

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

### CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS  
MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA  
DETERMINAR EL CAUDAL DE APORTE AL EMBALSE DEL  
PROYECTO MULTIPROPÓSITO PIÑÁN-TUMBABIRO”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**Autor: Jonathan Fernando Chicaiza Pantoja**

**Director: Ing. Oscar Rosales**

**Ibarra – Ecuador**

**2016**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

### TÍTULO

**“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS  
MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL  
CAUDAL DE APORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO  
PIÑÁN-TUMBABIRO”**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación  
como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

#### APROBADO:

Ing. Oscar Rosales, M.Sc.

**Director**

Ing. Mónica León, M.Sc.

**Asesora**

Ing. Xavier Zapata, M.Sc, PhD

**Asesor**

Ing. Jorge Granja

**Asesor**

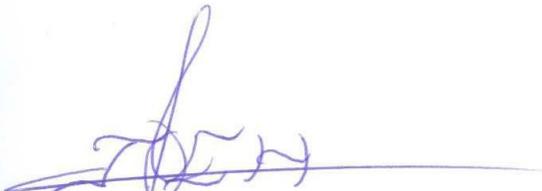
Ibarra – Ecuador

2016

## DECLARACIÓN

Manifiesto que la presente obra es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de febrero de 2016



Firma

Jonathan Fernando Chicaiza Pantoja

100396288-1

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Jonathan Fernando Chicaiza Pantoja**, bajo mi supervisión.



Ing. Oscar Rosales, M.Sc.  
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

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

Yo, **JONATHAN FERNANDO CHICAIZA PANTOJA**, con cédula de identidad Nro. **100396288-1**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autora de la obra o trabajo de grado denominado: **“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO PIÑÁN-TUMBABIRO”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Recursos Naturales Renovables en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 25 días del mes de febrero de 2016



Firma

Jonathan Fernando Chicaiza Pantoja



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>Cédula de identidad:</b>	1003962881		
<b>Apellidos y nombres:</b>	Chicaiza Pantoja Jonathan Fernando		
<b>Dirección:</b>	Jacinto Egas Almeida 8-121 y Tobias Mena, Conjunto Jireh, Casa #7		
<b>Email:</b>	jonathanfernando.ch@hotmail.com		
<b>Teléfono fijo:</b>	062609561	<b>Teléfono móvil:</b>	0993413295

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>Título:</b>	<b>“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO PIÑÁN-TUMBABIRO”</b>
<b>Autor:</b>	Chicaiza Pantoja Jonathan Fernando
<b>Fecha:</b>	25 de febrero del 2016
<b>Solo para trabajos de grado</b>	
<b>Programa:</b>	Pregrado
<b>Título por el que opta:</b>	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
<b>Director:</b>	Ing. Oscar Rosales

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

Yo, Chicaiza Pantoja Jonathan Fernando, con cédula de ciudadanía Nro. **100396288-1**; en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con Ley de Educación Superior Artículo 144.

## **3. CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y 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, 15 de octubre de 2015.

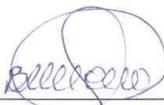
**AUTOR:**



**Chicaiza Pantoja Jonathan Fernando**

C.I.: 100396288-1

**ACEPTACIÓN:**



Ing. Betty Chávez

**JEFE DE BIBLIOTECA**

## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico a mi familia, a mi padre Fernando quien con su ejemplo me enseñó a ser constante y perseverante, a solucionar los problemas que se me presentan y caminar siempre con la frente en alto.

A mi madre Lorena quien me inculcó valores como el respeto, amor y confianza. Me supo guiar por el camino correcto e hizo de mí un hombre de bien, con su esfuerzo y dedicación me convirtió en una persona valerosa.

A mis hermanos Harold y Kevin quienes son mi fuente de inspiración para seguir adelante, el motivo por el cual quiero alcanzar grandes metas en la vida, para así brindarles lo mejor. A todos los que conforman mi familia los amo y muchas gracias por su apoyo.

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi director de trabajo de grado el Ing. Oscar Rosales quien supo guiarme con sus conocimientos y paciencia, a mis asesores Ing. Mónica León, Ing. Lourdes Yépez, PhD. Xavier Zapata e Ing. Jorge Granja por el tiempo brindado durante toda la investigación y las sapiencias brindadas. Al Ing. Guillermo Beltrán quien fue el pionero de este tema de trabajo de grado y me brindó su ayuda en la fase de campo y laboratorio.

También quiero hacer un agradecimiento especial a mi tío Vladymir Pantoja, debido a sus esfuerzos su culmino la etapa de campo. A mi compañera Eli quien me apoyó incondicionalmente en las buenas y malas, me supo ayudar en todos las ciclos de esta investigación. A cada persona que colaboró para culminar este trabajo muchas gracias.

## RESUMEN

El agua es un recurso básico para la supervivencia y desarrollo del ser humano, en los últimos años este ha sido afectado por las actividades antrópicas como deforestación, incendios, contaminación, avance de la frontera agrícola, entre otras. Debido a estas razones se hace necesario un mejor uso y manejo. En el presente trabajo se diagnosticó la vegetación y el recurso hídrico en los años 1991, 1999, 2009 y 2013 en las microcuencas de los ríos Pantaví y Piñán debido a que se construirá el embalse del proyecto Multipropósito Piñán – Tumbabiro de la SENAGUA, este surge a partir de las necesidades de la edificación de la ciudad del conocimiento YACHAY. La metodología se basó en la obtención de imágenes satelitales LANDSAT del USGS de la NASA (2014) de los periodos de estudio, para luego ser procesadas en software especializados como ArcGIS y ERDAS, obteniendo la información sobre el estado de la vegetación; luego se obtuvo los tipos de suelos para determinar el grupo hidrológico y se procesó datos de precipitación de cuatro estaciones meteorológicas y pluviométricas, con toda la información generada se aplicó el método Curva Número del USDA(1982), el cual permitió calcular valores que fueron ingresados en los software anteriormente mencionados y se obtuvieron resultados de precipitación media, evapotranspiración media, escorrentía media y caudales para los meses de las épocas seca y lluviosa. Para validar los datos se realizaron recorridos de campo donde se observó los tipos de vegetación y se comparó con los resultados obtenidos de las imágenes, además se aforo los ríos con molinete electrónico cada dos meses durante un año; dando como resultado un caudal promedio del río Pantaví de  $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$  y de  $2,39 \text{ m}^3/\text{s}$  en el río Piñán para la época seca, mientras en la época lluviosa el río Pantaví presentó un caudal de  $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$  y el río Piñán de  $4,05 \text{ m}^3/\text{s}$ . También se comprobó que existe una relación directa entre la cobertura vegetal y la producción de agua ya que desde el periodo 1991 hasta el 2009 se registró una disminución de la cobertura vegetal y por consiguiente la reducción de caudales, mientras que en el periodo 2013 existió un incremento de la cobertura vegetal y los caudales aumentaron. Además se demostró que el río Piñán cuenta con el caudal necesario para suministrar agua potable a una población de 200.000 personas en la fase de operación del proyecto multipropósito, sin embargo existe un déficit de abastecimiento de agua de riego para una superficie regable de 8.574 hectáreas.

## SUMMARY

Water is a basic resource for the development and survival of human beings. Over the last few years such is the affection suffered to this source by human activities such as deforestation, wild fires, environmental pollution and agricultural frontiers among others. For these reasons, it is necessary, to improve the performance and management of these actions. Throughout the course of this project, a diagnosis of vegetation and water resources at the small basins at the Pantaví and Piñán rivers –Tumbabiro de la SENAGUA during the years 1991, 2009 and 2013 was implemented as the emergence of the edification of YACHAY “The City of Knowledge” facilities were taking place. The methodology to do this research was based on the collection of satellite imagery belonging to some study periods from USGS LANDSAT and NASA (2014) which evidently was later processed in specialized software such as ArcGIS and ERDAS thus for instance, obtaining data regarding vegetation’s status. First, several types of soil were used to determine the hydrological group second, four weather-season rainfall data were analyzed and processed finally, after this generated information was gathered the USDA Number Curve (1982) was implemented. This allowed value estimation which was then entered to the previously mentioned software obtaining average rainfall results, average evapo-transpiration, and enough average runoff and flow rates supply for dry and rainy seasons. In order to validate such data, field trips were done observing types of vegetation and comparing results obtained from the satellite images. Furthermore, the rivers capacity was studied applying electronic emollients every two months during one year resulting in Pantaví river’s average flow of  $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$  and  $2,39 \text{ m}^3/\text{s}$  for the Piñán river during dry season, whereas during rainfall season, Pantaví river showed a  $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$  flow and the Piñán river showed a  $4,05 \text{ m}^3/\text{s}$  flow. It was also proven that there is a direct correlation between the vegetation coverage and water production since a decrease of vegetation coverage between the 1991 and 2009 periods had been registered, seeing significant flow reduction in the rivers. However, during the 2013 period there was an increase of vegetation coverage and the river flow increased as well. Moreover, it was established that the Piñán river has the necessary flow to supply potable water to 200.000 people during the multi-purpose project phase; nevertheless it was proven that there is an irrigation water supply deficit to cover an 8.574 acre irrigable area.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
CAPÍTULO I _____	1
1. INTRODUCCIÓN _____	1
1.1. Objetivos.....	4
1.1.1. Objetivo general .....	4
1.1.2. Objetivos específicos.....	4
1.2. Preguntas directrices.....	4
CAPÍTULO II _____	5
2. MARCO TEÓRICO _____	5
2.1. Marco legal .....	5
2.1.1. Constitución política del Ecuador.....	5
2.1.2. Plan nacional del Buen Vivir.....	6
2.1.3. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua .....	7
2.1.4. Texto unificado de legislación ambiental secundaria del ministerio de ambiente .....	8
2.1.5. Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre .....	8
2.2. Análisis multitemporal de cambio de la escorrentía superficial.....	9
2.2.1 Obtención y procesamiento digital de imágenes de satélite .....	10
2.2.1.1. Clasificación no supervisada .....	10
2.2.1.2. Clasificación supervisada .....	11
2.2.2. Imágenes del satélite Landsat .....	11
2.2.2.1. Proyecto Landsat Data Continuity Mission (LDCM) .....	13
2.2.3. Imágenes del satélite TERRA.....	14
2.2.4. Cartografía base.....	15
2.2.5. Componentes de Sistema de Información Geográfica (SIG) .....	15
2.2.6. Modelo de curva número (CN).....	15
2.3. Medición de caudales .....	16
2.4. Cuencas hidrográficas.....	17

2.4.1. Aprovechamiento de los recursos hídricos en las cuencas hidrográficas.....	18
2.4.2. Degradación de las cuencas hidrográficas.....	18
2.4.3. Cobertura vegetal en las cuencas hidrográficas.....	19
2.5. Problemas del recurso hídrico .....	20
2.6. Estudio del Proyecto Multipropósito Piñán - Tumbabiro.....	20
2.7. Construcción de proyectos multipropósitos en el Ecuador .....	20
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>21</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
3.1. Área de estudio .....	21
3.2. Materiales .....	22
3.3. Métodos .....	23
3.3.1. Identificación de variables que influyen en el análisis multitemporal de cambio de la escorrentía superficial.....	23
3.3.1.1. Recopilación de información.....	24
3.3.1.2. Análisis de datos meteorológicos .....	24
3.3.1.3. Identificación de cobertura vegetal.....	25
3.3.1.4. Clasificación de suelos .....	26
3.3.1.5. Elaboración de cartografía temática .....	26
3.3.2. Medición de caudales con molinete electrónico.....	32
3.3.3. Análisis multitemporal de cambio de escorrentía superficial.....	35
3.3.3.1. Obtención de imágenes satelitales.....	35
3.3.3.2. Procesamiento de imágenes de satélite.....	36
3.3.3.3. Clasificación no supervisada .....	37
3.3.3.4. Clasificación supervisada y comprobación en campo.....	37
3.3.3.5. Aplicación del método Curva Número .....	38
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>43</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>43</b>
4.1. Identificación de variables.....	43

4.1.1. Precipitación .....	43
4.1.2. Cobertura vegetal.....	45
4.1.3. Tipos de suelo.....	46
4.1.4. Grupo hidrológico .....	47
4.1.5. Cartografía temática .....	47
4.2. Medición de caudales .....	56
4.2.1. Caudales en época seca.....	56
4.2.2. Caudales en época lluviosa.....	57
4.2.3. Comparación de caudales en época seca y lluviosa .....	57
4.2.4. Relación de datos de caudales con el Proyecto Multiproposito Piñán – Tumbabiro .	58
4.3. Análisis multitemporal de cambio de escorrentía superficial.....	59
4.3.1. Datos de cobertura vegetal .....	59
4.3.1.1. Cobertura vegetal año 1991 .....	59
4.3.1.2. Cobertura vegetal año 1999.....	60
4.3.1.3. Cobertura vegetal año 2009.....	60
4.3.1.4. Cobertura vegetal año 2013.....	61
4.3.1.5. Comparación de coberturas vegetales .....	61
4.3.1.6. Influencia de la cobertura vegetal en la producción de recurso hídrico .....	65
4.3.2. Datos Curva Número .....	65
4.3.2.1. Curva Número año 1991 .....	66
4.3.2.2. Curva Número año 1999 .....	66
4.3.2.3. Curva Número año 2009 .....	67
4.3.2.4. Curva número año 2013 .....	67
4.3.3. Datos de cambio de escorrentía superficial .....	68
4.3.3.1. Datos del análisis multitemporal de la microcuenca del río Pantaví.....	69
4.3.3.2. Datos del análisis multitemporal de la microcuenca del río Piñán.....	71
4.3.4. Comparación de caudales aforados y del análisis multitemporal de la escorrentía superficial .....	73
4.3.5. Lineamientos para el aprovechamiento del recurso hídrico .....	74
CAPÍTULO V .....	75

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____	75
5.1. Conclusiones.....	75
5.2. Recomendaciones .....	76
CAPITULO VI _____	77
6. BIBLIOGRAFÍA _____	77
ANEXOS _____	83

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
<b>Cuadro 2.1.</b> Bandas, longitud de onda y aplicaciones del satélite LANDSAT.....	12
<b>Cuadro 2.2.</b> Bandas y resolución espacial del satélite TERRA.....	14
<b>Cuadro 3.1.</b> Coordenadas de los puntos de las microcuencas de los ríos Piñán y Pantaví, Datum WGS 84, zona 17 sur.....	22
<b>Cuadro 3.2.</b> Listado de materiales, equipos y software usados en la investigación.....	23
<b>Cuadro 3.3.</b> Ponderación y características de microrelieve y pendiente.....	28
<b>Cuadro 3.4.</b> Ponderación y características de tipo de suelo.....	29
<b>Cuadro 3.5.</b> Ponderación y características de tipo de roca.....	30
<b>Cuadro 3.6.</b> Ponderación y características de cobertura vegetal.....	31
<b>Cuadro 3.7.</b> Ponderación y características de uso del suelo.....	31
<b>Cuadro 3.8.</b> Rangos de posibilidad de recarga hídrica.....	32
<b>Cuadro 3.9.</b> Ficha para el registro de datos de los aforos líquidos superficiales.....	34
<b>Cuadro 3.10.</b> Grupos hidrológicos.....	39
<b>Cuadro 3.11.</b> Condiciones de humedad del suelo.....	40
<b>Cuadro 3.12.</b> Curvas número.....	40
<b>Cuadro 3.13.</b> Metodología para el análisis multitemporal.....	42
<b>Cuadro 4.1.</b> Precipitación mensual (mm), estación Apuela – Intag.....	44
<b>Cuadro 4.2.</b> Precipitación mensual (mm), estación Buenos Aires – Imbabura.....	44
<b>Cuadro 4.3.</b> Precipitación mensual (mm), estación Pablo Arenas.....	44
<b>Cuadro 4.4.</b> Precipitación mensual (mm), estación Atuntaqui.....	45
<b>Cuadro 4.5.</b> Pendientes del terreno.....	48
<b>Cuadro 4.6.</b> Tipos de suelos.....	48
<b>Cuadro 4.7.</b> Geología.....	49
<b>Cuadro 4.8.</b> Tipos de clima.....	50
<b>Cuadro 4.9.</b> Red hidrográfica.....	51
<b>Cuadro 4.10.</b> Zonas de vida.....	52
<b>Cuadro 4.11.</b> Isotermas medias anuales.....	53
<b>Cuadro 4.12.</b> Isoyetas medias anuales año 1991.....	53

<b>Cuadro 4.13.</b> Isoyetas medias anuales año 1999.....	54
<b>Cuadro 4.14.</b> Isoyetas medias anuales año 2009.....	55
<b>Cuadro 4.15.</b> Isoyetas medias anuales año 2013.....	55
<b>Cuadro 4.16.</b> Zonas de recarga hídrica.....	56
<b>Cuadro 4.17.</b> Cobertura vegetal, imagen Landsat 1991.....	59
<b>Cuadro 4.18.</b> Cobertura vegetal, imagen Landsat 1999.....	60
<b>Cuadro 4.19.</b> Cobertura vegetal, imagen Landsat 2009.....	60
<b>Cuadro 4.20.</b> Cobertura vegetal, imagen Landsat 2013.....	61
<b>Cuadro 4.21.</b> Promedio ponderado de Curva Número.....	66
<b>Cuadro 4.22.</b> Curva número año 1991.....	66
<b>Cuadro 4.23.</b> Curva número año 1999.....	67
<b>Cuadro 4.24.</b> Curva número año 2009.....	67
<b>Cuadro 4.25.</b> Curva número año 2013.....	68
<b>Cuadro 4.26.</b> Datos del análisis multitemporal de la microcuenca del río Pantaví.....	70
<b>Cuadro 4.27.</b> Datos del análisis multitemporal de la microcuenca del río Piñán.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
<b>Figura 2.1.</b> Molinete electrónico marca RICKLY HYDROLOGICAL.....	17
<b>Figura 3.1.</b> Ubicación del área de estudio.....	22
<b>Figura 3.2.</b> Diagrama para la clasificación de zonas de vida de Holdridge.....	25
<b>Figura 3.3.</b> Medición de caudal.....	33
<b>Figura 3.4.</b> Búsqueda de cobertura de imágenes para el área de estudio.....	36
<b>Figura 3.5.</b> Imágenes satelitales con porcentaje nubosidad.....	36
<b>Figura 4.1.</b> Precipitaciones de las diferentes estaciones pluviométricas.....	45
<b>Figura 4.2.</b> Cambios de cobertura vegetal en los diferentes periodos.....	62
<b>Figura 4.3.</b> Comparación de coberturas vegetales de los diferentes periodos.....	64
<b>Figura 4.4.</b> Análisis multitemporal, microcuenca del río Pantaví.....	71
<b>Figura 4.5.</b> Análisis multitemporal, microcuenca del río Piñán.....	73

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

El páramo de Piñán se encuentra en la RECC (Reserva Ecológica Cotacachi - Cayapas), importante para la generación del recurso hídrico, donde se puede encontrar cuatro tipos de páramo: pajonal, arbustivo, bosque altoandino y herbáceo de almohadillas (Proyecto Páramo Andino, 2008).

El páramo herbáceo de almohadillas tiene una gran importancia en la recolección del recurso hídrico y prácticamente funciona como “esponja de agua”, tras el proceso de infiltración llega a los afluentes de las microcuencas y formarán un río. Los ríos Pantaví y Piñán que se encuentran en la RECC pretenden ser aprovechados por el Proyecto Multipropósito Piñán – Tumbabiro para satisfacer las necesidades de las poblaciones del cantón Urcuquí (SENAGUA, 2013).

El análisis multitemporal de las microcuencas permitió conocer el caudal de aporte al embalse del proyecto, con la finalidad de abastecer las necesidades futuras en las poblaciones del cantón Urcuquí, principalmente las de la ciudad del conocimiento YACHAY, razón principal por la cual se creó el proyecto. El presente trabajo analizó y estudió el recurso hídrico de las microcuencas del río Pantaví y río Piñán, los resultados del presente estudio

aportaron datos del recurso hídrico, los cuales servirán para fiscalizar los estudios de prefactibilidad y factibilidad del Proyecto Multipropósito Piñán - Tumbabiro.

La deforestación que existe a nivel nacional es un problema que afecta gravemente al recurso hídrico, las microcuencas de los ríos Pantaví y Piñán están ubicadas en el occidente de la cordillera de Los Andes, en donde existe una tasa de deforestación de 9027 hectáreas por año y por esta razón las fuentes de agua van disminuyendo (MAE, 2012). También los ríos cercanos a las ciudades tienen un nivel de contaminación muy alto debido a que el 92% de aguas residuales se descarga directamente en los cauces sin ningún tratamiento y el 72% del alcantarillado está en condiciones precarias (SENPLADES, 2014).

Según el informe de fiscalización del Proyecto Multipropósito Piñán – Tumbabiro de SENAGUA (2013) el páramo de la RECC se encuentran amenazado debido al excesivo pastoreo, ya que se ha llegado a registrar 1154 cabezas de ganado vacuno, el cual se alimenta en la zona y genera un gran cambio en la cobertura vegetal de páramo y vegetación arbustiva, alterando el ciclo hidrológico, el ganado pertenece a la hacienda El Hospital la cual posee una extensión de 40000 has aproximadamente, ocupando un 20% del área total de la RECC, lo que implica un inconveniente para la conservación, protección y manejo de los recursos naturales. Otro problema son los incendios provocados en los pajonales de la RECC por los pobladores, los cuales no son controlados y afectaron una cantidad de 2394 hectáreas en el año 2012, mientras que en el 2013 fueron 800 hectáreas (Andes, 2014).

La implementación de la ciudad del conocimiento YACHAY implica una serie de problemas con respecto a la disponibilidad y uso del recurso hídrico, ya que este proyecto pretende beneficiar una cantidad de 30000 estudiantes en un área de 4000 hectáreas (YACHAY, 2014), los cuales deberán satisfacer sus necesidades básicas y una de ellas es el agua potable y teniendo en cuenta que el consumo diario de agua en el Ecuador es de 235 litros por persona en un día (SENAGUA, 2012), plantea una gran interrogante para abastecer esta cantidad de agua. Por tal motivo se implementará el Proyecto Multipropósito Piñán – Tumbabiro, el cual se crea con miras a satisfacer las necesidades futuras de YACHAY, además pretende abastecer las necesidades hídricas de las poblaciones cercanas al proyecto como San Blas, Tumbabiro, Urcuquí e Imantag, que tienen un déficit de agua potable y de riego, por esto la

ejecución del proyecto multipropósito Piñán-Tumbabiro, permitirá abastecer las necesidades hídricas de estas poblaciones.

El área de estudio al encontrarse en una área protegida cuenta con varios factores favorables para la producción de agua, uno de ellas es la diversidad de páramos que existe en la zona, además en la parte oeste de la RECC registra precipitaciones de 3000 a 5000 mm por año (Baez, et al, 1999) y en la parte andina de 1000 a 2000 mm. Existe baja presencia de poblaciones por lo cual las actividades antrópicas serán menos perjudiciales, así mismo la calidad de agua es buena ya que no existen factores de contaminación externos como industrias, desechos de aguas residuales y desechos de residuos sólidos; lo que indica que el agua es apta para el consumo humano y riego, por estas razones la RECC presenta condiciones favorables para el uso sostenido y controlado del recurso hídrico, en beneficio de la población local (Plan de Manejo RECC, 2007).

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Realizar el análisis multitemporal del cambio de escorrentía superficial de las microcuencas del río Pantaví y Piñán, para determinar el caudal de aporte al embalse del Proyecto Multipropósito Piñán-Tumbabiro.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Identificar las variables que influyen en la cantidad de agua a través del análisis multitemporal de cambio de escorrentía superficial.
- Conocer la variación de caudales en época seca y lluviosa de los ríos Pantaví y Piñán, realizando la medición de caudales.
- Realizar tres comparaciones multitemporales de la cobertura vegetal y su incidencia en el recurso hídrico.

## **1.2. Preguntas directrices**

¿Los ríos Pantaví y Piñán aportan con el caudal requerido para el embalse Piñán - Tumbabiro?

¿Existe cambio en la escorrentía superficial con la variación de la cobertura vegetal de las microcuencas?

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

A continuación se describe los conocimientos que vinculan, fundamentan y fueron necesarios para realizar el presente estudio. Es necesario tener en cuenta terminologías y conceptos que se trataron en el progreso del trabajo investigativo.

#### **2.1. Marco legal**

El estudio tomó en cuenta como referencia en el marco legal a la Constitución Política del Ecuador la cual brinda derechos tanto a las personas como a la naturaleza, el Plan Nacional del Buen Vivir, también la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULASMA) y la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida silvestre.

##### **2.1.1. Constitución política del Ecuador**

A continuación se detallan los artículos de la Constitución Política del Ecuador por los cuales se fundamenta y justifica la realización de este trabajo.

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el Buen Vivir, Sumak Kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 25.- Las personas tienen derecho a gozar de los beneficios y aplicaciones del progreso científico y de los saberes ancestrales.

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

### **2.1.2. Plan nacional del Buen Vivir**

El plan nacional del buen vivir iniciado en el 2013 y con vigencia hasta el 2017 permite sustentar esta investigación bajo sus objetivos y políticas.

**Objetivo 7:** Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.

**Política 7.6:** Gestionar de manera sustentable y participativa el patrimonio hídrico, con enfoque de cuencas y caudales ecológicos para asegurar el derecho humano al agua.

### **2.1.3. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua**

Artículo 1.- Naturaleza jurídica. Los recursos hídricos son parte del patrimonio natural del Estado y serán de su competencia exclusiva, la misma que se ejercerá concurrentemente entre el Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, de conformidad con la Ley. El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, elemento vital de la naturaleza y fundamental para garantizar la soberanía alimentaria.

Artículo 3.- Objeto de la Ley. El objeto de la presente Ley es garantizar el derecho humano al agua así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el *sumak kawsay* o buen vivir y los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución.

Artículo 4.- Principios de la Ley. Esta Ley se fundamenta en los siguientes principios:

- a) La integración de todas las aguas, sean estas, superficiales, subterráneas o atmosféricas, en el ciclo hidrológico con los ecosistemas;
- b) El agua, como recurso natural debe ser conservada y protegida mediante una gestión sostenible y sustentable, que garantice su permanencia y calidad;
- c) El agua, como bien de dominio público, es inalienable, perdurable e inembargable;
- d) El agua es patrimonio nacional y estratégico al servicio de las necesidades de las y los ciudadanos y elemento esencial para la soberanía alimentaria; en consecuencia, está prohibido cualquier tipo de propiedad privada sobre el agua;
- e) El acceso al agua es un derecho humano;
- f) El Estado garantiza el acceso equitativo al agua;
- g) El Estado garantiza la gestión integral, integrada y participativa del agua; y,
- h) La gestión del agua es pública o comunitaria.

Artículo 8.- Gestión integrada de los recursos hídricos. La SENAGUA es la entidad responsable de la gestión integrada e integral de los recursos hídricos con un enfoque ecosistémico y por cuenca o sistemas de cuencas hidrográficas, la misma que se coordinará con los diferentes niveles de gobierno según sus ámbitos de competencia.

Artículo 12.- Protección, recuperación y conservación de fuentes. El Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en sus tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la Autoridad Única del Agua de acuerdo con lo previsto en la Constitución y en esta Ley.

#### **2.1.4. Texto unificado de legislación ambiental secundaria del ministerio de ambiente**

El libro 6, anexo 1, título 3 del Texto unificado de legislación ambiental secundaria del ministerio de ambiente (TULASMA) indica los criterios de calidad del agua destinada al consumo humano y uso doméstico previo a su potabilización, además los criterios para calidad de aguas de uso agrícola o de riego. Los cuales pueden ser usados por el Proyecto Multipropósito Tumbabiro al momento de brindar el recurso hídrico a la población.

#### **2.1.5. Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre**

El Capítulo III de la ley forestal involucra la conservación del recurso vegetación con el recurso hídrico lo cual se plasma en el siguiente artículo.

Art. 6.- Se consideran bosques y vegetación protectores aquellas formaciones vegetales, naturales o cultivadas, que cumplan con uno o más de los siguientes requisitos:

- a) Estar situados en áreas que permitan controlar fenómenos pluviales torrenciales o la preservación de cuencas hidrográficas, especialmente en las zonas de escasa precipitación pluvial;
- b) Ocupar cejas de montaña o áreas contiguas a las fuentes, corrientes o depósitos de agua;

c) Hallarse en áreas de investigación hidrológico - forestal;

d) Constituir factor de defensa de los recursos naturales y de obras de infraestructura de interés público.

Art. 8.- Los bosques y vegetación protectores serán manejados, a efecto de su conservación, en los términos y con las limitaciones que establezcan los reglamentos.

Art. 14.- La forestación y reforestación previstas en el presente capítulo deberán someterse al siguiente orden de prioridades:

a) En cuencas de alimentación de manantiales, corrientes y fuentes que abastezcan de agua.

Art. 101.- En los proyectos de desarrollo rural o industriales, construcción de carreteras, obras de regadío, hidroeléctricas u otras, que pudieren originar deterioro de los recursos naturales renovables, el Ministerio del Ambiente y demás instituciones del sector público afectadas, determinarán las medidas y valores que los ejecutores de tales proyectos u obras deban efectuar o asignar, para evitar dicho deterioro o para la reposición de tales recursos.

## **2.2. Análisis multitemporal de cambio de la escorrentía superficial**

El análisis multitemporal es un método que utiliza imágenes satelitales de diferentes fechas, estas permiten reconocer el cambio de que ha existido en la superficie de la tierra, estas imágenes son procesadas en softwares como ArcGIS de la empresa americana ESRI y Erdas de la empresa americana Intergraph los cuales permiten analizar las imágenes y determinar la variación que ha existido en el uso de suelo (Medina & Mejía, 2014). Se utilizan imágenes preferencialmente del programa Landsat el cual ha emitido imágenes desde el año 1972, al usar estas imágenes permite una mejor comprensión de los procesos que actúan sobre la superficie terrestre y la evolución a la que están sometidos los elementos que sobre ella se encuentran. Otras de las ventajas es la de proveer de una visión sintética, integrada y uniforme de la superficie terrestre, la calidad geométrica que a través de tratamientos informáticos, permite actualizar cartografías topográficas y temáticas automáticamente y la enorme riqueza de información sobre un mismo objeto, al ser registrado su comportamiento en distintas longitudes de onda del espectro electromagnético (Alva & Meléndez, 2009).

En el Ecuador se han realizado varios estudios de consultoría, especialmente los realizados por GEOPLADES (Geografía, Planificación y Desarrollo) aplicando la metodología del análisis multitemporal, reconociendo la importancia de obtener datos de los cambios de la superficie terrestre del país (Geoplades, 2015), entre ellos destacan: “Estudio multitemporal de la cobertura vegetal y uso del suelo entre los años 1990, 2010 y proyección al 2030 a una escala 1:50.000 para el centro y sur oriente de la amazonía ecuatoriana” y “Estudio multitemporal de la cobertura vegetal y uso del suelo entre los años 1990 - 2008 y proyección al 2030 en el territorio Cofán, a escala 1:50.000, en conjunto con la federación ecuatoriana de la nacionalidad Cofán”

### **2.2.1 Obtención y procesamiento digital de imágenes de satélite**

Es importante determinar a qué nivel de área se va a trabajar en el procesamiento de imágenes, en este caso va a ser a nivel global, en el cual la información se registra en escenas de 400 a 900 km, se debe tomar en cuenta las características que se va a necesitar como: escala, brillo, contraste, resolución espectral, resolución espacial, resolución radiométrica y resolución temporal (Bernis & Betancourt, 2006). Existen muchos servidores de distribución gratuita de imágenes del sensor LANDSAT, pero los utilizados para este estudio fueron el Global Land Cover Facility (GLCF), Earth Explorer y Global Visualization Viewer (Glovis). Esto de acuerdo a las necesidades económicas, técnicas, logísticas, tecnológicas de cada estudio.

En cuanto al procesamiento de las imágenes se establece categorías para cada uno de los píxeles y se clasifica con las diferentes formaciones vegetales, poniendo en práctica una serie de técnicas de reconocimiento de patrones espaciales y espectrales, obteniendo así una cartografía de cobertura vegetal.

#### **2.2.1.1. Clasificación no supervisada**

Este es un método de clasificación digital automática que se realiza a las imágenes, proceso donde se escoge un determinado número de clases, las cuales se desea clasificar. El software Erdas usa algoritmos los cuales solo necesitan información de una escena permitiéndole

reconocer, examinar y clasificar los distintos píxeles de las imágenes, además usa parámetros los cuales categorizan el número de clases, diferenciado un elemento de otro. De acuerdo a estos valores el programa asigna las diferentes clases donde aglutina los píxeles más parecidos, obteniendo como resultado un dendograma, básicamente es un proceso automático (Universidad de Jaén, 2006).

