



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS**  
**NATURALES RENOVABLES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**TÍTULO:**

**“ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PTE. VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACIÓN”.**

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AGRÍCOLA

**AUTOR:**

*Alex Darwin Cuenca Rosillo*

**DIRECTOR:**

*Ing. Anibal González González, Mg. Sc.*

*Loja - Ecuador*

*2015*

Ing. Aníbal González González, Mg. Sc.,

**DIRECTOR DE TESIS Y DOCENTE DEL ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.**

---

**CERTIFICACIÓN**

En calidad de Director de la tesis titulada **“ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PTE. VICÍN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACIÓN”**, de la autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería Agrícola: ALEX DARWIN CUENCA ROSILLO, certifico que ha sido dirigida, revisada y aprobada en su integridad, por lo que considero que es pertinente y adecuada, encontrándose dentro del cronograma establecido para su ejecución; autorizando su presentación al respectivo tribunal, para los fines pertinentes.

Loja, 24 de Febrero del 2015



---

Mg. Sc., Aníbal González González,  
DIRECTOR DE TESIS

## CERTIFICACIÓN TRIBUNAL

El Tribunal Calificador de la tesis Titulada “ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PTE. VICÍN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACIÓN” de la autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería Agrícola: ALEX DARWIN CUENCA ROSILLO, certifica que se han incorporado todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto se autoriza al señor egresado su publicación y difusión.

Loja, 24 de Febrero del 2015


Atentamente

Ing. Gonzalo Jaramillo, Mg. Sc.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



.....

Ing. Omar Ojeda, Mg. Sc.  
**VOCAL DEL TRIBUNAL**



.....

Ing. Marco Reinoso, Mg. Sc.  
**VOCAL DEL TRIBUNAL**



.....


## AUTORÍA

Yo, Alex Darwin Cuenca Rosillo, declaro ser autor del presente trabajo de tesis titulada **“ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PTE. VICÍN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACIÓN”** y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Los comentarios, criterios y resultados vertidos en la presente investigación, son responsabilidad exclusiva del autor; excepto los conceptos, citas textuales y referencias, obtenidas de la bibliografía consultada y citada durante el desarrollo de la tesis y en la bibliografía correspondiente.

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

Autor: Alex Darwin Cuenca Rosillo

Firma:   
Cédula: 1105045031  
Fecha: Loja, 25 de Febrero 2015

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

Yo Alex Darwin Cuenca Rosillo, declaro ser autor de la tesis titulada “ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PTE. VICÍN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACIÓN”, como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrícola, autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Digital Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 25 días del mes de febrero del dos mil quince, firma el autor:

Firma:.....

Autor: **Alex Darwin Cuenca Rosillo**

C.I. **1105045031**

Dirección: **Cdla. Pío Jaramillo Alvarado**

Email: alexdarwinroll@hotmail.com

Teléfono: 0982681846

Director de tesis: **Ing. Aníbal González González, Mg, Sc.**

Tribunal de Grado: **Ing. Gonzalo Jaramillo, Mg. Sc.**

**Ing. Omar Ojeda, Mg. Sc.**

**Ing. Marco Reinoso, Mg. Sc.**

## **AGRADECIMIENTOS**

La presente tesis fue realizada gracias al aporte valioso de muchas personas, hoy a través de esta página quiero dejar impresa mi eterna gratitud:

De manera muy especial al Ing. Aníbal González González, Mg, Sc, Director de la presente Investigación, por ofrecerme su confianza y la posibilidad de realizar este trabajo bajo su dirección, por su apoyo e infinita paciencia, y en especial por sus continuas dosis de optimismo.

Mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la Carrera de Ingeniería Agrícola, a toda la Planta Docente y Administrativa, por haberme brindado la formación moral, ética y profesional.

De igual manera, agradezco y reitero mi gratitud y lealtad a los Miembros del Tribunal Calificador de la tesis: Ing. Gonzalo Jaramillo, Omar Ojeda y Marco Reinoso

Al CINFA (Centro Integrado de Geomática Ambiental), en especial al Ing. Fabián Sotomayor y al Ing. José Merino por su colaboración en la elaboración de los mapas, comentarios y sugerencias para el presente estudio.

A todos mis amigos y compañeros de clase con quienes compartí muchas experiencias en mi vida estudiantil y por el apoyo desinteresado que me brindaron en el desarrollo del presente trabajo.

Finalmente, quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que de una u otra manera aportaron con sus conocimientos y sugerencias para el logro de este trabajo.

El Autor.

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo con mucho amor le dedico a Dios por darme la vida, a mis padres Hilda y Juan que están siempre a mi lado apoyándome y guiándome en cada paso que doy, que con su apoyo me motivan a superarme y conseguir mis objetivos., permitiéndome culminar mi carrera profesional.*

*Con mucho cariño a mi querida madre Lorena (+), que con su ejemplo de esfuerzo y superación siempre ha sido mi motor de mi constante esfuerzo para seguir adelante y pensar en grande, a mis tíos Rene, Lita, Eduardo, Lenin, Dunia, Maritza, Maribel, Fabricio y Ligia, gracias por sus continuos consejos que me ayudaron a culminar con éxito mis estudios universitarios. Y a mis primitos, en especial Andrea, Thalía y John que han sido como mis hermanos. A mis amigos/a por compartir tristezas y alegrías, porque han sido una parte fundamental en mi vida.*

**Alex Darwin Cuenca Rosillo**

## INDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN .....	ii
CERTIFICACIÓN TRIBUNAL .....	iii
AUTORÍA.....	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
INDICE GENERAL .....	viii
TITULO DE LA TESIS:.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo General .....	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
III. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1. Hidrología.....	4
3.2. El ciclo hidrológico .....	4
3.3. Distribución estática del agua sobre la tierra .....	6
3.4. Balance hidrológico.....	6
3.5. Acciones para el agua.....	8
3.6. Precipitación .....	9
3.6.1. Formación de las precipitaciones.....	9
3.7. Agua en el suelo .....	10
3.8. Pérdidas.....	11
3.8.1. Intercepción .....	11
3.8.2. Infiltración .....	12
3.8.3. Percolación.....	12
3.8.4. Evaporación.....	13
3.8.5. Evapotranspiración .....	13
3.9. Escurrimientos .....	13
3.10. Cuenca hidrográfica .....	15
3.10.1. Partes de una cuenca .....	16
3.10.2. Funciones de la cuenca .....	16
3.11. Curva de descarga .....	17



3.11.1.	Curva de duración o permanencia de caudales .....	18
3.11.2.	Curva de variación estacional .....	20
3.12.	Influencia de la cobertura vegetal y el suelo en la regulación hídrica.....	20
3.13.	Índice de retención y regulación hídrica, IRH .....	21
3.14.	Índice de Aridez, la.....	22
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
4.1.	Materiales .....	22
4.1.1.	Materiales de oficina y datos existentes.....	22
4.1.2.	Materiales de campo .....	23
4.2.	Metodología.....	23
4.2.1.	Ubicación del área de estudio.....	23
4.2.2.	Ubicación geográfica del área de estudio.....	26
4.2.3.	Características del área de estudio .....	26
4.2.3.1.	Hidrografía .....	26
4.2.3.2.	Clima.....	27
4.2.3.3.	Suelos .....	29
4.3.	Metodología para el primer objetivo .....	30
4.3.1.	Recolección de información hidrométrica .....	30
4.3.2.	Análisis de la estadística disponible .....	30
4.3.3.	Determinación de las curvas de Descarga .....	31
4.3.4.	Calculo de la curva de descarga .....	32
4.3.5.	Extrapolación de la curva de descarga.....	33
4.3.6.	Cálculo de la curva de duración general .....	34
4.3.7.	Cálculo de la curva de variación estacional .....	34
4.3.8.	Cálculo del volumen mensual escurrido (Ve).....	35
4.4.	Metodología para el segundo objetivo .....	36
4.4.1.	Cálculo de los parámetros morfométricos de la cuenca .....	36
4.4.1.1.	Parámetros de forma .....	36
4.4.1.2.	Parámetros relativos al relieve .....	38
4.4.1.3.	Parámetros relativos a la red de drenaje.....	41
4.4.2.	Métodos para el análisis de datos de precipitación .....	42
4.4.2.1.	Método para la estimación de datos faltantes .....	42
4.4.2.2.	Análisis de consistencia de datos.....	43
4.4.2.3.	Estimación de la precipitación media de la cuenca .....	44
4.4.2.4.	Estimación de los Escurrimientos Medios Superficiales .....	45
4.4.2.4.1.	Método Racional.....	45

4.4.2.4.2.	Método Del Número de Curva .....	47
4.5.	Metodología para el tercer objetivo .....	48
4.5.1.	Índice de retención y regulación hídrica, IRH .....	48
4.5.2.	Índice de Aridez (Ia) .....	49
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	51
4.1.	Disponibilidad de agua en cuencas con registro hidrológicos. ....	51
4.1.1.	Análisis de la estadística disponible .....	51
4.1.2.	Curva de descarga y caudales medios mensuales, en función de los niveles disponibles. ....	51
4.1.3.	Análisis de la duración.....	55
4.1.4.	Variación estacional de caudales .....	57
4.1.5.	Cálculo del volumen mensual escurrido (Ve).....	57
4.1.6.	Cálculo del escurrimiento en términos de lámina (mm) .....	61
4.2.	Disponibilidad de agua en cuencas sin registros hidrologicos.....	63
4.2.1.	Análisis Morfométrico.....	63
4.2.2.	Precipitación media de la cuenca .....	65
4.2.2.1.	Escurrimientos superficiales generados a través de métodos indirectos.....	71
4.2.2.1.1.	Método Racional .....	71
4.2.2.1.1.	Método Número de Curva .....	74
4.3.	Zonas de mayor aporte hídrico de la cuenca hasta la estación en Pte. Vicin, utilizando los SIG .....	77
4.3.1.	Índice de retención y regulación hídrica, IRH .....	77
4.3.2.	Índice de Aridez (Ia) .....	77
V.	CONCLUSIONES.....	83
VI.	RECOMENDACIONES .....	85
VII.	BIBLIOGRAFIA.....	87
VIII.	ANEXOS .....	89

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Orden de los caudales recomendado para la elaboración de la curva de variación estacional de la cuenca del río Catamayo.....	35
<b>Cuadro 2.</b> Matriz del cálculo del volumen mensual escurrido.....	36
<b>Cuadro 3.</b> Análisis de similaridad climática para realizar ADM. ....	43
<b>Cuadro 4.</b> Estaciones Hidrométricas utilizadas para el estudio.....	51
<b>Cuadro 6.</b> Volúmenes de escurrimiento reales de la estación hidrométrica Pte. Vicin .....	59
<b>Cuadro 7.</b> Escorrentía promedio anual de la cuenca del río Catamayo.....	61
<b>Cuadro 8.</b> Parámetros morfométricos de la cuenca del río Catamayo hasta la estación de estudio. ....	63
<b>Cuadro 9.</b> Precipitación mensual (mm) de la cuenca del río Catamayo .....	68
<b>Cuadro 10.</b> Volúmenes de escurrimiento estimados a través del Método Racional para la cuenca del Río Catamayo.....	72
<b>Cuadro 11.</b> Volúmenes de escurrimiento estimados a través del Método del Número de Curva para la cuenca del Río Catamayo.....	75
<b>Cuadro 12.</b> Índice de regulación y retención hídrica de la cuenca del río Catamayo.....	77
<b>Cuadro 13.</b> Índice de Aridez de la cuenca del río Catamayo .....	78
<b>Cuadro 14.</b> Volúmenes de escurrimiento promedio anuales por cuencas, en la parte alta de la cuenca del río Catamayo.....	78
<b>Cuadro 15.</b> Volúmenes de escurrimiento promedio anuales por cuencas, en la parte media de la cuenca del río Catamayo.....	79
<b>Cuadro 16.</b> Volúmenes de escurrimiento promedio anuales por cuencas, en la parte baja de la cuenca del río Catamayo.....	80
<b>Cuadro 17.</b> Estadística de aforos de la estación hidrométrica en Catamayo Pte. Vicin. ....	89
<b>Cuadro 18.</b> Números de curva de escorrentía para usos selectos del suelo .....	90
<b>Cuadro 19.</b> Estadística de caudales medios mensuales ( $m^3/s$ ) publicada por el INAMHI y rellena a partir de las estaciones existentes dentro de la cuenca y por las curvas de descarga, realizadas en este estudio para la estación hidrométrica Catamayo en Puente Vicin. ....	92
<b>Cuadro 20.</b> Estaciones Pluviométricas utilizadas para el estudio periodo (1990 – 2010). ....	93
<b>Cuadro 21.</b> Estaciones con registros de temperatura utilizadas para el estudio periodo (1990 – 2010). ....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de distribución estática del agua sobre la tierra .....	6
<b>Figura 2.</b> Ejemplo de un volumen de control en una cuenca hidrográfica donde se tiene como entrada la precipitación y salida el caudal $Q(t)$ .....	8
<b>Figura 3.</b> Representación esquemática del balance hidrológico en una cuenca .....	8
<b>Figura 4.</b> Representación del ciclo hidrológico y pérdidas de agua. ....	11
<b>Figura 5.</b> Curva de duración de caudales. ....	19
<b>Figura 6.</b> Curvas típicas de duración de caudales .....	20
<b>Figura 7.</b> Ubicación geográfica de la cuenca del Río Catamayo.....	24
<b>Figura 8.</b> Red hidrográfica de la cuenca del Río Catamayo.....	27
<b>Figura 9.</b> Clasificación climática de la cuenca del Río Catamayo. ....	28
<b>Figura 10.</b> Tipos de curvas hipsométricas .....	40
<b>Figura 11.</b> Ejemplo real del análisis de doble masa. ....	44
<b>Figura 12.</b> Modelamiento para escurrimientos medios – Método racional.....	46
<b>Figura 13.</b> Modelamiento para escurrimientos medios – Método del Número de Curva .....	48
<b>Figura 14.</b> Curva de descarga 1 .....	53
<b>Figura 15.</b> Curva de descarga 2 .....	54
<b>Figura 16.</b> Curva de duración general.....	56
<b>Figura 17.</b> Curvas de variación estacional en la estación hidrométrica Pte. Vicin.....	57
<b>Figura 18.</b> Hidrograma mensual de la cuenca del río Catamayo. ....	58
<b>Figura 19.</b> Altura media de la cuenca, a partir de la curva hipsométrica .....	64
<b>Figura 20.</b> Precipitación media de la cuenca del río Catamayo (mm/año).....	66
<b>Figura 22.</b> Distribución espacio – temporal de la precipitación mensual de la cuenca del río Catamayo. ....	67
<b>Figura 23.</b> Hidrograma y Hietograma de la cuenca del Río Catamayo Periodo 1990- 2010.....	70
<b>Figura 18.</b> Distribución espacio – temporal del índice de aridez mensual de la cuenca del río Catamayo. ....	97

## ÍNDICE DE MAPAS

<b>Mapa</b>	<b>1.</b>		<b>Mapa</b>
		base.....	24
<b>Mapa</b>	<b>2.</b>	Volúmenes de escorrentía.....	59
<b>Mapa</b>	<b>3.</b>	Láminas de escorrentía.....	61
<b>Mapa</b>	<b>4.</b>	Estimación de volúmenes por el Método Racional (1990 – 2010).....	71
<b>Mapa</b>	<b>5.</b>	Estimación de volúmenes por el Número de Curva (1990 – 2010).....	74
<b>Mapa</b>	<b>6.</b>	Índice de Retención y Regulación hídrica (IRH) (1990 – 2010).....	79
<b>Mapa</b>	<b>7.</b>	Índice de Aridez.....	80
<b>Mapa</b>	<b>8.</b>	Coefficientes de escorrentía.....	95
<b>Mapa</b>		Pendientes.....	<b>9.</b> 96
<b>Mapa</b>	<b>10.</b>	Grupos Hidrológicos.....	97
<b>Mapa</b>	<b>11.</b>	Cobertura Vegetal.....	98
<b>Mapa</b>	<b>12.</b>	Números de Curva.....	99
<b>Mapa</b>	<b>13.</b>	Precipitación Periodo (1990 – 2010).....	100
<b>Mapa</b>	<b>14.</b>	Temperatura Periodo (1990 – 2010).....	101
<b>Mapa</b>	<b>15.</b>	Evapotranspiración Método de Thornthwaite Periodo (1990 – 2010).....	102
<b>Mapa</b>	<b>16.</b>	Evapotranspiración Real Método de Turc Periodo (1990 – 2010).....	103

<b>Mapa</b>	<b>17.</b>	Clases	texturales	del
		suelo.....	104	
<b>Mapa</b>				<b>18.</b>
		Suelos.....	105	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Clases de forma de una cuenca.....	37
<b>Tabla 2.</b>	Calificación de los rangos de valores del IRH. ....	49
<b>Tabla 3.</b>	Calificación de los rangos de valores del IRH. ....	50
<b>Tabla 4.</b>	Parámetros para el cálculo del coeficiente de escurrimiento C. ....	94
<b>Tabla 5.</b>	Factor de corrección f, por duración media de las horas sol expresada en unidades de 30 días, con 12 horas de sol cada una.....	95

**TITULO DE LA TESIS:**

**“ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO  
CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PTE. VICIN, CON FINES DE  
APROVECHAMIENTO Y CONSERVACIÓN”.**

**RESUMEN**

La presente investigación se la realizó en la cuenca del río Catamayo, específicamente hasta la estación hidrométrica en puente Vicin, sitio que abarca 37,31 % de la superficie total de la provincia de Loja, siendo el principal objetivo contribuir a un mejor aprovechamiento y conservación del recurso hídrico de la cuenca, a través de la identificación de las áreas de mayor producción hídrica en el periodo 1990 - 2010, proponiendo: 1). Determinar la disponibilidad de agua en cuencas con registros hidrológicos, a través de la construcción de las curvas de descarga, a partir de los niveles registrados en las estaciones hidrométricas. 2). Estimar la disponibilidad de agua en cuencas sin registros hidrológicos, a través de métodos empíricos. 3). Identificar las zonas de mayor aporte hídrico de la cuenca hasta la estación en Pte. Vicin, utilizando como apoyo los SIG.

La información básica requerida para la realización de la investigación fue: estadística de datos meteorológicos de las estaciones más próximas a la zona de estudio, estadística de datos hidrométricos de estaciones dentro del sitio de estudio,

información cartográfica actualizada y un modelo digital de terreno (MDT) para el empleo de SIG (Sistema de Información Geográfica), permitiendo realizar el estudio morfométrico de dicha zona, y en lo posterior realizar interpretaciones sobre las cuencas y poder estimar las precipitaciones y escurrimientos producidas en ellas, que permitieron hacer una valoración de las zonas de mayor aporte de agua de la cuenca, con fines de aprovechamiento y conservación.

Los resultados obtenidos nos indican las buenas condiciones hidrológicas de la cuenca, a lo largo de todo el año cerca de 1757.41Km<sup>2</sup> (42.3%) de la superficie total de la cuenca del río Catamayo tiene una muy alta retención y regulación de humedad, obteniendo así una escorrentía promedio anual entre 1000 y 1250 mm, lo cual representa un volumen de escorrentía de 1134, 39 Mm<sup>3</sup>, los caudales generados por los métodos empíricos mantienen una correlación del 98%, mientras que con los caudales reales existe un 60%, métodos que relacionan variables como grupos hidrológicos de los suelos, pendientes, la cobertura vegetal, que se pueden utilizar para hacer aproximaciones de las condiciones hidrológicas y así mismo identificar las áreas de mayor producción hídrica de la cuenca.

## **ABSTRACT**

*This research was conducted in the River Basin Catamayo specifically to the hydrometric station in Vicin bridge site covering 37.31% of the total area of the province of Loja, with the main objective to contribute to a better use and conservation water resources of the basin, through the identification of areas of increased water production in the period 1990 - 2010, proposing: 1). Determine the availability of water in basins with hydrological records, through the construction of the discharge curves, from the levels recorded in the hydrometric stations. 2) Estimate water availability in basins without hydrological records, through empirical methods. 3). Identify areas of higher water intake from the basin to the station in Vicin bridge, using GIS support.*

*The basic information required for the conduct of the research was: statistical meteorological data from the closest places to the area of study, statistical data hydrometric stations within the study site stations, updated map data and a digital terrain model (DTM ) for the use of GIS (Geographical Information System) allowing to perform a morphometric study of*



*the area, and in subsequent make interpretations about the basins and to estimate rainfall and runoff produced in them, which allowed an appraisal of the areas of higher water supply watershed, for purposes of use and conservation.*

*The results indicate good hydrological condition of the basin, throughout the whole year near 1757.41Km<sup>2</sup> (42.3%) of the total area of the basin of the river Catamayo has a very high retention and humidity control, gaining an average annual runoff between 1000 and 1250 mm, representing a volume of water of 1134, 39 mm<sup>3</sup>, the flow generated by empirical methods maintain a 98% correlation, while the real flow there are 60%, methods relating variables as hydrologic soil groups, slopes, vegetation cover, which can be used to make approximations of hydrological conditions and likewise identify areas of increased water production of the basin.*

## **I. INTRODUCCIÓN**

El Ecuador cuenta con recursos hídricos suficientes para asegurar el abastecimiento de agua a su población, riego, agua para procesos industriales y otros usos consuntivos. Sin embargo, el deterioro de las fuentes de agua avanza aceleradamente siendo necesario organizar su explotación y conservación con gestión integral que garantice la disponibilidad del recurso para las futuras generaciones y el desarrollo.

Las cuencas hidrográficas del Ecuador, en su mayoría no tienen un manejo adecuado de conservación, por tal razón se encuentran en un gran porcentaje degradadas, lo que ocasiona que el ciclo hidrológico del agua se vea afectado, provocando poca retención de humedad, erosión e inundaciones en las épocas de lluvias y escasez de agua en los periodos de estiaje.

Dentro del territorio que comprende la provincia de Loja, se ubican algunas cuencas importantes, siendo una de ellas la cuenca del río Catamayo, que es de vital importancia para la producción agrícola y pecuaria de la provincia de Loja y el norte del Perú, sin embargo uno de los principales factores que afectan la disminución de las fuentes de agua es el uso del suelo para actividades agrícolas, la tecnología inapropiada en sus proyectos de captación y distribución del recurso, crecimiento poblacional, el uso desmedido del recurso hídrico, el aprovechamiento irracional y el inadecuado manejo de los bosques, pérdida de la cobertura forestal y el deterioro del medio ambiente en general. En cuanto a la conservación de los recursos naturales, es solamente la reforestación la que toma parte en pocas zonas aledañas a las fuentes de agua, lo cual se vuelve insuficiente para generar las condiciones necesarias para regular el ciclo hidrológico y con ello disponer de cantidad y calidad de agua superficial y subterránea.

A pesar que el río Catamayo, es el drenaje principal de la cuenca, sirve como el principal recurso aportador a varios sistemas de riego a lo largo de su paso, entre ellos: la Palmira, Campana-Malacatos, las Cochas-San Vicente, Limas-Conduriacu, en especial al sistema de riego Zapotillo, es necesario conocer los aportes de agua y disponibilidad a lo largo de su recorrido, que permita valorizar las zonas de mayor aporte, para atenuar la problemática de la escasez y la no regularidad del agua en la cuenca, contribuyendo a su conservación.

En tal virtud y analizando la problemática expuesta, se realizó el Estudio para analizar la disponibilidad de agua hasta la estación hidrométrica en Pte. Vicin, que permitió hacer una valoración de las zonas de mayores aportes de agua de la cuenca, con la finalidad de que se dé un aprovechamiento y conservación correctos, a partir de la información disponible de cada una de las cuencas que forman parte del Río Catamayo, por métodos directos y empíricos.

Esta investigación permitió generar y comprobar información concerniente al comportamiento hidrológico de la cuenca y a su vez proporcionar datos que, si bien es cierto se los deberá tomar como estimaciones, podrán ser utilizados como referencias para generar comparaciones con nuevas investigaciones, que para el futuro se espera cuenten con estadísticas propias de la zona y datos puntuales de aforos realizados en cada afluente, a tal punto que permitan ratificar o no la veracidad de los resultados que se obtendrán

En base a todos los elementos, se considera que este estudio permitirá generar varios aportes de relevante importancia, no solo para la Universidad Nacional de Loja enfocándose en el área del manejo y conservación de los recursos hídricos como tal; sino en la estimación, cuantificación, aprovechamiento y conservación del recurso hídrico de la cuenca; mediante el análisis de información hidrometeorológica existente y a través de los modelos empíricos, permitirá conocer las zonas de mayor aporte hídrico de la cuenca, que servirá para la ejecución de programas y formulación de planes de conservación del recurso hídrico por muchas instituciones involucradas como lo es RIDRENSUR, MAE, SENAGUA, MAGAP, INAMHI, etc

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

- Contribuir a un mejor aprovechamiento y conservación del recurso hídrico de la cuenca del río Catamayo a través de la identificación de las áreas de mayor producción hídrica.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la disponibilidad de agua en cuencas con registros hidrológicos, a través de la construcción de las curvas de descarga, a partir de los niveles registrados en las estaciones hidrométricas.
- Estimar la disponibilidad de agua en cuencas sin registros hidrológicos, a través de métodos empíricos.
- Identificar las zonas de mayor aporte hídrico de la cuenca hasta la estación en Pte. Vicin, utilizando los SIG.

### **III. MARCO TEÓRICO**

El fundamento teórico que se tomó en cuenta para el desarrollo de esta investigación se detalla a continuación.

#### **3.1. Hidrología**

La definición propuesta por el U.S. Federal Council for Science and Technology (1962), siendo su definición la siguiente:

“Hidrología es la ciencia que trata de las aguas de la tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas y su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos. El dominio de la hidrología abarca la historia completa de la existencia del agua sobre la tierra”.

El desarrollo de la tecnología digital ha permitido a la hidrología alcanzar altos niveles de confiabilidad y consecuentemente, convertirse en un elemento clave en múltiples estudios y proyectos relacionados con el uso, manejo y control del agua.

#### **3.2. El ciclo hidrológico**

El ciclo hidrológico se define como la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida (Fatorelli, 2011).

La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se debe a la evaporación directa, a la transpiración por las plantas y animales y por sublimación (paso directo del agua sólida a vapor de agua). La cantidad de agua movida, dentro del ciclo hidrológico, por el fenómeno de sublimación es insignificante en relación a las cantidades movidas por evaporación y por transpiración, cuyo proceso conjunto se denomina evapotranspiración. El vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica y se condensa luego de haber recorrido distancias que pueden sobrepasar 1000 km. El agua condensada da lugar a la formación de nieblas y nubes y, posteriormente, a precipitación.

Los principales procesos implicados en el ciclo del Agua son:

#### **a) Evaporación.**

El agua se evapora en la superficie oceánica, sobre el terreno y también por los organismos, en el fenómeno de la transpiración. Dado que no podemos distinguir claramente entre la cantidad de agua que se evapora y la cantidad que es transpirada por los organismos, se suele utilizar el término evapotranspiración. Los seres vivos, especialmente las plantas, contribuyen con un 10% al agua que se incorpora a la atmósfera.

#### **b) Precipitación.**

La atmósfera pierde agua por condensación (lluvia y rocío) o sublimación inversa (nieve y escarcha) que pasan según el caso al terreno, a la superficie del mar o a la banquisa. En el caso de la lluvia, la nieve y el granizo (cuando las gotas de agua de la lluvia se congelan en el aire) la gravedad determina la caída; mientras que en el rocío y la escarcha el cambio de estado se produce directamente sobre las superficies que cubren.

#### **c) Infiltración.**

Ocurre cuando el agua que alcanza el suelo penetra a través de sus poros y pasa a ser subterránea. La proporción de agua que se infiltra y la que circula en superficie (escorrentía) depende de la permeabilidad del sustrato, de la pendiente (que la estorba) y de la cobertura vegetal. Parte del agua infiltrada vuelve a la atmósfera por evaporación o, más aún, por la transpiración de las plantas, que la extraen con raíces más o menos extensas y profundas. Otra parte se incorpora a los acuíferos, niveles que contienen agua estancada o circulante. Parte del agua subterránea alcanza la superficie allí donde los acuíferos, por las circunstancias topográficas, interceptan la superficie del terreno.

#### **d) Escorrentía.**

Este término se refiere a los diversos medios por los que el agua líquida se desliza cuesta abajo por la superficie del terreno. En los climas no

excepcionalmente secos, incluidos la mayoría de los llamados desérticos, la escorrentía es el principal agente geológico de erosión y transporte.

#### e) Circulación subterránea.

Se produce a favor de la gravedad, como la escorrentía superficial, de la que se puede considerar una versión (Wikipedia, 2013).

### 3.3. Distribución estática del agua sobre la tierra

El 97% del agua del planeta se encuentra en los océanos, mientras que el restante porcentaje se reparte entre: lagos y ríos (0.02%), capas y humedad del suelo (0.58%), nieves y glaciares (2.0%) y la atmósfera (0.001%). Sólo un 2.5% del total de agua es dulce y sirve para consumo humano: un 0.76% de aguas subterránea; un 1,7 % de hielo polar; un 2.01 % de hielo no polar (glaciares) y nieve; un 0.02 de lagos dulces y ríos, un 0,001% de aguas atmosféricas; un 0,0068% de otros (Fatorelli, 2011).

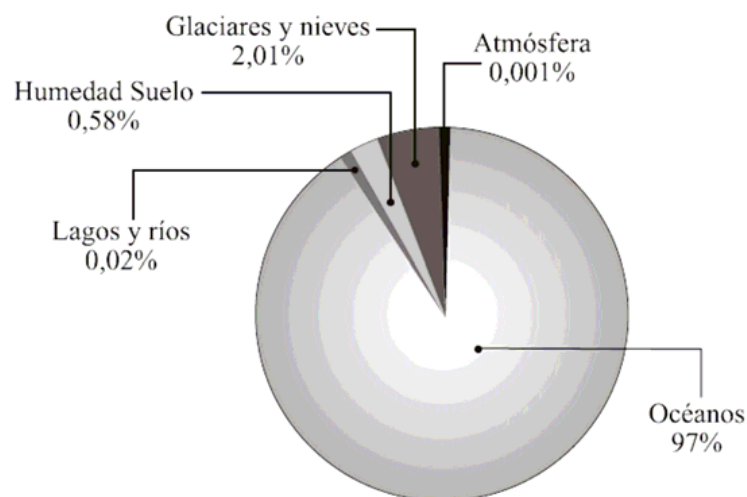


Figura 1. Esquema de distribución estática del agua sobre la tierra

### 3.4. Balance hidrológico

El Balance Hidrológico relaciona las variables que intervienen en el ciclo hidrológico: precipitación, evapotranspiración, escurrimiento superficial, almacenamiento superficial y subterráneo y flujo de agua subterránea. Se aplica cuando se realiza una distribución de los recursos hidráulicos a nivel global, o en cuencas particulares. Es imprescindible en los estudios de regulación de embalses y en los proyectos de suministro de agua para acueducto, riego y generación hidroeléctrica.

El establecimiento de un balance supone la medición de flujos de agua (caudales) y almacenamientos de la misma (niveles). Se pueden establecer balances de forma general, incluyendo aguas superficiales y subterráneas y parciales de sólo aguas superficiales, de un acuífero, del agua del suelo, etc. En cualquier caso, a la hora de establecer el balance se examinan las entradas y las salidas en el sistema analizado (Figura 2), es decir, se aplica la Ecuación de Continuidad sobre un volumen de control delimitado por una superficie de referencia a través de la cual el agua se mueve desde la parte interna a la externa y viceversa, siendo un sistema abierto a flujos de masa, cantidad de movimiento y de energía. Así, el balance se reduce a la cantidad de agua que queda almacenada:

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = \text{Variación del almacenamiento}$$

Basándose en lo anterior y considerando el volumen de control mostrado en la Figura 1, la ecuación general del Balance Hidrológico en una cuenca determinada tiene la siguiente forma:

$$P - Q - G = ET + \Delta S$$

$$\Delta S = P - Q - G - ET$$

Dónde: P es la precipitación en el período seleccionado.

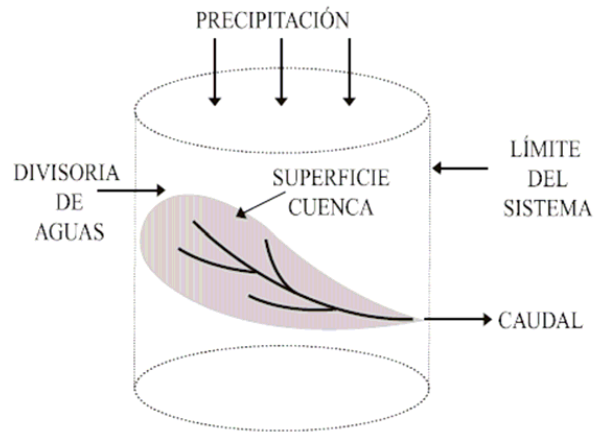
Q es el caudal superficial que sale de la cuenca que se analiza.

G constituye el flujo neto de aguas subterráneas desde la cuenca hacia el exterior.

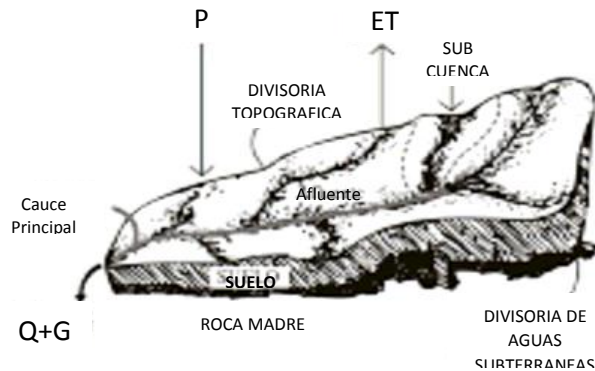
ET representa la evapotranspiración real en la cuenca.

$\Delta S$  es el cambio en almacenamiento superficial (en los cuerpos hídricos superficiales o en el manto nieve) y subterráneo (la fracción de agua en la zona no saturada del suelo y el acuífero). Incluye almacenamiento en cauces, embalses, suelo y acuíferos. (Fatorelli, 2011)





**Figura 2.** Ejemplo de un volumen de control en una cuenca hidrográfica donde se tiene como entrada la precipitación y salida el caudal  $Q(t)$



**Figura 3.** Representación esquemática del balance hidrológico en una cuenca

### 3.5. Acciones para el agua

La disponibilidad actual de los recursos hídricos respecto a la población mundial es la siguiente: Asia tiene el 60% de la población y sólo el 36% del recurso hídrico; Europa posee el 13% de población y el 8% del recurso hídrico; en África vive el 13% de la humanidad y tan sólo se dispone del 11% del agua; en cambio, en América del Norte y Central reside el 8% de la población y ésta disfruta del 15% del recurso hídrico; y, finalmente, América del Sur tiene únicamente el 6% de la población del mundo, pero disfruta del 26% del recurso hídrico.

Como puede apreciarse, el agua efectivamente es y seguirá siendo una fuente de poder, así como un elemento susceptible de generar conflictos entre países, departamentos, provincias, ciudades, e incluso barrios de la misma población. Es evidente que, gracias al desarrollo del conocimiento en el área de las ciencias del

agua, se sabe con mayor claridad qué continentes están más expuestos a posibles conflictos en función de su elevada población y su disponibilidad del recurso hídrico.

Por otro lado, la demanda promedio de agua durante los años ochenta fue del orden de los 2800 km<sup>3</sup> anuales; sin embargo, el suministro anual fue de aproximadamente de 42000 km<sup>3</sup> (Fernández Jáuregui, 1999). A partir de estos datos, se observa que, en términos de cantidad, la oferta supera a la demanda y, por tanto, podría preverse que en un futuro no habrían de producirse problemas. Ahora bien, en términos de continentes, ésta situación no se da. En términos globales, se puede afirmar que el uso del recurso hídrico está distribuido en un 75% para la agricultura, un 22% para industria y minería, y solo un 4% para el consumo doméstico en las ciudades. (Fatorelli, 2011)

### **3.6. Precipitación**

Las nubes son arrastradas por los vientos, algunas permanecen sobre los océanos y, otras, son trasladadas hacia los continentes. En estos movimientos pueden enfriarse, por medio de los cuales las gotas que forman las nubes se pueden agrandar, ya sea porque se juntan entre ellas o porque se aglomeran alrededor de partículas que flotan en la atmósfera. Al agrandarse, las gotas de agua caen por su propio peso hacia la superficie de la Tierra, provocando las precipitaciones.

Las precipitaciones que se producen con temperaturas sobre 0°C, caen en forma de lluvia. Las gotas de lluvia se congelan si la temperatura es bajo 0°C y la precipitación es en forma de nieve o de granizo, estado sólido del agua.

#### **3.6.1. Formación de las precipitaciones**

Para que la humedad presente en la atmósfera, se transforme en precipitación, se requieren tres condiciones: producirse un estado de saturación (generalmente por enfriamiento), un cambio de fase del vapor de agua a líquido o sólido, y un crecimiento de las pequeñas gotas o cristales de hielo que permitan su caída.

Como resultado de las dos primeras condiciones se forman las nubes, pero no necesariamente la precipitación, para que se formen gotas, de suficiente tamaño y peso deben existir núcleos de condensación, constituidos por polvo atmosférico o cristales de sales. En los procesos que inducen lluvias

artificialmente, se siembran nubes (mediante cohetes ó aviones) con cristales microscópicos de sales como el Yoduro de plata.

El enfriamiento se produce por efecto de ascenso de una masa de aire, el cual define los tipos de precipitaciones. Existen tres tipos de precipitaciones:

**a) Ciclónica**

Resulta del ascenso de la masa de aire cálido como consecuencia de la colisión de aire cálido y liviano con aire frío y más pesado. Este proceso está asociado a zonas de baja presión atmosférica, las cuales se convierten en centros de atracción de vientos.

**b) Orográfica**

Resulta del avance de aire húmedo (generalmente desde el mar) que es obligado a ascender por efecto de una cadena montañosa. La mayor parte de la precipitación se produce a barlovento de la cadena.

En general, y salvo condiciones afectadas por fenómenos locales, las vertientes de barlovento de zonas montañas tienen mayor nubosidad y lluvia y rangos de temperaturas menores. Las regiones de sotavento por el contrario, tienen climas más áridos y mayores rangos de temperaturas.

**c) Convectiva**

El ascenso es causado por la elevación de aire cálido y húmedo, como resultado de una inestabilidad vertical en un centro de baja presión. Es decir, es un movimiento ascendente de una masa de aire sobrecalentado.

### **3.7. Agua en el suelo**

Desde el punto de vista de la hidrología de superficie y del diseño hidrológico, el agua en el suelo es importante tanto por su almacenamiento en perfiles que inciden en la formación del flujo base (flujo subsuperficial y profundo), como por el campo de velocidades generadas por su movimiento en medio poroso (el suelo) en condiciones saturadas o no saturadas.

