo de agua de otra unidad ni contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua.

Se debe señalar que la metodología de Pfafstetter no utiliza los términos subcuenca y/o microcuenca y la categorización de las unidades tipo cuenca o intercuenca está dada por el nivel en el que se encuentra la unidad. En el caso del río Ambi se considera cuenca en el Nivel 4 y conformada por 9 unidades hidrográficas en el nivel 5. Es necesario conocer que pertenece a la Región Hidrográfica 1, Nivel 1; Unidad Hidrográfica 15, Nivel 2; Cuenca del río Mira, Nivel 3.

## **2.2. Uso del 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. Según al portal de Suelos de la FAO (2008), define como el cambio estado del suelo como una capacidad disminuida del ecosistema para proporcionar bienes y servicios para sus beneficiarios. Por tal razón, el buen manejo de los suelos asegura que los elementos minerales no se convierten deficientes o tóxicos para las plantas y que se introduzcan en la cadena alimentaria.

En base al mapa interactivo del MAE, Cobertura y uso de la Tierra del Ecuador Continental (2016), en la subcuenca del río Ambi se encuentran 9677,97 ha de Bosque; 1471,31 ha de Cuerpos de agua; 64002,41 ha de Tierras agropecuarias; 30761,02 ha de Vegetación arbustiva y herbácea; y, 4854,83 ha que corresponden a Zonas antrópicas. Cabe mencionar que también se encuentran otras tierras que ocupan 323,25 ha, de la superficie total de la subcuenca que es de 112090,8 ha.

## **2.3. 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 (Martínez, Montoya, Calderón, y Camacho, 2015).

La cobertura comprende todo lo que ocupa un espacio determinado dentro de un ecosistema y su conocimiento es indispensable para definir, determinar y cartografiar unidades ecológicas homogéneas. Existen diferentes tipos de cobertura los cuales se agrupan en clases de acuerdo con sus características, y estas últimas, se agrupan en unidades que en su orden jerárquico son vegetal, degradada, hídrica y construida.

## **2.4. Sistemas de información geográfica**

El término Sistema de Información Geográfica (SIG) suele aplicarse a sistemas informáticos orientados a la gestión de datos espaciales que constituyen la herramienta informática más adecuada

y extendida para la investigación y el trabajo profesional en Ciencias de la Tierra y Ambientales. Se trata de herramientas complejas, reflejo de la complejidad del objeto de estudio de estas ciencias, fruto de la evolución y fusión de programas de muy distinto tipo que anteriormente se habían utilizado de forma independiente. Esta complejidad ha llevado al nacimiento, a partir del trabajo con SIG, de una nueva disciplina científica, todavía bastante discutida, conocida como Ciencia de la Información Geográfica (Bosque, 2000).

Los SIG son sistemas que permiten la captura, ingreso, almacenamiento y análisis de datos geográficos, así como la presentación de la información resultante. El objetivo central de un SIG es generar información válida para la toma de decisiones. En este sentido, los tomadores de decisiones y los generadores de información deben ser una parte integrante del SIG; de lo contrario, el sistema no cumple con su cometido principal (Rosete, y Bocco, 2003).

## **2.5. Sensores remotos**

Empleados para obtener información meteorológica, oceanográfica, sobre la cubierta vegetal, entre otras; para tales medidas se utilizan sistemas de detección activos y pasivos (Scanterra, 2015). Convirtiéndose en la ciencia y el arte de obtener información de un objeto, área o fenómeno, a través del análisis de datos adquiridos mediante un dispositivo o sensor, el cual no está en contacto directo con dicho objetivo, área o fenómeno que se está estudiando o analizando (Lillesand, & Kiefer. 1994). Los datos obtenidos mediante sensores remotos, en particular, las imágenes de satélite han sido propuestos como la mejor alternativa para evaluar variables estructurales y fisiológicas a escala. Varios estudios han mostrado relaciones entre LAI y concentración de clorofila en índices de vegetación derivados del espectro visible e infrarrojo cercano.

Los sensores remotos o teledetección espacial mediante la disponibilidad de imágenes de satélite se pueden analizar usando un SIG y establecer de manera automatizada los cambios ocurridos en el territorio o área de interés en un amplio período de tiempo (Cárcamo, y Rejas, 2015). Existen muchas aplicaciones en las que los sensores remotos pueden usarse para generar la información detallada ya sea sobre materiales y objetos en la superficie de la Tierra, como las siguientes: geología, minería, petróleo, gas, silvicultura, oceanografía, agricultura, ambiente, desastres naturales, deforestación incendios, entre otras (Pérez, 2007).

## **2.6. Análisis multitemporal**

Los sensores remotos, proporcionan la capacidad de analizar estas variables a largo plazo, esto se determina como análisis multitemporal, que constituye una herramienta esencial para el estudio de la evolución o dinámica de los bosques. Además, investigaciones han mostrado que es posible analizar, evaluar y cuantificar variables biofísicas usando series temporales de imágenes de satélite (Hernández-Clemente, Cerrillo, Hernández-Bermejo, Royo, & Kasimis, 2009).

El análisis multitemporal permite detectar cambios entre dos fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio (Chuvieco, 1996), planeando las medidas adecuadas para evitar su deterioro o asegurar su mejor conservación. Los estudios multitemporales tienen como objetivo encontrar una forma de combinar o integrar en el proceso varias imágenes correspondientes a diferentes fechas para su análisis y cuantificación de uso del suelo y cobertura vegetal (Cevallos, 2016).

### **2.6.1. Aplicaciones de estudios multitemporales**

Los aportes más destacados de la teledetección espacial al estudio de cobertura vegetal es su capacidad para evidenciar dinámicas de cambios debido a catástrofes naturales como incendios, deslizamientos, terremotos, entre otros; o la intervención del hombre debido al avance de la frontera agrícola, actividades pecuarias, erosión del suelo, el crecimiento urbano, entre otras. Gracias al hecho de tratarse de información adquirida por un sensor situado en una órbita estable y repetitiva. En este tipo de estudio se evalúan los cambios que sufren las coberturas vegetales y en este caso ganancia o pérdida de cobertura vegetal como consecuencia de un fenómeno natural o de origen antrópico anteriormente mencionados (Fonseca, y Gómez, 2013). Estudios de análisis en los cambios en los usos del suelo, aportan información importante para la planificación y gestión territorial y además la evaluación del impacto ambiental en determinadas zonas (Pérez, M. y García, M. 2012).

### **2.6.2. Teledetección**

La teledetección, tal y como se entiende en la actualidad, comenzó en el periodo de 1946 a 1950, cuando se lanzaron desde Nuevo México (EE. UU.) los primeros cohetes V-2 con pequeñas cámaras fotográficas instaladas en ellos como sensores remotos. A partir de ese instante se sucedieron diferentes proyectos y misiones a bordo de otros cohetes, misiles balísticos y satélites, que realizaron

la toma de fotografías de la Tierra. Aunque la calidad de las primeras fotografías desde el espacio no era muy buena, permitió revelar el verdadero potencial que le esperaba a esta técnica. El objetivo principal es detectar cambios en la cobertura entre dos fechas de referencia, evidenciando la marcada repercusión de la acción humana sobre los recursos naturales (Trejos, 2008).

## **2.7. Imagen satelital**

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI, 2017), menciona que una imagen satelital es una representación visual de los datos reflejados por la superficie de la tierra que captura un sensor montado en un satélite artificial. Los datos son enviados a una estación terrena en donde se procesan y se convierten en imágenes, enriqueciendo nuestro conocimiento de las características de la Tierra en diferentes escalas espaciales. Una imagen satelital es el producto obtenido por un sensor remoto instalado a bordo de un satélite artificial mediante la captación del espectro electromagnético emitido o reflejado por un cuerpo celeste, producto que posteriormente se transmite a estaciones terrenas para su visualización, procesamiento y análisis (TELEDET, 2017). Las imágenes multiespectrales son de gran importancia debido a su ayuda para la clasificación y la vigilancia de los cultivos y de los bosques. Estas imágenes permiten el monitoreo del estado de salud de la vegetación durante los ciclos fenológicos, y por lo tanto la detección de daños provocados por acciones humanas (GTZ, 2010).

### **2.7.1. Misión LANDSAT**

La constelación de satélites LANDSAT (LAND: tierra y SAT: satélite), que inicialmente se llamaron ERTS (Earth Resources Technology Satellites), fue la primera misión de los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. La forman 8 satélites de los cuales sólo se encuentran activos el 5 y el 8. Su mantenimiento y operación está a cargo de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) en tanto que la producción y comercialización de las imágenes depende del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (Betancourt, y Martínez, 2017).

Los satélites LANDSAT llevan a bordo diferentes instrumentos. Su evolución buscó siempre captar más información de la superficie terrestre, con mayor precisión y detalle, de ahí las mejoras radiométricas, geométricas y espaciales que se incorporaron a los sensores pasivos; el primero, conocido como Multispectral Scanner Sensor (MSS), seguido de Thematic Mapper (TM) que tiene mayor sensibilidad radiométrica que su antecesor y por último, Enhanced Thematic Mapper Plus



(ETM+) que entre sus mejoras técnicas destaca una banda espectral (pancromática) con resolución de 15 metros. En la actualidad el satélite LANDSAT-8 (OLI), lanzado al espacio en agosto de 2012, por sus 11 bandas y amplias posibilidades de combinación lo que permitirá un mayor aprovechamiento (Betancourt, y Martínez, 2017).

### **2.7.2. Misión ASTER**

Son captadas desde el año 1999 por el satélite Terra. ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) 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 (Frank, 2017).

### **2.7.3. Misión SENTINEL**

El satélite europeo SENTINEL 2A forma parte de la familia de misiones de la ESA dentro de su programa espacial denominado Copernicus. Fue lanzado al espacio en 2015 pero además en 2016 se lanzó el SENTINEL 2B en la misma órbita con la diferencia que este tiene un desfase de 180°, proporcionando una alta frecuencia de revisita. Sentinel 2 lleva una cámara multiespectral de alta resolución, basada en las misiones francesas SPOT y en los satélites estadounidenses Landsat, con 13 bandas espectrales que aportan una nueva perspectiva de la superficie terrestre y de la vegetación (Martínez, 2016).

Utiliza un sistema de barrido a lo largo de la trayectoria (push-broom) para generar una imagen de 290 kilómetros de ancho y poder ofrecer muy altas prestaciones geométricas y espectrales en sus datos. La cámara cuenta con dos grandes planos focales, uno en las bandas del visible (VIS) y del infrarrojo próximo (NIR) y el otro, en el infrarrojo medio (SWIR). Cada uno de ellos está equipado con 12 detectores con un total de 450.000 píxeles (Martínez, 2016).

#### **2.7.4. Características de las imágenes de satélite**

De acuerdo con Chuvieco (2000), se entiende por plataforma los satélites (LANDSAT, METEOSAT, NOAA, SPOT) o aviones que transportan los aparatos necesarios para captar, almacenar y transmitir imágenes a distancia (sensores). Un sensor es el aparato que reúne la tecnología necesaria para captar imágenes a distancia y que es transportado en una plataforma. Puede captar información para diferentes regiones del espectro y cada una de estas regiones se denomina canal o banda. La salida de radiación (emitida o reflejada) de la superficie terrestre es un fenómeno continuo en 4 dimensiones (espacio, tiempo, longitud de onda y radiancia). Un sensor debe muestrear en este continuo discretizándolo en cada una de esas dimensiones. El modo en que esta discretización se lleva a cabo define los cuatro tipos de resolución con los que se trabaja en teledetección:

- Resolución espacial (tamaño de píxel)
- Resolución temporal (tiempo que tarda el satélite en tomar dos imágenes de este sitio)
- Resolución espectral (capacidad de discriminar entre longitudes de onda vecinas en el espectro, así como el número de bandas disponible).
- Resolución radiométrica (número de intervalos de intensidad que puede captar el sensor)

### **2.8. Deforestación**

Según la FAO (2010) define a la deforestación como la conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra o la reducción de la cubierta de copa, a menos del límite del 10 por ciento que, a su vez, implica la pérdida permanente de la cubierta de bosque e implica la transformación en otro uso de la tierra. Dicha pérdida puede ser causada o inducida por actividades antrópicas o desastres naturales. Un antecedente importante realizado por el Proyecto Socio Bosque, Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental (2012), la provincia de Imbabura registró una tasa anual de deforestación de 2.258 ha en el periodo 2000-2008 y 1.240 ha para el periodo 2000-2008.

#### **2.8.1. Tasa de deforestación**

El Ministerio del Ambiente del Ecuador (2013) define la tasa de deforestación como la medición del cambio anual de cobertura boscosa debido a la conversión y transformación de ecosistemas naturales a usos y cobertura del suelo antrópicos (FAO, 1995) (Puyravaud, 2003). En el año 2011 el MAE en el Proyecto Mapa de Deforestación Histórica del Ecuador Continental para los periodos 1990-2000, 2000-2008, se aplicó la siguiente ecuación:

$$r = \left( \frac{1}{t_2 - t_1} \right) \ln \left( \frac{A_2}{A_1} \right) * 100\%$$

Donde:

r: Tasa de deforestación (%)

A1: Área de bosque inicial (ha)

A2: Área de bosque final (ha)

t1: Año inicial

t2: Año final

De acuerdo con esta metodología definen las variables relacionadas a esta ecuación:

- **Deforestación:** “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” (Puyravaud, 2003).
- **Tasa de deforestación (%):** razón de pérdida del bosque en determinada área cubierta por bosque en la misma región en dos épocas diferentes
- **Área de bosque inicial (A1):** es una medida de una superficie expresada en hectáreas, que indica las condiciones de un bosque en un periodo determinado.
- **Área de bosque final (A2):** es una medida de una superficie expresada en hectáreas, que indica las condiciones de un bosque después de un periodo de tiempo.

## 2.9. Predicción de cambios

Trata de predecir o proyectar los posibles escenarios de uso del suelo y cobertura vegetal, mediante el análisis de la cobertura vegetal de una primera fecha con una de una fecha posterior a la anterior y diferenciar los cambios que se producen en el transcurso del tiempo. El software TerrSet contiene módulo LCM que es una innovadora extensión software Land Planning y ayuda a la toma de decisiones. Usado mayoritariamente para priorizar la conservación y los esfuerzos de planificación. Land Change Modeler analiza rápidamente el "land cover change" (cambios de coberturas de la tierra), es decir, permite simular futuros cambios y modelar escenarios para emisiones REDD, como también conocer los posibles impactos en la biodiversidad (Clark Labs, 2015). *Predicting Change* es una herramienta usada en predicciones sobre cambios dinámicos basados en transiciones

históricas y modelos 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, zonas urbanas, poblados, entre otros (Clark Labs, 2015).

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Descripción del área de estudio

La demarcación hidrográfica del río Mira cubre un espacio entre las provincias de Imbabura, Carchi, Esmeraldas y Pichincha. Posee un caudal variable y depende de la temporada anual de precipitación pluvial, creciendo entre los meses de julio a agosto. Esta cuenca cubre los territorios de los municipios que la conforman: Antonio Ante, Ibarra, Otavalo, Cotacachi, Urcuquí, Pimampiro, Mira, Bolívar, Espejo, Cayambe, Pedro Moncayo y DM Quito; distribuidos sobre las provincias del Carchi al norte (Mira, Bolívar, y Espejo), Imbabura al sur (Antonio Ante, Ibarra, Otavalo, Cotacachi, Urcuquí y Pimampiro), y Pichincha (Cayambe, Pedro Moncayo y DM Quito) (SENAGUA, 2009). El principal afluente de la cuenca del Mira es el río Chota, que circula en dirección este-oeste, y al cual convergen por el sur los ríos Mataquí al este y el Ambi al oeste (Ver anexo. *Figura 27*).

La subcuenca del río Ambi nace en el Otavalo como el río Jatun Yacu, kilómetros más adelante adopta el nombre de río Blanco, para tomar el nombre de río Ambi en el límite con Antonio Ante. La subcuenca tiene un afluente de dos mil 500 litros por segundo. Siendo la contaminación es uno de los problemas latentes (Cedeño, R. 2016). Pertenece a la demarcación hidrográfica del río Mira, ubicada en la provincia de Imbabura, constituida por nueve microcuencas (SENAGUA, 2009), ocupa una superficie de 1120,91 km<sup>2</sup>, una parte de la subcuenca se localiza en las estribaciones de la cordillera occidental y forma parte de la hoya del Chota (Ver anexo. *Figura 28 y 29*). Los límites de la subcuenca son los siguientes:

- Norte: Delimita con el río Mira; cantón Mira, provincia Carchi.
- Oeste: Delimita con la microcuenca del río Intag (Zona de Intag); cantón Santa Ana de Cotacachi.
- Sur: Delimita con la cuenca del río Guayllabamba; cantones Pedro Moncayo, Cayambe y DM Quito, provincia de Pichincha.
- Este: Delimita con la microcuenca del río Mataquí; cantón Pimampiro, provincia de Imbabura.