### **2.2.1.2. Clasificación supervisada**

Es un método de clasificación que se basa en el conocimiento del área, donde se identifica las características de cada clase en las imágenes, teniendo una amplia idea de los elementos que componen la superficie de estudio y relacionándolos con la fecha en la que se tomó la imagen. Se realiza las firmas espectrales obteniendo resultados específicos de las superficies terrestres, es un proceso contrario a la clasificación no supervisada. La clasificación supervisada está compuesta de salidas de campo ya ejecutadas e imágenes satelitales. Esto permite determinar las diferentes áreas y tipos de cobertura vegetal, datos que van a ser lo más cercano a la realidad, permitiendo tener un mayor control sobre la caracterización de los píxeles de la imagen. Esencialmente es un proceso de interpretación visual y digitalización en la pantalla (Universidad de Jaén, 2006).

### **2.2.2. Imágenes del satélite Landsat**

Los satélites americanos Landsat han sido, desde su primer lanzamiento en 1972, una de las plataformas más usadas en la teledetección terrestre. Posee un claro nicho específico debido a su resolución temporal (16 días), espectral (de 4 a 8 bandas, según misiones), elevada cobertura terrestre y amplio archivo retrospectivo. Desde abril de 1999, están disponibles las imágenes del último satélite de la serie, el Landsat-7 (Cristobal, Pons, & Serra, 2004). En el cuadro 2.1 se describe la aplicación de las siete bandas y la longitud de onda de cada una de ellas, características que poseen las imágenes del satélite Landsat.

**Cuadro 2.1.** Bandas, longitud de onda y aplicaciones del satélite LANDSAT

<b>Banda</b>	<b>Longitud de onda</b>	<b>Aplicación</b>
Banda 1	(0,45 a 0,52 micrones – azul)	Diseñada para penetración en cuerpos de agua, es útil para el mapeo de costas, para diferenciar entre suelo y vegetación y para clasificar distintos cubrimientos boscosos, por ejemplo: coníferas y latifoliadas. También es útil para diferenciar los tipos de rocas presentes en la superficie terrestre.
Banda 2	(0,52 a 0,60 micrones – verde)	Especialmente diseñada para evaluar el vigor de la vegetación sana, midiendo su pico de reflectancia verde. También es útil para diferenciar tipos de rocas.
Banda 3	(0,63 a 0,69 micrones – rojo)	Es una banda de absorción de clorofila, muy útil para la clasificación de la cubierta vegetal. También sirve en la diferenciación de las distintas rocas.
Banda 4	(0,76 a 0,90 micrones – infrarrojo cercano)	Es útil para determinar el contenido de biomasa, para la delimitación de cuerpos de agua y para la clasificación de las rocas.
Banda 5	(1,55 a 1,75 micrones – infrarrojo medio)	Indica el contenido de humedad de la vegetación y del suelo. También sirve para discriminar entre nieve y nubes.
Banda 6	(10,40 a 12,50 micrones – infrarrojo termal)	El infrarrojo termal es útil en el análisis del stress de la vegetación, en la determinación de la humedad del suelo y en el mapeo termal.
Banda 7	(2,08 a 2,35 micrones – infrarrojo medio)	Discriminación rocas y sirve para el mapeo hidrotermal. Mide la cantidad de hidroxilos (OH) y la absorción de agua.

**Fuente:** Clasificación de usos de suelo de imágenes satelitales Landsat. (Hector, F & Gomez, A., 2006)

### **2.2.2.1. Proyecto Landsat Data Continuity Mission (LDCM)**

El proyecto Landsat 8 – LDCM (Landsat Data Continuity Mission) es una continuación del proyecto Landsat que fue lanzado en el año de 1972 por la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), su principal objetivo era utilizar los datos del satélite para la, cartografía, vigilancia, exploración y cambios en la superficie terrestre, las imágenes están a disposición del público y son gratuitas (Ariza, 2013). El proyecto pretende seguir captando imágenes del planeta, para brindar información de los recursos naturales, este fue lanzado el 11 de febrero de 2013 y estará activo por lo menos hasta el 2018.

Las herramientas que lleva este satélite permiten realizar un mejor análisis de la cobertura vegetal, suelo, cuerpos de agua, entre otros recursos naturales y las actividades antrópicas o naturales que afectan a estos recursos como incendios, deforestación, avance de la frontera agrícola; permitiendo obtener datos reales al usar las imágenes de este satélite.

La misión lleva a bordo los instrumentos como Operational Land Imagen (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS). El sensor OLI capta información de la superficie de la Tierra en el rango visible, infrarrojo e infrarrojo de onda corta del espectro, tiene una resolución espacial de 15 m pancromática y 30 m multiespectral con un ancho de barrido de 185 km. TIRS capta información en el rango térmico, tiene una resolución espacial de 100 m en escenas de también 185 km de ancho (Landsat, 2014).

La misión Landsat LDCM tiene tres objetivos principales:

- Captar y archivar datos multiespectrales y térmicos de todo el planeta con resolución espacial media.
- Asegurar la consistencia con los datos generados por las misiones Landsat predecesoras, en términos de geometría, cobertura, características espaciales y espectrales para permitir el estudio de la cobertura y los cambios en los usos del suelo durante las últimas décadas.
- Distribuir productos derivados de los datos de la misión de forma gratuita a todos los usuarios.

### 2.2.3. Imágenes del satélite TERRA

El ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) es un sensor de última generación que se encuentra a bordo del satélite TERRA, está en órbita desde fines de 1999. Este sensor tiene un ancho de barrido de 60 km y cubre una amplia región espectral con 14 bandas, desde el visible al infrarrojo térmico, con una alta resolución espacial, espectral y radiométrica, en el cuadro 2.2 se describe el subsistema, rango espectral y la resolución espacial de las 14 bandas del satélite TERRA. El satélite opera en una órbita casi polar y a una altitud de 705 km, cruzando el Ecuador a las 10:30 hora local y con un periodo de revisita de 16 días (Marquetti, Marín, Kaku, Kohno, & Yokokawa, 2004).

**Cuadro 2.2.** Bandas y resolución espacial del satélite TERRA

Subsistema	No de banda	Rango espectral $\mu\text{m}$	Resolución espacial
VNIR	1	0,52-0,60	15 m
	2	0,63-0,69	
	3N	0,76-0,86	
	3B	0,76-0,86	
SWIR	4	1,60-1,70	30 m
	5	2,145-2,185	
	6	2,185-2,225	
	7	2,235-2,285	
	8	2,295-2,365	
TIR	9	2,360-2,430	90 m
	10	8,125-8,475	
	11	8,475-8,825	
	12	8,925-9,275	
	13	10,25-10,95	
	14	10,95-11,65	

**Fuente:** (Méndez, M., Agüero, B. & Pérez, E., 2007)

El logro de ASTER es la adquisición de datos espectrales cuantitativos de radiación reflejada y emitida desde la superficie terrestre con una resolución espacial y espectral que pueden ser

utilizadas para la detección de vegetación, óxidos de hierro presentes en rocas y en suelos, zona de absorción característica de filosilicatos, carbonatos, sílice presente en las rocas y minerales (Yamaguchi, 1998).

#### **2.2.4. Cartografía base**

La cartografía base es elemental para el análisis multitemporal, recopilando la información existente de cartas topográficas y datos de las diferentes instituciones como: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), Ministerio del Ambiente (MAE), Instituto Geográfico Militar (IGM), Sistema Nacional de Información (SIN) entre otras. Es posible tener información de excelente calidad, una vez identificadas las necesidades y requerimientos del estudio seleccionamos la información y la digitalizamos, permitiendo tener la información más organizada y ser manejada con mayor facilidad.

#### **2.2.5. Componentes de Sistema de Información Geográfica (SIG)**

Las herramientas SIG son de mucha importancia debido a la gran cantidad de alternativas para realizar análisis, las cuales el usuario va utilizando en el desarrollo de su investigación y así generando variables las cuales pueden ser plasmadas en mapas y cuadros, estas brindan factores y restricciones a la investigación. Además permiten trabajar por diferentes coberturas de cada componente, así la información se maneja más ordenadamente, corroborando con la información de la cartografía base. Realizado los procesos con las herramientas SIG obtenemos mapas de cobertura vegetal, zonas de recarga hídrica e isoyetas. Los cuales servirán para la elaboración del análisis multitemporal de cambio de la escorrentía superficial (Almeida, Duriavich, Napolitano, & Feoli, 2009).

#### **2.2.6. Modelo de curva número (CN)**

El método de Curva Numero (CN) desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de EE.UU (SCS). Es un método usado a nivel mundial, el cual permite conocer la estimación de escurrimiento de pequeñas cuencas o microcuencas, combinado con herramientas de

Sistemas de Información Geográfica (SIG) se desarrolla un análisis hidrológico (Chagas, et al, 2008). Asimismo estas herramientas permiten conocer redes de drenajes evaluando la morfología del terreno, el impacto de la dinámica fluvial en el territorio, longitudes de cauces, zonas de potenciales de inundación, entre otras. Por eso la importancia de la aplicación de CN compuesto con herramientas SIG para el manejo adecuado de la hidrología.

Según Chagas, et al, (2008) la fórmula para el cálculo del método curva número es la siguiente:

$$S = 5 P + 10 Q - 10 (Q^2 + 1,25 PQ)^{1/2}$$

Donde

S: retención potencial máxima (mm);

P: lluvia (mm), y

Q: escurrimiento (mm)

Analizando la cobertura vegetal de los diferentes épocas y aplicando este método se obtuvo la esorrentía generada por una tormenta o la precipitación neta que existió en los diferentes años, este dato se puede transformar a caudal y así obtener los datos de caudales de los años de estudio (López, 2001). Además en este estudio se realizó salidas de campo en las cuales se midió los caudales a través del molinete electrónico, por lo cual permite un dato más exacto de los caudales.

### **2.3. Medición de caudales**

La medición de caudales es un proceso básico, permite a conocer la dinámica y la variabilidad de los cursos de agua. Estos son afectados por las épocas secas y lluviosas, que generan cambios en estos cursos de agua, he aquí la importancia de medir los caudales en las diferentes épocas porque gracias a estos datos se pueden hacer predicciones más efectivas de la esorrentía superficial (Rojas, 2006).

El molinete electrónico es una herramienta básica para medir caudales, no es lo último en tecnología pero es sumamente útil al momento de realizar investigaciones. El molinete de

marca RICKLY HYDROLOGICAL que se muestra en la figura 2.1 fue usado para la medición de los caudales de los ríos Pantaví y Piñán en las diferentes épocas, obteniendo datos útiles para la investigación.



**Figura 2.1.** Molinete electrónico marca RICKLY HYDROLOGICAL  
Fuente: El autor

#### **2.4. Cuencas hidrográficas**

La cuenca hidrográfica es un conjunto de componentes tanto bióticos como abióticos, que está limitada por la divisoria de aguas. Son de mucha importancia en el aspecto de los recursos naturales, porque estas brindan varios servicios a la flora, fauna y seres humanos

que habitan en ella, uno de los principales recursos usados por los humanos es el recurso hídrico el que es de mucha importancia para la supervivencia de este.

#### **2.4.1. Aprovechamiento de los recursos hídricos en las cuencas hidrográficas**

Los recursos hídricos se los han utilizado a lo largo de la historia del hombre, en un principio de una manera sostenible, pero debido al aumento excesivo de la población existe una demanda hídrica ligada al abastecimiento humano, actividades agropecuarias, forestales e industriales (Hernandez, 2008). Aquí comienza el dilema del adecuado uso de los recursos que brindan las cuencas hidrográficas, ya que se pensaba que estos se eran inagotables, pero con el tiempo la humanidad se ha percatado que los recursos van disminuyendo.

Comienza la época de un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos en las cuencas hidrográficas, en donde se crea represas para generar energía hidroeléctrica, agua potable y agua de riego, también se construye canales los cuales permiten llevar el agua de un lado a otro y así mejorar la disposición de este recurso. Además se inserta programas de reforestación y educación ambiental contra la tala indiscriminada debido a que la generación del recurso hídrico depende de la vegetación (Jimenez, Mena , & Wong, 2011).

#### **2.4.2. Degradación de las cuencas hidrográficas**

Las cuencas hidrográficas en la actualidad están teniendo grandes problemas, la pérdida de los bosques a corto plazo hacen que la escorrentía superficial sea mayor por lo que existe erosión provocando un gran arrastre de sedimentos en los ríos y a largo plazo hace que el recurso hídrico disminuya. Castro (2013) afirma que la degradación de una cuenca se evalúa de acuerdo a la calidad del suelo, agua, aire y cobertura vegetal. El suelo es un factor determinante y se considera un recurso básico, es decir, de él se derivan otros, como la vegetación.

En países de Latinoamérica un gran porcentaje de la población se dedica a la agricultura generando actividades antrópicas como avance de la frontera agrícola, deforestación, uso excesivo de agroquímicos y labranzas no convencionales. Estas influyen en la degradación

de suelos, sumado a los fenómenos naturales como la precipitación, escorrentía y viento hacen que los suelos pierdan su fertilidad degradando las cuencas hidrográficas.

### **2.4.3. Cobertura vegetal en las cuencas hidrográficas**

En general la vegetación nativa ayuda a los suelos a mantener características físicas como la permeabilidad, la estructura, la densidad aparente y agronómicamente deseable. El área que rodea las cuencas que está compuesta por plantas y árboles contribuye a mantenerlas en buen estado (Andreola, Costa, & Olszewski, 2000). A continuación se indica algunos de los beneficios:

- La capa vegetal suaviza el impacto al suelo del agua de lluvia al caer.
- Aumenta la infiltración y la evaporación, siendo esta importante porque ayuda a mantener el ciclo hidrológico.
- La hojarasca absorbe energía de la escorrentía y reduce la erosión.
- El suelo filtra el agua y esta traspasa los estratos de la tierra hasta encontrar acuíferos o ríos subterráneos, este proceso ayuda a la remoción de microorganismos patógenos.
- Las rocas y los árboles caídos en el cauce del río, desaceleran la velocidad del agua y ayudan a retener los sedimentos.
- Reducen las escorrentías.
- Reducen la erosión y la sedimentación.

Todo lo contrario pasa con la vegetación no nativa ya que al reforestar con esta cambia los sistemas radiculares, las necesidades nutricionales son diferentes, afectando las características del suelo.

En áreas de las cuencas donde los árboles de un lugar han sido cortados, el agua de lluvia corre sobre el terreno en vez de ser absorbida por éste y la vegetación y los canales naturales que permiten la infiltración de agua se tapan con fango. Si el área es una con mucha pendiente, el agua corre muy rápida a través de los ríos llevándose con ella sedimentos y nutrientes.

## **2.5. Problemas del recurso hídrico**

Un factor determinante de la suficiencia o escasez de agua frente a las necesidades humanas globales es la sensibilidad de los recursos hídricos al aumento de temperatura y disminución de la precipitación, precisamente en las zonas con temperaturas medias altas y con precipitaciones bajas. Las zonas más críticas son las semiáridas, en las que las disminuciones de aportación pueden llegar a ser del 50% de los recursos potenciales de la zona (Iglesias, Estrela, & Gallart, 2005).

## **2.6. Estudio del Proyecto Multipropósito Piñán - Tumbabiro**

El 24 de octubre del 2012 la Secretaria Nacional del Agua contrató los servicios de la Consultora ESPE-INNOVATIVA con la finalidad de que realice los estudios de factibilidad, prefactibilidad y diseño definitivo del proyecto multipropósito Piñán-Tumbabiro, a fin de analizar la viabilidad técnica, económica y ambiental del mismo. Este proyecto que contempla la construcción de una pequeña central hidroeléctrica que generará 15 Mw, además abastecerá de agua de riego a 8.574 has y de agua potable a una cantidad de 200.000 habitantes, entre ellos la ciudad del conocimiento YACHAY que es el principal motivo de la construcción de este proyecto (ESPE - INNOVATIVA, 2014).

## **2.7. Construcción de proyectos multipropósitos en el Ecuador**

En la actualidad la Secretaria Nacional del Agua propone construir proyectos para un mejor uso del recurso hídrico y así brindar una mejor calidad de vida a todos los ecuatorianos cumpliendo con el Plan Nacional del Buen Vivir, estos se ejecutarán hasta el 2016 y tendrán una duración de 30 años. SENAGUA elaborara los siguientes proyectos: Proyecto multipropósito Matala – Casa Vieja Nambacola, Proyecto multipropósito Puruhanta – Pimampiro – Yahuarcocha, Proyecto multipropósito Jama, Proyecto multipropósito Tumbabiro, Proyecto multipropósito Puma y Proyecto multipropósito Río Verde.

La presente investigación aporta valiosa información al Proyecto Multipropósito Tumbabiro el cual se encuentra en los estudios de prefactibilidad y factibilidad.

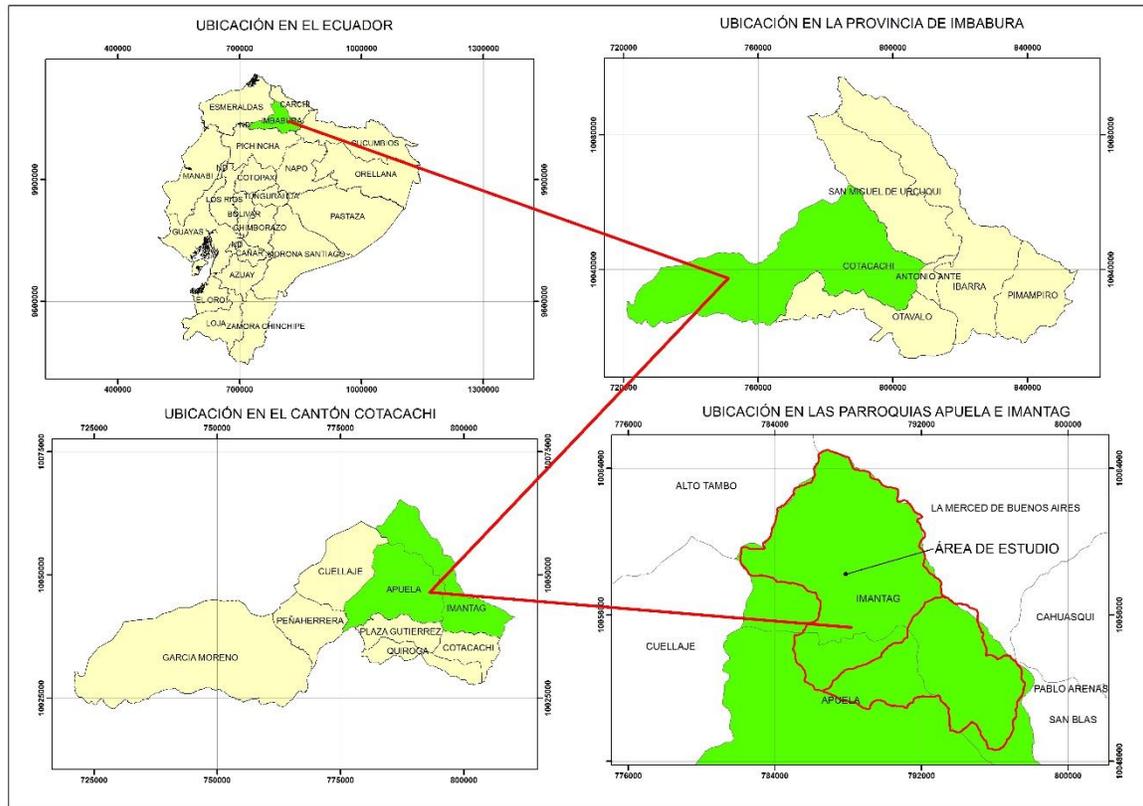
## **CAPÍTULO III**

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

En este capítulo se detallan los materiales que fueron usados para la investigación e igualmente se describe de manera secuencial y sistemática los métodos que se usaron en las diferentes etapas del proceso investigativo.

#### **3.1. Área de estudio**

Las microcuencas del río Piñán y río Pantaví políticamente se encuentran en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, parroquia Apuela e Imantag como se observa en la figura 3.1. Las microcuencas altitudinalmente se encuentra en el rango de 3200 – 4500 msnm, la superficie total es de 11883,7 has, la principal vía de acceso es por la parroquia Buenos Aires con un tiempo estimado de 4 horas, existe otra vía de acceso por el cantón Urcuquí pero esta se encuentra en mal estado con un tiempo estimado de dos horas. Existen dos poblados el de Guanani y el más conocido el poblado de Piñán.



**Figura 3.1.** Ubicación del área de estudio

**Fuente:** Mapa de ubicación, 2015

En el siguiente cuadro 3.1 se detallan los puntos GPS extremos del norte, sur, este y oeste del área de estudio, los cuales se encuentran en coordenadas UTM con la respectiva altitud.

**Cuadro 3.1.** Coordenadas de los puntos de las microcuencas de los ríos Piñán y Pantaví, Datum WGS 84, zona 17 sur

PUNTO	COORDENADA X	COORDENADA Y	ALTITUD (msnm)
1	786710	10064982	3400
2	786486	10056418	3280
3	793093	10057156	4080
4	796332	10048849	3920

**Fuente:** Mapa de ubicación, 2015

### 3.2. Materiales

En el cuadro 3.2 se detallan los materiales, equipos y software que fueron usados en la investigación, los materiales se dividieron en fase de campo y fase de laboratorio.

**Cuadro 3.2.** Listado de materiales, equipos y software usados en la investigación

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
<u>Fase de Campo</u>	
Sleeping Carpa Flexómetro de 30 m Libreta de campo Poncho de aguas Mochila Cartas topográficas analógicas	Computadora Cámara fotográfica Vehículo 4x4 Navegador GPS Garmin
<u>Fase de Laboratorio</u>	
Datos de las estaciones meteorológicas Imágenes satelitales ASTER y LANDSAT Internet Cartas topográficas digitales del IGM	Software Utilizados  ARCGIS 10.2 ERDAS 2013

Fuente: El autor

### 3.3. Métodos

Los siguientes métodos y técnicas fueron desarrollados de acuerdo a los objetivos, las preguntas directrices planteadas y las características propias del estudio.

#### 3.3.1. Identificación de variables que influyen en el análisis multitemporal de cambio de la escorrentía superficial

Para identificar las variables se obtuvo y revisó información de diferentes estudios realizados con la temática de análisis multitemporal, donde se determinó que los datos de precipitación, temperatura, cobertura vegetal, tipos de suelo y zonas de recarga hídrica influyen directamente con en el análisis multitemporal (Bernis & Betancourt, 2006).

### **3.3.1.1. Recopilación de información**

Para la recopilación de información se tomó en cuenta estudios e investigaciones realizadas en Latinoamérica, Ecuador y en la zona de estudio, enfocándose en obtener datos de los componentes bióticos y abióticos, en los componentes bióticos se priorizo el recurso vegetación, mientras que en el abiótico se obtuvo información del Sistema Nacional de Información (SNI) de geología, tipos de clima, tipos de suelo e hidrografía.

### **3.3.1.2. Análisis de datos meteorológicos**

Para analizar los datos meteorológicos de la zona y determinar los fenómenos naturales que afectan al recurso hídrico de las microcuencas del río Pantaví y río Piñán, se obtuvo información meteorológica de las estaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), empleando los datos de precipitación, tomando en cuenta las estaciones más cercanas: Apuela-Intag a una distancia de 21,7 km, Buenos Aires-Imbabura a 14,5 km, Atuntaqui a 25,6 km y Pablo Arenas a 22,7 km. Las microcuencas en estudio se localizan en sistema hidrográfico del río Esmeraldas, mientras que las estaciones meteorológicas y pluviométricas empleadas en el análisis climatológico se ubican en el sistema hidrográfico del río Mira; excepto la estación Apuela – Intag. Los sistemas hidrográficos Esmeraldas y Mira tienen diferente distribución geográfica de la precipitación debido a la presencia de las cordilleras oriental y occidental.

En el caso de las estaciones con información incompleta, se aplicó una correlación para determinar la ecuación que permitió rellenar datos incompletos de precipitación. De esta manera se obtuvieron datos completos para los periodos 1991, 1999, 2009 y 2013.

Se realizó un análisis de correlación y regresión para los datos de temperatura de los años de estudio con las estaciones: Inguincho, Olmedo, El Ángel, San Gabriel, Mira, Otavalo, Bolívar, San Vicente de Pusir y Cahuasqui.



#### **3.3.1.4. Clasificación de suelos**

Obtenida la información de suelos proporcionada por el SNI, se procedió a realizar el respectivo análisis del suelo con el área de estudio, usando el software ARCGIS 10.2. Además se utilizó la clasificación de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), permitiendo tener las características del suelo.

#### **3.3.1.5. Elaboración de cartografía temática**

La generación de cartografía temática a escala 1:50000 de cobertura vegetal, isoyetas medias anuales, isotermas, pendientes, tipos de suelo, zonas de vida de Holdridge y zonas de recarga hídrica; se realizó usando el software ArcGIS 10.2 considerando las variables: precipitación, pendiente del terreno, textura del suelo, cobertura vegetal, evapotranspiración y litología. Posteriormente se realizaron salidas de campo para validar la información obtenida en la cartografía temática de las microcuencas del río Pantaví y río Piñán.

La cartografía temática consistió en lo siguiente:

1. Mapa de ubicación.
2. Mapa base.
3. Mapa de pendientes.
4. Mapa de suelos.
5. Mapa geológico.
6. Mapa de tipos de clima.
7. Mapa de drenajes superficiales.
8. Mapa de zonas de vida.
9. Mapa de isotermas
10. Mapa de isoyetas medias anuales (1991, 1999, 2009 y 2013).
11. Mapa de cobertura vegetal (1991, 1999, 2009 y 2013).
12. Mapa de zonas de recarga hídrica superficial.

Para realizar el mapa de zonas de recarga hídrica se utilizó la metodología de Matus, Faustino, & Jiménez, (2009), la cual indica que el primer paso para identificar zonas de recarga hídrica es evaluar y definir el área de estudio donde se va aplicar la metodología. El segundo paso es la caracterización y ubicación de las fuentes de agua, la metodología indica que hay que tomar puntos GPS del lugar donde se encuentran estas fuentes, se registraron los puntos donde se aforó los ríos. El tercer paso es la evaluación de los elementos del modelo propuesto, donde se identificó las zonas de recarga hídrica y se consideraron los siguientes elementos biofísicos: pendiente del terreno y microrelieve, tipos de suelo, tipos de roca, cobertura vegetal y uso del suelo.

La ponderación a estos elementos van del valor de 1 a 5 donde 1 es el valor con características menos favorables y 5 el valor más favorable para que ocurra una recarga hídrica, a continuación se detalla los valores y características que debe tener cada elemento.

- Microrelieve y pendiente

En relieve se identifica tres tipos de superficies: planas, convexas y cóncavas. En las superficies planas la trayectoria del agua sigue direcciones casi paralelas, en las convexas el agua se mueve dispersándose en distintas direcciones. Estos dos tipos de superficies permiten que el proceso de infiltración se más favorable debido a que el agua tiene mayor tiempo de contacto con el suelo, lo que se resume en que estos tipos de superficie son aptas para las zonas de recarga hídrica. Mientras que las superficies cóncavas tienen como característica que el agua fluye por la parte más baja, donde el proceso de infiltración es mínimo y existe erosión y compactación de suelos, lo que es menos favorable para que exista zonas de recarga hídrica.

Las pendientes están relacionadas directamente con la escorrentía superficial, por eso es necesario analizarlas debido a que influyen en las zonas de recarga hídrica, mientras más planas sean las pendientes más lentamente fluye el agua, existe mayor contacto con el suelo y favorece al proceso de infiltración. En sitios donde la pendiente es alta aumenta la velocidad

de la escorrentía, afectando las condiciones de suelo y disminuyendo la capacidad de recarga hídrica. Estas ponderaciones se indican en el cuadro 3.3.

**Cuadro 3.3.** Ponderación y características de microrelieve y pendiente

<b>MICRORELIEVE Y PENDIENTE</b>			
<b>MICRORELIEVE</b>	<b>PENDIENTE %</b>	<b>POSIBILIDAD DE RECARGA</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
Plano o casi plano, con o sin rugosidad	0 - 6	Muy alta	5
Moderadamente ondulado o cóncavo	6 - 15	Alta	4
Ondulado/cóncavo	15 - 45	Moderada	3
Escarpado	45 - 65	Baja	2
Fuertemente escarpado	>65	Muy baja	1

**Fuente:** Matus, O., Faustino, J., & Jiménez, F., 2009

- Tipos de suelo

Es importante analizar y evaluar la textura del suelo, ya que esta indica la porosidad, permeabilidad y compactación. Entre mayor sea la porosidad, tamaño de partículas y fragmentación del suelo existirá mayor infiltración lo que beneficia a la recarga hídrica. Mientras que en suelos de textura fina, arcillosa, pesada y compactada dificulta la recarga hídrica debido a que el proceso de infiltración es menor. Los valores se muestran en el cuadro 3.4.

**Cuadro 3.4.** Ponderación y características de tipo de suelo

<b>TIPO DE SUELO</b>		
<b>TEXTURA</b>	<b>POSIBILIDAD DE CARGA</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
Suelos franco arenosos o arenosos, con tamaño de agregados o partículas de gruesos a medios, con muy rápida capacidad de infiltración (más de 25 cm/h).	Muy alta	5
Suelos franco, con partes iguales de arena, limo y arcilla, con rápida capacidad de infiltración (12,7 - 25 cm/h).	Alta	4
Suelos franco limosos, con partículas de tamaño media a finas, con moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración (2 - 12,7 cm/h).	Moderada	3
Suelos franco arcillosos, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación, con lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración (0,13 - 2 cm/h).	Baja	2
Suelos arcillosos, muy pesados, con partículas muy finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración (menos de 0,13 cm/h)	Muy baja	1

- Tipo de roca

Existen rocas duras y suaves, las rocas duras con poros finos no favorecen la recarga mientras que las rocas suaves con macroporos, fallas o fracturas si favorecen a la recarga como se observa en el cuadro 3.5.

**Cuadro 3.5.** Ponderación y características de tipo de roca

<b>TIPO DE ROCA</b>		
<b>TEXTURA</b>	<b>POSIBILIDAD DE CARGA</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
Rocas muy permeables, muy suaves, constituidas por cristales o agregados gruesos con macroporos interconectados; por ejemplo, arena gruesa, piedra pómez, grava o cascajo.	Muy alta	5
Rocas permeables, suaves, constituidas por cristales o agregados medianos, con poros interconectados; por ejemplo, arena fina o arenisca con poca cementación	Alta	4
Suelos franco limosos, con partículas de tamaño media a finas, con moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración (2 - 12,7 cm/h).	Moderada	3
Suelos franco arcillosos, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación, con lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración (0,13 - 2 cm/h).	Baja	2
Suelos arcillosos, muy pesados, con partículas muy finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración (menos de 0,13 cm/h)	Muy baja	1

- Cobertura vegetal

La cobertura vegetal es un factor importante en el proceso de infiltración, esta permite que exista mayor contacto del agua con el suelo, disminuye la velocidad de la escorrentía, la erosión, el impacto de la gota de lluvia y la resequedad causada por los rayos de sol. Todas estas características favorecen a la recarga hídrica. Ver cuadro 3.6.

**Cuadro 3.6.** Ponderación y características de cobertura vegetal

<b>COBERTURA VEGETAL</b>		
<b>COBERTURA VEGETAL PERMANENTE (PORCENTAJE)</b>	<b>POSIBILIDAD DE CARGA</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
>80	Muy alta	5
70 – 80	Alta	4
50 – 70	Moderada	3
30 – 50	Baja	2
<30	Muy baja	1

- Uso del suelo

Las actividades antrópicas como: agricultura, ganadería, uso de maquinaria agrícola, influyen mucho en el uso de suelo y afectan a las características del suelo disminuyendo la infiltración y la recarga hídrica. Como se detalla en cuadro 3.7.

**Cuadro 3.7.** Ponderación y características de uso del suelo

<b>USO DEL SUELO</b>		
<b>USO DE SUELO</b>	<b>POSIBILIDAD DE CARGA</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
Bosque donde se dan los tres estratos: árboles, arbustos y hierbas o pasto denso.	Muy alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles.	Alta	4
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua.	Moderada	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua.	Baja	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo.	Muy baja	1

Matus, Faustino, & Jiménez (2009) mencionan que el paso número cuatro se determina el potencial de recarga hídrica de las zonas evaluadas empleando la siguiente fórmula:

$$ZR = [0,27(Pend) + 0,23(Ts) + 0,12(Tr) + 0,25(Cve) + 0,13(Us)]$$

Donde:

Pend: Pendiente y microrelieve

Ts: Tipo de suelo

Tr: Tipo de roca

Cve: Cobertura vegetal permanente

Us: Uso del suelo

Para establecer la posibilidad de zona de recarga hídrica se considera el valor de cada elemento multiplicado por un factor correspondiente que indica la metodología, este valor resultante se encuentra en un rango de posibilidades de recarga hídrica, los cuales se describen en el siguiente cuadro 3.8.