La habilidad del suelo para retener agua en períodos entre lluvias o con las aguas provenientes de la fusión nival, es de gran importancia en relación a la vegetación, tanto natural como cultivada, y con la presencia de aguas subterráneas. Esta habilidad se debe a la naturaleza porosa del suelo, el cual está formado por pequeñas partículas de material sólido y poros ocupados por aire o agua. En términos generales, se puede decir que partículas cristalinas menores de 2 micrones de diámetro son arcillas, desde 2 a 50 micrones son limos y aquellas mayores de 50 micrones arenas. (Fatorelli, 2011)

### 3.8. Pérdidas

La precipitación está sometida a una serie de pérdidas, antes de que fluya como escorrentía superficial hacia un río o arroyo.



**Figura 4.** Representación del ciclo hidrológico y pérdidas de agua.

Las pérdidas se consideran como la diferencia entre la lluvia total caída (medida) y la lámina correspondiente a la escorrentía directa o superficial. La precipitación se puede perder por: interceptación por la vegetación, retención por depresiones topográficas, infiltración en el suelo, evaporación y evapotranspiración.

#### 3.8.1. Interceptación

Una determinada cantidad de precipitación que no entra al proceso de escorrentía, es retenida por la vegetación y evaporada por esta, en el intercambio de gases que naturalmente se efectúa.

Igualmente, en los primeros momentos de la lluvia, parte de esta, llena las cavidades del suelo, siendo retenida en ellos y perdiéndose luego por evaporación e infiltración. Estas dos intercepciones (vegetación y suelo) tienen valor al principio de la lluvia. Si la lluvia es breve, estas pérdidas pueden tener tanto significado que no llega a producirse escorrentía. A medida que la lluvia es de mayor duración e intensidad, las pérdidas van perdiendo valor relativo y en general se consideran insignificantes y se denominan pérdidas iniciales. La densidad de la cobertura vegetal es un factor importante en el aumento de los valores de intercepción.

### **3.8.2. Infiltración**

La infiltración se refiere al ingreso del agua al suelo desde la superficie. Es un proceso directamente relacionado con las condiciones y características de la superficie del suelo, particularmente la tensión no capilar del suelo. Existe una relación muy importante entre la intensidad de la lluvia y la capacidad de infiltración del suelo. Durante períodos secos, la porosidad del suelo está libre de humedad y entonces aumenta su capacidad de infiltración.

La humedad en el suelo produce que tanto suelo como vegetación se hinchen, cerrando los poros y el paso del agua (condición de saturación). Consecuentemente, durante una lluvia la tasa potencial de infiltración comienza con valores altos y decrece a medida que transcurre el tiempo, produciéndose, en algún momento una tasa pequeña, que es fácilmente superada por la intensidad de la lluvia y comienza el encharcamiento de la superficie del suelo. Esto lógicamente estará siempre ligado a la relación entre la capacidad de infiltración y la intensidad de la precipitación (Chow, 1994).

### **3.8.3. Percolación**

Se conoce como el agua que drena a los estratos inferiores del suelo. El agua que se infiltra en primera instancia satura los estratos superiores del perfil del suelo y luego drena hacia los estratos inferiores contribuyendo a la recarga de acuíferos y a la formación del flujo base, subsuperficial y profundo

#### **3.8.4. Evaporación**

La evaporación es el proceso mediante el cual el agua presente en el globo terráqueo (océanos, ríos, lagos, suelos, vegetación, etc.) cambia de fase líquida a vapor y regresa a la atmósfera. En relación al ciclo hidrológico el 70% de la precipitación retorna a la atmósfera por evaporación y evapotranspiración.

La tasa de evaporación depende de factores meteorológicos y de las características de la superficie. A su vez, se ve influenciada en parte por el contenido de humedad en la masa de aire que circunda a la superficie de evaporación. A medida que el agua se evapora el aire adquiere humedad disminuyendo su capacidad de recibir más de ésta. Si el área está afectada por vientos, las masas de aire con humedad son desplazadas por masas más secas, aumentando el grado de evaporación.

#### **3.8.5. Evapotranspiración**

La evapotranspiración se refiere a la parte del ciclo hidrológico que combina el proceso de la evaporación directa del suelo y la transpiración de los vegetales. Estudios detallados de la evapotranspiración han demostrado diferencias significativas entre las mediciones de la evaporación en tanques y el uso de la humedad edáfica por las plantas.

El concepto de evapotranspiración es muy importante en agricultura. En la modelación continua, en cambio, este proceso adquiere una especial importancia, ya que la evapotranspiración es el proceso dominante en la extracción del agua del perfil del suelo en períodos secos (sin precipitaciones). La estimación incorrecta de la evapotranspiración constituye una de las principales fuentes de error en análisis hidrológicos continuos.

### **3.9. Escurrimientos**

Cantidad de agua de una lluvia y/o tormenta, que drena o escurre sobre la superficie del suelo. Cuando ocurren lluvias más intensas o frecuentes, el agua llega hasta la superficie, produciéndose por un lado, la infiltración y por otro lado, la saturación del suelo y la escorrentía. (Monsalve. 1999).

En general, el escurrimiento en una sección transversal de un cauce está formado por el flujo sobre el terreno de la cuenca o área de drenaje hasta tal punto y la descarga del agua subterránea de sus acuíferos.

La escorrentía superficial está formada en un primer momento por el flujo en forma de lámina sobre la superficie del suelo (“overland flow”). Si la cuenca receptora tiene pendiente este flujo fluye por gravedad hacia cursos de agua o canales de drenaje en principio pequeños (cauces de orden 1), los cuales se van agrupando en cauces de orden superior formando luego los tributarios principales de los grandes ríos.

Cuando la cuenca carece de pendiente, como es el caso de buena parte de las llanuras (pocos centímetros por kilómetro), no existe un sistema de drenaje jerarquizado pues predomina el escurrimiento en forma laminar. En estas circunstancias son predominantes los movimientos verticales (infiltración – percolación – movimiento del flujo subterráneo y evapotranspiración) limitados por la presencia de lagunas naturales u obras de infraestructura como terraplenes, canales y colectores.

En cuencas con pendiente y sistemas de drenaje definidos, la escorrentía superficial, forma el caudal total que fluye a la salida de la cuenca. Este caudal total se divide, por razones prácticas, en dos: escorrentía directa y flujo base. La primera es aquella parte de la escorrentía que llega rápidamente al sistema de canales de drenaje después de una lluvia, formando la creciente; mientras que la segunda es aquella componente proveniente del afloramiento de aguas subterráneas y el flujo subsuperficial.

### **3.9.1. Factores climáticos y fisiográficos que afectan el escurrimiento**

El principal efecto climático es la intensidad y la duración de la precipitación. La intensidad resulta fundamental porque se relaciona con la tasa de infiltración del suelo. Si la intensidad de la lluvia es mayor a la tasa de infiltración, todo el excedente de la lluvia es escorrentía superficial. (RASCÓN, 1972).

La intensidad (lámina/tiempo) se relaciona con la duración de la precipitación, así una lluvia de intensidad de 40 mm probablemente no produzca escorrentía en 24 horas pero en una hora seguramente producirá una creciente importante.

En cuencas de llanura y climas húmedos, o incluso en cuencas montañosas de climas húmedos, adquiere singular importancia la lámina total que precipita en lluvias de larga duración. En esas condiciones el perfil del suelo se satura y lluvias posteriores producen fuertes crecientes. El monitoreo de la lluvia total caída y el conocimiento de las condiciones edáficas del perfil, son en estos casos elementos de gran importancia en el pronóstico y prevención de crecientes e inundaciones.

En relación a los efectos fisiográficos, se pueden enumerar algunos:

- Relativos a la cuenca: tamaño, forma, pendiente.
- Densidad y forma de la red de drenaje.
- Altitud: presencia de lagos y depresiones, uso del suelo, cobertura vegetal (tipo y densidad de vegetación), tipo de suelo (capacidad de infiltración, permeabilidad, presencia de capas freáticas).
- Parámetros geomorfológicos.

### **3.10. Cuenca hidrográfica**

Es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar (Jiménez, F. 2005.).

Las Cuencas Hidrográficas son los espacios geográficos, cuyos límites inician en las partes altas de las montañas - conocidos como "parteaguas" y terminan en donde el agua de las precipitaciones que corren por un río principal llega al mar, lagos o embalses artificiales.

La cuenca hidrográfica es un sistema que presenta como principal entrada la lluvia, y como salidas el caudal, la evapotranspiración, el flujo subsuperficial y la percolación. Las tres últimas son salidas que tienen poco valor en el marco de una creciente súbita, pero son importantes en relación al flujo base y en la consideración de modelos de simulación continua, así como en la condición antecedente del suelo en lluvias prolongadas, especialmente de regiones húmedas.

La divisoria es la línea topográfica que separa superficialmente dos cuencas hidrográficas o sistemas de drenaje independiente en dirección y sentido,



cuyas salidas no necesariamente coinciden en un río común determinado. (Fatorelli, S., Fernández P. 2011)

### **3.10.1. Partes de una cuenca**

Todas las cuencas hidrográficas tienen tres áreas o zonas donde el impacto del agua es distinto, aunque se mantiene una estrecha interacción e interconexión entre ellas:

#### **a) Cuenca alta**

Conocida como cabecera de la cuenca hidrográfica; en esta región se da la mayor captación del agua de lluvias y ayuda con la regulación y suministro de agua durante el resto del año a las otras partes de la cuenca. Todas las acciones que se hagan en esta parte de la cuenca, ya sean buenas o malas, tendrán sus repercusiones en el resto de la cuenca.

#### **b) Cuenca media**

En esta zona se dan mayormente actividades productivas y es la región en donde se ejerce mayor presión hacia la parte alta de la cuenca. Esta región es como una zona de amortiguamiento entre las acciones de la parte alta de la cuenca y los efectos que se evidencian en la parte baja de la cuenca.

#### **c) Cuenca baja**

Parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección. En esta zona se evidencian los impactos positivos o negativos de las acciones que se hacen en la parte alta de la cuenca.

### **3.10.2. Funciones de la cuenca**

Los procesos de los ecosistemas que describen el intercambio de materia y flujo de energía a través de la vinculación de los elementos estructurales del ecosistema pueden ser vistos como un sistema: Dentro de la cuenca, se tienen los

componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos, cuyas funciones se describen a continuación:

**a) La función hidrológica**

Cuando captan el agua de las lluvias la almacenan y la distribuyen a través de los manantiales y los ríos durante distintos momentos a lo largo del tiempo.

**b) La función ecológica**

Provee diversidad de espacios para completar las fases del ciclo hidrológico, además es un lugar para la flora y fauna que conviven con el agua.

**c) La función ambiental**

Ayudan en la captura de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), regula la distribución del agua de lluvia durante el invierno, evitando con ello las inundaciones en la parte baja de la cuenca y contribuye a conservar la biodiversidad, la cuenca es un espacio ideal para la implementación de la gestión ambiental.

**d) La función socioeconómica**

Cuando suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas de las poblaciones que habitan la cuenca.

### **3.11. Curva de descarga**

La curva de descarga, de gasto o llamada también de calibración de caudales, es una curva que relaciona los niveles agua con los caudales registrados en los aforos, esta, nos permite conocer el caudal a partir de una altura o lo que es lo mismo, basta con determinar la variación de la altura de agua para obtener la variación de los caudales, en función del tiempo.

Esta curva es producto de una serie de aforos que se realizan por un largo periodo de tiempo, creando una relación de caudal y nivel en un tramo determinado de un cauce, el objetivo de que los aforos sean por un largo periodo de tiempo es que se ajusten a la realidad, teniendo niveles mínimos y máximos dentro de las mediciones, para que de esta forma la curva de descarga, se ajuste mejor a l comportamiento del

cauce, promedio de esta curva se obtienen los hidrógramas o gráficas de variaciones del caudal contra el tiempo en una sección determinada.

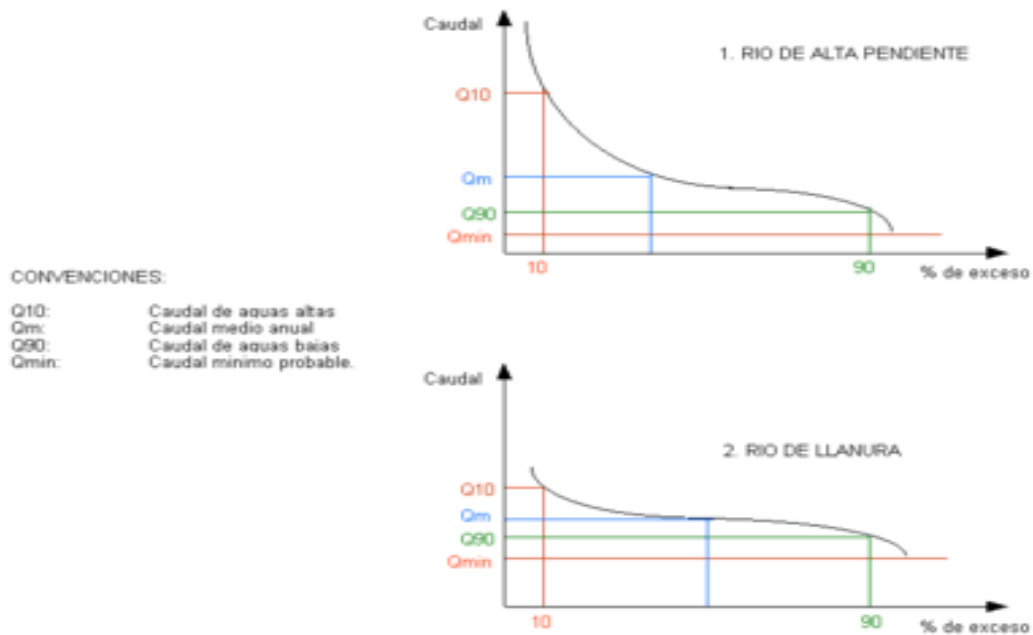
El trazado de la curva de descarga permite deducir la relación continua H-Q para el rango de caudales o alturas aforadas cuando el río tiene escurrimientos en régimen establecido, que por lo general resultan valores medios o bajos. La extrapolación de la curva de descarga significa establecer la relación en un rango de caudales que nunca han sido aforados (Q de crecientes) y que tienen posibilidad física de ocurrir sobre la estación hidrométrica analizada.

### **3.11.1. Curva de duración o permanencia de caudales**

La curva de duración resulta del análisis de frecuencias de la serie histórica de caudales medios diarios en el sitio de captación de un proyecto de suministro de agua. Se estima que si la serie histórica es suficientemente buena, la curva de duración es representativa del régimen de caudales medios de la corriente y por lo tanto puede utilizarse para pronosticar el comportamiento del régimen futuro de caudales, o sea el régimen que se presentará durante la vida útil de la captación.

Como se observa en la Figura 5 la escala vertical de la curva de duración representa caudales medios (diarios, mensuales o anuales) y la escala horizontal las probabilidades de que dichos caudales puedan ser igualados o excedidos.

Las curvas de duración tienen formas típicas que dependen de las características de las cuencas vertientes. En cuencas de montaña, por ejemplo, la pendiente pronunciada en el tramo inicial de la curva indica que los caudales altos se presentan durante períodos cortos, mientras que en los ríos de llanura no existen diferencias muy notables en las pendientes de los diferentes tramos de la curva. Este hecho es útil para ajustar la forma de la curva de duración según las características de la cuenca cuando la serie de caudales medios es deficiente, o para transponer una curva de duración de una cuenca bien instrumentada de la misma región a la cuenca que tiene información escasa.



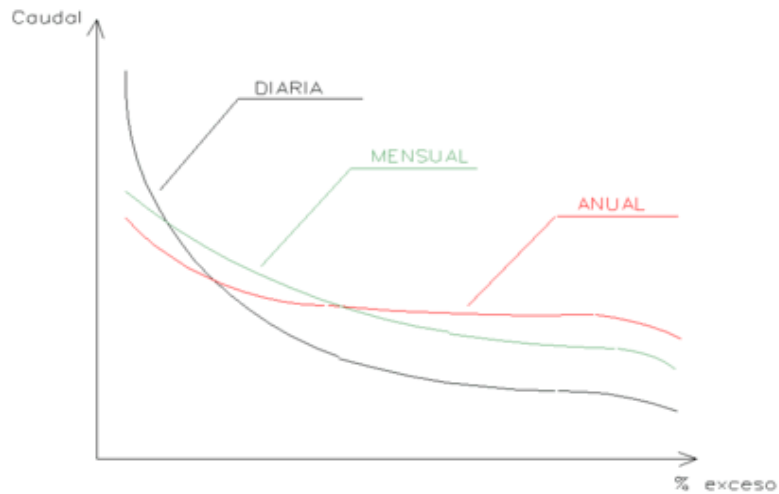
**Figura 5.** Curva de duración de caudales.

El caudal mínimo probable de la curva es el caudal que la corriente puede suministrar durante todo el año con una probabilidad de excedencia próxima al 100 %. Si este caudal es mayor que la demanda del proyecto, entonces la fuente tiene capacidad para abastecer la demanda sin necesidad de almacenamiento.

En los estudios que se realizan en cuencas pequeñas las variaciones diarias del caudal son importantes. Por esta razón los análisis se hacen con base en la curva de duración de caudales diarios. Cuando la información hidrológica es escasa la serie histórica de los caudales medios diarios no existe, o si existe no es suficientemente confiable. En tal caso la curva de duración de caudales diarios no puede determinarse por métodos matemáticos, pero pueden hacerse estimativos utilizando relaciones empíricas entre lluvias y caudales. Estos estimativos pueden ocasionar sobre diseño de las obras.

La experiencia ha demostrado que las regresiones lluvia - caudal son aceptables para valores anuales, pero resultan deficientes cuando se utilizan con valores mensuales o diarios. Por esta razón, lo recomendable es generar una serie de caudales medios anuales a partir de las lluvias anuales y luego, a partir de los caudales anuales estimar la serie de caudales medios mensuales; en este caso no se pueden estimar los caudales diarios. Sin embargo, se pueden dibujar las curvas de duración de los caudales medios anuales y medios mensuales y con base en ellas

deducir aproximadamente una curva estimada de caudales medios diarios, como se observa en la Figura 6.



**Figura 6.** Curvas típicas de duración de caudales

La curva de duración es muy útil para determinar si una fuente es suficiente para suministrar la demanda o si hay necesidad de construir embalses de almacenamiento para suplir las deficiencias en el suministro normal de agua durante los períodos secos.

### 3.11.2. Curva de variación estacional

El análisis y la interpretación de las curvas de variación estacional requieren de un conocimiento estacional del caudal o de otro atributo hidrometeorológico del río en estudio.

Estas curvas proporcionan una información de la distribución de los valores mensuales de los caudales en el año hidrológico de una cuenca, respecto al tiempo, es decir que determinan el régimen climatológico de una zona o el régimen hidrológico de un río.

### 3.12. Influencia de la cobertura vegetal y el suelo en la regulación hídrica.

La gestión inapropiada de la tierra puede afectar seriamente a la disponibilidad y al suministro del agua modificando el ciclo del agua en las zonas secas. La disminución de biomasa y de hojarasca en la superficie reduce drásticamente la infiltración de agua en el suelo, lo cual se traduce en una importante escorrentía. El suelo desnudo también incentiva la pérdida por evaporación en la capa superficial. El resultado es la pérdida de la humedad del suelo y la reducción de los niveles de recuperación de las aguas subterráneas.

La biomasa es un término genérico que hace referencia a la cantidad de materia viva producida por plantas, animales y la microbiota del suelo. Es un recurso potencialmente renovable que influye en múltiples funciones y aspectos de la dinámica del suelo, tales como su biodiversidad, fertilidad, secuestro de carbono, regulación de los flujos de agua de la superficie y la mejora de su calidad. Aspectos como la expansión de la frontera agrícola, intensificación de la agricultura, la quema, sobreexplotación y degradación de la cobertura vegetal han debilitado la capacidad de secuestro de carbono del suelo, la cual puede hacer una significativa contribución a la reducción del CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

La reducción de la cobertura del suelo es el punto de partida de un ciclo continuo de degradación, en su mayoría causada por una perturbación drástica del ciclo del agua. El suelo desprotegido es fácil presa de la escorrentía debido a la escasa capacidad de infiltración de la tierra, las inundaciones y la erosión durante los períodos húmedos. Esto ocasiona la reducción de las reservas de agua subterránea y su futura recuperación. Además, las altas tasas de evaporación de los suelos descubiertos durante la época seca conducen también a una reducción del caudal de los ríos.

### **3.13. Índice de retención y regulación hídrica, IRH**

Evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo-vegetación con las condiciones climáticas y con las características físicas y morfométricas de la cuenca (IDEAM, 2010). Igualmente, mide la capacidad de retención de humedad en las cuencas con base en la distribución de series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios y permite evaluar la capacidad de regulación del sistema en su conjunto. Los rangos van de 0 y 1 y los valores más bajos son los que se interpretan como de menor regulación

(IDEAM, 2010).

### **3.14. Índice de Aridez, la**

El índice de aridez es otro indicador del régimen natural y ha sido definido como una característica del clima que muestra, de manera cualitativa, los lugares con excedentes y déficit de agua. La evapotranspiración potencial representa, para este caso, un factor determinante en la obtención de este índice (IDEAM, 2010).

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

En el presente capítulo se hace referencia a los materiales, bases de datos utilizados, ubicación del sitio donde se realizó el trabajo de investigación, y se explica de una forma detallada la metodología para alcanzar los objetivos propuestos.

### **4.1. Materiales**

#### **4.1.1. Materiales de oficina y datos existentes**

- Hardware (computador Portátil)
- Software: Arc Map 10.1. Idrisi Selva, Microsoft Word, Excel y Power Point.

- Base de datos de aforos de las estaciones: El Arenal en Pte. Boquerón, Uchima AJ Chamba, Moyococha en Piscobamba, Catamayo en Pte. Vicin.
- Base de datos de precipitación Mensual: Alamor, Amaluza, Cajanuma, Cariamanga, Catacocha, Catamayo, Celíca, Chaguarpamba, Changaimina, Colaisaca, El Lucero, El Prado, El Salado, El Tambo, Gonzanamá, La Argelia, Lauro Guerrero, Malacatos, Mercadillo, Nambacola, Oña, Pasaje, Pozul, Quilanga, Quinara, Sabanilla, Sabiango, San Francisco, San Lucas, Saraguro, Saucillo (Alamor), Sozoranga, Ushcurrumi, Yangana, Zapotillo.
- Base de datos de temperatura Mensual: Amaluza, Cariamanga, Catacocha, Catamayo, Celíca, La Argelia, Malacatos, Nambacola, Pozul, Quilanga, Quinara, Saraguro, Vilcabamba, Yangana, Zapotillo, Zaruma
- Calculadora.
- Lápiz, Papel, etc.

#### **4.1.2. Materiales de campo**

- GPS Navegador.
- Cámara Fotográfica.

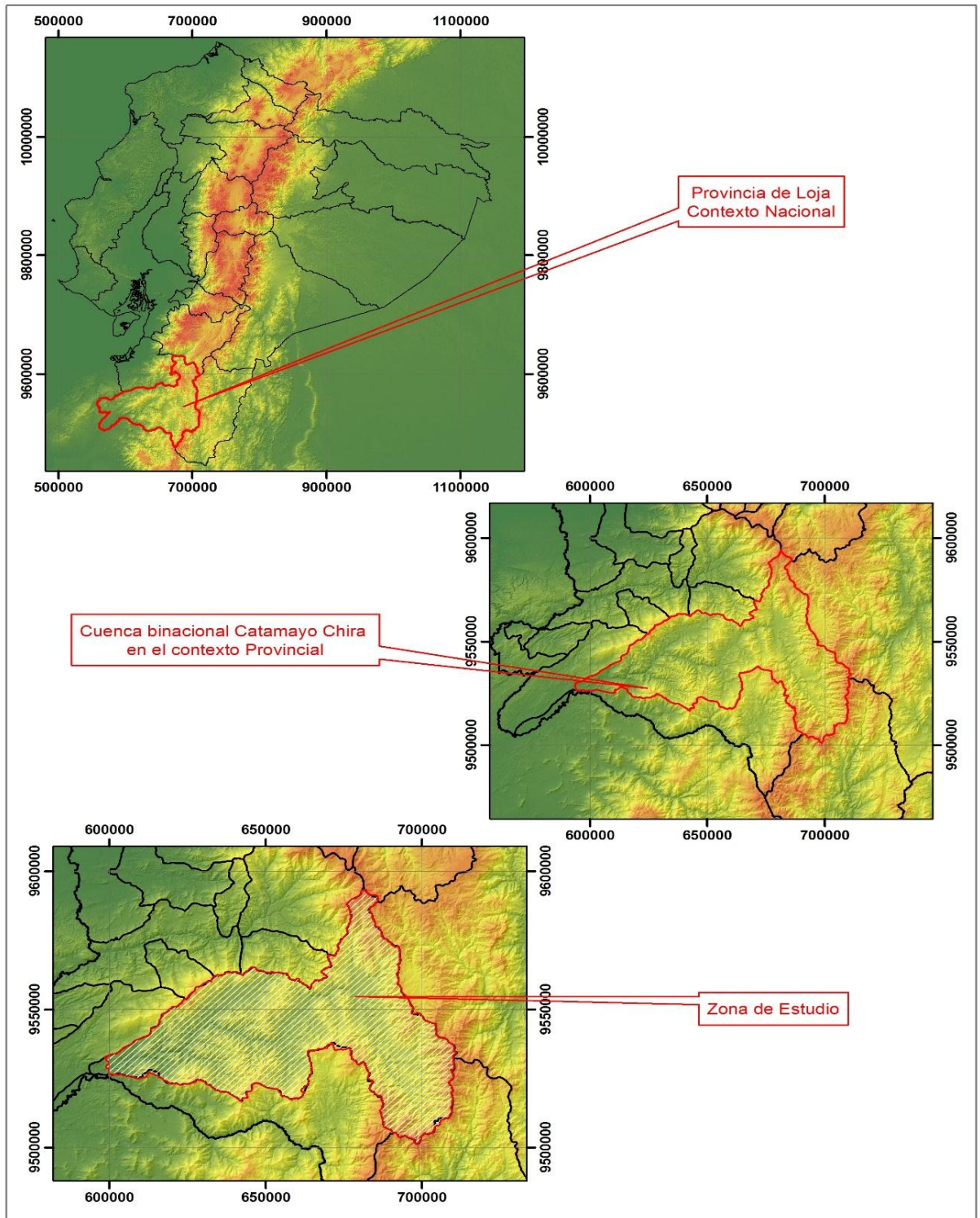
### **4.2. Metodología**

#### **4.2.1. Ubicación del área de estudio**

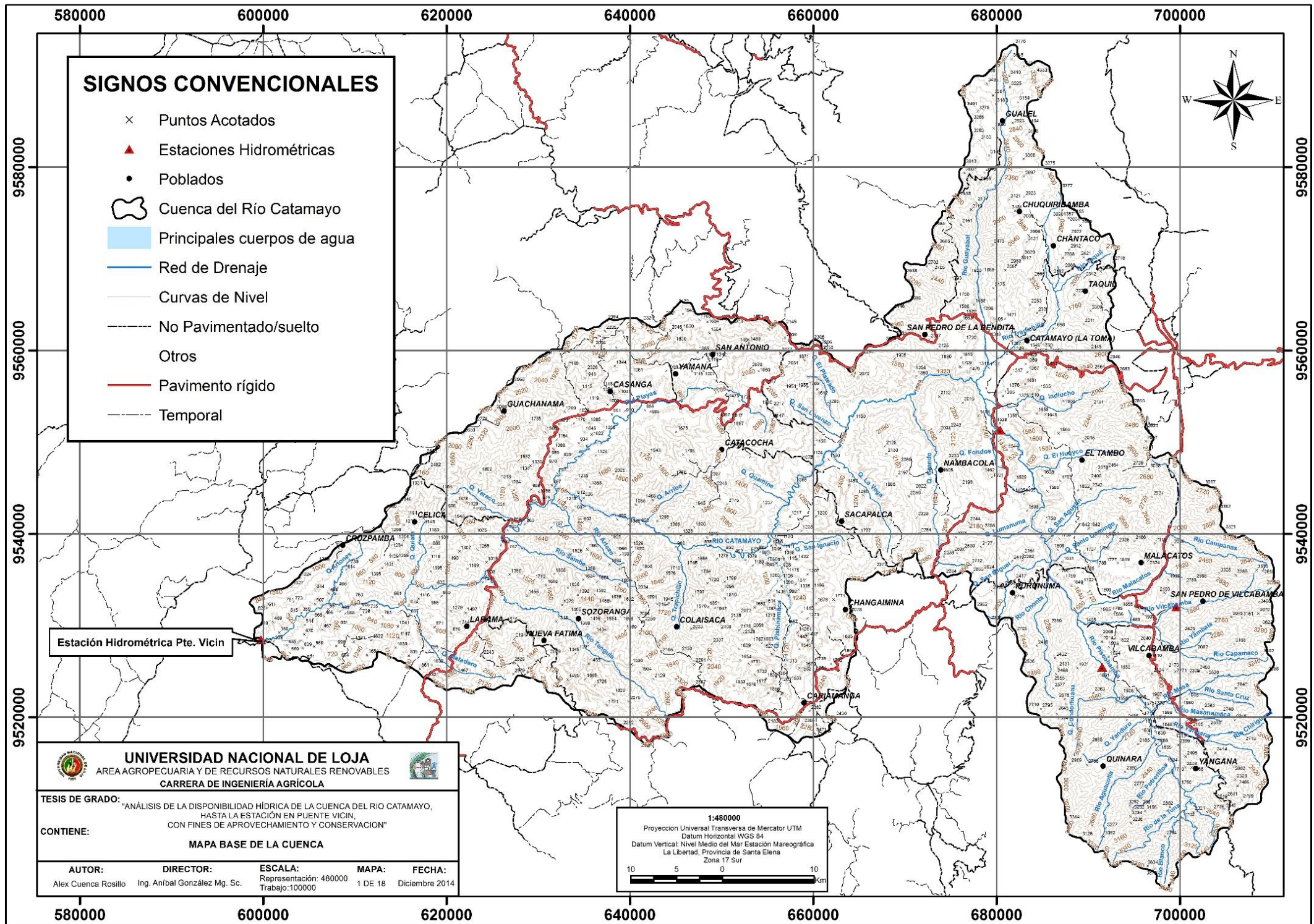
La presente investigación se realizó en la cuenca hidrográfica del río Catamayo hasta la estación en Pte. Vicin, ocupando una superficie aproximada de 4 156,05 km<sup>2</sup>, que corresponde al 24 % de la superficie total de la cuenca binacional Catamayo-Chira, y 37,31 % de la superficie total de la provincia de Loja; y, en la cual se encuentran parte de los territorios de los cantones de Célica, Macará, Sozoranga, Calvas, Gonzanamá, Quilanga, Loja, Catamayo, Paltas, Olmedo y Puyango.

El rango altitudinal de la cuenca va desde los 257 msnm. en la estación de estudio Pte. Vicin y la cota 3,700 msnm en la cordillera occidental de los Andes bajos. Limita por el norte con la cuenca Puyango – Tumbes, por el este con la provincia Zamora - Chinchipe, por el sur con la cuenca del río Macará y por el oeste con el cantón Zapotillo.



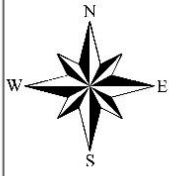


**Figura 7.** Ubicación geográfica de la cuenca del Río Catamayo.



### SIGNOS CONVENCIONALES

- × Puntos Acotados
- ▲ Estaciones Hidrométricas
- Poblados
- Cuenca del Río Catamayo
- Principales cuerpos de agua
- Red de Drenaje
- Curvas de Nivel
- No Pavimentado/suelto
- Otros
- Pavimento rígido
- Temporal



Estación Hidrométrica Pte. Vicin

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS DE GRADO: "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"

CONTIENE: **MAPA BASE DE LA CUENCA**

<b>AUTOR:</b> Alex Cuenca Rosillo	<b>DIRECTOR:</b> Ing. Anibal González Mg. Sc.	<b>ESCALA:</b> Representación: 480000 Trabajo: 100000	<b>MAPA:</b> 1 DE 18	<b>FECHA:</b> Diciembre 2014
--------------------------------------	--	---	-------------------------	---------------------------------

1:480000  
 Proyección Universal Transversa de Mercator UTM  
 Datum Horizontal WGS 84  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estación Mareográfica La Libertad, Provincia de Santa Elena  
 Zona 17 Sur

580000      600000      620000      640000      660000      680000      700000

#### **4.2.2. Ubicación geográfica del área de estudio**

Se encuentra localizada entre:

#### **Coordenadas UTM WGS84, ZONA 17S**

Coordenada norte: 9595000 m y 9500000 m

Coordenada este: 598000 m y 711300 m

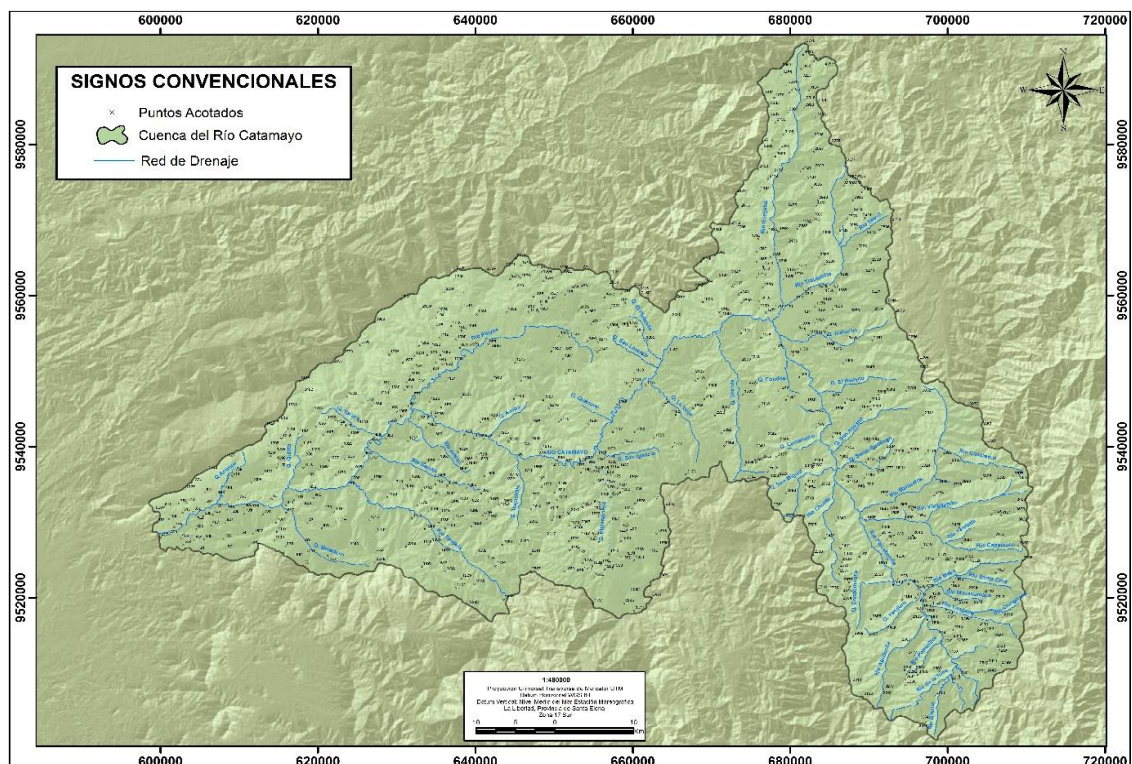
#### **4.2.3. Características del área de estudio**

El área de estudio está ubicada íntegramente en la provincia de Loja, Ecuador; misma que forma parte de la cuenca binacional Catamayo – Chira, y sirve como el principal recurso aportador a varios sistemas de riego a lo largo de su paso, entre ellos: la Palmira, Campana – Malacatos , las Cochas – San Vicente , Limas – Conduriacu, en especial al sistema de riego Zapotillo, importantes para desarrollar las diferentes actividades de producción agrícola, por parte de pequeños y medianos productores, basándose en una agricultura asociativa y especialmente bajo riego.

La configuración topográfica accidentada presenta la conformación de un valle de importancia como es el Valle de Catamayo, en el cual se desarrollan importantes actividades agrícolas, dentro de los cultivos perennes se encuentra el banano, plátano, caña de azúcar y cítricos de clima tropical y café en el clima templado. Los cultivos transitorios ocupan el 57% de la superficie cultivada y los perennes el 43%. Siendo la caña de azúcar el cultivo de mayor producción agroindustrial en el área de estudio.

##### **4.2.3.1. Hidrografía**

El colector principal de la cuenca en estudio está conformado por el río Catamayo, tomando así este nombre a partir de la unión de dos importantes afluentes: 1) el río Chinguilamaca, que aguas arriba se llama Piscopamba, conformado de los aportes de los ríos Chota, Vilcabamba, Masanamaca, Palmira que se forma de los aportes de los ríos de la Tuna y otros que nacen en altitudes de 3 673 msnm. 2) el río Guayabal, conformado por los ríos Gualal y el Ari por un lado y por otro el río Trapichillo, que nacen en la parte norte de la Cuenca en la cordillera de Fierrouroco, con altitud máxima de 3 754 msnm., y constituyen los orígenes de la cuenca del río Catamayo Chira.



**Figura 8.** Red hidrográfica de la cuenca del Río Catamayo.

Aguas abajo y después de las poblaciones de Catamayo, en la margen derecha este río principal recibe la aportación de otros importantes ríos como el río Playas, cuyo nacimiento parte de alturas de 2 148 msnm. y dan lugar a esta subcuenca, considerada importante por su extensión y condiciones estratégicas y geográficas. Más abajo y en la misma margen hay aportaciones de importantes quebradas: Quiara, Artones y otras de importancia.

