



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA TÉCNICA**

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**Análisis regional de las relaciones entre la geometría del cauce  
lleno de ríos de montaña con las características morfométricas  
de la cuenca drenante. Caso de estudio zona de transición  
Interandina - Costa Ecuatoriana.**

TRABAJO DE TITULACION.

**AUTOR:** Puchaicela Abendaño, Daniel Ramiro

**DIRECTOR:** Oñate Valdivieso, Fernando Rodrigo, PhD.

LOJA – ECUADOR

2016



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

Septiembre, 2016

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Doctor.

Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso

### **DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Análisis regional de las relaciones entre la geometría del cauce lleno de ríos de montaña con las características morfométricas de la cuenca drenante, realizado por Puchaicela Abendaño Daniel Ramiro, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, marzo de 2016

f).....

## DECLARACION DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Puchaicela Abendaño Daniel Ramiro declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Análisis regional de las relaciones entre la geometría del cauce lleno de ríos de montaña con las características morfométricas de la cuenca drenante, de la Titulación de Ingeniería Civil, siendo Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso, Ph D director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad.”

f. ....

Puchaicela Abendaño Daniel Ramiro

**CI:1104196546**

## DEDICATORIA

Dedico mi trabajo primeramente a Dios por darme la vida y poder llegar a cumplir esta meta, iluminando mi mente y mi corazón en cada paso que doy. A mis Padres por estar junto a mi toda la vida y ser mi mayor ejemplo de vida y superación. A Jhonatan por ser más que mi hermano, un amigo que siempre ha sido mi soporte y compañía.

A mi esposa y mi hijo que son mis principales razones para superarme y luchar cada día.

A toda mi familia por estar siempre siguiendo y guiando mis pasos por el camino correcto, gracias a ellos por formarme para lograr cumplir este gran escalón de mi vida profesional.

A todos mis compañeros de carrera que fueron los que me acompañaron en esta etapa que fue mi vida de estudiante en esta prestigiosa institución. A mis profesores gracias por su apoyo y motivación.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a Dios y mis padres por ser mi ejemplo de vida a seguir, a toda mi familia por apoyarme en cada decisión tomada en el transcurso de mi vida.

A mi director de tesis Ph. D. Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso quien me brindó la oportunidad de poder desarrollar la presente tesis, brindando sus conocimientos y experiencias en cada una de las etapas de desarrollo de la presente tesis.

A mi compañero de tesis, Jonathan Vladimir Armijos Tinoco, quien formo parte esencial para la ejecución y culminación de la misma, a todos quienes formaron parte del equipo de topografía que nos acompañaron en el levantamiento de cada una de las cuencas hidrográficas de análisis.

A todos los docentes que conforman la escuela de ingeniería civil de la U.T.P.L, ya que gracias a ellos que compartieron sus conocimientos para lograr culminar mi carrera universitaria.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	i
DECLARACION DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
RESUMEN:.....	1
ABSTRACT: .....	2
INTRODUCCIÓN:.....	3
CAPITULO I:.....	5
ESTADO DEL ARTE.....	5
CAPITULO II:.....	9
2.1 ÁREA DE ESTUDIO:.....	10
2.2 Caracterización morfológica.....	12
2.3 Caracterización hidráulica hidrológica .....	15
2.4 Curvas Regionales para geometría de cauce lleno.....	21
CAPITULO III:.....	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....	23
3.1 RESULTADOS.....	24
3.2 Comparación con investigaciones similares .....	33
CAPITULO IV .....	36
CONCLUSIONES: .....	37
RECOMENDACIONES:.....	39
BIBLIOGRAFÍA:.....	40
ENLACES WEP:.....	44
ANEXOS:.....	45
Anexo 1: Número de la curva de las cuencas analizadas.....	46
Anexo 2: Análisis de Tiempos de Concentración y Características Hidrológicas Hidráulicas del cauce del de las Cuencas Hidrográficas .....	50
Anexo 3: Datos de Curvas Regionales .....	51
Anexo 4: Fotográfico .....	52
Anexo 5: Dibujos de secciones de los cauces en los puntos de cierre. Escala H:V, 1:100 .....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Criterios de caracterización del índice de Gravelius: .....	13
Tabla 2: Criterios de caracterización de Tipo de Relieve: .....	14
Tabla 3: Criterios de caracterización de Drenaje:.....	14
Tabla 4: Información general de las cuencas hidrográficas levantadas:.....	24
Tabla 5. Características generales de las Cuencas Hidrográficas.....	25
Tabla 6. Parámetros de Forma de las Cuencas Hidrográficas .....	25
Tabla 7. Parámetros de Relieve.....	27
Tabla 8: Resumen de resultados hidrológicos de cuencas analizadas.....	28
Tabla 9: Resumen de resultados hidráulicos de cuencas analizadas.....	29
Tabla 10. Parámetros hidráulicos de sección llena. ....	30
Tabla 11: Correlación entre la geométrica del cauce lleno y la geomorfología de la cuenca drenante. ....	30
Tabla 12: Ecuaciones de curvas regionales de investigaciones similares .....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio.....	9
Figura 2. Uso de polígonos para Ecuaciones de Intensidades en el área de estudio .	14
Figura 3. Tipo de Suelo.....	15
Figura 4. Uso de Suelo .....	16
Figura 5. Ubicación de las de los puntos de cierre de las cuencas aforadas .....	22