**Cuadro 3.8.** Rangos de posibilidad de recarga hídrica

<b>POSIBILIDAD DE RECARGA</b>	<b>RANGO</b>
Muy alta	4,1 - 5
Alta	3,5 - 4,09
Moderada	2,6 - 3,49
Baja	2 - 2,59
Muy baja	1 - 1,99

**Fuente:** Matus, O., Faustino, J., & Jiménez, F., 2009

### **3.3.2. Medición de caudales con molinete electrónico**

La medición de caudales de los ríos Pantaví y Piñán se realizó aforando los ríos con el molinete electrónico, que permitió conocer la variación del caudal por los diferentes aportes de los afluentes de las microcuencas. Se midió los caudales una vez cada dos meses por un período de un año, esto permitió conocer el caudal en época seca y época lluviosa. Además

se contó con información de aforos realizados por la consultora ESPE-INNOVATIVA para los estudios del proyecto multipropósito Tumbabiro. Una vez escogidos los puntos donde se realizó los aforos, se midió el ancho del río con el flexómetro o cinta métrica y se midió el caudal puntual cada 50 cm de sección de área mojada.



**Figura 3.3.** Medición de caudal.

**Fuente:** El autor.

Los datos tomados en campo a través del molinete fueron ingresados en la ficha del cuadro 3.9, la cual permite conocer el caudal en metros cúbicos por segundo y litros por segundo de cada sitio aforado, además la velocidad del agua y otras variables importantes para el estudio.



Los sitios seleccionados para el aforo de caudales corresponden a los puntos de aporte de las microcuencas del río Pantaví en el sitio de embalse 1 y en el río Piñán en el sitio de embalse 2 o principal.

### **3.3.3. Análisis multitemporal de cambio de escorrentía superficial**

El análisis multitemporal es una metodología que usa imágenes satelitales, datos históricos y recorridos de campo, este proceso se detalla en el cuadro 3.13. Este permitió conocer la variación de caudales en los diferentes años, además se analizó las variables que influyeron en el recurso hídrico de las microcuencas de los ríos Pantaví y Piñán como: cobertura vegetal, uso actual del suelo, precipitación, escorrentía y evapotranspiración, esta última se calculó con la fórmula de Holdridge (1959) la que se expresa como:

$$ETP = T * 58.93$$

En donde:

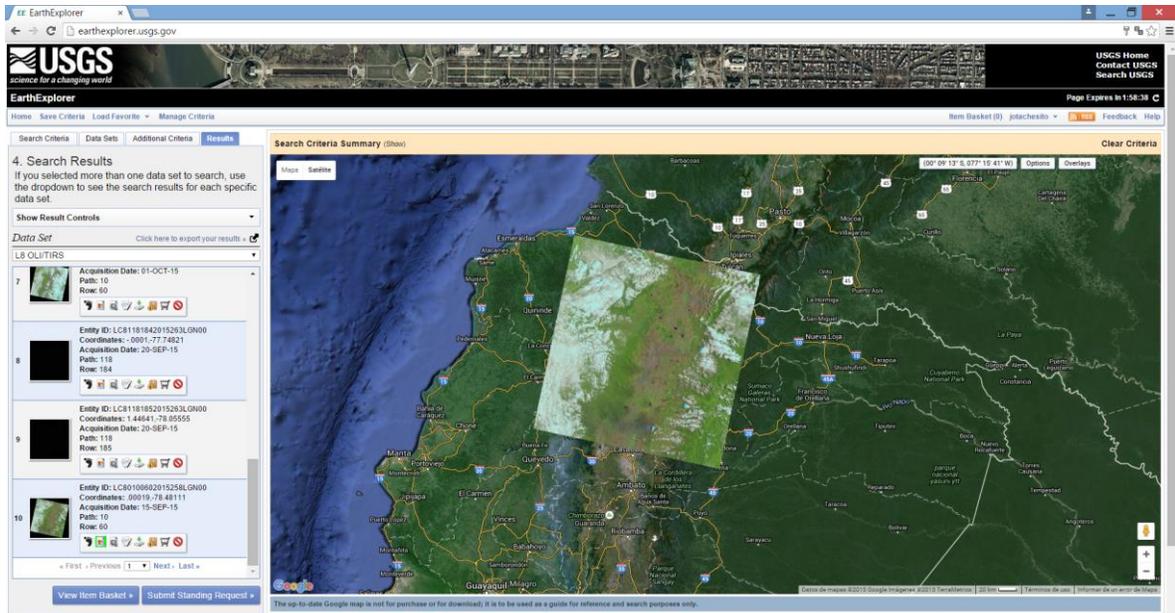
ETP= Evapotranspiración media anual

T= Biotemperatura media anual

Posteriormente se realizó una caracterización general de esta zona, lo cual permitió conocer si los caudales de los diferentes ríos aportan la cantidad necesaria de agua al embalse para abastecer las necesidades de las diferentes poblaciones.

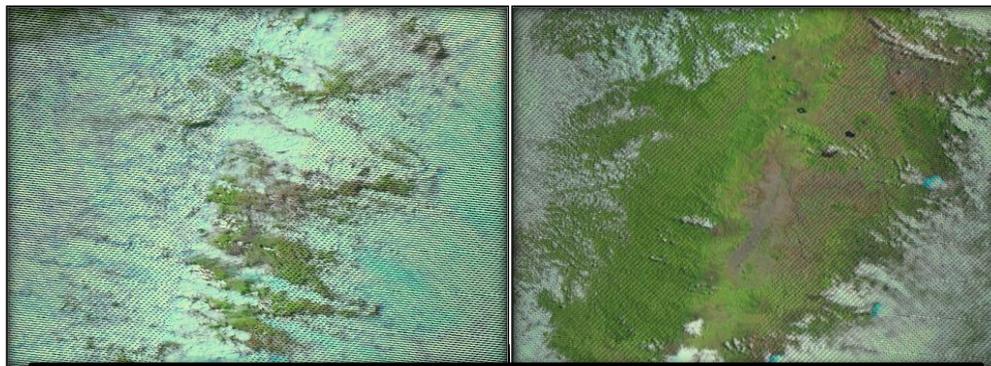
#### **3.3.3.1. Obtención de imágenes satelitales**

Las imágenes satelitales utilizadas para el estudio fueron de tipo ASTER y LANDSAT multiespectrales, estas fueron descargadas de los servidores GLCF, Earth Explorer y Glovis, de acuerdo a las necesidades y presupuesto de la investigación. Se procedió a encontrar el área de estudio, como se muestra en la figura 3.4.



**Figura 3.4.** Búsqueda de cobertura de imágenes para el área de estudio  
**Fuente:** USGS, 2014

Localizada el área se identificó en las imágenes presencia de nubosidad como se observa en la figura 3.5, debido a que esta afecta el análisis de bandas que se realizó a la imagen, en muchos casos la sombra de la nube ocupa un área, la cual se proyecta en una banda, esta también proyecta algún tipo de vegetación y al realizar el análisis de área de las coberturas vegetales, este dato indicara un porcentaje mayor al que realmente es.



a) Imagen satelital con nubosidad b) Imagen satelital sin nubosidad

**Figura 3.5.** Imágenes satelitales con porcentaje nubosidad  
**Fuente:** USGS, 2014

### 3.3.3.2. Procesamiento de imágenes de satélite

Las imágenes descargadas se encuentran en diferentes bandas multiespectrales como son: 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70, por lo cual se utilizó el software ERDAS para unir 10, 20, 30, 40, 50

y 70. Una vez unidas las bandas se obtuvo una imagen compuesta, la cual se procedió a procesar en el programa ArcGIS y simultáneamente el límite del área de estudio, seguidamente se aplicó la herramienta Extract by Mask y para extraer el corte de la imagen. Esta fue cambiada a formato a \*.img para ser procesada nuevamente en el software ERDAS.

Se realizaron dos clasificaciones una no supervisada y otra supervisada, además se determinó los índices de vegetación (NDVI), se comparó los cambios para dos diferentes épocas usando el módulo DELTA CUE de ERDAS. La información que se obtuvo de los análisis, fueron transformados a formatos vectoriales para su análisis en ArcGIS 10.2 de los periodos 1991, 1999, 2009 y 2013.

### **3.3.3.3. Clasificación no supervisada**

En el software ERDAS se realizó una clasificación no supervisada, una vez obtenidas las imágenes satelitales se examinan los elementos que existen en el área de estudio. Usando los algoritmos del software ERDAS se reconoce, examina y clasifica los píxeles de la imagen, donde se agrupa los que tienen características similares y se les asigna una clase. En este estudio se usaron 6 tipos de clases, se trabajó con la tabla de atributos y se analizó las diferentes clases. Se asignó un color a cada elemento identificado en la interpretación visual y se obtuvo un valor estimado del área de cada elemento que se encuentra en la imagen. Este es un proceso automático que realiza el programa.

### **3.3.3.4. Clasificación supervisada y comprobación en campo**

Primeramente se realizaron recorridos de campo en los cuales se registraron puntos GPS para los distintos elementos encontrados en el área de estudio como aspectos geológicos, cuerpos de agua, vegetación, áreas incendiadas y suelo, esto con el objetivo de que las firmas espectrales de los objetos identificados sean ajustadas a la realidad. Posteriormente se procedió a obtener las firmas espectrales mediante el software ERDAS para cada elemento identificado en la imagen. El software caracteriza a los píxeles de la imagen con las firmas espectrales, luego se obtiene datos de superficie de cada elemento y se combina con el conocimiento que se tiene del área. Además se verificó la cobertura vegetal del área de

estudio y su influencia sobre el recurso hídrico en cada año de análisis, lo que sirvió para una mejor interpretación multitemporal de cambio de la escorrentía superficial.

### **3.3.3.5. Aplicación del método Curva Número**

El modelo de Curva Número es un modelo desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1982), citado por (Beltrán, Rosales , & Villalba, 2013), el objetivo de este método es para estimar la escorrentía superficial en las microcuencas de los ríos Pantaví y Piñán, en los años en los que no fue posible realizar aforos, este método calculó la lluvia efectiva que posteriormente al proceso de infiltración se convierte en escorrentía, para lo cual es necesario conocer los tipos de cobertura vegetal y los tipos de suelo.

Después de realizar las clasificaciones no supervisadas y supervisadas se obtuvieron los porcentajes de tipos de vegetación de cada año de estudio, además se obtuvo la taxonomía del suelo, información obtenida del Geoportal del SNI (Sistema Nacional de Información).

El primer paso para aplicar la CN es obtener el grupo hidrológico, el cual deriva del tipo del suelo y sus características de infiltración, posteriormente se asigna el grupo de acuerdo a la metodología del S.C.S (Soil Conservation Service).

Los grupos se asignan de acuerdo a las siguientes características:

- Grupo A: Incluye suelos muy permeables, que presentan escurrimientos mínimos. Son suelos profundos, arenosos, sueltos, con predominio de arena y grava, con muy poca arcilla y limo.
- Grupo B: En este grupo se ubican los suelos arenosos menos profundos y menos permeables que los del grupo A, pero en conjunto con moderada permeabilidad cuando están saturados.
- Grupo C: Se incluyen los suelos poco profundos que presentan permeabilidad al estar saturados, contienen abundante arcilla y coloides.

- Grupo D: Suelos con el máximo escurrimiento superficial, muy permeables. Son suelos arcillosos profundos con una capa de arcilla muy cerca o de la superficie o con un subsuelo muy impermeable cercano a la superficie.

Para definir el grupo hidrológico del suelo se utilizó el Cuadro 3.10.

**Cuadro 3.10.** Grupos hidrológicos

<b>Grupo hidrológico (GH)</b>	<b>Textura</b>		<b>Infiltración</b>
A	Arenoso	arena	Alta
	Arenoso franco		
	Franco arenoso		
B	Franco limoso	+ arena - arcilla	Moderada
	Franco		
	Limoso		
C	Franco arcilloso arenoso	- arena + arcilla	Lenta
	Franco arcilloso limoso		
	Franco arcilloso		
D	Arcilloso arenoso	arcilla	Muy lenta
	Arcilloso limoso		
	Arcilloso		

**Fuente:** Tapia, 2012

También se tomaron en cuenta las condiciones de humedad del suelo de acuerdo a las precipitaciones que existen en la zona, esto quiere decir que si existe mayor precipitación el suelo tendrá una condición de humedad más alta y si existe poca o baja precipitación la condición será menor, como se observa en el cuadro 3.11.

**Cuadro 3.11.** Condiciones de humedad del suelo

<b>Condición hidrológica</b>	<b>Humedad antecedente del suelo</b>
I (pobre)	Suelo seco
II (medio)	Suelo medio
III (bueno)	Suelo húmedo (saturado debido a lluvias antecedentes)

Fuente: Tapia, 2012

Asimismo, para determinar la curva número se tomó en cuenta el grupo hidrológico, la cobertura vegetal y la condición de humedad, se establece la CN (curva número) de acuerdo al siguiente cuadro 3.12.

**Cuadro 3.12.** Curvas número

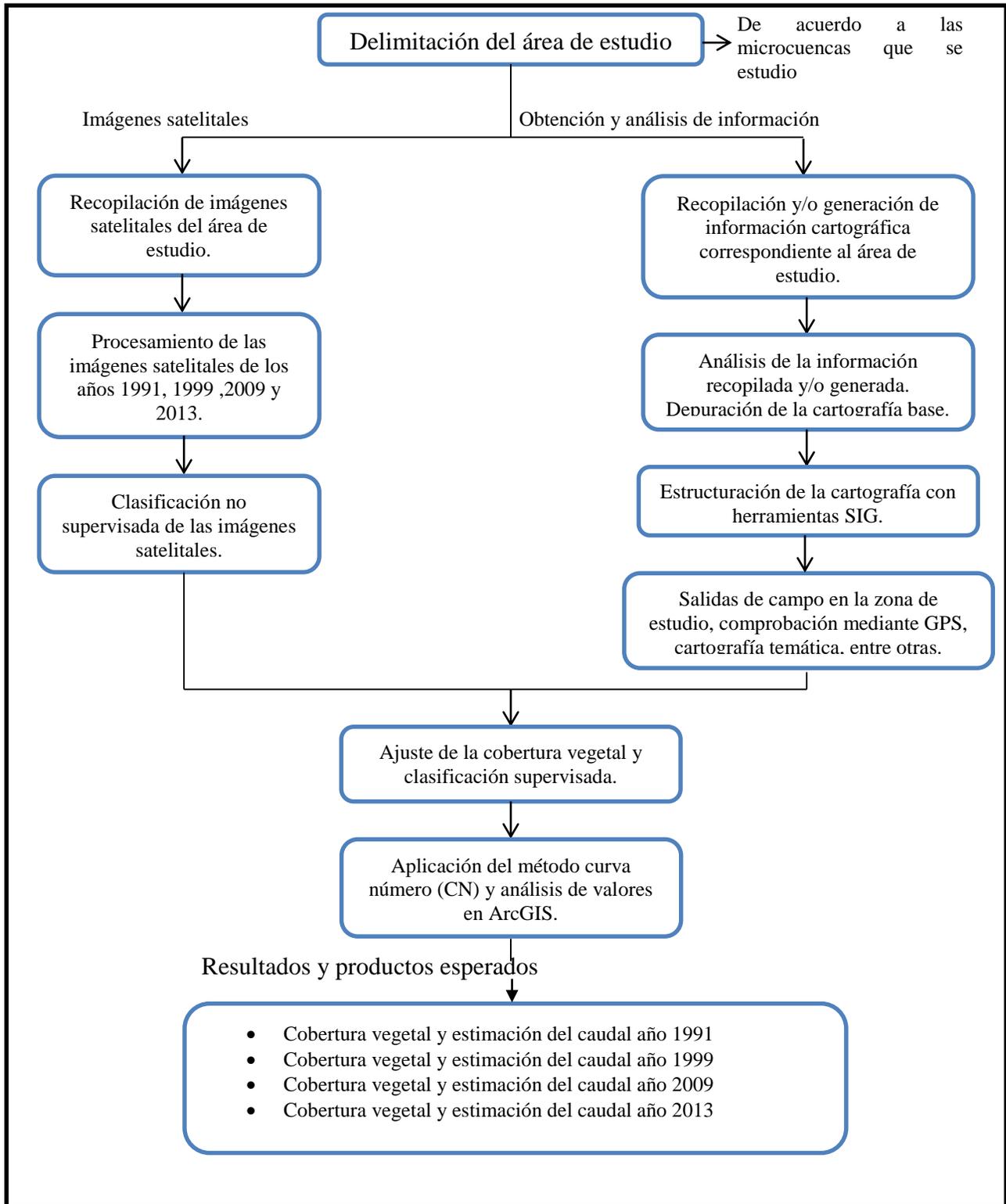
<b>Cobertura vegetal</b>	<b>Condición hidrológica</b>	<b>Grupo hidrológico</b>			
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Pasturas o pastizal	Pobre	68	79	86	89
	Medio	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
Praderas naturales o cultivadas	Pobre	47	67	81	88
	Medio	25	59	75	83
	Bueno	6	35	70	79
Pradera, pasto continuo para pastoreo	-----	30	58	71	78
Pastizal, pasto mezclado con pajonal, pajonal	Pobre	48	67	77	83
	Medio	35	56	70	77
	Bueno	30	48	65	73
Monte frutal, forestación, vegetación arbustiva	Pobre	57	73	82	86
	Medio	43	65	76	82
	Bueno	32	58	72	79
Bosque	Pobre	45	66	77	83
	Medio	36	60	73	79
	Bueno	30	55	70	77
Granjas, construcciones, caminos		59	74	82	86

Fuente: Tapia, 2012

Una vez obtenida la curva número, se procedió a usar el software ArcGIS en el cual se ingresó datos como: área de las microcuencas, longitud del cauce del río, cobertura vegetal, grupo hidrológico, condiciones de humedad y precipitación. Luego de haber realizado el análisis se obtuvo resultados de precipitación media, evapotranspiración media, escorrentía media y el caudal de cada año (Tapia, 2012).

Hay que tomar en cuenta que el método Curva Número tiene limitaciones, una de ellas es que considera el tipo de suelo, para lo cual se debería realizar una calicata para obtener información específica. Otro limitante es el uso de datos de cobertura vegetal de Estados Unidos por lo cual se adaptó la información a la vegetación del Ecuador.

**Cuadro 3.13.** Metodología para el análisis multitemporal



**Fuente:** Bernis & Betancourt, 2006

## **CAPÍTULO IV**

### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este capítulo se da a conocer los resultados y discusión de la investigación; los resultados comprenden la identificación de variables que influyeron en el análisis multitemporal, el resultado de las mediciones de caudales realizadas en las salidas de campo y el análisis del recurso hídrico de los diferentes años.

#### **4.1. Identificación de variables**

Las variables que influyeron en los resultados del estudio fueron: precipitación, cobertura vegetal, tipos de suelo y grupo hidrológico. Además de contar con todos los resultados de la cartografía temática.

##### **4.1.1. Precipitación**

Se determinó la precipitación obteniendo datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de las estaciones influyentes al área de estudio.

La estación Apuela – Intag presenta precipitaciones mayores a los 100 mm (milímetros) entre los meses de enero y abril, mientras que los meses más secos son agosto y septiembre en los cuales en algunos años no se presentó precipitación. Esto se indica en el cuadro 4.1.

**Cuadro 4.1.** Precipitación mensual (mm), estación Apuela – Intag

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1991	177,6	217,4	252,9	333,7	87,7	11,4	22,4	0	0	172,1	18,8	74,9
1999	297,7	312,8	175,5	318,2	100,7	42,2	88,9	5,7	162,7	78,3	145,4	306,3
2009	362,5	367,9	240,9	111,3	33,3	77,4	3,8	6	0	95,1	32	182,7
2013	308,1	250,3	155,2	290,7	59,6	43,9	50,3	15,4	80,2	111,3	84	127,3

Fuente: INAMHI, 2013

De la estación Buenos Aires – Imbabura solo se obtuvo información del año 1991 indicada en el cuadro 4.2. En este año las precipitaciones mayores son presentaron entre los meses de febrero hasta mayo, mientras que julio y agosto son los meses más secos.

**Cuadro 4.2.** Precipitación mensual (mm), estación Buenos Aires – Imbabura

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1991	6,6	251,6	582,2	475,5	193,9	89	18,8	29,2	101,9	90,2	237	229,2

Fuente: INAMHI, 2013

La estación Pablo Arenas indica que las precipitaciones altas se presentan desde el mes de noviembre hasta el mes de abril y los meses con menor cantidad de precipitación son desde julio hasta septiembre, lo que se señala en el cuadro 4.3.

**Cuadro 4.3.** Precipitación mensual (mm), estación Pablo Arenas

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1991	42,6	18,7	145,4	46,8	154,1	23,4	9,8	4,5	37,9	41,6	110,5	79,5
1999	202,8	109,1	110,4	119,5	38,8	42,3	11,2	4	65,8	49	112,2	246,5
2009	93,6	119,5	132,8	83,1	34	25	1	7	1	50,1	67,7	116,3
2013	176,3	101	36	113,4	5,4	4,2	3,7	3,7	0,5	65,9	66	333,6

Fuente: INAMHI, 2013

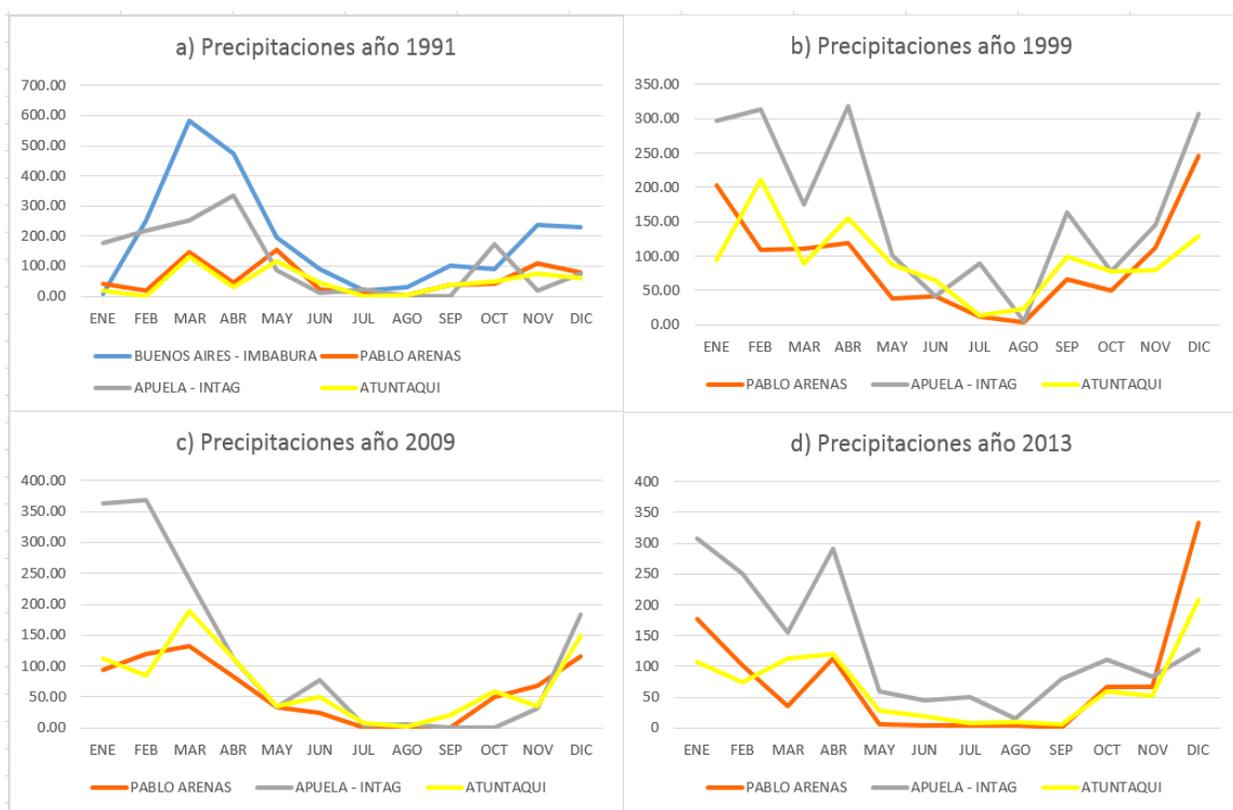
La estación Atuntaqui indica que en el año 1991 existió poca precipitación en los meses de diciembre, enero, febrero y abril. Por lo general estos meses presentan abundantes lluvias, en los posteriores años de estudio se observa que desde el mes de diciembre hasta el mes de abril se presentaron fuertes precipitaciones mientras que los meses julio y agosto poseen la menor cantidad. Estas observaciones están en el cuadro 4.4.

**Cuadro 4.4.** Precipitación mensual (mm), estación Atuntaqui

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1991	17,8	1	133,5	29,3	116	46,7	0	3,4	39	47,3	76,3	60,4
1999	94,1	210,9	89,8	155	87	65	14	23,7	99,7	78,3	79	128,5
2009	111,7	85,5	188,5	111,2	34,6	50,2	8,6	1,6	19,7	58,4	35,8	149
2013	107	73,4	111,9	120	27,1	19,7	6,9	9,6	6,7	59,3	52,7	208,6

Fuente: INAMHI, 2013

En la figura 4.1 se indican los precipitaciones de las estaciones pluviométricas en los diferentes años de estudio



**Figura 4.1.** Precipitaciones de las diferentes estaciones pluviométricas

Fuente: El autor

#### 4.1.2. Cobertura vegetal

De acuerdo al análisis de vegetación se identificaron cuatro tipos de páramo: páramo de pajonal, páramo herbáceo de almohadillas, páramo arbustivo y bosque altoandino. Además, debido a las actividades antrópicas se encontró áreas de pasto natural. Estas coberturas de

páramo son muy distintas a las que (Mena & Hofstede, Los páramos ecuatorianos, 2006) mencionan que existe en el Ecuador, pues nombran al páramo de frailejones, páramo húmedo, páramo seco y superpáramo. Esto debido a que la clasificación realizada por estos autores es muy general y la realizada en esta investigación es muy específica del área de estudio. El único tipo de páramo en común entre las dos investigaciones es el páramo arbustivo.

#### **4.1.3. Tipos de suelo**

Utilizando la clasificación de suelos de la USDA (1975) se encontraron dos grupos: Argiustoll y Dystrandetp. El tipo Argiustoll posee materiales con minerales, una textura franco arenosa, entre mayor profundidad posee menos materia orgánica, poseen hasta un 15% de material calcáreo. Por lo general poseen colores oscuros aunque muchas veces tienen colores más claros, pero no significa que pierdan su porcentaje de materia orgánica, básicamente es un suelo blando. El tipo de suelo Dystrandetp en cambio es un suelo con minerales pero que no posee materiales sulfúricos, tiene una textura fina franco arenoso, se puede encontrar rocas pero estas no superan el 50%, a profundidades de 100 cm o mayores, se pueden encontrar acumulaciones de carbonato de calcio o de carbonato de calcio y magnesio. Mena & Medina (2000), mencionan que los suelos del páramo ecuatoriano son de orden Andisoles muy distinto al que se halló en el área de estudio, pues se encontraron Inceptisoles y Mollisoles. La diferencia radica en que los estudios realizados sobre el suelo de los páramos son muy generales y escasos, mientras que en el presente estudio se obtuvo información del mapa de suelos de Ibarra del Ministerio de Agricultura y Ganadería para poder llegar a la clasificación por gran grupo.

Los tipos de suelo de este estudio poseen una textura franco arenosa, por lo cual su capacidad de infiltración será mayor debido a que el tamaño de sus poros son grandes, lo que permite más entrada de agua al suelo (Leighton, 1975).

#### **4.1.4. Grupo hidrológico**

Con los tipos de suelo identificados se procedió a asignar el grupo hidrológico, el cual es necesario para la aplicación del método curva número; el grupo hidrológico asignado es A debido a que las características del suelo son de mayor infiltración por la textura arenosa, además son profundos lo que se constató en las salidas de campo.

#### **4.1.5. Cartografía temática**

- Mapa de ubicación (Mapa No. 1)

El área de estudio se encuentra en la provincia de Imbabura, en el cantón Cotacachi, en las parroquias de Apuela e Intag.

- Mapa base (Mapa No. 2)

El área de estudio tiene un área de 11883,7 has, se encuentra en un rango altitudinal de 3200 a 4500 msnm, tiene dos principales vías de acceso y se encuentran las comunidades de Piñán y Guanani.

- Mapa de pendientes (Mapa No. 3)

Dentro del área de estudio se clasificó las pendientes en seis tipos como se muestra en el cuadro 4.5. La pendiente plana con un rango de inclinación de 0 – 9% cuenta con una área de 3097,44 has lo que representa un porcentaje del 26,09% , la pendiente suavemente inclinada con un rango de 9 – 27% tiene un área de 3766,20 has lo que indica que es el tipo de pendiente con mayor porcentaje en la zona de estudio con un 31,73%, la pendiente moderadamente inclinada de 27 – 47 % posee una área de 3246,03 has y un 27,34%, la pendiente fuertemente inclinada de 47 – 70% tiene un área de 1453,23 has con un porcentaje de 12,24%, la pendiente montañosa de 70 – 100% cuenta con un área de 271,86 has lo que representa un 2,29% y la pendiente escarpada de rango >100% es la pendiente con menor cantidad de área teniendo 36,17has y por ende el menor porcentaje 0,30%

**Cuadro 4.5.** Pendientes del terreno.

<b>Morfología</b>	<b>Rango</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Plana	0-9%	3097,44	26,09
Suavemente inclinada	9-27%	3766,20	31,73
Moderadamente inclinada	27-47%	3246,03	27,34
Fuertemente inclinada	47-70%	1453,23	12,24
Montañosa	70-100%	271,86	2,29
Escarpada	>100	36,17	0,30
<b>Total</b>		<b>11870,92</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Mapa de pendientes, 2015

- Mapa de tipos de suelos (Mapa No. 4)

Según la clasificación de suelos del USDA se encontraron dos grandes grupos, donde se identificó el tipo Argiustoll con un área de 440,41 hectáreas y un porcentaje de 3,71% y Dystrandept con un área 11401,02 has que es el tipo de suelo que mayoritariamente se encuentra en la zona y ocupa el 95,94% del área de estudio, además se encontraron cuerpos de agua que ocupan un área de 42,29 has representando el 0,36%. Todos los porcentajes y áreas están representados en el cuadro 4.6.

**Cuadro 4.6.** Tipos de suelos

<b>Gran grupo</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Argiustoll	440,41	3,71
Dystrandept	11401,03	95,94
Cuerpos de agua	42,30	0,36
<b>Total</b>	<b>11883,74</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Mapa de suelos, Sistema Nacional de Información, 2013

- Mapa geológico (Mapa No. 5)

De acuerdo al mapa geológico se encontraron 7 formaciones geológicas como se indica en el cuadro 4.7, además se encontró el cuerpo de agua que ocupan 42,01 has lo equivale a un porcentaje de 0,35%. La formación Deposito aluvial tiene 304,94 has lo que representa un 2,57%, la formación deposito coluvial posee 728,75 has y un 6,13%, los volcánicos del Yanahurco representan 759,93 has lo que significa un 6,39%, la formación Volcánicos del Imbabura cuenta con 1598,69has y un porcentaje del 13,45%, la formación volcánicos del

Negro Puno tiene la mayor área 5029,94 has y 42,32%, la formación duripan o cangahua posee un área de 3383,86 has lo que representa el 28,47%, la formación terraza indiferenciada cuenta con 36 has y un porcentaje del 0,30%.

**Cuadro 4.7.** Geología

<b>Formación</b>	<b>Significado</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Da	Deposito aluvial	304,94	2,57
Dc	Deposito coluvial	728,75	6,13
Pl-Pr	Volcánicos del yanahurco	759,93	6,39
PIM	Volcánicos del imbabura	1598,69	13,45
PNP	Volcánicos del negro puno	5029,94	42,32
Qc	Duripan (cangahua)	3383,86	28,47
Ti	Terraza indiferenciada	36,00	0,30
Lago	Cuerpos de agua	42,01	0,35
<b>Total</b>		<b>11884,12</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Mapa geológico, Sistema Nacional de Información, 2013

**Volcánicos del Yanahurcu:** están constituidos por lavas andesíticas, brechas volcánicas y productos piroclásticos, la ausencia de evidencias estructurales que determinan una acción tectónica terciaria hace suponer que estas rocas son Plio – pliocénicas (Beltrán & Pozo, 2010).