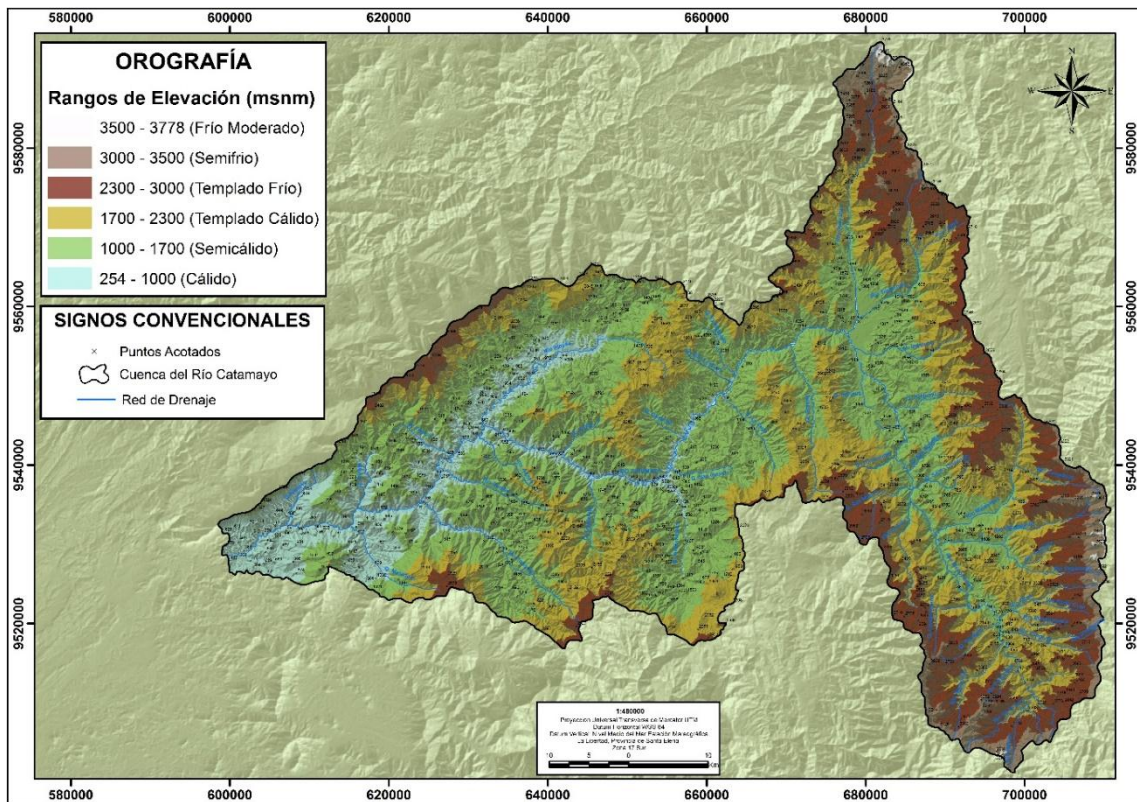
En la margen izquierda desde la parte alta hasta su desembocadura en el río Chira, los afluentes directos principales son: las Quebradas, El Salado, Chinchanga, el río Tangula y la quebrada Matadero.

El río Catamayo termina cuando se une con el río Macará y conforma el río Chira a una altura de 222 msnm.

#### **4.2.3.2. Clima**

La Cuenca Catamayo, por su irregular topografía cubre extensiones territoriales con características climáticas muy diversas, lo que da origen a una gran diversidad de suelos y a usos que se han dado en cada uno de ellos, en

algunos casos de acuerdo a su vocación (cultivos de ciclo corto, permanentes, pastizales o áreas protegidas).



**Figura 9.** Clasificación climática de la cuenca del Río Catamayo.

En la cuenca del río Catamayo se han identificado seis tipos de clima, según la clasificación de W. Thornthwaite:

- Cálido, que comprende el 44,57% de la superficie total de la Cuenca a altitudes menores de 1 000 m s.n.m.
- Semicálido, que comprende el 23,55% de la superficie total de la Cuenca a rangos altitudinales de 1 000 a 1 700 m s.n.m.
- Templado cálido, que comprende el 20,40% de la superficie total de la Cuenca a rangos altitudinales de 1 700 a 2 300 m s.n.m.
- Templado frío, que comprende el 7,28% de la superficie total de la Cuenca a rangos altitudinales de 2 300 a 3 000 m s.n.m.
- Semifrío, que comprende el 3,54% de la superficie total de la Cuenca a rangos altitudinales entre 3 000 y 3 500 m s.n.m.
- Frío moderado, que comprende el 0,66% de la superficie total de la Cuenca a altitudes mayores de 3 500 m s.n.m.

Las temperaturas varían desde relativamente altas en la Cuenca baja del orden de 24° C hasta temperaturas del entorno de 7° C en las partes altas de la Cuenca, sobre altitudes superiores a 3200 m s.n.m., siendo del orden de 20° C en la cuenca media. (Ver mapa 14.)

Las precipitaciones en la Cuenca presentan marcadas variaciones en el espacio y en el tiempo.

En la cuenca baja los períodos lluviosos son cortos y escasos, llueve de enero a abril con una media anual de 600 a 700 mm.

En la zona media de la cuenca el período de lluvias es diciembre a mayo con precipitaciones medias anuales de 700 a 1400 mm.

En la cuenca alta, las lluvias ocurren de octubre a mayo con medias anuales superiores a 1 000 mm. En este mismo espacio hay zonas de excepción como son las partes altas de los cantones de Quilanga y Gonzanamá donde llueve todo el año en forma regularmente distribuida, llegando a medias anuales de 1 000 a 2 000 mm. (Ver figura 13)

#### **4.2.3.3. Suelos**

Los suelos están influenciados por material parental intrusivo y volcánico, compuesto por andesitas y conglomerados en las partes altas y de relieve irregular, y en las áreas planas junto a las corrientes fluviales material aluvial compuesto de arenas limos y arcillas.

Los suelos son superficiales o moderadamente profundos en las vertientes y partes altas y resultan bastante profundos en los valles fluviales.

Tanto las partes bajas y planas como las colinas y zonas irregulares están sujetos a influencia de erosión, los primeros como receptores de materiales de desgaste, y los otros como áreas denudadas.

El bajo nivel de fertilidad está dado por las características de suelos ácidos distribuidos en las zonas de mayor precipitación y altitud ubicadas en la parte suroriental de la cuenca. (Ver mapa 18)

Fisiográficamente la Cuenca Catamayo está constituida por un paisaje de valles aluviales y coluviales y una vertiente baja muy irregular configurada por un conjunto de lomas y depresiones.

Hay fuertes contrastes topográficos: los valles son planos o brevemente ondulados y las colinas y montañas por el contrario, tienen fuerte pendiente

La topografía varía, en los valles con pendiente de 1 – 20 % de plana a ondulada, en la cuenca media de 20 – 50 % de ondulada a fuertemente ondulada y escarpada en las vertientes altas con pendientes superiores al 50%. (Ver mapa 9)

### **4.3. Metodología para el primer objetivo**

*“Determinar la disponibilidad de agua en cuencas aforadas a través de la construcción de las curvas de descarga, a partir de los niveles registrados en las estaciones hidrométricas”.*

#### **4.3.1. Recolección de información hidrométrica.**

Previo al inicio del análisis hidrológico se estructuró una base de información hidrométrica, solicitando información al INAMHI, para las estaciones El Arenal en Pte. Boquerón, Uchima AJ Chamba, Moyococha en Piscobamba, Catamayo en Pte. Vicin, así mismo se solicitó parte de la información a la secretaria Nacional del Agua (SENAGUA).

Se debe aclarar que el periodo de estudio seleccionado 1990 – 2010 se definió al encontrar una mejor consistencia en los datos, tanto de las estaciones meteorológicas como en las hidrológicas, y a manera de tener un estudio actualizado de la zona, pese al haber encontrado una serie de inconvenientes al momento de hacer el respectivo análisis.

#### **4.3.2. Análisis de la estadística disponible**

Con la finalidad de identificar las tendencias de distribución cronológica de los escurrimientos ocurridos. Se analizó tanto estadística como gráficamente, con lo que se facilitó su comprensión y análisis.

La estación Catamayo en puente Vicin fue instalada por el INAMHI en el mes de enero de 1980, la misma que solo contaba con un limnómetro, en el 2000 fue destruida por fuertes crecidas y desde el 2004 hasta la fecha ya se están realizando las respectivas mediciones de niveles de agua.

Su ubicación está aproximadamente a 12 km antes de la unión de los ríos Catamayo y Macará y aguas abajo del Puente en Vicin en la carretera Macara-Zapotillo, en las coordenadas geográficas Latitud N 9528338 m y longitud E 599629 m a una altitud de 267 msnm.

Los niveles de la altura del agua tomados con el limnómetro, se analizaron e interpretaron detenidamente, poniendo especial cuidado en la revisión de los periodos de registro intervenido.

Por tal razón se hicieron todos los esfuerzos posibles para conseguir los niveles diarios existentes, con los cuales se establecieron los caudales diarios y de esta manera realizar un análisis de mayor confiabilidad de la cuenca en estudio.

La estadística disponible de las alturas, de la estación limnimétrica de los años de registro, se interpretaron, tratando de reproducir el régimen natural de la cuenca.

Los periodos con información limnimétrica, que por uno u otro motivo no pudieron interpretarse; y aquellos con información dudosa, se tomaron como periodos sin información, estos periodos que se consideraron sin información se rellenó con estaciones hidrométricas que se encuentran en el recorrido de río y con estudios realizados con anterioridad a este trabajo en el mismo sitio de estudio.

#### **4.3.3. Determinación de las curvas de Descarga**

Las curvas de descarga se determinaron, para la estación Catamayo en Pte. Vicin, para la extrapolación de las curvas de descarga se utilizaron los métodos de altura vs caudal y el método logarítmico, con la finalidad de tener una mayor confiabilidad de los datos procesados.

La determinación de las curvas de descarga se tornó complicada debido a que la frecuencia de los aforos no es la más correcta para hacer un análisis confiable, pero al mismo tiempo la inestabilidad de la sección del cauce ha provocado que durante el tiempo se hayan producido socavaciones y sedimentaciones, incidiendo de esta manera que la determinación de las curvas se haga más compleja.



La efectividad de la curva de descarga depende de la dispersión de la estadística de aforos. En el ajuste matemático de la curva se optó por descartar aforos que salieron de la tendencia de la curva o que no estén formando una nueva curva, al mismo tiempo también se eliminaron los aforos que no tenían mucha confiabilidad, ya que estos inciden en la calidad y confiabilidad de la ecuación.

El método utilizado para encontrar la ecuación es el de los mínimos cuadrados, este permite calcular algunos errores. Una vez que se demuestro que la curva estuvo dentro de los rangos aceptables de error, se asumió que las ecuaciones calculadas son las que reflejan o denotan el comportamiento hidráulico del río

Para los, niveles bajos tanto como los niveles altos, de los cuales que no se han registrado datos o aforos precisos, se recurrió a los métodos de extrapolación gráfica, mismos que está explicado en la revisión de literatura.

#### **4.3.4. Calculo de la curva de descarga**

La curva de calibración de caudales es producto de una serie de aforos que se realizan por un largo periodo de tiempo, creando una relación del caudal y nivel del agua en un tramo determinado de un cauce. El objetivo de que los aforos sean por largos periodo de tiempo es para que se ajusten a la realidad, presentando caudales mínimos y máximos dentro de las mediciones, de esta forma nuestra curva de calibración se ajustara mejor al comportamiento del cauce.

La curva de calibración de caudales también recibe el nombre de curva de descarga.

Matemáticamente la curva de descarga se expresa con la siguiente ecuación:

$$Q = k * (H - H_0)^b$$

Dónde: Q = Caudal

K y b = Son parámetros de ajuste

Ho = Nivel al cual el caudal es cero

H = Nivel del agua

#### 4.3.5. Extrapolación de la curva de descarga

La extrapolación de las curvas de calibración son análisis que se realizan para determinar valores que se encuentran más allá del rango de niveles y/o caudales registrados. Aun con el conocimiento de los principios que gobiernan la forma de las curvas de calibración o ajuste.

Para el caso específico del estudio de curvas de descarga, se seleccionó el más adecuado para la sección de estudio.

##### a) Curva analítica

Como resultado de muchas investigaciones sobre curvas de descarga, se ha llegado a deducir que éstas pueden quedar representadas por la ecuación de la Parábola de orden superior, dada por la forma:

$$Q = C (h - h_0)^n$$

Dónde: Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

h=Nivel de agua leído en la escala (m)

h<sub>0</sub>= Nivel cuando los caudales son nulos (m)

n= constante a determinar

Aplicando logaritmos a la ecuación dada se tiene:

$$\log Q = \log C + n \log (h - h_0)$$

Esta segunda ecuación se asemeja a una ecuación de tipo lineal en un sistema de coordenadas, donde los ejes de coordenadas son Log (h - h<sub>0</sub>) y Log Q

Como ya se ha dicho, el valor de h<sub>0</sub> es la altura de escala para cuando el caudal es nulo, pudiendo ser positivo o negativo según sea el caso.

Cuando el lecho del río está por debajo del 0 de la escala, será negativo y cuando lecho del río está por encima del 0 será positivo.

Por lo anterior se deduce la importancia de la existencia de una sección de control estable, la cual evitaría las variaciones de este valor y por

consiguiente, de la expresión analítica de la curva de descarga. En caso que no sea así se determinara un valor medio de  $h_0$ .

#### 4.3.6. Cálculo de la curva de duración general

La curva de duración general nos permite definir el régimen hidrológico o climático de una zona o cuenca hidrográfica, se elabora con caudales diarios, mensuales o anuales. Nos indica el porcentaje de tiempo o el número de día o meses del total de ocurrencias en que un caudal puede ser igualado o superado.

Para la elaboración de la curva de duración general se procede de la siguiente manera:

- Primero se busca en la estadística de caudales el mayor y menor dato.
- Luego se prepara intervalos de clase.
- Luego para cada intervalo de todos los datos desde el mayor hasta el más menor.
- Se determina el número de ocurrencia o frecuencia absoluta de todos los 360 datos de caudales
- Se calcula el número de meses superávit o frecuencia acumulada absoluta
- Luego calculamos número de meses de déficit, esto se lo obtiene restando a la sumatoria total de datos, al número de meses de superávit.
- Seguidamente se determina el % de tiempo con la siguiente relación:

$$\% \text{ tiempo} = \frac{\text{Número de meses superavit}}{\sum \text{Total de numero de ocurrencia}} * 100$$

- Por último se dibuja una curva donde en el eje de las ordenadas se coloca el caudal y en las abscisas % tiempo, las curvas se elaboran para cada mes.

#### 4.3.7. Cálculo de la curva de variación estacional

La curva de variación estacional proporciona valores sobre la distribución de los valores hidrológicos respecto al tiempo y a la probabilidad de dichos eventos o datos de valores que ocurran.

Estas curvas son el complemento de las curvas de duración general.

Para la elaboración de la curva de variación estacional se procede de la siguiente manera:

- Primero se obtiene la estadística de caudales.
- Se ordena los valores de caudales de mayores a menor en cada uno de los meses.
- Se determina la probabilidad de ocurrencia con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{2m - 1}{2n}$$

Donde:

P = probabilidad  
 m = número de orden  
 n = número de años

- Se construye el siguiente cuadro:

**Cuadro 1.** Orden de los caudales recomendado para la elaboración de la curva de variación estacional de la cuenca del río Catamayo.

N°	P %	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- Luego se dibuja en una hoja de Excel las curvas de variación estacional para todos los meses; en donde en el eje de las ordenadas se coloca el caudal y en las abscisas las probabilidades.

#### 4.3.8. Cálculo del volumen mensual escurrido (Ve)

Para el cálculo de volúmenes medios mensuales escurridos se utilizó los valores de la base de datos de la estación hidrométrica Catamayo en Pte. Vicin, tratando de calibrar y rellenar la información con las curvas de calibración de caudales generadas, para el periodo establecido 1990 y 2010,

La elaboración de los hidrogramas anuales facilitó el análisis del comportamiento estacional de los caudales; el volumen mensual escurrido se calculó a partir de los datos numéricos de caudal, utilizando la matriz del cuadro 2.

Donde:

$V_e$  = Volumen mensual escurrido de la cuenca, en millones de  $m^3$  ( $Mm^3$ ).

$Q_n$  = Caudal medio Mensual, en  $m^3/s$ .

$T_n$  = Días del mes (Duración del día 86400 s.).

**Cuadro 2.** Matriz del cálculo del volumen mensual escurrido

Tiempo (T)	Caudal (Q)	Volumen escurrido (Ve)
T <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub>	Ve <sub>1</sub> = T <sub>1</sub> x Q <sub>1</sub>
T <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub>	Ve <sub>2</sub> = T <sub>2</sub> x Q <sub>2</sub>
T <sub>3</sub>	Q <sub>3</sub>	Ve <sub>3</sub> = T <sub>3</sub> x Q <sub>3</sub>
T <sub>n</sub>	Q <sub>n</sub>	Ve <sub>n</sub> = T <sub>n</sub> x Q <sub>n</sub>
		$\sum_{k=1}^n V_k = V_e$

Fuente: Elaborado por Alex Cuenca R.

#### 4.4. Metodología para el segundo objetivo

*“Estimar la disponibilidad de agua en cuencas sin registros hidrológicos, a través de métodos empíricos”.*

Inicialmente se procedió a la generación de información primaria a partir del análisis de la información cartográfica publicada por el IGM (Instituto Geográfico Militar), datos que se manejaron y procesaron mediante el empleo del SIG (Sistema de Información Geográfica) ArcMap 10.1, para realizar la caracterización morfométrica de la cuenca en general, para lo cual se utilizaron los siguientes métodos:

##### 4.4.1. Cálculo de los parámetros morfométricos de la cuenca

###### 4.4.1.1. Parámetros de forma

###### a) Área y perímetro de la cuenca

Para conocer el área y perímetro de la cuenca primeramente en la carta topográfica se delimito el área de estudio tomando en cuenta la topografía del terreno, esta se la obtuvo al trazar por el divisorio de aguas hasta el punto de interés.

Para la determinación del área de la cuenca fue necesario previamente delimitar la cuenca, considerando las siguientes particularidades:

- Se debe seguir las altas cumbres;
- Se debe cortar ortogonalmente a las curvas de nivel;

- No se debe cortar ninguno de los cauces de la red de drenaje.

El perímetro (P) es la longitud del límite exterior de la cuenca y depende de la superficie y la forma de la cuenca.

### b) Forma de la cuenca

El parámetro que nos da una idea de la tendencia de la forma de la cuenca es el factor (K) denominado coeficiente de compacidad de Gravelius, el cual se lo puede calcular con la siguiente expresión:

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Dónde: K = coeficiente de compacidad de Gravelius

$\pi$  = signo "Pi" que es igual a 3,1416

P = Perímetro de la cuenca en Km.

A = Área de la cuenca en km<sup>2</sup>.

**Tabla 1.** Clases de forma de una cuenca

Interpretación del factor K	
1.00 – 1.25	Redonda
1.25 – 1.50	Ovalada
1.50 – 1.75	Oblonga (Alargada)

Otro criterio para expresar la forma de una cuenca es el denominado Índice de forma que se expresa la relación entre al ancho de la cuenca con la longitud de la misma; la longitud es el recorrido principal de la cuenca. El ancho promedio se determina dividiendo el área de drenaje para la longitud de la cuenca elevado al cuadrado. La relación final sería la siguiente:

$$If = \frac{A}{L^2}$$

Dónde: If = índice de forma

L = longitud del cauce principal

A = área total de la cuenca

Una cuenca con un factor de forma bajo está menos sujeta a crecidas que una de la misma área y mayor factor de forma.

#### 4.4.1.2. Parámetros relativos al relieve

##### a) Pendiente media del cauce

La pendiente del cauce es directa con la velocidad del flujo y por lo tanto su influencia en la forma del hidrógrama es también importante.

Para determinar la pendiente los cauces se lo puede realizar al dividir el río en tramos donde las curvas de nivel sean uniformes, ya que en un río de montaña casi nunca se encuentra en todo su longitud una pendiente uniforme; Para realizar el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$S = \left[ \frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \frac{1}{\sqrt{S_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

Dónde: S = pendiente del cauce

S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>n</sub> = pendientes de los tramos

n = número de tramos realizados

Las pendientes de cada uno de los tramos se los realizo con la equidistancia entre cada curva sobre la longitud del tramo.

$$S1 = \frac{\Delta}{L} * 100$$

##### b) Elevación media de la cuenca

Dado que la precipitación es básicamente el resultado del ascenso y enfriamiento de masas de aire, existe generalmente una correlación entre la misma y la altitud media, en cuencas de zonas montañosas. En consecuencia, la elevación media de una cuenca sobre el nivel del mar es un indicador general de las cantidades de precipitación. Por otra parte, a alturas mayores, debido al descenso de las temperaturas, se produce una disminución general de la evapotranspiración potencial.

La altitud media de las cuencas se obtiene mediante la relación:

$$Alt_m = \frac{\sum hi * Ai}{A}$$

En donde las subáreas  $A_i$ , corresponden a las áreas comprendidas entre curvas de nivel consecutivas  $h_i$  y  $A$  es el área total de la cuenca.

### c) La curva hipsométrica,

Es una curva que indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca en  $Km^2$  que existe por encima de una cota determinada.

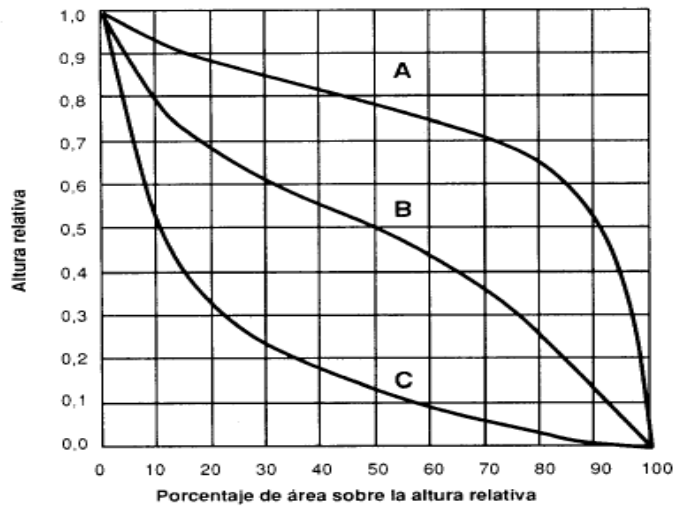
La mayor parte de los fenómenos meteorológicos e hidrológicos (precipitaciones, temperatura, caudales específicos, etc.) se presentan en función de la altitud, por lo tanto es muy importante calcular la distribución de la cuenca vertiente, en  $km^2$  y en porcentaje del área total, por intervalos constantes de altura. Para determinar la equidistancia entre curvas de nivel en que se deben medir las áreas, se parte del cálculo de la relación:

$$N = \frac{H_M - H_m}{n}$$

Siendo  $H_M$  la cota máxima de la cuenca,  $H_m$  la cota mínima y  $n$  el número de curvas de nivel. Si se están estudiando varias cuencas simultáneamente, se obtienen así valores máximos y mínimos de  $N$  para todas las cuencas en estudio. Luego, para homogeneizar el estudio se considera una equidistancia entre curvas de nivel que no sea menor que el  $N$  mínimo ni mayor que el  $N$  máximo. Así si se tiene por ejemplo  $N$  mínimo de las cuencas de 90 y  $N$  máximo de 205, se puede seleccionar para todas las cuencas una equidistancia ente curvas de nivel de 100 metros.

Las áreas entre curvas de nivel se obtienen por planimetría de los planos en escala adecuada disponibles para todas las cuencas. Se puede considerar a esta curva como una especie de perfil de la cuenca que representa las áreas dominadas por encima de cada cota.





**Figura 10.** Tipos de curvas hipsométricas

**Curva A:** refleja una cuenca con gran potencial erosivo (fase de juventud).

**Curva B:** es una cuenca en equilibrio (fase de madurez).

**Curva C:** es una cuenca sedimentaria (fase de vejez).

#### d) Pendiente media de la cuenca

Para determinar la pendiente de la cuenca se lo determina trazando una línea normal que compense la longitud de la curva de nivel, esto se debe realizar con una de las curvas cada 200 m. La precisión de los resultados depende de la calidad del mapa que disponemos.

Existe el criterio de Alvord que analiza la pendiente existente entre curvas de nivel. Dividiendo el área de la cuenca en áreas parciales por medio de sus curvas de nivel y las líneas medias de las curvas de nivel.

Para determinar la pendiente media de una cuenca aplicamos la siguiente fórmula:

$$S = \frac{D * L}{A}$$

Dónde: D = Intervalos de contorno de la faja.

L = Longitud total de los contornos.

A = Área total de la cuenca.

#### 4.4.1.3. Parámetros relativos a la red de drenaje

El sistema de drenaje de una cuenca puede ser medido a través de dos parámetros que se denominan densidad de drenaje y densidad de red de cauces:

##### a) La densidad de la red de cauces (Dr)

La cual se obtiene al contar el número de cauces (ríos, quebradas), tanto permanentes como las intermitentes, canales. Luego se aplica la siguiente relación:

$$Dr = \frac{N}{A} \text{ en cauces/Km}^2$$

Dónde: Dr = Densidad de la red de los cauces

N = número de cauces en la cuenca

A= área total de la cuenca

##### b) La densidad de drenaje:

Se obtiene al medir la longitud total de los cauces en kilómetros, seguidamente de utiliza la siguiente expresión:

$$Dd = \frac{L}{A} \text{ en km/km}^2$$

Dónde: Dd = densidad de drenaje

L = longitud total de los cauces de agua (km)

A = Área la cuenca (Km<sup>2</sup>)

##### c) Tiempo de concentración

Los valores del tiempo de concentración se calcularon a partir de fórmulas empíricas (Maidment, 1993). Una de las fórmulas más utilizadas es la de Kirpich, basada en los datos de siete pequeñas cuencas agrícolas, con canales definidos y pendientes empinadas. La fórmula correspondiente es:

$$Tc = 3.97L^{0.77}S^{-0.385}$$

Donde  $T_c$  es el tiempo de concentración en minutos,  $L$  es la longitud del cauce principal en km, y  $S$  es la pendiente de la cuenca calculada considerando la cota de la divisoria menos la cota del sitio de interés dividido por la longitud del cauce.

#### 4.4.2. Métodos para el análisis de datos de precipitación

Con el fin de generar una estadística de caudales para cada una de las cuencas sin información hidrométrica, se obtendrá una estadística de precipitaciones mensuales, mediante la aplicación de métodos que se explican más adelante. Para la estimación de las precipitaciones en la zona de estudio se tomarán en cuenta varias estaciones meteorológicas que influyen sobre la cuenca en estudio.

##### 4.4.2.1. Método para la estimación de datos faltantes

Se verificará si la información disponible de las estaciones consideradas es confiable y en caso de no serlo se procederá a la estimación de datos faltantes aplicando los siguientes métodos:

##### a) Método de la correlación lineal simple

Se optó por este método porque en algunas estaciones consideradas para el estudio faltan años enteros. Este método consiste en establecer relaciones lineales entre dos estaciones, una estadística confiable, llamada estación base y otra a la cual se requiera llenar o extender, se debe analizar que estas estaciones tengan similitud climática ósea iguales condiciones de precipitación, temperatura, altitud. También se analiza que tengan los datos que le falten a la otra y que algunos datos ya rellenos no intervengan.

Luego se coloca los datos en dos columnas y se determina cual estación es la variable (x) y cual es (y). La ecuación de correlación lineal simple tiene la siguiente forma:

$$Y = a + bX$$

Donde a y b son los parámetros a afirmar, los cuales se podrán determinar con las expresiones:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$
$$\bar{y} = \frac{\sum y}{N}$$

$$a = N\sum xy - (\sum x)(\sum y)$$

$$b = N\sum x^2 - (\sum x)^2$$

$$c = N\sum y^2 - (\sum y)^2$$

**N** = número de pares de valores que intervienen en la correlación.

Seguidamente se calcula el coeficiente de correlación:

$$r = \frac{a}{\sqrt{b * c}}$$

Dónde: r = coeficiente de correlación

Cuando r se acerca a 1 la confiabilidad es mayor; por lo general se apoya en los programas de Excel para encontrar la ecuación y verificar la correlación.

#### 4.4.2.2. Análisis de consistencia de datos

##### b) Método de doble masa

Este método se utilizó para hacer comparaciones de las precipitaciones acumuladas anuales de una estación con varias estaciones e ir realizando gráficas en donde en las ordenadas se coloca la precipitación de la estación comparada y en las abscisas la sumatoria de varias estaciones. Si nos representa el gráfico una curva no muy pronunciada la estadística todavía es confiable, si hay paralelismo en la gráfica la estadística es consistente y si se produce un cambio de pendiente en alguna grafica se debe modificar los valores anuales siempre y cuando debe estar respaldada y sustentada técnica y científicamente la información.

Se debe tomar en cuenta que las estaciones a comparar deben tener similitud climática, ubicación geográfica, entre otros.

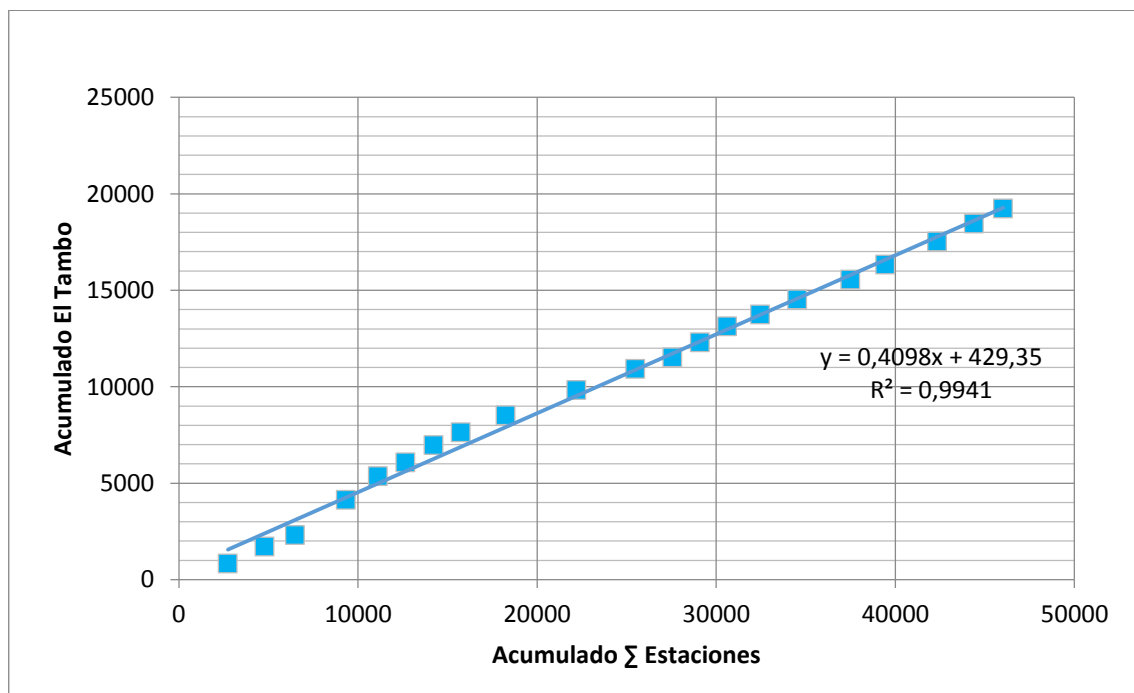
**Cuadro 3.** Análisis de similaridad climática para realizar ADM.

AÑO	El tambo	Acumulado	∑ Estaciones	Acumulado ∑ Estaciones
1990	-----	838.5	2738.6	2738.6
1991	871.3	1709.8	2042.6	4781.2
1992	612.4	2322.2	1698.6	6479.8
1993	1813.5	4135.7	2855.0	9334.7
1994	1224.5	5360.2	1775.7	11110.4

1995	725.4	6085.6	1545.5	12655.8
1996	889.5	6975.1	1566.9	14222.7
1997	672.0	7647.1	1528.8	-----

Fuente: Elaborado por Alex Cuenca R.

Posteriormente se grafica los puntos en un plano, para el eje de las abscisas los valores de la  $\Sigma$  acumulada de las estaciones y para el eje de las ordenadas los valores del acumulado de la estación que se analizó como se indica en la figura 10.



**Figura 11.** Ejemplo real del análisis de doble masa.

#### 4.4.2.3. Estimación de la precipitación media de la cuenca

Con la información meteorológica consolidada de las estaciones antes mencionadas se generaron precipitaciones para la cuenca, tanto mensuales como anuales.

Con el afán de realizar el cálculo de la precipitación media de la cuenca, se seleccionó el método de cálculo que mejor se ajustó a las condiciones naturales de la cuenca, que se describe a continuación:

##### a) Isoyetas

El método de las isoyetas determina las líneas de igual altura de precipitación en todo el plano y después se calcula el área entre Isoyetas del área de estudio y se determina así la precipitación caída entre estas.

El proceso constructivo mediante los SIG a seguirse es el siguiente:

- Se generó una base de datos en Excel, la cual se exporto y proceso en Arc Map 10.1; utilizando el método de interpolación Spline, se obtuvieron las capas raster de precipitación, siendo este método el más adecuado para la variable climatológica
- Aplicando una extracción por máscara con el perímetro de la cuenca, de tal manera que permita generar las capas raster para cada mes de nuestra cuenca, y así mismo generar la información estadística de las precipitaciones para el periodo establecido.

#### **4.4.2.4. Estimación de los Escurrimientos Medios Superficiales**

Una vez obtenida la precipitación media de la cuenca, se estimaron los escurrimientos que ocurren en las cuencas mediante métodos indirectos o empíricos, seleccionando el método que mejor se ajuste a las condiciones naturales de la cuenca, para ello se utilizaron los siguientes:

##### **4.4.2.4.1. Método Racional**

Este método se empleó para calcular el escurrimiento medio de la cuenca, presupone que la cobertura vegetal y la velocidad de infiltración se mantienen constantes a lo largo del año, abstracción ideal para los fines de la investigación.

La fórmula racional para determinar escurrimientos medios es la siguiente:

$$V_m = C P_m A_c$$

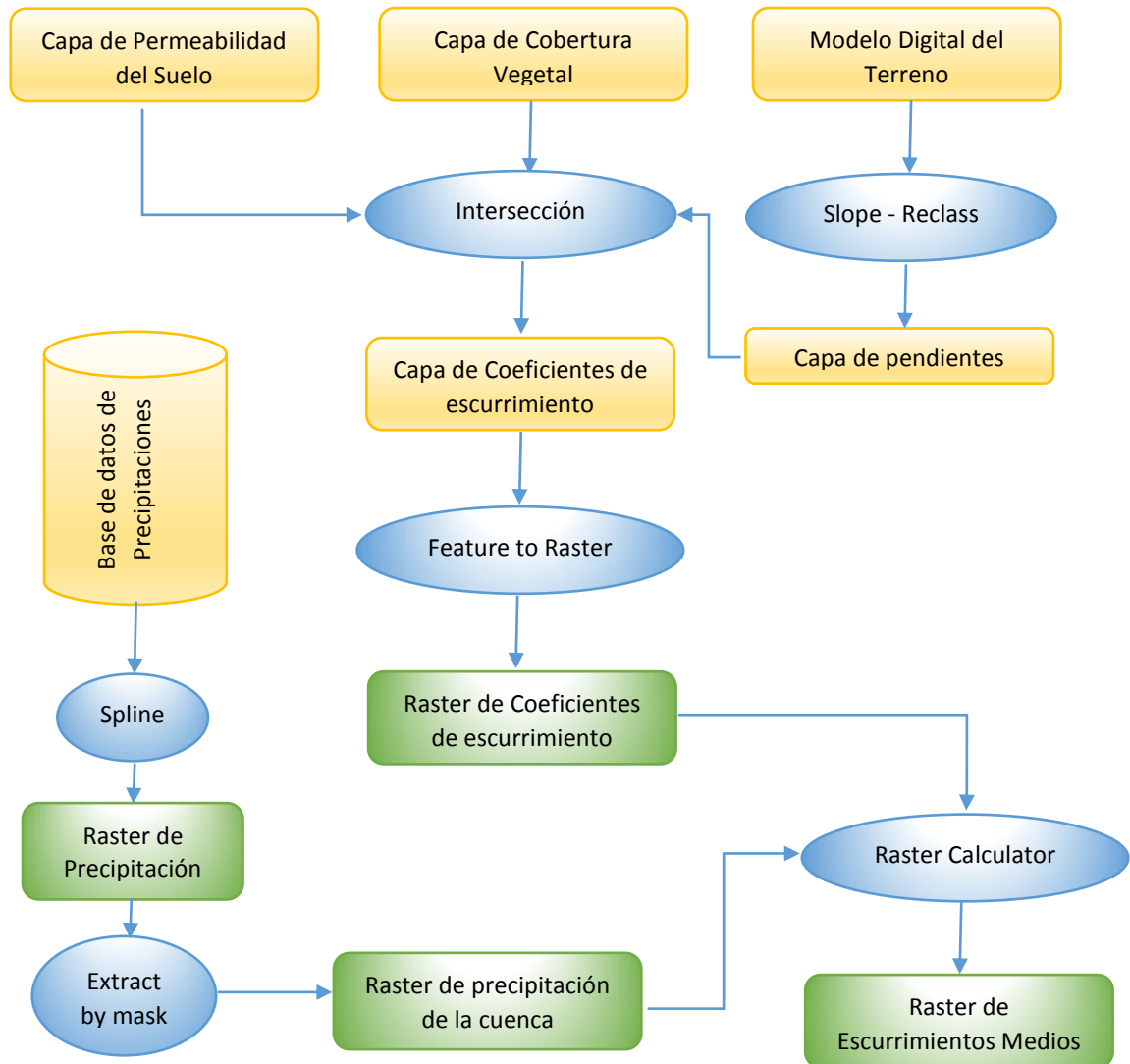
Dónde:  $V_m$  = Volumen medio que puede escurrir la cuenca ( $Mm^3$ )

C = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

$P_m$  = Precipitación media mensual (mm)

$A$  = Área de la cuenca (en  $Km^2$ )

Para obtener los escurrimientos medios, se utilizó la intersección de capas en el software Arc Map 10.1, se cruzó la información disponible de permeabilidad del suelo y pendientes, esta capa se la obtuvo del gestor de descargas del MAGAP y se la reclasifico de acuerdo a las exigencias del método, las pendientes se las genero a través de un modelo digital del terreno y las clases de cobertura vegetal del estudio de Cobertura Vegetal y Uso Actual Del Suelo de la Provincia de Loja, de Naturaleza & Cultura Internacional 2010, como se muestra en la figura 11; en el Anexo 6, se indican los valores del coeficiente para cada intersección.



**Figura 12.** Modelamiento para escurrimientos medios – Método racional.

#### 4.4.2.4.2. Método Del Número de Curva

Este método tiene por objetivo separar la parte de la precipitación que ha generado escorrentía directa, con respecto a la precipitación total caída sobre la zona en particular. A la parte de precipitación que genera escorrentía directa, se la puede llamar como precipitación neta o en exceso. La precipitación que no genera escorrentía queda como retención superficial y/o infiltración. Posteriormente esta agua acaba evapotranspirándose o llegando a la escorrentía subterránea, que es agua perdida para la escorrentía directa y usualmente se la denomina como abstracciones.