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1. Relación entre el área de la cuenca drenante y la profundidad del cauce. .31	
Grafico 2. Relación entre el área de la cuenca drenante y el espejo de agua del cauce. .....	31
Grafico 3. Relación entre el área de la cuenca drenante y área mojada de la sección del cauce. ....	32

## **RESUMEN:**

El presente estudio presenta un análisis entre la geometría de cauce en los ríos de montaña y las relaciones morfológicas de cuencas drenantes, las cuales nos permiten examinar los parámetros hidrológicos e hidráulicos, estimando la morfología del canal de 9 puntos estratégicos de las cuencas hidrográficas que permiten realizar la caracterización de datos para el análisis de los mismos.

A partir del trabajo de campo se levantaron secciones transversales del cauce de cada una de las cuencas, así mismo se realizó la topografía de la sección de interés y con la cartografía existente; se determinó la morfología de la cuenca y se establecieron una serie de relaciones en dichas características y las del cauce lleno para obtener curvas regionales de geometría hidráulica.

Palabras clave: cauce lleno, geomorfología, curvas regionales, análisis de inundaciones.

**ABSTRACT:**

This study presents an analysis between riverbed's geometry in mountain rivers and the morphological relationships of draining basins, which allow us to examine the hydrologic and hydraulic parameters, estimating the channel morphology based in 9 strategic points of watersheds that allow to do data characterization for analyzing themselves.

From fieldwork the riverbed's cross sections of each of the basins were lifted. Also the topography of the sections of interest was performed and with existing mapping the morphology of the basin was determined; a series of relationships in these characteristics were established and the bankfull, to get regional curves of hydraulic geometry.

Keywords: bankfull, geomorphology, regional curves, flood analysis.

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación pretende obtener curvas regionales de geometría hidráulica que permitan estimar las características de la sección llena de los cauces de montaña en función de las características de la cuenca drenante, esta información permitirá conocer el comportamiento de una sección determinada en condiciones de avenida y así determinar una aplicación relevante en el diseño de infraestructura fluvial.

Los aspectos fundamentales de esta investigación se centran en la hidrología, hidráulica y las características morfométricas para la estimación de cambios bruscos entre sí que ocasionen inundaciones de cauce en los ríos de montaña.

En base al trabajo de campo realizado en cada una de las cuencas, se estimó mediante el estudio hidrológico hidráulico la caracterización de cada uno de los cauces principales, los cuales consiguen establecer correlaciones de los parámetros hidráulicos y geomorfológicos que permiten caracterizar las curvas regionales de geometría hidráulica, y obtener un modelo matemático para las condiciones similares analizadas. De la misma manera caracterizar la naturaleza del flujo a través de un segmento de río de montaña con extensas conexiones entre los compartimentos geomorfológicos, es decir aplicable para condiciones similares (Helton , 2014).

Los controles hidrológicos, hidráulicos y sedimentarios son un tema que ha recibido considerable atención a largo del tiempo (Leopold y Wolman, 1957; Schumm, 1960, 1985; Ferguson, 1987; Pitlick y Berro, 2002; Kleinhans, 2010) y es de importancia en los esfuerzos de restauración de ríos, de predicción de inundaciones y para el diseño de la infraestructura fluvial. Un índice hidrológico típico es la descarga de cauce lleno ( $m^3/s$ ), lo que implícitamente se asocia con la dimensión del canal y la cuenca drenante (Heitmüller, Hudson, Asquith , 2015).