**Volcánicos del Imbabura:** están constituidos de lavas, aglomerados y lahares. Las lavas son andesitas mesocráticas, compactas de grano fino a medio con fenocristales de plagioclasas y ortopiroxenos en una matriz vidriosa. Los aglomerados están constituidos por fragmentos de rocas volcánicas, redondeadas a angulares. Los depósitos laharíticos se han desplazado de las pendientes hasta las llanuras (Morales, 2011).

**Volcánicos del Negro Puno:** contiene flujos de andesitas piroxénicas, el porcentaje de piroclásticos es mínimo y además conserva la geomorfología del avance de sus flujos (Ministerio de Recursos Naturales y Energeticos , 1980).

**Duripan (Cangahua):** es un depósito de cenizas de color café claro o habano de varios metros de espesor y muy endurecidas, esta formación se la halla en casi todo el norte de los andes ecuatorianos (Castillo & Morales, 2012).

**Terrazas indiferenciadas:** son formaciones naturales están se originan tras procesos hídricos y arrastre de muchos materiales, en la mayoría se encuentran como basamento los depósitos laháríticos, intercalados con tobas y cenizas (Ministerio de Recursos Naturales y Energeticos , 1980).

**Depósitos coluviales y aluviales:** los depósitos coluviales están formados por rocas volcánicas de tamaño variable, también su material esta contiene arena y Cangahua, mientras que los aluviales se forman por lo general a los márgenes de los ríos principales, estos forman parte de la edad holocénica (Ministerio de Recursos Naturales y Energeticos , 1980).

- Mapa de tipos de clima (Mapa No. 6)

Se encontró solo un tipo de clima el cual ocupa toda el área de estudio es decir 11883,70 has y el total del porcentaje como se indica en el cuadro 4.8.

**Cuadro 4.8.** Tipos de clima

<b>Clima</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Ecuatorial de alta montaña	11883,70	100

**Fuente:** Mapa de tipos de clima, Sistema Nacional de Información, 2013

**Clima Ecuatorial de alta montaña:** Este clima se encuentra desde los 3000 msnm, posee temperaturas medias anuales entre los 4 y 8°C, temperatura máxima de 20°C y temperatura mínima de 0°C, además presenta precipitaciones medias anuales de 800 a 2000mm y una humedad relativa superior al 80% (Pourrut, Róvere, Romo, & Villacrés, 1992).

- Mapa de drenajes superficiales (Mapa No. 7)

El área de estudio cuenta con 12 drenajes menores (quebradas) de las cuales 4 son de tipo intermitente, esto quiere decir que el flujo de agua no es constante, por lo general estas cuentan con un caudal menor en la época lluviosa. También existen 8 quebradas y 6 ríos todos perennes, esto quiere decir que su flujo de agua es constante independientemente de la época seca o lluviosa. Los nombres y tipos de las quebradas y ríos se encuentran en el cuadro 4.9.

**Cuadro 4.9.** Red hidrográfica

<b>Ríos y quebradas</b>	<b>Tipo</b>
Quebrada Huaycupungu	Intermitente
Quebrada Chaupichupa	Intermitente
Quebrada Tablarrumi	Intermitente
Quebrada Huacamullo	Intermitente
Quebrada Huaycupungu	Intermitente
Quebrada Chiquita	Perenne
Quebrada del Ciego	Perenne
Quebrada Contrayerba	Perenne
Quebrada Chuganta	Perenne
Quebrada Mojon Cruz	Perenne
Quebrada Cuchihuasi	Perenne
Quebrada Cusincucho	Perenne
Quebrada Canmullo	Perenne
Río Cunguilamo	Perenne
Río Piñán	Perenne
Río Pantraví	Perenne
Río Caballo Potrero	Perenne
Río El Manzano	Perenne
Río Pitura	Perenne

**Fuente:** Mapa hidrológico, Sistema Nacional de Información, 2013

- Mapa de zonas de vida (Mapa No. 8)

En el área de estudio existen dos zonas de vida como se muestra en el cuadro 4.7. La zona de vida bosque muy húmedo Montano ocupa el mayor área en la zona de estudio con 11516,6

has lo que representa un 96,91%, mientras que la zona de vida páramo pluvial Sub Alpino ocupa la menor cantidad de área 367,14has y un porcentaje de 3,09%.

**Cuadro 4.10.** Zonas de vida

<b>Zonas de vida</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bosque muy húmedo – Montano	bmh-M	11516,60	96,91
Páramo pluvial – Subalpino	pp-SA	367,14	3,09
<b>Total</b>		<b>11883,74</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Mapa de zonas de vida, 2015

**Bosque muy húmedo Montano:** esta zona de vida tiene valores de temperatura entre 6 a 12°C, y presenta precipitaciones anuales desde los 1000 hasta 2000 mm.

**Páramo pluvial Subalpino:** posee precipitaciones desde 1800 hasta 2300 mm, con temperaturas bajas, tiene un período de dos meses secos, por lo general se presentan en las partes altas de los Andes (Quesada, 2007).

- Mapa de isotermas anuales (Mapa No. 9)

De acuerdo al mapa de isotermas se encontró que el rango de 5 - 6°C tiene un área de 367,14 has con un porcentaje de 3,09%, la isoterma con rango de 6 - 7°C posee un área de 1753 has y un porcentaje de 14,76%, la isoterma con rango 7 - 8°C cuenta con 1942,43 has y 16,35%, la isoterma de rango 8 - 9°C tiene un área de 961,74 has y un porcentaje de 8,09%, la isoterma de 9 - 10°C posee la mayor cantidad de área 4345,46 has lo que representa 36,57%, la isoterma de rango de 10 - 11°C cuenta con un área de 2513,39 has y un porcentaje del 21,15%. Estos valores se observan en el cuadro 4.11.

**Cuadro 4.11.** Isotermas medias anuales

Rango (°C)	Área (has)	Porcentaje (%)
5-6	367,14	3,09
6-7	1753,53	14,76
7-8	1942,43	16,35
8-9	961,74	8,09
9-10	4345,46	36,57
10-11	2513,39	21,15
<b>Total</b>	<b>11883,74</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Mapa de tipos de isothermas, Sistema Nacional de Información, 2013

- Mapa de isoyetas medias anuales (1991, 1999, 2009 y 2013) (Mapa No. 10, 11, 12 y 13)

De acuerdo a la distribución de la lluvia en el área de estudio se registraron precipitaciones desde 1100 mm hasta los 1800 mm anuales en el año de 1991, siendo el año con mayor promedio de precipitación del estudio. La isoyeta de 1150 mm cuenta con 21,26 has y representa la menor cantidad de porcentaje con el 0,18% del área de estudio, la isoyeta de 1550 mm es la que cuenta con mayor cantidad de área con el 43,21% y una cantidad de 5135,39 has, el resto de isoyetas se indican en el cuadro 4.12.

**Cuadro 4.12.** Isoyetas medias anuales año 1991

Rango (mm)	Promedio (mm)	Área (has)	Porcentaje (%)
1100 - 1200	1150	21,26	0,18
1200 - 1300	1250	964,93	8,12
1300 - 1400	1350	941,92	7,93
1400 - 1500	1450	1246,38	10,49
1500 - 1600	1550	5135,39	43,21
1600 - 1700	1650	3413,72	28,73
1700 - 1800	1750	160,15	1,35
<b>Total</b>		<b>11883,75</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Mapa de isoyetas 1991, elaborado 2015

En el año de 1999 se registraron precipitaciones desde los 1350 mm hasta los 1675 mm anuales, la isoyeta de 1512,5 mm es la que representa mayor porcentaje en el área de estudio con un 15,36% y una cantidad de 1824,95 has, la isoyeta que representa la mayor promedio

de precipitación 1662,5 mm representa el menor porcentaje del área de estudio con un 0,08% y una cantidad de 9,81 has. Esto se muestra en el cuadro 4.13.

**Cuadro 4.13.** Isoyetas medias anuales año 1999

<b>Rango (mm)</b>	<b>Promedio (mm)</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
1350 - 1375	1362,5	66,76	0,56
1375 - 1400	1387,5	368,93	3,10
1400 - 1425	1412,5	596,76	5,02
1425 - 1450	1437,5	706,73	5,95
1450 - 1475	1462,5	1032,06	8,68
1475 - 1500	1487,5	1496,35	12,59
1500 - 1525	1512,5	1824,95	15,36
1525 - 1550	1537,5	1734,86	14,60
1550 - 1575	1562,5	1559,16	13,12
1575 - 1600	1587,5	1277,79	10,75
1600 - 1625	1612,5	839,40	7,06
1625 - 1650	1637,5	370,19	3,12
1650 - 1675	1662,5	9,81	0,08
<b>Total</b>		<b>11883,74</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Mapa de isoyetas 1999, elaborado 2015

En el año 2009 se registraron precipitaciones desde los 975 mm hasta los 1225 mm anuales siendo este el año con menor promedio de precipitaciones anuales como se muestra en el cuadro 4.14, la isoyeta de los 1087,5 mm cuenta con la mayor cantidad de área 2124,79 has y por ende el mayor porcentaje 17,88% mientras que la isoyeta con mayor promedio de precipitación 1212,5 mm tiene el menor porcentaje 1,04% con una cantidad de 123,05 has.

**Cuadro 4.14.** Isoyetas medias anuales año 2009

<b>Rango (mm)</b>	<b>Promedio (mm)</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
975 – 1000	987,5	233,50	1,96
1000 – 1025	1012,5	663,98	5,59
1025 – 1050	1037,5	987,58	8,31
1050 – 1075	1062,5	1779,23	14,97
1075 – 1100	1087,5	2124,79	17,88
1100 – 1125	1112,5	2064,03	17,37
1125 – 1150	1137,5	1841,31	15,49
1150 – 1175	1162,5	1335,09	11,23
1175 – 1200	1187,5	731,19	6,15
1200 – 1225	1212,5	123,04	1,04
<b>Total</b>		<b>11883,74</b>	<b>100</b>

Fuente: Mapa de isoyetas 2009, elaborado 2015

En el año 2013 se registraron precipitaciones desde los 1050 mm hasta los 1300 mm anuales, la isoyeta de 1187,5 mm cuenta con el mayor porcentaje 21,24% y por ende la mayor cantidad de hectáreas 2523,82 has y la isoyeta con mayor promedio de precipitación 1287,5 mm presenta el menor porcentaje 0,21% y la menor cantidad de hectáreas 24,57 has. Estos resultados se indican en el cuadro 4.15.

**Cuadro 4.15.** Isoyetas medias anuales año 2013

<b>Rango (mm)</b>	<b>Promedio (mm)</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
1050 - 1075	1062,5	292,49	2,46
1075 - 1100	1087,5	636,96	5,36
1100 - 1125	1112,5	858,12	7,22
1125 - 1150	1137,5	1157,82	9,74
1150 - 1175	1162,5	2036,70	17,14
1175 - 1200	1187,5	2523,82	21,24
1200 - 1225	1212,5	2117,73	17,82
1225 - 1250	1237,5	1514,56	12,74
1250 - 1275	1262,5	720,97	6,07
1275 - 1300	1287,5	24,57	0,21
<b>Total</b>		<b>11883,75</b>	<b>100</b>

Fuente: Mapa de isoyetas 2013, elaborado 2015

- Mapa de zonas de recarga hídrica superficial (Mapa No. 14)

En el área de estudio se encontró un porcentaje de 14,03% en zona de recarga hídrica moderada con un área de 1664,71 has, esta zona se encontró mayoritariamente en la microcuenca del río Pantaví y cerca de la comunidad de Piñán, la zona de recarga hídrica alta tiene 41,71% y 4952,23 has, esta zona se ubica principalmente en la microcuenca del río Piñán al igual que la zona de recarga hídrica alta; que ocupa el mayor porcentaje con 43,88% y 5208,18 has. Además se encontró un porcentaje del 0,38% que no aplica para ser zona de recarga hídrica y representa un área de 42,25 has, estos valores se indican en el cuadro 4.16. El área posee un porcentaje de 85,59% en zonas de recarga hídrica alta y muy alta, además la zona de recarga hídrica moderada cuenta con un 14,03%, lo que indica que el 99% del área de estudio tiene una alta producción de agua, factor favorable para realizar proyectos de aprovechamiento del recurso hídrico.

**Cuadro 4.16.** Zonas de recarga hídrica superficial

<b>Recarga hídrica</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Moderada	1664,71	14,03
Alta	4951,23	41,71
Muy alta	5208,18	43,88
No aplica	42,25	0,38
<b>Total</b>	<b>11869,55</b>	<b>100</b>

Fuente: Mapa de zonas de recarga hídrica superficial, 2015

## 4.2. Medición de caudales

Los resultados de la medición de caudales se presentan en época seca y en época lluviosa.

### 4.2.1. Caudales en época seca

Después de analizar los datos obtenidos en campo se dedujo que la parte alta del río Pantaví presenta un caudal promedio de  $0,046 \text{ m}^3/\text{s}$  (46,28 l/s), y una velocidad promedio del caudal de 0,11 m/s. En la parte alta del río Pantaví y con aporte de afluentes, este tiene un caudal promedio  $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$  (153,69 l/s), una velocidad promedio de la escorrentía de 0,27

m/s. El río Piñán cuenta con un caudal promedio de  $2,76 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $2763,59 \text{ l/s}$ ) y una velocidad promedio de  $0,77 \text{ m/s}$ .

Luego de haber analizado los caudales en los meses de la época seca, el mes más seco es septiembre con un caudal de  $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$  en la parte alta de la microcuenca del río Pantaví, un caudal  $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$  con aporte de afluentes en la parte alta del río Pantaví y un caudal de  $2,39 \text{ m}^3/\text{s}$  en el río Piñán.

#### **4.2.2. Caudales en época lluviosa**

En los meses de la época lluviosa se obtuvieron los siguientes resultados, en la parte alta del río Pantaví un caudal promedio de  $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $191,71 \text{ l/s}$ ), una velocidad promedio del caudal de  $0,37 \text{ m/s}$ , en la parte alta del río Pantaví y con aporte de afluentes se obtuvo un caudal de  $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $178,64 \text{ l/s}$ ), una velocidad promedio de  $0,30 \text{ m/s}$ ; cabe recalcar que en la parte alta y con aporte de afluentes se ve una pérdida de caudal debido a que en época lluviosa existe crecidas en el río por lo cual se desborda y el agua no escurre al cause principal, lo cual se constató en las salidas de campo. En el río Piñán se obtuvo un caudal promedio de  $4,05 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $4053,74 \text{ l/s}$ ), una velocidad promedio de  $0,83 \text{ m/s}$ .

El mes con mayor caudal en la época lluviosa es abril, en la parte alta del río Pantaví el caudal es de  $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ , en la parte alta y con aporte de afluentes el caudal es de  $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$  y en el río Piñán el caudal es de  $4,55 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### **4.2.3. Comparación de caudales en época seca y lluviosa**

En la parte alta del río Pantaví se comparó las meses de las épocas y se obtuvieron los siguientes resultados de caudal, en época seca  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$  y en época lluviosa  $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ , En la parte alta del río Pantaví y con aporte de afluentes la comparación de épocas fue la siguiente: en época seca  $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$  y en época lluviosa  $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El río Piñán es el que cuenta con el mayor caudal, las comparaciones en las diferentes épocas fueron las siguientes: época seca  $2,39 \text{ m}^3/\text{s}$  y en época lluviosa  $4,05 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4.2.4. Relación de datos de caudales con el Proyecto Multipropósito Piñán – Tumbabiro

Según ESPE – INNOVATIVA (2014) el Proyecto Multipropósito Piñán – Tumbabiro pretende abastecer de agua potable a una población de 200.000 personas y brindar agua de riego a una superficie regable de 8.574 has. Teniendo en cuenta que SENAGUA (2012) indica que el consumo diario en el Ecuador es de  $0,24 \text{ m}^3/\text{día}$  por persona se tendría que generar un volumen de  $48.000 \text{ m}^3/\text{día}$  para satisfacer las necesidades de la población anteriormente dicha.

El río Piñán en época lluviosa genera un caudal de  $4,05 \text{ m}^3/\text{s}$  y su caudal ecológico es de  $2,39 \text{ m}^3/\text{s}$  por lo que existe un caudal de  $1,66 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $143.424 \text{ m}^3/\text{día}$ ) que puede ser aprovechado. Lo que indica que el río Piñán puede abastecer de agua potable y generar un excedente de  $95.424 \text{ m}^3/\text{día}$  el cual debería ser almacenado y utilizado para agua potable y de riego.

SENAGUA (2012) afirma la cantidad necesario de agua de riego para el Ecuador en un hectárea cultivable es de  $12200 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ , es decir  $33,43 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{día}$ . El proyecto pretende abastecer a 8.574 hectáreas por lo cual se necesitará  $286.583 \text{ m}^3/\text{día}$ . El río Piñán luego de haber aportado agua para consumo humano generará  $95.424 \text{ m}^3/\text{día}$ , por lo cual existe un déficit para agua de riego.

Por esta razón el aporte del río Pantaví el cual corroborara con  $7776 \text{ m}^3/\text{día}$ , pero con el aporte de este río sigue habiendo un déficit para agua de riego y solo se cubre el 36% de la superficie regable, por lo cual el proyecto debería reducir la superficie regable a 3.087 hectáreas, además ejecutar un censo agrícola de las poblaciones beneficiarias, para determinar qué tipos de cultivos existen en las zonas y la necesidad de agua de riego de estos. También distribuir el agua de manera adecuada en días que existan precipitaciones en las áreas beneficiadas, pues se debería disminuir el volumen de agua de riego en estos días.

Es necesario tener en cuenta que el río Piñán generó un caudal de  $4,55 \text{ m}^3/\text{s}$  en el mes de abril del año 2014 demostrando que existen crecidas, dato importante para la construcción del embalse del proyecto ya que se debería tomar en cuenta este dato para la capacidad de

almacenamiento del embalse evitando problemas de azolvamiento en época lluviosa. Estos caudales de crecidas pueden ser almacenados y distribuidos adecuadamente en la época seca.

### 4.3. Análisis multitemporal de cambio de escorrentía superficial

El análisis multitemporal reportó datos sobre la cobertura vegetal, en donde se observa que si existe pérdida o aumento de los diferentes tipos de vegetación, también brindó datos de precipitación de los diferentes años de estudio y el caudal estimado de cada periodo.

#### 4.3.1. Datos de cobertura vegetal

Luego de realizar la clasificación supervisada a las diferentes imágenes, se encontró los porcentajes de los distintos tipos de vegetación, además la incidencia de nubes, sombras e incendios en los porcentajes de las imágenes. La cobertura vegetal influyó directamente en el análisis multitemporal del recurso hídrico, por eso la importancia de examinar los datos.

##### 4.3.1.1. Cobertura vegetal año 1991

En el año 1991 con un porcentaje de 56,11% tiene una predominancia el tipo de vegetación páramo de pajonal, seguido con un 13,11% de bosque altoandino, el páramo arbustivo con un 10,67%, el páramo herbáceo de almohadillas tiene un 10,35%, el pasto natural se encuentra en un porcentaje del 5,44%. En el análisis de esta imagen se encontró un porcentaje de nubes del 5,44% y de sombras de un 0,67%. Los datos se indican en el cuadro 4.17.

**Cuadro 4.17.** Cobertura vegetal, imagen Landsat 1991

<b>Resultados de la imagen</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Páramo de pajonal	6665,07	56,11
Páramo de herbáceo de almohadillas	1229,41	10,35
Páramo arbustivo	1266,97	10,67
Bosque altoandino	1557,02	13,11
Pasto natural	435,16	3,66
Nubes	645,79	5,44
Sombra	80,04	0,67
<b>Total</b>	<b>11879,46</b>	<b>100</b>

Fuente: Mapa de cobertura vegetal 1991

#### 4.3.1.2. Cobertura vegetal año 1999

En 1999 el páramo de pajonal fue el tipo de vegetación predominante con 51,30%, le sigue el páramo arbustivo con un 25,75%, el páramo herbáceo de almohadillas consta con un 10,37%, el bosque altoandino ha perdido un gran porcentaje y ahora solo tiene el 6,65%, el pasto natural cuenta con un porcentaje de 2,56%. Existe un porcentaje de nubes de 2,82% y de nubes de 0,54%. Los resultados se observan en el cuadro 4.18.

**Cuadro 4.18.** Cobertura vegetal, imagen Landsat 1999

<b>Resultados de la imagen</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Páramo de pajonal	6093,98	51,30
Páramo herbáceo de almohadillas	1232,06	10,37
Páramo arbustivo	3059,30	25,75
Bosque altoandino	790,06	6,65
Pasto natural	303,68	2,56
Nubes	335,04	2,82
Sombra	64,64	0,54
<b>Total</b>	<b>11878,76</b>	<b>100</b>

Fuente: Mapa de cobertura vegetal 1999

#### 4.3.1.3. Cobertura vegetal año 2009

En el año 2009 el páramo de pajonal sigue siendo el predominante con 62,23%, seguido por el 20,43% de páramo arbustivo, el páramo herbáceo de almohadillas tiene un 8,87%, el bosque sigue teniendo un descenso ahora solo tiene el 5,01%, el pasto natural tiene un 2,57% y existe un porcentaje de sombras de 0,89%. Los resultados se observan en el cuadro 4.19.

**Cuadro 4.19.** Cobertura vegetal, imagen Landsat 2009

<b>Resultados de la imagen</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Páramo de pajonal	7393,41	62,23
Páramo herbáceo de almohadillas	1053,61	8,87
Páramo arbustivo	2426,71	20,43
Bosque altoandino	595,78	5,01
Pasto natural	304,97	2,57
Sombras	106,31	0,89
<b>Total</b>	<b>11880,79</b>	<b>100</b>

Fuente: Mapa de cobertura vegetal 2009

#### 4.3.1.4. Cobertura vegetal año 2013

En el año 2013 el páramo de pajonal sigue siendo el predominante con 29,58%, seguido por el 18,27% de bosque altoandino, el páramo arbustivo tiene un 15,60%, el páramo herbáceo de almohadillas cuenta con un 12,81%, el pasto natural consta con el 5,36%. En esta imagen se evidenció la presencia de un incendio, el cual afectó al 1,97% del área, las nubes cuentan con 3,64% y existió una gran presencia de sombras con un porcentaje del 12,76%. Los datos se muestran en el cuadro 4.20.

**Cuadro 4.20.** Cobertura vegetal, imagen Landsat 2013

<b>Resultados de la imagen</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Páramo pajonal	3513,61	29,58
Páramo herbáceo de almohadilla	1522,25	12,81
Páramo arbustivo	1853,52	15,60
Bosque altoandino	2170,00	18,27
Pasto natural	637,24	5,36
Área quemada	234,39	1,97
Nubes	432,54	3,64
Sombra	1515,73	12,76
<b>Total</b>	<b>11879,28</b>	<b>100</b>

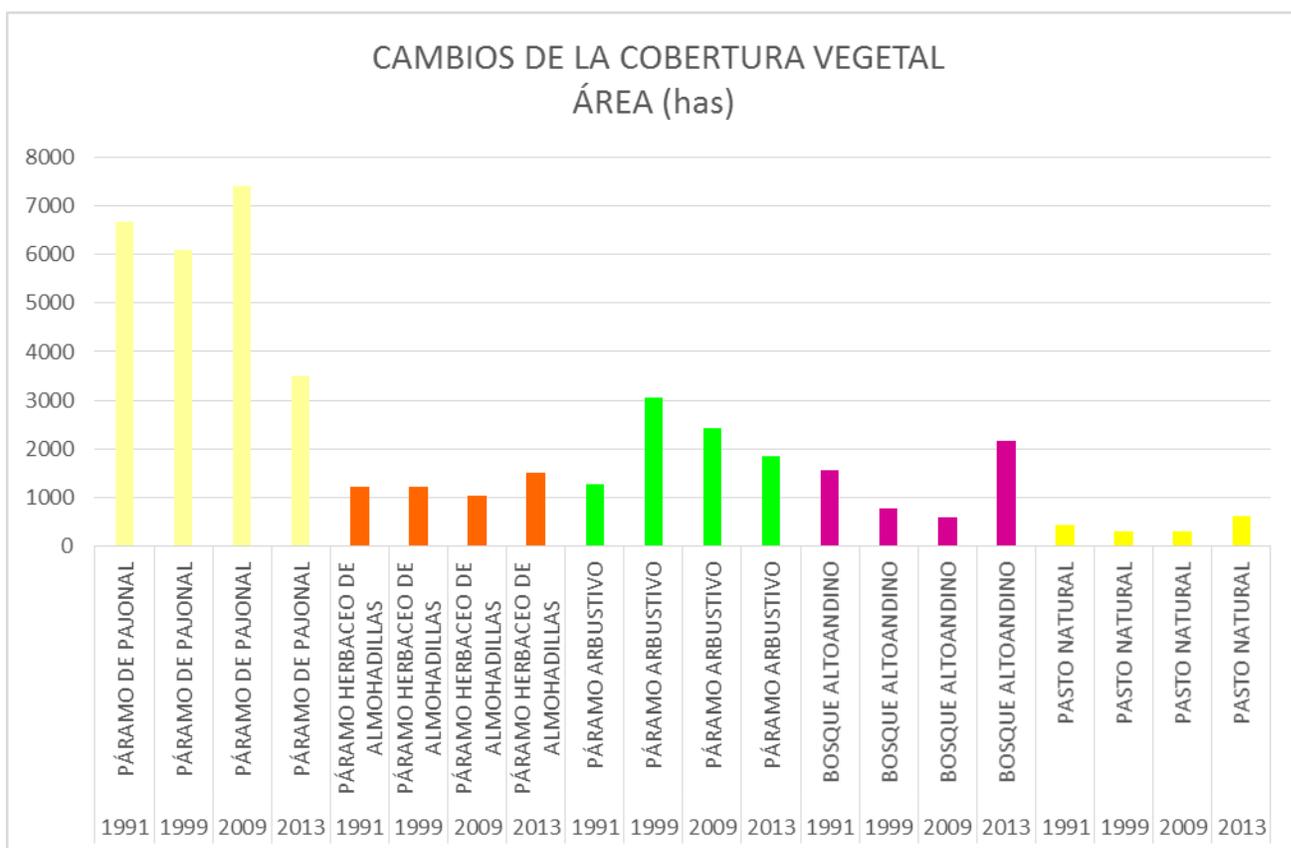
Fuente: Mapa de cobertura vegetal 2013

#### 4.3.1.5. Comparación de coberturas vegetales

El páramo de pajonal es predominante en los 4 períodos, siempre cuenta con un porcentaje mayor al 50% en el área de estudio; en el período del 2013 este presenta un porcentaje menor del 29,58% debido a la presencia de sombras, nubes e incendios en la imagen lo que disminuyen el porcentaje del páramo de pajonal. El páramo herbáceo de almohadillas es el tipo de vegetación más estable en los cuatro períodos pues cuenta con porcentajes de 9 a 12% en todos los períodos e igualmente el pasto natural es regular ya que presenta un porcentaje del 3 al 5%.

El bosque altoandino presenta una disminución importante desde el año 1991 hasta al 2009, teniendo al principio un porcentaje del 13% y disminuyendo hasta el 5%, en el periodo del 2013 se encuentra en mayor porcentaje con 18%, esto se debe a que la vegetación arbustiva tiene una tendencia a transformarse en bosque altoandino, esto sucede debido a los esfuerzos

de instituciones como el MAE y GAD Cotacachi que implementan proyectos de reforestación, protección, conservación y restauración ecológica, además de existir puestos de control por las principales vías tal es el caso del control de San Gerónimo y las casetas de control de los guardabosques del MAE, los cuales ayudan a controlar la tala del bosque y el tráfico de animales silvestres. El páramo arbustivo en el período 1999 presenta su mayor porcentaje con el 26% mientras que en el período de 1991 existe el menor porcentaje con 11%. Los cambios de cobertura vegetal de los diferentes períodos se observa en la figura 4.2.



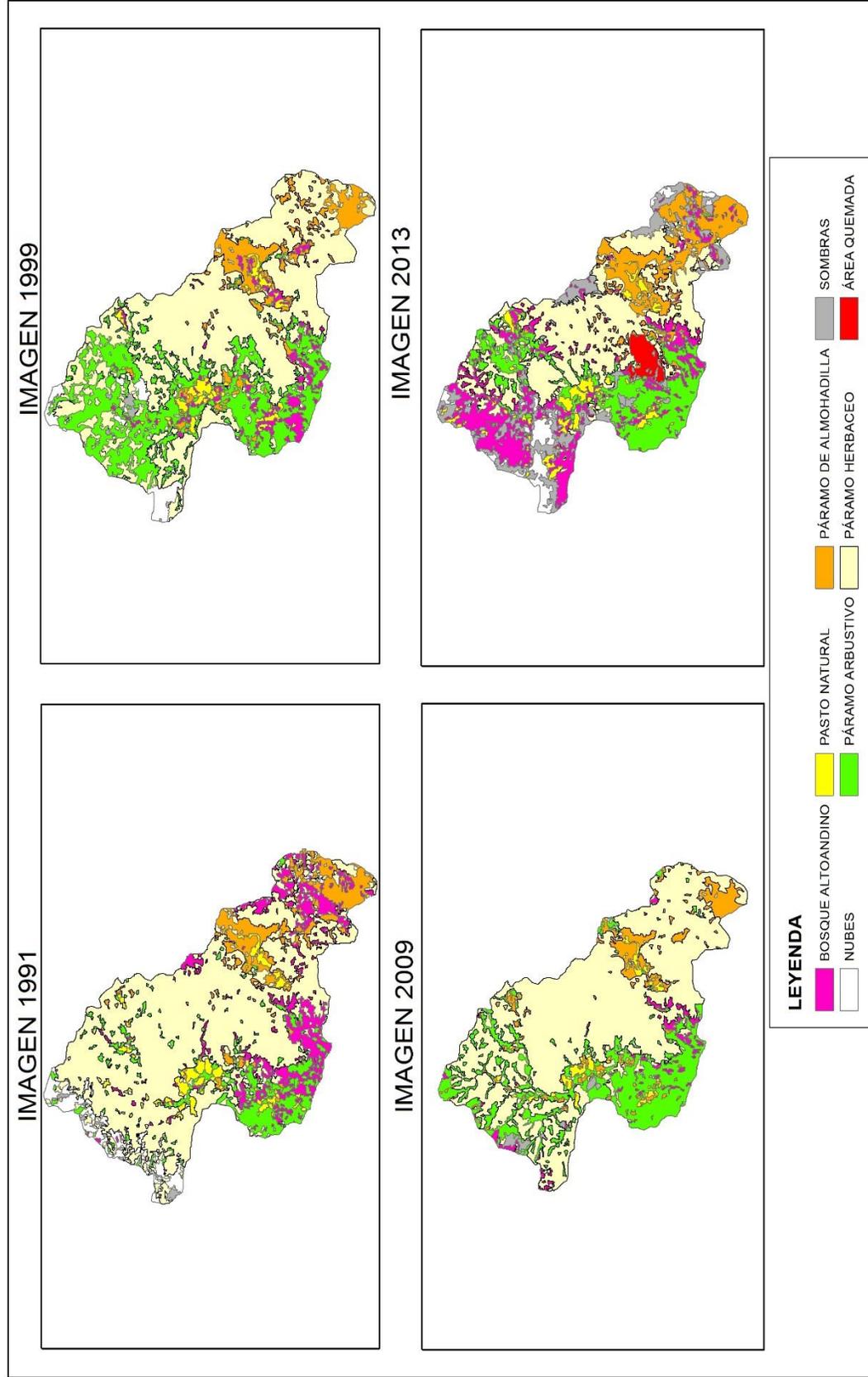
**Figura 4.2.** Cambios de cobertura vegetal en los diferentes periodos

**Fuente:** El autor

Monasterio (2001) menciona que los páramos son ecosistemas nuevos en Sudamérica debido al levantamiento de la cordillera de los Andes y los episodios glaciales durante el pleistoceno, por esta razón la flora tiene características únicas de adaptación lo que ha generado una diversidad de habitas provocando procesos reproductivos continuos. Esto permite que la vegetación tenga una rápida recuperación y sucesión como se observa en este estudio el cambio de páramo arbustivo a bosque altoandino en el año 2013, también se puede observar

un incremento del páramo arbustivo en el año 1999 esto debido a la disminución del bosque altoandino. Estas regeneraciones y sucesiones se comprobaron en campo donde el páramo de pajonal tuvo una recuperación pronta de los incendios y zonas en donde se taló existió una rápida regeneración del páramo arbustivo.

Las comparaciones de las coberturas vegetales de los diferentes períodos se indican en la figura 4.3.