El Soil Conservation Service desarrolló este método para estimar la escorrentía en función de los suelos, la cobertura y la humedad antecedente de las cuencas. La estimación del escurrimiento superficial por el método del número de curva, se realizó con la ecuación:

$$Pe = \frac{[P - 0.2S]^2}{[P + 0.8S]}$$

Donde:

$P_e$ = Escorrentia directa (mm)

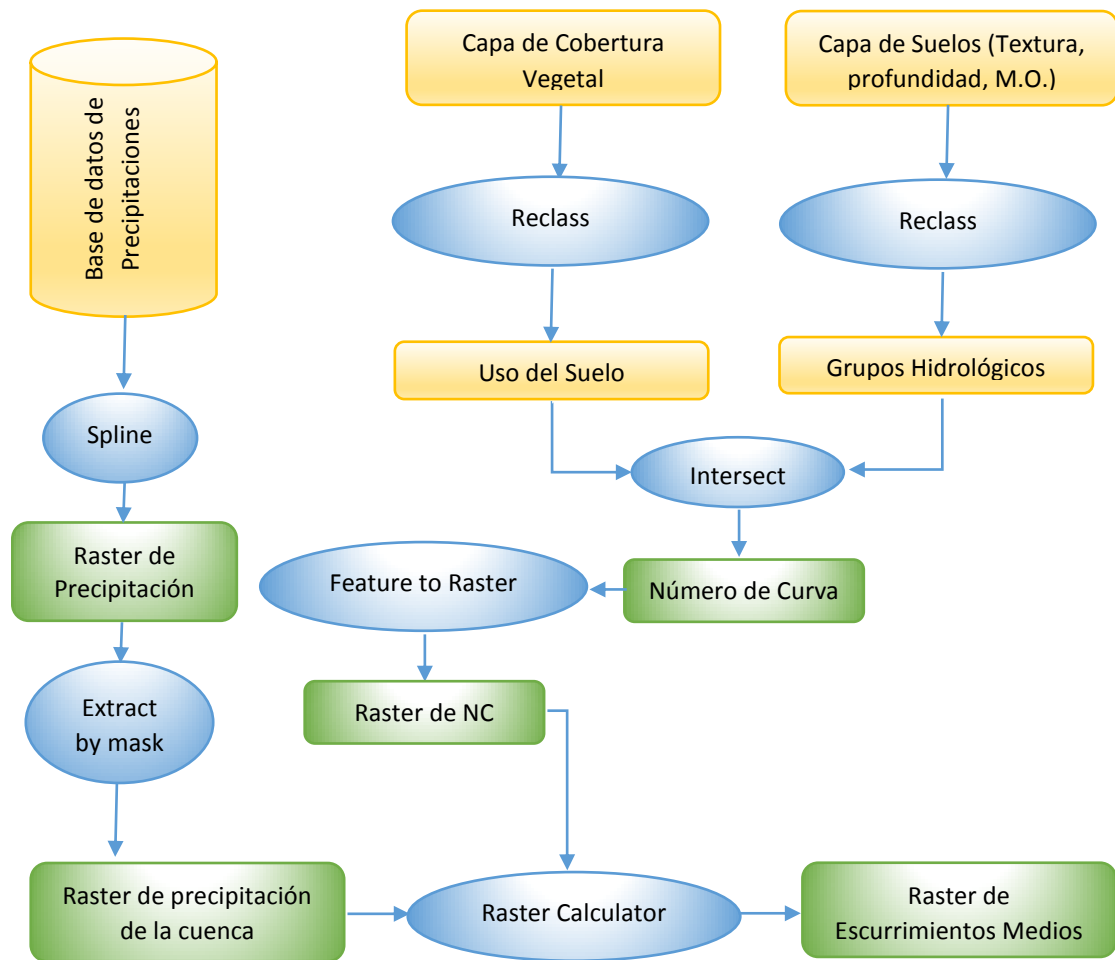
$P$ = Precipitacion mensual (mm)

$S = (254000/NC) - 254$

$NC$ = Número de curva, se lo obtuvo de tablas elaboradas por el Soil Conservation Service (SCS). (Anexo 2).

En la Figura 12. se sintetiza el modelo geoespacial utilizado para la generación de escurrimientos directos, aplicando el método del número de curva; así mismo en el anexo 11, se muestran los diferentes mapas (Grupos hidrológicos del suelo, cobertura vegetal, pendientes) que se utilizaron para realizar la clasificación y sobreposición de capas.





**Figura 13.** Modelamiento para escurrimientos medios – Método del Número de Curva

#### 4.5. Metodología para el tercer objetivo

*“Identificar las zonas de mayor aporte hídrico de la cuenca hasta la estación en Pte. Vicin, utilizando los SIG”.*

Para el cumplimiento de este objetivo se utilizaron los siguientes métodos propuestos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia que se describen a continuación:

##### 4.5.1. Índice de retención y regulación hídrica, IRH

Su estimación resulta de la relación entre el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio y el correspondiente al área total bajo la curva de duración de caudales diarios

La expresión matemática de cálculo es la siguiente:

$$IRH = VP / Vt$$

Donde:

IRH: Índice de retención y regulación hídrica

VP: Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio

Vt: Volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios

**Tabla 2.** Calificación de los rangos de valores del IRH.

Rango de valores del Indicador	Calificación	Descripción
>0.85	MUY ALTA	Muy alta retención y regulación de humedad
0.5 – 0.85	ALTA	Alta retención y regulación de humedad
0.65 – 0.5	MODERADA	Media retención y regulación de humedad media
0.50 – 0.65	BAJA	Baja retención y regulación de humedad
<0.50	MUY BAJA	Muy baja retención y regulación de humedad

Fuente: IDEAM, 2010

Criterio: A mayor índice de regulación hídrica-IRH mayor prioridad

#### 4.5.2. Índice de Aridez (Ia)

Para generar este indicador, se utilizó la ecuación de Turc, para el cálculo de la evapotranspiración real (ETR), y la de Thornthwaite, para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP). (Ver anexo 11. Mapa 15 y 16)

Su estimación resulta a partir de la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real, aplicadas como se expresa en la siguiente fórmula:

$$I_a = (ETP - ETR) / ETP$$

Donde:

Ia= Índice de aridez (adimensional).

ETP= Evapotranspiración Potencial (mm).

ETR= Evapotranspiración Real (mm).

**Tabla 3.** Calificación de los rangos de valores del IRH.

Rango de valores del Indicador	Calificación	Descripción
<b>&lt;0.15</b>	ALTOS EXCEDENTES	Altos excedentes de agua
<b>0.15 – 0.19</b>	EXCEDENTES	Excedentes de agua
<b>0.20 – 0.29</b>	MODERADO Y EXCEDENTES	Moderado y Excedentes de agua
<b>0.30 – 0.39</b>	MODERADO	Moderado
<b>0.40 – 0.49</b>	BAJO	Moderado y Deficitario
<b>0.5 – 0.59</b>	DEFICITARIO	Deficitario de agua
<b>&gt;0.60</b>	ALTAMENTE DEFICITARIO	Altamente deficitario de agua

Fuente: IDEAM, 2010

Finalmente se generó un mapa de los sectores de mayor aporte hídrico de la cuenca, utilizando los Sistemas de Información Geográfica.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo presenta los resultados que se han obtenido para cada uno de los objetivos planteados, así como la discusión e interpretación de los mismos.

### 4.1. Disponibilidad de agua en cuencas con registro hidrológicos.

#### 4.1.1. Análisis de la estadística disponible

Con el objeto de analizar el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Catamayo, se recopiló información hidrométrica de tres estaciones existentes a lo largo del recorrido del río hasta la estación de estudio, información que es procesada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), las cuales se detallan en el presente cuadro.

**Cuadro 4.** Estaciones Hidrométricas utilizadas para el estudio.

N°	Código	ESTACION	UBICACIÓN POLITICA	UBICACION GEOGRAFICA		ALTIT. (m.s.n.m)	PERIODO DE ESTUDIO	INSTITUCION QUE OPERA
			PROVINCIA / CANTON	LATITUD	LONGIT.			
1	H627	UCHIMA AJ CHAMBA	Loja Vilcabamba	9532030	699466	1585	1990-2010	INAMHI
2	HA2V	MOYOCOCHA	Loja Vilcabamba	9524526	691823	1490	1990-2010	INAMHI
3	H617	EL ARENAL PTE. BOQUERON	Loja Catamayo	9551490	680404	1119	1990-2010	INMAHI
4	HB31	CATAMAYO EN PTE.VICIN	Loja Sabanilla	9528338	599629	267	1990-2010	INAMHI

Fuente: INAMHI

Cabe mencionar que previo a la generación de información para la Cuenca de estudio se procedió a rellenar la base de datos estadísticos de niveles de cada una de las estaciones consideradas para el periodo (1990 - 2010). Para ello se aplicó el método de la correlación lineal, obteniendo coeficientes de determinación ( $R^2$ ) mayores a 0.994, importantes para obtener una serie homogénea de datos.

#### 4.1.2. Curva de descarga y caudales medios mensuales, en función de los niveles disponibles.

Con la finalidad de establecer una estadística de caudales para el periodo (1990 -2010), se procedió a generar caudales para la estación hidrométrica Catamayo en Puente Vicin, en función de la estadística de aforos publicados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, y rellenada a partir de las

curvas de descarga y de las estaciones existentes en la cuenca, los caudales se detallan en el anexo 3.

**Cuadro 5.** Ecuaciones para la elaboración de la curva de descarga de la estación hidrométrica Pte. Vicin

Curva	Ecuación	Periodo de validez
Curva 1	$Q=14,490(h)^{1,394}$	0,02<h<0,62
	$Q=31,225(h)^{3,144}$	0,62<h<1,10
	$Q=34,694(h)^{2,592}$	1,10<h< 2,00
Curva 2	$Q= 36.762(h-(-0.35))^{2.241}$	0,01<h<0,47
	$Q=26,314(h-(-0.50))^{2,659}$	0,47<h<0,98
	$Q=79,141(h)^{1,915}$	0,98<h< 2,18

Fuente: Elaborado por el Autor

\*Nota: la estadística de aforos se detalla en el anexo 1.

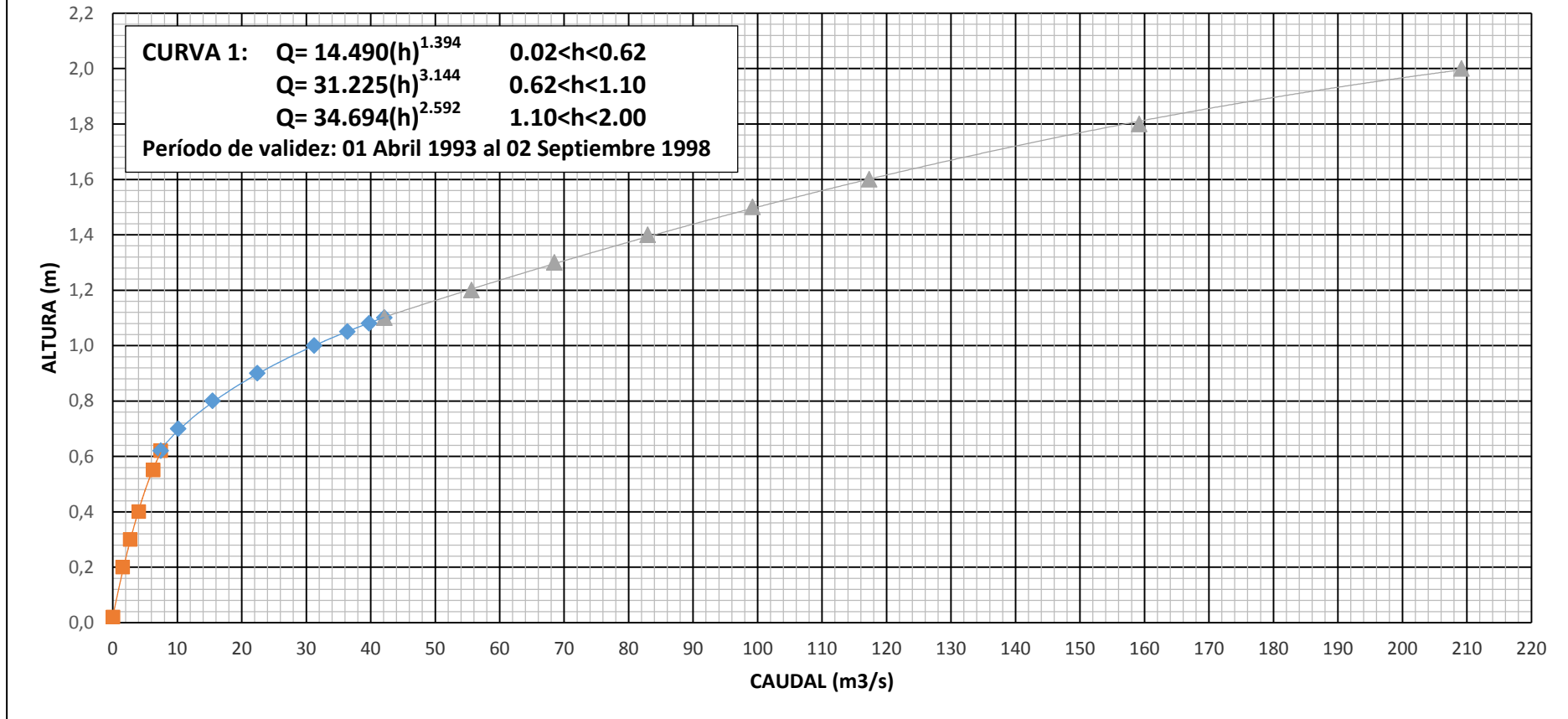
Los aforos en la estación hidrométrica en Puente Vicin representan los excedentes, luego de satisfacer casi toda la demanda de la cuenca Catamayo, desde las partes altas hasta muy cerca de la confluencia con el río Macará.

La elaboración de las curvas de descarga se definió a un solo método de extrapolación, debido a que la información obtenida de los aforos no estuvo lo suficientemente detallada para poder realizar otro método extrapolación y compararlo con el que se realizó, por esta razón previa a la elaboración de las curvas se realizó un análisis de la información de los aforos existentes.

En la elaboración de las curvas de descarga del río Catamayo, hasta el sitio establecido, con la cantidad de aforos disponibles se ha logrado determinar dos curvas de descarga, la primera va desde el año de 1993 al 1998, y la segunda del 1995 al 2010. Esto debido a la escasa información obtenida y a los diferentes eventos naturales que surgieron en la estación hidrométrica.

La estadística de aforos indica que existen periodos en los cuales se han realizado aforos continuos, para citar un ejemplo, en el año de 1999 se han realizado 7 aforos, de los cuales 3 se los realizo en el mes de septiembre, pero de los mismos no se los utilizo para la calibración de las curvas, así como en los años 1998, 2000 y 2003 en los cuales los aforos no presentan una altura limnimétrica, también hay años en los cuales se ha dejado de realizar, como es el caso, entre los años 2001, 2002, 2004, donde la estación fue arrastrada por las fuertes crecidas y por otra parte la falta de interés por las instituciones encargadas; por esta razón es que durante estos periodos no se ha logrado calibrar una curva y por ende no se sabe el comportamiento hidrológico durante ese periodo de tiempo.

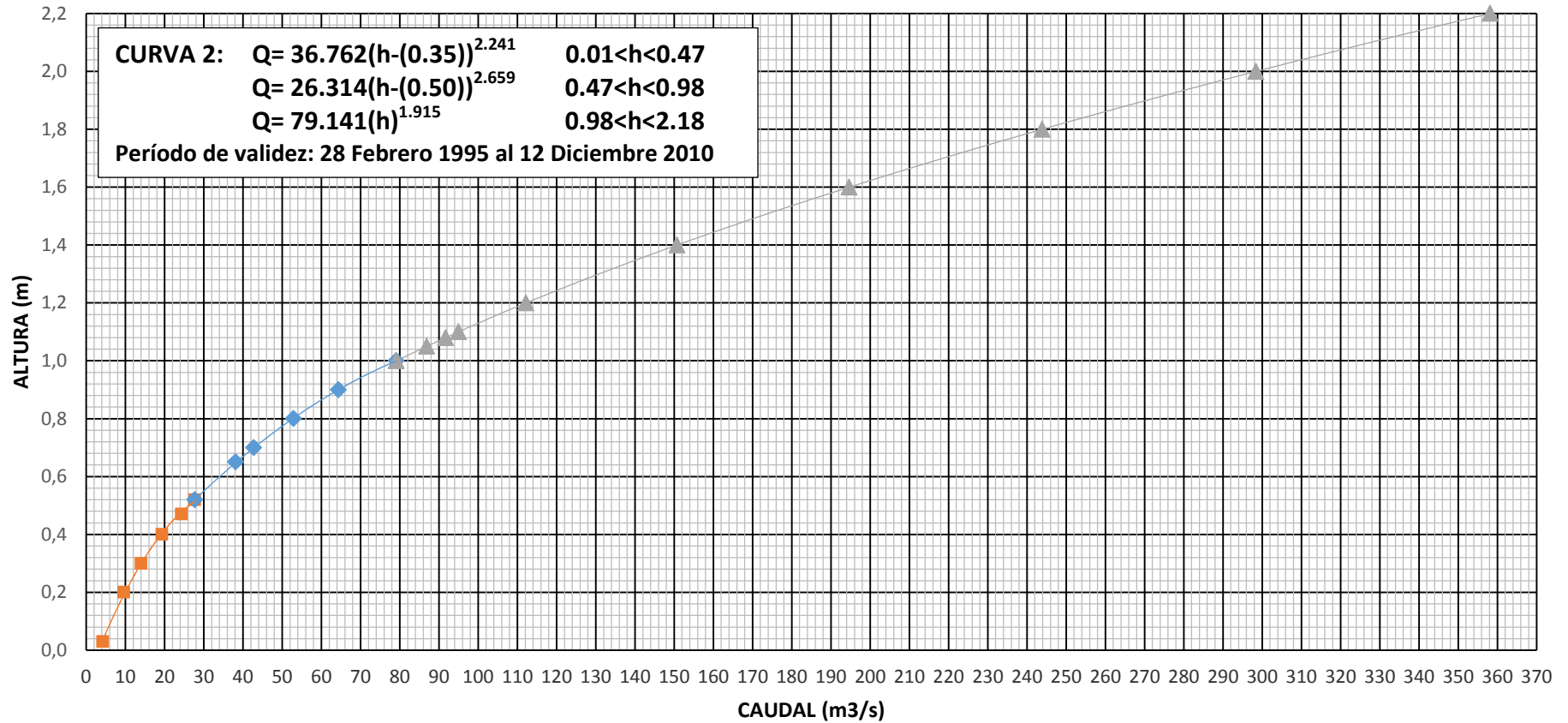
## ESTACIÓN PUENTE VICIN CURVA DE CAUDALES



Fuente: Elaborado por Alex Cuenca R.

**Figura 14.** Curva de descarga 1

## ESTACIÓN PUENTE VICIN CURVA DE CAUDALES



Fuente: Elaborado por Alex Cuenca R.

Figura 15. Curva de descarga 2

El mayor problema presentado en la elaboración de las curvas, es la estadística de aforos y la poca credibilidad de los mismos. En este caso el instituto encargado de la información hidrometeorológica INAMHI, ha generado caudales diarios, en algunos casos con valores que no tienen relación con el comportamiento del río, puesto que se mencionan caudales iguales para todo un mes y en algunos casos valores nulos, lo cual físicamente en el río Catamayo por su área de aporte y la lluvia medida es imposible.

Esta situación permite afirmar que la estadística de caudales publicada por el INAMHI, tiene valores en algunos casos inconsistentes.

#### **4.1.3. Análisis de la duración**

La curva de duración general indica los caudales para una cierta probabilidad en términos de porcentaje de tiempo.

Teniendo en cuenta que la presente investigación tiene como fin estimar las zonas de mayor aporte de la cuenca del río Catamayo, se optó por tomar como datos de referencia los resultados de caudales ligeramente menores a los disponibles el 95 % del tiempo ( $12,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ), esto con la finalidad de garantizar la permanencia regular de los caudales de captación durante todo el año. Resulta oportuno mencionar que de esta manera también se garantizará el caudal ecológico que deberá fluir por los cauces permitiendo la vida acuática que en ellos existe.

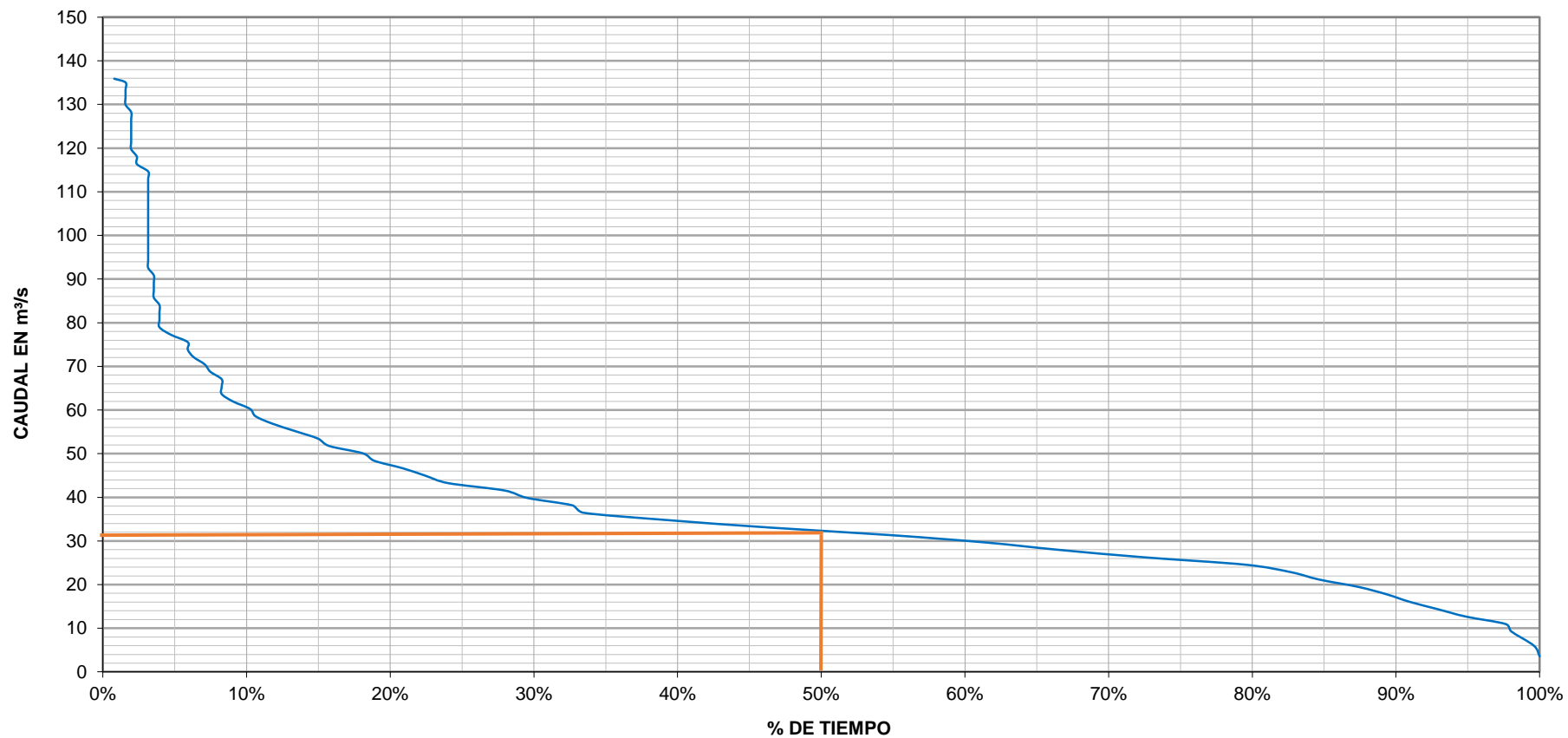
Para el cálculo del índice de regulación y retención hídrica, se optó por ubicar el caudal medio, en este caso el 50 % de tiempo ( $32,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ), determinando así las áreas de la curva de duración, para estimar las áreas que mantienen un régimen de caudales regular.

La planificación de los cultivos también depende de la interpretación de estas curvas, porque en los meses en que los caudales son bien bajos, debería el cultivo estar en la fase en que las necesidades de riego no son mayores, o tratar que estos meses coincidan con la preparación del suelo.

Es por esta razón que las curvas de duración general, y de variación estacional son de mucha importancia en el análisis hidrológico de una área en estudio, debido a que permiten conocer el comportamiento hidrológico de un río, tanto en probabilidad de ocurrencia de caudales, así como su distribución en el tiempo.



**CURVA DE DURACIÓN GENERAL  
RÍO CATAMAYO EN EL SITIO VICIN  
Período 1990-2010 (21 años)**



Fuente: Elaborado por Alex Cuenca R.

**Figura 16.** Curva de duración general

#### 4.1.4. Variación estacional de caudales

El caudal del río Catamayo está definido principalmente por la variación de las precipitaciones sobre la cuenca, lo cual da lugar a su variación estacional: con una probabilidad del 95% se tiene un caudal máximo de  $28,85\text{m}^3/\text{s}$  correspondiente al mes de abril, y un mínimo de  $7,52\text{m}^3/\text{s}$  correspondiente al mes de Octubre.

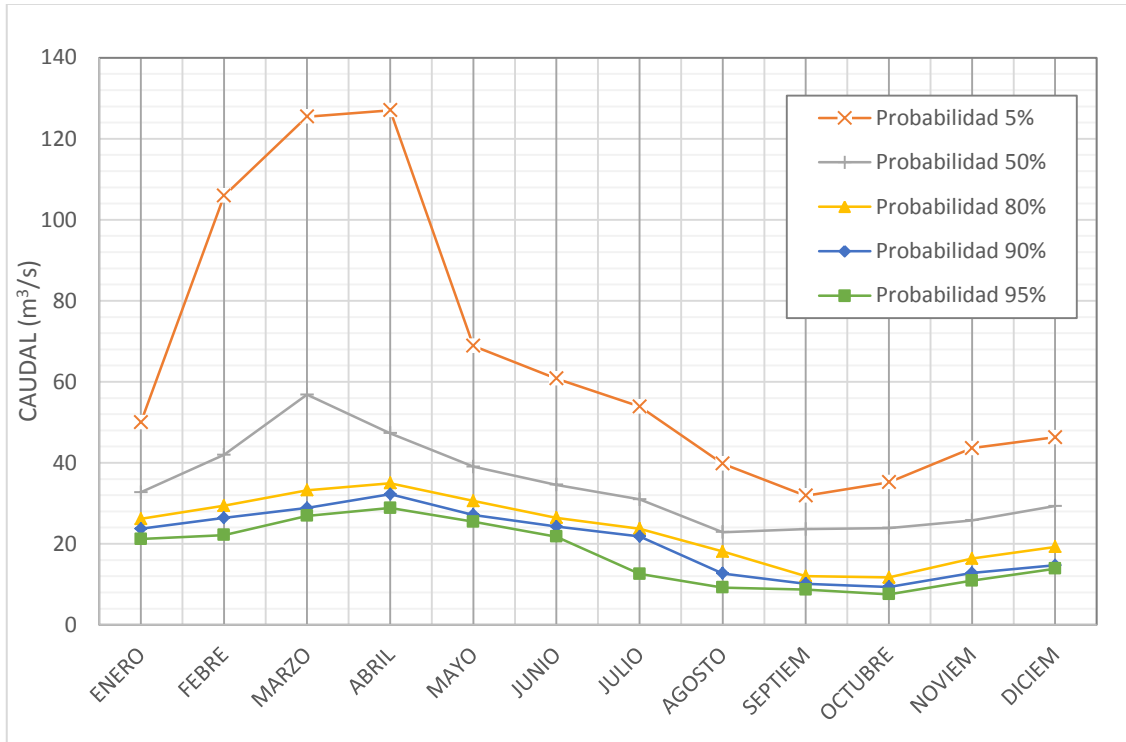
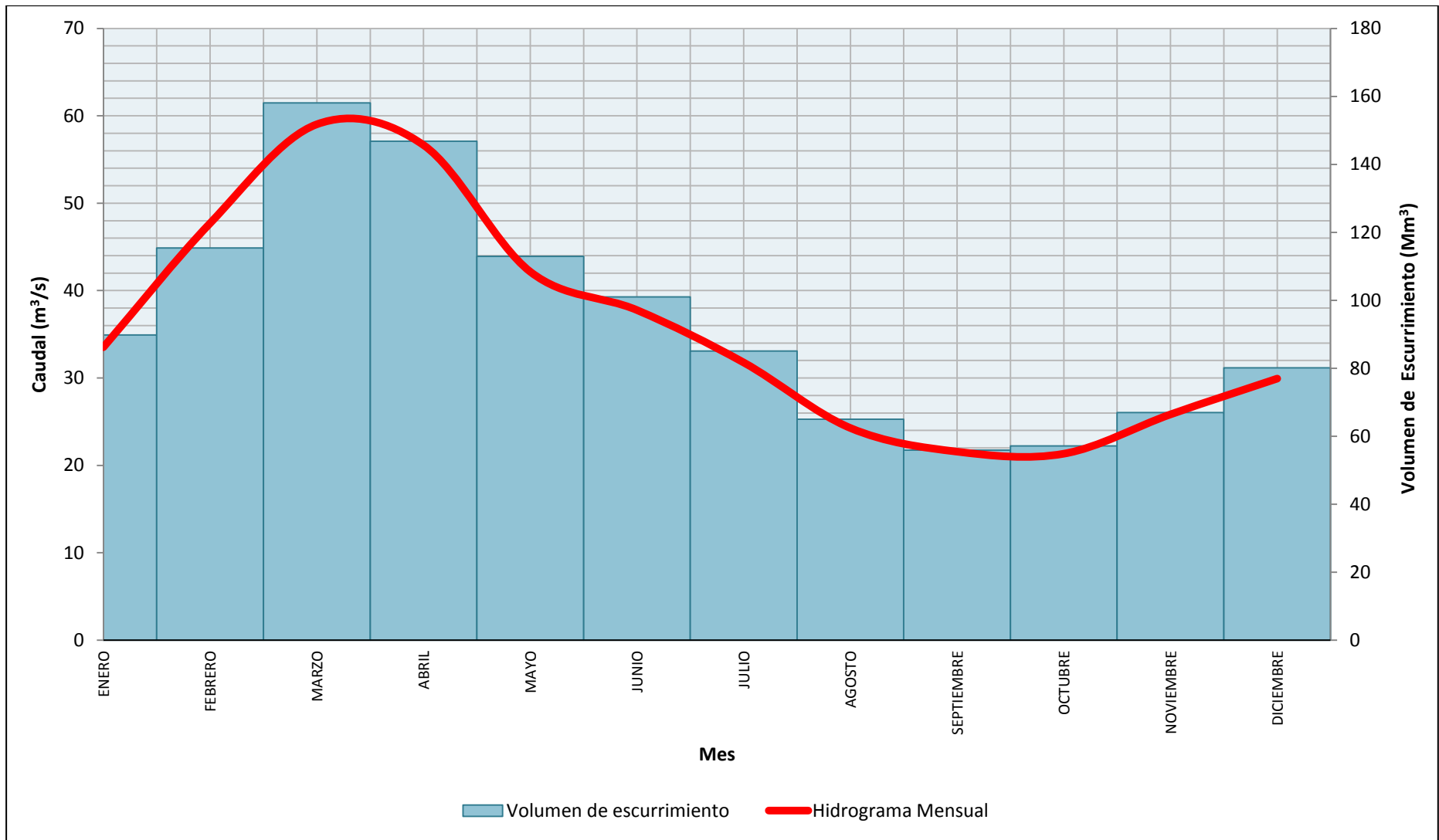


Figura 17. Curvas de variación estacional en la estación hidrométrica Pte. Vicin.

#### 4.1.5. Cálculo del volumen mensual escurrido ( $V_e$ )

Los datos de caudal medio mensual de la estación hidrométrica Catamayo en Puente Vicin expresados en términos de volumen, indican escurrimientos mensuales fluctuantes entre  $55,91\text{ Mm}^3$  en los meses de septiembre y  $158,10\text{ Mm}^3$  en los meses de Marzo, con un volumen anual promedio de  $1134,39$  millones de  $\text{m}^3$ ; la estacionalidad de dichos volúmenes mantienen una relación directa con las precipitaciones, ya que, los remanentes de los meses lluviosos modifican los volúmenes de los meses subsiguientes.



**Figura 18.** Hidrograma mensual de la cuenca del río Catamayo.

**Cuadro 6.** Volúmenes de escurrimiento reales de la estación hidrométrica Pte. Vicin

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
1990	67.0	43.5	83.8	82.4	65.9	83.5	58.9	51.2	27.5	43.4	66.9	63.2	737.1
1991	66.4	81.5	107.9	99.0	80.4	65.1	65.9	59.7	47.7	43.4	45.1	39.9	802.1
1992	52.8	69.9	94.3	96.9	75.0	77.1	77.1	57.0	59.1	33.2	43.8	69.4	805.7
1993	92.7	117.8	109.5	95.1	87.3	64.8	61.3	118.4	84.8	68.8	82.9	123.2	1106.8
1994	132.6	184.6	195.5	129.3	90.0	113.0	113.3	66.2	80.6	80.4	86.1	107.7	1379.2
1995	84.7	80.0	94.1	91.8	89.8	81.3	80.5	61.3	61.2	64.8	72.6	72.8	934.9
1996	83.3	84.2	110.5	89.6	83.5	78.5	79.6	71.0	64.0	68.0	62.8	65.9	941.0
1997	60.6	64.0	78.1	84.8	88.0	70.0	75.0	71.2	65.7	62.3	76.6	90.6	886.8
1998	90.2	122.1	166.2	182.1	145.2	103.9	92.3	84.8	75.4	81.3	79.3	71.4	1294.3
1999	87.5	131.5	202.6	112.5	113.3	103.8	93.0	85.8	79.0	79.9	74.2	88.5	1251.6
2000	87.7	101.5	177.4	147.9	118.1	101.5	90.6	84.4	79.8	75.0	66.8	78.5	1209.2
2001	75.3	81.4	67.7	67.1	91.3	123.7	162.8	55.5	50.7	28.6	64.7	84.6	953.4
2002	92.3	203.5	76.3	129.1	104.6	51.7	83.0	31.3	47.3	35.5	98.4	85.2	1038.0
2003	117.0	83.1	152.2	140.3	179.4	158.4	85.9	50.9	29.4	50.2	55.1	118.1	1220.0
2004	90.4	63.7	206.8	116.4	140.0	165.6	110.2	52.6	33.0	107.3	87.2	124.8	1298.1
2005	95.0	72.3	209.0	142.5	70.3	71.5	9.5	17.9	20.0	18.8	26.8	39.1	792.7
2006	73.2	134.9	243.2	306.5	147.3	140.2	99.9	83.3	72.8	67.9	81.9	112.2	1563.3
2007	121.3	102.5	160.3	196.3	141.6	160.1	95.2	94.7	75.9	76.5	127.6	103.8	1455.8
2008	135.1	309.0	364.0	352.0	152.7	85.4	69.4	46.0	25.0	29.3	40.9	35.2	1644.0
2009	102.2	164.8	308.1	299.4	189.4	129.7	125.9	85.7	62.6	64.0	36.8	69.8	1638.2
2010	78.5	127.9	112.5	122.6	118.2	92.6	57.8	36.6	32.8	21.5	29.6	39.6	870.1
MAX	135.1	309.0	364.0	352.0	189.4	165.6	162.8	118.4	84.8	107.3	127.6	124.8	1644.0
MED	89.8	115.4	158.1	146.8	112.9	101.0	85.1	65.0	55.9	57.1	67.0	80.2	1134.4
MIN	52.8	43.6	67.7	67.1	65.9	51.7	9.5	17.9	20.0	18.8	26.8	35.2	737.2
DESV	22.1	60.7	79.1	79.4	36.0	33.9	30.1	23.5	21.0	23.6	24.5	28.0	290.2
CV (%)	0.3	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3

580000

600000

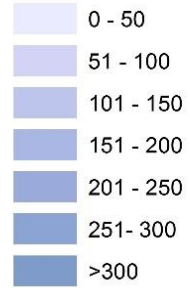
620000

640000

660000

680000

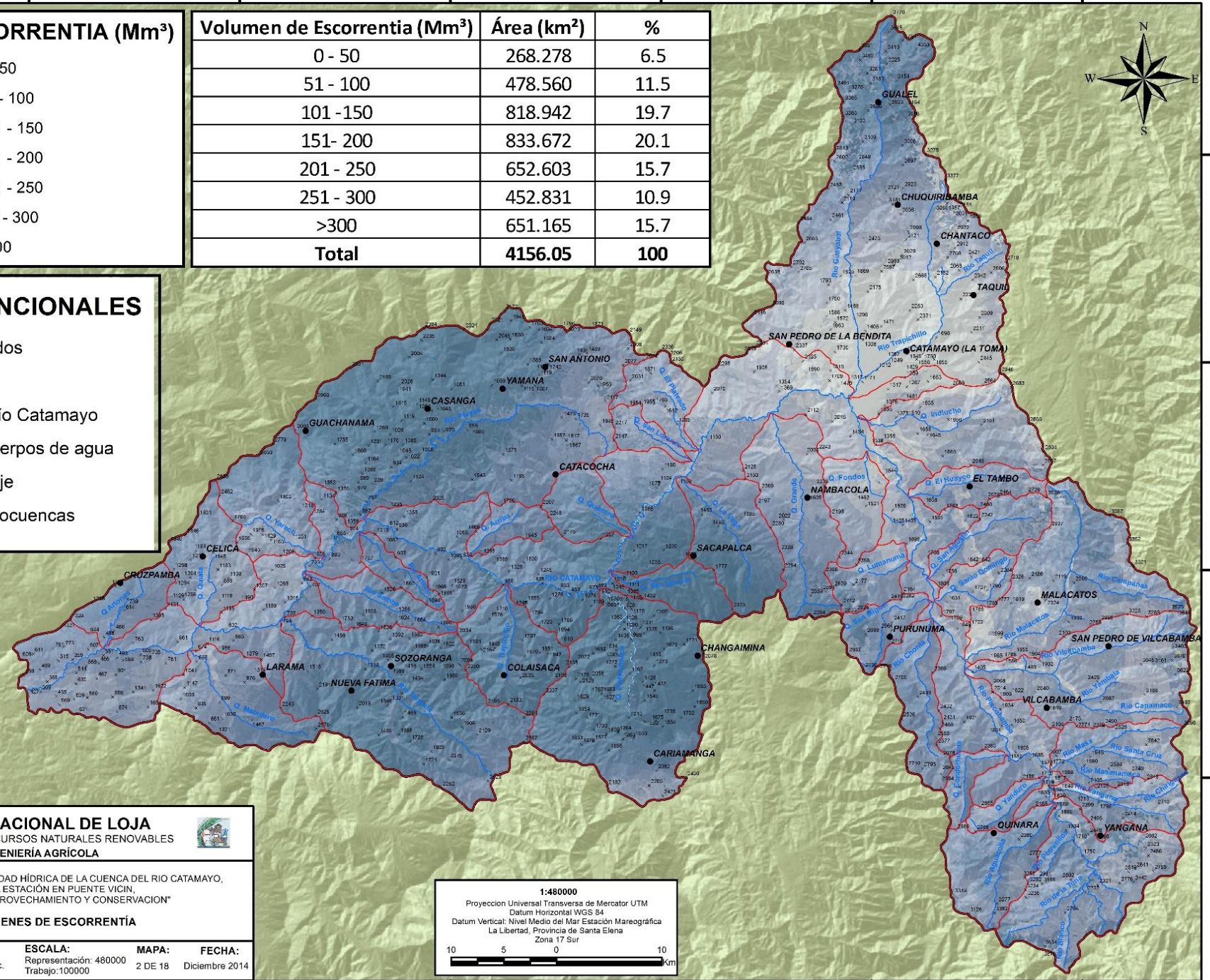
700000

**VOLUMEN DE ESCORRENTIA (Mm<sup>3</sup>)**

Volumen de Escorrentia (Mm <sup>3</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )	%
0 - 50	268.278	6.5
51 - 100	478.560	11.5
101 - 150	818.942	19.7
151 - 200	833.672	20.1
201 - 250	652.603	15.7
251 - 300	452.831	10.9
>300	651.165	15.7
<b>Total</b>	<b>4156.05</b>	<b>100</b>

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- × Puntos Acotados
- Poblados
- Cuenca del Río Catamayo
- Principales cuerpos de agua
- Red de Drenaje
- Limite de Microcuencas



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



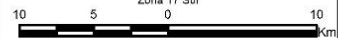
**TESIS DE GRADO:** "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"

**CONTIENE:** **MAPA DE VOLUMENES DE ESCORRENTÍA**

<b>AUTOR:</b> Alex Cuenca Rosillo	<b>DIRECTOR:</b> Ing. Aníbal González Mg. Sc.	<b>ESCALA:</b> Representación: 480000 Trabajo: 100000	<b>MAPA:</b> 2 DE 18	<b>FECHA:</b> Diciembre 2014
--------------------------------------	--	---	-------------------------	---------------------------------

1:480000

Proyección Universal Transversa de Mercator UTM  
 Datum Horizontal WGS 84  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estación Mareográfica  
 La Libertad, Provincia de Santa Elena  
 Zona 17 Sur



580000

600000

620000

640000

660000

680000

700000

#### 4.1.6. Cálculo del escurrimiento en términos de lámina (mm)

Debido a las buenas condiciones hidrológicas de la cuenca, la escorrentía promedio anual más representativa de la cuenca del río Catamayo se encuentra entre los 1000 y 1250 mm ocupando una superficie de 1145,75 km<sup>2</sup> (27,6%) de la superficie total, que se evidencia en la parte alta de la cuenca, conformada por las cuencas de los ríos Palmira, Aguacolla, Yangana y Campanas con escorrentías mayores a 1250 mm, en la parte media por las cuencas del río Playas y las quebradas Pishinamaca y Trapichillo que registran más de 1750 mm de escorrentía anual, y en la parte baja el río Tangula y la quebrada Yaraco que no sobrepasan los 1000 mm.