Al tener curvas regionales de geometría hidráulica es factible estimar parámetros de cauce lleno en zonas en las que no existe información, siendo por ende una herramienta muy valiosa para la prevención de inundaciones, restauración de cauces, aprovechamiento de riego, agua potable etc., por lo que los resultados de esta investigación podrían ser de utilidad para instituciones tales como: INAMHI, SENAGUA, MAGAP, entre otras.

Para el desarrollo de la presente investigación se contó con el apoyo del departamento de geología y minas e ingeniería civil, del grupo de trabajo de hidrología y climatología

quienes brindaron accesos a bases de datos científicos, apoyo logístico y asesoría durante el desarrollo del presente trabajo.

El objetivo de la presente investigación es: analizar regionalmente las relaciones entre la geometría del cauce lleno de ríos de montaña con las características morfométricas de la cuenca drenante, el caso de estudio es la zona de transición interandina del sur del Ecuador. Para alcanzar este objetivo se seleccionaron 9 cuencas hidrográficas con diferentes características morfométricas. Se estudiaron las características del cauce en sección llena en los puntos de salida de las cuencas y se analizaron las correlaciones existentes entre dichos parámetros mediante mínimos cuadrados para obtener de esta manera las ecuaciones regionales, las que fueron contrastadas con las publicadas en la literatura.

El presente TT (Trabajo de Titulación) está compuesto de los siguientes capítulos:

Capítulo I Estado del arte: se presenta una revisión de la literatura científica relacionada al tema de investigación.

Capítulo II Materiales y métodos: se presenta el área de estudio y se describe la metodología empleada para desarrollar la presente investigación.

Capítulo III Resultados y discusión: se muestran todos los resultados obtenidos en la presente investigación y se lo contrasta con las condiciones locales y estudios similares publicados en la literatura científica.

Capítulo IV: Conclusiones y recomendaciones: se resumen los aspectos más relevantes de toda la investigación.

CAPITULO I:  
ESTADO DEL ARTE

La variación de las características geométricas de los canales hidráulicos de corriente fue sugerida por primera vez por Leopold y Maddox (1953), y construido en la teoría de régimen introducido por Lacey (1930), quienes demostraron que la relación entre la anchura del canal, con una media de flujo de profundidad, velocidad, carga de sedimentos en suspensión a la descarga de cauce lleno, la longitud de la corriente principal, pendiente del canal, o la precipitación media pueden expresarse a través de una relación de tipo exponencial (Modrick y Georgakakos, 2014). Dunne y Leopold (1978), estudiaron además la variación de la descarga de cauce lleno, relacionándolo con la geometría de cauce lleno del canal y el área de la cuenca.

Aunque estas relaciones empíricas típicamente se han aplicado a los ríos aluviales, los estudios indican que también se pueden aplicar a los ríos, semi-aluvial y no-aluvial (Montgomery y Gran, 2001; Wohl, 2004; Fola y Rennie, 2010; Vachtman y Laronne 2013).

Trabajos recientes han examinado el desarrollo de este tipo de relaciones a través de una variedad de regiones hidroclimáticas y geológicas a escala continental (Wilkerson 2014).

Los análisis realizados en EE.UU., por ejemplo, para derivar empíricamente las relaciones de geometría hidráulica o curvas regionales de geometría hidráulica para uno o varios cauces de una región y su aplicabilidad en cuencas hidrográficas similares (Harvey, 1969; Rhoads, 1991; Dudley, 2004; Lawlor, 2004; Messinger y Wiley, 2004; Chaplin, 2005; Ferguson, 1987; Berg, 1995; Osterkamp y Hedman, 1982) y Williams 1984<sup>a</sup>; Miall, 1976; Le Roux, 1994; Ghosh, 2000), se basan en lo planteado Dunne y Leopold, (1978), estableciendo una ecuación empírica que relaciona el área de la cuenca drenante con la características hidráulicas de la sección de cauce lleno, observándose una variación entre los índices de la ecuación exponencial.

Shibata K. e Ito M (2014) analizaron datos geomorfológicos e hidrológicos en 368 sitios de islas japonesas, obtuvieron ecuaciones similares a los sistema europeos y americanos mediante las relaciones entre la anchura del canal de cauce lleno, la media de cauce lleno y las descargas máximas. Wohl y Merritt (2008) examinaron una extensa colección de datos de 335 cauces en el oeste de los Estados Unidos, Alaska, Panamá, Nueva Zelanda y Nepal. Ellos plantearon curvas regionales de geometría hidráulica determinadas mediante análisis hidrológicos hidráulicos, encontrando valores exponenciales similares a los encontrados en la literatura.