**Figura 3.2.** Comparación de coberturas vegetales de los diferentes períodos.  
**Fuente:** El autor.

#### **4.3.1.6. Influencia de la cobertura vegetal en la producción de recurso hídrico**

Según Jimenez, Mena, & Wong (2011) la presencia de flora en cualquier región del mundo es importante para el ciclo hidrológico porque ayuda al almacenamiento de agua, a la evapotranspiración, en la condensación del punto de rocío y en la dinámica de vientos. Todos estos elementos influyen en el clima de una región y se convierte en un esquema frágil y complicado en la naturaleza ya que el hombre provoca la pérdida de bosques y altera todo este conjunto de procesos.

En este estudio se comprobó que la alteración de la cobertura vegetal influye directamente en la escorrentía superficial debido a que el bosque alto andino en el año de 1991 contaba con 1557,02 has y disminuyó hasta 595,78 has en el año 2009 períodos en los cuales el caudal del río Pantaví descendió ya que contaba con un caudal de  $2,36 \text{ m}^3/\text{s}$  en 1991 y bajó hasta  $1,61 \text{ m}^3/\text{s}$ , de igual manera el río Piñán contaba  $4,71 \text{ m}^3/\text{s}$  en el año 1991 y descendió a  $3,32 \text{ m}^3/\text{s}$ . En el año 2013 el bosque altoandino recupera su área y ocupa 2170 has debido a razones anteriormente mencionadas como proyectos de reforestación, control de tala de bosques y programas de educación ambiental; en este año el caudal del río Pantaví ascendió a  $1,77 \text{ m}^3/\text{s}$  y el caudal del río Piñán también subió a  $3,33 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los datos de caudales se indican en los cuadros 4.25 y 4.26.

Cabe recalcar que estos caudales son de los meses de la época lluviosa la cual dura 9 meses y en este lapso de tiempo si se puede evidenciar la influencia del bosque altoandino sobre la escorrentía superficial, afirmando lo que dice (Jimenez, Mena, & Wong, 2011) que el bosque es fundamental para el ciclo hidrológico y si este se altera provoca cambios en el mismo.

#### **4.3.2. Datos Curva Número**

Interpolando los datos de precipitación, grupo hidrológico y cobertura vegetal se obtuvieron las curvas número del área de estudio, donde se identificó 4 tipos de curva, la número 6, 30, 32 y 39. La curva número 30 es la que mayoritariamente se encuentra en el área de estudio durante los 4 períodos y la curva número 6 es la cuenta con menor promedio durante los

cuatro periodos. Los promedios ponderados de los diferentes periodos de las Curva Número se indican en el cuadro 4.21.

**Cuadro 4.21.** Promedio ponderado de Curva Número

Curva Número	Promedio ponderado año 1991	Promedio ponderado año 1999	Promedio ponderado año 2009	Promedio ponderado año 2013
6	15.73	8.39	7.36	25.81
30	6196.36	4061.73	5490.08	2757.43
32	96.47	822.66	522.98	298.79
39	113.71	102.14	68.68	200.89
No aplica	32.47	12.51	0.91	397.82

Fuente: El autor

#### 4.3.2.1. Curva Número año 1991

En el año 1991 la curva numero 6 presenta un área de 431,73 has ocupando un porcentaje de 3,64%, la curva 30 posee la mayor área y por ende el mayor porcentaje con 8569,58 has y 72,31 %, la curva 32 obtuvo 1069,27 has con un porcentaje de 9,02 y la última curva numero 39 cuenta con 1160,88 has y un porcentaje de 9,80 %. Además se encontró áreas en donde la metodología no se podía aplicar debido a la falta de información de cobertura vegetal las cuales ocuparon un área de 620,30 has y un porcentaje de 5,23 % como se muestra en el cuadro 4.22.

**Cuadro 4.22.** Curva Número año 1991

Curva Número	Área (has)	Porcentaje (%)
6	431,73	3,64
30	8569,58	72,31
32	1069,27	9,02
39	1160,88	9,80
No aplica	620,30	5,23
<b>Total</b>	<b>11851,76</b>	<b>100</b>

Fuente: Mapa de curva numero año 1991

#### 4.3.2.2. Curva Número año 1999

En 1999 los resultados de curva número fueron los siguientes: la curva 6 obtuvo un área de 315,66 has y un porcentaje de 2,66%, la curva 30 con el mayor área de todas posee 6943,84 has y 58,49%, la curva 32 tuvo un área de 3125,03 has lo cual representa un 26,32 %, la curva

numero 39 obtuvo un área de 1101,15 has y un porcentaje de 9,28%, mientras que las áreas donde no fue posible aplicar la metodología representaron 385,35 has y un 3,25%, todos los valores se muestran en el cuadro 4.23.

**Cuadro 4.23.** Curva Número año 1999

<b>Curva Número</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
6	31,66	2,66
30	6943,84	58,49
32	3125,03	26,32
39	1101,15	9,28
No aplica	385,35	3,25
<b>Total</b>	<b>11871,03</b>	<b>100</b>

Fuente: Mapa de curva número año 1999

#### 4.3.2.3. Curva Número año 2009

En el año 2009 la curva 6 tiene 295,4 has y un porcentaje de 2,49%, la curva 30 posee un 8070,20 has con un porcentaje de 68,03 %, la curva 32 obtuvo un área de 2490,80 has y un porcentaje de 21% y la curva 39 tiene 902,6 has y un porcentaje de 0,88 %; mientras que en las áreas donde no se pudo aplicar la metodología cuentan con 103,87 has y un 0,88%, estos datos se muestran en el cuadro 4.24.

**Cuadro 4.24.** Curva Número año 2009

<b>Curva Número</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
6	295,40	2,49
30	8070,20	68,03
32	2490,80	21,00
39	902,60	7,61
No aplica	103,87	0,88
<b>Total</b>	<b>11862,87</b>	<b>100</b>

Fuente: Mapa de curva número año 2009

#### 4.3.2.4. Curva número año 2013

En el año 2013 la curva 6 posee 553,72 has y un porcentaje de 4,66%, la curva 30 cuenta con el mayor área 5723,51 has lo que representa un 48,18%, la curva 32 obtuvo 1884,06 has y un 15,86 % y la curva 39 tuvo 1544,85 has y un porcentaje de 13%, las áreas donde no se aplicó

la metodología ocuparon 2173,96 has y un porcentaje del 18,3, estos datos se muestran en el cuadro 4.25.

**Cuadro 4.25.** Curva Número año 2013

Curva Número	Área (has)	Porcentaje (%)
6	553,72	4,66
30	5723,51	48,18
32	1884,06	15,86
39	1544,85	13,00
No aplica	2173,96	18,30
<b>Total</b>	<b>11880,10</b>	<b>100,00</b>

Fuente: Mapa de curva número año 2013

### 4.3.3. Datos de cambio de escorrentía superficial

Después de haber realizado el análisis de correlación y regresión se obtuvieron las temperaturas medias anuales de cada periodo para cada microcuenca, con estas temperaturas se aplicó la fórmula de evapotranspiración de Holdridge, además se usó el software ArcGis se obtuvieron los resultados de precipitación, escorrentía y caudales de las dos microcuencas estudiadas, los datos fueron divididos en época seca y época lluviosa.

En cuanto a los datos de precipitación se obtuvieron resultados parecidos a los que muestra Pourrut, Róvere, Romo, & Villacrés (1992) quienes indican que en el clima ecuatorial de alta montaña se dan precipitaciones anuales de 800 a 2000 mm, en este rango entran los resultados de precipitación de la microcuenca del río Pantaví, con una precipitación media de todos los años de estudio de 1353,44 mm y del río Piñán con una precipitación media de 1581,85 mm. Sin embargo los valores que se obtuvieron son menores a los que indica Baez, et al (1999) quien manifiesta que en la RECC se presentan precipitaciones anuales de 3000 a 5000 mm valores que son demasiado altos para los resultados que se obtuvieron en el presente trabajo. Esta diferencia es debido a que Baez, et al (1999) habla de precipitaciones en la parte occidental de la RECC donde existe bosque nublado y no en las partes altas de la RECC donde existe páramo.

Es importante mencionar que el análisis que se realizó en la presente investigación contó con escasa información de datos meteorológicos e hidrológicos. Por esta razón se utilizaron fórmulas de correlación y regresión, además de contar con herramientas del software ArcGIS

las cuales interpolaron la información. Estos procesos permitieron obtener estimaciones aceptables de caudales superficiales en los ríos Piñán y Pantaví.

#### **4.3.3.1. Datos del análisis multitemporal de la microcuenca del río Pantaví**

En la microcuenca del río Pantaví en la época lluviosa, se obtuvo que el año 1991 presentó una precipitación media de 1594,68 mm, una temperatura media de 7,14 °C, una evapotranspiración de 420,76mm, una escorrentía de 1173,73 mm, lo cual generó un caudal de 2,13  $m^3/s$  (2134,77 l/s).

El año de 1999 presentó una precipitación media de 1352,55 mm, una temperatura media de 7,18°C, una evapotranspiración de 423,11 mm, una escorrentía de 929,44 mm, lo que produjo un caudal de 1,69  $m^3/s$  (1690,45 l/s).

En el año 2009 hubo una precipitación media de 1182,73 mm, una temperatura media de 9,22°C, una evapotranspiración de 543,33 mm, una escorrentía de 639,40 mm, formando un caudal de 1,16  $m^3/s$  (1162,93 l/s).

El año 2013 presentó una precipitación media de 1283,79 mm, una temperatura media de 8,05°C, una evapotranspiración de 474,39 mm, una escorrentía de 809,40 mm generando un caudal de 1,47  $m^3/s$  (1472,13 l/s).

En la época seca del año de 1991 se generó una precipitación media de 89,57 mm, una temperatura media de 5,84 °C, una evapotranspiración de 344,15 mm, en este año se existió un déficit de escorrentía presentando un valor negativo de -254,58 mm por lo cual se tomó el caudal base de la época seca medido con el molinete electrónico que es de 0,16  $m^3/s$  (153,69 l/s), tomando en cuenta que este caudal no se genera a partir de la escorrentía sino a partir de la infiltración y de las propias vertientes de la microcuenca.

En el año de 1999 hubo una precipitación media de 169,56 mm, una temperatura media de 6,89°C, una evapotranspiración de 406,03 mm, una escorrentía negativa de -236,47 mm por esta razón se tomó el caudal base de 0,16  $m^3/s$  (153,69 l/s).

El año 2009 se registró una precipitación media de 51,74 mm, una temperatura media de 8,94 °C, una evapotranspiración de 526,83 mm, una escorrentía de -475,09 mm teniendo nuevamente un déficit de escorrentía en este año y se consideró el caudal base de la época seca.

En el año 2013 se presentó una precipitación media de 90,15 mm, una temperatura media de 7,40 °C, una evapotranspiración de 436,08 mm, una escorrentía negativa de -345,93 mm, tomando en cuenta el caudal base de la época seca de 0,16 m<sup>3</sup>/s (153,69 l/s).

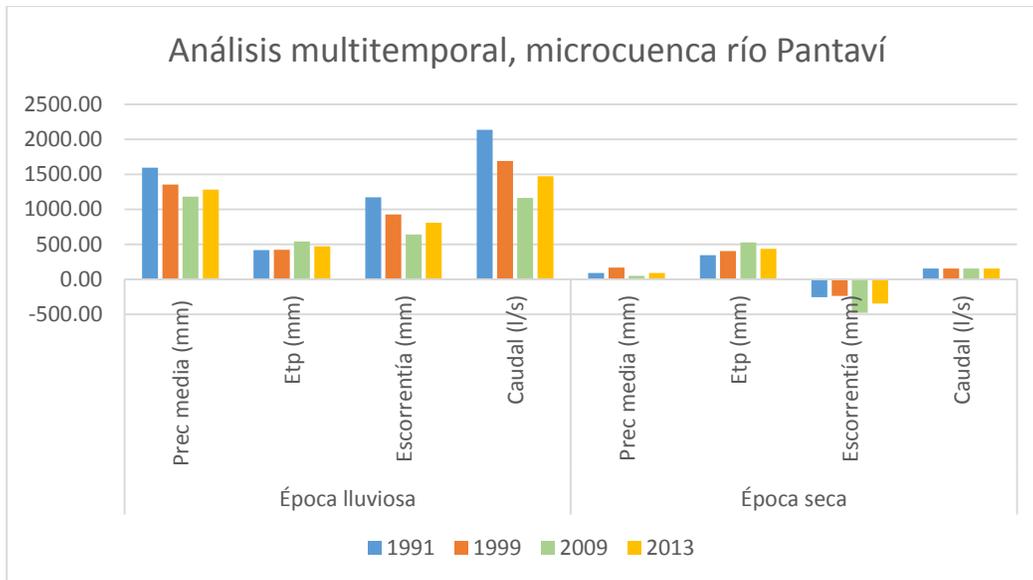
Es importante mencionar que los valores negativos de escorrentía en la época seca se debe a que no se tomó en cuenta el almacenamiento de agua en el suelo. Todos estos datos se indican en el cuadro 4.26.

**Cuadro 4.26.** Datos del análisis multitemporal de la microcuenca del río Pantaví

Época lluviosa						
Año	Prec media (mm)	Temperatura media (°C)	Etp (mm)	Escorrentía (mm)	Caudal (l/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1991	1594,68	7,14	420,76	1173,73	2134,77	2,13
1999	1352,55	7,18	423,11	929,44	1690,45	1,69
2009	1182,73	9,22	543,33	639,40	1162,93	1,16
2013	1283,79	8,05	474,39	809,40	1472,13	1,47
Época seca						
Año	Prec media (mm)	Temperatura media (°C)	Etp (mm)	Escorrentía (mm)	Caudal (l/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1991	89,57	5,84	344,15	-254,58	153,69	0,16
1999	169,56	6,89	406,03	-236,47	153,69	0,16
2009	51,74	8,94	526,83	-475,09	153,69	0,16
2013	90,15	7,40	436,08	-345,93	153,69	0,16

**Fuente:** El autor

En la figura 4.4 se observa las variaciones de las variables, en las diferentes épocas durante los cuatro años de estudio.



**Figura 4.4.** Análisis multitemporal, microcuenca del río Pantaví  
**Fuente:** El autor

#### 4.3.3.2. Datos del análisis multitemporal de la microcuenca del río Piñán

En la época lluviosa en el año de 1991 se presentó una precipitación media de 1850.02 mm, una temperatura media de 9,96 °C, una evapotranspiración de 586,94 mm, una escorrentía de 1263,08 mm produciendo un caudal de 4,06 m<sup>3</sup>/s (4068,70 l/s).

En el año de 1999 hubo una precipitación de 1637,89 mm, una temperatura media una 9,72 °C, una evapotranspiración de 572,80 mm, una escorrentía 1065,09 mm generando un caudal de 3,43 m<sup>3</sup>/s (3430,93 l/s).

El año 2009 tuvo una precipitación media de 1418,44 mm, una temperatura media de 11,16 °C, una evapotranspiración de 657,65 mm, una escorrentía de 760,79 mm, que produjo un caudal la 2,45 m<sup>3</sup>/s (2450,70 l/s).

En el año 2013 se presentó una precipitación de 1421,04 mm, una temperatura media de 10,23 °C, una evapotranspiración de 602,85 mm, una escorrentía de 818,19 mm, generando un caudal de 2,64 m<sup>3</sup>/s (2634,60 l/s).

En la época seca en el año de 1991 existió una precipitación media de 100,97 mm, una temperatura media de 8,74°C, una evapotranspiración de 515,05 mm, una escorrentía con valor negativo de -414,08 mm con déficit de escorrentía, tomando en cuenta el caudal base de la época seca de 2,39 m<sup>3</sup>/s (2393,38 l/s).

En el año de 1999 se presentó una precipitación media de 222,66 mm, una temperatura media de 9,44°C, una evapotranspiración de 556,30 mm, una escorrentía negativa de -333,64 mm, tomando en cuenta el caudal base de 2,39 m<sup>3</sup>/s (2393,38 l/s).

En el año de 2009 se presentó una precipitación media de 76,02 mm, una temperatura media de 10,97 °C, una evapotranspiración de 646,46 mm, una escorrentía con valor negativo de -570,44 mm y el caudal base de 2,39 m<sup>3</sup>/s (2393,38 l/s).

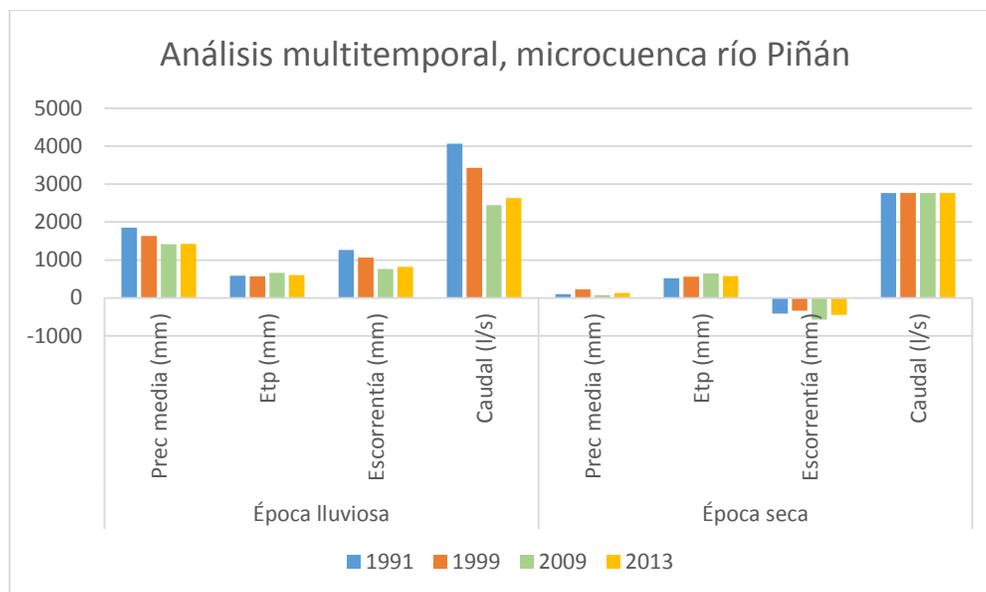
En el año 2013 se presentó una precipitación media de 131,59 mm, una temperatura media de 9,86 °C, una evapotranspiración de 581,05 mm, una escorrentía negativa de -449,46 mm tomando el caudal base de 2,39 m<sup>3</sup>/s (2393,38 l/s). Como se mencionó anteriormente los valores de escorrentía negativa que se dan en época seca es porque no se toma en cuenta el almacenamiento de agua en el suelo. Los datos se observan en el cuadro 4.27.

**Cuadro 4.27.** Datos del análisis multitemporal de la microcuenca del río Piñán

<b>Época lluviosa</b>						
<b>Año</b>	<b>Prec media (mm)</b>	<b>Temperatura media (°C)</b>	<b>Etp (mm)</b>	<b>Escorrentía (mm)</b>	<b>Caudal (l/s)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
1991	1850,02	9,96	586,94	1263,08	4068,70	4,06
1999	1637,89	9,72	572,80	1065,09	3430,93	3,43
2009	1418,44	11,16	657,65	760,79	2450,70	2,45
2013	1421,04	10,23	602,85	818,19	2635,60	2,64
<b>Época seca</b>						
<b>Año</b>	<b>Prec media (mm)</b>	<b>Temperatura media (°C)</b>	<b>Etp (mm)</b>	<b>Escorrentía (mm)</b>	<b>Caudal (l/s)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
1991	100,97	8,74	515,05	-414,08	2763,59	2,39
1999	222,66	9,44	556,30	-333,64	2763,59	2,39
2009	76,02	10,97	646,46	-570,44	2763,59	2,39
2013	131,59	9,86	581,05	-449,46	2763,59	2,39

**Fuente:** El autor

En la figura 4.5 se indica las variaciones de las variables, en las diferentes épocas durante los cuatro años de estudio.



**Figura 4.5.** Análisis multitemporal, microcuenca del río Piñán

**Fuente:** El autor

#### 4.3.4. Comparación de caudales aforados y del análisis multitemporal de la escorrentía superficial

El caudal máximo del río Piñán de acuerdo al análisis multitemporal se presentó en el año de 1991 en la época lluviosa de  $4,06 m^3/s$ , mientras que el caudal promedio de la época lluviosa medido con el molinete electrónico es de  $4,05 m^3/s$  en el año 2014, estos caudales son similares porque el análisis echo en el año 1991 es el único que cuenta con datos de la estación más cercana al área de estudio (Buenos Aires - Imbabura), mientras que en los siguientes periodos 1999 y 2009 los caudales van disminuyendo debido a la pérdida del bosque altoandino. El año 2013 presentó un caudal de época lluviosa de  $2,64 m^3/s$  muy distante al caudal de la época lluviosa del año 2014 de  $4,05 m^3/s$ , esta diferencia se debe a la escasa información de precipitación del área de estudio.

Todo lo contrario ocurre con el río Pantaví donde el caudal máximo del análisis en el año 2013 es de  $1,47 m^3/s$  mientras que el caudal máximo medido con molinete en el año 2014 es de  $0,18 m^3/s$ . Esta diferencia se debe a que las mediciones con molinete electrónico se realizaron el parte alta de la microcuenca en cambio el análisis multitemporal entrega una estimación de caudal de toda el área de la microcuenca.

#### **4.3.5. Lineamientos para el aprovechamiento del recurso hídrico**

De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que el río Piñán cuenta con el caudal necesario para abastecer de agua potable a una población de 200.000 personas, teniendo en cuenta que existe un excedente, este se lo utilizará para agua de riego con el aporte del caudal del río Pantaví, pero existe un déficit ya que la superficie regable del proyecto es 8.574 has y se podrá abastecer a 3.087 has, por lo cual el proyecto debería reducir la cantidad de hectáreas o crear un embalse con capacidad de almacenar el caudal máximo que se determinó para la época lluviosa en los diferentes años de estudio; con el motivo de distribuir adecuadamente el agua en época seca.

Además se debe tomar en cuenta que la cobertura vegetal tiene incidencia directa con la producción del recurso hídrico por tal motivo se debe crear proyectos de conservación y protección de la cobertura vegetal, permitiendo que el páramo tenga sucesiones y regeneraciones naturales sin ningún tipo de intervención y así conservar las fuentes de agua; también se debe involucrar a personas relacionadas con la RECC y a las comunidades aledañas en proyectos de educación ambiental para la protección de la flora y fauna del lugar. Por último se debe brindar capacitaciones a los agricultores beneficiarios del proyecto para que implementen sistemas de riego efectivos como sistemas por goteo o por aspersión en sus cultivos aprovechando eficientemente el recurso hídrico.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- De acuerdo análisis multitemporal de la escorrentía superficial las variables que influyeron en la cantidad de agua fueron: precipitación, temperatura, evapotranspiración, tipo de suelo, grupo hidrológico y cobertura vegetal.
- El caudal del río Pantaví en la época seca fue de  $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$  y en época lluviosa  $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$ , mientras que el río Piñán presento un caudal de  $2,39 \text{ m}^3/\text{s}$  en la época seca y en época lluviosa de  $4,05 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- La cobertura vegetal influye directamente con la producción de agua, debido a que en los períodos de 1991, 1999 y 2009 se presentó una disminución del bosque altoandino y los resultados de los caudales fueron disminuyendo, mientras que en el período 2013 el bosque altoandino presentó un incremento y los caudales también aumentaron.
- El río Piñán cuenta con el caudal necesario para abastecer de agua potable una población de 200.000 personas la cual necesitará de  $48.000 \text{ m}^3/\text{día}$  y el río que genera un caudal de  $143.424 \text{ m}^3/\text{día}$ , pero para agua de riego los caudales de los ríos Piñán y Pantaví no cubren la superficie regable de 8.574 has que desea proveer el proyecto.

- No se conocen datos hidrológicos en las dos microcuencas. Este estudio presenta una estimación de caudales en los cuatro años de estudio, a pesar de que el área investigada cuenta con limitada información.

## **5.2. Recomendaciones**

- Realizar el monitoreo permanente de caudales en las dos microcuencas de los ríos Piñán y Pantaví tanto en la época seca y época lluviosa para tener un monitoreo constante.
- Los datos obtenidos en la investigación podrían ser utilizados en el proyecto multipropósito Piñán – Tumbabiro para corroborar los resultados del estudio de factibilidad del proyecto.
- El presente trabajo puede ser utilizado en la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Cotacachi y Urcuquí, para el mejor uso del recurso hídrico y la protección de las fuentes de agua de los cantones.
- Se recomienda aplicar la metodología del trabajo en los estudios de prefactibilidad y factibilidad de los proyectos multipropósitos que la SENAGUA pretende poner en ejecución.
- Implementar una estación meteorológica automática en el área, donde se ejecutará el proyecto, ya que esta permitirá obtener datos actualizados de la zona para el manejo del embalse.

## CAPITULO VI

### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, P., Duriavich, M., Napolitano, R., & Feoli, E. (2009). *Aplicación de técnicas SIG, Sensoramiento Remoto y Análisis Multicriterio para la Detección de Impactos Antropogénicos en la Cobertura de Suelos y su Proyección para el 2010. Caso de estudio: Estuario de Santos (Brasil)*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral - ESPOL.
- Alva, M., & Meléndez, J. (2009). *Aplicación de la Teledetección para el análisis multitemporal de la regresión glaciaria en la Cordillera Blanca*. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Andes. (14 de Octubre de 2014). *Gran cantidad de hectáreas afectadas en Ecuador por incendios forestales*. Obtenido de <http://www.andes.info.ec>
- Andreola, F., Costa, L., & Olszewski, N. (2000). *Influencia de la vegetación cubierta de invierno y abono orgánico y, o, en mineral propiedades físicas de una tierra estructurada*. Brasil.
- Ariza, A. (2013). *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LCDM (Landsat Data Continuity Mission)*. Bogotá, Colombia : Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

- ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2008). *CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL ECUADOR*. Ecuador.
- ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2014). *LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTOS DEL AGUA*. Quito.
- Baez, S., Cuesta, F., Cáceres, Y., Arnillas, C., & Vásquez, R. (1999). *Plan de Manejo de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas*. Ecuador.
- Beltrán, C., & Pozo, G. (2010). *ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA-ECONÓMICA Y PROPUESTAS DE GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES DEL CANTÓN IBARRA*. Ibarra: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
- Beltrán, G., Rosales, O., & Villalba, D. (2013). *Estudio del recurso hídrico de la microcuenca del río Caliche*. Carchi, Ecuador.
- Bernis, V., & Betancourt, F. (2006). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y GENERACIÓN DEL ESCENARIO PROSPECTIVO DE CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO EN EL PARQUE NACIONAL LLANGANATES*. Sangolqui, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Ejército.
- Castillo, F., & Morales, D. (2012). *"PROPUESTA DE PLAN DE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ILLANGAMA, SUBCUENCA DEL RÍO CHIMBO, PROVINCIA DE BOLÍVAR"*. Ibarra - Ecuador: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
- Castro, I. (2013). *Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madin, México*. Mexico: COPYRIGHT 2013 Editorial Universitaria de la República de Cuba.
- Chagas, C., Santanatoglia, O., Castiglioni, M., Massobrio, M., Buján, A., & Irurtia, C. (2008). *Número de curva de escurrimiento para una microcuenca de Pampa Ondulada bajo labranza convencional y siembra directa*. Buenos Aires, Argentina.
- CONGRESO NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2004). *LEY FORESTAL Y DE CONSERVACIÓN DE AREAS NATURALES Y DE VIDA SILVESTRE*. Ecuador.

- Cristobal, J., Pons, X., & Serra, P. (2004). *Uso operativo de Landast-7 ETM+ en Europa*. España: Departament de Geografia. Universidad Autnoma de Barcelona.
- ESPE - INNOVATIVA. (16 de Septiembre de 2014). *Estudio de factibilidad del Proyecto Multipropósito Piñán - Tumbabiro*. Obtenido de <http://www.espe-innovativa.edu.ec>
- Geoplades. (20 de Noviuembre de 2015). *Geografía, Planificaión y Desarrollo*. Obtenido de <http://www.geoplades.com.ec>
- Grijalva, T., & Otálvaro, J. (2010). *ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA-AMBIENTAL Y PROPUESTA DE MANEJO DEL CANTÓN PIMAMPIRO – PROVINCIA DE IMBABURA*. Ibarra: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
- Hector, F & Gomez, A. (2006). *Clasificación de imágenes multiespectrales LANDSAT TM por medio de redes neuronales no supervisadas*.
- Hernandez, J. (2008). *Evaluación de requerimientos ecológicos para el diseño de regímenes ambientales de caudales fluviales*. España: Universidad de Valladolid.
- Iglesias, A., Estrela, T., & Gallart, F. (2005). *Impactos sobre los recursos hídricos*. España.
- Jimenez, E., Mena , M., & Wong, P. (2011). *DIAGNÓSTICO DE LA COBERTURA VEGETAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CALIFORNIA - VALDIVIA*. Chile: ESPOL.
- Landsat. (13 de Enero de 2014). *Proyecto Landsat 8 - LCDM*. Obtenido de Proyecto Landsat 8 - LCDM: <https://2mp.conae.gov.ar/index.php/tecnologiaspacial/742-landsat-8-lcdm-40-anos-de-continuidad-para-la-observacion-terrestre>
- Leighton, W. (1975). *TAXONOMIA DE SUELOS, Un Sistema Básico de Clasificación de Suelos para Hacer e Interpretar Reconocimiento de Suelos*. Chile: Universidad de Chile.
- Lopéz, A. (2001). *Consideraciones acerca de los límites de aplicación del método del número de curva del Soil Conservation Service*. Montes: Revista de ambito forestal.

- MAE. (2012). *LÍNEA BASE DE DEFORESTACIÓN DEL ECUADOR CONTINENTAL*. Quito - Ecuador.
- Marquetti, C., Marín, G., Kaku, M., Kohno, I., & Yokokawa, K. (2004). 5. Marquetti, C.; Marín, G.; *Procesamiento y análisis de imágenes ASTER para el estudio metalogenético de Maliman, San Juan, Argentina*. San Juan: Argentina Anais XI SBSR.
- Matus, O., Faustino, J., & Jiménez, F. (2009). *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Medina, G., & Mejía, A. (2014). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y MULTIFRACTAL DE LA DEGLACIACIÓN DE LA CORDILLERA PARÓN EN LOS ANDES DE PERÚ*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria.
- Mena, P., & Hofstede, R. (2006). *Los páramos ecuatorianos*. Quito: EcoCiencia.
- Mena, P., & Medina, G. (2000). *Los Suelos del Páramo*. Quito: Abya Yala.
- Méndez, M., Agüero, B. & Pérez, E. (2007). *Procesamiento de Imágenes del Satélite ASTER para la Actualización de la Red Vial a escala 1:100 000 con fines de Control de Flota*. La Habana, Cuba.
- Ministerio de Recursos Naturales y Energeticos . (1980). *Mapa Geológico del Ecuador* . Ecuador.
- Monasterio, M. (2001). *EVOLUCIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE LOS PÁRAMOS EN LA CORDILLERA DE MÉRIDA: PAISAJES NATURALES Y CULTURALES* . Venezuela.
- Morales, S. (2011). *ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA-AMBIENTAL DEL CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA*. Ibarra: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

- Nuñez, C. (2011). *GEOLOGÍA DEL CUATERNARIO Y GEOMORFOLOGÍA TECTÓNICA ENTRE VILLADORA Y BELLAVISTA, RÍO GUAYLLABAMBA* . Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- Plan de Manejo RECC. (2007). *Plan de Manejo Reserva Ecológica Cotacahi - Cayapas*. Ecuador.
- Plan Nacional del Buen Vivir. (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir 2013 - 2017*. Quito, Ecuador.
- Pourrut, P., Róvere, O., Romo, I., & Villacrés, H. (1992). *CLIMA DEL ECUADOR*. Ecuador.
- PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2003). *Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente*. Quito.
- Proyecto Páramo Andino. (2008). *Los páramos diversos a todas las escalas*. Ecuador.
- Quesada, R. (2007). *Los Bosques de Costa Rica. IX Congreso Nacional de Ciencias*. Cartago, Costa Rica : Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Rivero, D. (2006). *Estudio de las anomalías térmicas en el volcán Cotopaxi en el periodo 2002-2005*. Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- Rojas, O. (2006). *Manual Básico para Medir Caudales* . Ecuador : FONAG.
- SENAGUA. (2012). *DIAGNÓSTICO DE LAS ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN EL ECUADOR* . ECUADOR.
- SENAGUA. (2013). *Fiscalización Proyecto Multipropósito Tumbabiro*. Ibarra.
- SENAGUA. (17 de Septiembre de 2013). *Proyecto Multipropósito Piñán - Tumbabiro*.  
Obtenido de <http://www.agua.gob.ec>
- SENPLADES. (2014). *El agua y el desigual acceso a un recurso básico*. Ecuador.