**Cuadro 7.** Escorrentía promedio anual de la cuenca del río Catamayo

Escorrentía (mm)	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
< 250	8.79	0.2
250 -500	364.37	8.8
500 -750	746.40	18.0
750 -1000	1121.56	27.0
1000 -1250	1145.75	27.6
1250 -1500	543.98	13.1
1500 -1750	168.69	4.1
> 1750	56.53	1.4
TOTAL	4156.05	100.0

580000

600000

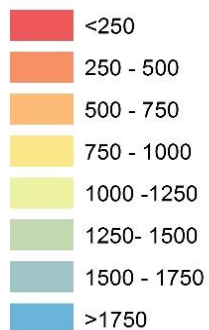
620000

640000

660000

680000

700000

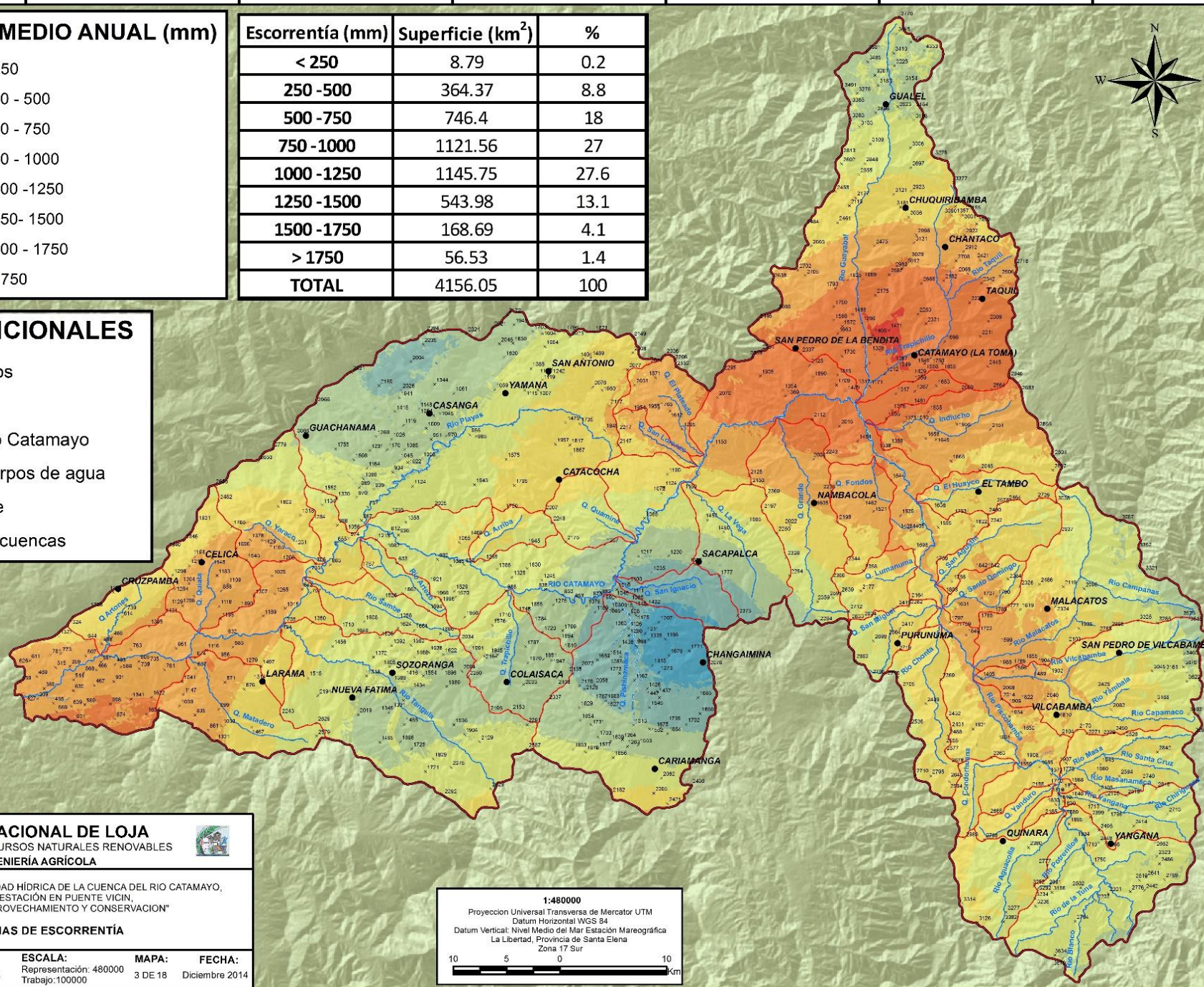
**ESCORRENTIA PROMEDIO ANUAL (mm)**

Escorrentía (mm)	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
< 250	8.79	0.2
250 - 500	364.37	8.8
500 - 750	746.4	18
750 - 1000	1121.56	27
1000 - 1250	1145.75	27.6
1250 - 1500	543.98	13.1
1500 - 1750	168.69	4.1
> 1750	56.53	1.4
<b>TOTAL</b>	<b>4156.05</b>	<b>100</b>

Escorrentía (mm)	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
< 250	8.79	0.2
250 - 500	364.37	8.8
500 - 750	746.4	18
750 - 1000	1121.56	27
1000 - 1250	1145.75	27.6
1250 - 1500	543.98	13.1
1500 - 1750	168.69	4.1
> 1750	56.53	1.4
<b>TOTAL</b>	<b>4156.05</b>	<b>100</b>

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- × Puntos Acotados
- Poblados
- Cuenca del Río Catamayo
- Principales cuerpos de agua
- Red de Drenaje
- Limite de Microcuencas



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERIA AGRICOLA



TESIS DE GRADO: "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"

CONTIENE:  
**MAPA DE LAMINAS DE ESCORRENTÍA**

AUTOR:

Alex Cuenca Rosillo

DIRECTOR:

Ing. Anibal González Mg. Sc.

ESCALA:

Representación: 480000  
Trabajo: 100000

MAPA:

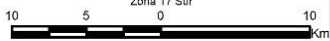
3 DE 18

FECHA:

Diciembre 2014

1:480000

Proyeccion Universal Transversera de Mercator UTM  
 Datum Horizontal WGS 84  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estación Mareográfica  
 La Libertad, Provincia de Santa Elena  
 Zona 17 Sur



580000

600000

620000

640000

660000

680000

700000

## 4.2. Disponibilidad de agua en cuencas sin registros hidrológicos

### 4.2.1. Análisis Morfométrico

Para la estimación de la disponibilidad del recurso hídrico, se realizó un análisis morfométrico de toda la cuenca, seguido del análisis de precipitación, para extraer los volúmenes de aporte de cada cuenca.

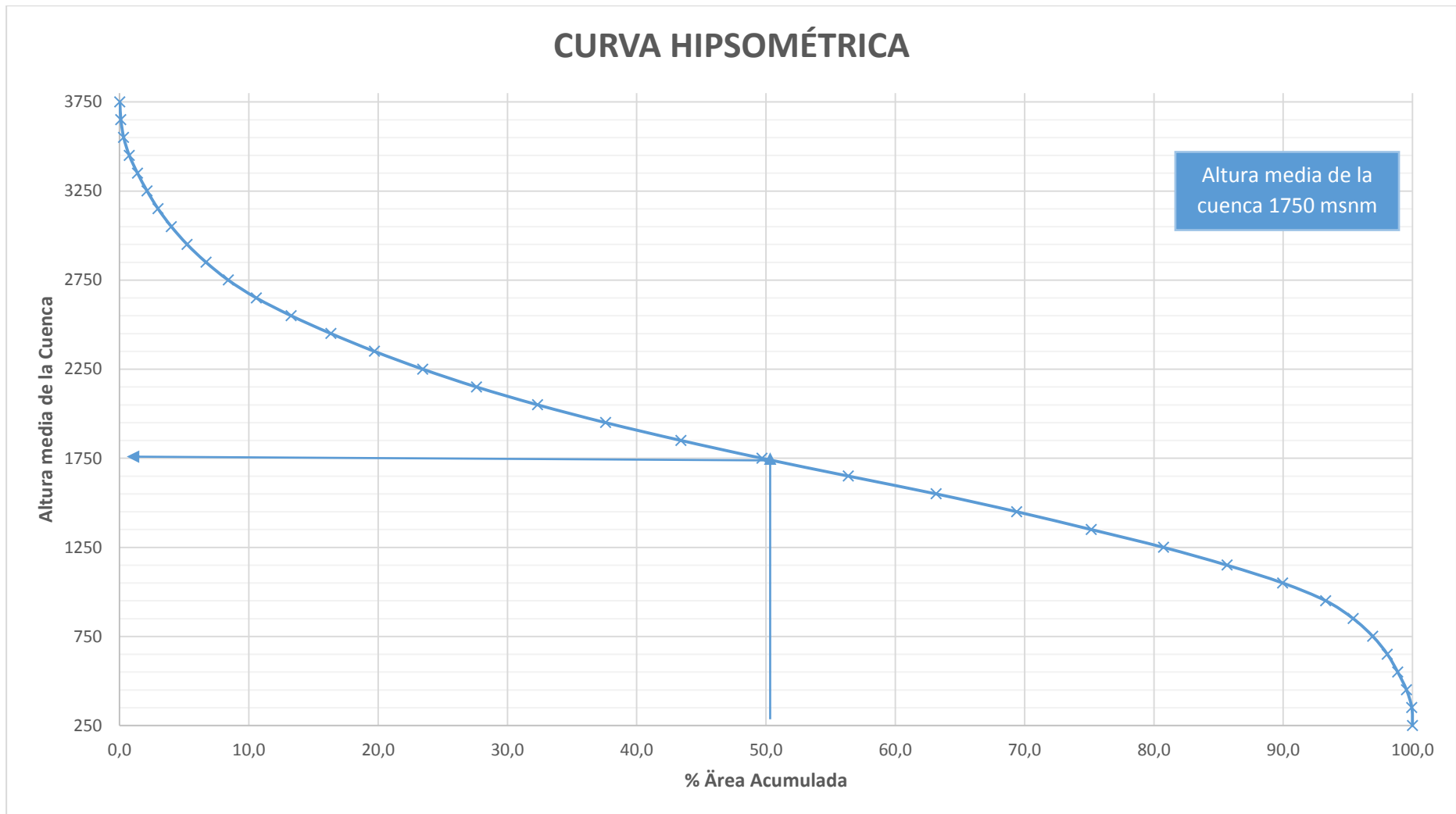
**Cuadro 8.** Parámetros morfométricos de la cuenca del río Catamayo hasta la estación de estudio.

Factor	Unidad	Valor	Interpretación
<b>Morfometría de la cuenca</b>			
Área	Km <sup>2</sup>	4156,05	Cuenca grande
Perímetro	Km	442,79	
Longitud axial	km	110	
Coeficiente de compacidad		1,94	Rectangular oblonga
<b>Fisiografía</b>			
Altitud media	msnm	1750	
Pendiente media de la cuenca	%	37,91	
Pendiente promedio del cauce	°	1,82	
<b>Morfometría de drenaje</b>			
Densidad de drenaje	km/km <sup>2</sup>	1,81	Drenaje Moderado
Densidad de red de cauces	Cauces/km <sup>2</sup>	2,27	
Tiempo de concentración	hr	20.57	

El área de estudio posee una superficie de; (4156,05 Km<sup>2</sup>), se la clasificó según el criterio de Máximo Villón 2002, como una **cuenca grande**, debido a la superficie que abarca, tiene un perímetro de 442.79 Km y una longitud axial de 110 Km tomada desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto más bajo, que en este caso es la desembocadura (estación en puente Vicin).

Según el índice de compacidad (K) de Gravelius, 1.94, se la clasificó como una cuenca con tendencia a **rectangular oblonga**, debido a que su coeficiente es mayor a la unidad y por ende de forma rectangular, no es propensa a crecidas violentas o rápidas y ni de gran magnitud, este fenómeno sucede en cuencas grandes, en este caso como se la clasificó como una cuenca grande los caudales violentos o de gran magnitud no sucederán, en caso de que la precipitación como la intensidad sean de larga duración puede existir la posibilidad de que ocurra un evento extraordinario.





**Figura 19.** Altura media de la cuenca, a partir de la curva hipsométrica

La altura media de la cuenca es de 1750 msnm, valor obtenido mediante la interpretación de la curva hipsométrica, indicando que es una cuenca en equilibrio (en estado de madurez),

La pendiente media de la cuenca por su valor de 37,91%, indica que es una cuenca con alta pendiente, al mismo tiempo que su velocidad de escurrimiento es mayor y por ende la capacidad de infiltración es menor. El valor de la pendiente media del cauce es de 1,82°, indicando que es un cauce accidentado medio.

La densidad de drenaje 1,81 km/km<sup>2</sup>, según las leyes de Horton; es una cuenca moderadamente drenada, esto se debe a dos factores: el tipo de geología que presenta la cuenca y la otra por la intervención antrópica, principalmente por la deforestación. Ver anexo 15, Foto. 12, 14

La densidad de red de cauces con su valor de 2,27 cauces/km<sup>2</sup> nos indica que, es una cuenca con bastantes ríos, quebradas permanentes y perennes, lo que origina que cuando se presenten épocas de invierno y no se tomen las debidas precauciones se pierdan cultivos y en algunos casos se produzcan desastres, como la perdida de las estaciones limnimétricas que si ha sucedido, etc.

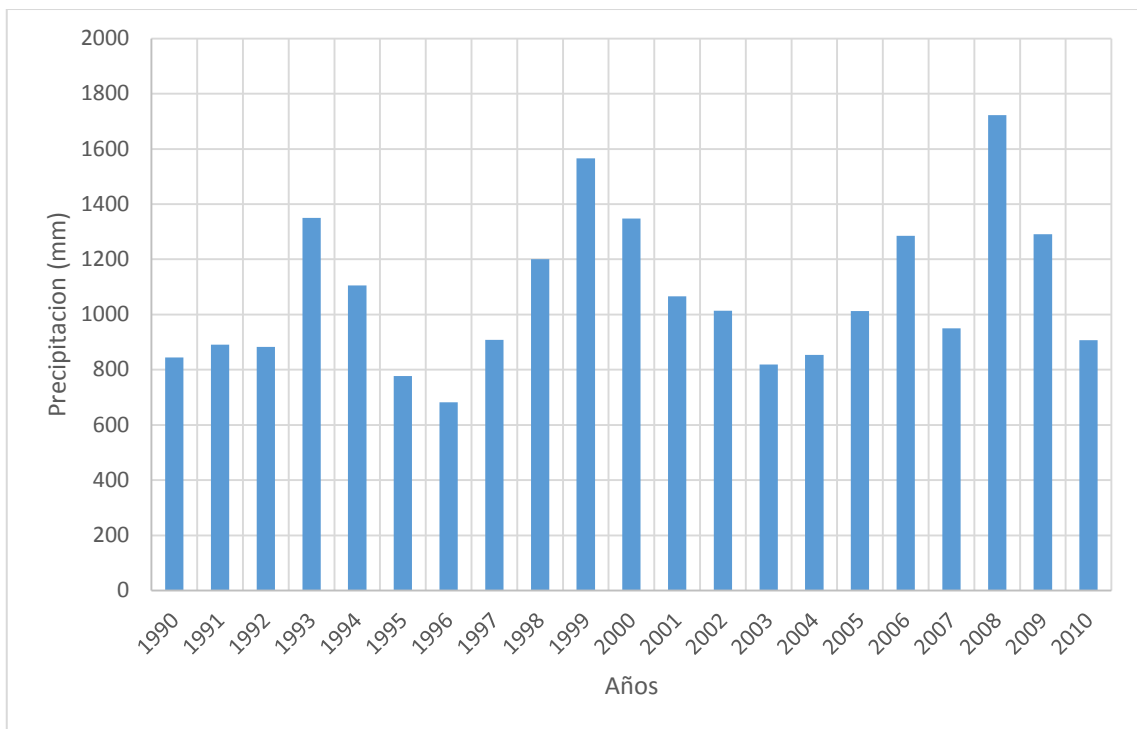
#### **4.2.2. Precipitación media de la cuenca**

La precipitación de la cuenca en el periodo 1990- 2010, muestra un ciclo dinámico, de acuerdo a las anomalías extraídas de la serie de tiempo; su comportamiento general indica la existencia de fenómenos lluviosos de mayor intensidad acentuados en los años 1993, 1999, 2000, 2006, 2008 y 2009, mientras que los eventos menos intensos o periodos secos se encierran en el año 1995 y 1996 (Ver figura 20).

El análisis espacial – temporal de la cuenca permite observar la estacionalidad de la precipitación, tal es el caso que en las épocas de invierno y verano están bien definidas (ver figura 22); marcando las mayores precipitaciones en los primeros cuatro meses del año lo que equivale al 70.6 % del total anual (1070.2 mm).

Lo contrario ocurre en el periodo seco que marca el final del periodo lluvioso, que inicia a partir de Mayo con reaparición de lluvias en Octubre continuando con importantes aportes hasta finales del año. Durante esa temporada, Agosto resulta ser el mes más seco, cuyos valores de precipitación son de 11.4 mm seguido de Julio con 14.0 mm.

La parte baja comprendida entre los 280 y 1500 msnm. En la cual se asientan los poblados como: Vicin, Cruzpamba, Larama, Celica, Catacocha, Catamayo, Nambacola, El Tambo, Malacatos, Vilcabamba, Quinara, entre otros, presenta un régimen bajo de precipitación que oscila entre los 400 y 1200 mm anuales; la parte media que comprende los poblados de Casanga, Yamana, San Antonio, Colaisaca, Cariamanga, Sacapalca, Yangana va desde los 1500 a 2100 msnm., tiene una precipitación fluctuante de 1200 y 1500, mientras que en la parte alta entre los 2100 y 3800 msnm., varía entre 1500 y 2300 mm, representando un régimen pluviométrico alto. En el mapa 13 se representan las precipitaciones anuales (mm).



**Figura 20.** Precipitación media de la cuenca del río Catamayo (mm/año)

De acuerdo a la tendencia de precipitación observada en el periodo de estudio, se tiene un incremento de 12.90 mm en todo el periodo de estudio, lo mismo que sucede con los caudales que se analizó para el mismo periodo. Así como se indica en el Hietograma en la figura 23 donde los meses con mayores precipitaciones, tienen caudales mayores, modificando así los meses siguientes, donde disminuyen las precipitaciones.

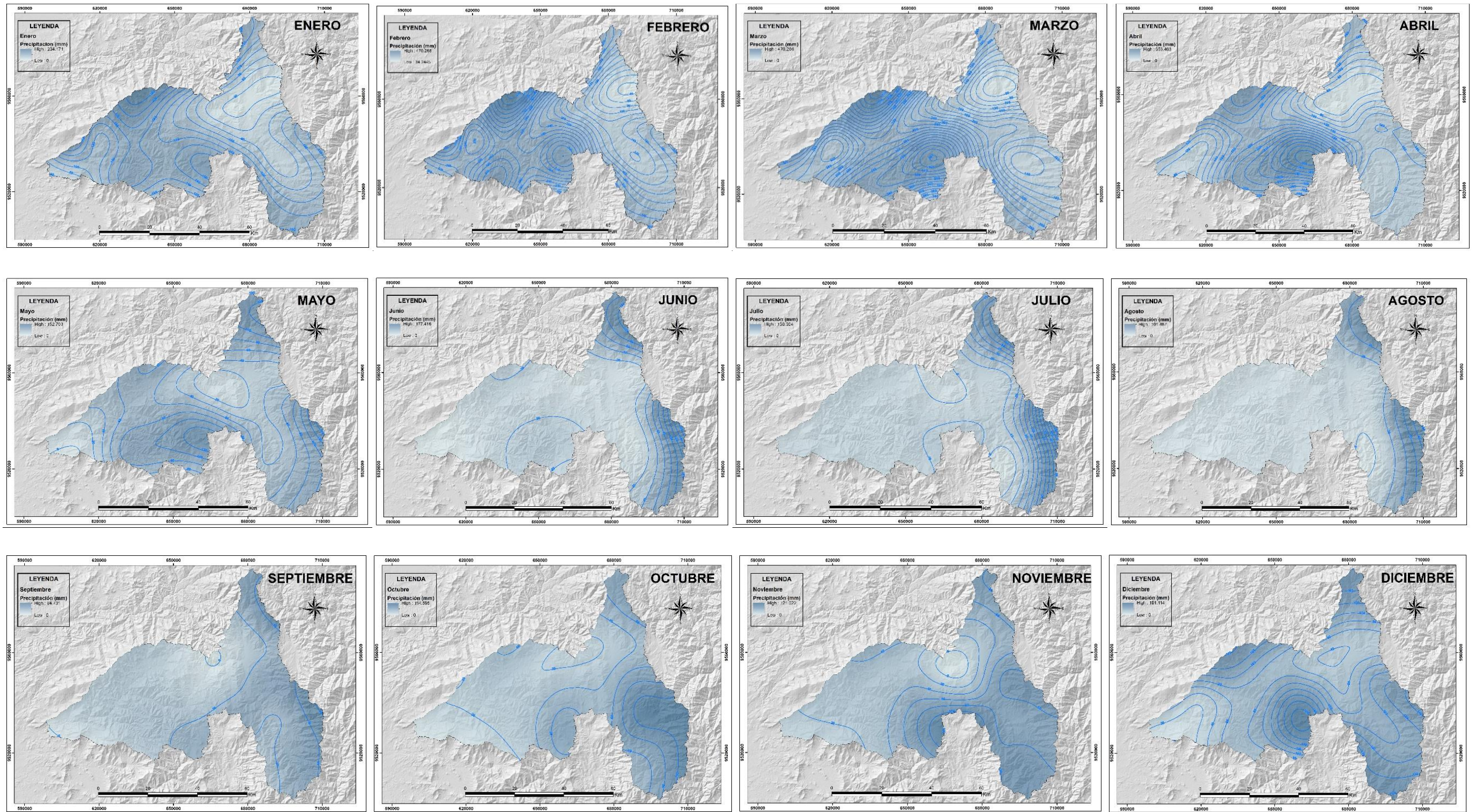
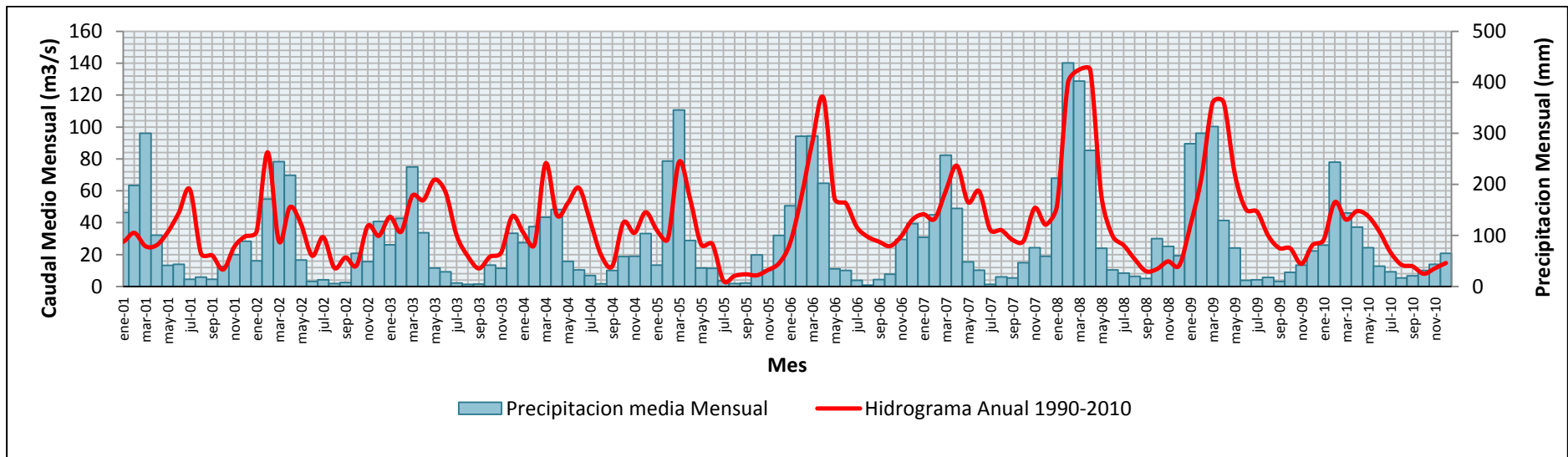
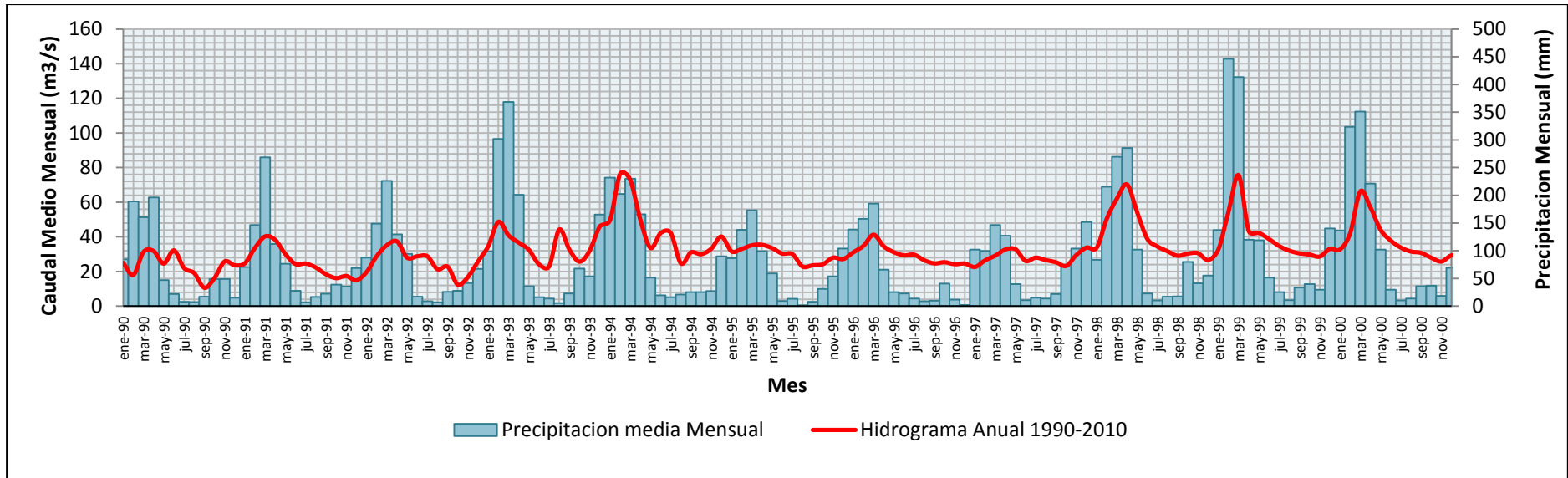


Figura 22. Distribución espacio – temporal de la precipitación mensual de la cuenca del rio Catamayo.

**Cuadro 9.** Precipitación mensual (mm) de la cuenca del río Catamayo

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	IO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	MEDIA
1990	84.5	189.0	160.6	196.2	47.2	22.0	7.7	7.6	16.9	48.9	48.8	15.4	844.6	70.4
1991	70.8	146.6	268.6	112.1	76.4	27.6	6.9	16.7	22.4	39.0	35.2	68.9	891.2	74.3
1992	87.5	148.9	226.2	129.5	94.4	17.2	8.7	6.8	25.9	27.7	41.9	67.5	882.2	73.5
1993	98.6	301.7	368.6	201.0	35.9	16.1	13.8	5.4	22.8	67.5	53.8	165.2	1350.4	112.5
1994	231.8	202.4	229.7	165.7	51.2	19.7	15.9	21.1	25.4	25.2	27.4	90.1	1105.7	92.1
1995	86.5	138.0	172.8	99.3	59.1	9.3	13.0	1.5	8.0	31.2	54.0	104.1	776.8	64.7
1996	138.0	157.8	185.0	66.0	25.2	23.1	13.6	8.7	9.7	40.8	12.0	1.9	681.8	56.8
1997	102.1	99.8	146.2	127.3	40.0	10.7	15.0	13.9	21.9	75.1	104.1	152.0	908.1	75.7
1998	83.6	215.6	269.5	285.4	102.2	22.9	10.5	16.9	17.6	79.9	41.2	55.3	1200.5	100.0
1999	137.4	446.3	413.3	119.9	118.7	51.2	25.2	11.0	33.4	40.0	29.8	140.1	1566.2	130.5
2000	136.1	323.7	351.0	221.2	102.3	29.7	10.2	13.5	35.9	36.7	18.5	69.0	1347.9	112.3
2001	145.1	197.9	300.1	100.8	41.6	43.8	14.5	18.3	14.0	39.1	62.5	88.7	1066.5	88.9
2002	50.4	171.3	244.6	218.1	51.7	10.1	13.2	5.7	8.0	64.8	48.9	127.1	1014.0	84.5
2003	81.8	133.5	234.4	105.4	36.5	28.8	7.1	4.2	5.0	42.1	35.6	104.1	818.4	68.2
2004	86.1	117.5	136.0	151.2	49.5	32.8	21.8	5.5	31.7	58.6	59.1	103.7	853.3	71.1
2005	41.9	245.7	345.5	90.3	36.0	35.5	10.9	6.1	6.9	61.7	32.3	100.2	1013.0	84.4
2006	158.4	294.7	295.0	202.3	34.9	31.3	12.3	2.8	13.5	23.9	92.4	123.4	1284.9	107.1
2007	96.5	140.3	257.1	153.3	48.1	31.8	4.4	19.0	17.0	46.6	75.9	59.5	949.5	79.1
2008	212.1	437.8	402.1	266.7	75.0	32.5	26.3	20.2	15.9	93.9	78.8	60.5	1721.9	143.5
2009	279.8	300.0	313.1	129.3	75.4	12.4	13.4	18.1	9.9	27.8	42.0	69.6	1290.9	107.6
2010	81.2	243.6	144.0	116.1	75.9	39.9	28.7	16.6	21.0	31.7	43.3	65.2	907.3	75.6
<b>SUMA</b>	<b>2490.4</b>	<b>4652.1</b>	<b>5463.3</b>	<b>3257.0</b>	<b>1277.2</b>	<b>548.3</b>	<b>293.3</b>	<b>239.5</b>	<b>382.6</b>	<b>1002.2</b>	<b>1037.6</b>	<b>1831.5</b>	<b>22475.0</b>	<b>1872.9</b>
MAX	279.8	446.3	413.3	285.4	118.7	51.2	28.7	21.1	35.9	93.9	104.1	165.2	1721.9	143.5
MED	118.6	221.5	260.2	155.1	60.8	26.1	14.0	11.4	18.2	47.7	49.4	87.2	1070.2	89.2
MIN	41.9	99.8	136.0	66.0	25.2	9.3	4.4	1.5	5.0	23.9	12.0	1.9	681.8	56.8
DESV	60.4	98.3	85.1	59.7	26.5	11.4	6.5	6.4	8.9	19.7	23.3	41.1	271.9	22.7
CV (%)	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.3	0.3



**Figura 23.** Hidrograma y Hietograma de la cuenca del Río Catamayo Periodo 1990- 2010

#### **4.2.2.1. Escurrecimientos superficiales generados a través de métodos indirectos**

##### **4.2.2.1.1. Método Racional**

De acuerdo a la metodología aplicada se obtuvieron 252 mapas de volúmenes de escorrentía en formato raster, representando los mismos todo el periodo de estudio, es decir un mapa por cada mes de los 21 años de estudio, los mismos que fueron analizados y procesados minuciosamente para obtener los volúmenes promedio para el estudio (ver cuadro 10).

Los volúmenes de escorrentía de la cuenca obtenidos a partir del método racional, varían en los meses de Diciembre a Abril, entre 191 Mm<sup>3</sup> y 576 Mm<sup>3</sup>, que mantienen una relación directa con las precipitaciones, lo contrario sucede en los meses subsiguientes es decir de Mayo a Noviembre los volúmenes varían de 134Mm<sup>3</sup> a 25Mm<sup>3</sup>, producto de la distribución espacio – temporal de las precipitaciones, ya que los remanentes de los meses lluviosos, modifican los volúmenes de los meses subsiguientes, obteniendo un volumen promedio anual de 2363, 15 Mm<sup>3</sup> en toda la serie de estudio.

De acuerdo al análisis realizado para todo el periodo de estudio de la cuenca el 23,4 % de la superficie, tiene volúmenes de escorrentía de 201 a 250 Mm<sup>3</sup>, que son aportes de las partes más altas de la cuenca, con una superficie de 973 Km<sup>2</sup>, así mismo existen un 21,5 % de la superficie con volúmenes de escorrentía > 300 Mm<sup>3</sup>, siendo estos los lugares donde las precipitaciones se extienden por mayor tiempo y las que garantizan la permanencia de los caudales durante casi todo año.

Los caudales generados con el método racional tienen un coeficiente de correlación de 0.60 con los caudales reales calculados en la estación, debido al proceso de relleno de datos realizado en la estación de estudio, a la inestabilidad de la misma, y asumiendo que los caudales calculados en la estación son remanentes, luego de abastecer en su recorrido a toda la cuenca de estudio.