### 3.1.1. Ubicación geográfica

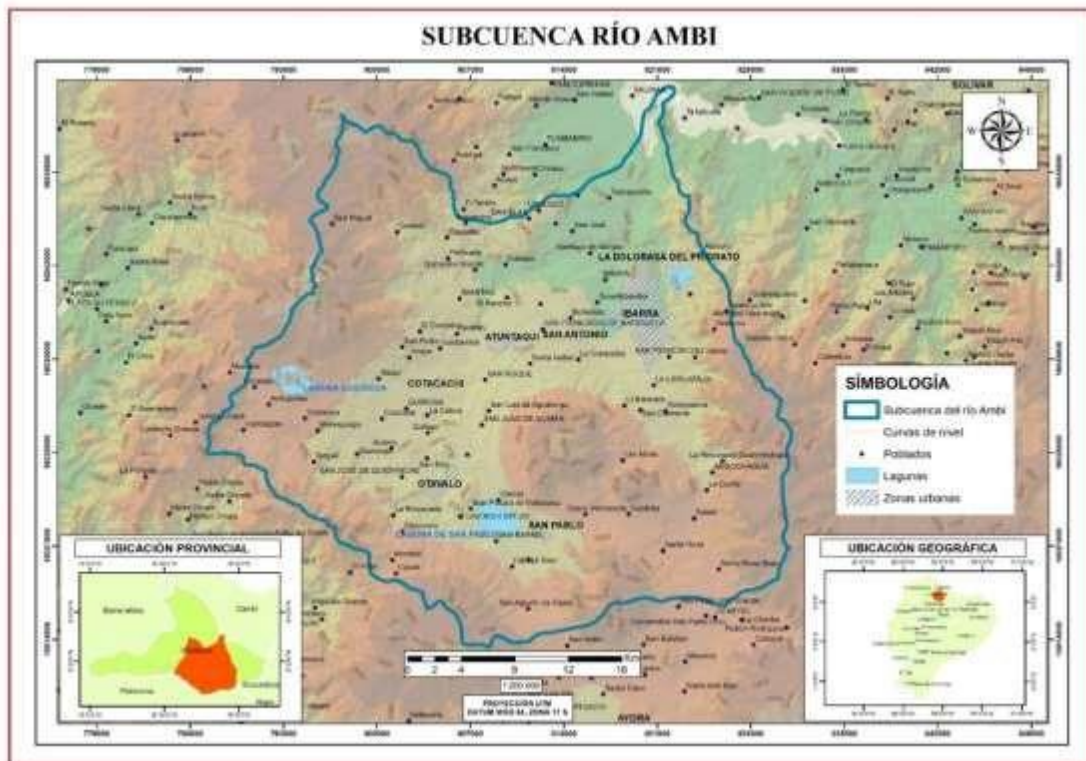


Figura 1. Mapa de ubicación de la subcuenca del río Ambi

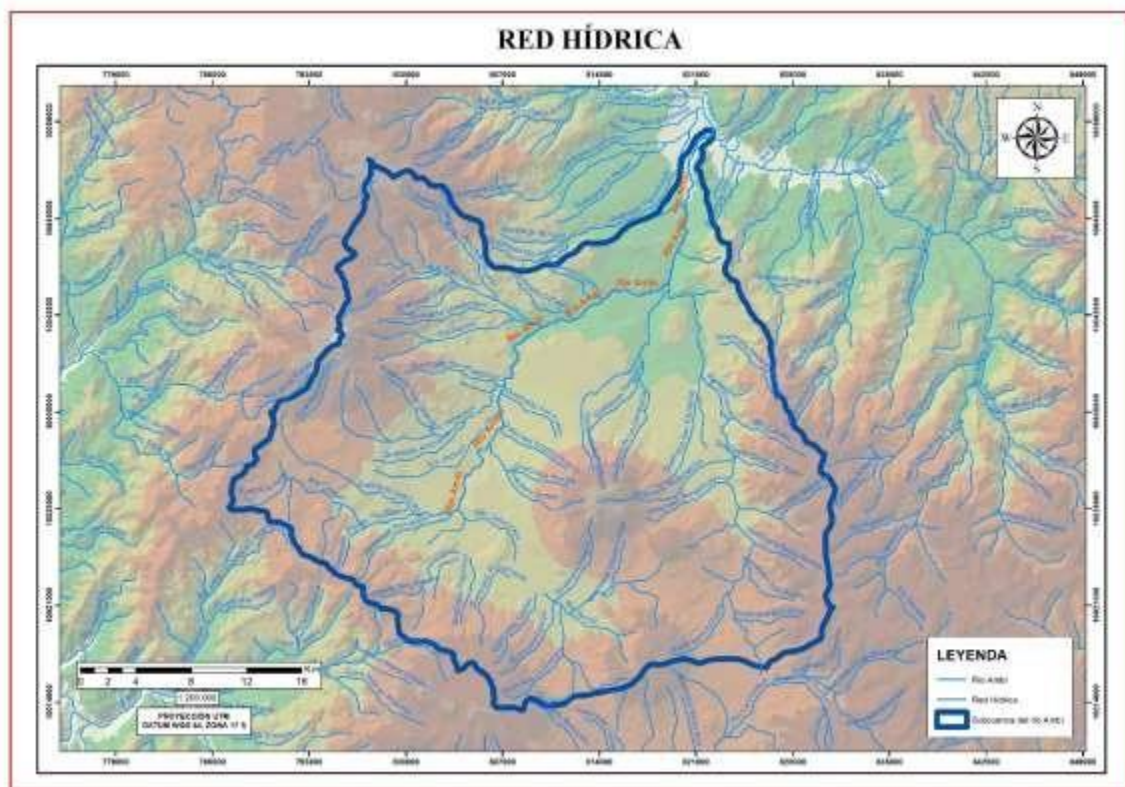


Figura 2. Red hídrica, subcuenca del río Ambi

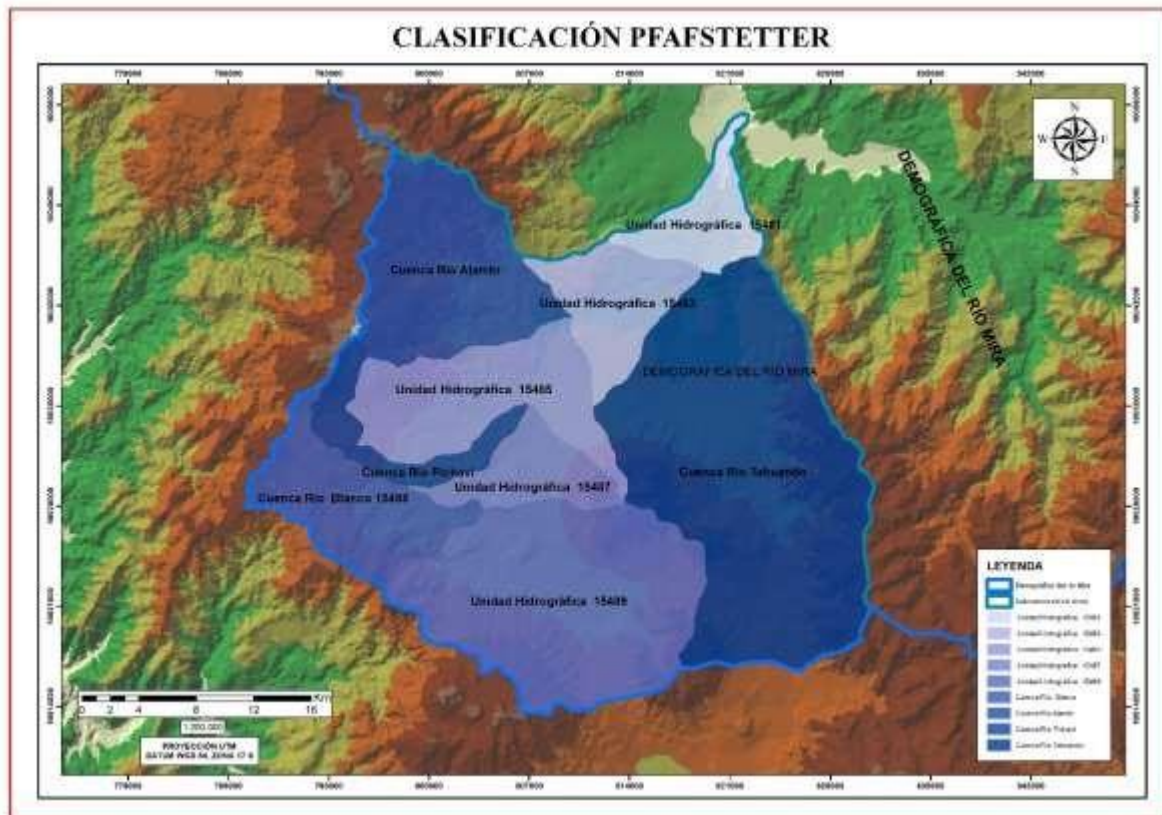


Figura 3. Clasificación Pfafstetter, subcuenca del río Ambi

### 3.1.2. Aspectos socioeconómicos

Las actividades económicas más importantes que se desarrollan en la subcuenca están vinculadas al sector agropecuario (Almeida, 2014). Por otro lado, de acuerdo con el PDyOT del cantón Antonio Ante 2012-2030 (2012) malas prácticas agrícolas, el uso excesivo y antitécnico de agroquímicos, aguas servidas y otros factores han ocasionado cambios microbiológicos, ocasionando contaminación de esta subcuenca.

En Imbabura el río Ambi es el principal afluente que por su ubicación geográfica cruza cinco de los seis cantones, siendo la principal fuente de riego de acuerdo con datos del exInstituto Nacional de Riego (2009), se señaló que el 60% del agua de riego de la provincia se extraía del río Ambi y el 40% restante se obtenía del río Tahuando.

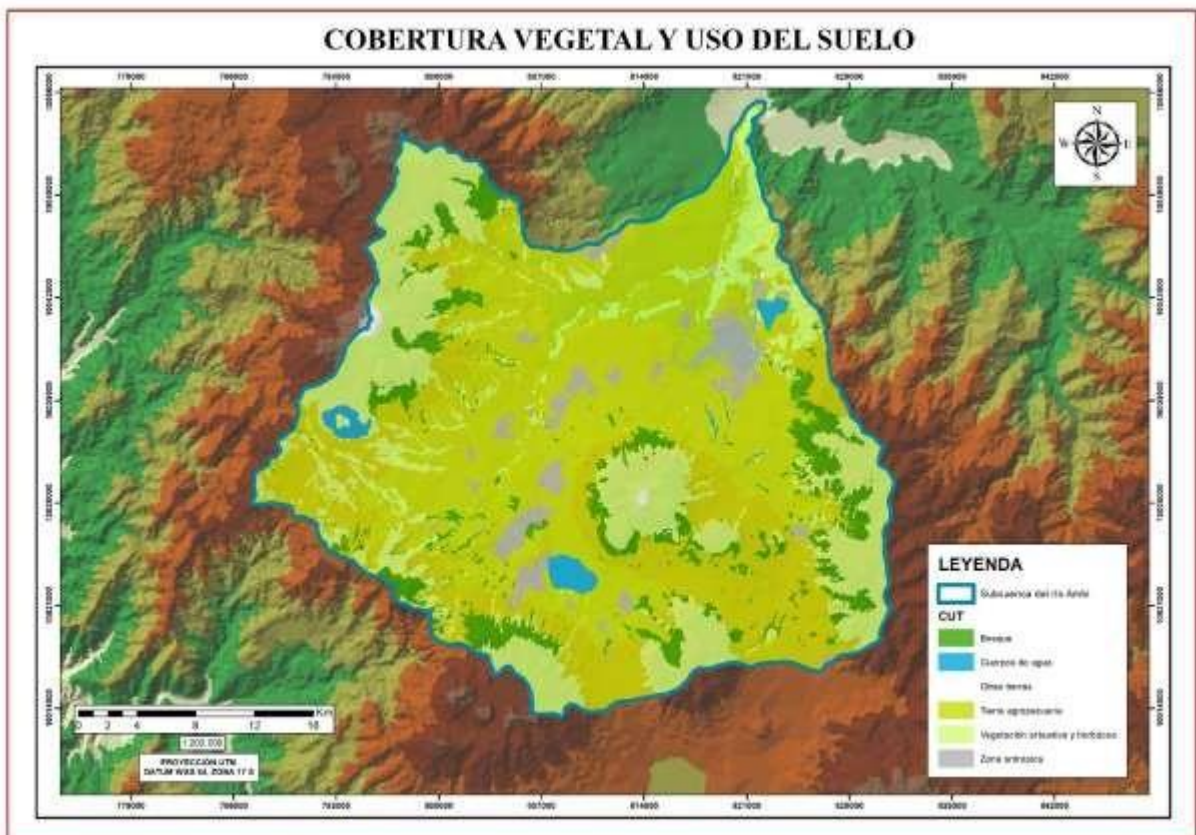
### 3.1.3. Factores bióticos y abióticos

#### a) Flora

De acuerdo con el Mapa de Ecosistemas del Ecuador Continental (MAE, 2013) se encuentran los

siguientes ecosistemas (Ver anexo. *Figura 30*):

- Arbustal siempreverde montano del norte de los Andes (AsMn01): 1313,38 ha
- Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo (AsSn01): 5940,26 ha
- Bosque siempreverde del Páramo (BsSn01): 92,96 ha
- Bosque siempreverde montano alto de Cordillera Occidental de los Andes (BsAn03): 5114,08 ha
- Bosque siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes (BsAn01) 2438,28 ha
- Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes (BsMn03): 239,19 ha
- Bosque siempreverde montano del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes (BsMn01):1665,81 ha
- Bosque y Arbustal semideciduo del norte de los Valles (BmMn01): 1892,90 ha.



*Figura 4.* Cobertura vegetal y uso del suelo, subcuenca del río Ambi

## b) Fauna

El sitio web Fauna Web Ecuador (<https://bioweb.bio/faunaweb.html>) es un portal con información general y de libre acceso sobre la fauna del Ecuador. Dentro de la subcuenca del río Ambi se han



registrado 25 especies de mamíferos, 12 especies de reptiles y 30 especies de anfibios, se detallan los especímenes en las siguientes tablas:

**Tabla 1**

*Mamíferos, subcuenca del río Ambi*

Orden	Familia	Especie	Nombre común
<b>Artiodactyla</b>	Cervidae	<i>Pudu mephistophiles</i>	Ciervo enano
<b>Carnivora</b>	Mephitidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorrillo rayado
<b>Chiroptera</b>	Phyllostomidae	<i>Anoura peruana</i>	Murciélago sin cola peruano
<b>Chiroptera</b>	Phyllostomidae	<i>Artibeus rarus</i>	Murciélago frutero chico
<b>Chiroptera</b>	Phyllostomidae	<i>Carollia brevicauda</i>	Murciélago sedoso de cola corta
<b>Chiroptera</b>	Phyllostomidae	<i>Lichonycteris obscura</i>	
<b>Chiroptera</b>	Phyllostomidae	<i>Phyllostomus discolor</i>	Murciélago nariz de lanza pálido
<b>Chiroptera</b>	Phyllostomidae	<i>Platyrrhinus dorsalis</i>	Murciélago de nariz ancha de Thomas
<b>Chiroptera</b>	Phyllostomidae	<i>Sturnira bogotensis</i>	Murciélago de hombros amarillos de Bogotá
<b>Chiroptera</b>	Phyllostomidae	<i>Sturnira erythromos</i>	Murciélago de hombros amarillos pequeño
<b>Chiroptera</b>	Vespertilionidae	<i>Myotis keaysi</i>	Myotis de patas peludas
<b>Didelphimorphia</b>	Didelphidae	<i>Didelphis pernigra</i>	Zarigüeya andina de orejas blancas
<b>Didelphimorphia</b>	Didelphidae	<i>Philander andersoni</i>	Raposa de cuadro ojos de Anderson
<b>Eulipotyphla</b>	Soricidae	<i>Cryptotis equatoris</i>	Musaraña ecuatoriana
<b>Eulipotyphla</b>	Soricidae	<i>Cryptotis niausa</i>	Musaraña ratón ciego
<b>Paucituberculata</b>	Caenolestidae	<i>Caenolestes convelatus</i>	Ratón marsupial negruzco
<b>Paucituberculata</b>	Caenolestidae	<i>Caenolestes fuliginosus</i>	Ratón marsupial sedoso
<b>Rodentia</b>	Cricetidae	<i>Akodon mollis</i>	Ratón campestre delicado
<b>Rodentia</b>	Cricetidae	<i>Microryzomys minutus</i>	Ratón arrocero diminuto
<b>Rodentia</b>	Cricetidae	<i>Neomicroxus latebricola</i>	Ratón campestre ecuatoriano
<b>Rodentia</b>	Cricetidae	<i>Nephelomys albigularis</i>	Rata de bosque nublado de garganta blanca
<b>Rodentia</b>	Cricetidae	<i>Neusticomys monticolus</i>	Rata pescadora montana

Fuente: Fauna Web Ecuador (2019)

**Tabla 2***Reptiles, subcuena del río Ambi*

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>
<b>Squamata: Sauria</b>	Gymnophthalmidae	<i>Pholidobolus montium</i>	Cuilanes de montaña
<b>Squamata: Sauria</b>	Gymnophthalmidae	<i>Riama unicolor</i>	Palos de los Andes
<b>Squamata: Sauria</b>	Iguanidae: Tropidurinae	<i>Stenocercus chota</i>	Guagsas del Valle del Chota
<b>Squamata: Sauria</b>	Iguanidae: Tropidurinae	<i>Stenocercus guentheri</i>	Guagsas de Gunther
<b>Squamata: Serpentes</b>	Colubridae: Colubrinae	<i>Dendrophidion brunneum</i>	Serpientes corredoras de bosque de Günther
<b>Squamata: Serpentes</b>	Colubridae: Colubrinae	<i>Drymarchon melanurus</i>	Colambos
<b>Squamata: Serpentes</b>	Colubridae: Colubrinae	<i>Tantilla petersi</i>	Culebras cabeza negra de Peters
<b>Squamata: Serpentes</b>	Colubridae: Dipsadinae	<i>Dipsas elegans</i>	Culebras caracoleras ecuatorianas
<b>Squamata: Serpentes</b>	Colubridae: Dipsadinae	<i>Dipsas ellipsifera</i>	Culebras ecuatorianas del norte
<b>Squamata: Serpentes</b>	Colubridae: Dipsadinae	<i>Erythrolamprus epinephelus</i>	Culebras terrestres occidentales
<b>Squamata: Serpentes</b>	Colubridae: Dipsadinae	<i>Saphenophis boursieri</i>	Culebras de labios manchados
<b>Squamata: Serpentes</b>	Colubridae: Dipsadinae	<i>Sibon dunnii</i>	Caracoleras de Pimampiro

Fuente: Fauna Web Ecuador (2019)

**Tabla 3***Anfibios, subcuena del río Ambi*

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>
<b>Anura</b>	Bufonidae	<i>Atelopus coynei</i>	Jambato del río Faisanes
<b>Anura</b>	Bufonidae	<i>Atelopus ignescens</i>	Jambato negro
<b>Anura</b>	Bufonidae	<i>Atelopus pastuso</i>	Jambato pastuso
<b>Anura</b>	Bufonidae	<i>Osornophryne antisana</i>	Osornosapo de Antisana
<b>Anura</b>	Bufonidae	<i>Osornophryne puruanta</i>	Osornosapo gigante
<b>Anura</b>	Bufonidae	<i>Osornophryne talipes</i>	Osornosapo trompudo
<b>Anura</b>	Centrolenidae	<i>Centrolene buckleyi</i>	Rana de cristal altoandina de Buckley

<b>Anura</b>	Dendrobatidae	<i>Hyloxalus jacobuspetersi</i>	Rana cohete de Quito
<b>Anura</b>	Dendrobatidae	<i>Hyloxalus pulchellus</i>	Rana cohete de la Espada
<b>Anura</b>	Hemiphractidae	<i>Gastrotheca riobambae</i>	Rana marsupial de Quito
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Niceforonia brunnea</i>	Rana gorda del Carchi
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis buckleyi</i>	Cutín de Imbabura
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis curtipes</i>	Cutín de Intac
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis devillei</i>	Cutín de Ville
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis eriphus</i>	Cutín de musgo
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis festae</i>	Cutín paramero
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis floridus</i>	Cutín de Sigchos
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis gladiator</i>	Cutín gladiador
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis huicundo</i>	Cutín de Sucumbíos
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis leoni</i>	Cutín de León
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis myersi</i>	Cutín de Myers
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis ocreatus</i>	Cutín del Carchi
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis ortizi</i>	Cutín de Ortiz
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis phoxocephalus</i>	Cutín silvador
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis pichincha</i>	Cutín de Pichincha
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis surdus</i>	Cutín sordo
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis thymelensis</i>	Cutín del páramo del Angel
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis unistrigatus</i>	Cutín de Quito
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis vertebralis</i>	Cutín vertebral
<b>Anura</b>	Strabomantidae	<i>Pristimantis w-nigrum</i>	Cutín Cualita

Fuente: Fauna Web Ecuador (2019)

### c) Clima

Por otra parte, los datos climáticos dentro de la subcuenca con relación a la temperatura media anual corresponden a 16,3 °C y una precipitación de 223 mm al año (INAMHI, 2008) (Ver anexo. *Figura 31 y 32*). Los tipos de clima representativos en la subcuenca son: clima Mesotérmico templado cálido, Mesotérmico templado frío, Mesotérmico semifrío (INAMHI, 2017) (Ver anexo. *Figura 33*).