Tapia, J. (2012). *MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA DE UN ÁREA EXPERIMENTAL EN LA CEUNCA DEL RÍO GUAYAS EN LA PRODUCCIÓN DE CAUDALES Y SEDIMENTOS*. La Plata, Argentina: UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA.

Universidad de Jaén. (2006). *PRACTICAS DE TELEDETECCIÓN*. España.

Vallejo, S. (2011). *DISTRIBUCIÓN DE LAS CENIZAS VOLCÁNICAS HOLOCÉNICAS - TARDÍAS EN LA COSTA DEL ECUADOR*. Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

YACHAY. (17 de Septiembre de 2014). *YACHAY Ciudad del conocimineto*. Obtenido de <http://www.yachay.gob.ec>

Yamaguchi. (1998). *Citado en PROCESAMIENTO Y PRODUCTOS ASTER DEL ÁREA DE SIERRA DE FAMATINA , PROVINCIA DE LA RIOJA, REPÚBLICA ARGENTINA*. Buenos Aires - Argentina.

**ANEXOS**

**ANEXO 1**

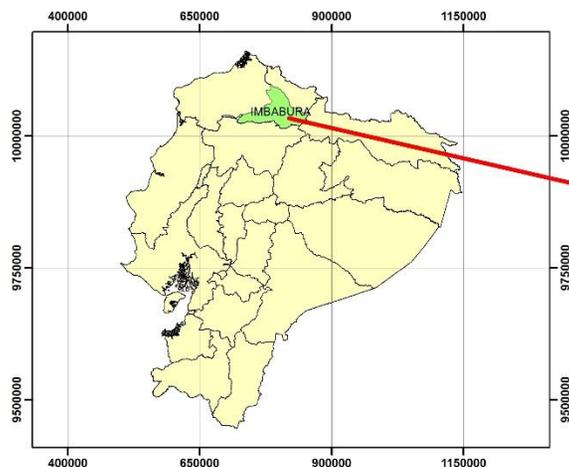
**MAPAS**



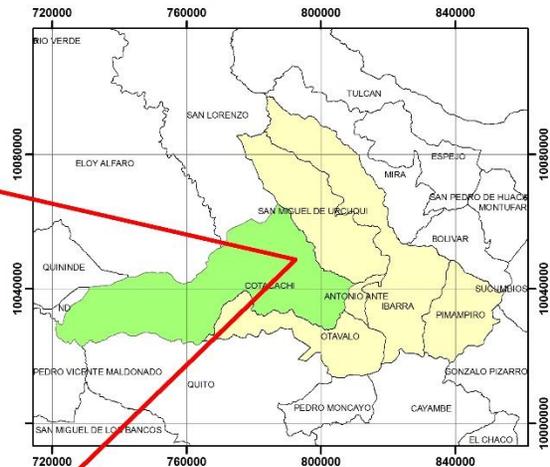
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



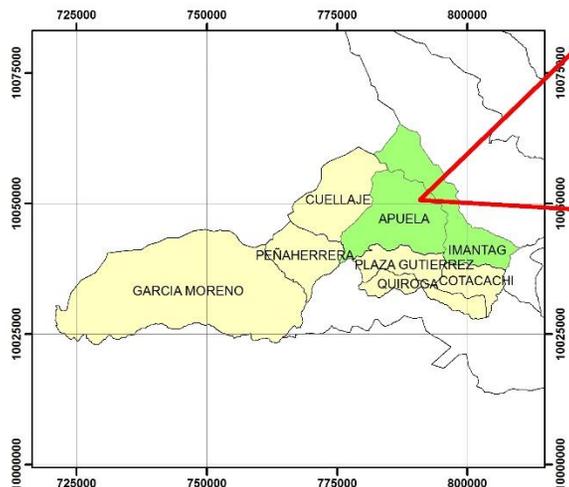
UBICACIÓN EN EL ECUADOR



UBICACIÓN EN LA PROVINCIA DE IMBABURA



UBICACIÓN EN EL CANTÓN COTACACHI



UBICACIÓN EN LAS PARROQUIAS APUELA E IMANTAG



**SIMBOLOGÍA**

 **ÁREA DE ESTUDIO**

**"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HIDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVI Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."**

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO:  
**MAPA DE UBICACIÓN**

FUENTE:  
SNI, 2013

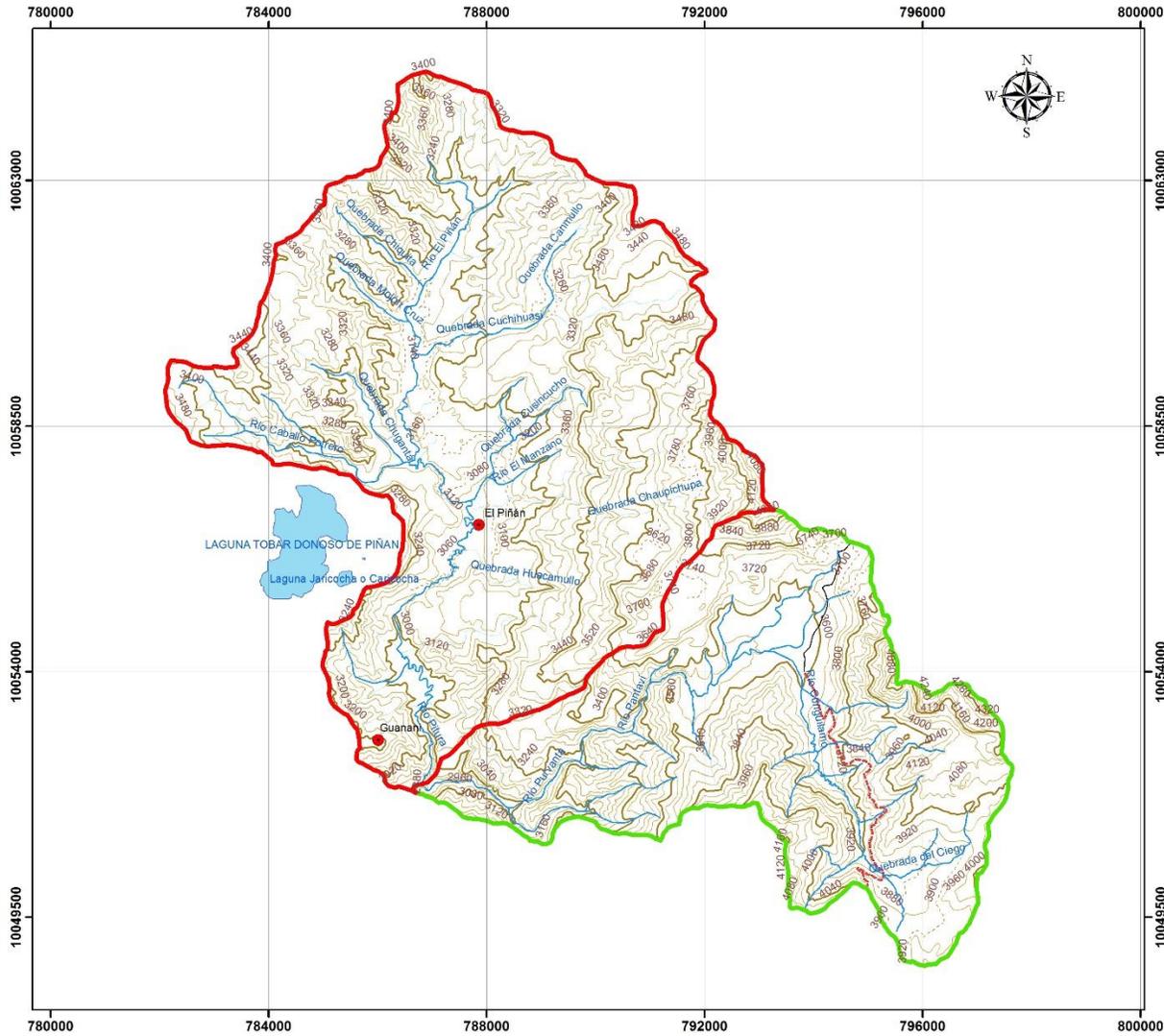
FECHA:  
10-11-2015

ESCALA:  
1:50000

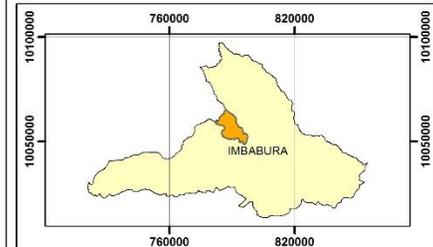
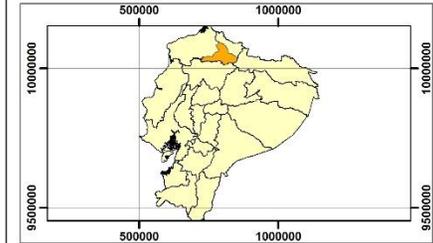
NÚMERO DE MAPA:  
1 de 22



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**SIMBOLOGÍA**

- POBLADOS
- MICROCUENCA PIÑÁN
- MICROCUENCA PANTAVÍ
- PERENNE
- INTERMITENTE
- LAGUNAS
- RUTA SECUNDARIA
- RUTA LOCAL
- INDICE
- INTERMEDIA
- SUPLEMENTARIA

**"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APOORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPOSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."**

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO:  
**MAPA BASE**

FUENTE:  
SNI, 2013

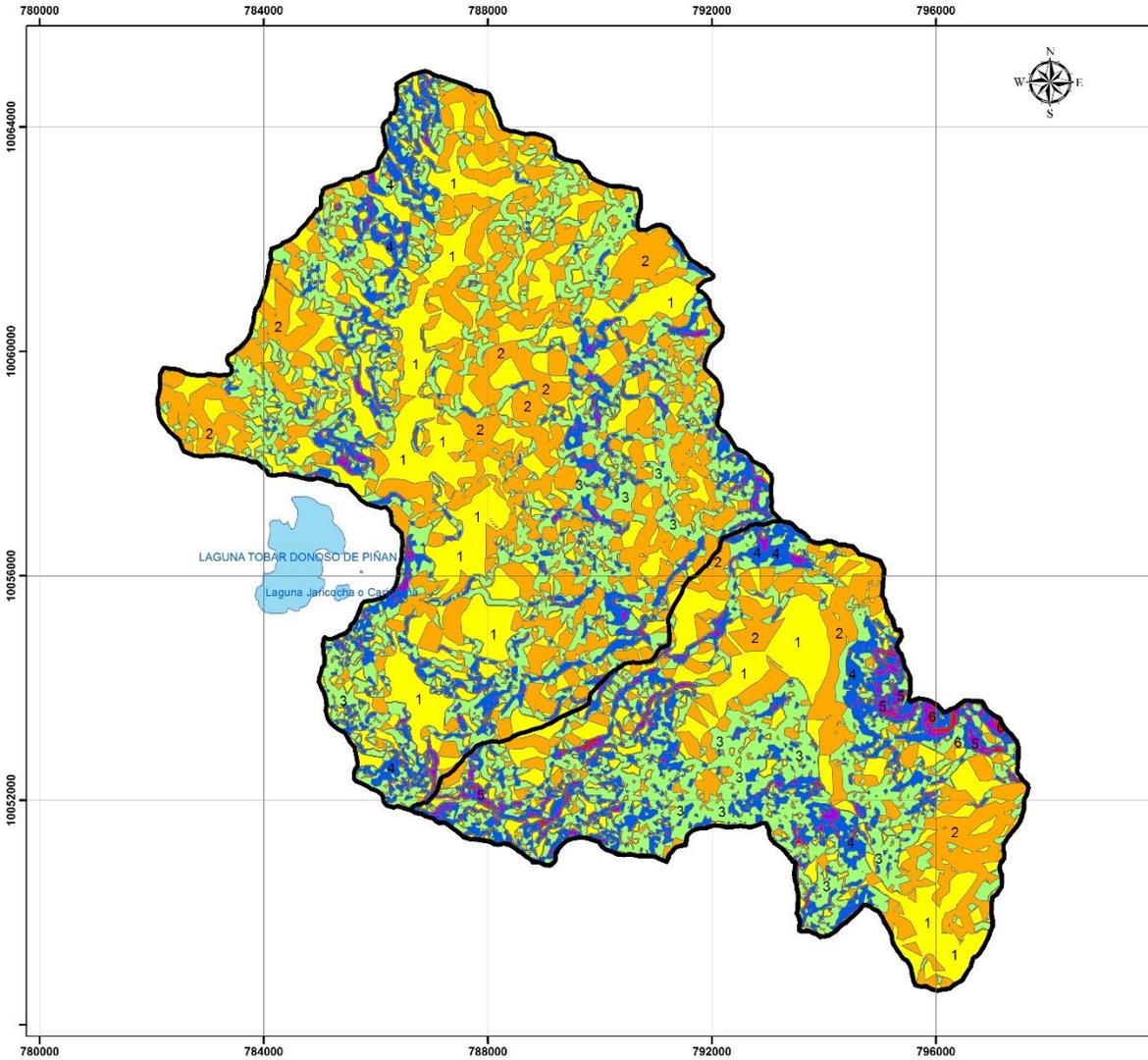
FECHA:  
10-11-2015

ESCALA:  
1:50000

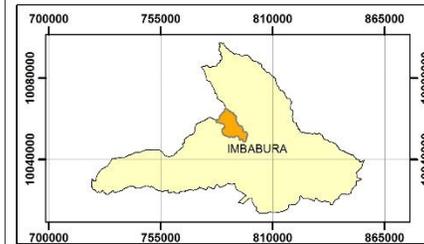
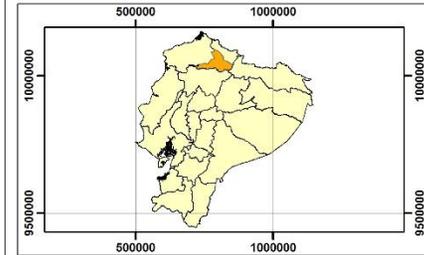
NÚMERO DE MAPA:  
2 de 22



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**LEYENDA**

RANGO	
1	0-9%
2	9-27%
3	27-47%
4	47-70%
5	70-100%
6	>100

"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVI Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APOORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPOSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO:  
**MAPA DE PENDIENTES**

FUENTE: ELABORACIÓN  
PROPIA, 2015

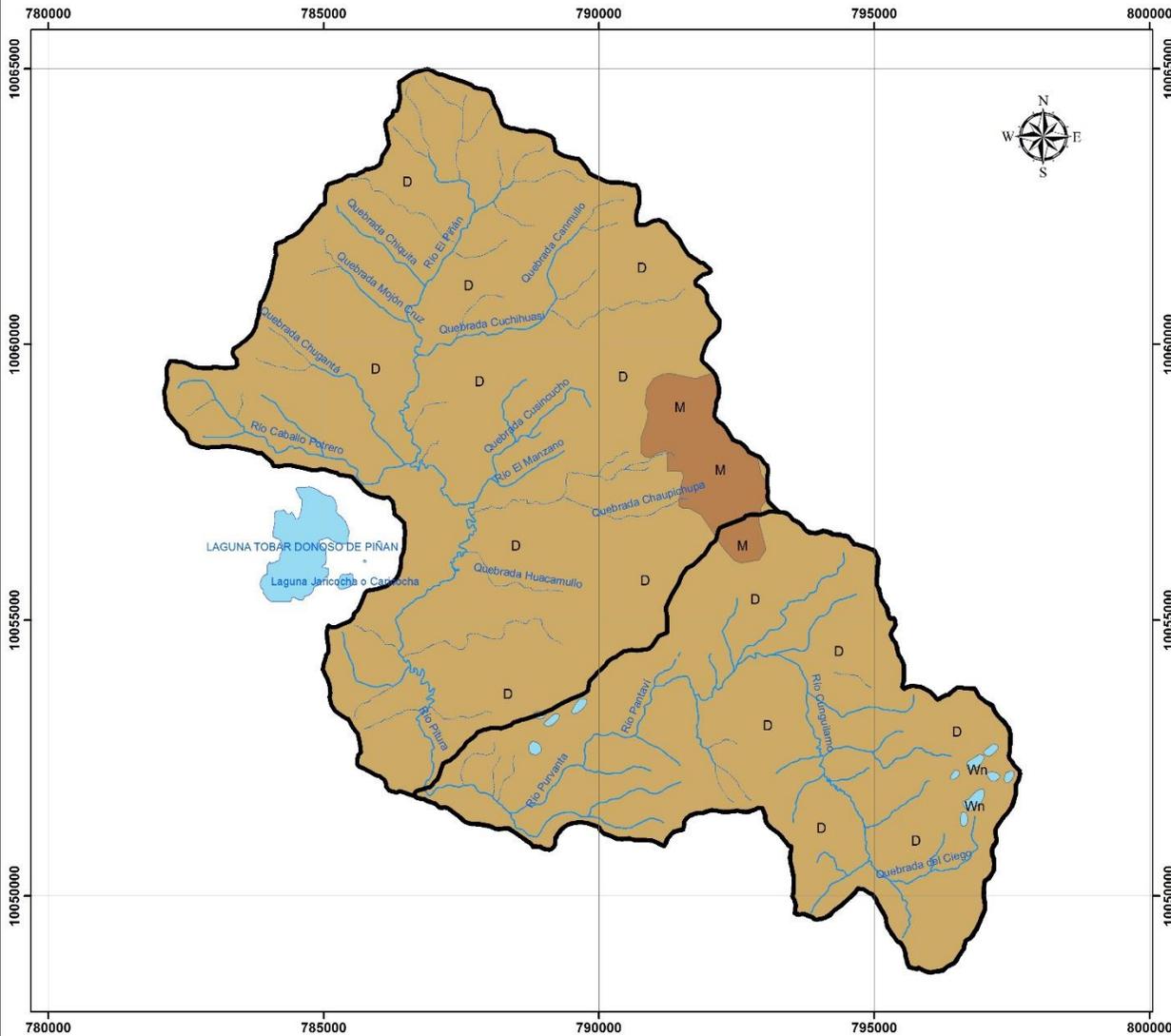
FECHA:  
10-11-2015

ESCALA:  
1:50000

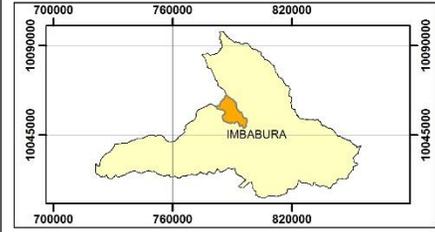
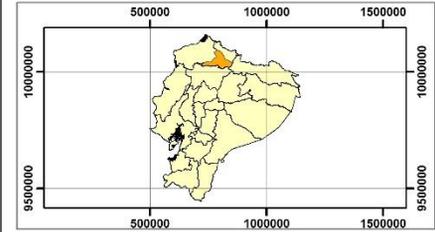
NÚMERO DE MAPA:  
3 de 22



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**SIMBOLOGÍA**

- PERENNE
- INTERMITENTE

**LEYENDA**

- TIPOS DE SEULO**
- M ARGUJSTOLL
  - Wn CUERPOS DE AGUA
  - D DYSTRANDEPT

"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO:  
**MAPA DE TIPOS DE SUELOS**

FUENTE:  
SNI, 2013

FECHA:  
10-11-2015

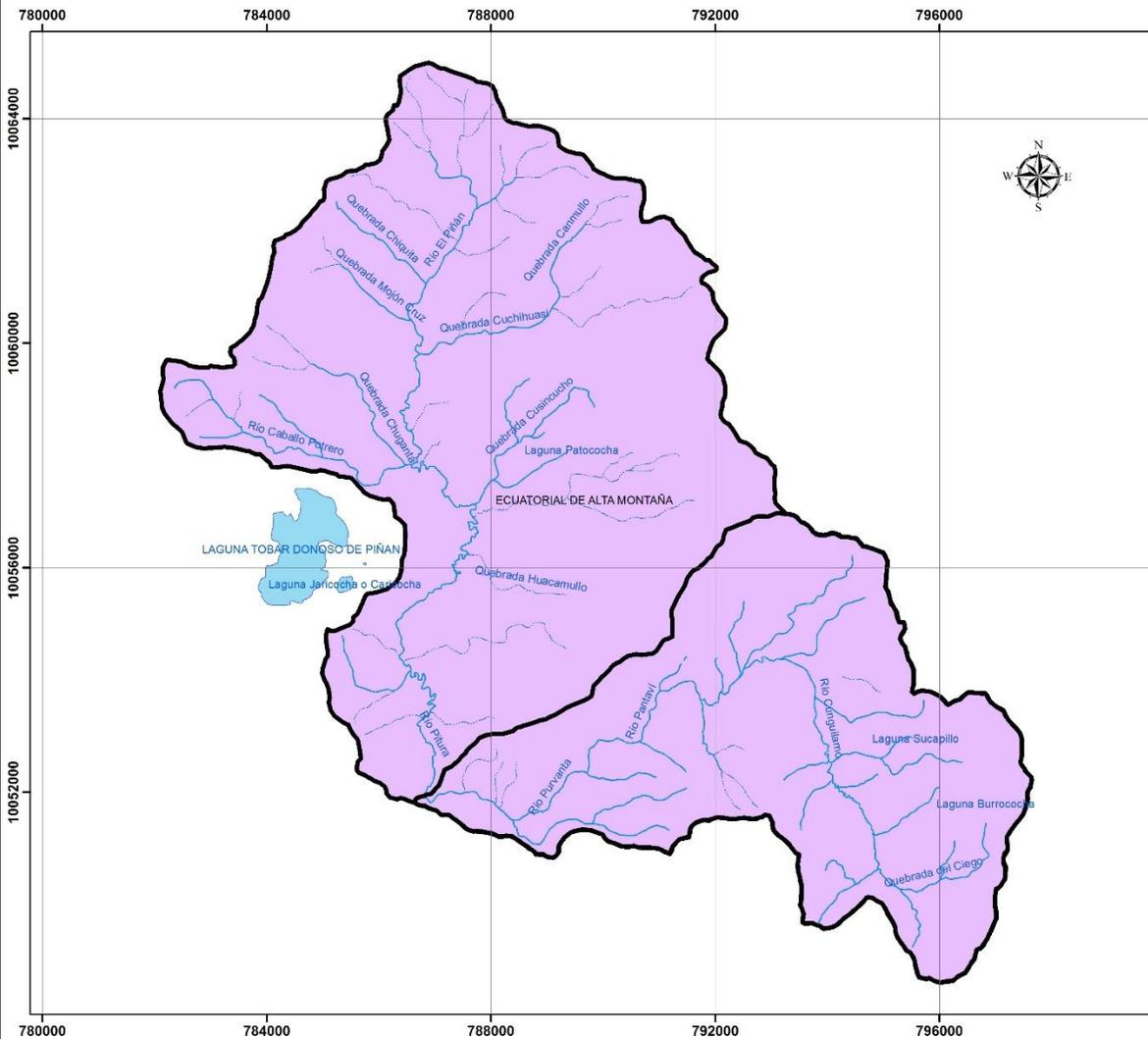
ESCALA:  
1:50000

NÚMERO DE MAPA:  
4 de 22

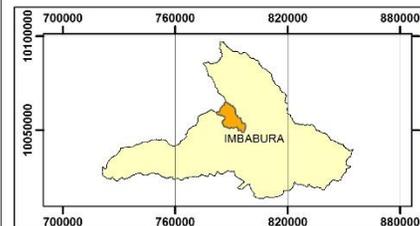
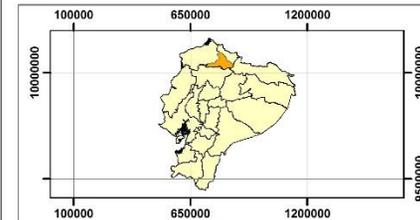




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**SIMBOLOGÍA**

- PERENNE
- INTERMITENTE

**LEYENDA**

**CLIMA**

- ECUATORIAL DE ALTA MONTAÑA

**"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÓN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APOORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO PIÑÓN-TUMBABIRO."**

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO:  
MAPA DE TIPOS DE CLIMA

FUENTE:  
SNI, 2013

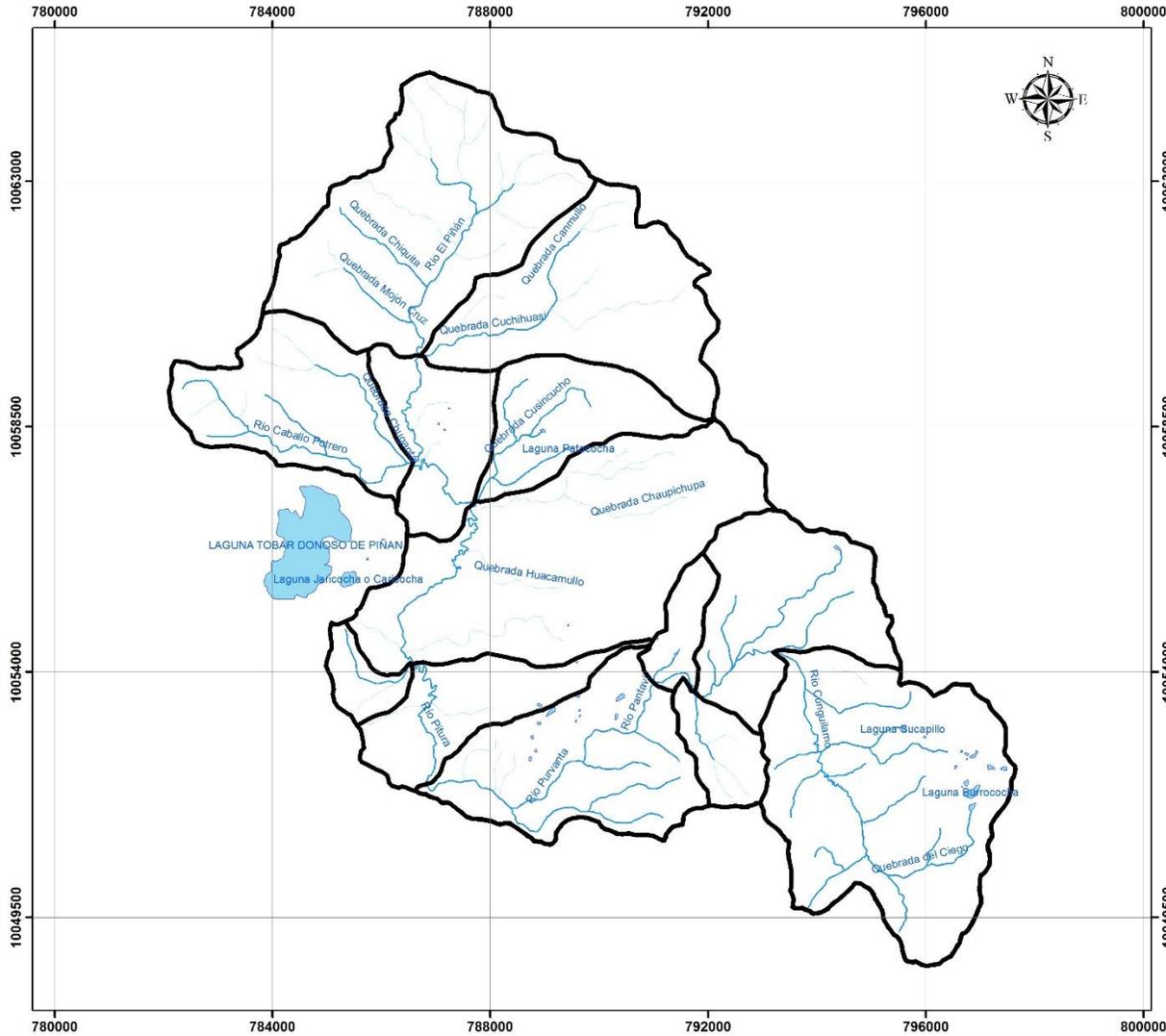
FECHA:  
10-11-2015

ESCALA:  
1:50000

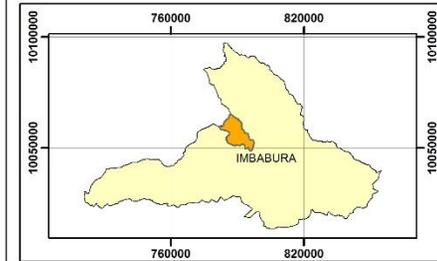
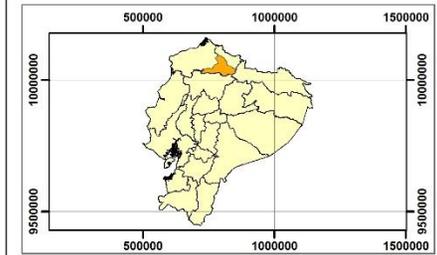
NÚMERO DE MAPA:  
6 de 22



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**SIMBOLOGÍA**

**RIOS**

- PERENNE
- INTERMITENTE
- LAGUNAS

"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APOORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO: **MAPA DE DRENAJES SUPERFICIALES**

FUENTE:  
SNI, 2013

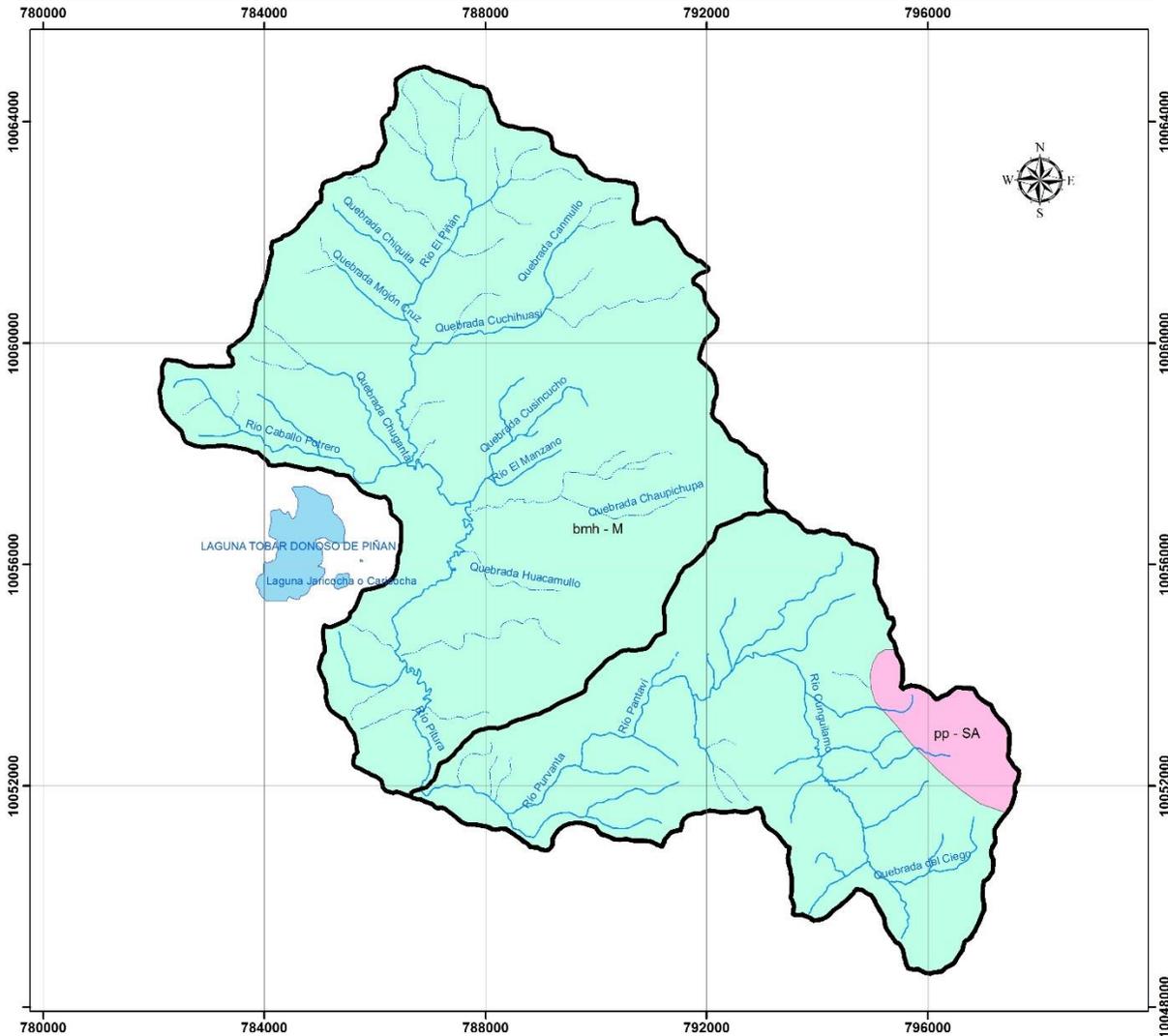
FECHA:  
10-11-2015

ESCALA:  
1:50000

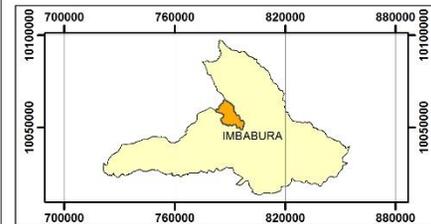
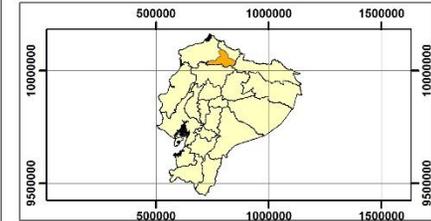
NÚMERO DE MAPA:  
7 de 22