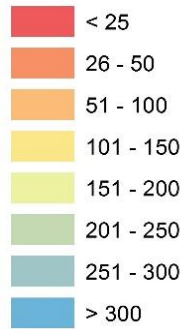


**Cuadro 10.** Volúmenes de escurrimiento estimados a través del Método Racional para la cuenca del Río Catamayo.

<b>AÑO</b>	<b>ENERO</b>	<b>FEBRERO</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>	<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>OCTUBRE</b>	<b>NOVIEMBRE</b>	<b>DICIEMBRE</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1990</b>	187.2	419.0	352.4	431.7	105.6	49.3	16.5	16.5	36.3	106.7	105.0	33.4	1859.7
<b>1991</b>	155.9	328.3	593.4	250.0	170.5	61.7	15.2	37.3	47.8	85.5	76.2	152.3	1974.1
<b>1992</b>	196.1	331.7	505.8	286.7	209.4	38.4	19.3	15.0	56.1	59.6	90.0	148.2	1956.2
<b>1993</b>	217.5	676.2	817.3	441.1	80.3	35.2	29.8	11.6	48.7	144.6	118.4	363.1	2984.0
<b>1994</b>	512.2	446.4	508.2	365.4	113.9	43.7	35.0	45.8	52.9	54.8	58.5	200.3	2437.1
<b>1995</b>	194.2	308.8	384.4	219.8	131.0	21.2	28.4	3.4	17.0	66.0	116.6	228.6	1719.3
<b>1996</b>	311.6	350.6	409.6	141.5	55.9	49.2	29.0	19.2	21.3	87.7	25.6	4.2	1505.5
<b>1997</b>	226.6	224.4	327.0	278.2	89.5	24.2	33.4	30.5	48.1	164.7	228.3	337.5	2012.4
<b>1998</b>	184.4	478.8	595.9	629.2	225.9	51.3	23.1	36.8	38.8	172.3	87.7	121.4	2645.6
<b>1999</b>	303.2	977.6	906.2	266.9	262.7	112.8	55.2	24.5	71.3	83.3	64.3	305.9	3433.9
<b>2000</b>	300.7	717.3	770.6	487.8	224.8	65.7	22.9	30.1	78.6	76.5	38.7	147.8	2961.5
<b>2001</b>	321.5	438.3	670.1	224.7	91.2	95.8	32.4	40.4	31.1	84.6	137.9	194.1	2362.2
<b>2002</b>	110.8	387.1	546.4	486.0	113.9	22.7	29.0	12.7	15.6	142.0	104.3	280.0	2250.5
<b>2003</b>	182.9	297.9	519.5	229.0	80.1	63.9	15.7	9.7	10.3	88.9	75.7	233.4	1807.0
<b>2004</b>	196.0	265.8	303.5	332.7	109.3	73.1	48.4	12.2	69.7	128.4	126.7	228.2	1893.9
<b>2005</b>	94.0	549.7	764.9	201.6	77.8	79.9	25.0	14.0	15.9	132.3	70.8	218.9	2244.7
<b>2006</b>	355.4	657.8	646.4	444.5	78.4	68.9	26.2	6.2	30.5	53.1	195.6	270.3	2833.3
<b>2007</b>	216.5	313.7	574.1	334.1	105.1	70.8	9.8	42.1	37.8	98.6	160.5	129.4	2092.6
<b>2008</b>	475.2	972.4	893.1	587.5	165.8	71.4	59.8	44.3	34.1	202.8	171.6	126.7	3804.6
<b>2009</b>	613.4	664.9	691.9	283.3	165.5	27.1	29.7	40.3	22.5	60.3	94.6	153.1	2846.7
<b>2010</b>	184.0	543.1	316.8	257.4	164.7	87.1	61.5	36.6	46.9	69.6	92.2	141.6	2001.5
<b>MAX</b>	613.37	977.61	906.17	629.17	262.65	112.76	61.53	45.82	78.57	202.78	228.30	363.15	3804.60
<b>MED</b>	263.77	492.86	576.07	341.85	134.35	57.79	30.73	25.19	39.59	102.96	106.64	191.36	2363.15
<b>MIN</b>	93.97	224.44	303.48	141.53	55.94	21.23	9.84	3.36	10.31	53.05	25.56	4.24	1505.47
<b>DESV</b>	133.08	216.14	187.18	131.73	58.40	25.06	14.41	14.01	19.35	42.74	50.46	90.98	596.31
<b>CV (%)</b>	0.50	0.44	0.32	0.39	0.43	0.43	0.47	0.56	0.49	0.42	0.47	0.48	0.25

580000 600000 620000 640000 660000 680000 700000

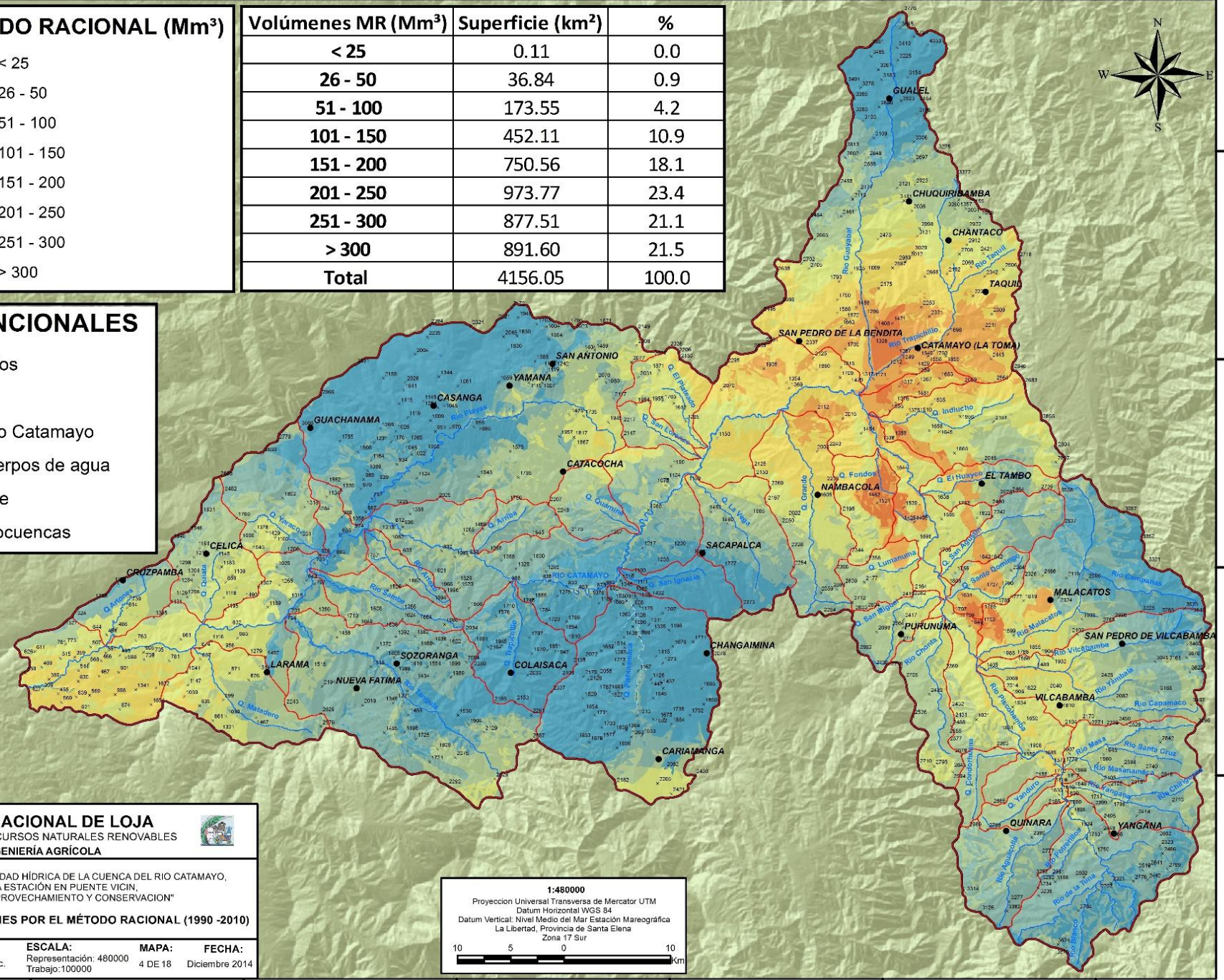
**VOLÚMENES MÉTODO RACIONAL (Mm<sup>3</sup>)**



Volúmenes MR (Mm <sup>3</sup> )	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
< 25	0.11	0.0
26 - 50	36.84	0.9
51 - 100	173.55	4.2
101 - 150	452.11	10.9
151 - 200	750.56	18.1
201 - 250	973.77	23.4
251 - 300	877.51	21.1
> 300	891.60	21.5
<b>Total</b>	<b>4156.05</b>	<b>100.0</b>

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- × Puntos Acotados
- Poblados
- Cuenca del Río Catamayo
- Principales cuerpos de agua
- Red de Drenaje
- Limite de Microcuencas



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERIA AGRICOLA

TESIS DE GRADO: "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"

CONTIENE: MAPA DE ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES POR EL MÉTODO RACIONAL (1990 -2010)

AUTOR: Alex Cuenca Rosillo    DIRECTOR: Ing. Anibal González Mg. Sc.    ESCALA: Representación: 480000 Trabajo: 100000    MAPA: 4 DE 18    FECHA: Diciembre 2014

1:480000  
 Proyeccion Universal Transversa de Mercator UTM  
 Datum Horizontal WGS 84  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estación Mareográfica La Libertad, Provincia de Santa Elena  
 Zona 17 Sur

580000 600000 620000 640000 660000 680000 700000

#### 4.2.2.1.1. Método Número de Curva

Al igual que en el método racional, aplicando la metodología señalada, se intercepto las diferentes capas para obtener 252 mapas de volúmenes de esorrentía en formato raster, representando los mismos todo el periodo de estudio, es decir un mapa por cada mes de los 21 años de estudio, los mismos que fueron analizados y procesados minuciosamente para obtener los volúmenes promedio para el estudio (ver cuadro 11).

Los volúmenes de esorrentía de la cuenca obtenidos a partir del método del número de curva, permiten hacer una abstracción al igual que con el método racional, estos varían en los meses de Diciembre a Abril, entre 108 Mm<sup>3</sup> y 766 Mm<sup>3</sup>, manteniendo una relación directa proporcional con las precipitaciones, a mayor precipitación mayor volumen de esorrentía, lo contrario sucede en los meses subsiguientes es decir de Mayo a Noviembre los volúmenes varían de 82 Mm<sup>3</sup> a 21 Mm<sup>3</sup>, producto de la distribución espacio – temporal de las precipitaciones, ya que los remanentes de los meses lluviosos, modifican los volúmenes de los meses subsiguientes, obteniendo un volumen promedio anual de 2616, 73 Mm<sup>3</sup> en toda la serie de estudio.

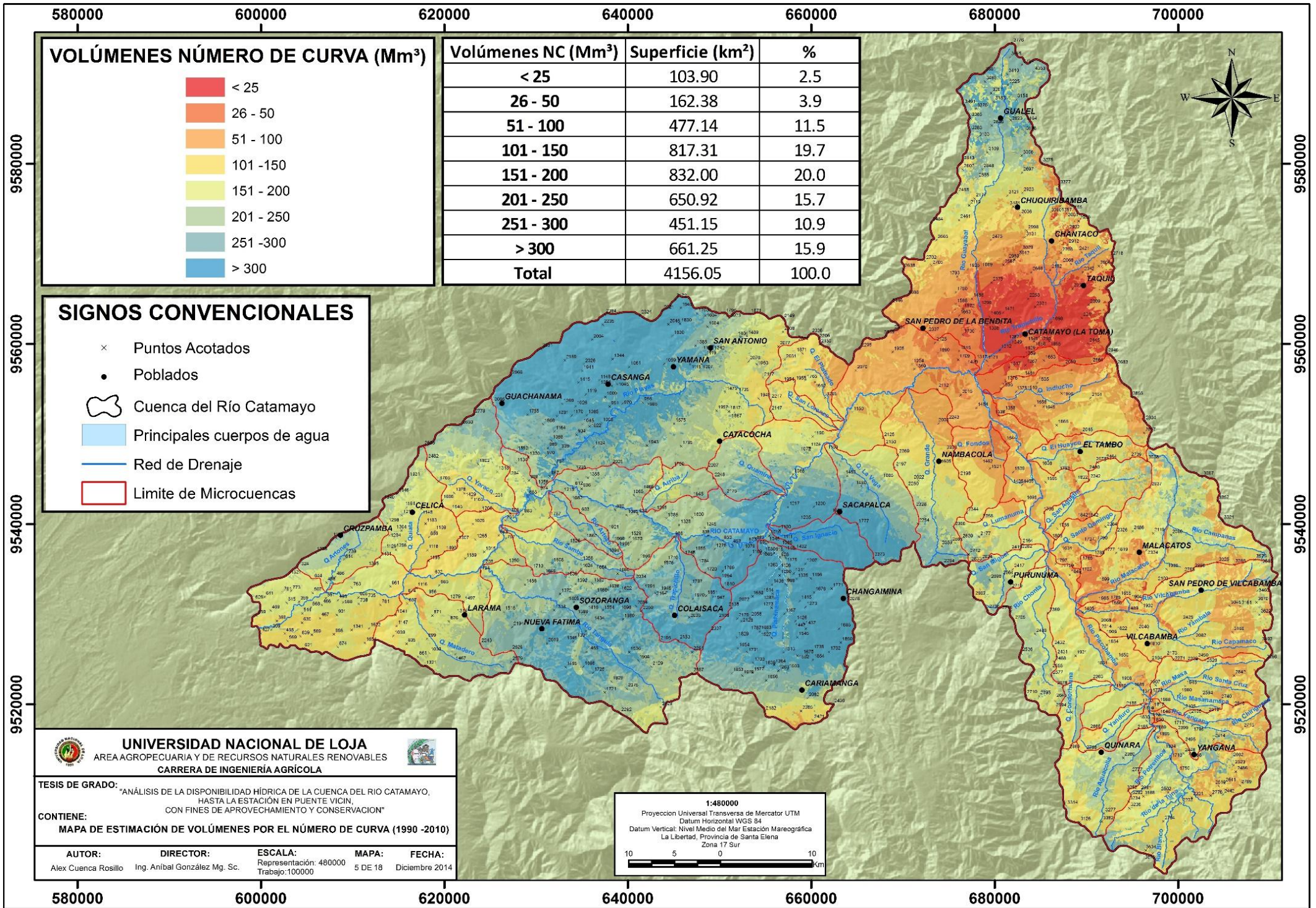
De acuerdo al análisis realizado por el método del número de curva para todo el periodo de estudio de la cuenca el 20,0 % de la superficie (832 km<sup>2</sup>), tiene volúmenes de esorrentía de 251 a 200 Mm<sup>3</sup>, que al igual que en el método racional las partes más altas de la cuenca aportan permanentemente, así mismo existen un 15,9 % de la superficie con volúmenes de esorrentía > 300 Mm<sup>3</sup>, siendo estos los lugares donde las precipitaciones se extienden por mayor tiempo y las que garantizan la permanencia de los caudales durante casi todo año.

Los caudales generados con el método racional tienen un coeficiente de correlación de 0.61 con los caudales reales calculados en la estación, debido a las condiciones antes mencionadas de la estación en estudio, cabe recalcar que entre los dos métodos empíricos existe un coeficiente de correlación del 0.98, lo cual permite aprobar la hipótesis:

***“Con la información hidrológica existente y a través de los modelos empíricos para la generación de caudales utilizados, es posible identificar, con mucha aproximación, las zonas de mayor aporte hídrico de la cuenca con fines de aprovechamiento y conservación”***

**Cuadro 11.** Volúmenes de escurrimiento estimados a través del Método del Número de Curva para la cuenca del Río Catamayo.

<b>AÑO</b>	<b>ENERO</b>	<b>FEBRERO</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>	<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>OCTUBRE</b>	<b>NOVIEMBRE</b>	<b>DICIEMBRE</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1990</b>	141.5	481.0	365.8	508.2	82.0	19.0	28.1	25.4	39.8	69.7	50.0	6.4	1817.0
<b>1991</b>	126.8	337.3	777.4	240.6	129.1	24.2	17.1	32.3	16.2	43.8	39.2	107.6	1891.7
<b>1992</b>	142.3	339.8	628.9	302.8	185.9	22.1	19.9	14.4	23.3	24.7	44.6	96.2	1844.9
<b>1993</b>	183.9	1071.4	1083.5	279.5	31.5	21.6	30.4	15.5	43.4	117.0	67.9	407.9	3353.4
<b>1994</b>	657.8	603.9	667.5	427.1	124.4	34.0	27.1	32.8	17.8	88.9	25.1	168.4	2874.6
<b>1995</b>	169.1	307.4	436.4	198.1	73.9	18.9	10.9	17.2	9.0	44.7	67.9	241.3	1594.9
<b>1996</b>	310.6	370.2	637.2	133.0	42.6	37.9	29.5	15.2	23.7	51.6	38.3	18.4	1708.1
<b>1997</b>	126.8	186.2	363.9	311.4	61.3	40.7	34.5	23.5	21.4	124.7	205.2	469.8	1969.3
<b>1998</b>	261.6	612.0	799.2	790.8	228.9	27.5	22.6	10.1	19.9	136.5	47.8	60.9	3017.9
<b>1999</b>	355.3	1440.2	1444.7	300.0	262.0	91.4	27.2	20.4	32.3	40.5	31.4	312.7	4358.1
<b>2000</b>	288.9	1002.2	1110.4	604.3	112.2	22.0	20.4	19.1	79.4	39.7	14.5	87.7	3400.7
<b>2001</b>	343.7	573.6	929.8	212.4	42.9	99.0	23.1	43.9	17.5	44.4	82.9	144.1	2557.2
<b>2002</b>	56.6	446.4	717.2	628.9	71.0	29.9	24.1	14.6	21.8	92.2	147.0	307.4	2557.1
<b>2003</b>	131.5	288.4	663.7	221.8	84.3	27.2	24.5	17.4	28.4	61.7	34.1	203.7	1786.7
<b>2004</b>	174.3	308.5	123.0	354.6	60.3	52.0	35.3	14.3	30.2	75.2	132.3	185.9	1546.0
<b>2005</b>	97.2	703.7	1083.2	208.4	133.1	48.8	22.3	19.5	17.5	103.5	22.4	186.6	2646.3
<b>2006</b>	402.5	882.9	890.4	602.6	51.8	54.9	9.7	15.8	15.7	28.6	214.9	296.9	3466.8
<b>2007</b>	181.8	317.9	745.1	399.2	133.6	78.2	13.3	33.8	16.9	64.3	183.4	107.4	2275.0
<b>2008</b>	633.8	1453.1	1307.3	814.2	70.2	19.4	51.9	28.6	11.6	212.9	160.1	125.2	4888.3
<b>2009</b>	895.8	917.7	965.7	234.4	112.2	26.0	19.8	18.0	16.8	25.1	66.2	111.2	3408.7
<b>2010</b>	139.5	678.8	358.2	235.2	180.6	114.8	38.7	21.4	16.9	23.4	55.3	125.6	1988.6
<b>MAX</b>	895.79	1453.07	1444.66	814.16	261.98	114.81	51.92	43.91	79.44	212.85	214.92	469.81	4888.29
<b>MED</b>	277.20	634.41	766.59	381.31	108.28	43.31	25.26	21.59	24.73	72.05	82.41	179.59	2616.73
<b>MIN</b>	56.59	186.19	123.05	133.01	31.49	18.92	9.75	10.10	8.95	23.37	14.48	6.43	1546.00
<b>DESV</b>	215.12	369.96	333.58	200.52	62.81	28.81	9.74	8.40	15.22	46.97	63.59	121.74	930.90
<b>CV (%)</b>	0.78	0.58	0.44	0.53	0.58	0.67	0.39	0.39	0.62	0.65	0.77	0.68	0.36



**VOLÚMENES NÚMERO DE CURVA (Mm<sup>3</sup>)**

<span style="color: red;">■</span>	< 25
<span style="color: orange;">■</span>	26 - 50
<span style="color: yellow;">■</span>	51 - 100
<span style="color: lightgreen;">■</span>	101 - 150
<span style="color: green;">■</span>	151 - 200
<span style="color: teal;">■</span>	201 - 250
<span style="color: blue;">■</span>	251 - 300
<span style="color: darkblue;">■</span>	> 300

Volúmenes NC (Mm <sup>3</sup> )	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
< 25	103.90	2.5
26 - 50	162.38	3.9
51 - 100	477.14	11.5
101 - 150	817.31	19.7
151 - 200	832.00	20.0
201 - 250	650.92	15.7
251 - 300	451.15	10.9
> 300	661.25	15.9
<b>Total</b>	<b>4156.05</b>	<b>100.0</b>

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- × Puntos Acotados
- Poblados
- Cuenca del Río Catamayo
- Principales cuerpos de agua
- Red de Drenaje
- Limite de Microcuencas

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS DE GRADO: "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"

CONTIENE:  
**MAPA DE ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES POR EL NÚMERO DE CURVA (1990 -2010)**

AUTOR: Alex Cuenca Rosillo    DIRECTOR: Ing. Anibal González Mg. Sc.  
 ESCALA: Representación: 480000    MAPA: 5 DE 18    FECHA: Diciembre 2014  
 Trabajo: 100000

1:480000  
 Proyeccion Universal Transversa de Mercator UTM  
 Datum Horizontal WGS 84  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estacion Mareográfica  
 La Libertad, Provincia de Santa Elena  
 Zona 17 Sur

### 4.3. Zonas de mayor aporte hídrico de la cuenca hasta la estación en Pte. Vicin, utilizando los SIG.

#### 4.3.1. Índice de retención y regulación hídrica, IRH

Basados en la curva de duración de caudales medios mensuales observados en (1990- 2010), se calculó el IRH, Los valores obtenidos con la estimación del IRH se agrupan en rangos para facilitar las comparaciones entre áreas y subzonas hidrográficas. De acuerdo al análisis realizado el 43.9 % de la superficie total de la cuenca tiene una alta retención y regulación de humedad; y el 0.9% es muy baja en retención y regulación de humedad, siendo estas superficies de escasa cobertura vegetal y erosión de suelos.

**Cuadro 12.** Índice de regulación y retención hídrica de la cuenca del río Catamayo

Rango de valores del Indicador	Calificación	Descripción	Superficie (Km <sup>2</sup> )	%
>0.85	MUY ALTA	Muy alta retención y regulación de humedad	1757.41	42.3
0.5 – 0.85	ALTA	Alta retención y regulación de humedad	1822.52	43.9
0.65 – 0.5	MODERADA	Media retención y regulación de humedad media	473.48	11.4
0.50 – 0.65	BAJA	Baja retención y regulación de humedad	67.03	1.6
<0.50	MUY BAJA	Muy baja retención y regulación de humedad	35.61	0.9
<b>Total</b>			4156.05	100.0

#### 4.3.2. Índice de Aridez (Ia)

En la cuenca del río Catamayo 3339,96 km<sup>2</sup>, es decir el 80 % de la superficie total, representa altos excedentes de agua, en las partes altas de la cuenca como es Yangana, Vilcabamba, Quinara, Purunuma, Changaimina, Cariamanga, Catacocha Sacapalca, Yamana, Sozoranga, Chuquiribamba están calificadas como áreas de altos excedentes de agua, y en los sitios donde son altamente deficitarios de agua están en Catamayo, en las partes bajas de la cuenca conformada por el río Guayabal y Trapichillo. San Pedro de la Bendita, Nambacola y Taquil se consideran sitios moderados de agua.

**Cuadro 13.** Índice de Aridez de la cuenca del río Catamayo

Rango de valores del Indicador	Calificación	Descripción	Área (Km <sup>2</sup> )	%
<0.15	ALTOS EXCEDENTES	Altos excedentes de agua	3339.96	80.4
0.15 – 0.19	EXCEDENTES	Excedentes de agua	92.35	2.2
0.20 – 0.29	MODERADO Y EXCEDENTES	Moderado y Excedentes de agua	179.96	4.3
0.30 – 0.39	MODERADO	Moderado	175.02	4.2
0.40 – 0.49	BAJO	Moderado y Deficitario	150.76	3.6
0.5 – 0.59	DEFICITARIO	Deficitario de agua	115.19	2.8
>0.60	ALTAMENTE DEFICITARIO	Altamente deficitario de agua	102.81	2.5
<b>Total</b>			<b>4156.05</b>	<b>100.0</b>

Con la finalidad de hacer una valoración de los sitios de mayor aporte hídrico en la cuenca del río Catamayo, a través de los volúmenes generados por métodos empíricos y los indicadores que evalúan la capacidad de regulación del recurso hídrico se determinó, que en la parte alta, la cuenca, del río Palmira, genera un volumen anual promedio de 97.01 Mm<sup>3</sup> y la de río Aguacolla un volumen anual promedio de 44.80 Mm<sup>3</sup>, sitios donde las precipitaciones, su cantidad, intensidad y su distribución en el tiempo; la humedad inicial del suelo; el tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, materia orgánica, pendiente), el tipo de cobertura vegetal existente, son factores determinantes durante una gran parte del año; mismos que garantizan la permanencia regular de los caudales en los ríos, se consideran como sitios con altos excedentes de agua.

**Cuadro 14.** Volúmenes de escurrimiento promedio anuales por cuencas, en la parte alta de la cuenca del río Catamayo

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Volumen de Escurrimiento (Mm <sup>3</sup> )	V/A
Río Malacatos	174.2	104.33	0.60
Río Palmira	145.2	97.01	0.67
Río Vilcabamba	159.2	86.18	0.54
Río Aguacolla	73.6	44.80	0.61
Quebrada Indiucho	106.3	40.62	0.38
Río Masanamaca	65.7	36.09	0.55
Río Yangana	48.8	29.28	0.60
Río Chonta	58.2	29.15	0.50
Quebrada San Agustín	48.2	25.42	0.53
Quebrada San Miguel	34.1	17.53	0.51
Quebrada Huayco	38.1	17.09	0.45
Quebrada Lumanuma	34.8	15.44	0.44

Continuación Cuadro 14.

<b>Quebrada Fondos</b>	46.5	13.73	0.30
<b>Quebrada Condorhuana</b>	20.9	11.15	0.53
<b>Quebrada Santo Domingo</b>	30.7	11.11	0.36
<b>Quebrada Yaduru</b>	17.0	9.27	0.54
<b>Parte alta total</b>	<b>1101.7</b>	<b>588.2</b>	

De acuerdo con González, 2014, en la parte alta de la cuenca del río Catamayo, los volúmenes de escurrimiento mantienen una relación directa con las precipitaciones, ya que en las cuencas altas representan los mayores aportes de agua en este caso para el llamado río Piscopamba, fluctuando un volumen anual promedio de 588,2 Mm<sup>3</sup> para el periodo de estudio, representando el 26 % de los volúmenes escurridos en la cuenca.

**Cuadro 15.** Volúmenes de escurrimiento promedio anuales por cuencas, en la parte media de la cuenca del río Catamayo

<b>Cuenca</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen de Escurrimiento (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>V/A</b>
<b>Río Playas</b>	457.3	251.51	0.55
<b>Río Guayabal y Trapichillo</b>	483.8	211.50	0.44
<b>Quebrada Pishinamaca</b>	235.8	196.81	0.83
<b>Quebrada Trapichillo</b>	79.5	66.71	0.84
<b>Quebrada La Vega</b>	82.8	51.61	0.62
<b>Quebrada Grande</b>	114.4	47.58	0.42
<b>Quebrada San Ignacio</b>	37.5	32.48	0.87
<b>Quebrada Quamine</b>	38.2	21.99	0.58
<b>Quebrada Plateado</b>	42.8	17.90	0.42
<b>Quebrada Arriba</b>	24.8	14.82	0.60
<b>Río Artezo</b>	21.5	13.31	0.62
<b>Quebrada San Lorenzo</b>	20.1	9.73	0.48
<b>Parte Media total</b>	<b>1638.6</b>	<b>936.0</b>	

En la parte media de la cuenca del río Catamayo, los sitios de mayor aporte se encuentran en las cuencas conformadas por las quebradas; San Ignacio con 32.48 Mm<sup>3</sup>, Pishinamaca con 196.81 Mm<sup>3</sup> y Trapichillo con 66.71 Mm<sup>3</sup>, cuencas en las cuales las precipitaciones son mayores en los meses lluviosos y así mismo en la época de estiaje mantienen la permanencia regular de los caudales, las mismas presentan superficies inferiores a las demás, y son áreas que representan una mayor producción hídrica, no es el caso para la cuenca del río Playas aunque su volumen de escurrimiento es alto, los caudales en época de estiaje no son regulares, esta parte de la cuenca representa el 42 % de los volúmenes de escurrimiento.

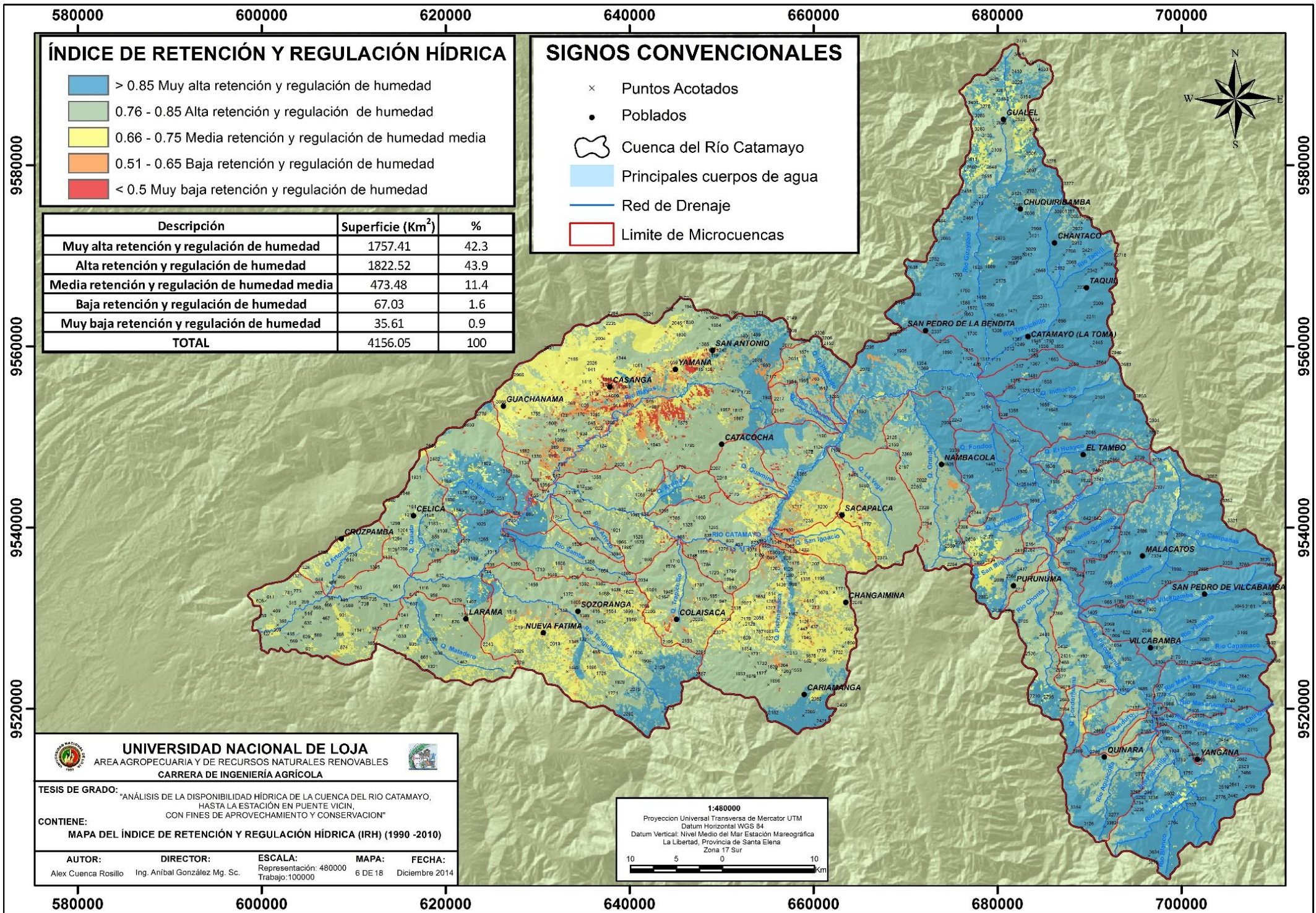


**Cuadro 16.** Volúmenes de escurrimiento promedio anuales por cuencas, en la parte baja de la cuenca del río Catamayo

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Volumen de Escurrimiento (Mm <sup>3</sup> )	V/A
Río Tangula	260.7	171.90	0.66
Quebrada Yaraco	81.5	49.71	0.61
Quebrada Matadero	85.4	40.62	0.48
Quebrada Quiata	69.8	14.88	0.21
Río Sambe	47.8	19.83	0.41
Quebrada Artones	39.4	11.50	0.29
<b>Parte Baja total</b>	<b>584.5</b>	<b>308.4</b>	

En la parte baja de la cuenca, conformada por las cuencas del río Tangula con 171.90 Mm<sup>3</sup> y el río Sambe 29.83 Mm<sup>3</sup> son las de mayor aporte en esta zona, mientras que las quebradas Quiata y Artones vienen a ser zonas áridas y de escasa precipitación la mayor parte del año, debido a las altas temperaturas en esta zonas, la evapotranspiración es mayor que la precipitación, con excepción de los primeros meses, por tal razón son sitios altamente deficitarios de agua, representando el 14% de aporte al río Catamayo.

No se toma en cuenta el área, ni el volumen que genera la zona de transición por el tamaño de las superficies de las cuencas a delimitarse dentro de la misma.



### ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA

- > 0.85 Muy alta retención y regulación de humedad
- 0.76 - 0.85 Alta retención y regulación de humedad
- 0.66 - 0.75 Media retención y regulación de humedad media
- 0.51 - 0.65 Baja retención y regulación de humedad
- < 0.5 Muy baja retención y regulación de humedad

Descripción	Superficie (Km <sup>2</sup> )	%
Muy alta retención y regulación de humedad	1757.41	42.3
Alta retención y regulación de humedad	1822.52	43.9
Media retención y regulación de humedad media	473.48	11.4
Baja retención y regulación de humedad	67.03	1.6
Muy baja retención y regulación de humedad	35.61	0.9
<b>TOTAL</b>	<b>4156.05</b>	<b>100</b>

### SIGNOS CONVENCIONALES

- × Puntos Acotados
- Poblados
- Cuenca del Río Catamayo
- Principales cuerpos de agua
- Red de Drenaje
- Limite de Microcuencas



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TESIS DE GRADO:** "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"  
**CONTIENE:**  
**MAPA DEL ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA (IRH) (1990 -2010)**

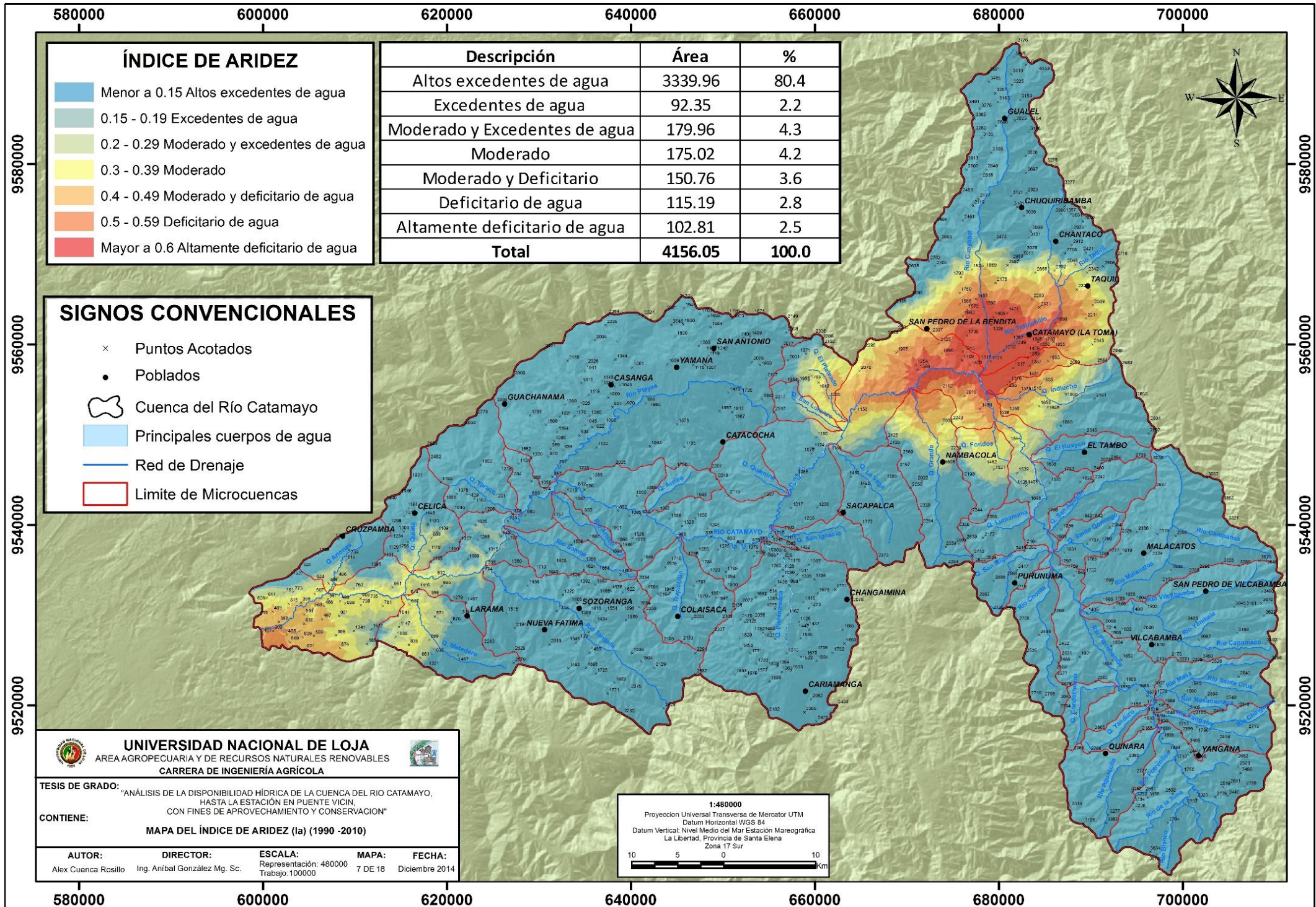
**AUTOR:** Alex Cuenca Rosillo     **DIRECTOR:** Ing. Aníbal González Mg. Sc.  
**ESCALA:** Representación: 480000     **MAPA:** 6 DE 18     **FECHA:** Diciembre 2014  
 Trabajo: 100000

**1:480000**  
 Proyección Universal Transversa de Mercator UTM  
 Datum Horizontal WGS 84  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estación Mareográfica La Libertad, Provincia de Santa Elena  
 Zona 17 Sur

580000      600000      620000      640000      660000      680000      700000

9580000  
9560000  
9540000  
9520000

9580000  
9560000  
9540000  
9520000



### ÍNDICE DE ARIDEZ

- Menor a 0.15 Altos excedentes de agua
- 0.15 - 0.19 Excedentes de agua
- 0.2 - 0.29 Moderado y excedentes de agua
- 0.3 - 0.39 Moderado
- 0.4 - 0.49 Moderado y deficitario de agua
- 0.5 - 0.59 Deficitario de agua
- Mayor a 0.6 Altamente deficitario de agua

Descripción	Área	%
Altos excedentes de agua	3339.96	80.4
Excedentes de agua	92.35	2.2
Moderado y Excedentes de agua	179.96	4.3
Moderado	175.02	4.2
Moderado y Deficitario	150.76	3.6
Deficitario de agua	115.19	2.8
Altamente deficitario de agua	102.81	2.5
<b>Total</b>	<b>4156.05</b>	<b>100.0</b>

### SIGNOS CONVENCIONALES

- × Puntos Acotados
- Poblados
- Cuenca del Río Catamayo
- Principales cuerpos de agua
- Red de Drenaje
- Limite de Microcuencas

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERIA AGRICOLA

**TESIS DE GRADO:** "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"

**CONTIENE:** MAPA DEL ÍNDICE DE ARIDEZ (Ia) (1990 -2010)

**AUTOR:** Alex Cuenca Rosillo    **DIRECTOR:** Ing. Aníbal González Mg. Sc.    **ESCALA:** Representación: 480000 Trabajo:100000    **MAPA:** 7 DE 18    **FECHA:** Diciembre 2014

**1:480000**  
 Proyección Universal Transversa de Mercator UTM  
 Datum Horizontal WGS 84  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estación Mareográfica La Libertad, Provincia de Santa Elena  
 Zona 17 Sur



## V. CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica que se ha llevado a cabo, sumada a los objetivos propuestos y los resultados obtenidos han permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- La distribución temporal de los aforos realizados para el periodo de estudio (1990-2010) en la estación hidrométrica Catamayo en Puente Vicin, no son secuenciales y no garantizan confiabilidad, por tanto las curvas de descarga, de duración general y variación estacional no prestan confiabilidad para estimar los aportes de la cuenca en la estación Catamayo en Puente Vicin.
- En el país existen gran cantidad de vacíos dentro de las series de datos hidrológicos y climatológicos, por ello los métodos para relleno de datos mediante correlaciones y la aplicación de métodos empíricos se hacen imprescindibles para asegurar la calidad de los estudios.
- La cuenca del río Catamayo posee un régimen pluviométrico bien definido, el periodo de lluvias comprende los meses de Diciembre a Abril con precipitaciones que varían entre 87, 2 mm a 260, 2 mm, mientras que la ausencia de lluvias se presenta en los meses de Mayo a Noviembre con precipitaciones que varían de 11, 4 mm y 60,8 mm
- El caudal del río Catamayo está definido principalmente por la variación de las precipitaciones sobre la cuenca, lo cual da lugar a su variación estacional; con una probabilidad del 95% se tiene un caudal máximo de 28,8 m<sup>3</sup>/s correspondiente al mes de abril, y un mínimo de 7,5 m<sup>3</sup>/s correspondiente al mes de Octubre.
- Los caudales medios mensuales de la estación hidrométrica Catamayo en Puente Vicin expresados en términos de volumen, indican escurrimientos mensuales fluctuantes entre 55,91 Mm<sup>3</sup> en los meses de septiembre y 158,10 Mm<sup>3</sup> en los meses de Marzo, con un volumen anual promedio de 1134.39 millones de m<sup>3</sup>.
- Con los métodos empíricos es posible estimar e identificar, con mucha aproximación, las zonas de mayor aporte hídrico de la cuenca con fines de aprovechamiento y conservación.
- En la cuenca alta del río Catamayo, las cuencas del río Palmira Aguacolla, Malacatos, Vilcabamba y Yangana, son las zonas de mayor recarga hídrica de la

cuenca alta, manteniendo una relación directa con la distribución de las precipitaciones; mismas que aportan casi todo el año para la permanencia regular de los caudales en los ríos

- De acuerdo al análisis espacio temporal de la precipitación en el nacimiento de las cuencas hidrográficas del río Playas, Tangula, quebrada Pishinamaca, San Ignacio; ubicadas en la parte media de la cuenca, contribuyen con un potencial considerable de agua subterránea en la cuenca baja del río Catamayo, donde se supone y se constata que el recurso está en mayor cantidad y donde más se explota actualmente con pozos excavados superficiales y pozos profundos, pero la información básica disponible no es suficiente para una caracterización definitiva.
- En la parte baja de la cuenca del río Catamayo, las cuencas conformadas por el río Tangula y el río Sambe, son las zonas de mayor aporte en esta área, a pesar de que ya vienen a ser zonas áridas y de escasa precipitación la mayor parte del año.
- El manejo adecuado y la conservación de las microcuencas de la parte alta, se convierten en un imperativo para garantizar el aprovechamiento de agua sobre todo en las partes bajas en las épocas de estiaje, manteniendo la permanencia regular de los caudales.