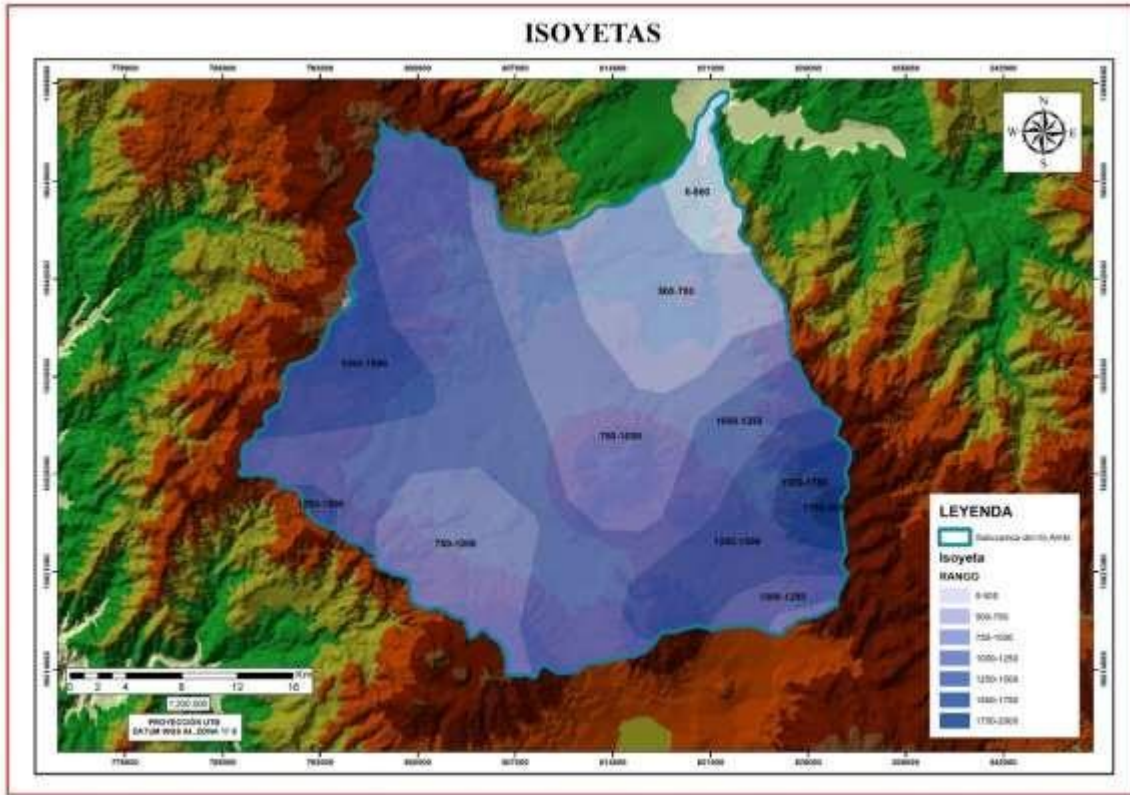


Figura 5. Isoyetas, subcuenca del río Ambi

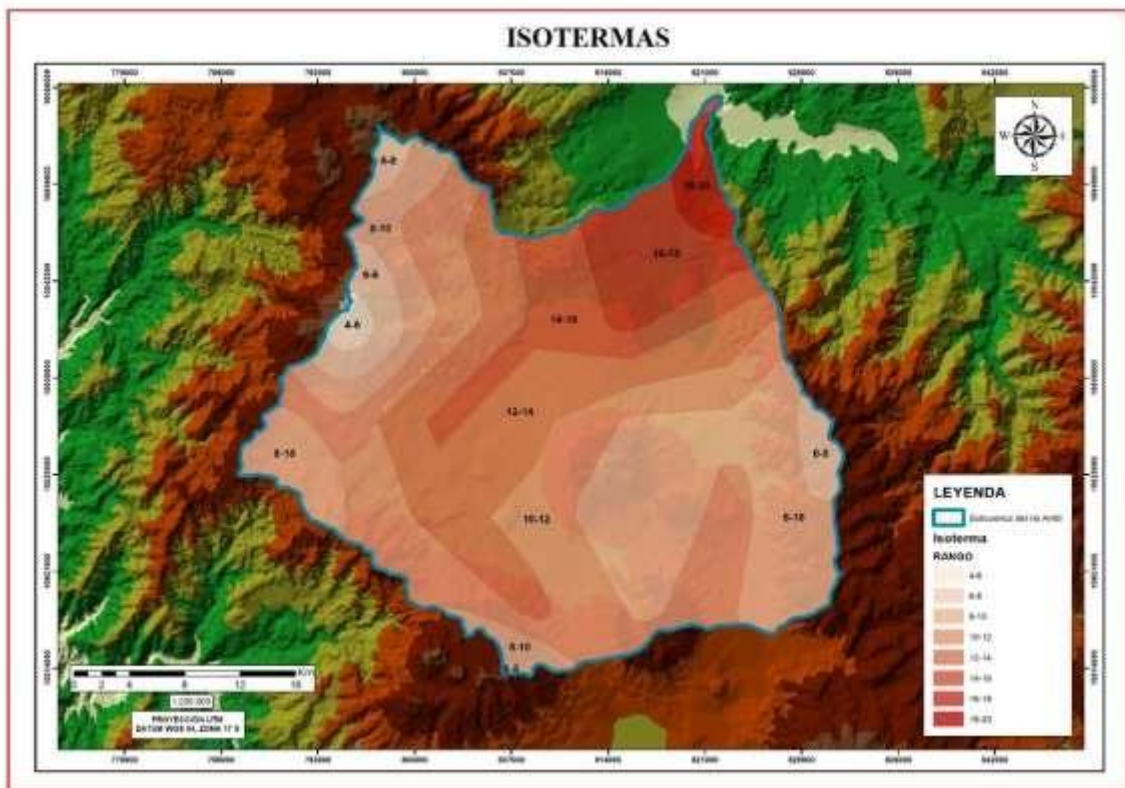


Figura 6. Isoyetas, subcuenca del río Ambi

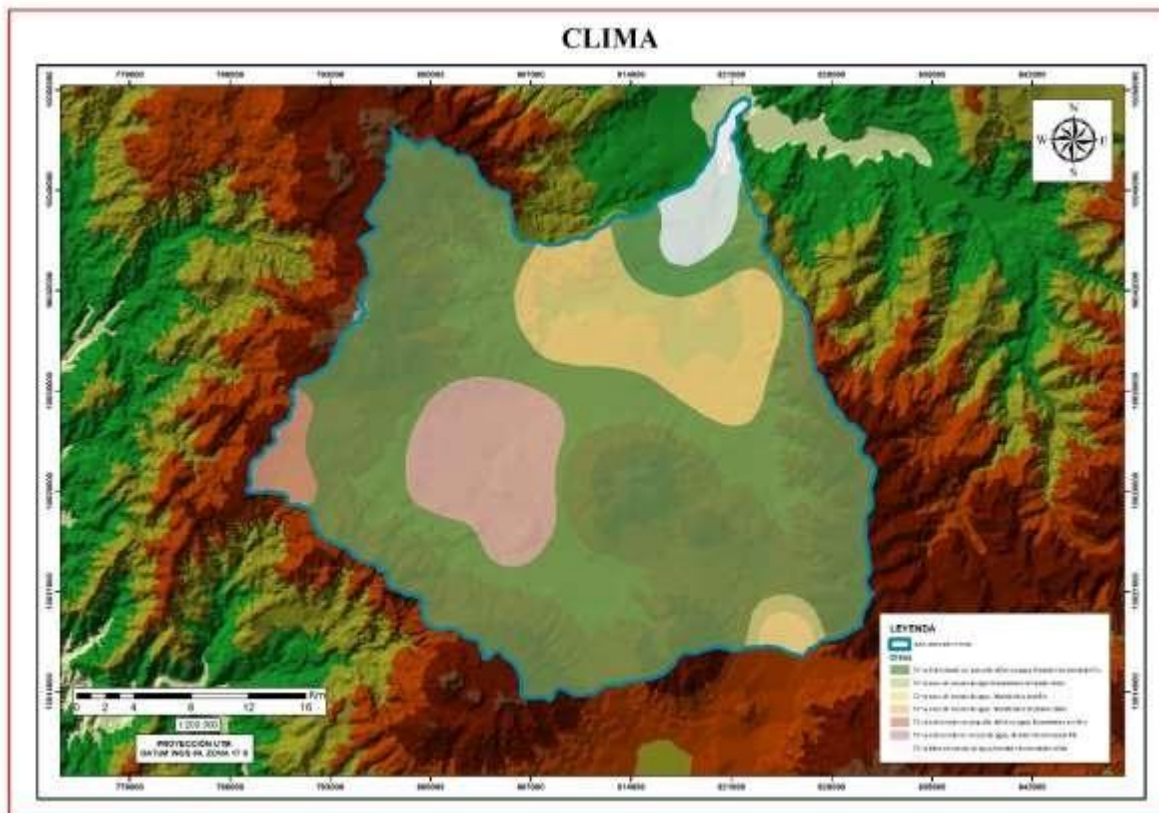


Figura 7. Climas, subcuenca del río Ambi

#### d) Suelo

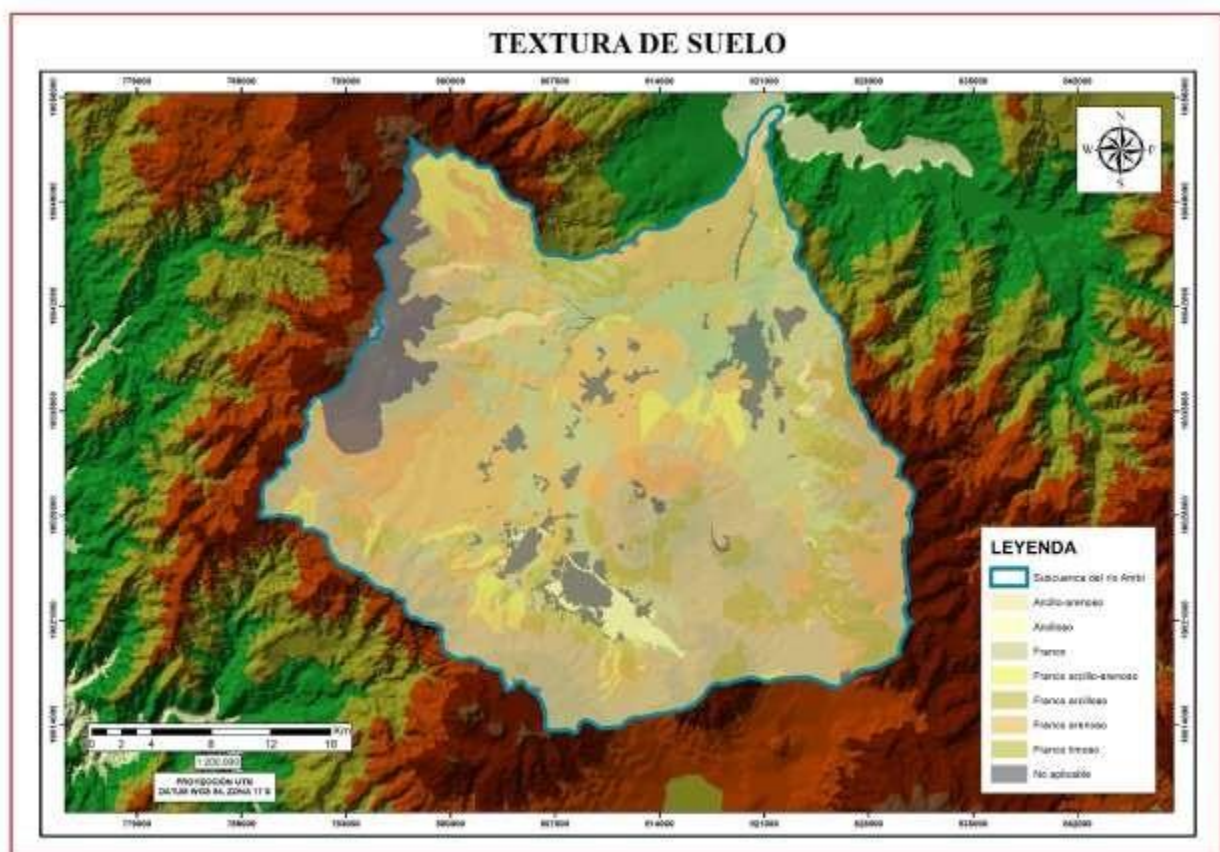
La subcuenca del río Ambi presenta suelos de tipo Inceptisoles y gran parte del área suelos tipo Mollisoles. Los Inceptisoles son suelos jóvenes poco desarrollados en los que el comienzo o principio del desarrollo del perfil es evidente. Más habituales en los climas húmedos, existen desde el Ártico hasta los trópicos. Los Mollisoles son suelos oscuros y suaves que se han desarrollado bajo una vegetación herbosa y en general se encuentran en áreas de pradera. El horizonte superficial es rico en humus, calcio y magnesio. Por lo que la fertilidad del suelo es excelente (Carrera, Guevara, Tamayo, y Guallichico, 2015) (Ver anexo. *Figura 35*).

De acuerdo con cartografía de SIGTIERRAS (2012) en la subcuenca del río Ambi se evidencian los siguientes tipos de texturas de suelo (Ver anexo. *Figura 34*):

**Tabla 4**

*Textura de suelo, subcuenca del río Ambi*

<b>Textura</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Arcillo-arenoso	1289.60
Arcilloso	1279.52
Franco	47096.50
Franco arcillo-arenoso	5497.94
Franco arcilloso	11285.61
Franco arenoso	31310.11
Franco limoso	2758.79
No aplicable	11439.45



*Figura 8. Textura de suelo, subcuenca del río Ambi*

### 3.1.1. Diseño y tipo de investigación

### 3.1.2. Diseño

El estudio es una investigación no experimental, es decir, es el diseño de investigación que recolecta

datos de un solo momento y en un tiempo único con respecto a las imágenes satélites de diferentes fechas. El propósito de este método es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado (análisis multitemporal). Además, se contribuye en el diseño transversal correlacional, en donde se encargan de describir relaciones entre dos o más variables en un momento determinado, relacionado con la pérdida de cobertura de vegetal de un mismo, pero en diferentes tiempos.

### **3.1.3. Tipo de investigación**

Esta investigación es de tipo cuantitativo con un enfoque descriptivo en el que se plantea un análisis multitemporal del área que contiene las diferentes coberturas vegetales correspondientes a la zona de influencia de la subcuenca del río Ambi. Para la evaluación de los cambios en las coberturas, se tuvieron en cuenta tanto los aspectos externos de la subcuenca como los internos que hacen parte del sistema productivo y se utilizaron los SIG como principal herramienta. Para el efecto de la investigación se usaron además los siguientes tipos de investigación:

#### **a) Investigación de campo**

Se utilizará este tipo de investigación debido a que en la investigación es necesario estar en contacto directo con el objeto de estudio, para la recolección de datos (áreas de entrenamiento, inventario en cada tipo de formación vegetal) del área de estudio.

#### **b) Investigación documental**

Se utilizará para recolectar experiencias similares a la presente investigación, indagando fuentes de información para mejorar e incorporar técnicas de Teledetección en el contexto a investigar.

#### **c) Investigación descriptiva**

Tipo de investigación que describe de modo sistemático las posibles causas de cambios en el uso del suelo y cobertura vegetal en la subcuenca del río Ambi.

### **3.2. Procedimiento de la investigación**

La metodología se tiene dos partes, la primera de campo (análisis florístico y áreas de entrenamiento) y segunda de laboratorio (concerniente a SIG y análisis de la información recolectada). Los aspectos importantes de la metodología se destacan en el siguiente esquema:

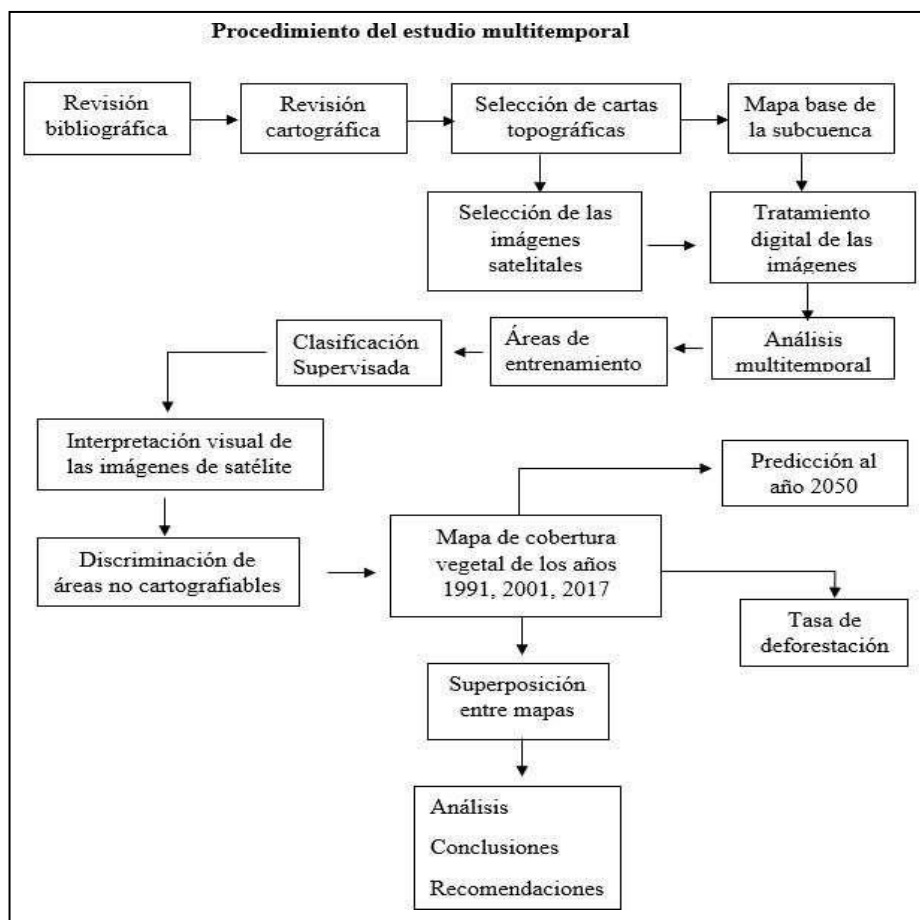


Figura 9. Esquema metodológico

### 3.2.1. Fase I: Cuantificación de las principales causas de los cambios producidos en la cuenca del río Ambi

#### 3.2.1.1. Recopilación de información bibliográfica y cartográfica

Permitió realizar la sustentación teórica relacionada con al ordenamiento territorial de la subcuenca, compilar los antecedentes relacionados con la aplicación de las técnicas, realizar la descripción del área de estudio, seleccionar las cartas topográficas 1:50.000, la cartografía base usada fue obtenida del Geoportal del Instituto Geográfico Militar (IGM), también la información generada de la subcuenca tendrá procesos de edición, estructuración que finalmente formarán parte de los datos en cada una de las coberturas generadas en el proceso.

Cartas topográficas 1:50.000 del IGM usadas fueron: San Pablo del Lago, Mariano Acosta, Ibarra, Mira, Imantag, Otavalo y Cayambe. Además, para delimitar la subcuenca del río Ambi, fue necesario recopilar información del portal de SENAGUA, sobre las Unidades Hidrográficas del Ecuador.



### 3.2.1.2. Selección de imágenes satelitales en diferentes períodos

Las imágenes satelitales para su preselección debían cumplir con ciertos criterios como la opacidad de nubes menor al 20%, además con fechas cercanas a las establecidas en la investigación como los años 1991, 2001 y 2017. Esta adquisición se realizó por medio de la descarga de imágenes satelitales Landsat, ASTER y Sentinel con una resolución espacial de 30 m, 15 m y 10 m respectivamente, de la página web The U.S. Geological Survey (USGS) y Copernicus.

### 3.2.1.3. Teledetección

Se emplearon técnicas aplicadas en el software ERDAS IMAGINE para determinar la clase de uso del suelo y cobertura vegetal. Para ello se realizaron los siguientes pasos:

- a) **Selección de las tres bandas (espectro visible e infrarrojo cercano):** RBG, rojo, azul y verde, para una interpretación visual de la cobertura de la tierra. Para la imagen Landsat fueron seleccionadas las bandas 4 (IRC), 5 (IRM) y 3 (verde-visible), para la imagen ASTER las bandas 3 (IRC), 4 (IRM-L SWIR) y 2 (rojo-visible) y la imagen Sentinel 4, 3, 2 (VIS).
- b) **Tratamiento de imágenes de satélite:** se realizó un tratamiento a las imágenes satelitales. Las imágenes Landsat, ASTER y Sentinel pasaron un previo tratamiento que consiste en los siguientes pasos:
  - Preprocesamiento: consistió en unir las bandas de la imagen satelital en un solo archivo (\*.img).
  - Correcciones Geométricas: se refiere a la georreferenciación de imágenes satelitales, este procedimiento se realizará para las imágenes provenientes del sensor remoto TM (Landsat 1991).
  - Correcciones Radiométricas: determinó la estimación de los ND (números digitales) de los píxeles erróneos respecto a los ND de los píxeles vecinos (Landsat, 1991).
  - Corrección atmosférica: se redujo la influencia de la iluminación atmosférica y solar, y se mejoró los resultados de la detección de cambios y algoritmos de clasificación (Landsat,1991).
  - Corte de las imágenes satelitales: se obtuvo el corte de la imagen con el archivo de la subcuenca delimitada en formato vectorial (shapefile).

### 3.2.1.4. Análisis multitemporal

La técnica de análisis espacial que se obtuvo a partir de la superposición (overlay) de los mapas, en formato ráster, previamente elaborados a escala 1:300.000. Para ello, se usó el programa ERDAS

IMAGINE versión 2014, que permitió la generación de una matriz de cambio y la elaboración de un mapa de distribución de los cambios. Tanto la matriz como el mapa permitieron evaluar, cuantitativa y cualitativamente, la dinámica espacial ocurrida en las distintas coberturas o tipos ecosistemas presentes en la subcuenca del río Ambi.

Una vez realizado el tratamiento de las imágenes satelitales se aplicó el método de **clasificación supervisado**, que consiste en un modelo estadístico “Clusters”, es decir, 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 (permite aplicar diferentes clases espectrales sobre la imagen). Para la clasificación de las imágenes se usó del software ERDAS IMAGINE debido a que es uno de los mejores en procesamiento de imágenes, en el proceso de clasificación supervisada fue necesario comenzar por asignar las áreas de entrenamiento, estas corresponden a las firmas espectrales o clases de uso del suelo y cobertura vegetal que se establecieron para la clasificación fueron: vegetación boscosa y arbustiva, páramo, pastos, cultivos, cuerpos de agua y zonas pobladas.

#### 3.2.1.5. Unidad mínima cartografiable

Una vez realizada la clasificación supervisada se procedió a transformar la imagen (raster) resultante a polígonos (vectorial) para representar en un mapa temático la cobertura vegetal y uso del suelo. Se realizó la representación de áreas a partir de la clasificación debe diseñarse de acuerdo dependiendo a la escala y no relacionado con la clasificación realizada, mencionado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México, INEGI (2009). Este principio de la Unidad Mínima Cartografiable permite lograr coherencia en la representación espacial, eficiencia en la lectura y utilidad del mapa en formato impreso, es decir indica que, a partir de determinada área espacial, los polígonos y sus correspondientes contenidos deben ser generalizados, sin esto se dificultaría la lectura al usuario (Salitchev, 1979). En la escala de trabajo es 1:300.000, de acuerdo con esta metodología la escala mínima cartografiable de 1: 250.000 sería 100 hectáreas el área mínima cartografiable.

#### 3.2.1.6. Control de calidad

El proceso de control de calidad consistió en encontrar la delineación de las coberturas y los códigos (gridcode) de identificación respectivos, adelantando sobre estos datos vectoriales, correcciones de unidades, recodificación y ajustes necesarios, apoyados de fotografías aéreas (ortofoto) y la

información de campo, permitiendo la entrega de un producto revisado y excelente representación cartográfica.

### 3.2.1.7. Verificación de la clasificación supervisada

Para determinar que la confiabilidad de la clasificación supervisada se utilizó la Matriz de Confusión e Índice Kappa determinando la exactitud en el geoprocesamiento de las imágenes, por lo tanto, se recolectaron muestras de tipo de uso de suelo que existen en la subcuenca del río Ambi y así determinar el contexto y fortalecimiento de la clasificación hecha con oficina con las muestras colectadas en campo. Se evaluó la calidad de la clasificación supervisada, escogiendo de forma aleatoria una serie de puntos geográficos dentro de subcuenca correspondiente a las clases o firmas espectrales tomadas en cuenta en estudio, mediante la opción Accuracy Assessment del menú de clasificación de ERDAS IMAGINE (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

## 3.2.2. Fase 2: Determinar la tasa de deforestación

### 3.2.2.1. Tasa de deforestación

Para determinar la tasa de deforestación promedio anual, se aplicó la siguiente ecuación:

$$r = \left( \frac{1}{t_2 - t_1} \right) \ln \left( \frac{A_2}{A_1} \right) * 100\%$$

Donde:

r: Tasa de deforestación en el Ecuador continental (%)

A1: Área de bosque inicial (ha)

A2: Área de bosque final (ha)

t1: Año inicial

t2: Año final

Los datos requeridos se generaron en base a imágenes satelitales procesadas e interpretadas, identificando las áreas donde ha ocurrido conversión de la cobertura boscosa al comparar los mapas de uso y cobertura vegetal de las imágenes de satélite en sus diferentes fechas para generar dos mapas de cambio 1991- 2017.

Posteriormente, se generaron matrices de cambio, las mismas que son ajustadas linealmente (interpoladas o extrapoladas) a las fechas de referencia: 1991 al 2017. Las ecuaciones utilizadas para realizar la normalización están integradas en una herramienta que permitió combinar las matrices de cambio, y las fechas de referencia ajustadas linealmente para calcular las diferentes áreas de deforestación para calcular la tasa anual de la subcuenca.

El área de deforestación corresponde a la deforestación total anual promedio para un período determinado, donde  $A_2$  y  $A_1$  son las áreas de bosque en la fecha final ( $t_2$ ) e inicial ( $t_1$ ), respectivamente. Adicionalmente, se realizó el cálculo de la tasa de cambio anual, que se obtiene comparando el área cubierta por bosque en la misma región en dos épocas diferentes. La ecuación empleada en el presente estudio resulta en una tasa promedio anual de deforestación de la subcuenca del río Ambi.

### **3.2.3. Fase 3: Elaborar una predicción de uso del suelo al año 2050**

#### 3.2.3.1. Predicción de escenarios

Se realizó una predicción de cambios de uso del suelo y cobertura vegetal usando el complemento Land Change Modeler (LCM), del software TerrSet. Para ellos se procedió hacer lo siguiente:

- Se tomó un ráster de las categorías de uso del suelo y cobertura vegetal para el periodo o fecha de 1991, ráster del cambio de uso del suelo y cobertura vegetal del segundo período o fecha 2017 y ráster de variables o factores explicativos, es decir, caminos, poblados, zonas urbanas.
- Usando la herramienta distancia euclidiana se transformó la información vectorial (líneas) de caminos, poblados, zonas urbanas a archivos ráster (píxeles) como insumos para los submodelos de LCM.
- Se crearon submodelos de vegetación versus zonas antrópicas; y ganancia y pérdida de cobertura vegetal.
- Luego se entrenó un modelo que predice los cambios en CCUT (Cambios de cobertura y uso de la tierra), del pasado al presente, en el estudio se lo realizó al año 2050.