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



UBICACIÓN GEOGRÁFICA



SIMBOLOGÍA

- PERENNE
- - - - - INTERMITENTE

LEYENDA

ZONAS DE VIDA

- bmh-M BOSQUE MUY HUMEDO - MONTANO
- pp-SA PÁRAMO PLUVIAL - SUBALPINO

"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPOSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO:  
MAPA DE ZONAS DE VIDA

FUENTE: ELABORACIÓN  
PROPIA, 2015

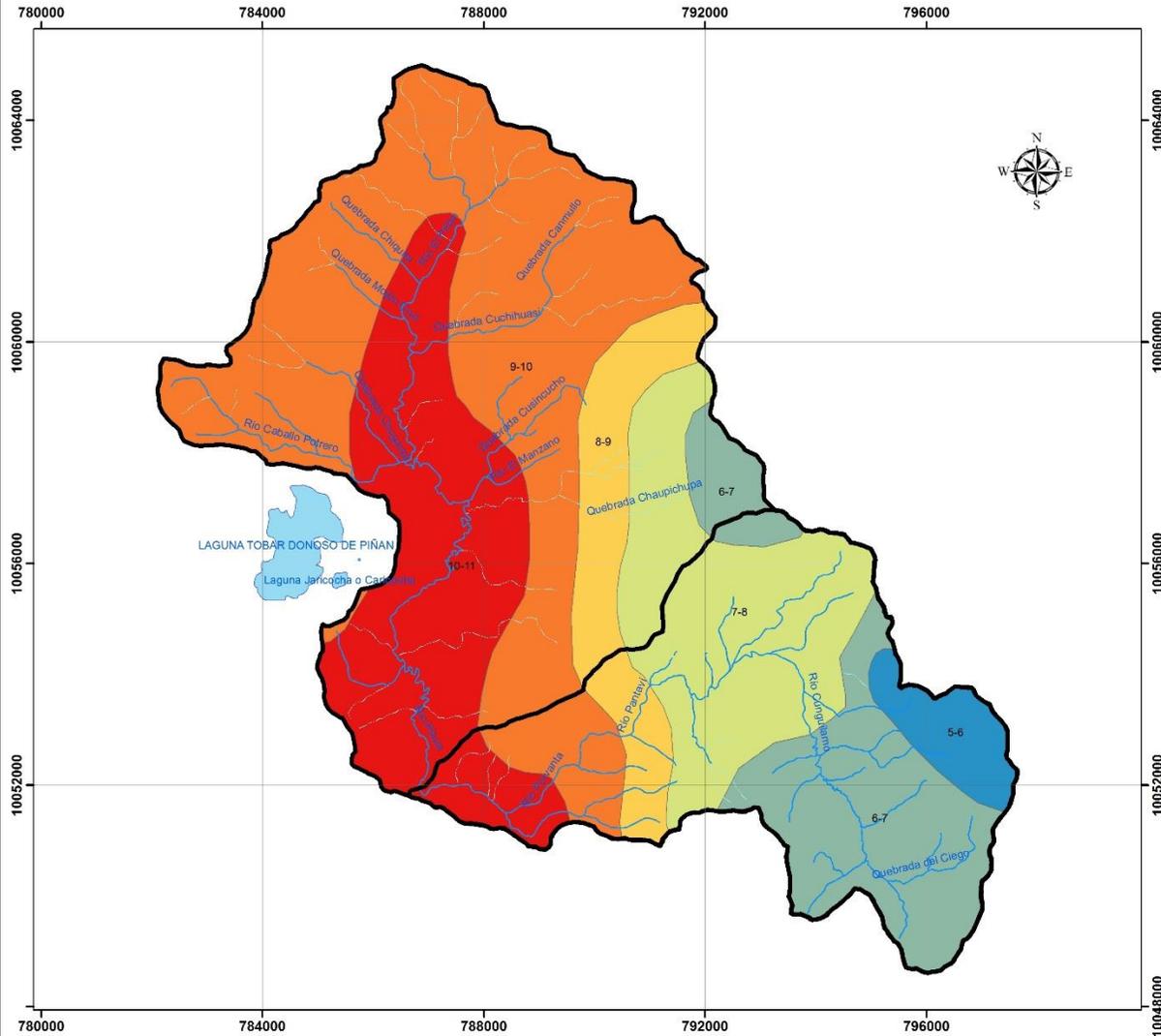
FECHA:  
10-11-2015

ESCALA:  
1:50000

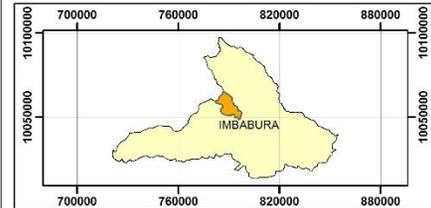
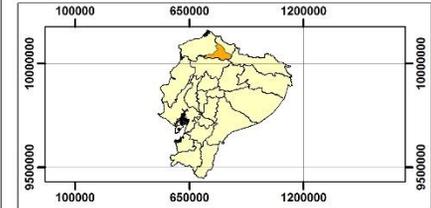
NÚMERO DE MAPA:  
8 de 22



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



UBICACIÓN GEOGRÁFICA



SIMBOLOGÍA

- PERENNE
- INTERMITENTE

SIMBOLOGÍA

ISOTERMAS MEDIAS ANUALES

- | RANGO °C | Color        |
|----------|--------------|
| 5-6      | Blue         |
| 6-7      | Light Green  |
| 7-8      | Yellow-Green |
| 8-9      | Yellow       |
| 9-10     | Orange       |
| 10-11    | Red          |

"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO: MAPA DE ISOTERMAS  
MEDIAS ANUALES

FUENTE:  
SNI, 2013

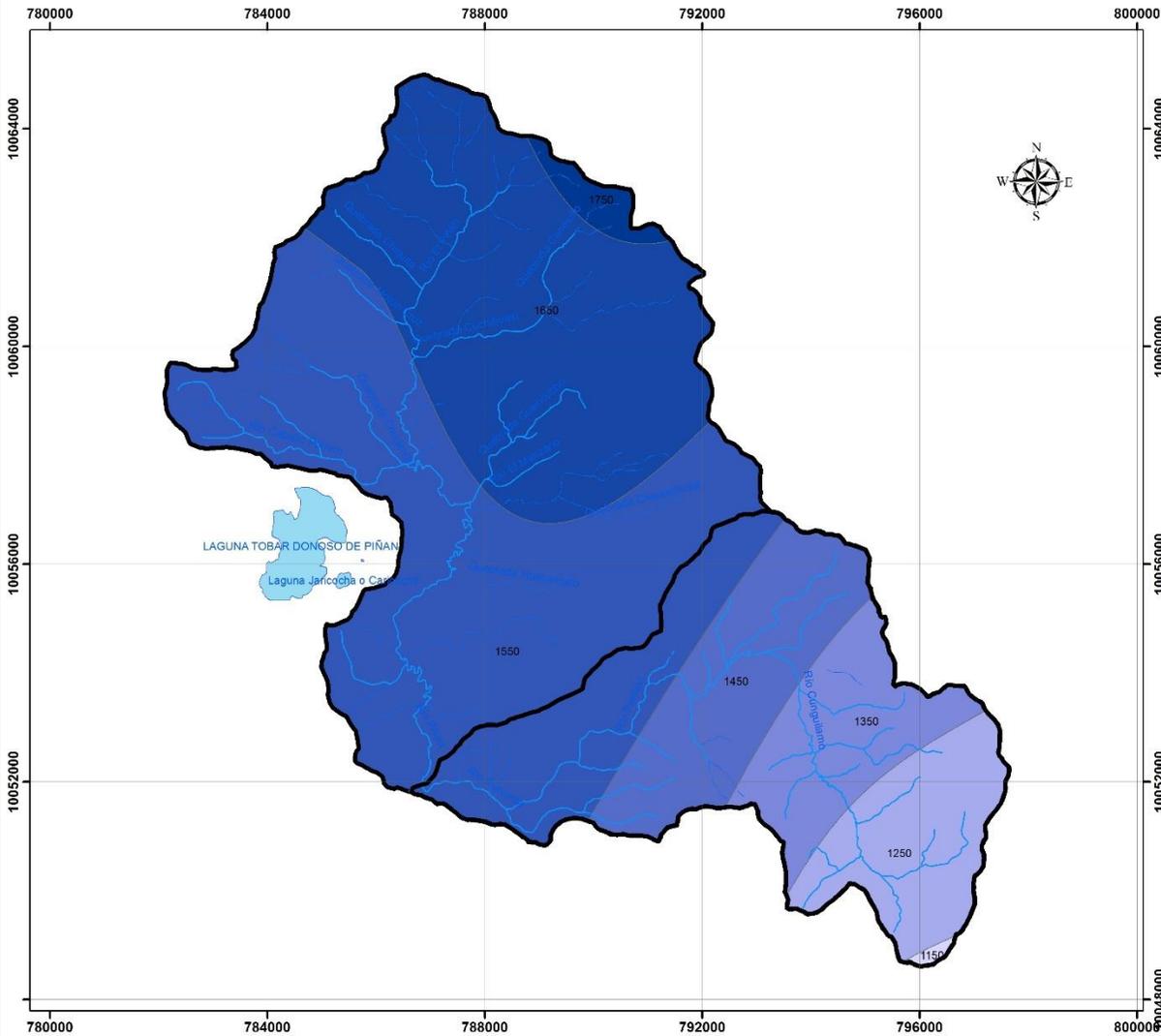
FECHA:  
10-11-2015

ESCALA:  
1:50000

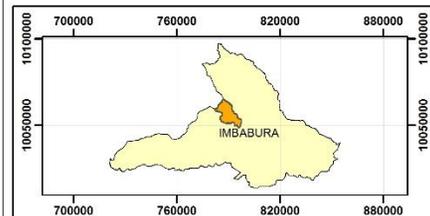
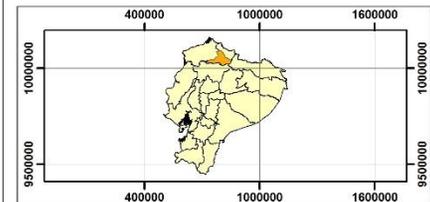
NÚMERO DE MAPA:  
9 de 22



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



UBICACIÓN GEOGRÁFICA



SIMBOLOGÍA

- PERENNE
- INTERMITENTE

LEYENDA

ISOYETAS	
1150	1450
1250	1550
1350	1650
	1750

"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO: MAPA DE ISOYETAS  
AÑO 1991

FUENTE:  
INAMHI, 2012

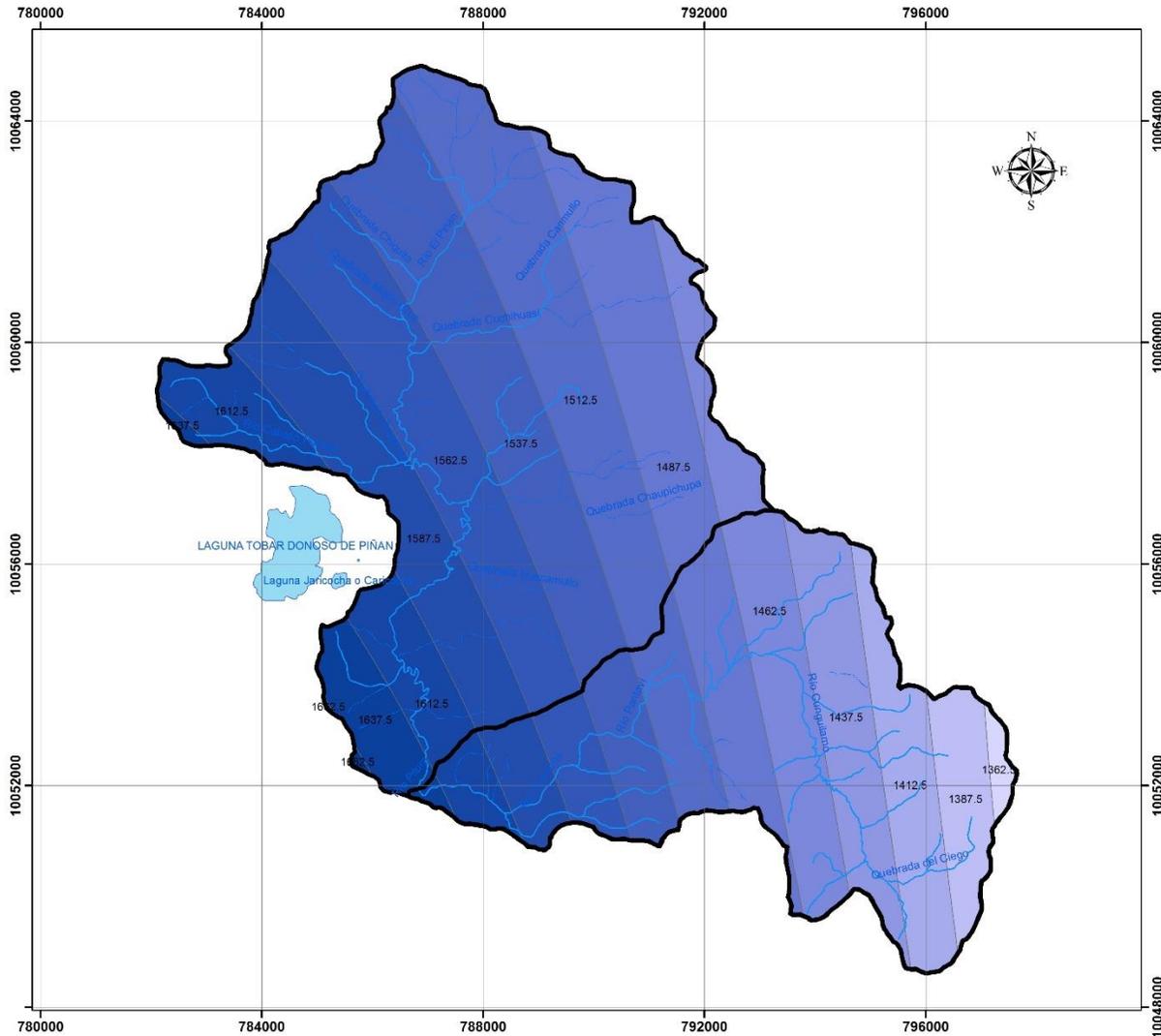
FECHA:  
10-11-2015

ESCALA:  
1:50000

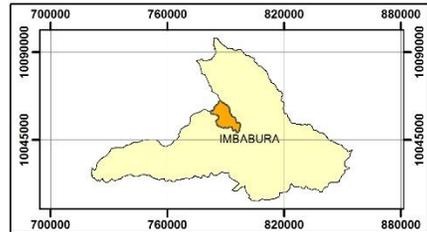
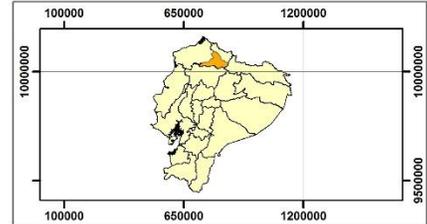
NÚMERO DE MAPA:  
10 de 22



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



UBICACIÓN GEOGRÁFICA



SIMBOLOGÍA

- PERENNE
- INTERMITENTE

LEYENDA

ISOYETAS	
	1437.5
	1462.5
	1487.5
	1512.5
	1537.5
	1562.5
	1362.5
	1387.5
	1412.5
	1437.5
	1462.5
	1487.5
	1512.5
	1537.5
	1562.5
	1587.5
	1612.5
	1637.5
	1662.5

"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO: MAPA DE ISOYETAS  
AÑO 1999

FUENTE:  
INAMHI, 2012

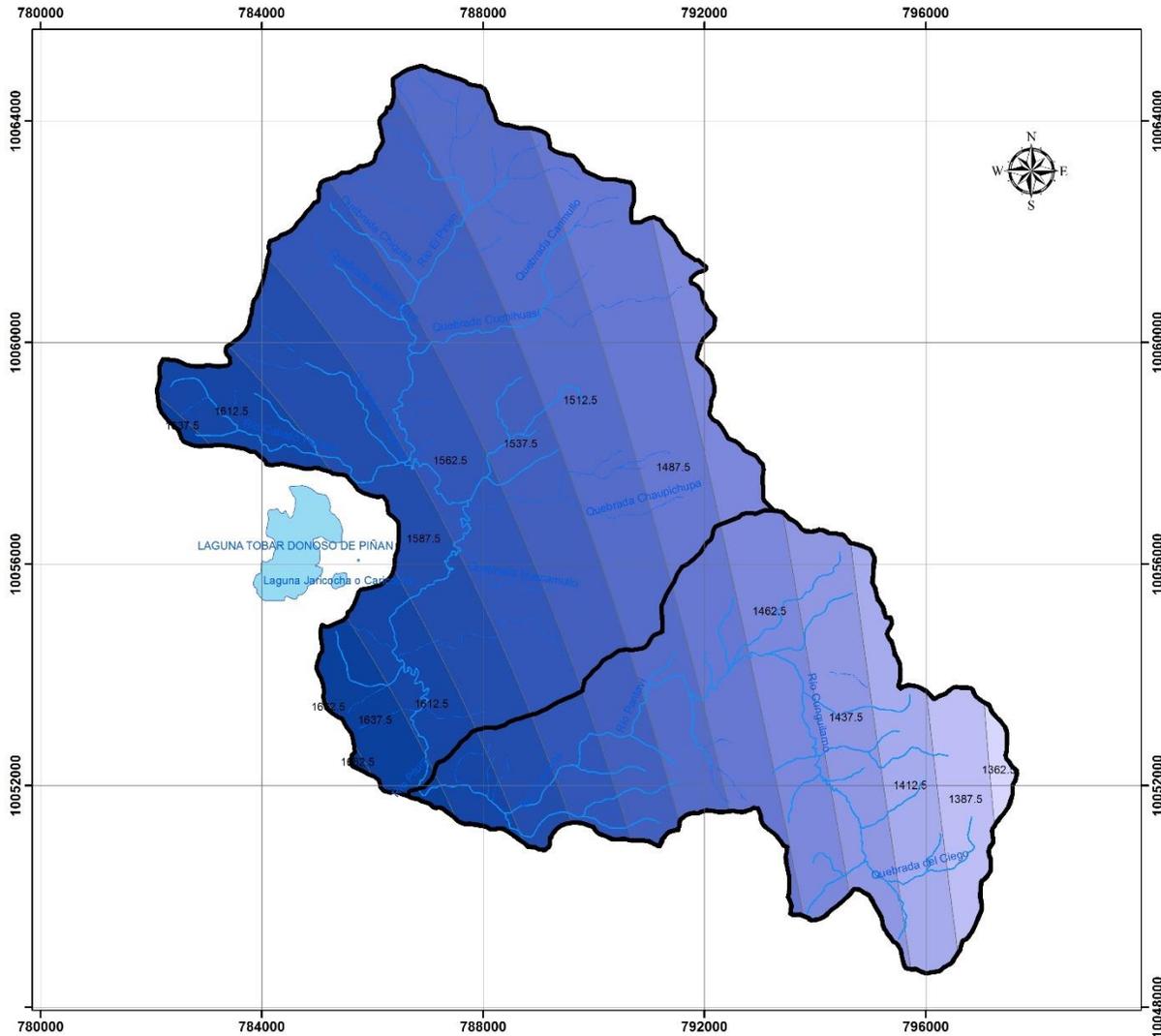
FECHA:  
10-11-2015

ESCALA:  
1:50000

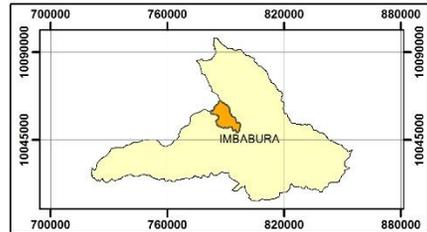
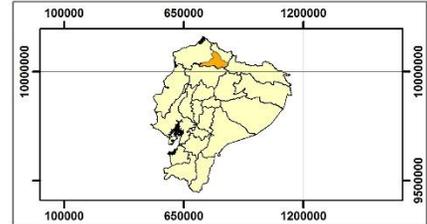
NÚMERO DE MAPA:  
11 de 22



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**SIMBOLOGÍA**

- PERENNE
- INTERMITENTE

**LEYENDA**

ISOYETAS	
	1437.5
	1462.5
	1487.5
	1512.5
	1537.5
	1562.5
	1587.5
	1612.5
	1637.5
	1662.5

"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO: **MAPA DE ISOYETAS**  
**AÑO 1999**

FUENTE:  
INAMHI, 2012

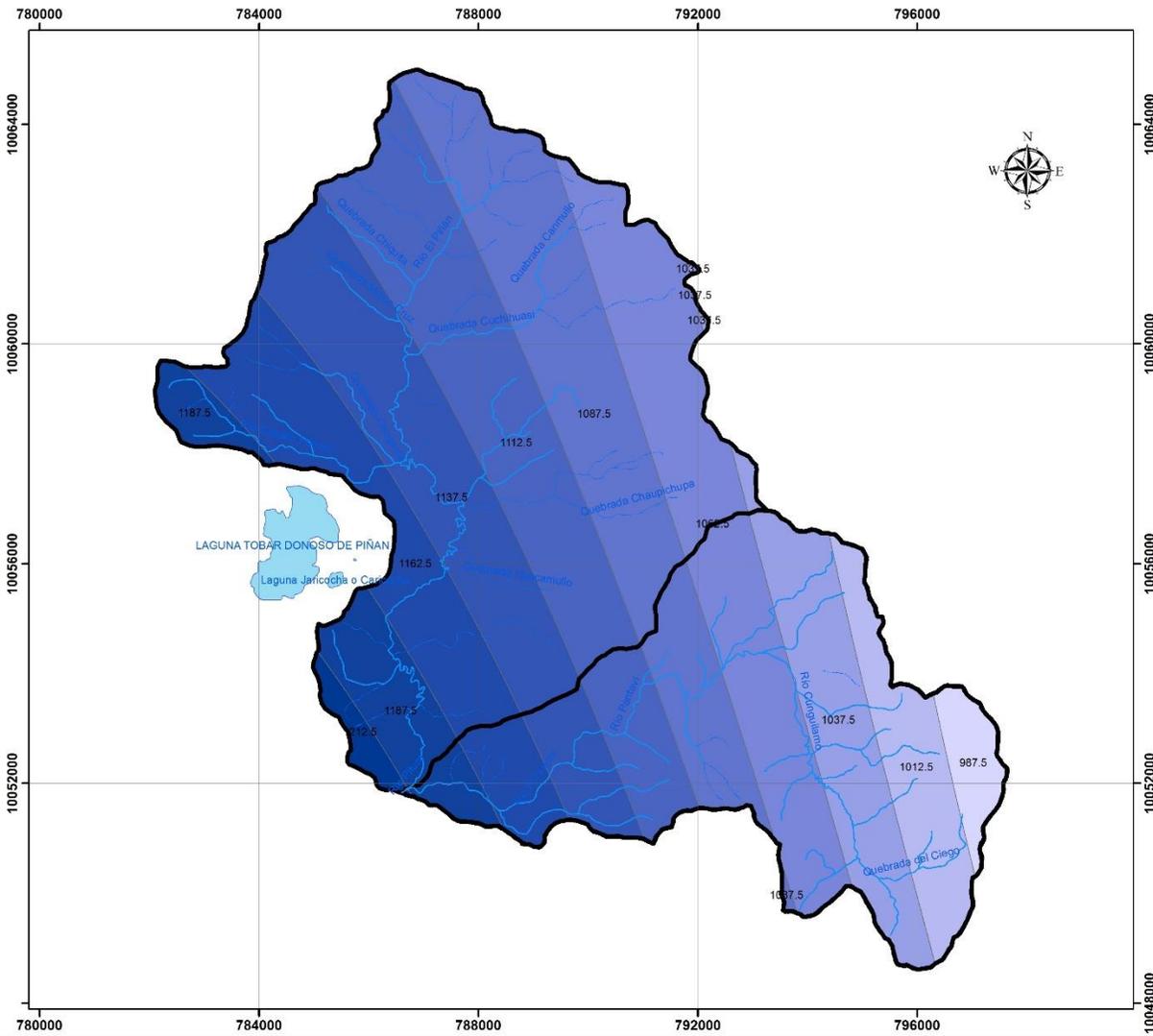
FECHA:  
10-11-2015

ESCALA:  
1:50000

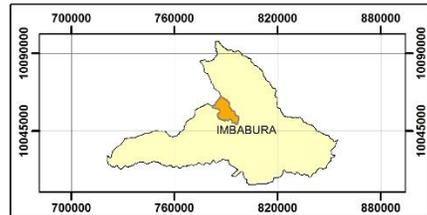
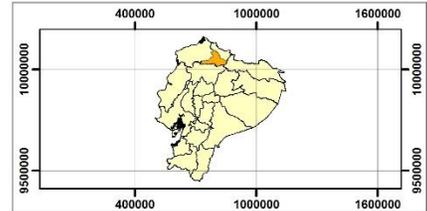
NÚMERO DE MAPA:  
11 de 22



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



UBICACIÓN GEOGRÁFICA



SIMBOLOGÍA

- PERENNE
- INTERMITENTE

LEYENDA

ISOYETAS	
	1037.5
	1062.5
	1087.5
	1112.5
	1137.5

"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."

ELABORACIÓN: JONATHAN CHICAIZA	REVISADO POR: ING. OSCAR ROSALES
-----------------------------------	-------------------------------------

CONTENIDO: **MAPA DE ISOYETAS AÑO 2009**

FUENTE: INAMHI, 2012	FECHA: 10-11-2015
-------------------------	----------------------

ESCALA: 1:50000	NÚMERO DE MAPA: 12 de 22
--------------------	-----------------------------



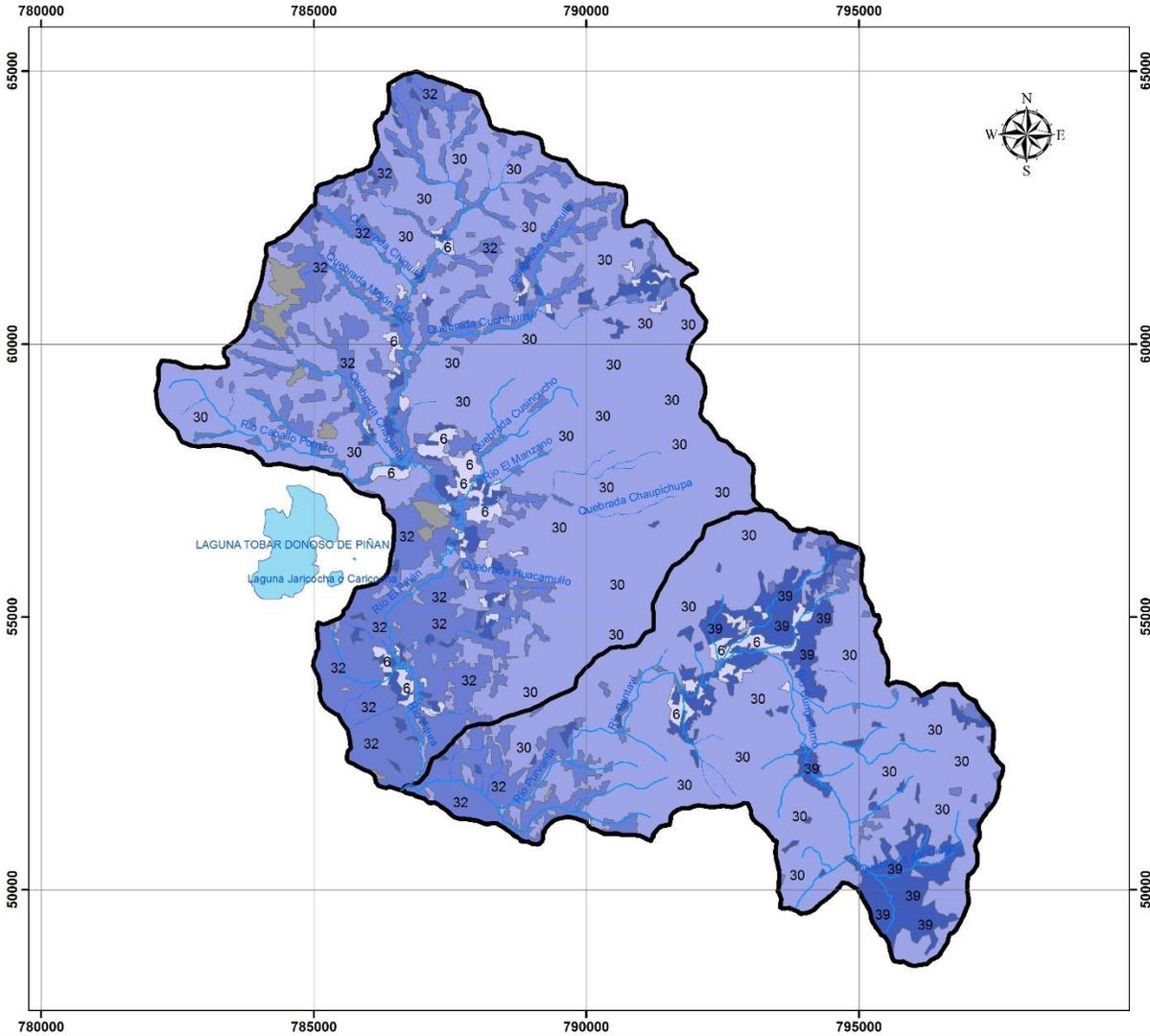




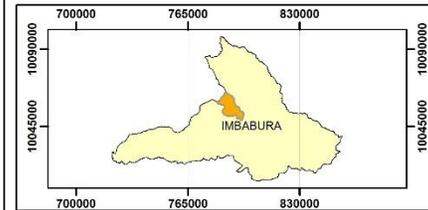
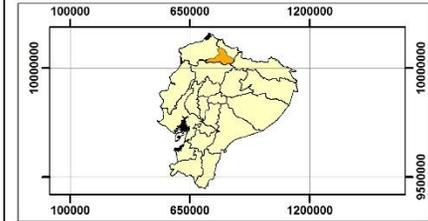




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**SIMBOLOGÍA**

- PERENNE
- - - INTERMITENTE

**LEYENDA**

CURVA NÚMERO	
6	39
30	NO APLICA
32	

**"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APOORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."**

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO: MAPA DE CURVA NÚMERO  
AÑO 2009