El parámetro fundamental para la estimación de las curvas regionales de geometría

hidráulica es la sección llena, que posee un determinado periodo de retorno. El que fue determinado por Dunne y Leopold, (1978) y Leopold (1994), en 1,5 años. Castro y Jackson (2001) reportaron intervalos de recurrencia de 1 a 3,1 años con un promedio de 1,4 años para los arroyos en el noroeste del Pacífico de Estados Unidos. El estudio inicial de Williams (1978) reportó una serie de intervalos de recurrencia de cauce lleno de menos de 1 año a más de 30 años. Petit y Pauquet (1997) reportan un rango de valores de 0,7 años a 5,3 años para los flujos en Bélgica, con una variación en el intervalo de recurrencia clasificada además por el tamaño de la cuenca y por la permeabilidad del estrato. Periodos de retorno inferiores a 1 año se registraron en las corrientes costeras de Georgia, Maryland, y Carolina del Norte (McCandless 2003, Dulce, Geratz, 2003 y GDOT, 2003).

Las curvas regionales de geometría hidráulicas permiten la estimación de las dimensiones del canal de cauce lleno en lugares no estudiados, las curvas regionales han tenido aplicación práctica en una variedad de estudios de zonas fluviales o canales (Merigliano, 1997; Buhman et al., 2002; Stewardson, 2005; Wohl 2004; Wilcox, 2005; Osterkamp y Hedman, 1982; Howard, 1987; van den Berg, 1995; Puente y Tye, 2000; Leclair y Puente, 2001 ; Puente, 2003), restauración de ríos o diseño del canal natural (Wolman, 1957; Schumm, 1960; Khan, 1972; Dunne; Leopold, 1978; Ferguson, 1987; Rosgen, 1994, 1996; Hey, 2006;. Metcalf et al, 2009; 1976; Ferguson, 1977; Le Roux, 1994; Ghosh, 2000; Andrews y Parker, 1987; Leopold, 1992; Rosgen, 1994, 1996, 2001; Harman, 2002; Castro y Jackson, 2001; Doll et al, 2002; Keaton, 2005; Johnson y Fecko , 2008), estudios de evaluación de los ecosistemas y hábitats (Singh y McConkey, 1989; Jowett, 1998; Baker, 1977; Doyle, 2007), y como indicadores de crecidas repentinas en cuencas no aforadas (Carpenter , 1999; Schumm, 1960, 1963; Simpson y Smith, 2001; Harman, 2002). que ha sido utilizado en los sistemas de alerta de inundaciones repentinas (Georgakakos, 2006;. Villarini et al, 2010; Ntelekos et al, 2006; Gregory; Madew, 1982; Betson, 1979; Castro y Jackson, 2001; Merritt y Wohl, 2003).

Incluso las curvas regionales están sujetas a la variabilidad y el error debido a factores que influyen en los patrones de escorrentía (es decir: vegetación, estado del canal, el uso del suelo, tipo de suelo) y las estimaciones del cauce lleno (es decir: la duración del registro, la estabilidad de la curva de gastos , inundaciones recientes) en los medidores utilizados para crear los modelos (Christiane I. Mulvihill, 2012).

El flujo es el factor dominante en el canal, la fuerza en la orilla del canal también juega un papel importante al influir en la geometría del canal y el patrón del canal (Davies y Sutherland, 1980; Osterkamp, 1982; Hey y Thorne, 1986; Huang y Nanson, 1998; Millar, 2005). Por otra parte, la vegetación y los sedimentos en la orilla juegan un papel

importante en la determinación de la resistencia en la orilla del canal (Huang y Nanson, 1998).

El cuerpo de Ingenieros del Ejército (USACE 1994) en E.E.U.U recomienda que los canales se diseñen con tirantes más estrechos cuando hay un mayor contenido de limo / arcilla en el suelo debido a propiedades de cohesión hacen las orillas del canal menos erosionable. Suelos cohesivos y materiales grandes tienen una alta resistencia al esfuerzo cortante, mientras que las partículas de tamaño medio tienen una baja resistencia al esfuerzo cortante (Thorne y Tovey 1981).

El presente estudio pretende realizar un análisis regional de las relaciones entre la geometría del cauce lleno de los ríos de montaña con las características morfométricas en 9 cuencas ubicadas en la provincia de Loja, y obtener de esta manera curvas regionales de geometría hidráulica específicas para esta zona.