#### 3.2.3.2. Generación de mapas temáticos

Luego de haber realizado todos los análisis de las imágenes se procedió a convertir los archivos ráster a polígono y la posterior estructuración del mismo, se desarrollaron los siguientes pasos:

- Vectorización del archivo ráster y convertirlo a polígono (Shapefile de ArcView).
- Recorte de la imagen vectorizada tomando en cuenta el límite del área de estudio.
- Eliminación de áreas no cartografiables.
- Estructuración de la tabla de atributos de la cobertura (shapefile).
- Diseño y elaboración de layout.
- Ajuste de escala de impresión.
- Exportación de mapa temático (\*pdf.)

## CAPÍTULO IV

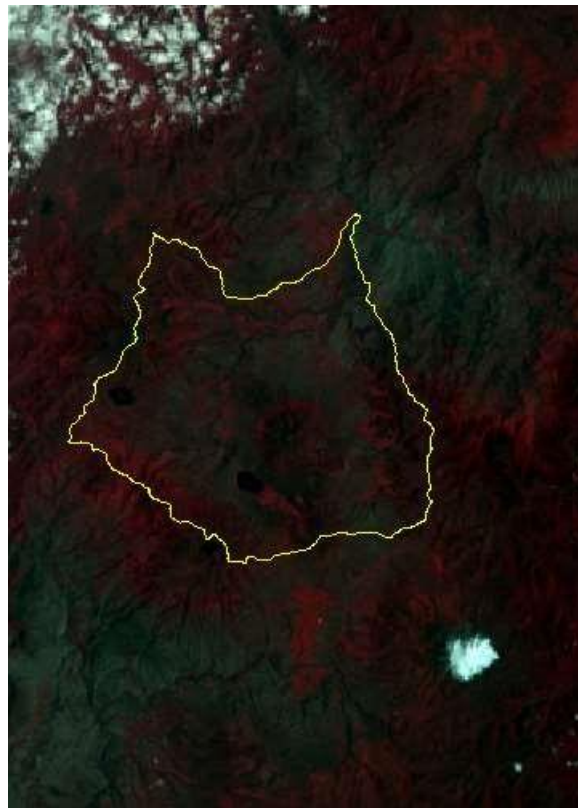
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN O PROPUESTA

#### **4.1. Cuantificación de las principales causas de los cambios producidos en la subcuenca del río Ambi, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat, ASTER y Sentinel.**

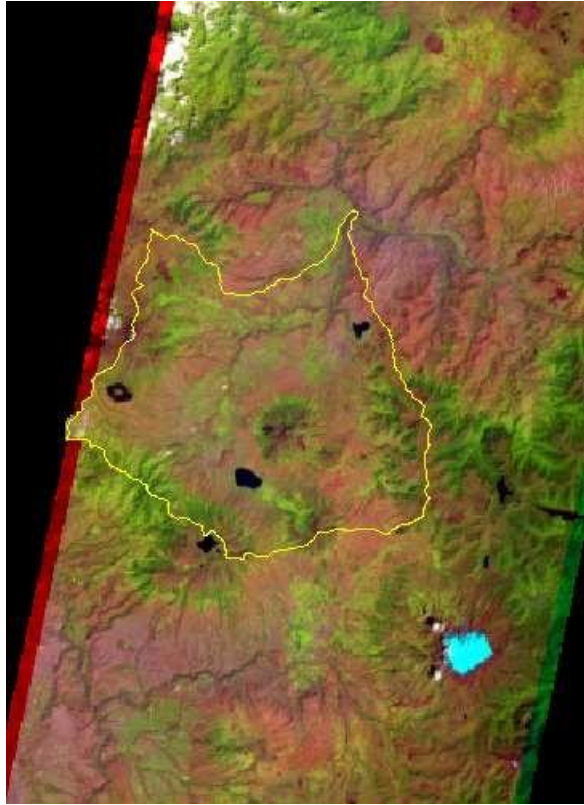
Para determinar las causas de cambios ocurridos en la cobertura vegetal de la subcuenca del río Ambi, se realizó una sistematización de pasos detallados a continuación:

##### **4.1.1. Selección de imágenes satelitales en diferentes periodos**

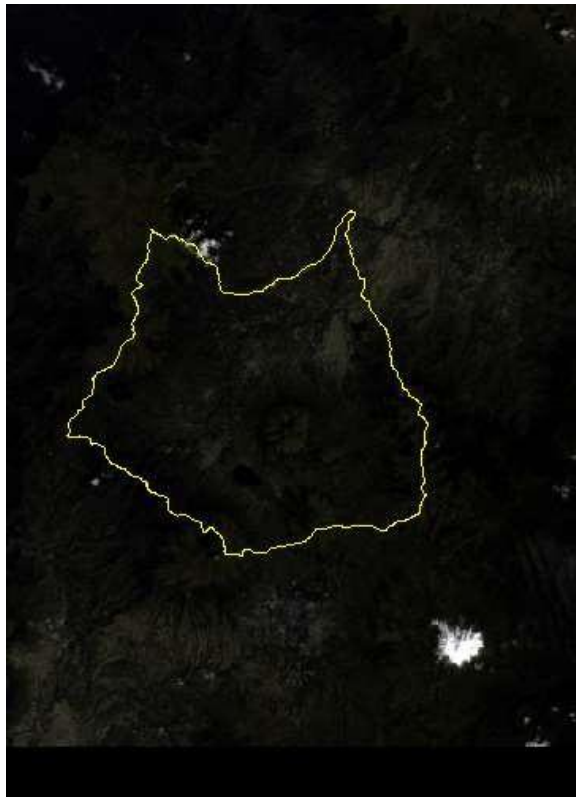
Las imágenes seleccionadas fueron las siguientes:



*Figura 10.* Imagen satelital Landsat, año 1991



*Figura 11.* Imagen satelital ASTER, año 2001



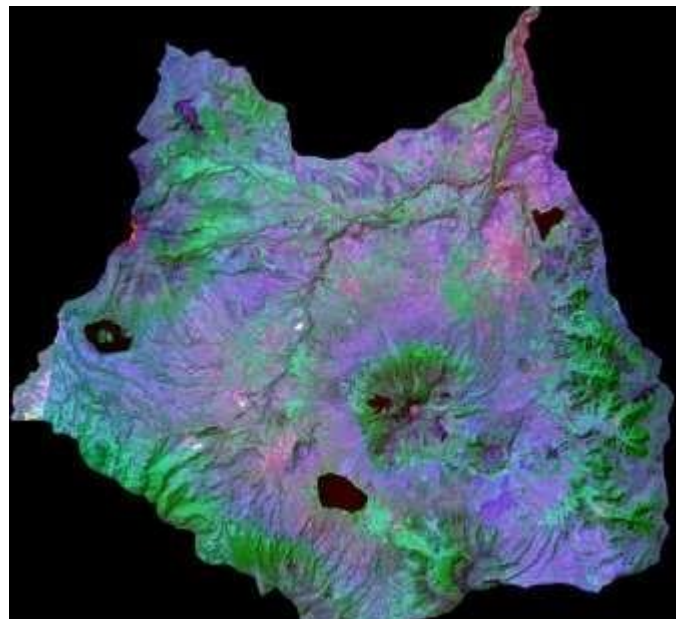
*Figura 12.* Imagen satelital Sentinel, año 2017

#### 4.1.1.2. Teledetección

Imágenes tratadas realizado con preprocesamiento, corrección atmosférica y corte de cada una de las imágenes.



*Figura 13.* Imagen satelital Landsat, año 1991



*Figura 14.* Imagen satelital ASTER, año 2001





*Figura 15.* Imagen satelital Sentinel, año 2017

#### 4.1.1.3. Análisis multitemporal y determinación de causas de cambios

La subcuenca tiene una superficie de 112090,8 hectáreas, una vez realizado el análisis multitemporal se constató que las principales causas de cambios fueron por influenciadas por acciones humanas. Realizado el análisis multitemporal de la imagen satelital Landsat TM se obtuvo para el año 1991 una superficie de pastos correspondiente a 8934,79 ha (7,96%); cultivos con una superficie de 39242,95 ha (34,94%); zonas pobladas con una superficie de 4003,07 ha (3,56%) (Ver anexo. *Figura 36*). Para el año 2001 usando una imagen satelital ASTER L1T los datos tienen ciertos cambios, los pastos aumentaron a 19777,53 ha (17,63%); los cultivos subieron con una superficie de 27841,77 ha (24,81%); y las zonas pobladas en las ciudades principales crecieron en 9035,09 ha (8,05%) (Ver anexo. *Figura 37*).

Como insumo la imagen satelital Sentinel 2B para el año 2017 la superficie de pastos corresponde a creció a 26731,43 ha (23,83%); los cultivos bajaron con una superficie de 28284,41 ha (25,22%); y las zonas pobladas crecieron con una superficie de 5625,71 ha (5,02%) (Ver anexo. *Figura 38*). Siendo similar los cambios de uso del suelo y cobertura vegetal en el estudio realizado por Rosero, M. (2017), en la microcuenca del río Tahuando determina que las causas principales de deforestación son la agricultura, ganadería y zonas pobladas. Usando una imagen Landsat determinó que para el año 2017 se evidenció que la zona ganadera ocupa el 7,07%, la agricultura obtuvo 47,99% y las zonas pobladas alcanzaron el 10,61%. Por otro lado, la Cobertura y uso de la Tierra del Ecuador

Continental según datos procesados del mapa interactivo Ministerio del Ambiente (2016), en la subcuenca del río Ambi el 8,71% representa a los bosques, los cuerpos de agua ocupan 1,32%, las tierras agropecuarias representan el 57,61%, la vegetación arbustiva y herbácea corresponde a 27,69%, y el 4,37% que corresponden a zonas antrópicas de la superficie total de la subcuenca que es de 112090,8 ha.

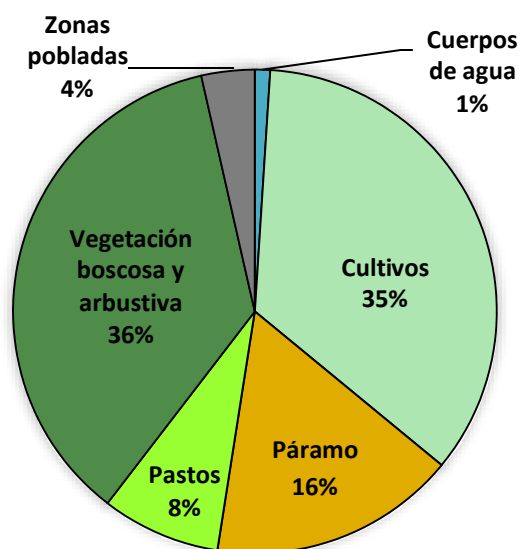
**a) Clasificación supervisada**

Realizado la clasificación de las imágenes satelitales de diferentes periodos se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 5**

*Superficie de uso del suelo y cobertura vegetal, año 1991*

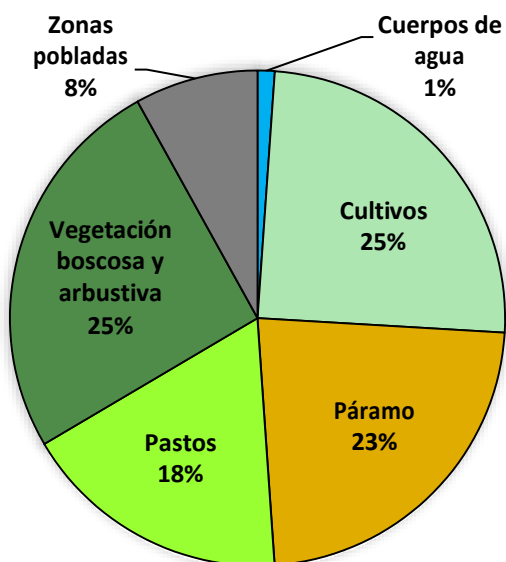
<b>Cobertura vegetal y uso del suelo</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Cuerpos de agua	1142,70	1,02
Cultivos	39242,95	34,94
Páramo	18551,60	16,52
Pastos	8934,79	7,96
Vegetación boscosa y arbustiva	40431,10	36,00
Zonas pobladas	4003,07	3,56



*Figura 16. Resultados de análisis multitemporal, año 1991*

**Tabla 6***Superficie de uso del suelo y cobertura vegetal, año 2001*

<b>Cobertura vegetal y uso del suelo</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Cuerpos de agua	1251,62	1,12
Cultivos	27841,77	24,81
Páramo	25763,19	22,96
Pastos	19777,53	17,63
Vegetación boscosa y arbustiva	28528,48	25,43
Zonas pobladas	9035,09	8,05

*Figura 17. Resultados del análisis multitemporal, año 2001***Tabla 7***Superficie de uso del suelo y cobertura vegetal, año 2017*

<b>Cobertura vegetal y uso del suelo</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Cuerpos de agua	1388,71	1,24
Cultivos	28284,41	25,22
Páramo	14615,58	13,03
Pastos	26731,43	23,83
Vegetación boscosa y arbustiva	35516,46	31,67
Zonas pobladas	5625,71	5,02

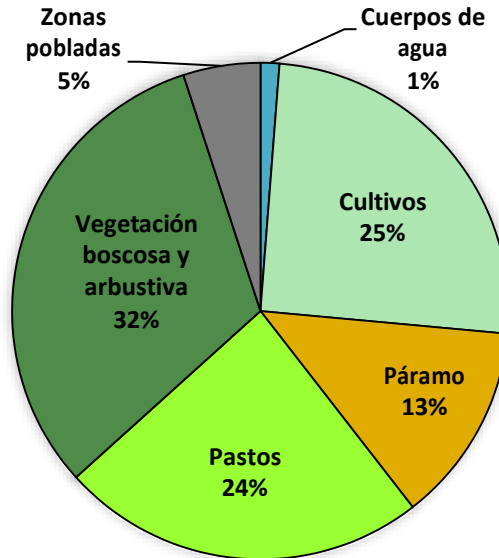


Figura 18. Resultados del análisis multitemporal, año 2017

#### b) Matriz de confusión e índice Kappa

La matriz de confusión e índice Kappa fueron aplicados para comprobar los resultados obtenidos en la clasificación supervisada (zonas de entrenamiento) con las clases temáticas obtenidas, demostrando la eficiencia y exactitud empleada en esta clasificación. En la Matriz de confusión se obtuvo un porcentaje del 96,67% y el índice Kappa fue de 0,96, es decir, un valor Kappa igual a 1 indica un acuerdo pleno entre la realidad y la clasificación digital de la imagen, mientras un valor cercano a 0 sugiere que el acuerdo observado es puramente debido al azar.

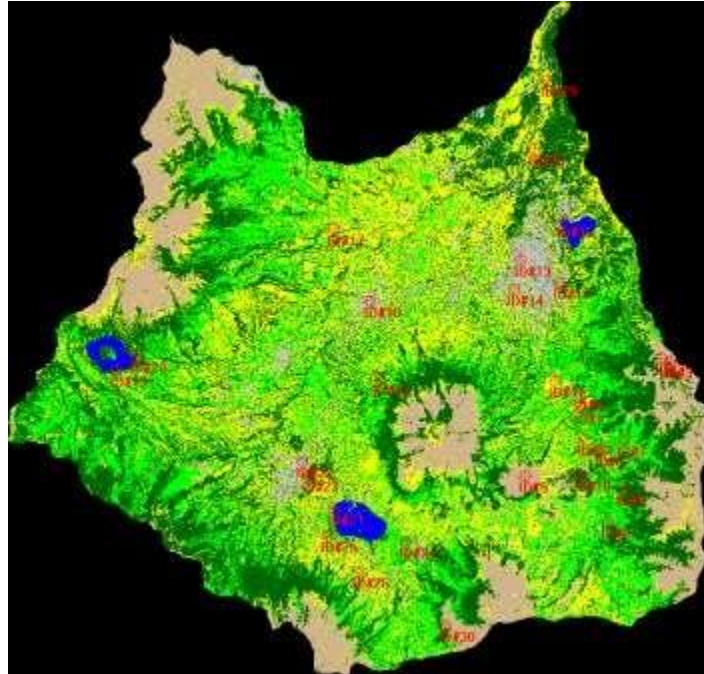


Figura 19. Puntos de control sobrepuestos en la clasificación supervisada imagen Sentinel, año 2017

**Tabla 8**

*Matriz de Confusión, imagen Sentinel, año 2017*

<b>Clases</b>	<b>Total muestras</b>	<b>Total clasificados</b>	<b>Correctos</b>	<b>Exactitud de productor</b>	<b>Exactitud del usuario</b>
Laguna de Cuicocha	1	1	1	100.00%	100.00%
Laguna de Yahuarcocha	1	1	1	100.00%	100.00%
Zonas pobladas	5	5	5	100.00%	100.00%
Pastos	6	7	6	100.00%	85.71%
Cultivos	6	5	5	83.33%	100.00%
Cultivos de caña	2	2	2	100.00%	100.00%
Vegetación boscosa y arbustiva	5	5	5	100.00%	100.00%
Páramo	3	3	3	100.00%	100.00%
Lago San Pablo	1	1	1	100.00%	100.00%
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>29</b>		
<b>Precisión de clasificación general =</b>			<b>96.67%</b>		

**Tabla 9***Índice Kappa, clasificación supervisada imagen Sentinel, año 2017*

<b>Clases</b>	<b>Kappa</b>
Laguna de Cuicocha	1.000
Laguna de Yahuarcocha	1.000
Zonas pobladas	1.000
Pastos	0.821
Cultivos	1.000
Cultivos de caña	1.000
Vegetación boscosa y arbustiva	1.000
Páramo	1.000
Lago San Pablo	1.000
<b><u>Precisión general del índice Kappa = 0.9606</u></b>	

**4.1.2. Determinación de la tasa de deforestación de la subcuenca del río Ambi**

El cálculo de la tasa de deforestación se realizó con los resultados que fueron obtenidos con la clasificación supervisada, por lo tanto, se acogen los resultados de áreas de cobertura vegetal para este cálculo en las que se tiene vegetación boscosa y arbustiva como también páramo.

$$r = \left( \frac{1}{t2 - t1} \right) \ln \left( \frac{A2}{A1} \right) * 100\%$$

Donde:

r: Tasa de deforestación en el Ecuador continental (%)

A1: Área de bosque inicial (ha)

A2: Área de bosque final (ha)

t1: Año inicial

t2: Año final

Entonces,

A1: 58982,70 ha

A2: 50132,04 ha

t1: 1991

t2: 2017

$$r = \left( \frac{1}{2017 - 1991} \right) \ln \left( \frac{50982,04}{58982,70} \right) * 100\%$$

$$r = -0,63\%$$

Al aplicar la fórmula se obtuvo una tasa de deforestación estimada de -0,63%, es decir, existe un cambio de uso de suelo en el periodo 1991-2017, teniendo un promedio de 340,41 hectáreas deforestadas anualmente o transformadas a otro uso de suelo. Los datos proporcionados en la línea base de deforestación realizado por el Ministerio de Ambiente (2012), se calculó la tasa de deforestación anual en el Ecuador Continental para el periodo 2000-2008 fue de -0,66%, correspondiente a 77.647 hectáreas deforestadas o áreas sometidas a cambios de uso del suelo. En el estudio realizado por Rosero, M. (2017) dentro de la microcuenca del río Tahuando se determinó una tasa de deforestación de -0,12% en el periodo 1991-2017, demostrando una pérdida de 14,45 hectáreas. Por lo tanto, es evidente que dentro de la subcuenca del río Ambi existe información de la pérdida histórica de cobertura vegetal en los últimos años.

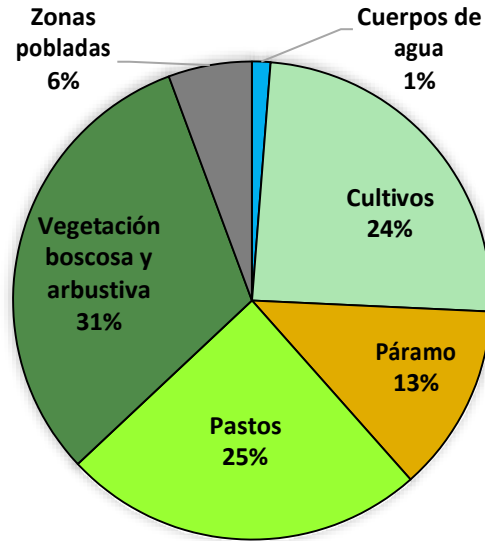
#### **4.1.3. Elaboración una predicción de uso del suelo al año 2050 a partir de las dinámicas historias de cobertura vegetal en la subcuenca del río Ambi**

Como insumo la clasificación supervisada de la imagen satelital Landsat (1991) y Sentinel (2017) se usó la herramienta LCM del software TerrSet, se procedió a calcular los cambios que se producirán para el año 2050. Los cuerpos de agua se mantendrán en un 1,24%, las áreas agropecuarias les corresponderá el 49,03%. La cobertura vegetal de la subcuenca se encontrará en un 44,07%, y las zonas pobladas ocuparán el 5,66%. La siguiente tabla detalla los cambios que ocurrirán en los próximos 33 años (Ver anexo. *Figura 39*).

**Tabla 10**

*Superficie de uso del suelo y cobertura vegetal, año 2050*

<b>Cobertura vegetal y uso del suelo</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Cuerpos de agua	1387,55	1,24
Cultivos	27472,2	24,49
Páramo	14280,6	12,73
Pastos	27529,03	24,54
Vegetación boscosa y arbustiva	35149,2	31,34
Zonas pobladas	6343,72	5,66



*Figura 20.* Resultados de la predicción de cambios, año 2050

En parte de la subcuenca, se realizó una predicción de cambios en el uso del suelo ubicada en la microcuenca del río Tahuando realizado por Rosero, M. (2017), con el uso de una imagen Landsat 8 muestra que para el año 2031 las zonas antrópicas crecerán, tanto que en la zona ganadera habrá un incremento de 0,03%, en cuanto a la agricultura disminuirá en 0,62%, y las zonas pobladas se incrementarán en 1,28%, dichas cifras concuerdan con la predicción al 2050 dentro de la subcuenca del río Ambi.