## VI. RECOMENDACIONES

Para poder elaborar estudios climáticos e hidrológicos es importante contar con un mayor número de estaciones y una mejor distribución de estas, en los sitios adecuados y de conformidad con las especificaciones técnicas que recomienda la Organización Meteorológica Mundial, es por ello que se realiza las siguientes recomendaciones a las instituciones encargadas del control y gestión del recurso hídrico de la provincia de Loja, con la finalidad de mejorar la calidad de información y garantizar la confiabilidad de los estudios hidrometeorológicos.

- A la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA) institución encargada de la gestión integral del recurso hídrico en todo el territorio nacional, implementar un plan de monitoreo en tiempo real de la cuenca del río Catamayo, mediante estaciones hidrometeorológicas automáticas, que permitan generar información constante y confiable de las condiciones de la cuenca.
- Al INAMHI como institución encargada de la meteorología e hidrología, que haga pública y actualice toda la información de registros de datos, para que de esta manera los estudios e investigaciones no se vean limitados ni alterados por el uso de datos rellenados en las series requeridas.
- Que la Universidad Nacional de Loja, institución encargada de generar investigación, profundice el estudio y la investigación de estos temas (Hidrología), para plantear propuestas y ejecutar proyectos de conservación de las fuentes de agua, que garanticen a futuro el uso del recurso hídrico.
- Los caudales son un tema de mucha importancia para la gestión adecuada de los recursos hídricos, por lo que se recomienda en rehabilitar las estaciones limnimétricas dentro de la cuenca, para que no existan afectaciones a los ecosistemas con el aprovechamiento del agua de los ríos.
- Realizar un estudio de suelos actualizado de la cuenca, para lo cual debe levantarse información más a detalle, que permita generar un mapa de las constantes hidrofísicas de mayor confiabilidad.

- Aplicar modelos actualizados, donde se apliquen bases de datos diarios, que permitan corroborar con la información generada con los métodos empíricos existentes.
- Al MAE tomar medidas muy estrictas para conservar o restituir la cobertura vegetal en toda la cuenca hidrográfica, especialmente en las partes altas, para controlar la erosión que es un proceso de arrastre de la capa arable del suelo quedando desnuda, ésta es provocada por el agua y el viento.
- Evitar la contaminación de las aguas en toda la cuenca hidrográfica, porque implica serios problemas para la salud de las personas.
- Reforestar con plantas nativas en terrenos donde antes existían bosques nativos o en lugares donde habían plantaciones, muchas veces estos terrenos no son buenos para la agricultura y dan mejores bienes y servicios ambientales si se convierten en bosques.
- Combinar las diferentes labores agropecuarias con prácticas agroforestales, tal es el caso de la siembra de árboles en terrenos ganaderos, cafetales junto a especies forestales y otras combinaciones que evitan la degradación del suelo y garantizan una producción estable. Es una tecnología de manejo sostenible de la tierra que combina árboles, cultivos y ganado en una misma parcela. Con el objetivo de mejorar la producción de la tierra y protegerla para el futuro.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- APARICIO, F. 1992. Fundamentos de hidrología de superficie, México 302 pp.
- ALMEIDA, M. 2013. Instructivos de información hidrometeorológica, <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2527/1/CD-3221.pdf>
- Biológicos en Ríos de Tamaño Mediano Talamanca - Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).Turrialba, Costa Rica. 21 pp.
- Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América (CIEUA), 1998. Evaluación de los Recursos de Agua del Ecuador. United States Southern Command. 7 pp.
- CHOW, V. T., Maidment, D.R. & L. Mays. 1994. Hidrología Aplicada. Ediciones De Cuencas Hidrográficas. Buenos Aires, Argentina, pp 70 - 76.
- FATORELLI, S., FERNÁNDEZ P. 2011. Diseño Hidrológico.
- GASPARI J. F. [et.al.]. - 1a ed. 2013. Elementos Metodológicos Para El Manejo
- IDEAM, 2010. Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Características del régimen hídrico: indicadores de aridez y de regulación hídrica. Bogotá D.C. 65 pp.
- JIMÉNEZ, F. 2005. Gestión integral de cuencas hidrográficas. Enfoques y estrategias actuales. CATIE Recursos, Ciencia y decisión. No.2.
- MAFLA, M. 2005. Guía para Evaluaciones Ecológicas Rápidas con Indicadores McGraw-Hill. Colombia.583 pp.
- MONSALVE SÁENZ, German. 1999. Hidrología en la ingeniería. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería. Bogotá - Colombia.



- MUÑOZ CÁRPENA R. & A.Ritter Rodríguez. 2005. Hidrología agroforestal. Ed. Mundi Prensa, Coeditor Gobierno de Canarias. España. 348 pp.
- NATURALEZA & CULTURA INTERNACIONAL 2010, Cobertura Vegetal y Uso Actual Del Suelo de la Provincia de Loja.
- Programa para el Manejo del Agua y del Suelo PROMAS 2008. La gestión del Recurso Hídrico - Universidad de Cuenca. 9 pp.
- Proyecto binacional Catamayo-Chira 2005, Caracterización Hídrica y Adecuación entre la Oferta y la Demanda, Caracterización Territorial y Documentación Básica
- REMENIERAS, G. (1974). Tratado de Hidrología Aplicada. Capítulo V: Evaporación, Transpiración y Déficit de Escurrimiento. Editores Técnicos Asociados, S.A. Segunda Edición. Barcelona, España. pp. 205 – 300.
- SAGARPA 2013, Escurrimientos Superficiales,  
<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Publicaciones/Lists/CursoTaller%20Desarrollo%20de%20capacidades%20orientadas%20a/Attachments/24/02.pdf>
- SCHWAB, G.O. - Frevert, R.K. - Edminster, T.W.. “Ingeniería de conservación de suelos y aguas”, Ed. Limusa, 570 pp.
- Secretaria Nacional Del Agua (SENAGUA, 2012), El agua en el Ecuador.
- Wikipedia 2013, Ciclo hidrológico,  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_hidrol%C3%B3gico](http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_hidrol%C3%B3gico)

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1. Estadística de aforos

**Cuadro 17.** Estadística de aforos de la estación hidrométrica en Catamayo Pte. Vicin.

No.	FECHA/AFOR	CAUDAL	ALTURA
1	01/04/1993	146.560	1.70
2	11/05/1993	98.657	1.55
3	26/10/1993	15.738	0.79
4	29/12/1993	52.996	1.16
5	26/07/1994	34.707	1.00
6	05/12/1994	8.115	0.62
7	10/01/1995	20.829	0.85
8	09/03/1995	44.546	1.10
9	16/08/1995	4.557	0.46
10	17/10/1995	5.048	0.54
11	01/11/1995	23.428	0.98
12	20/12/1995	13.274	0.72
13	07/02/1996	54.752	1.19
14	29/05/1996	21.990	0.83
16	27/11/1996	5.263	0.52
17	02/04/1997	19.845	0.88
18	10/06/1997	9.756	0.68
19	23/09/1997	5.682	0.70
20	20/11/1997	26.966	0.98
21	11/02/1998	43.560	1.10
22	02/09/1998	14.656	----
23	29/09/1998	7.231	----
24	21/10/1998	10.874	----
25	10/12/1998	5.224	----
26	01/09/1999	4.753	----
27	29/09/1999	28.121	----
28	30/09/1999	22.848	----
29	19/10/1999	10.571	----
30	20/10/1999	9.327	----
31	23/11/1999	10.512	----
32	09/12/1999	20.837	----
33	24/11/2000	9.064	----
34	03/09/2003	7.151	----
35	28/02/2005	31.260	0.58
36	08/10/2005	4.857	0.03
37	04/05/2006	63.281	1.00
38	13/06/2006	30.360	0.75

39	06/11/2006	29.454	0.78
40	23/11/2006	10.120	0.52
41	07/03/2007	22.343	0.70
42	21/06/2007	92.359	1.00
43	26/07/2007	9.719	0.55
44	27/09/2007	12.953	0.56
45	08/11/2007	20.035	0.65
46	28/04/2008	155.554	1.05
47	08/06/2008	48.516	0.55
48	19/09/2008	16.615	0.56
49	04/08/2009	82.259	0.98
50	13/06/2010	43.126	0.76
51	12/12/2010	23.610	0.47

Fuente: CIGERS PREDESUR, INAMHI

## Anexo 2. Números de curva

### Cuadro 18. Números de curva de escorrentía para usos selectos del suelo

Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia = 0.2S)				
Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
<b>Tierra cultivada<sup>1</sup> : sin tratamientos de conservación</b>	72	81	88	91
<b>con tratamientos de conservación</b>	62	71	78	81
<b>Pastizales: condiciones pobres</b>	68	79	86	89
<b>condiciones óptimas</b>	39	61	74	80
<b>Vegas de ríos: condiciones óptimas</b>	30	58	71	78
<b>Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas.</b>	45	66	77	83
<b>cubierta buena<sup>2</sup></b>	25	55	70	77
<b>Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.</b>				
<b>óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75 % o más</b>	39	61	74	80
<b>condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75 %</b>	49	69	79	84
<b>Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)</b>	89	92	94	95
<b>Distritos industriales (72 % impermeables)</b>	81	88	91	93
<b>Residencial<sup>3</sup> :</b>				
<b>Tamaño promedio del lote</b>	<b>porcentaje promedio impermeable<sup>4</sup></b>			
<b>0,05 ha o menos</b>	65	77	85	90
<b>0,10 ha</b>	38	61	75	83
<b>0,15 ha</b>	30	57	72	81
<b>0,2 ha</b>	25	54	70	80
<b>1 acre</b>	20	51	68	79
<b>Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>5</sup></b>	98	98	98	98
<b>Calles y carreteras:</b>				
<b>Pavimentados con cunetas y alcantarillados</b>	98	98	98	98
<b>Grava</b>	76	85	89	91
<b>Tierra</b>	72	82	87	89

**Fuente:** Hidrología Aplicada, 1994.

**Ver Anexos 11. Donde se muestran los diferentes mapas utilizados para el cálculo.**

<sup>1</sup> Para una descripción más detallada de los números de curva para los usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972, Cap. 9

<sup>2</sup> Una buena cubierta será protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.

<sup>3</sup> Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.

<sup>4</sup> Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.

<sup>5</sup> En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

### Anexo 3. Estadística de caudales medios mensuales (m<sup>3</sup>/s)

**Cuadro 19.** Estadística de caudales medios mensuales (m<sup>3</sup>/s) publicada por el INAMHI y rellenada a partir de las estaciones existentes dentro de la cuenca y por las curvas de descarga, realizadas en este estudio para la estación hidrométrica Catamayo en Puente Vicin.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
1990	25.00	18.00	31.30	31.80	24.60	32.20	22.00	19.10	10.60	16.20	25.80	23.60	280.20
1991	24.80	33.70	40.30	38.20	30.00	24.30	24.60	22.30	18.40	16.20	17.40	14.90	305.10
1992	19.70	28.90	35.20	37.40	28.00	28.80	28.80	21.30	22.80	12.40	16.90	25.90	306.10
1993	34.60	48.70	40.90	36.70	32.60	24.20	22.90	44.20	32.70	25.70	32.00	46.00	421.20
1994	49.50	76.30	73.00	49.90	33.60	42.20	42.30	24.70	31.10	30.00	33.20	40.20	526.00
1995	31.63	33.06	35.15	35.40	33.52	30.36	30.05	22.87	23.61	24.19	28.02	27.19	355.06
1996	31.09	34.82	41.24	34.57	31.19	29.31	29.74	26.51	24.70	25.39	24.23	24.60	357.40
1997	22.62	26.45	29.17	32.70	32.86	26.12	28.01	26.58	25.35	23.25	29.54	33.82	336.48
1998	33.66	50.48	62.06	70.25	54.19	38.80	34.46	31.67	29.10	30.37	30.60	26.65	492.30
1999	32.67	54.35	75.63	43.42	42.31	38.76	34.72	32.04	30.47	29.81	28.63	33.06	475.85
2000	32.73	41.98	66.25	57.05	44.10	37.90	33.81	31.53	30.78	27.98	25.76	29.30	459.17
2001	28.10	33.64	25.29	25.90	34.07	46.19	60.77	20.71	19.57	10.69	24.97	31.57	361.47
2002	34.45	84.12	28.48	49.80	39.04	19.32	30.98	11.67	18.23	13.25	37.98	31.81	399.12
2003	43.69	34.35	56.83	54.11	67.00	59.14	32.06	19.00	11.36	18.73	21.27	44.08	461.62
2004	33.76	26.35	77.20	44.89	52.28	61.82	41.13	19.65	12.74	40.06	33.64	46.61	490.13
2005	35.45	29.88	78.01	54.97	26.24	26.71	3.56	6.69	7.70	7.03	10.36	14.60	301.20
2006	27.33	55.78	90.79	118.24	55.00	52.35	37.30	31.08	28.09	25.36	31.59	41.90	594.81
2007	45.28	42.37	59.83	75.74	52.88	59.79	35.54	35.37	29.28	28.56	49.23	38.75	552.61
2008	50.44	127.71	135.91	135.81	57.00	31.88	25.93	17.18	9.66	10.94	15.79	13.13	631.38
2009	38.17	68.11	115.03	115.50	70.70	48.42	46.99	31.98	24.13	23.90	14.20	26.07	623.19
2010	29.31	52.87	41.99	47.29	44.13	34.58	21.58	13.66	12.64	8.02	11.42	14.78	332.26
<b>TOTAL</b>	703.98	1001.92	1239.55	1189.64	885.32	793.15	667.23	509.80	453.01	448.03	542.52	628.52	9062.67
<b>MEDIA</b>	33.52	47.71	59.03	56.65	42.16	37.77	31.77	24.28	21.57	21.33	25.83	29.93	431.56

Datos rellenados a través de las curvas de descarga. Datos rellenados a partir de otras estaciones (Método de correlación lineal).

#### Anexo 4. Estaciones Climatológicas.

**Cuadro. 20.** Estaciones Pluviométricas utilizadas para el estudio periodo (1990 – 2010).

N	Estación	X	Y	Z	Media Anual Plurianual
1	Alamor	607925	9555751	1250	1354.2
2	Amaluzá	674106	9493049	1672	833.6
3	Cajanuma	699237	9548746	2267	1177.5
4	Cariamanga	660414	9520874	1950	1237.1
5	Catacocha	650417	9551790	1808	953.4
6	Catamayo	680873	9558492	1230	403.3
7	Celica	616393	9546221	1984	1042.3
8	Chaguarpamba	615339	9565938	1470	823.6
9	Changaimina	663861	9533277	1935	1901.1
10	Colaisaca	645033	9522745	2410	1263.5
11	El Lucero	669587	9513515	1180	961.8
12	El Prado	659899	9577512	850	1616.3
13	El salado	650630	9588400	576	1028.1
14	El tambo	688720	9549537	1580	916.4
15	Gonzanama	674127	9532243	2042	1455.3
16	La Argelia	699711	9553630	2160	961.7
17	Lauro Gerrero	637817	9561300	1910	1614.9
18	Malacatos	691894	9533772	1453	771.0
19	Mercadillo	612705	9555653	1125	1521.1
20	Nambacola	674148	9542563	1822	1017.1
21	Oña	705058	9616870	2320	458.8
22	Pasaje	635322	9631878	40	974.4
23	Pozul	604705	9545099	1739	1470.0
24	Quilanga	677657	9524372	1819	1359.7
25	Quinara	694953	9522952	1560	912.9
26	Sabanilla	598563	9539640	733	1062.7
27	Sabiango	632015	9517853	734	1226.0
28	San Francisco	713816	9561242	1620	2164.6
29	San Lucas	693086	9587311	2525	1366.3
30	Saraguro	696351	9599623	2525	771.9
31	Saucillo (Alamor)	588930	9526784	328	868.3
32	Sozoranga	634395	9521872	1510	1334.3
33	Ushcurrumi	657393	9632801	290	716.0
34	Yangana	702556	9516943	1835	1166.0
35	Zapotillo	584727	9515549	223	813.0

**Cuadro. 21.** Estaciones con registros de temperatura utilizadas para el estudio periodo (1990 – 2010).

N	Estación	X	Y	Z	Temperatura °C
1	Amaluza	674113	9493043	1672	20.7
2	Cariamanga	660421	9520869	1950	17.8
3	Catacocha	650423	9551785	1808	18.3
4	Catamayo	681296	9558425	1230	24.6
5	Celíca	616398	9546216	1904	15.6
6	La Argelia	699719	9553625	2160	16.2
7	Malacatos	691901	9533767	1453	19.9
8	Nambacola	673846	9542160	1822	19.8
9	Pozul	604709	9545094	1739	16.7
10	Quilanga	677664	9524367	1819	20.1
11	Quinara	694961	9522947	1560	20.9
12	Saraguro	696358	9599619	2525	14.9
13	Vilcabamba	697545	9528225	1563	20.8
14	Yangana	702564	9515938	1835	19.3
15	Zapotillo	584730	9515544	223	26.0
16	Zaruma	654220	9591614	1150	21.9

**Anexo 5.** Coeficientes de escurrimiento utilizados en el método racional.

**Tabla 4.** Parámetros para el cálculo del coeficiente de escurrimiento C.

COVERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20 – 50	5 – 20	1 – 5	0 – 1
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

**Anexo. 6:** Tabla para el cálculo de la evapotranspiración

**Tabla 5.** Factor de corrección f, por duración media de las horas sol expresada en unidades de 30 días, con 12 horas de sol cada una.

Latitud	E	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D	
NORTE	50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70
	45	0.80		1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
	40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
	35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
	30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
	25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
	20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
	15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
	10	0.98	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
	5	1.00	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	0.10
0	1.02	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.00	1.04	
SUR	5	1.04	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
	10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
	15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
	20	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1.00	1.08	1.09	1.15
	25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
	30	1.20	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.90	0.96	1.00	1.12	1.14	1.21
	35	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.17	1.25
	40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1.00	1.15	1.20	1.29
	45	1.31	1.10	1.07	0.91	0.81	0.71	0.78	0.90	0.99	1.17	1.26	1.36
	50	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41

**Anexo. 7:** Prueba t para el análisis de los caudales generados por el método Racional

	<i>Reales</i>	<i>Método Racional</i>
<b>Media</b>	35.9629838	75.7340828
<b>Varianza</b>	425.938725	6457.72721
<b>Observaciones</b>	252	252
<b>Coefficiente de correlación de Pearson</b>	0.60282035	
<b>Diferencia hipotética de las medias</b>	0	
<b>Grados de libertad</b>	251	
<b>Estadístico t</b>	-9.03388764	
<b>P(T&lt;=t) una cola</b>	2.273E-17	
<b>Valor crítico de t (una cola)</b>	1.65094703	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	4.5459E-17	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	1.96946023	



**Anexo. 8:** Prueba t para el análisis de los caudales generados por el método del número de curva

	<i>Reales</i>	<i>NC</i>
<b>Media</b>	35.9629838	84.0809554
<b>Varianza</b>	425.938725	13303.8371
<b>Observaciones</b>	252	252
<b>Coefficiente de correlación de Pearson</b>	0.60554504	
<b>Diferencia hipotética de las medias</b>	0	
<b>Grados de libertad</b>	251	
<b>Estadístico t</b>	-7.33426214	
<b>P(T&lt;=t) una cola</b>	1.5358E-12	
<b>Valor crítico de t (una cola)</b>	1.65094703	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	3.0715E-12	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	1.96946023	

**Anexo. 9:** Prueba t para el análisis de los caudales generados por los dos métodos empíricos.

	<i>Método Racional</i>	<i>NC</i>
<b>Media</b>	75.7340828	84.0809554
<b>Varianza</b>	6457.72721	13303.8371
<b>Observaciones</b>	252	252
<b>Coefficiente de correlación de Pearson</b>	0.98317769	
<b>Diferencia hipotética de las medias</b>	0	
<b>Grados de libertad</b>	251	
<b>Estadístico t</b>	-3.38130096	
<b>P(T&lt;=t) una cola</b>	0.00041829	
<b>Valor crítico de t (una cola)</b>	1.65094703	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	0.00083657	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	1.96946023	

Anexo 10: Índice de aridez

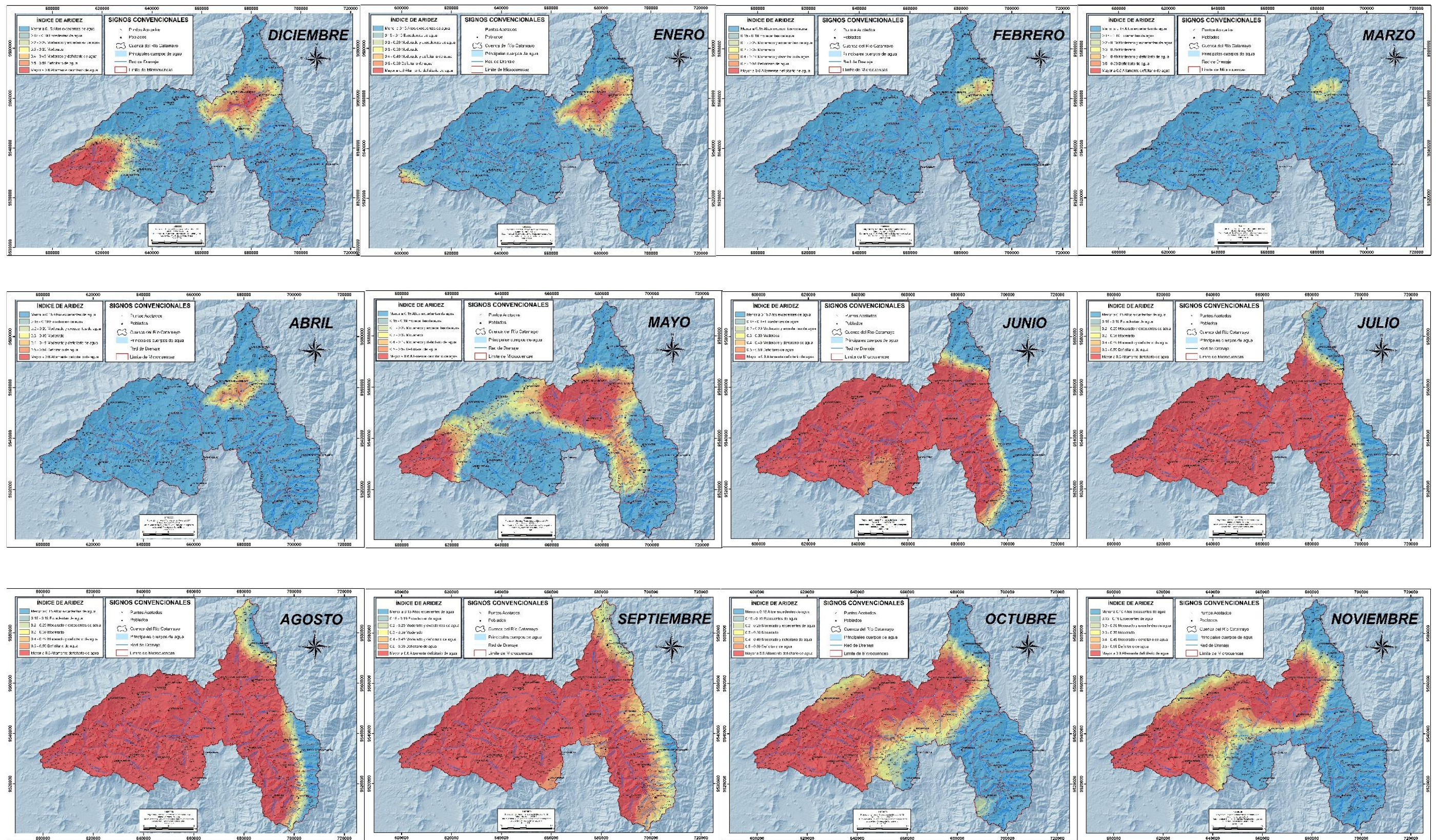
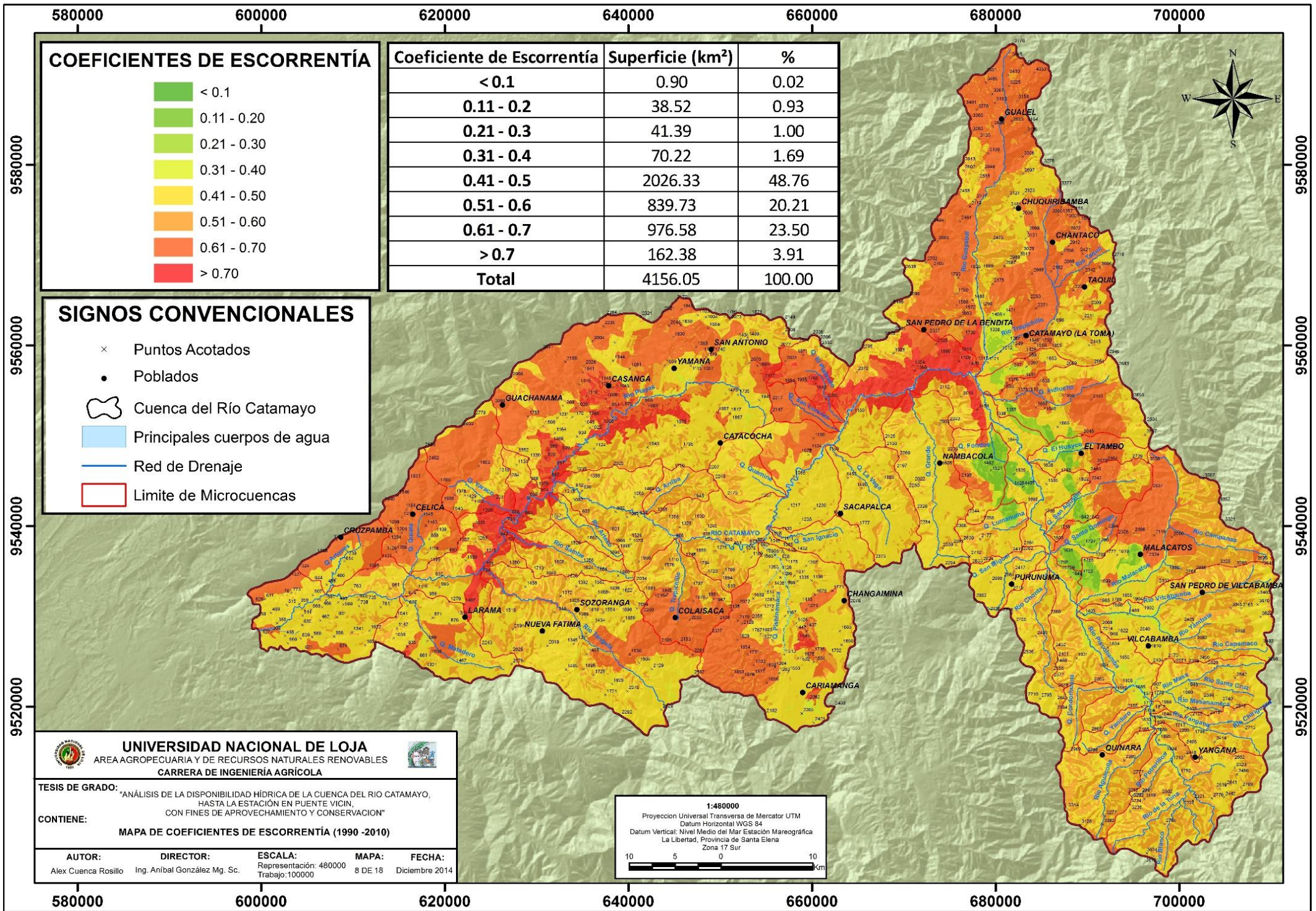


Figura 18. Distribución espacio – temporal del índice de aridez mensual de la cuenca del río Catamayo.

Anexo 11: Mapas utilizados para hacer la sobreposición de capas.



### COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA



Coefficiente de Escorrentía	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
< 0.1	0.90	0.02
0.11 - 0.2	38.52	0.93
0.21 - 0.3	41.39	1.00
0.31 - 0.4	70.22	1.69
0.41 - 0.5	2026.33	48.76
0.51 - 0.6	839.73	20.21
0.61 - 0.7	976.58	23.50
> 0.7	162.38	3.91
<b>Total</b>	<b>4156.05</b>	<b>100.00</b>

### SIGNOS CONVENCIONALES

- × Puntos Acotados
- Poblados
- Cuenca del Río Catamayo
- Principales cuerpos de agua
- Red de Drenaje
- Limite de Microcuencas

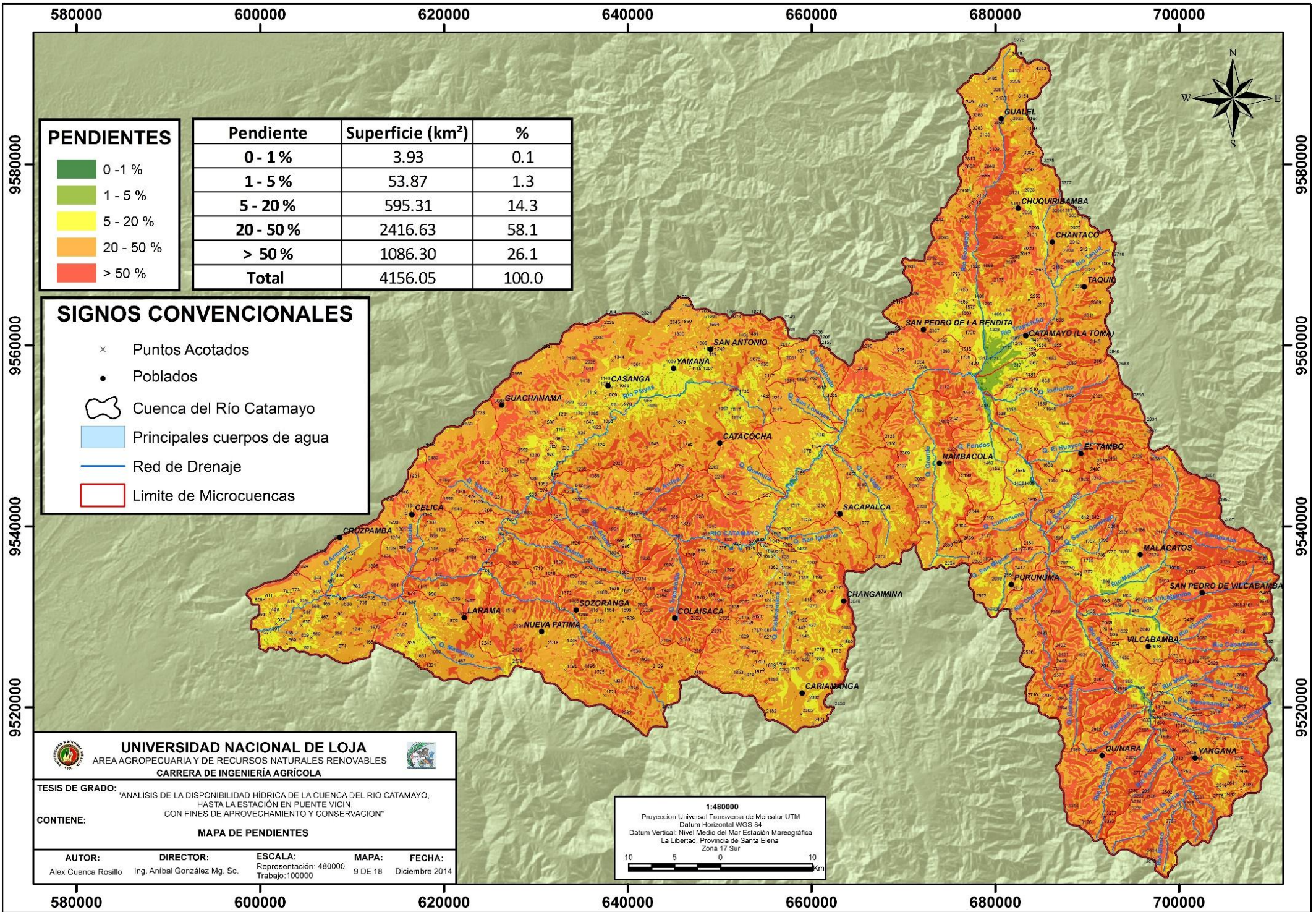
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TESIS DE GRADO:** "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"  
**CONTIENE:**

#### MAPA DE COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA (1990 -2010)

<b>AUTOR:</b> Alex Cuenca Rosillo	<b>DIRECTOR:</b> Ing. Anibal González Mg. Sc.	<b>ESCALA:</b> Representación: 480000 Trabajo: 100000	<b>MAPA:</b> 8 DE 18	<b>FECHA:</b> Diciembre 2014
--------------------------------------	--	---	-------------------------	---------------------------------

**1:480000**  
 Proyeccion Universal Transversa de Mercator UTM  
 Datum Horizontal WGS 84  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estación Mareográfica  
 La Libertad, Provincia de Santa Elena  
 Zona 17 Sur



**PENDIENTES**

0 - 1 %
1 - 5 %
5 - 20 %
20 - 50 %
> 50 %

Pendiente	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
0 - 1 %	3.93	0.1
1 - 5 %	53.87	1.3
5 - 20 %	595.31	14.3
20 - 50 %	2416.63	58.1
> 50 %	1086.30	26.1
<b>Total</b>	<b>4156.05</b>	<b>100.0</b>

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- × Puntos Acotados
- Poblados
- Cuenca del Río Catamayo
- Principales cuerpos de agua
- Red de Drenaje
- Limite de Microcuencas

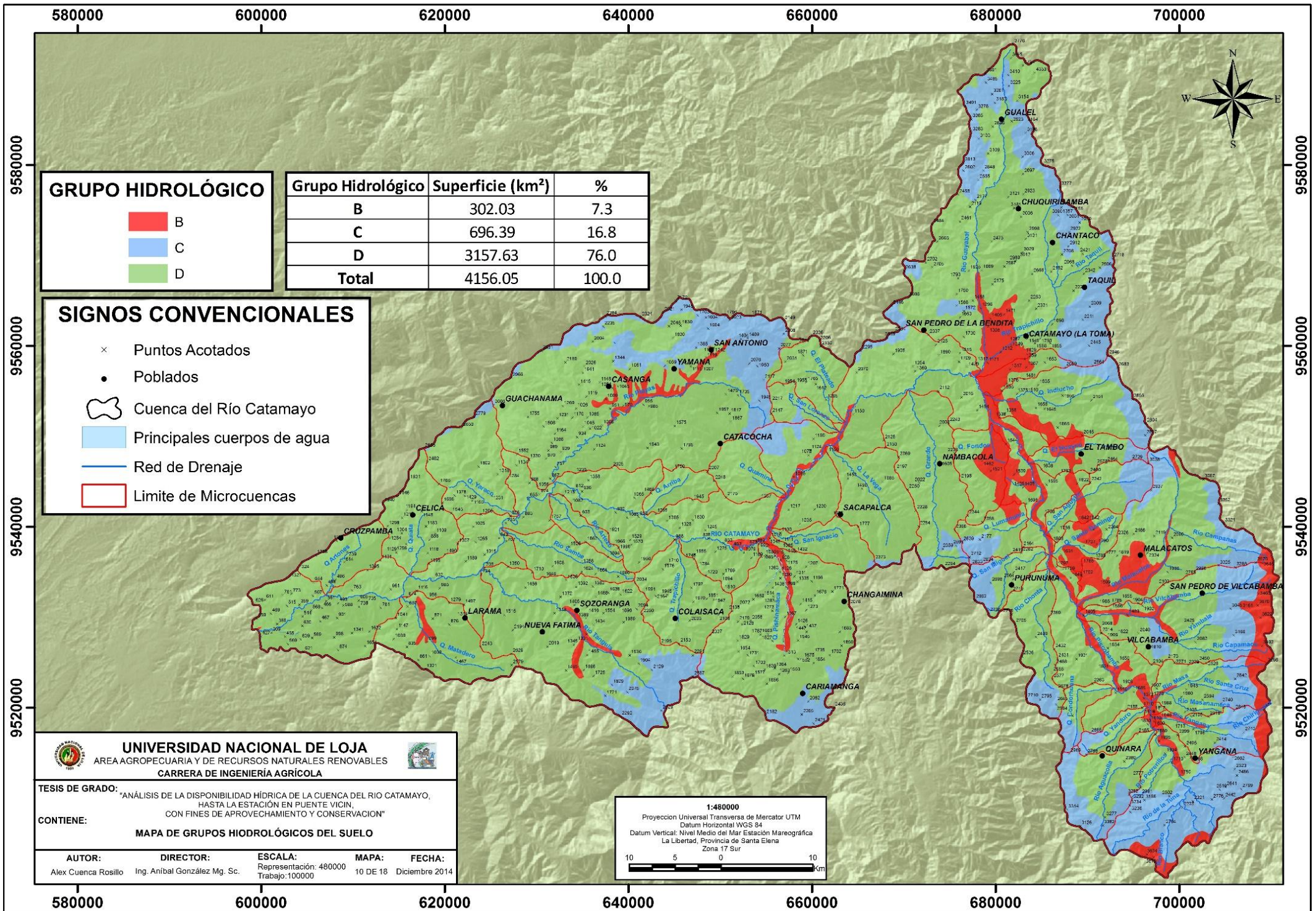
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TESIS DE GRADO:** "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"