CAPITULO II:  
MATERIALES Y MÉTODOS

## 2.1 Área de estudio

La Provincia de Loja, pertenece territorialmente a las subdivisiones regionales del país: Costa Sur y Andes Sur, donde la Cordillera Andina desciende en altitud conformando un estrecho segmento con características climáticas propias (Sierra 1999). La Región Sur del Ecuador y el Noroeste peruano, conforman juntas una macrorregión ubicada en la zona de transición entre los Andes Septentrionales y los Andes Centrales.

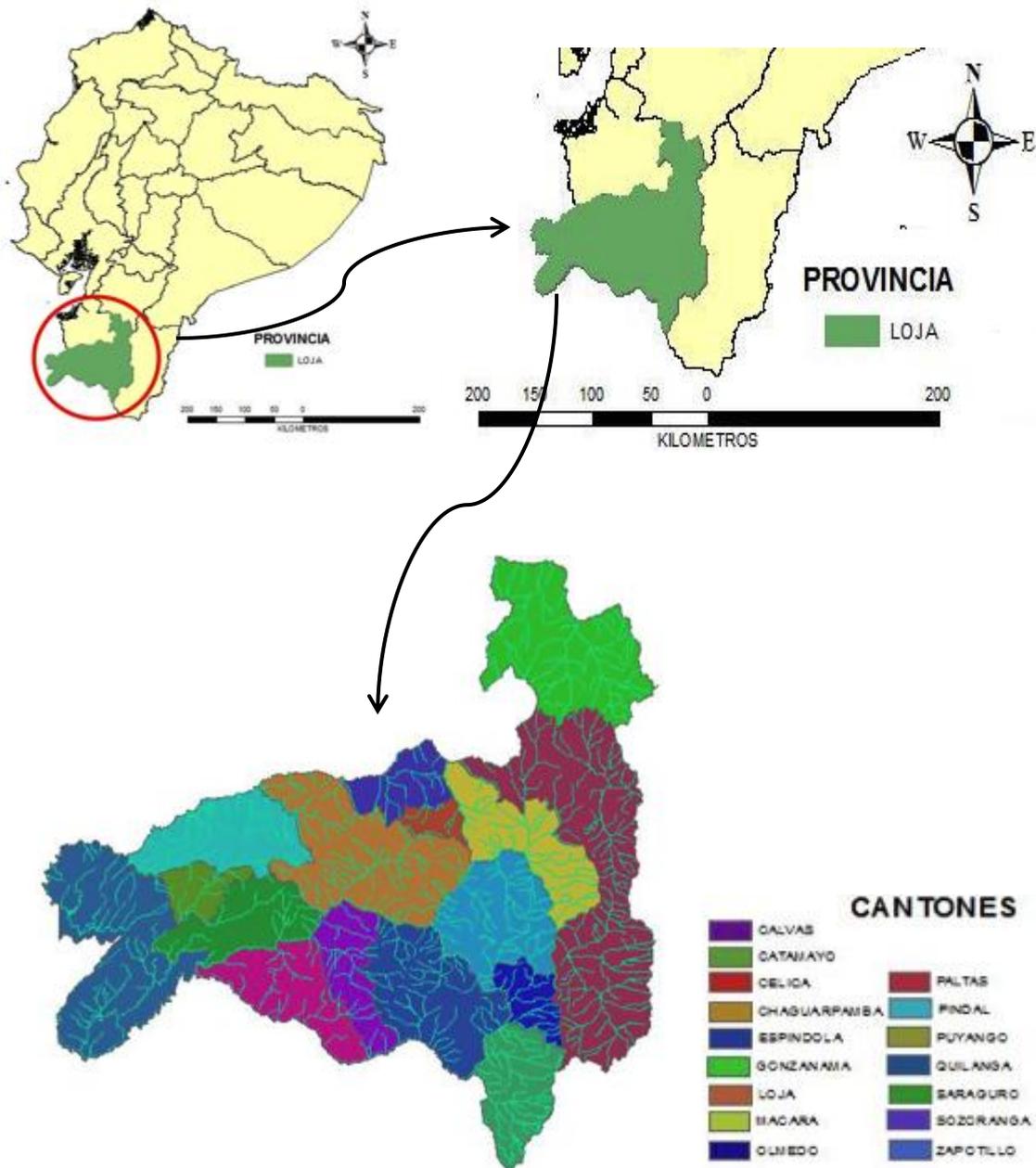


Figura 1. Área de estudio  
Fuente: Elaboración propia

Tiene una superficie aproximada de 10.790 km<sup>2</sup> equivalente al 4% de la superficie del país, limita al Norte con la provincia del Azuay; al Sur con la República del Perú; al Este con la provincia de Zamora Chinchipe; al Oeste con la provincia de El Oro, el área de estudio comprende los cantones de; Calvas, Catamayo, Celica, Gonzanamá, Loja y Sozoranga. El área de estudio se encuentra limitada por las siguientes coordenadas en la proyección UTM para la zona 17S y con el datum WGS 84: N 9'515 000, E 602 000 y N 9'576 000, E 694 000 (INEC, 2012).