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Las causas de cambios en la subcuenca del río Ambi corresponde principalmente a las actividades antrópicas como la ganadería, agricultura, que los últimos años han variado en superficie debido a las diferentes necesidades de la sociedad.
- Las actividades agropecuarias para el año 1991 ocupan el 42,90% a diferencia que para el año 2017 corresponde al 49,05% de la superficie total de la subcuenca.
- Las zonas pobladas son una de las causas de cambio de uso del suelo siendo para el año 1991 4003,07 hectáreas (3,56%) mientras para el año 2017 fueron 5625,71 hectáreas (5,02%), mostrando un incremento de 1622,64 hectáreas (1,46%) en los últimos 26 años.
- La cobertura vegetal en la subcuenca ha sufrido cambios en el año 1991 correspondió a 58982,70 hectáreas equivalente al 52,52%, transcurrido 26 años para el año 2017 se redujo esta superficie a 50132,04 hectáreas, correspondiente al 44,70%.
- La tasa de deforestación estimada anual en el periodo 1991-2017 en la subcuenca del río Ambi es de -0,63%, evidenciándose una pérdida promedio anual de 340,41 hectáreas en los últimos 26 años.
- La dinámica en la cobertura vegetal de la subcuenca tendrá cambios negativos, debido al incremento de áreas en la zona ganadera y una pérdida considerable en la superficie agrícola.
- La expansión las zonas antrópicas para el año 2050 tendrán un efecto en las áreas de cobertura vegetal que se reducirán al 44,07% de la superficie total de la subcuenca.
- Las zonas pobladas por la expansión de las urbes crecerán un 0,64%, es decir, crecerán 21,75 hectáreas anuales en los próximos 33 años.
- Las áreas más susceptibles a cambios son las áreas que se encuentran cerca a poblados y zonas urbanas debido al crecimiento demográfico y a expansión de las urbes y a su vez la extensión de la frontera agropecuaria.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- La información cartográfica contribuirá con la toma de decisiones futuras de las instituciones que se encuentran inmersas en la subcuenca para mejorar la calidad de vida humana mediante un manejo integral de esta unidad hidrográfica.
- El método supervisado por su confiabilidad en la clasificación de cada firma espectral se sugiere usarla en estudios similares para comprender las dinámicas históricas de los cambios producidos en la cobertura vegetal y uso del suelo con mayor precisión.
- Los PDyOT provincial, cantonal y parroquial pueden implementar estrategias o lineamientos para la gestión sustentable de los recursos naturales, considerando los resultados de la presente investigación.
- Los datos proporcionados ubican áreas vulnerables que pueden ser restauradas en planes de reforestación para la gestión sustentable de los recursos naturales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L. (2014). *Una revisión de la evaluación de la calidad del agua de los ríos de la provincia de Imbabura* (tesis pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.
- Altieri, M. y Nicholls, C. (2004). *Biodiversity and pest management in agroecosystems*: Binghamton USA: Food Products Press.
- Altieri, M. (2009). *Agroecology, small farms and food sovereignty*. Monthly Review, 61(3), 102-111.
- Betancourt, P. y Martínez, J. (2017). *Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en la cuenca del río Pauto, departamento del Casanare* (tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.
- Bosque, J. 2000. *Sistemas de información geográfica*. Madrid, Ediciones Rialp, 451 pp.
- Cárcamo, M. y Rejas, J. (2015). *Análisis multitemporal mediante teledetección espacial y SIG del cambio de cobertura del suelo en el municipio de Danlí, El Paraíso, en los años 1987- 2011*. Memoria XIV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica Parte II.
- Carelli, J. y Valdez, C. (s.f.). *Teledetección*. 1ra. Edición para el alumno. Universidad Nacional de Tacumán, México. Recuperado de <http://www1.herrera.unt.edu.ar/biblcet/wpcontent/uploads/2017/06/TELEDETECCI%C3%93N.pdf>
- Cedeño, R. (2016). *Derechos de la naturaleza, y contaminación por desechos tóxicos en la subcuenca hidrográfica del río Ambi, provincia de Imbabura, primer semestre 2016* (título de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador.
- Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos, CLIRSEN. s.f. *Tasa de deforestación*. Quito: CLIRSEN.
- Cevallos, X. 2016. *Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo en la parroquia Vilcabamba*. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Chuvieco, E. (2000). *Fundamentos de Teledetección espacial*, Editorial RIALP, Madrid, España.

- Chuvienco, E. 1996. *Fundamentos de Teledetección. 3ª edición revisada*. Ediciones RIALP, Madrid. España.
- Clark Labs, Clark University. (2015). *TerrSet Software Features*. Obtenido de <https://clarklabs.org/>
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, COOTAD. (2010). Quito: Asamblea Nacional.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* 20, 37-46.
- Constitución de la República del Ecuador (2008). Ciudad Alfaró: Asamblea Constituyente.
- CORPONARIÑO. (2008). *Actualización del plan de ordenamiento y manejo la cuenca del río Pasto*.
- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. (2008). *Estudio multitemporal del uso del suelo y la cobertura vegetal de los cantones Limón Indanza, San Juan Bosco y Gualaquiza, Provincia Morona Santiago, Ecuador*.
- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, GTZ. (2010). *Metodología de análisis multitemporal de imágenes satelitales aplicable a nivel subnacional para los países miembros del CCAD: Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá, República Dominicana, (REDD-GTZ)*. Recuperado de [http://www.reddccadgiz.org/documentos/doc\\_1441494642.pdf](http://www.reddccadgiz.org/documentos/doc_1441494642.pdf)
- Earth Remote Sensing Data Analysis Center, ERSDAC. (2001). *Aster Level 1 Data Products Specification (GDS Version) Version 1.3*. Recuperado de [https://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03\\_data/04\\_documents/ASTER\\_L1\\_Product\\_Spec\\_Ver\\_1.3\\_July01.pdf](https://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03_data/04_documents/ASTER_L1_Product_Spec_Ver_1.3_July01.pdf)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (1995). *Forest resources assesment 1990*. Global Synthesis. FAO. Roma.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2009). *¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas?,*. Roma.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Términos y Definiciones*. Roma.
- Fondo para la Protección del Agua, FONAG. 2016. *Informe y Mapa consolidado de ecosistemas y uso del suelo homologado al Sistema Nacional de Clasificación de Ecosistemas (MAE, 2013)*. Quito, Ecuador.
- Fonseca, J. y Gómez, S. (2013). *Análisis multitemporal mediante imágenes Landsat caso de estudio: cambio de área laderas de la Ciénega de Tumaradó Paeque Natural Los Katíos* (tesis de posgrado). Universidad Militar Nueva Granada, España.
- Frank, N. (2017). Teledetección espacial Landsat, Sentinel 2, Aster L1T y Modis. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Huánuco, Perú.
- Hernández-Clemente, R., Cerrillo, R., Hernández-Bermejo, J., Royo, S., & Kasimis, N. (2009). *Analysis of Postfire Vegetation Dynamics of Mediterranean Shrub Species Based on Terrestrial and NDVI Data*. ENVIRONMENTAL MANAGEMENT.
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). (2010). Datos históricos, anuarios meteorológicos 1964-2010. Quito: INAMHI.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2013). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuarias Continua (ESPAC)*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México, INEGI. 2017. *Imágenes de satélite*. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/default.aspx>
- Lillesand, T., & Kiefer, R. (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation. 3rd Ed. John Wiley and Sons*. Inc. Toronto.
- Martínez, I. (2016). *Copernicus: Automatización de la descarga de imágenes de Sentinel* (tesis de pregrado). Universidad Pública de Navarra. Pamplona, España.
- Martínez, R., Montoya, A., Calderón, M., Camacho, N. (2015). *La cobertura vegetal en la cuenca del canal de Panamá*. Geoinstitutos. Recuperado el 05 enero 2018, de [http://www.geoinstitutos.com/art\\_03\\_cober2.asp](http://www.geoinstitutos.com/art_03_cober2.asp)

- Ministerio del Ambiente del Ecuador, MAE. (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.
- Ministerio del Ambiente. 2012. *Línea Base de Deforestación Ecuador Continental*. Quito-Ecuador.
- Ordoñez, J. (2011). *¿Qué es una cuenca hidrológica? Cartilla Técnica*. Sociedad Geográfica de Lima – Foro Peruano para el agua. Lima- Perú.
- Pérez, D. (2007). *Introducción a los Sensores Remotos - Aplicaciones en Geología*. Universidad de Buenos Aires. Recuperado el 05 de febrero de 2018, de [http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso\\_SR/Guia\\_Curso\\_sr\\_2007.pdf](http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso_SR/Guia_Curso_sr_2007.pdf)
- Pérez, M. y García, M. (2011). Aplicaciones de la teledetección en degradación de suelos. *Boletín de la Asociación de Geográficos Españoles N.º 61 - 2013*, 285-308. Recuperado de [http://eprints.ucm.es/32690/1/2013\\_BAGE\\_14-PEREZ.pdf](http://eprints.ucm.es/32690/1/2013_BAGE_14-PEREZ.pdf)
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Antonio Ante 2012-2030. (2012)  
Recuperado de [https://www.antonioante.gob.ec/AntonioAnte/images/PDF/plan\\_desarrollo\\_cantonal\\_2011.pdf](https://www.antonioante.gob.ec/AntonioAnte/images/PDF/plan_desarrollo_cantonal_2011.pdf)
- Plan Nacional de Desarrollo 2013-2017. Plan Nacional para el Buen Vivir. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Senplades 2013. Quito- Ecuador.
- Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Senplades 2017. Quito- Ecuador.
- Puyravaud J. 2003. *Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation*. *Forest Ecology and Management* 177:593-596.
- Romero, F. S. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista AquaTIC* (Nº24), 13p - 44p.
- Rosero, M. (2017). *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* (tesis de postgrado). Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.

- Rosete, F. y Bocco, G. (2003). *Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los planes de manejo en comunidades forestales*. Gaceta Ecológica, 43-54. Recuperado de <http://wqw.redalyc.org/articulo.oa?id=53906805>
- Salitchev, K. A. (1979). *Cartografía*. Editorial Pueblo y Educación, MES. La Habana, Cuba.
- Sánchez, R. 2003. *La Deforestación en el Ecuador*. Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos, CLIRSEN.
- Senagua (Secretaría Nacional del Agua). (2009). Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador, escala 1:250 000, nivel 5. Metodología Pfafstetter.
- Senplades (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo). (2013). *Ficha Metodológica*. Tasa de deforestación.
- Senplades (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo). (2009). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021*. Quito: Senplades.
- TELEDET. (2017). *¿Qué es una imagen satelital?.* Recuperado el 20 de enero de 2018, de <http://www.teledet.com.uy/imagen-satelital.htm>
- Trejos, N. (2008). *Dinámica del uso de la tierra e identificación de las áreas críticas de la región de playa Venado, provincia de Los Santos, República de Panamá*.

## **WEBGRAFÍA**

- Instituto Espacial Ecuatoriano. (IEE): Geoportal. Recuperado el 17 de mayo de 2018, de <http://www.ideportal.iee.gob.ec/>
- Instituto Geográfico Militar. (2016): Geoportal. Recuperado el 01 de mayo de 2018, de <http://www.geoportalignm.gob.ec/portal/>
- The Copernicus Open Access Hub (2017): Geoportal. Recuperado el 25 de junio de 2017, de <https://scihub.copernicus.eu/>

## ANEXOS



*Figura 21.* Levantamiento de puntos de control de la cobertura y uso del suelo



*Figura 22.* Punto de control, clase cultivos (Otavalo)





*Figura 23.* Punto de control, clase vegetación boscosa y arbustiva (Zuleta)



*Figura 24.* Punto de control, clase cuerpos de agua (Laguna Cuicocha)



*Figura 25. Puntos de control, clase zona urbana (Quiroga)*

CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

-----  
 Image File : d:/1\_gesuren/ambi\_imagenes/sentinel\_2017/tratamiento\_6/cs\_6/cs\_sentinel\_6.img  
 User Name : Edwin Rosero  
 Date : Thu Mar 28 06:22:39 2019

ACCURACY TOTALS

Recorte rectangular

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Unclassified	0	0	0	---	---
Laguna Cuicocha	1	1	1	100.00%	100.00%
Laguna Yahuarcocha	1	1	1	100.00%	100.00%
Zonas pobladas	5	5	5	100.00%	100.00%
Pastos	6	7	6	100.00%	85.71%
Cultivos	6	5	5	83.33%	100.00%
Cultivos caña	2	2	2	100.00%	100.00%
Vegetación boscosa a	5	5	5	100.00%	100.00%
Vegetación boscosa s	0	0	0	---	---
Páramo	3	3	3	100.00%	100.00%
Lago San Pablo	1	1	1	100.00%	100.00%
<b>Totals</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>29</b>		

Overall Classification Accuracy = 96.67%

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

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

Overall Kappa Statistics = 0.9606

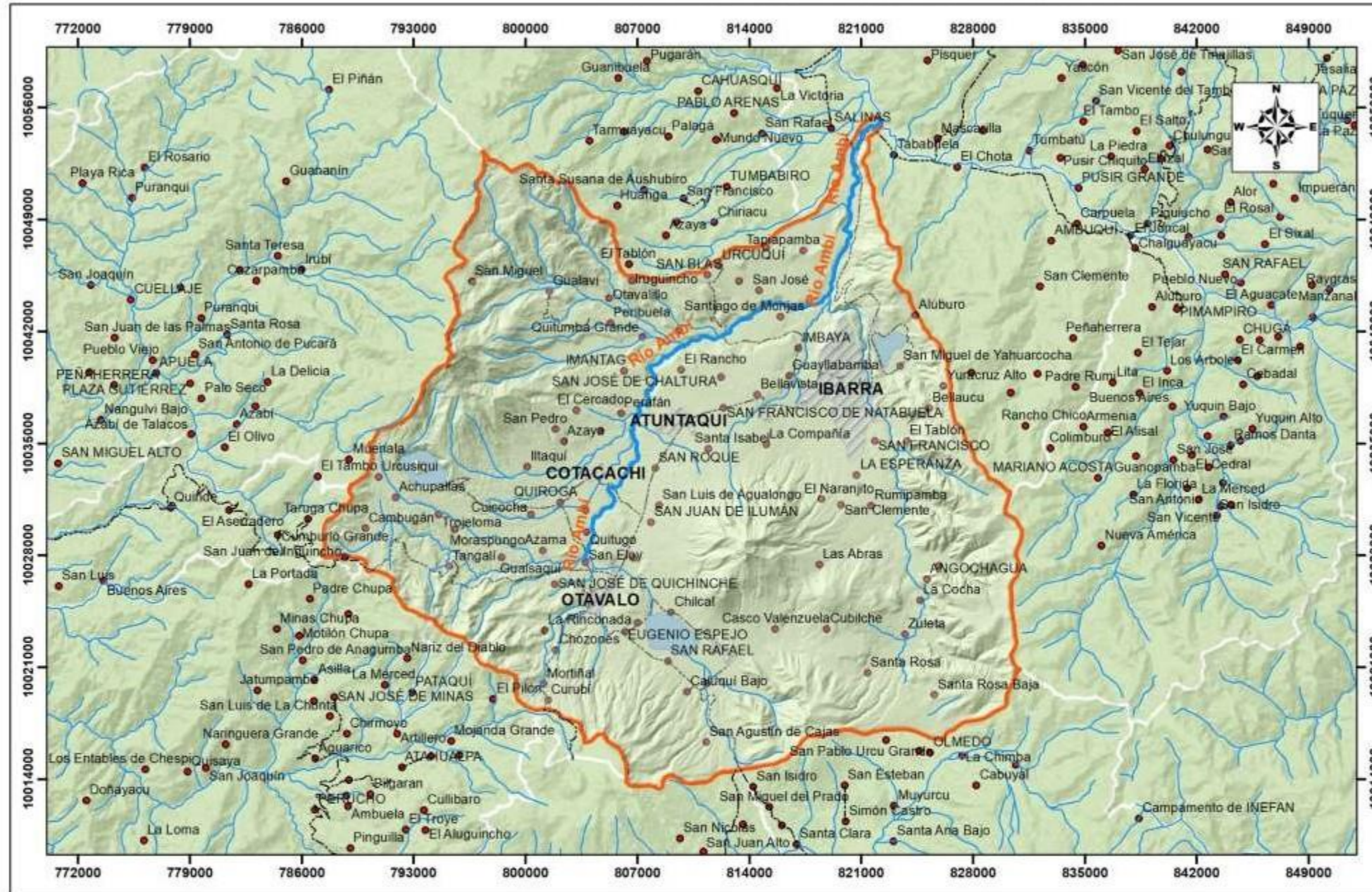
Conditional Kappa for each Category.

Class Name	Kappa
Unclassified	0.0000
Laguna Cuicocha	10.000
Laguna Yahuarcocha	10.000
Zonas pobladas	10.000
Pastos	0.8214
Cultivos	10.000
Cultivos caña	10.000
Vegetación boscosa y arbustiva	10.000
Vegetación boscosa seca	0.0000
Páramo	10.000
Lago San Pablo	10.000

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

Figura 26. Matriz de Confusión e Índice Kappa, imagen Sentinel, año 2017

# SUBCUENCA RÍO AMBI



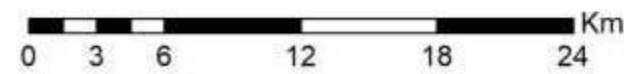
MAPA 1 DE 13

## SIMBOLOGÍA

-  Río Ambi
-  Ríos
-  Zonas urbanas
-  Vías primarias
-  Cuerpos de agua
-  Poblados
-  Subcuenca del río Ambi

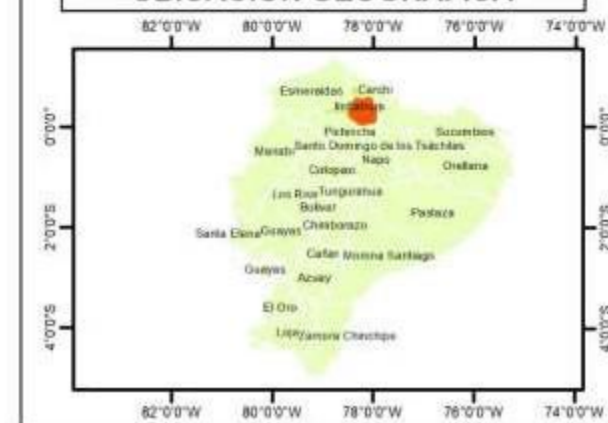



## UBICACIÓN PROVINCIAL



1:300,000  
PROYECCIÓN UTM  
DATUM WGS 84, ZONA 17 S

## UBICACIÓN GEOGRÁFICA

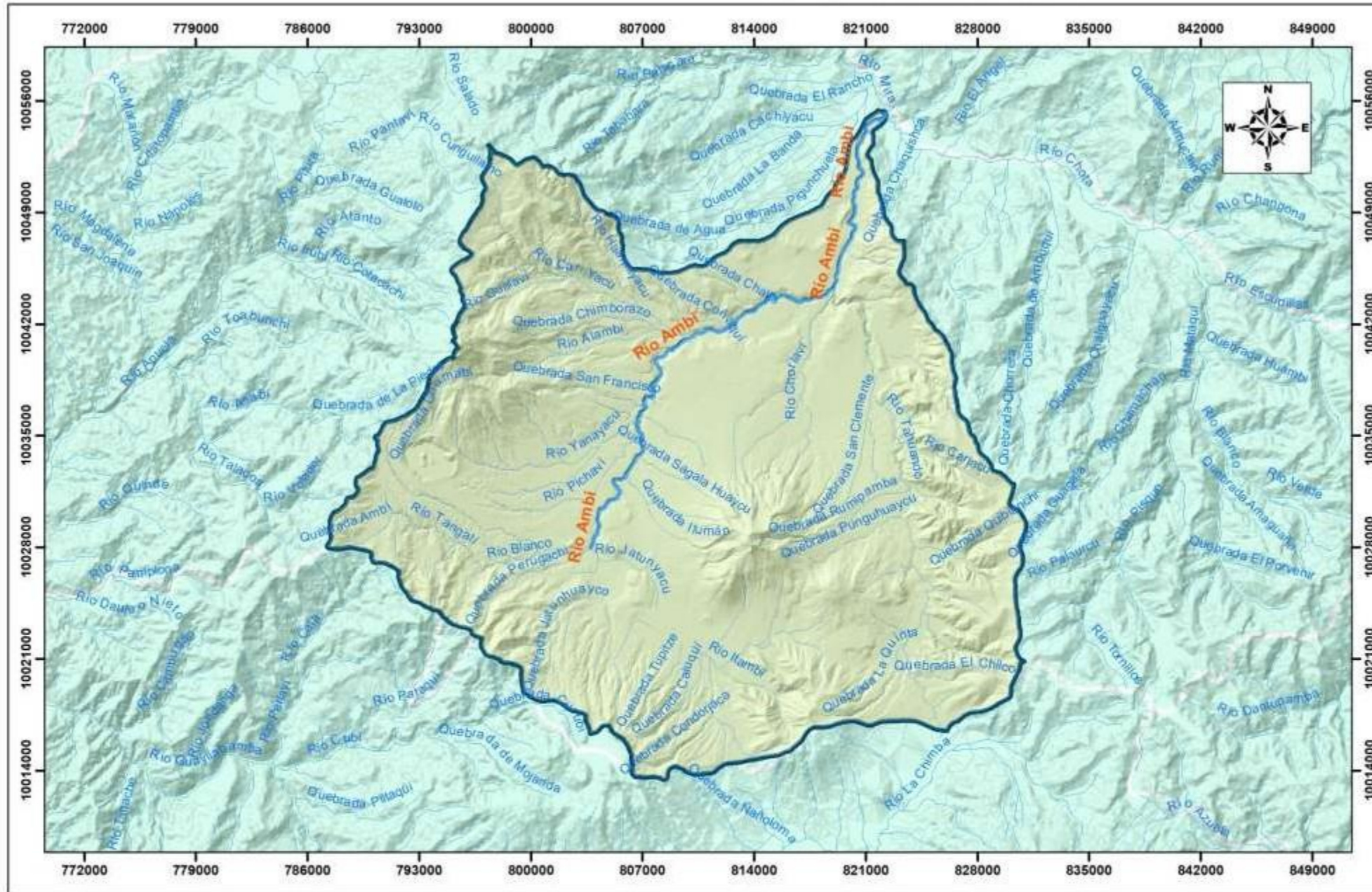


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  Instituto de Posgrado  
Maestría en Gestión Sustentable  
de Recursos Naturales