FUENTE: ELABORACIÓN  
PROPIA, 2015

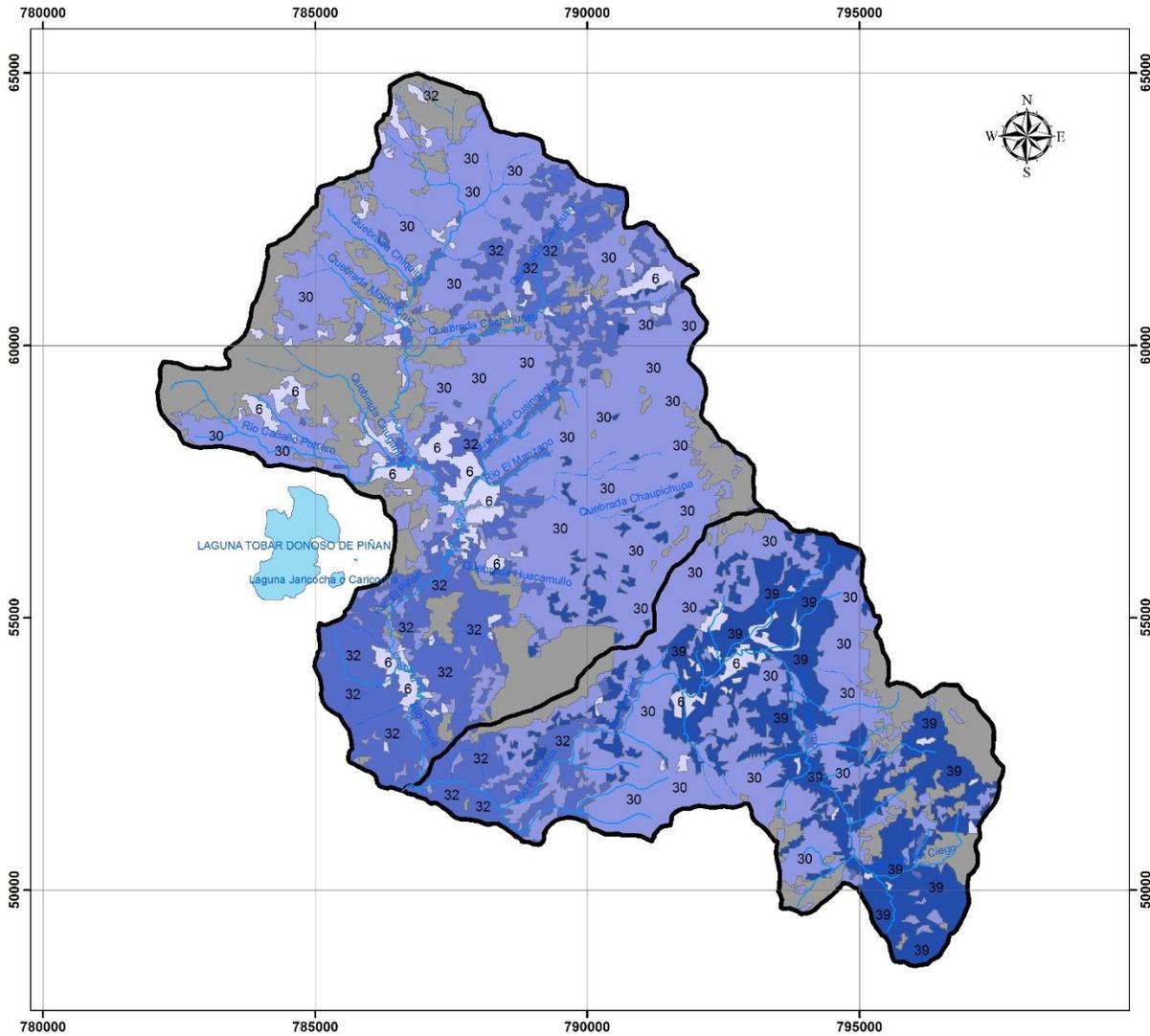
FECHA:  
10-11-2015

ESCALA:  
1:50000

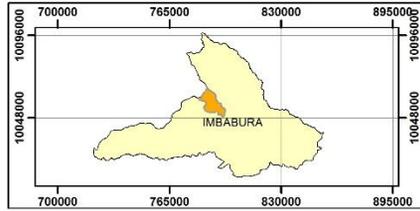
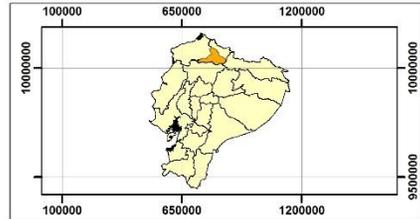
NÚMERO DE MAPA:  
17 de 22



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



UBICACIÓN GEOGRÁFICA



SIMBOLOGÍA

- PERENNE
- - - INTERMITENTE

LEYENDA

CURVA NÚMERO	
6	32
30	39
	NO APLICA

"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APOORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO: MAPA DE CURVA NÚMERO  
AÑO 2013

FUENTE: ELABORACIÓN  
PROPIA, 2015

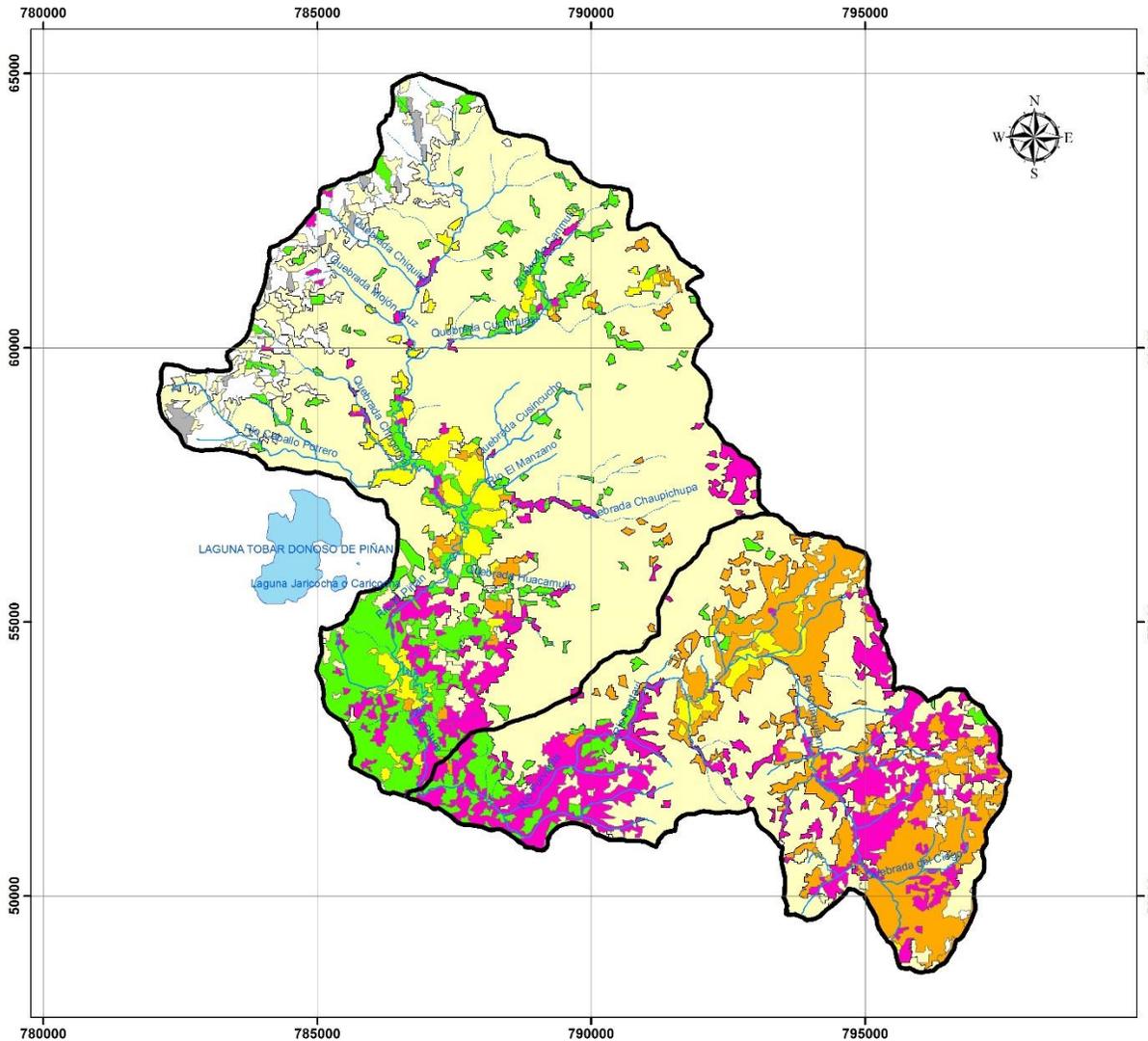
FECHA:  
10-11-2015

ESCALA:  
1:50000

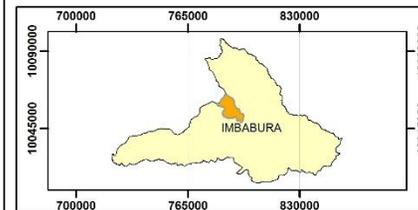
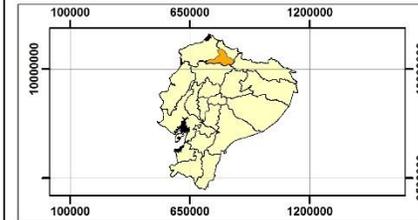
NÚMERO DE MAPA:  
18 de 22



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



UBICACIÓN GEOGRÁFICA



SIMBOLOGÍA

- PERENNE
- - - INTERMITENTE

LEYENDA

- BOSQUE
- PÁRAMO DE ALMOHADILLAS
- NUBES
- PÁRAMO HERBACEO
- PASTO NATURAL
- SOMBRA
- PÁRAMO ARBUSTIVO

"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO: MAPA DE COBERTURA VEGETAL AÑO 1991

FUENTE:  
USGS, 2013

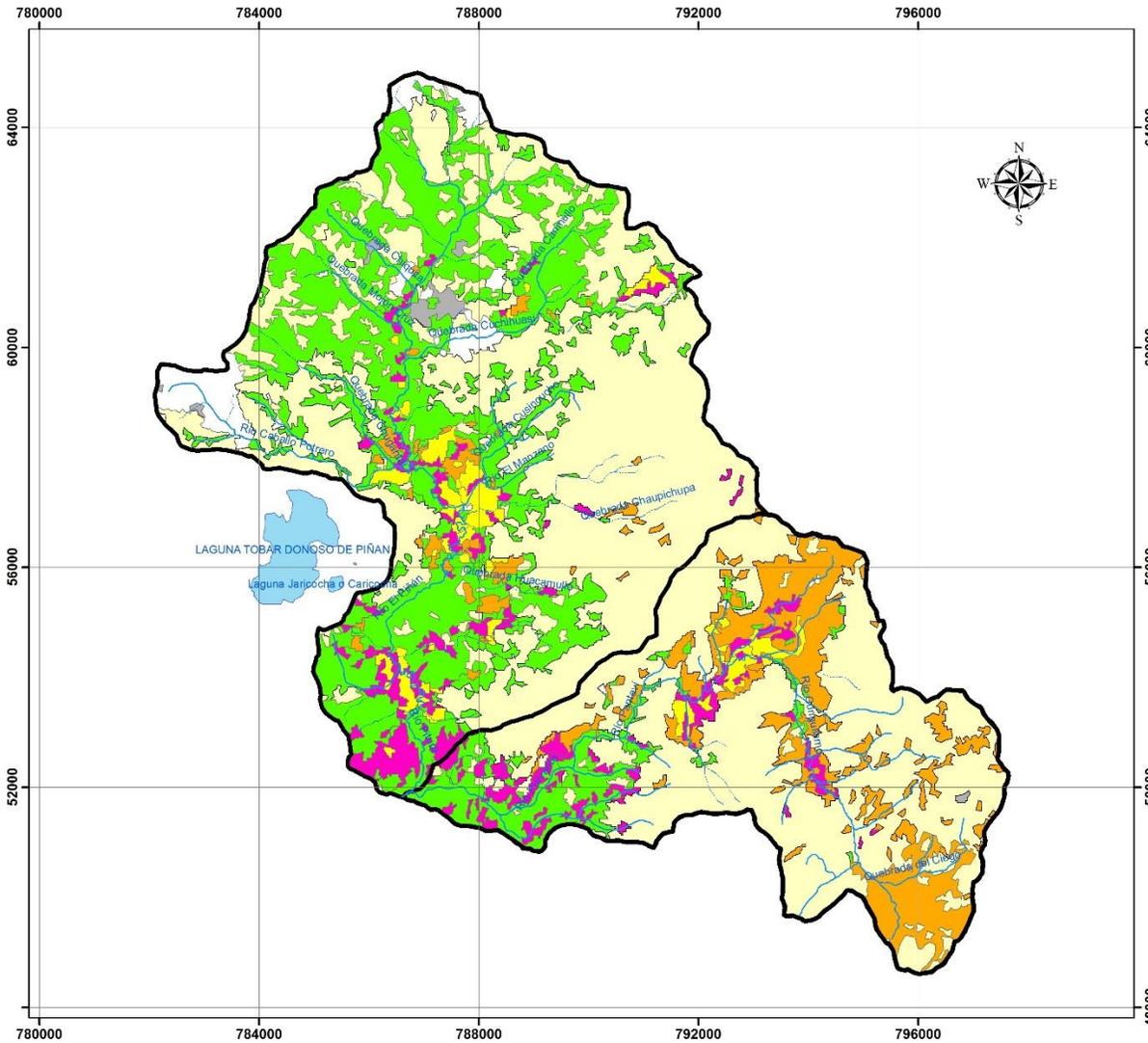
FECHA:  
10-11-2015

ESCALA:  
1:50000

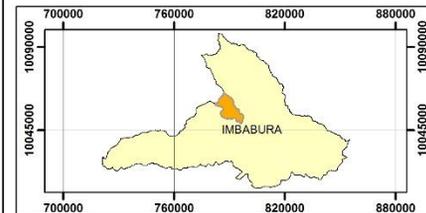
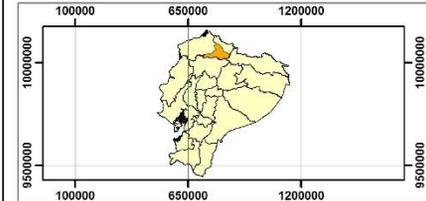
NÚMERO DE MAPA:  
19 de 22



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**SIMBOLOGÍA**

- PERENNE
- - - INTERMITENTE

**LEYENDA**

- |                  |                        |
|------------------|------------------------|
| BOSQUE           | PÁRAMO DE ALMOHADILLAS |
| NUBES            | PÁRAMO HERBACEO        |
| PASTO NATURAL    | SOMBRAS                |
| PÁRAMO ARBUSTIVO |                        |

"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APOORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPOSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO: **MAPA DE COBERTURA VEGETAL AÑO 1999**

FUENTE:  
USGS, 2013

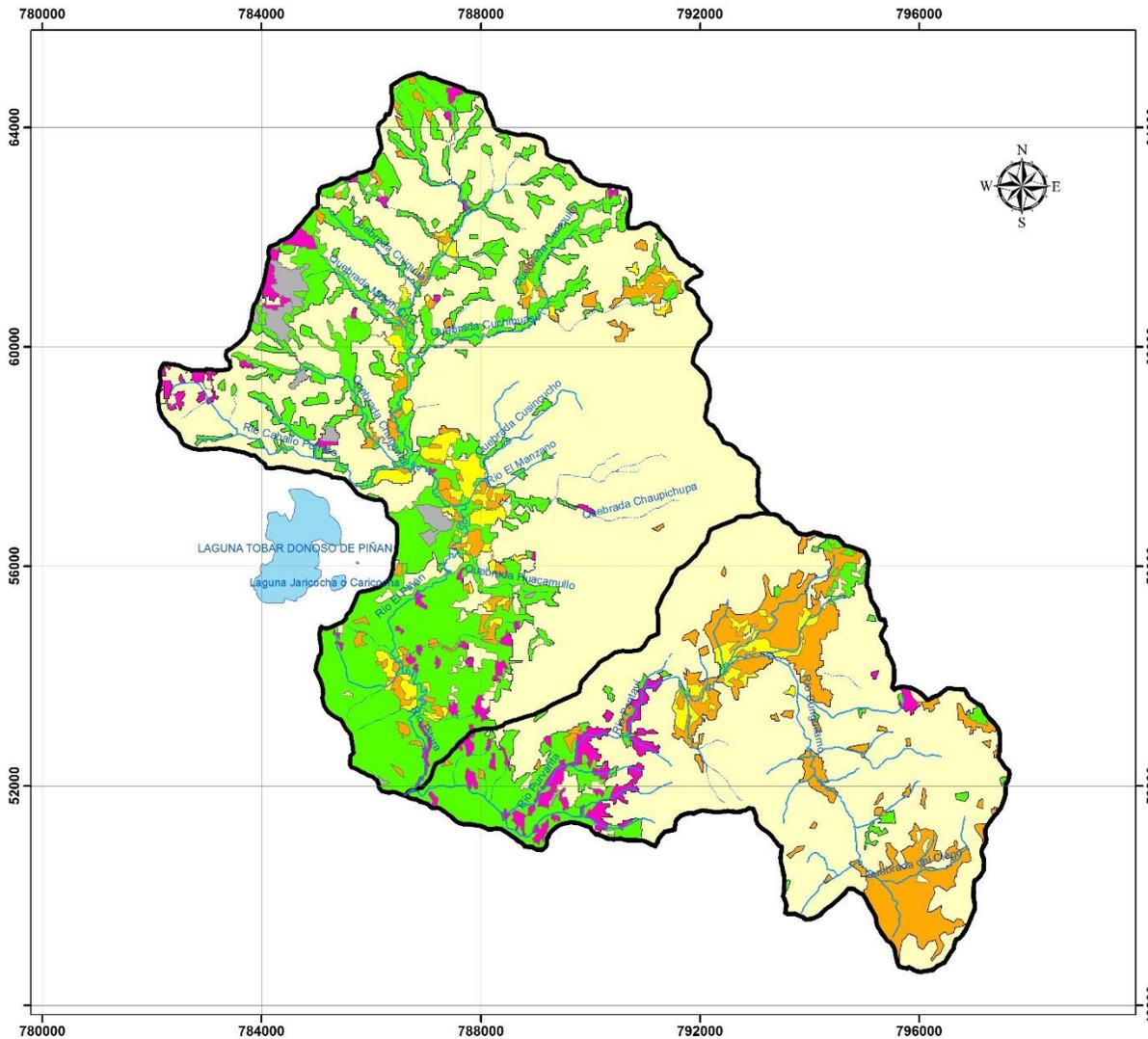
FECHA:  
10-11-2015

ESCALA:  
1:50000

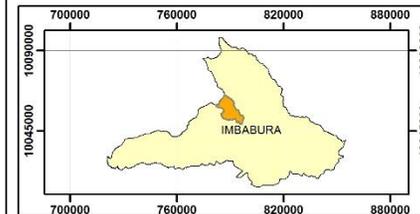
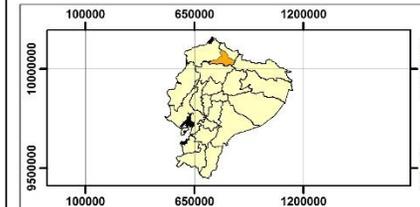
NÚMERO DE MAPA:  
20 de 22



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



UBICACIÓN GEOGRÁFICA



SIMBOLOGÍA

- PERENNE
- INTERMITENTE

LEYENDA

- BOSQUE
- PASTO NATURAL
- PÁRAMO ARBUSTIVO
- PÁRAMO DE ALMOHADILLAS
- PÁRAMO HERBACEO
- SOMBRAS

"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO PANTAVÍ Y RÍO PIÑÁN, PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE APOORTE AL EMBALSE DEL PROYECTO MULTIPROPOSITO PIÑÁN-TUMBABIRO."

ELABORACIÓN:  
JONATHAN CHICAIZA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO: MAPA DE COBERTURA VEGETAL AÑO 2009

FUENTE:  
USGS, 2013

FECHA:  
10-11-2015

ESCALA:  
1:50000

NÚMERO DE MAPA:  
21 de 22



## ANEXO 2

### HOJAS DE CÁLCULO DE CAUDALES

HOJA 1. Medición del caudal del río Pantaví en el mes de abril.

#### PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS

##### SECCION DE AFORO

Número del Aforo:

1 Nombre del cauce	Parte alta de la microcuenca del río Pantaví
2 Nombre del sitio de aforo	Río Pantaví
3 Institución/Responsable/Proyecto	UTN - JONATHAN-RNR
4 Observaciones de la sección de aforo	0

##### DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMETRICOS

1 Caudal Medio en sección de Aforo (m <sup>3</sup> /s y en l/s)	0.16 m <sup>3</sup> /s	157.83 l/s
2 Area Mojada de la sección transversal (m <sup>2</sup> )	0.41	
3 Velocidad media (m/s)	0.38	
4 Perímetro Mojado de la sección transversal (m)	3.48	
5 Espejo de agua (m)	3.40	
6 Tirante máximo (m)	0.24	
7 Profundidad Hidráulica (m)	0.12	
8 Radio Hidráulico (m)	0.12	
9 Número de Froude	0.35	
10 Régimen de Flujo	Régimen Subcrítico	



Imagen del sitio de aforo

##### LOCALIZACION DE LA SECCION DE AFORO

1 Provincia/Cantón/Parroquia	IMBABURA/COTACACHI/
2 Cuenca Hidrográfica	Río Mira
3 Código Pfastetter	0
4 COORDENADA X UTM (m) (Sitio Aforo)	793460.00
5 COORDENADA Y UTM (m) (Sitio Aforo)	1004273.00
6 Cota (m) (Sitio Aforo)	3582.00

##### REALIZACION DE AFORO

1 Fecha/Hora	sábado, 19 de abril de 2014	11H00
2 Responsable de Aforo	Jonathan Chicaiza	
3 Responsable de Cálculo	Jonathan Chicaiza	

##### INSTRUMENTAL

1 MARCA/TIPO DE MOLINETE	SIAP
2 CODIGO DE HELICE	Hélice No. 2 - Ensayo No. 212539

1marzo2014

**HOJA 2.** Medición del caudal del río Pantaví con aporte de afluentes en el mes de abril.

**PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS**

**SECCION DE AFORO**

Número del Aforo:

1	Nombre del cauce	Microcuenca del Rio Pantaví con aporte de afluente
2	Nombre del sitio de aforo	Antes de captacion
3	Institución/Responsable/Proyecto	UTN - JONATHAN-RNR
4	Observaciones de la sección de aforo	0

**DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMETRICOS**

1	Caudal Medio en sección de Aforo (m3/s y en l/s)	0.18 m3/s	184.55 l/s
2	Area Mojada de la sección transversal (m2)	0.55	
3	Velocidad media (m/s)	0.34	
4	Perímetro Mojado de la sección transversal (m)	3.16	
5	Espejo de agua (m)	2.80	
6	Tirante máximo (m)	0.36	
7	Profundidad Hidráulica (m)	0.20	
8	Radio Hidráulico (m)	0.17	
9	Número de Froude	0.24	
10	Régimen de Flujo	Régimen Subcrítico	



Imagen del sitio de aforo

**LOCALIZACION DE LA SECCION DE AFORO**

1	Provincia/Cantón/Parroquia	IMBABURA/COTACACHI/
2	Cuenca Hidrográfica	Río Mira
3	Código Pfastetter	0
4	COORDENADA X UTM (m) (Sitio Aforo)	792308.00
5	COORDENADA Y UTM (m) (Sitio Aforo)	10053918.00
6	Cota (m) (Sitio Aforo)	3569.00

**REALIZACION DE AFORO**

1	Fecha/Hora	sábado, 19 de abril de 2014	11H30
2	Responsable de Aforo	Jonathan Chicaiza	
3	Responsable de Cálculo	Jonathan Chicaiza	

**INSTRUMENTAL**

1	MARCA/TIPO DE MOLINETE	SIAP
2	CODIGO DE HELICE	Hélice No. 2 - Ensayo No. 212539

1marzo2014

### HOJA 3. Medición del caudal del río Piñán en el mes de abril

<b>PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS</b>		
<b>SECCION DE AFORO</b>		Número del Aforo:
1 Nombre del cauce	Microcuenca del río Piñán	
2 Nombre del sitio de aforo	Antes de captacion	
3 Institución/Responsable/Proyecto	UTN - JONATHAN-RNR	
4 Observaciones de la sección de aforo	0	
<b>DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMETRICOS</b>		
1 Caudal Medio en sección de Aforo (m3/s y en l/s)	4.55 m3/s	4,553.72 l/s
2 Area Mojada de la sección transversal (m2)	5.38	
3 Velocidad media (m/s)	0.85	
4 Perímetro Mojado de la sección transversal (m)	11.35	
5 Espejo de agua (m)	10.60	
6 Tirante máximo (m)	0.70	
7 Profundidad Hidráulica (m)	0.51	
8 Radio Hidráulico (m)	0.47	
9 Número de Froude	0.38	
10 Régimen de Flujo	Régimen Subcrítico	
<b>LOCALIZACION DE LA SECCION DE AFORO</b>		Imagen del sitio de aforo
1 Provincia/Cantón/Parroquia	IMBABURA/COTACACHI/	
2 Cuenca Hidrográfica	Río Mira	
3 Código Pfastetter	0	
4 COORDENADA X UTM (m) (Sitio Aforo)	786914.00	
5 COORDENADA Y UTM (m) (Sitio Aforo)	10053620.00	
6 Cota (m) (Sitio Aforo)	3014.00	
<b>REALIZACION DE AFORO</b>		
1 Fecha/Hora	sábado, 19 de abril de 2014	13H00
2 Responsable de Aforo	Jonathan Chicaiza	
3 Responsable de Cálculo	Jonathan Chicaiza	
<b>INSTRUMENTAL</b>		
1 MARCA/TIPO DE MOLINETE	SIAP	
2 CODIGO DE HELICE	Hélice No. 2 - Ensayo No. 212539	



1marzo2014

#### HOJA 4. Medición del caudal del río Pantaví en el mes de agosto.

### PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS

#### SECCION DE AFORO

Número del Aforo:

1 Nombre del cauce	Parte alta de la microcuenca del río Pantaví
2 Nombre del sitio de aforo	Antes de captacion
3 Institución/Responsable/Proyecto	UTN - JONATHAN-RNR
4 Observaciones de la sección de aforo	0

#### DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMETRICOS

1 Caudal Medio en sección de Aforo (m <sup>3</sup> /s y l/s)	0.08 m <sup>3</sup> /s	81.58 l/s
2 Area Mojada de la sección transversal (m <sup>2</sup> )	0.45	
3 Velocidad media (m/s)	0.18	
4 Perímetro Mojado de la sección transversal (m)	3.29	
5 Espejo de agua (m)	3.20	
6 Tirante máximo (m)	0.20	
7 Profundidad Hidráulica (m)	0.14	
8 Radio Hidráulico (m)	0.14	
9 Número de Froude	0.15	
10 Régimen de Flujo	Régimen Subcrítico	



Imagen del sitio de aforo

#### LOCALIZACION DE LA SECCION DE AFORO

1 Provincia/Cantón/Parroquia	IMBABURA/COTACACHI/
2 Cuenca Hidrográfica	Río Mira
3 Código Pfastetter	0
4 COORDENADA X UTM (m) (Sitio Aforo)	793460.00
5 COORDENADA Y UTM (m) (Sitio Aforo)	1004273.00
6 Cota (m) (Sitio Aforo)	3582.00

#### REALIZACION DE AFORO

1 Fecha/Hora	viernes, 22 de agosto de 2014	11H00
2 Responsable de Aforo	Jonathan Chicaiza	
3 Responsable de Cálculo	Jonathan Chicaiza	

#### INSTRUMENTAL

1 MARCA/TIPO DE MOLINETE	SIAP
2 CODIGO DE HELICE	Hélice No. 2 - Ensayo No. 212539

1 marzo 2014

**HOJA 5.** Medición del caudal del río Pantaví con aporte de afluentes en el mes de agosto.

## PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS

SECCION DE AFORO Número del Aforo:

1 Nombre del cauce	Microcuenca del Rio Pantaví con aporte de afluentes
2 Nombre del sitio de aforo	Antes de captacion
3 Institución/Responsable/Proyecto	UTN - JONATHAN-RNR
4 Observaciones de la sección de aforo	0

### DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMETRICOS

1 Caudal Medio en sección de Aforo (m <sup>3</sup> /s y en l/s)	0.22 m <sup>3</sup> /s	217.44 l/s
2 Area Mojada de la sección transversal (m <sup>2</sup> )	0.71	
3 Velocidad media (m/s)	0.31	
4 Perímetro Mojado de la sección transversal (m)	3.00	
5 Espejo de agua (m)	2.70	
6 Tirante máximo (m)	0.34	
7 Profundidad Hidráulica (m)	0.26	
8 Radio Hidráulico (m)	0.24	
9 Número de Froude	0.19	
10 Régimen de Flujo	Régimen Subcrítico	



Imagen del sitio de aforo

### LOCALIZACION DE LA SECCION DE AFORO

1 Provincia/Cantón/Parroquia	IMBABURA/COTACACHI/
2 Cuenca Hidrográfica	Río Mira
3 Código Pfastetter	0
4 COORDENADA X UTM (m) (Sitio Aforo)	792308.00
5 COORDENADA Y UTM (m) (Sitio Aforo)	10053918.00
6 Cota (m) (Sitio Aforo)	3569.00

### REALIZACION DE AFORO

1 Fecha/Hora	viernes, 22 de agosto de 2014	11H30
2 Responsable de Aforo	Jonathan Chicaiza	
3 Responsable de Cálculo	Jonathan Chicaiza	

### INSTRUMENTAL

1 MARCA/TIPO DE MOLINETE	SIAP
2 CODIGO DE HELICE	Hélice No. 2 - Ensayo No. 212539

1 marzo 2014

**HOJA 5.** Medición del caudal del río Piñán en el mes de agosto.

**PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS**

**SECCION DE AFORO**

Número del Aforo:

1	Nombre del cauce	Microcuenca del río Piñán
2	Nombre del sitio de aforo	Antes de captacion
3	Institución/Responsable/Proyecto	UTN - JONATHAN-RNR
4	Observaciones de la sección de aforo	0

**DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMETRICOS**

1	Caudal Medio en sección de Aforo (m3/s y en l/s)	3.13 m3/s	3,133.80 l/s
2	Area Mojada de la sección transversal (m2)	3.97	
3	Velocidad media (m/s)	0.79	
4	Perímetro Mojado de la sección transversal (m)	10.95	
5	Espejo de agua (m)	10.50	
6	Tirante máximo (m)	0.56	
7	Profundidad Hidráulica (m)	0.38	
8	Radio Hidráulico (m)	0.36	
9	Número de Froude	0.41	
10	Régimen de Flujo	Régimen Subcrítico	



Imagen del sitio de aforo

**LOCALIZACION DE LA SECCION DE AFORO**

1	Provincia/Cantón/Parroquia	IMBABURA/COTACACHI/
2	Cuenca Hidrográfica	Río Mira
3	Código Pfastetter	0
4	COORDENADA X UTM (m) (Sitio Aforo)	786914.00
5	COORDENADA Y UTM (m) (Sitio Aforo)	10053620.00
6	Cota (m) (Sitio Aforo)	3014.00

**REALIZACION DE AFORO**

1	Fecha/Hora	viernes, 22 de agosto de 2014	13H00
2	Responsable de Aforo	Jonathan Chicaiza	
3	Responsable de Cálculo	Jonathan Chicaiza	

**INSTRUMENTAL**

1	MARCA/TIPO DE MOLINETE	SIAP
2	CODIGO DE HELICE	Hélice No. 2 - Ensayo No. 212539

1marzo2014

## ANEXO 3

### FOTOGRAFÍAS

#### FASE DE CAMPO



**Fotografía 1.** Presencia de ganado vacuno en la RECC



**Fotografía 2.** Comunidad de Piñán



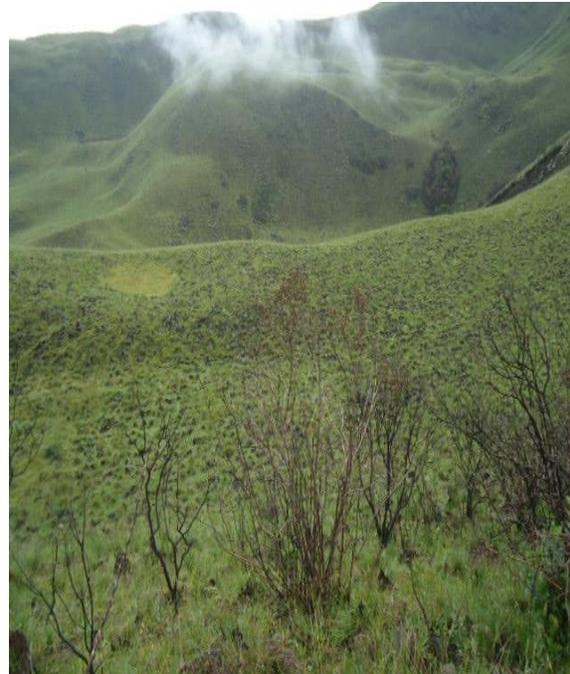
**Fotografía 3.** GPS GARMIN



**Fotografía 4.** Equipo de fiscalización UTN



**Fotografía 5.** Incendios del páramo en la RECC



**Fotografía 6.** Recuperación del páramo después del incendio



**Fotografía 7.** Laguna de Piñán



**Fotografía 8.** Río Piñán

## AFOROS ÉPOCA SECA



**Fotografía 9.** Aforos en el río Pantaví



**Fotografía 10.** Aforos en el río Pantaví con aporte de afluentes



**Fotografía 11.** Aforos en el río Piñán



**Fotografía 12.** Aforos en el río Piñán

## AFOROS ÉPOCA LLUVIOSA



**Fotografía 13.** Preparación del molinete electrónico



**Fotografía 14.** Aforos en el río Pantaví



**Fotografía 15.** Aforos en el río Pantaví con aporte de afluentes



**Fotografía 16.** Aforos en el río Piñán