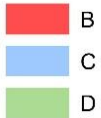
**CONTIENE:** **MAPA DE PENDIENTES**

<b>AUTOR:</b> Alex Cuenca Rosillo	<b>DIRECTOR:</b> Ing. Aníbal González Mg. Sc.	<b>ESCALA:</b> Representación: 480000 Trabajo: 100000	<b>MAPA:</b> 9 DE 18	<b>FECHA:</b> Diciembre 2014
--------------------------------------	--	---	-------------------------	---------------------------------

**1:480000**  
 Proyeccion Universal Transversa de Mercator UTM  
 Datum Horizontal WGS 84  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estacion Mareografica  
 La Libertad, Provincia de Santa Elena  
 Zona 17 Sur



**GRUPO HIDROLÓGICO**



Grupo Hidrológico	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
B	302.03	7.3
C	696.39	16.8
D	3157.63	76.0
<b>Total</b>	<b>4156.05</b>	<b>100.0</b>

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- × Puntos Acotados
- Poblados
- Cuenca del Río Catamayo
- Principales cuerpos de agua
- Red de Drenaje
- Limite de Microcuencas

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TESIS DE GRADO:** "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"  
**CONTIENE:**

**MAPA DE GRUPOS HIDROLÓGICOS DEL SUELO**

<b>AUTOR:</b> Alex Cuenca Rosillo	<b>DIRECTOR:</b> Ing. Anibal González Mg. Sc.	<b>ESCALA:</b> Representación: 480000 Trabajo: 100000	<b>MAPA:</b> 10 DE 18	<b>FECHA:</b> Diciembre 2014
--------------------------------------	--	---	--------------------------	---------------------------------

**1:480000**  
 Proyeccion Universal Transversa de Mercator UTM  
 Datum Horizontal WGS 84  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estacion Mareográfica La Libertad, Provincia de Santa Elena  
 Zona 17 Sur

580000

600000

620000

640000

660000

680000

700000

**COBERTURA VEGETAL**

	Páramo
	Bosque húmedo denso
	Bosque húmedo intervenido
	Matorral húmedo alto
	Matorral húmedo degradado
	Bosque seco denso
	Bosque seco semidenso
	Bosque seco ralo
	Matorral seco alto
	Matorral seco bajo
	Pasto natural
	Pastizal
	Cultivos asociados andinos
	Cultivos asociados subtropicales
	Cultivo de café
	Cultivo de maíz
	Cultivo de caña
	Cultivo de arroz
	Plantación de pino
	Plantación de eucalipto
	Asoc. pasto-plantación-cultivo
	Asoc. pasto-matorral
	Ríos
	Laguna
	Suelo desnudo
	Area urbana
	Infraestructura

Cobertura Vegetal	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
Área urbana	5.56	0.13
Asoc. pasto-matorral	127.55	3.07
Asoc. pasto-plantación-cultivo	14.55	0.35
Bosque húmedo denso	247.55	5.96
Bosque húmedo intervenido	175.91	4.23
Bosque seco denso	14.90	0.36
Bosque seco ralo	426.78	10.27
Bosque seco semidenso	234.95	5.65
Cultivo de arroz	0.04	0.00
Cultivo de caña	39.53	0.95
Cultivo de café	0.25	0.01
Cultivo de maíz	0.61	0.01
Cultivos asociados andinos	36.78	0.88
Cultivos asociados subtropicales	163.28	3.93
Infraestructura	0.78	0.02
Laguna	0.76	0.02
Matorral húmedo alto	549.11	13.21
Matorral húmedo degradado	29.22	0.70
Matorral seco alto	457.26	11.00
Matorral seco bajo	135.34	3.26
Pastizal	406.85	9.79
Pasto natural	957.25	23.03
Plantación de eucalipto	4.55	0.11
Plantación de pino	12.35	0.30
Páramo	49.69	1.20
Ríos	10.70	0.26
Suelo desnudo	53.95	1.30
<b>Total</b>	<b>4156.05</b>	<b>100.00</b>

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- × Puntos Acotados
- Poblados
- Cuenca del Río Catamayo
- Principales cuerpos de agua
- Red de Drenaje
- Limite de Microcuencas

9580000

9560000

9540000

9520000

9580000

9560000

9540000

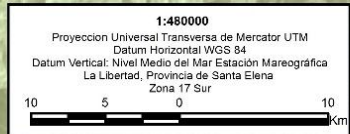
9520000

 **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS DE GRADO: "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"

CONTIENE: **MAPA DE COBERTURA VEGETAL**

<b>AUTOR:</b> Alex Cuenca Rosillo	<b>DIRECTOR:</b> Ing. Anibal González Mg. Sc.	<b>ESCALA:</b> Representación: 480000 Trabajo: 100000	<b>MAPA:</b> 11 DE 18	<b>FECHA:</b> Diciembre 2014
--------------------------------------	--	---	--------------------------	---------------------------------



580000

600000

620000

640000

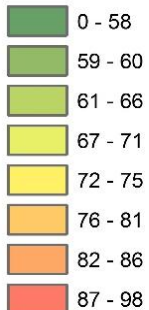
660000

680000

700000

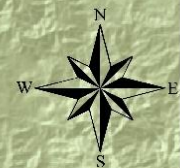
580000 600000 620000 640000 660000 680000 700000

### NÚMERO DE CURVA



### SIGNOS CONVENCIONALES

- × Puntos Acotados
- Poblados
- Cuenca del Río Catamayo
- Principales cuerpos de agua
- Red de Drenaje
- Limite de Microcuencas



9580000

9560000

9540000

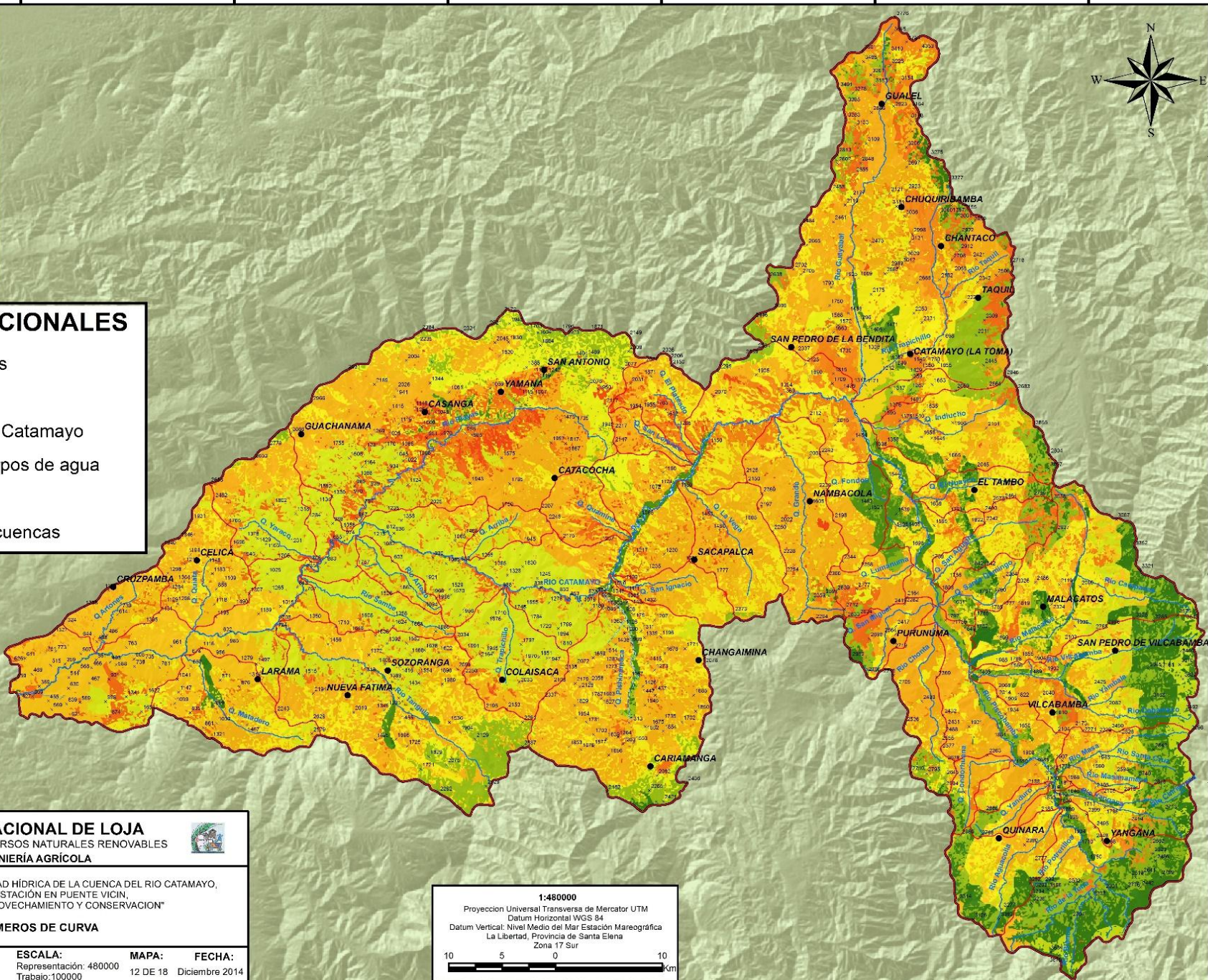
9520000

9580000

9560000

9540000

9520000

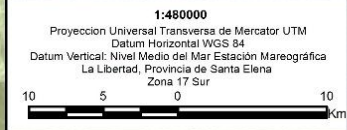


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERIA AGRICOLA

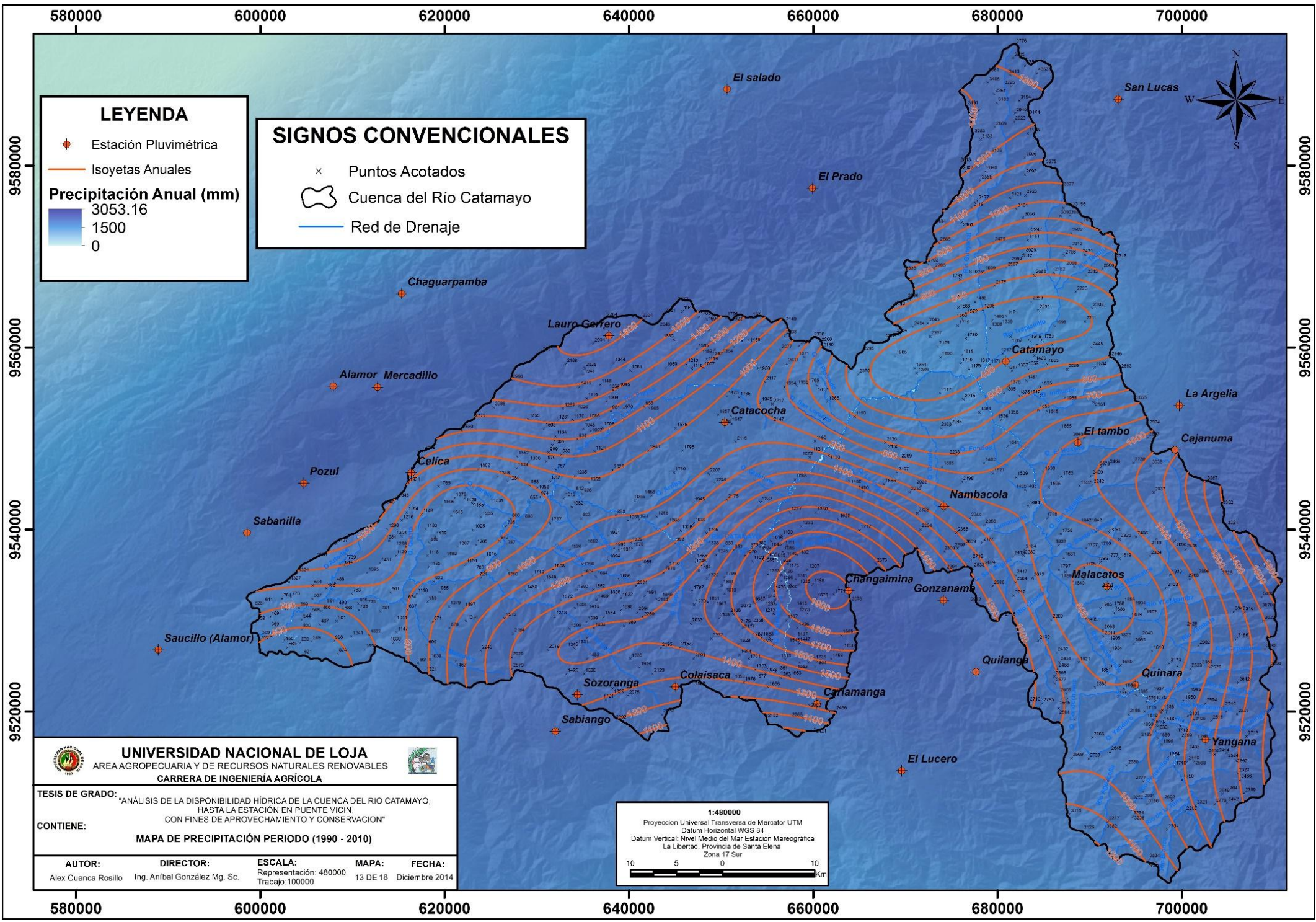
**TESIS DE GRADO:** "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"

**CONTIENE:**  
**MAPA DE NÚMEROS DE CURVA**

<b>AUTOR:</b> Alex Cuenca Rosillo	<b>DIRECTOR:</b> Ing. Aníbal González Mg. Sc.	<b>ESCALA:</b> Representación: 480000 Trabajo: 100000	<b>MAPA:</b> 12 DE 18	<b>FECHA:</b> Diciembre 2014
--------------------------------------	--	---	--------------------------	---------------------------------



580000 600000 620000 640000 660000 680000 700000



**LEYENDA**

- Estación Pluviométrica
- Isoyetas Anuales

**Precipitación Anual (mm)**

3053.16  
1500  
0

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Puntos Acotados
- Cuenca del Río Catamayo
- Red de Drenaje



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERIA AGRICOLA

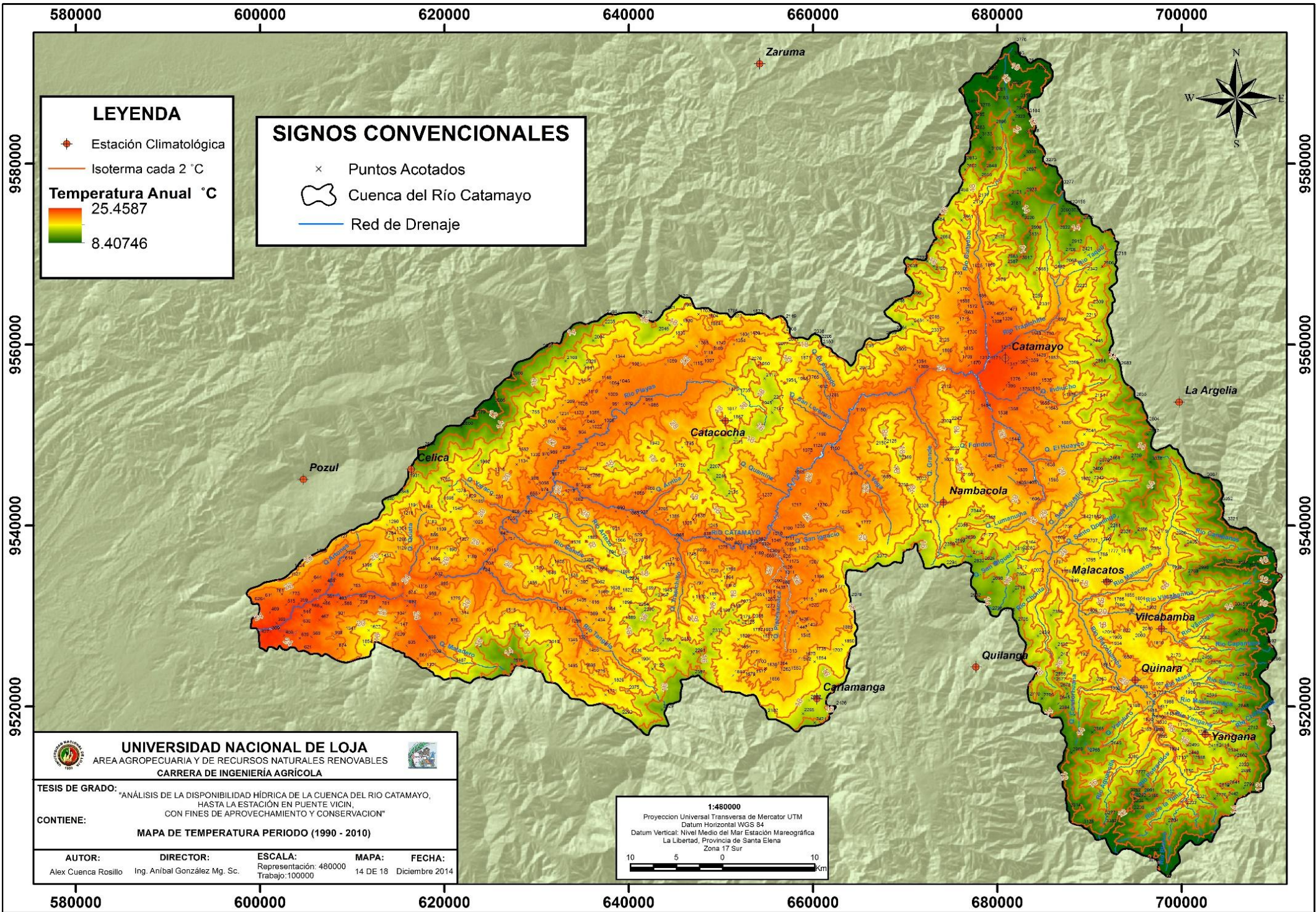
**TESIS DE GRADO:** "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RIO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"

**CONTIENE:**  
**MAPA DE PRECIPITACIÓN PERIODO (1990 - 2010)**

<b>AUTOR:</b> Alex Cuenca Rosillo	<b>DIRECTOR:</b> Ing. Aníbal González Mg. Sc.	<b>ESCALA:</b> Representación: 480000 Trabajo: 100000	<b>MAPA:</b> 13 DE 18	<b>FECHA:</b> Diciembre 2014
--------------------------------------	--	---	--------------------------	---------------------------------

**1:480000**  
 Proyeccion Universal Transversa de Mercator UTM  
 Datum Horizontal WGS 84  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estación Mareográfica La Libertad, Provincia de Santa Elena  
 Zona 17 Sur





**LEYENDA**

- Estación Climatológica
- Isoterma cada 2 °C

**Temperatura Anual °C**

8.40746  
25.4587

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Puntos Acotados
- Cuenca del Río Catamayo
- Red de Drenaje



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

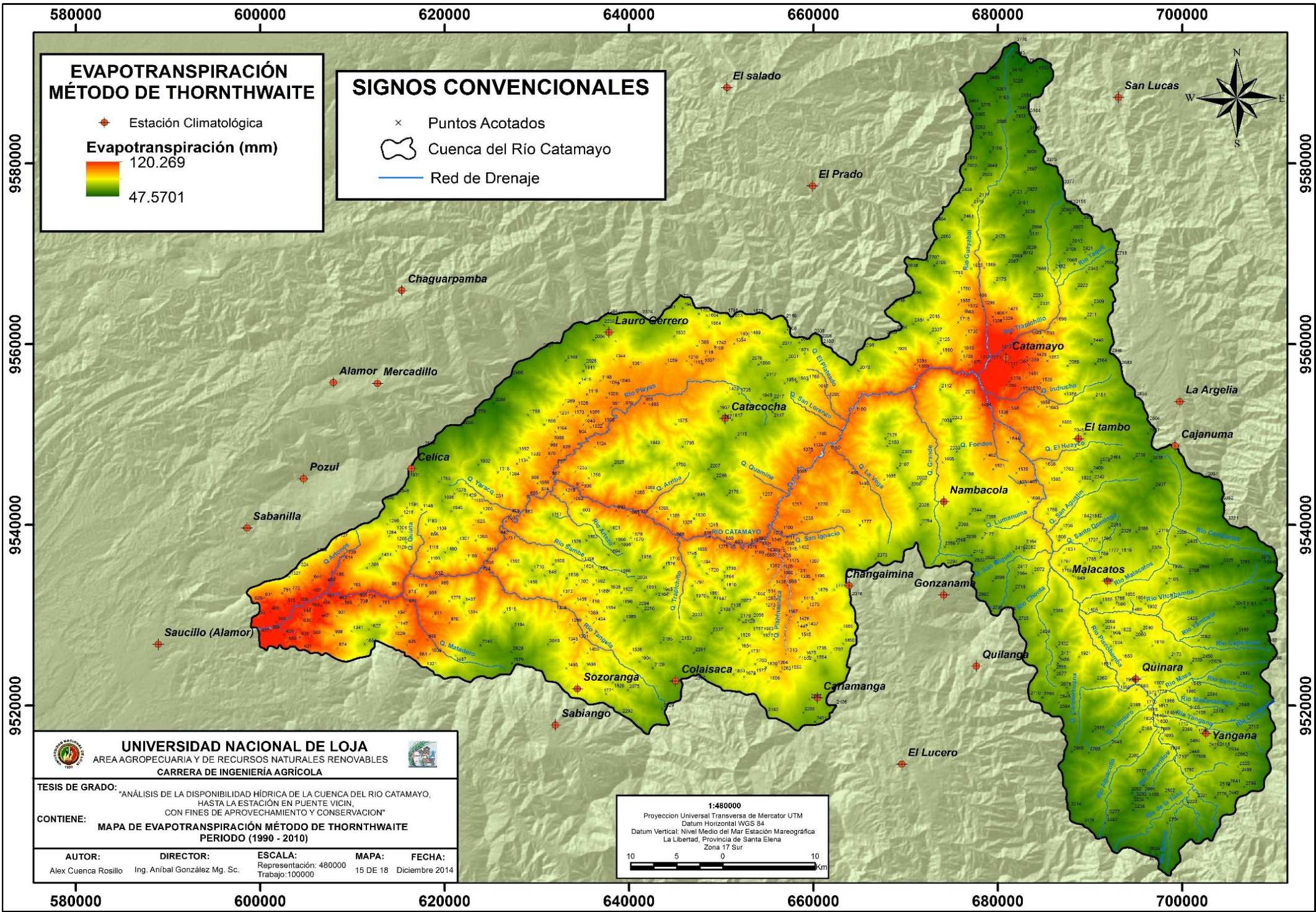
**TESIS DE GRADO:** "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"

**CONTIENE:**  
**MAPA DE TEMPERATURA PERIODO (1990 - 2010)**

<b>AUTOR:</b> Alex Cuenca Rosillo	<b>DIRECTOR:</b> Ing. Aníbal González Mg. Sc.	<b>ESCALA:</b> Representación: 480000 Trabajo: 100000	<b>MAPA:</b> 14 DE 18	<b>FECHA:</b> Diciembre 2014
--------------------------------------	--	---	--------------------------	---------------------------------

**1:480000**  
 Proyeccion Universal Transversa de Mercator UTM  
 Datum Horizontal WGS 84  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estación Mareográfica  
 La Libertad, Provincia de Santa Elena  
 Zona 17 Sur

580000      600000      620000      640000      660000      680000      700000



**EVAPOTRANSPIRACIÓN  
MÉTODO DE THORNTHWAITE**

Estación Climatológica

**Evapotranspiración (mm)**

120.269

47.5701

**SIGNOS CONVENCIONALES**

× Puntos Acotados

Cuenca del Río Catamayo

Red de Drenaje



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TESIS DE GRADO:** "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"

**CONTIENE:** MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN MÉTODO DE THORNTHWAITE PERIODO (1990 - 2010)

<b>AUTOR:</b> Alex Cuenca Rosillo	<b>DIRECTOR:</b> Ing. Aníbal González Mg. Sc.	<b>ESCALA:</b> Representación: 480000 Trabajo: 100000	<b>MAPA:</b> 15 DE 18	<b>FECHA:</b> Diciembre 2014
--------------------------------------	--	---	--------------------------	---------------------------------

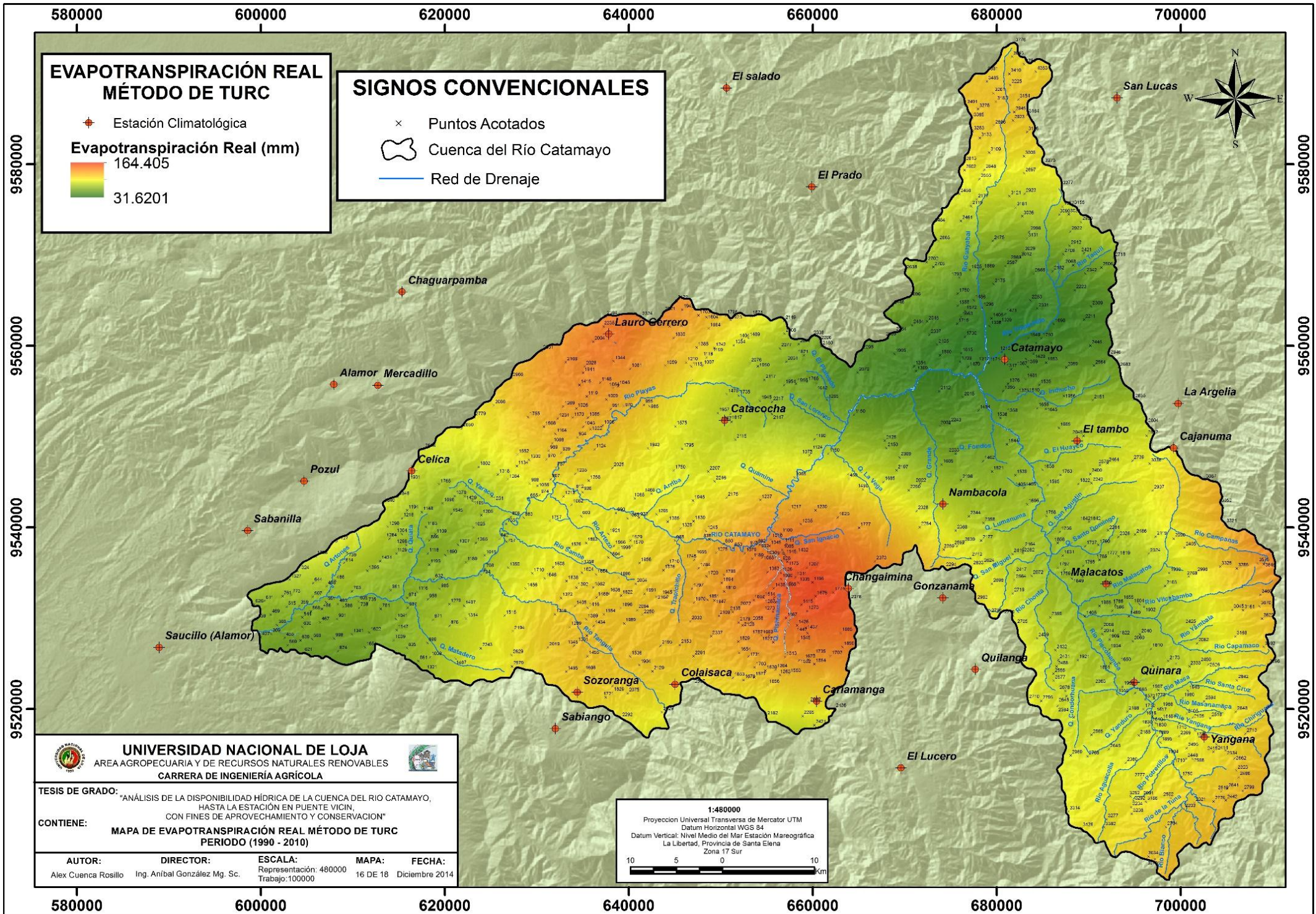
**1:480000**

Proyección Universal Transversal de Mercator UTM  
 Datum Horizontal WGS 84  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estación Mareográfica La Libertad, Provincia de Santa Elena  
 Zona 17 Sur

580000      600000      620000      640000      660000      680000      700000

9580000  
9560000  
9540000  
9520000

9580000  
9560000  
9540000  
9520000



**EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL  
MÉTODO DE TURC**

- Estación Climatológica
- Evapotranspiración Real (mm)
- 164.405
- 31.6201

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Puntos Acotados
- Cuenca del Río Catamayo
- Red de Drenaje

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS DE GRADO: "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"

CONTIENE: **MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL MÉTODO DE TURC PERIODO (1990 - 2010)**

<b>AUTOR:</b> Alex Cuenca Rosillo	<b>DIRECTOR:</b> Ing. Anibal González Mg. Sc.	<b>ESCALA:</b> Representación: 480000 Trabajo: 100000	<b>MAPA:</b> 16 DE 18	<b>FECHA:</b> Diciembre 2014
--------------------------------------	--	---	--------------------------	---------------------------------

**1:480000**  
 Proyección Universal Transversa de Mercator UTM  
 Datum Horizontal WGS 84  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estación Mareográfica La Libertad, Provincia de Santa Elena  
 Zona 17 Sur

580000 600000 620000 640000 660000 680000 700000

**CLASE TEXTURAL**

**Clase Textural**

- Arcillo Arenoso
- Arcillo Limoso
- Arcilloso
- Franco
- Franco Arcillo Limoso
- Franco Arcilloso (>a 35%)
- Franco Limoso

Clase textural	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
Arcillo Arenoso	2126.41	51.2
Arcillo Limoso	117.88	2.8
Arcilloso	1029.77	24.8
Franco	193.14	4.6
Franco Arcillo Limoso	574.92	13.8
Franco Arcilloso (>a 35%)	5.06	0.1
Franco Limoso	108.87	2.6
<b>Total</b>	<b>4156.05</b>	<b>100.0</b>

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- × Puntos Acotados
- Cuenca del Río Catamayo
- Red de Drenaje



9580000

9560000

9540000

9520000

9580000

9560000

9540000

9520000

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERIA AGRICOLA

**TESIS DE GRADO:** "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"

**CONTIENE:** **MAPA DE CLASES TEXTURALES DEL SUELO**

<b>AUTOR:</b> Alex Cuenca Rosillo	<b>DIRECTOR:</b> Ing. Anibal González Mg. Sc.	<b>ESCALA:</b> Representación: 480000 Trabajo: 100000	<b>MAPA:</b> 17 DE 18	<b>FECHA:</b> Diciembre 2014
--------------------------------------	--	---	--------------------------	---------------------------------

**1:480000**  
 Proyección Universal Transversa de Mercator UTM  
 Datum Horizontal WGS 84  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estación Mareográfica  
 La Libertad, Provincia de Santa Elena  
 Zona 17 Sur

580000 600000 620000 640000 660000 680000 700000

580000

600000

620000

640000

660000

680000




700000

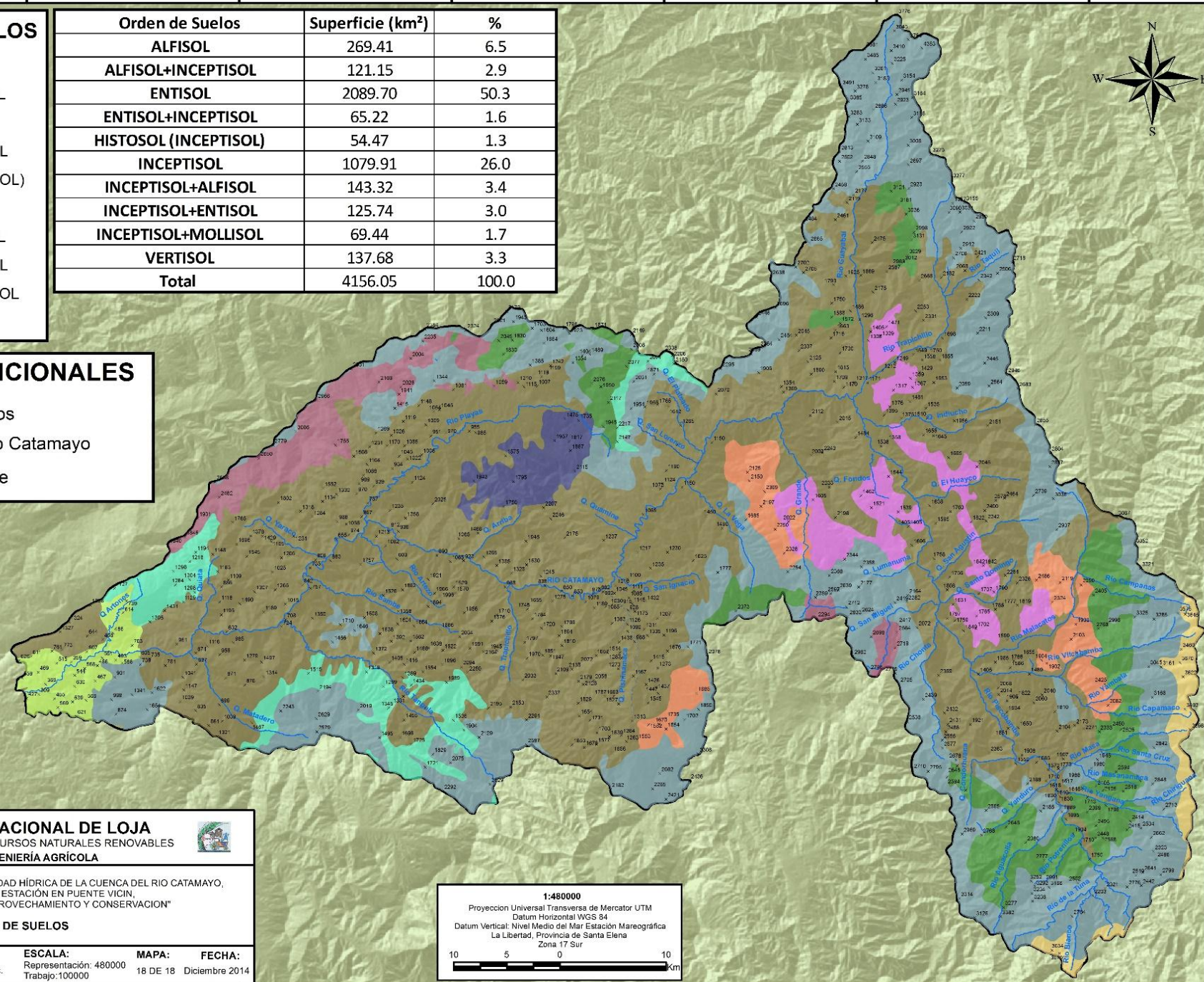
**ORDEN DE LOS SUELOS**

-  ALFISOL
-  ALFISOL+INCEPTISOL
-  ENTISOL
-  ENTISOL+INCEPTISOL
-  HISTOSOL (INCEPTISOL)
-  INCEPTISOL
-  INCEPTISOL+ALFISOL
-  INCEPTISOL+ENTISOL
-  INCEPTISOL+MOLLISOL
-  VERTISOL

Orden de Suelos	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
ALFISOL	269.41	6.5
ALFISOL+INCEPTISOL	121.15	2.9
ENTISOL	2089.70	50.3
ENTISOL+INCEPTISOL	65.22	1.6
HISTOSOL (INCEPTISOL)	54.47	1.3
INCEPTISOL	1079.91	26.0
INCEPTISOL+ALFISOL	143.32	3.4
INCEPTISOL+ENTISOL	125.74	3.0
INCEPTISOL+MOLLISOL	69.44	1.7
VERTISOL	137.68	3.3
<b>Total</b>	<b>4156.05</b>	<b>100.0</b>

**SIGNOS CONVENCIONALES**

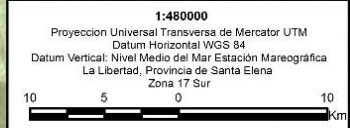
-  Puntos Acotados
-  Cuenca del Río Catamayo
-  Red de Drenaje



 **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
 ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TESIS DE GRADO:** "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CATAMAYO, HASTA LA ESTACIÓN EN PUENTE VICIN, CON FINES DE APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION"  
**CONTIENE:** **MAPA DE SUELOS**

**AUTOR:** Alex Cuenca Rosillo    **DIRECTOR:** Ing. Anibal González Mg. Sc.    **ESCALA:** Representación: 480000 Trabajo:100000    **MAPA:** 18 DE 18    **FECHA:** Diciembre 2014



580000

600000

620000

640000

660000

680000

700000

9580000

9560000

9540000

9520000

9580000

9560000

9540000

9520000

**Anexo. 15:** Respaldo fotográfico



**Foto 1.** Vista de la estación limnimétrica ARENAL EN PTE. BOQUERON



**Foto 2.** Vista de la estación limnimétrica CATAMAYO EN PTE. VICIN.



**Foto 3.** Aporte del Río Trapichillo



**Foto 4.** Aporte del Río Guayabal



**Foto 5.** Aporte del Río Piscobamba



**Foto 6.** Aporte del Río Playas



**Foto 7.** Aporte del Río Tangula



**Foto 8.** Río Catamayo



**Foto 9 y 10.** Unidades Vegetales del valle de la ciudad de Catamayo



**Foto 11 y 12.** Perfil de los Suelos y Unidades vegetales sector los Encuentros







**Foto 13, 14 y 15.** Matorral seco alto, bosque seco ralo y pasto natural sector centro Loja



**Foto 16, 17 y 18.** Bosques secos sedimentos, suelos muy superficiales con texturas arcillosas



**Foto 19 y 20.** Presencia de cobertura vegetal parte alta del valle de Casanga.