CONTIENE:		Subcuenca río Ambi	
ELABORACIÓN:	Ing. Edwin Rosero	TUTOR:	Ing. José Guzmán, MSc,
FUENTE:	Cartas T. IGM 1:50.000	MAPA:	1 de 13
FECHA:	Febrero, 2019	ESCALA:	1: 300 000

Figura 27. Mapa base

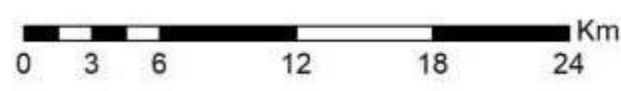
# RED HÍDRICA



**MAPA 2 DE 13**

**SIMBOLOGÍA**

- Red Hídrica
- Río Ambi
- Demográfica del río Mira
- Subcuenca del río Ambi



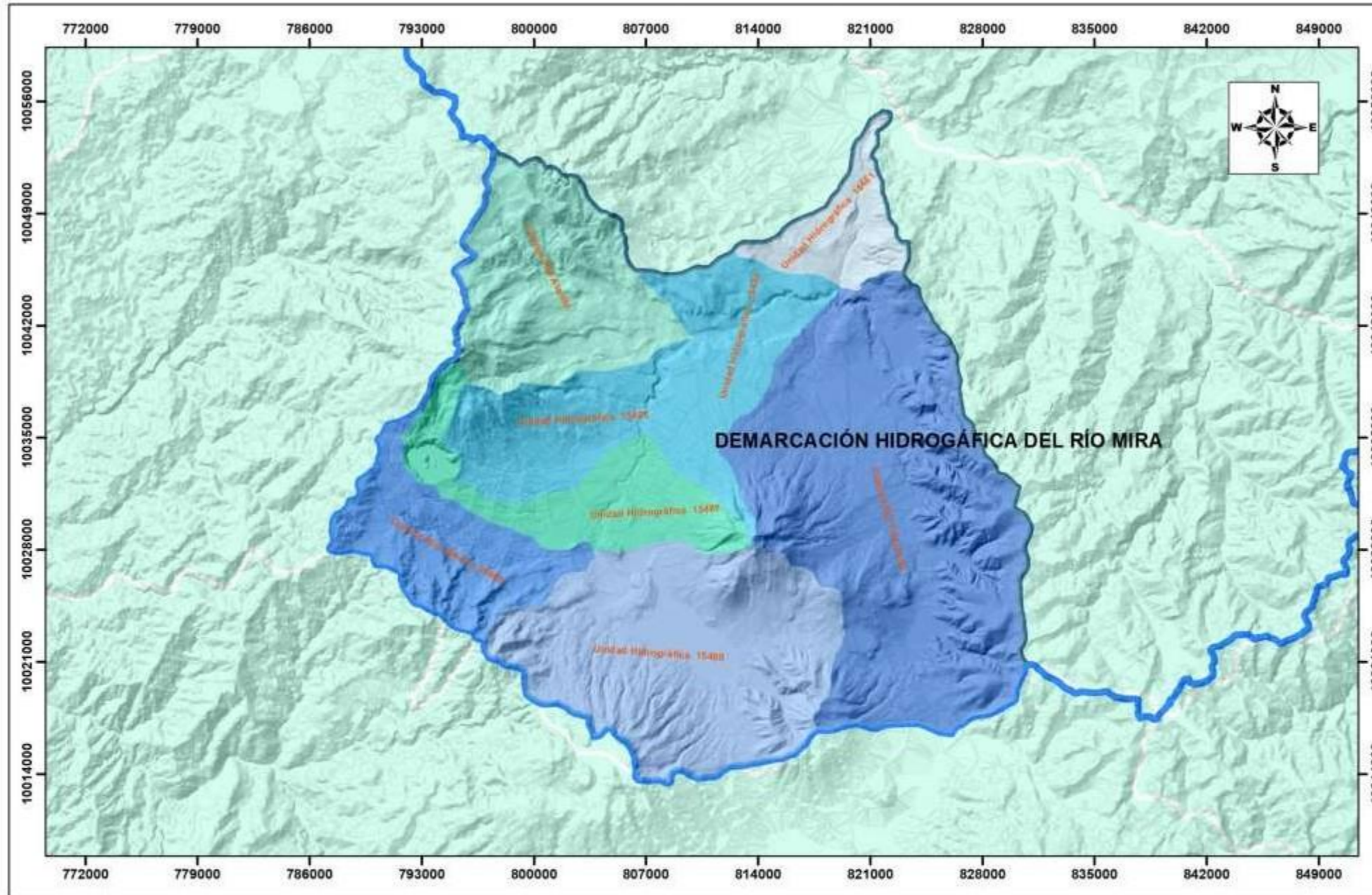
1:300,000  
**PROYECCIÓN UTM  
 DATUM WGS 84, ZONA 17 S**



<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE</b>			
<b>Instituto de Posgrado</b> Maestría en Gestión Sustentable de Recursos Naturales			
<b>CONTIENE: Red Hídrica</b>			
<b>ELABORACIÓN:</b>	Ing. Edwin Rosero	<b>TUTOR:</b>	Ing. José Guzmán, MSc.
<b>FUENTE:</b>	SENAGUA, 2014	<b>MAPA:</b>	2 de 13
<b>FECHA:</b>	Febrero, 2019	<b>ESCALA:</b>	1: 300 000

Figura 28. Mapa de red hídrica

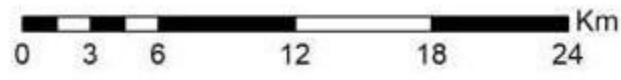
# CLASIFICACIÓN PFAFSTETTER



MAPA 3 DE 13

## SIMBOLOGÍA

- Demográfica del río Mira
- Subcuenca del río Ambi
- Unidad Hidrográfica 15481
- Unidad Hidrográfica 15483
- Unidad Hidrográfica 15485
- Unidad Hidrográfica 15487
- Unidad Hidrográfica 15489
- Cuenca Río Blanco 15488
- Cuenca Río Alambi
- Cuenca Río Pichavi
- Cuenca Río Tahuando



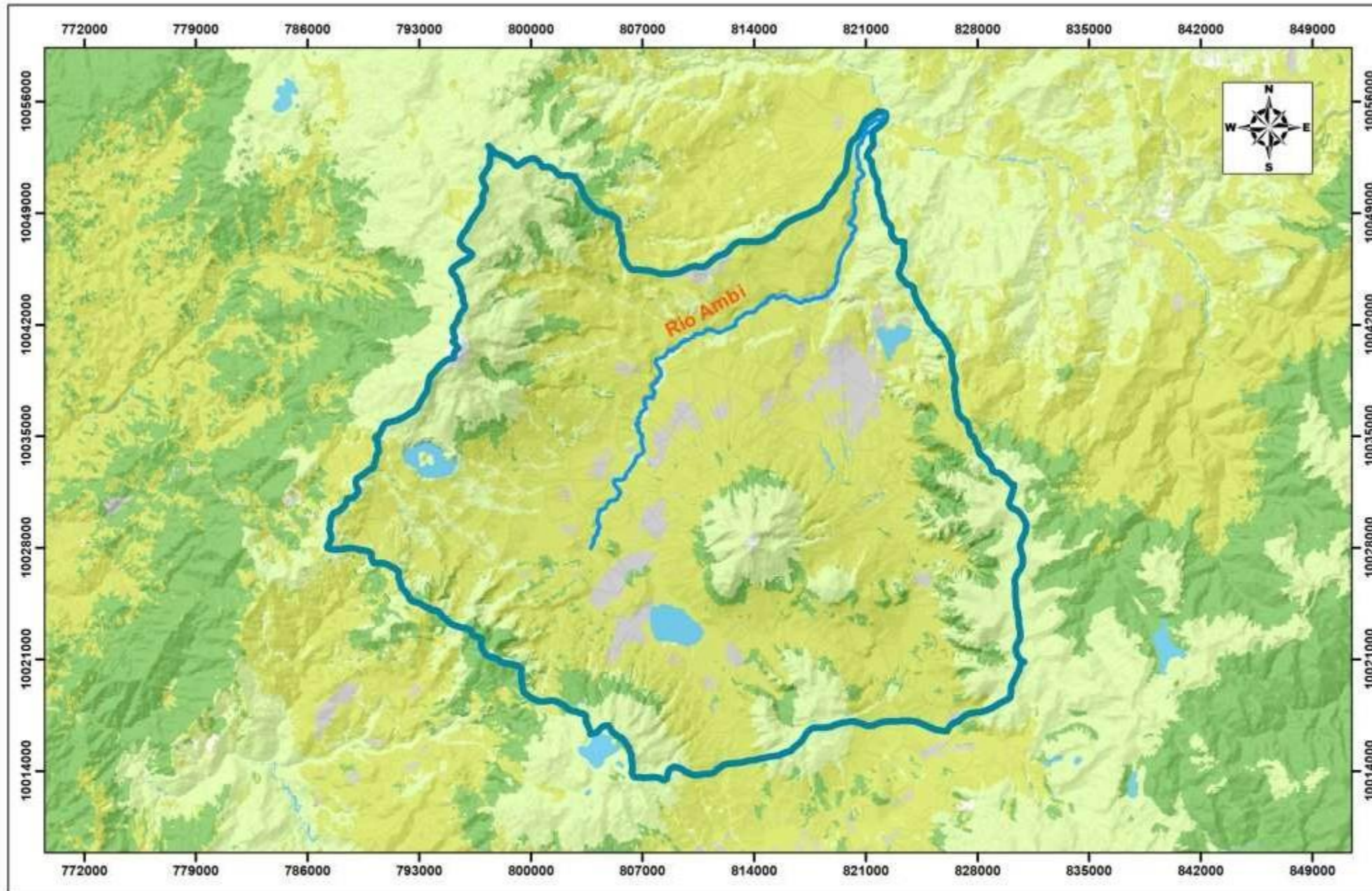
1:300,000  
PROYECCIÓN UTM  
DATUM WGS 84, ZONA 17 S



<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE</b> Instituto de Posgrado Maestría en Gestión Sustentable de Recursos Naturales	
<b>Clasificación Pfafstetter</b>	
CONTIENE:	
ELABORACIÓN:	Ing. Edwin Rosero
TUTOR:	Ing. José Guzmán, MSc.
FUENTE:	SENAGUA, 2014
MAPA:	3 de 13
FECHA:	Febrero, 2019
ESCALA:	1: 300 000

Figura 29. Clasificación Pfafstetter

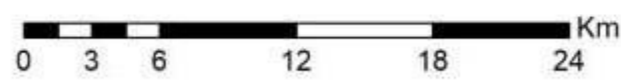
# COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO SUBCUENCA RÍO AMBI



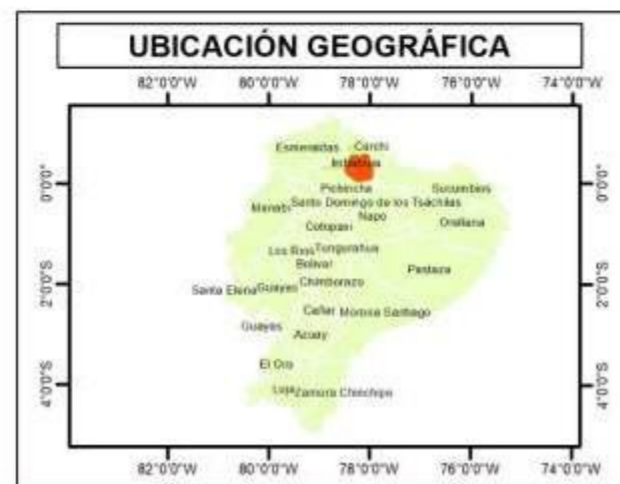
**MAPA 4 DE 13**

**SIMBOLOGÍA**

- Río Ambi
- Subcuenca del río Ambi
- Bosque
- Cuerpos de agua
- Otras tierras
- Tierra agropecuaria
- Vegetación arbustiva y herbácea
- Zona antrópica

1:300,000  
**PROYECCIÓN UTM  
 DATUM WGS 84, ZONA 17 S**




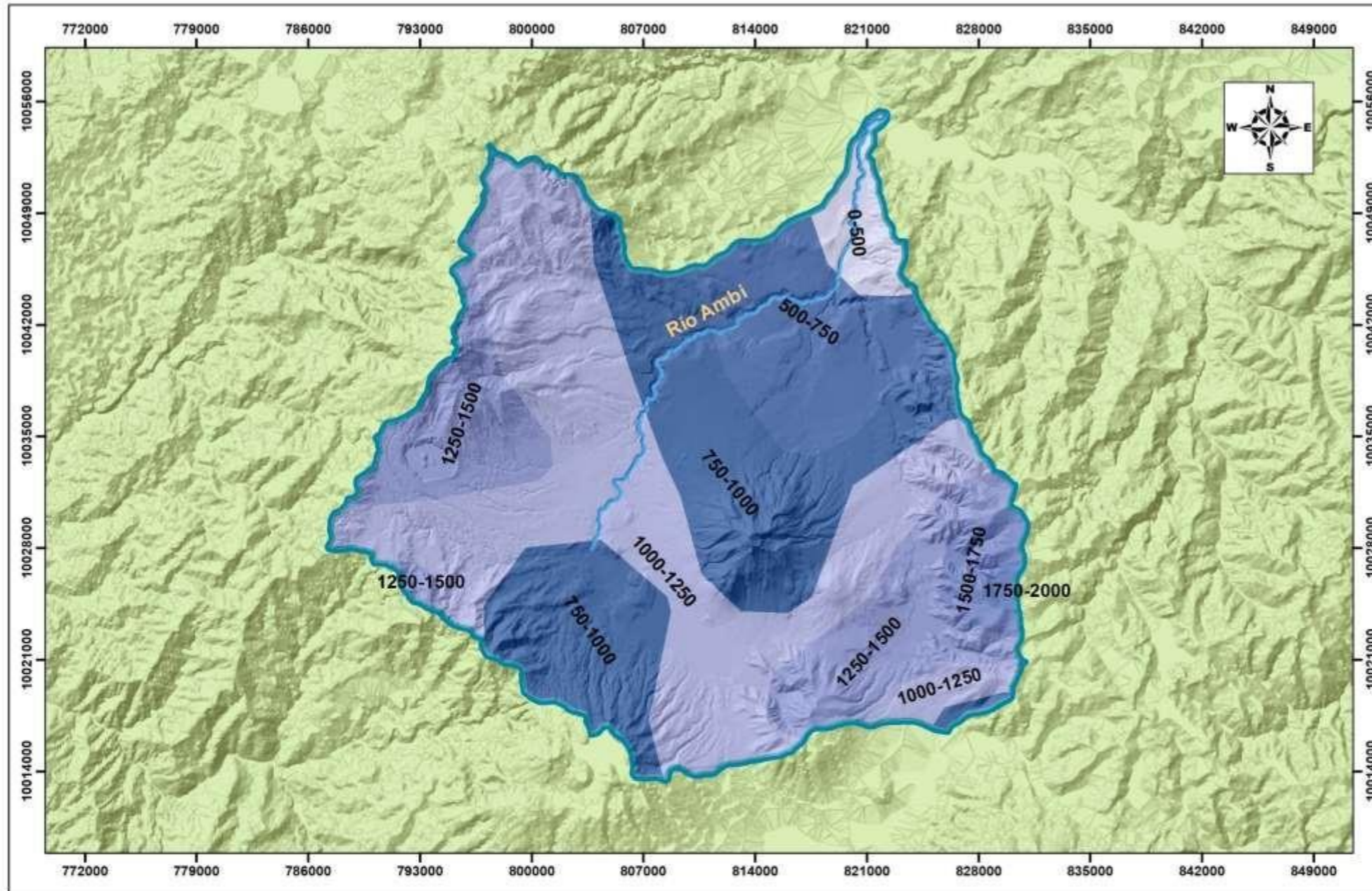
<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE</b>		 Instituto de Postgrado	
<b>Instituto de Posgrado</b>			
Mestría en Gestión Sustentable de Recursos Naturales			
<b>CONTIENE:</b>		<b>Cobertura vegetal y uso del suelo</b>	
<b>ELABORACIÓN:</b>	Ing. Edwin Rosero	<b>TUTOR:</b>	Ing. José Guzmán, MSc.
<b>FUENTE:</b>	MAE, 2016	<b>MAPA:</b>	4 de 13
<b>FECHA:</b>	Febrero, 2019	<b>ESCALA:</b>	1: 300 000

Figura 30. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo

# ISOYETAS



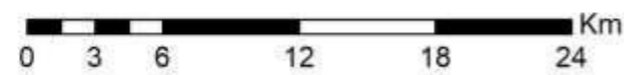
**MAPA 5 DE 13**

**SIMBOLOGÍA**

- Rio Ambi
- Subcuenca del río Ambi

**Isoyeta (mm)**

- 0-500
- 1000-1250
- 1250-1500
- 1500-1750
- 1750-2000
- 500-750
- 750-1000



1:300,000  
**PROYECCIÓN UTM  
 DATUM WGS 84, ZONA 17 S**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE** Instituto de Posgrado

**Instituto de Posgrado**  
 Maestría en Gestión Sustentable  
 de Recursos Naturales

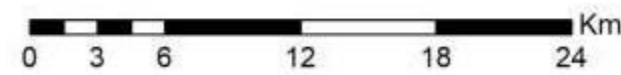
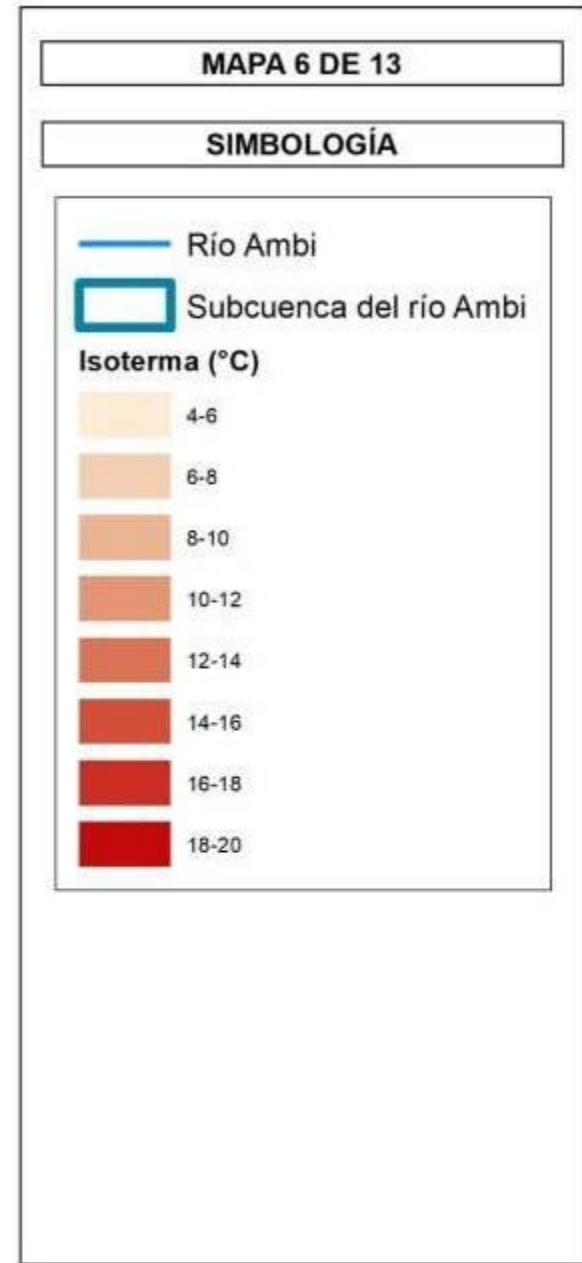
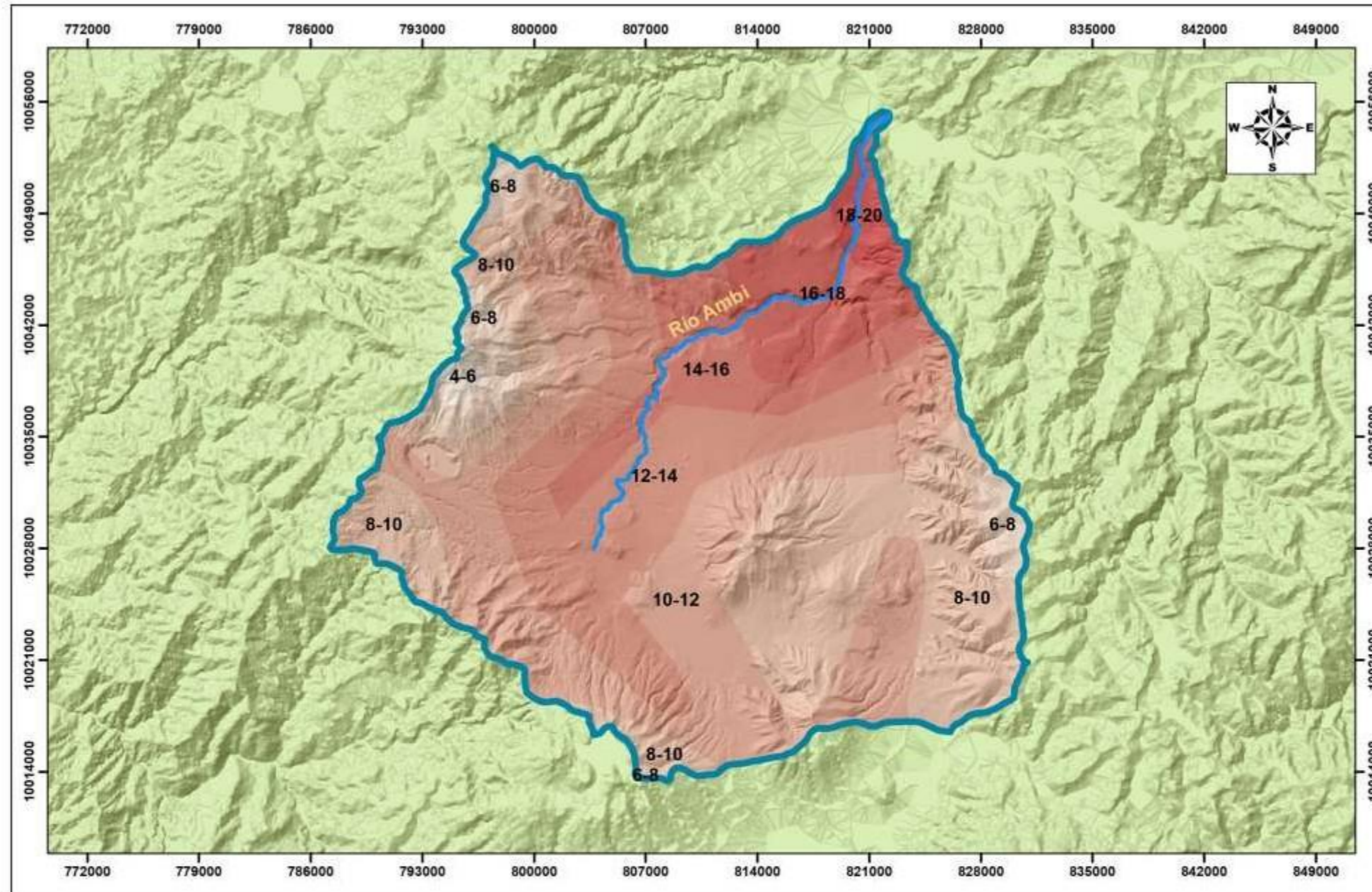
**CONTIENE:** **Isoyetas**

<b>ELABORACIÓN:</b> Ing. Edwin Rosero	<b>TUTOR:</b> Ing. José Guzmán, MSc.
<b>FUENTE:</b> INAMHI, 2008	<b>MAPA:</b> 5 de 13
<b>FECHA:</b> Febrero, 2019	<b>ESCALA:</b> 1: 300 000

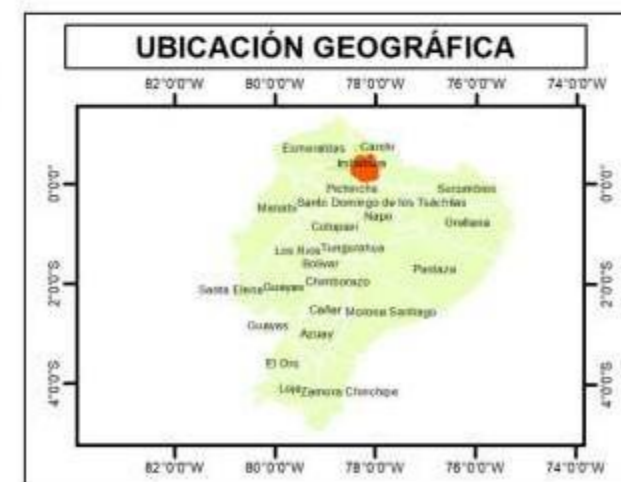
Figura 31. Mapa de isoyetas



# ISOTERMAS



1:300,000  
**PROYECCIÓN UTM  
 DATUM WGS 84, ZONA 17 S**



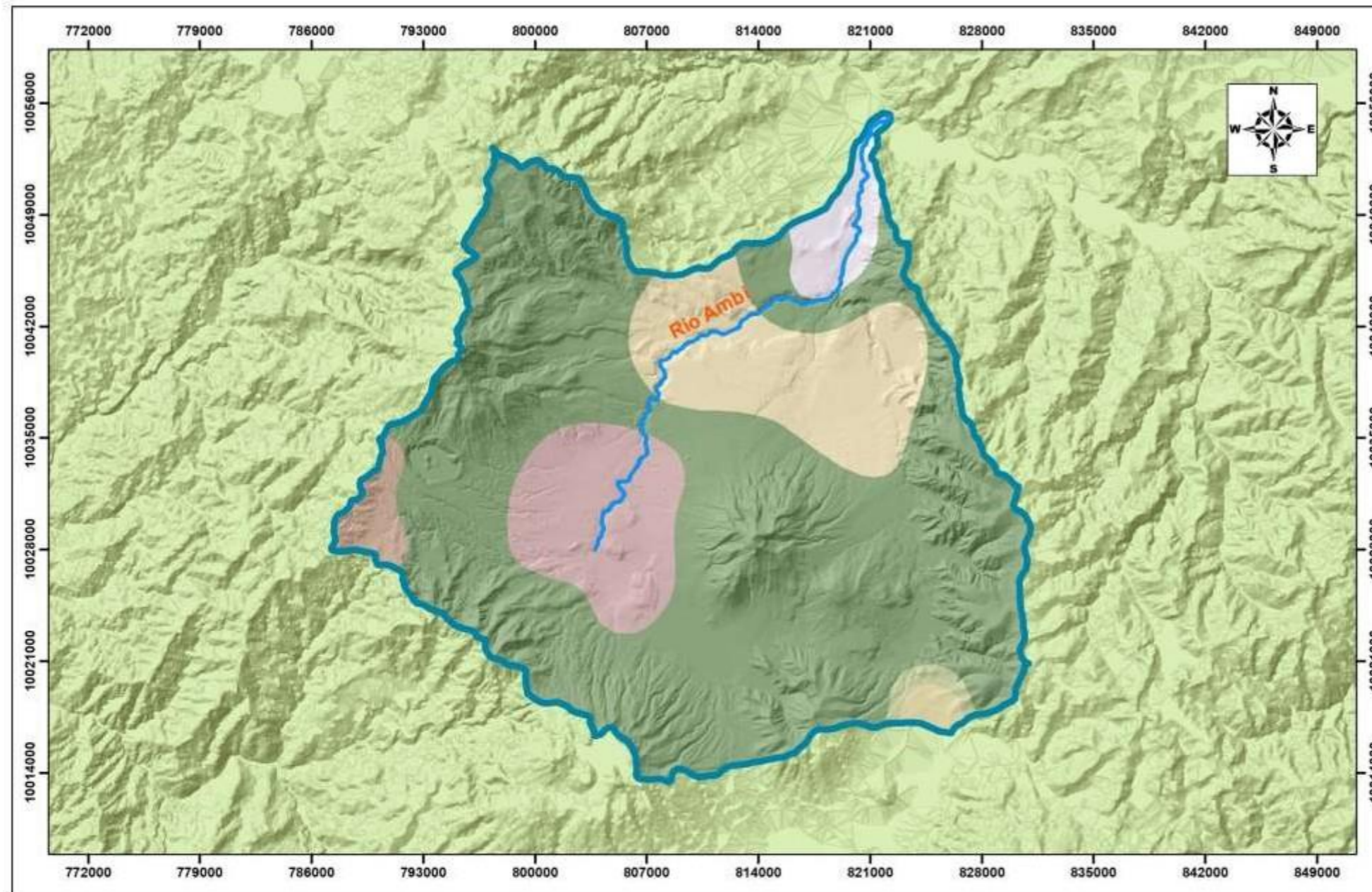
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE** Instituto de Posgrado

**Instituto de Posgrado**  
 Maestría en Gestión Sustentable  
 de Recursos Naturales

<b>CONTIENE:</b>		<b>Isotermas</b>	
<b>ELABORACIÓN:</b>	Ing. Edwin Rosero	<b>TUTOR:</b>	Ing. José Guzmán, MSc.
<b>FUENTE:</b>	INAMHI, 2008	<b>MAPA:</b>	6 de 13
<b>FECHA:</b>	Febrero, 2019	<b>ESCALA:</b>	1: 300 000

Figura 32. Mapa de isotermas

# CLIMA



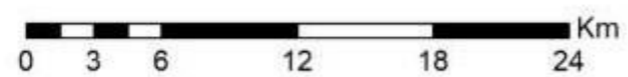
MAPA 7 DE 13

SIMBOLOGÍA

- Río Ambi
- Subcuenca del río Ambi
- Clima**
- Clima Subhúmedo con pequeño déficit de agua. Mesotérmico templado frío
- Clima seco sin exceso de agua. Mesotérmico templado cálido
- Clima seco sin exceso de agua. Mesotérmico semifrío
- Clima seco sin exceso de agua. Mesotérmico templado cálido
- Clima subhúmedo con pequeño déficit de agua. Mesotérmico semifrío
- Clima subhúmedo sin exceso de agua. Mesotérmico templado frío
- Clima árido sin exceso de agua. Mesotérmico templado cálido



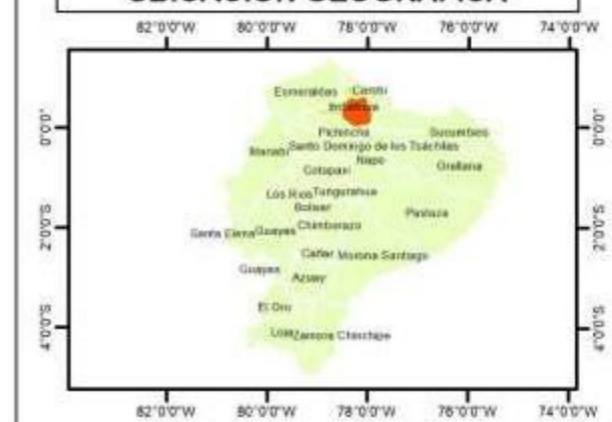
## UBICACIÓN PROVINCIAL



1:300,000

PROYECCIÓN UTM  
DATUM WGS 84, ZONA 17 S

## UBICACIÓN GEOGRÁFICA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE Instituto de Posgrado  
Maestría en Gestión Sustentable  
de Recursos Naturales

CONTIENE:	Clima	
ELABORACIÓN:	Ing. Edwin Rosero	TUTOR: Ing. José Guzmán, MSc.
FUENTE:	MAGAP, 2003	MAPA: 7 de 13
FECHA:	Febrero, 2019	ESCALA: 1: 300 000

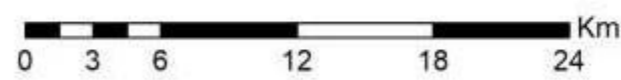
Figura 33. Mapa de clima

# TEXTURA DE SUELO

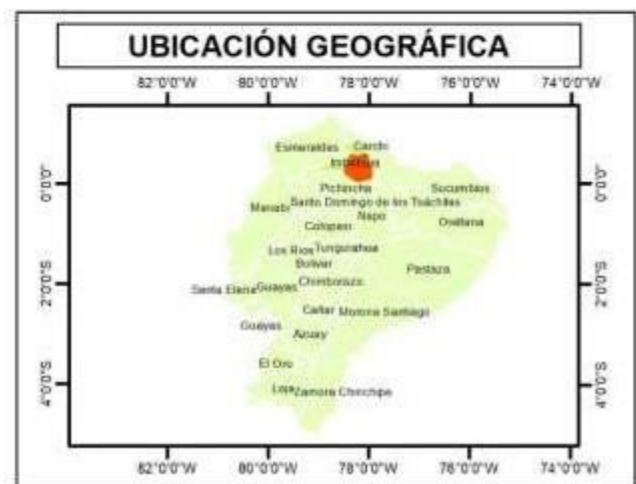


MAPA 8 DE 13

## SIMBOLOGÍA



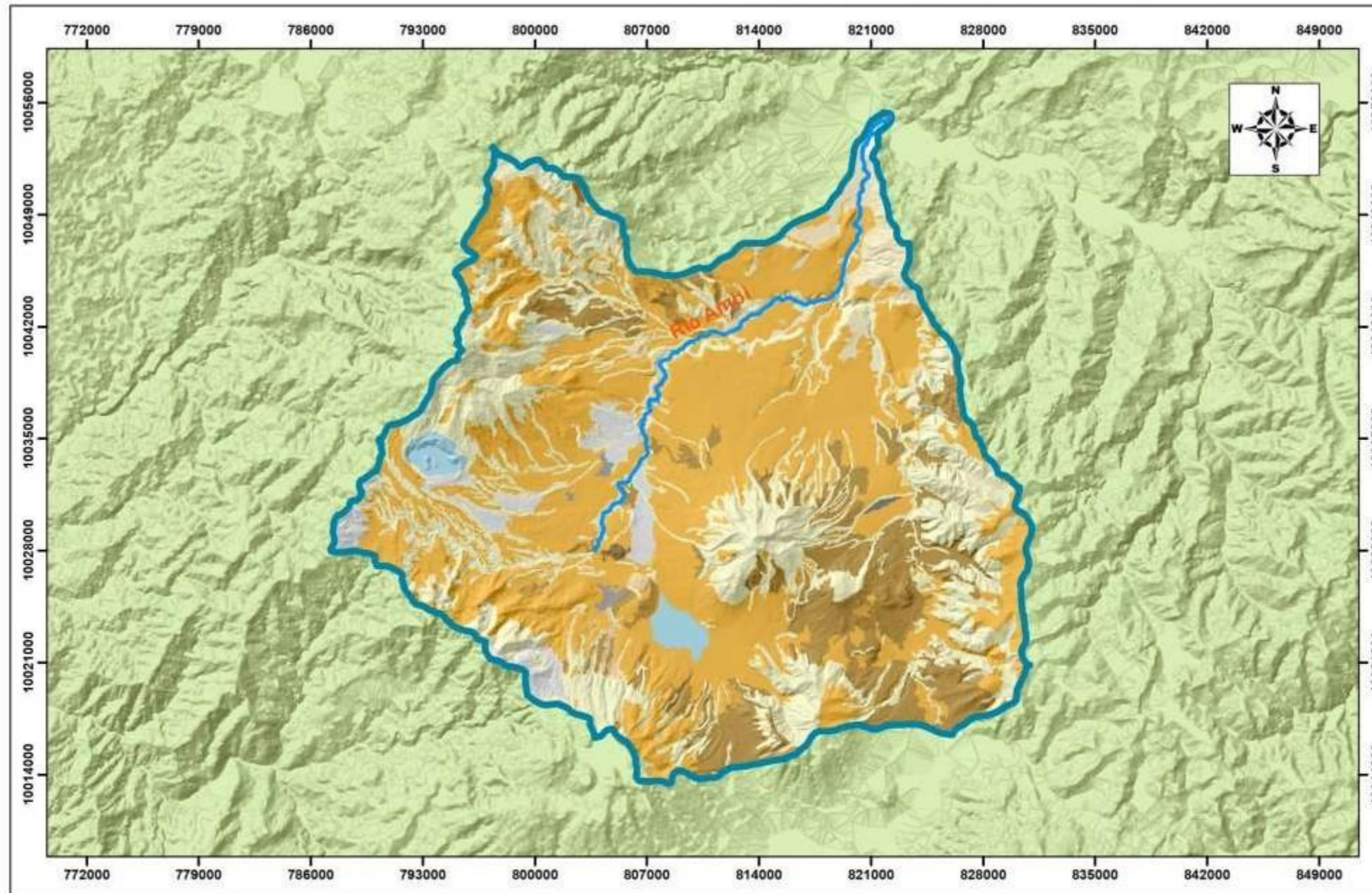
1:300,000  
PROYECCIÓN UTM  
DATUM WGS 84, ZONA 17 S



<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE</b> Instituto de Posgrado	
Instituto de Posgrado Maestría en Gestión Sustentable de Recursos Naturales	
<b>CONTIENE: Tipo de suelo</b>	
ELABORACIÓN: Ing. Edwin Rosero	TUTOR: Ing. José Guzmán, MSc.
FUENTE: SIGTIERRAS, 2014	MAPA: 8 de 13
FECHA: Febrero, 2019	ESCALA: 1: 300 000

Figura 34. Mapa de textura del suelo

# TAXONOMÍA DEL SUELO

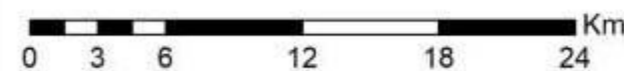


MAPA 9 DE 13

SIMBOLOGÍA

- Río Ambi
- Subcuenca del río Ambi
- Taxonomía del suelo**
- ORDEN**
- Cuepos de agua
- Entisoles
- Entisoles - Mollisoles
- Inceptisoles
- Inceptisoles- Mollisoles
- Mollisoles
- Mollisoles - Inceptisoles
- Sin información
- Zonas urbanas
- Roca
- Sin suelo

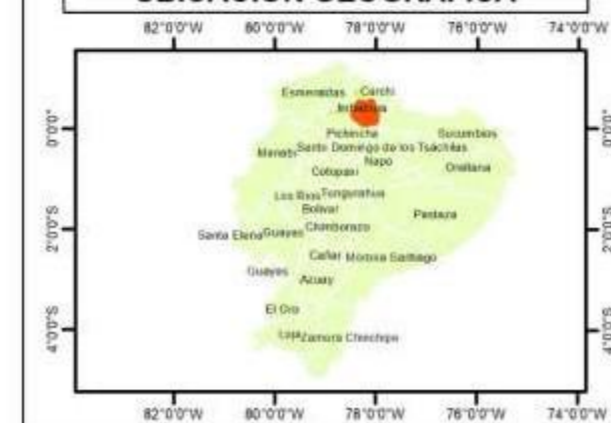
## UBICACIÓN PROVINCIAL



1:300,000

PROYECCIÓN UTM  
DATUM WGS 84, ZONA 17 S

## UBICACIÓN GEOGRÁFICA

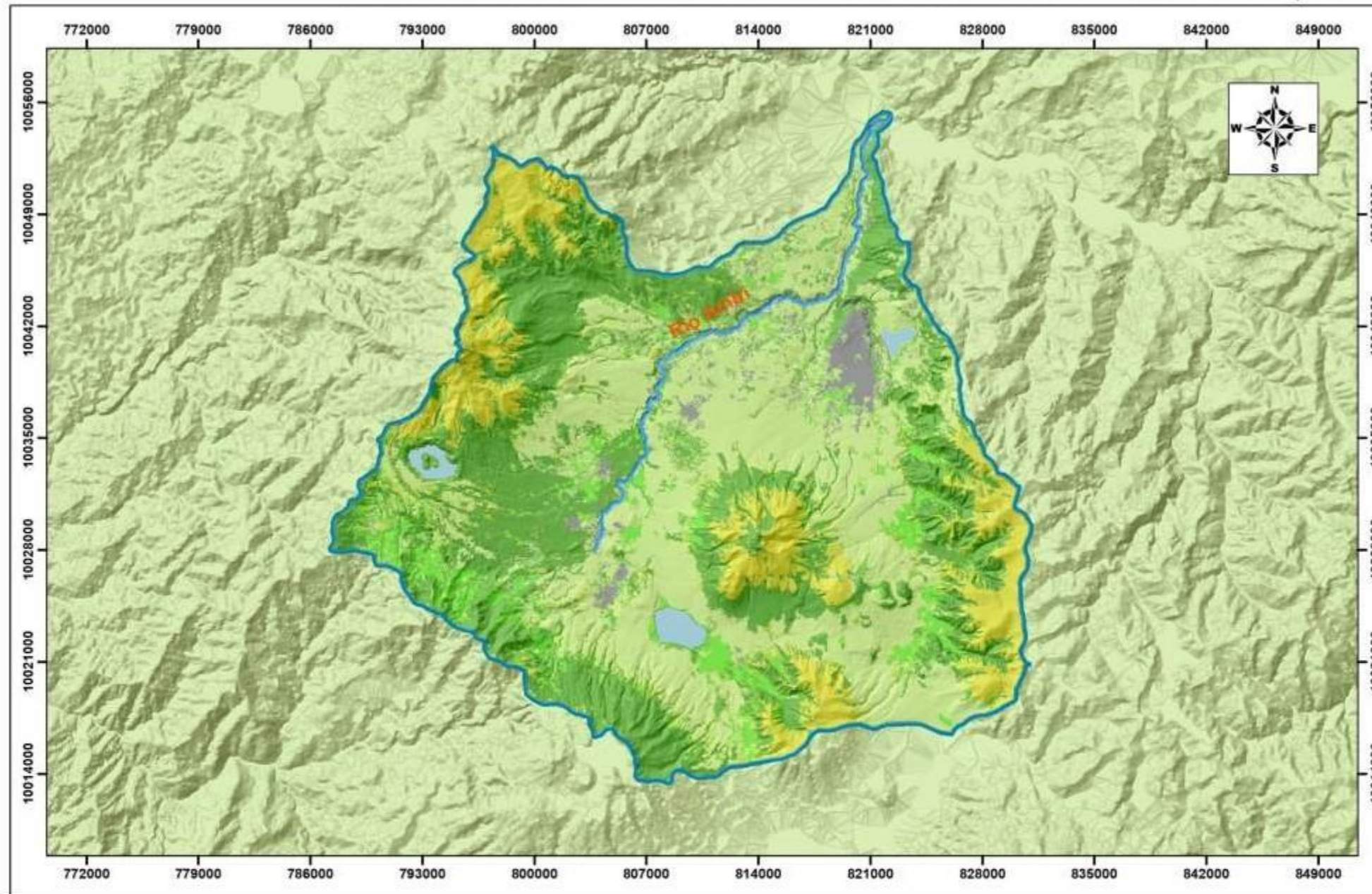


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE Instituto de Posgrado  
Maestría en Gestión Sustentable  
de Recursos Naturales

CONTIENE:		Taxonomía del suelo	
ELABORACIÓN:	Ing. Edwin Rosero	TUTOR:	Ing. José Guzmán, MSc.
FUENTE:	SIGTIERRAS, 2014	MAPA:	9 de 13
FECHA:	Febrero, 2019	ESCALA:	1: 300 000

Figura 35. Mapa de taxonomía del suelo

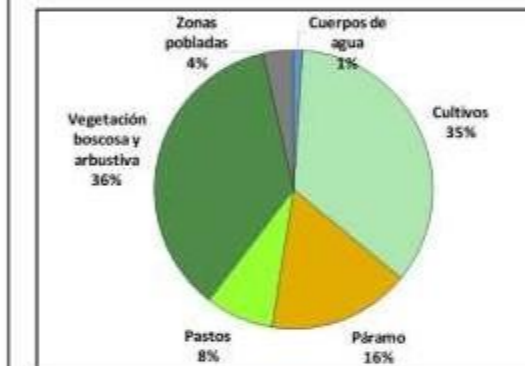
# COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO, AÑO 1991



MAPA 10 DE 13

## SIMBOLOGÍA

- Río Ambí
- Subcuenca del río Ambí
- Clasificación supervisada, 1991**
- Clases**
- Cuerpos de agua (1142,70 ha)
- Cultivos (39242,95 ha)
- Pastos (8934,79 ha)
- Páramo (18551,60 ha)
- Vegetación boscosa y arbustiva (40431,10 ha)
- Zonas pobladas (4003,07 ha)



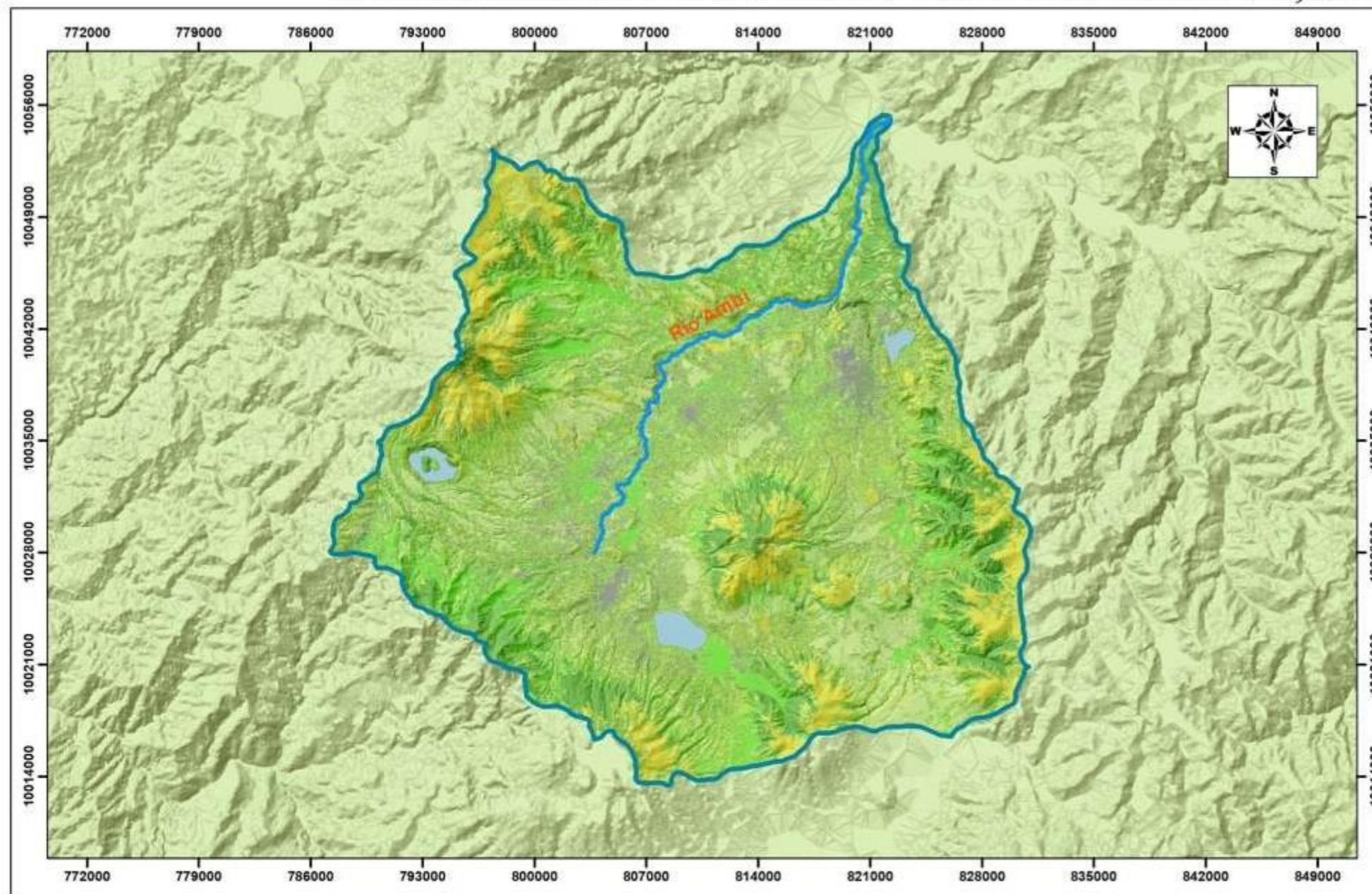
1:300,000  
PROYECCIÓN UTM  
DATUM WGS 84, ZONA 17 S



<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE</b> <b>Instituto de Posgrado</b> Maestría en Gestión Sustentable de Recursos Naturales	
<b>CONTIENE:</b>	
<b>Clasificación Supervisada, Landsat 1991</b>	
ELABORACIÓN:	Ing. Edwin Rosero
FUENTE:	USGS, 1991
FECHA:	Febrero, 2019
TUTOR:	Ing. José Guzmán, MSc.
MAPA:	10 de 13
ESCALA:	1: 300 000

Figura 36. Mapa de clasificación supervisada, Landsat 1991

# COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO, AÑO 2001



MAPA 11 DE 13

## SIMBOLOGÍA

- Río Ambi
- Subcuenca del río Ambi
- Clasificación supervisada, 2001**
- Clases**
- Cuerpos de agua (1251,62 ha)
- Cultivos (27841,77 ha)
- Pastos (19777,53 ha)
- Páramo (25763,19 ha)
- Vegetación boscosa y arbustiva (28528,48 ha)
- Zonas pobladas (9035,09 ha)



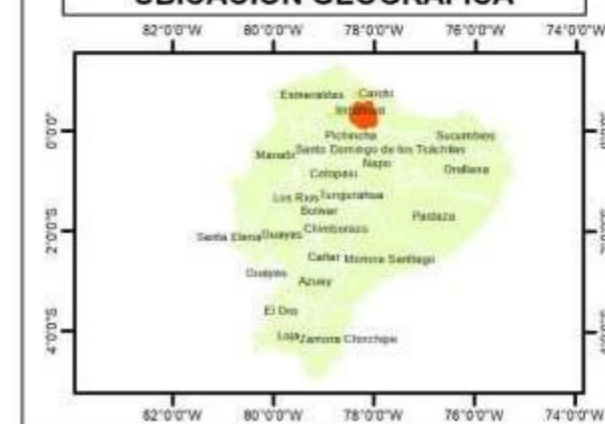
## UBICACIÓN PROVINCIAL



1:300,000

PROYECCIÓN UTM  
DATUM WGS 84, ZONA 17 S

## UBICACIÓN GEOGRÁFICA



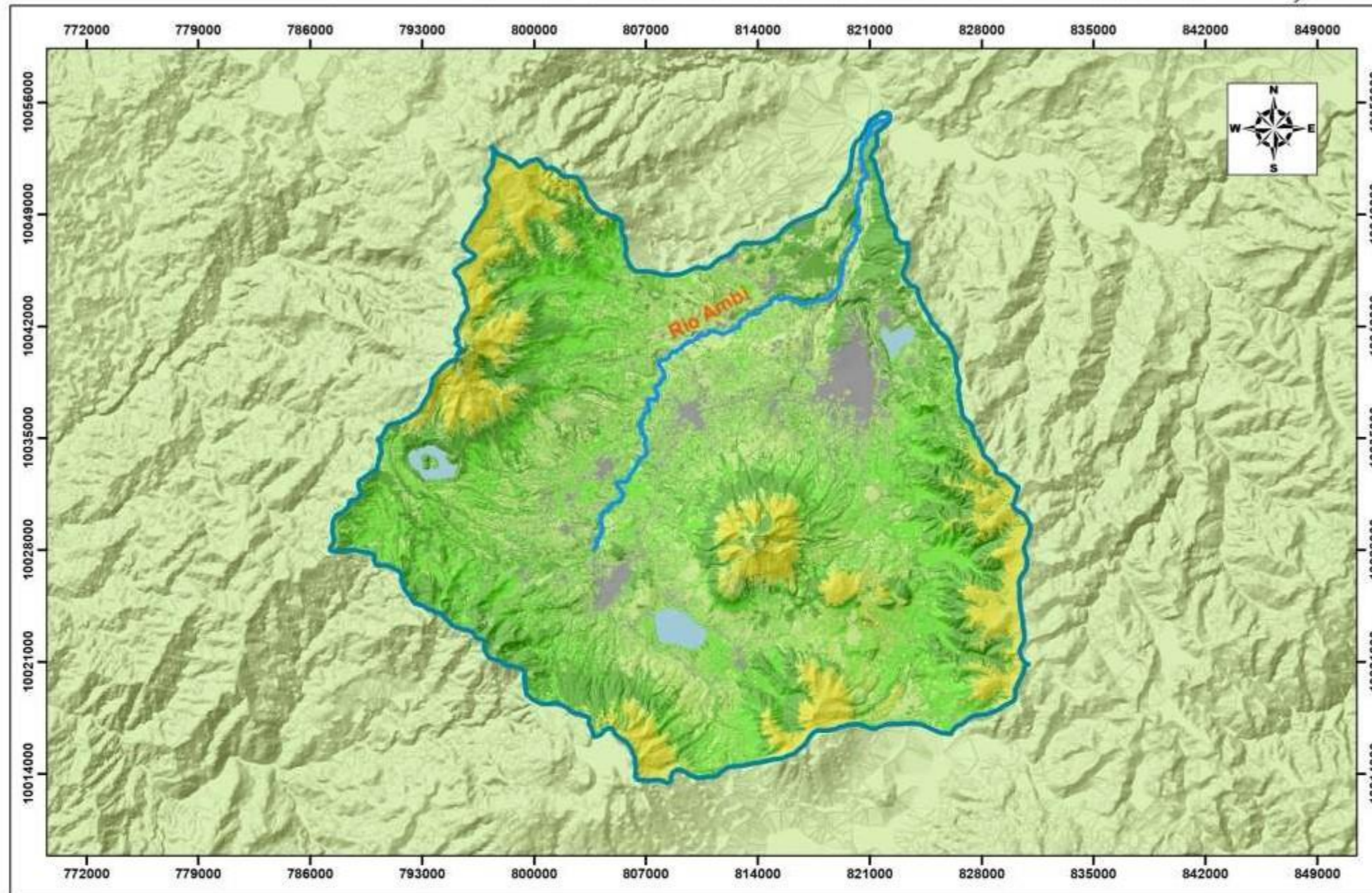
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE Instituto de Posgrado  
Maestría en Gestión Sustentable de Recursos Naturales

CONTIENE: **Clasificación Supervisada, ASTER 2001**

ELABORACIÓN:	Ing. Edwin Rosero	TUTOR:	Ing. José Guzmán, MSc.
FUENTE:	USGS, 2014	MAPA:	11 de 13
FECHA:	Febrero, 2019	ESCALA:	1: 300 000

Figura 37. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo, Aster 2001

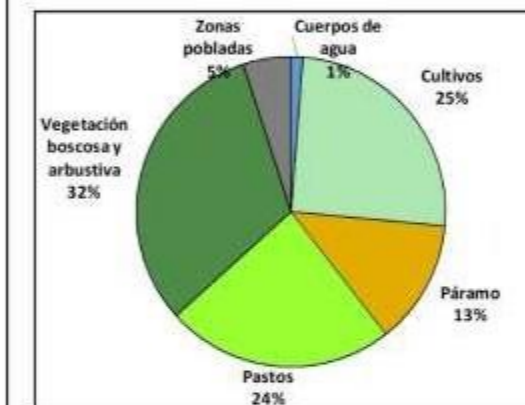
# COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO, AÑO 2017



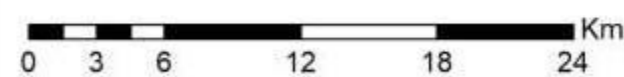
MAPA 12 DE 13

## SIMBOLOGÍA

- Río Ambí
- Subcuenca del río Ambí
- Clasificación supervisada, 2017**
- Clases**
- Cuerpos de agua (1388,71 ha)
- Cultivos (28284,41 ha)
- Pastos (26731,43 ha)
- Páramo (14615,58 ha)
- Vegetación boscosa y arbustiva (35516,46 ha)
- Zonas pobladas (5625,71 ha)

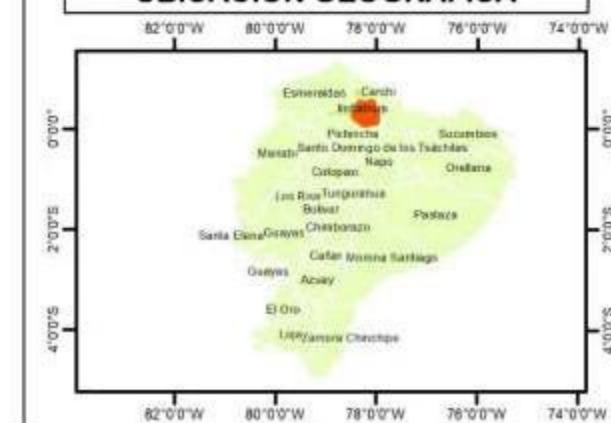


### UBICACIÓN PROVINCIAL



1:300,000  
PROYECCIÓN UTM  
DATUM WGS 84, ZONA 17 S

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA

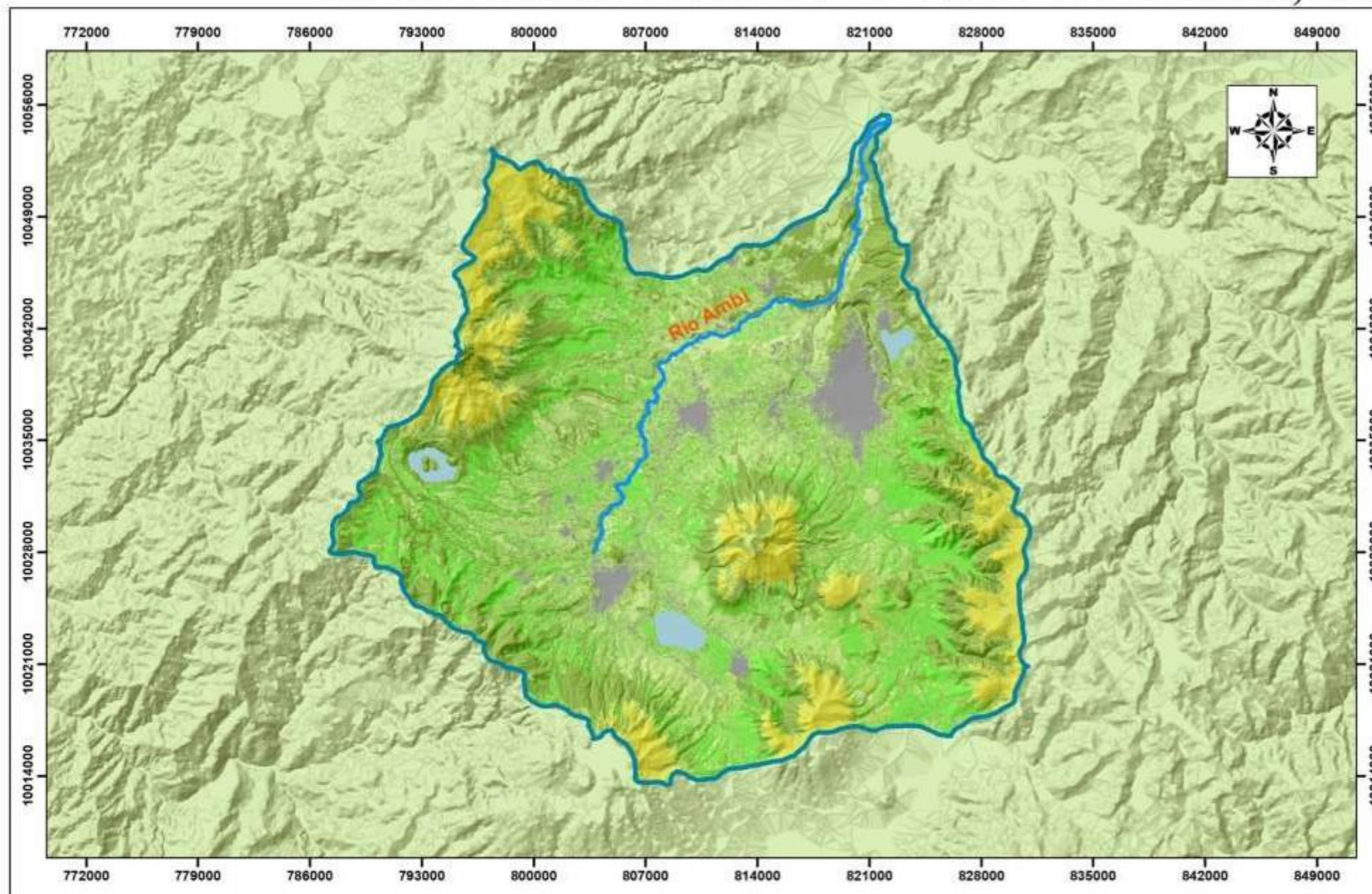


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE Instituto de Posgrado  
Maestría en Gestión Sustentable  
de Recursos Naturales

CONTIENE: <b>Clasificación Supervisada, Sentinel 2017</b>	
ELABORACIÓN: Ing. Edwin Rosero	TUTOR: Ing. José Guzmán, MSc.
FUENTE: Copernicus, 2017	MAPA: 12 de 13
FECHA: Febrero, 2019	ESCALA: 1: 300 000

Figura 38. Mapa clasificación supervisada, Sentinel 2017

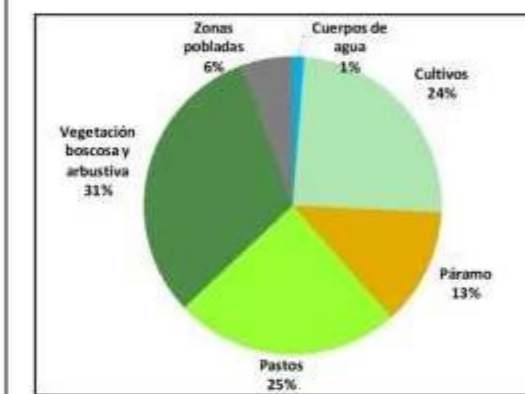
# COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO, AÑO 2050



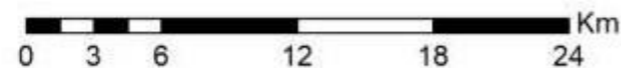
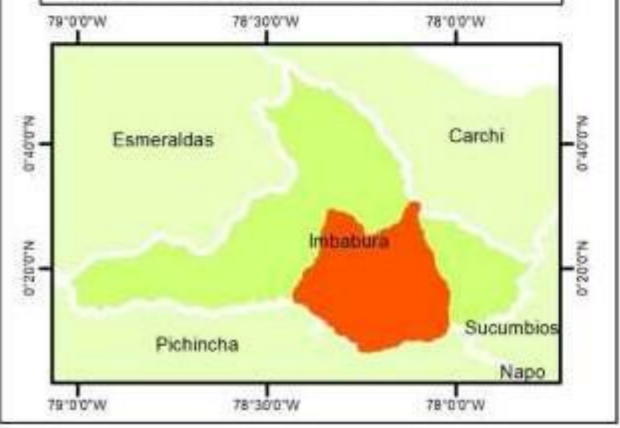
MAPA 13 DE 13

## SIMBOLOGÍA

- Río Ambí
  - Subcuenca del río Ambí
- Predcción de cambios, año 2050**
- Clases**
- Cuerpos de agua (1387,55 ha)
  - Cultivos (27472,20 ha)
  - Pastos (27529,03 ha)
  - Páramo (14,280,60 ha)
  - Vegetación boscosa y arbustiva (35149,20 ha)
  - Zonas pobladas (6343,72 ha)

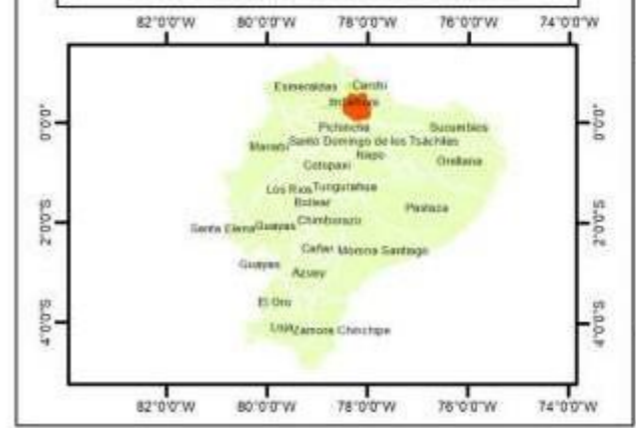


### UBICACIÓN PROVINCIAL



1:300,000  
**PROYECCIÓN UTM  
 DATUM WGS 84, ZONA 17 S**

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE** Instituto de Posgrado  
**Instituto de Posgrado**  
 Maestría en Gestión Sustentable  
 de Recursos Naturales

CONTIENE: <b>Predicción de cambios</b>			
ELABORACIÓN:	Ing. Edwin Rosero	TUTOR:	Ing. José Guzmán, MSc.
FUENTE:	CS Landsat, Sentinel	MAPA:	13 de 13
FECHA:	Febrero, 2019	ESCALA:	1: 300 000

Figura 39. Predicción de cambios de cobertura vegetal y uso del suelo, año 2050