El 45% del territorio lojano es de topografía accidentada conformada por rocas, peñones y terrenos muchas veces de difícil acceso, cuyo rango altitudinal se ubica aproximadamente entre 100 y 3800 m.s.n.m. A pesar de presentarse alturas de hasta 4.107 m, no existen nevados, los bosques secos asoman hacia el Oeste, entre los 100 y 1200 metros de altitud, la línea divisoria continental separa la capital del resto de la provincia drenando sus alrededores hacia el Amazonas. (<http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea02s/ch11.htm>)

En la provincia de Loja predominan los climas tropical, subtropical y temperado, de acuerdo con la clasificación de pisos térmicos adaptada por Cañadas (1983) a nuestro País, cuyos rangos se extienden desde los 13°C en Saraguro a más de 25° C en Macará en el extremo austral. Como consecuencia de la gran variedad de temperaturas, de los diversos niveles de pluviosidad y de sus características orográficas, la región en estudio presenta una serie de microclimas.

Otro factor generador del clima local es el alejamiento territorial de la frontera con el Perú, caracterizada como hábitat desértico: las localidades lojanas más cercanas a la frontera (más bajas y occidentales) son más áridas, y las más alejadas y cercanas a la Cordillera Oriental (más altas y orientales) son más húmedas y con distribución de lluvia mejor distribuida a lo largo del año calendario. Así, sitios bajos ubicados al Oeste son secos y áridos, mientras lugares ubicados al Este son húmedos y semi-húmedos aunque no necesariamente más lluviosos en términos de suma anual.

En la provincia de Loja, los bosques de neblina se asientan en los dos flancos de la cordillera Oriental de los Andes, hacia el Este, por sobre los 3000 metros de altitud, donde también se registran cifras record de pluviosidad (increíblemente cifras anuales superiores a 4000 mm)

La humedad relativa media anual de 76%, precipitación máxima mensual de 1338,6 mm (INAMHI Anuario Meteorológico Nro. 51 – 2011)

La provincia de Loja pese a no contar con suelos de lo más idóneos para la actividad agropecuaria ya que tan solo el 7% de su suelo es fértil, la agricultura es una de las principales fuentes de ingresos económicos.

La provincia de Loja se caracteriza por la producción de cultivos permanentes (47.595 ha), transitorios (60.765 ha), pastos cultivados (94.968 ha) y pastos naturales (337.909 ha), (ESPAC – INEC, 2012), entre ellos los de mayor producción son: caña de azúcar, café, banano, maíz, yuca y arroz, mientras que en la producción pecuaria destacan la leche de vaca y los huevos de gallina.

En la Provincia de Loja se encuentran diferentes "tipos de uso actual del suelo", que corresponden a unidades puras como: bosques, matorrales, chaparros, páramos, eriales y zonas urbanas; y, asociaciones como: agricultura-pasto y pasto-agricultura.

Los suelos con aptitud forestal y silvopastoril cubren el 54% de la provincia o sea 596.700 ha. Del área indicada se hallan reforestadas 27.080 ha, utilizando diversos sistemas de reforestación. Esta superficie equivale al 4,5% del área potencial con aptitud forestal en la Provincia de Loja.

<http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea02s/ch19.htm>

La Provincia de Loja, constituye el 3.1% de la población total del Ecuador, registra una población de 448.966 habitantes donde el 50,82% son mujeres y el 49,18% son hombres (INEC noviembre 2010).

## 2.2 Caracterización morfológica

Se delimitaron 9 cuencas hidrográficas empleando cartografía del IGM (Instituto Geográfico Militar) a escala 1:50000, se realizó caracterización de la morfología de las cuencas drenantes con la delimitación de cada una de las cuencas empleando AutoCad versión estudiantil, para determinar los valores del área, perímetro y la longitud de la cuenca.

Adicionalmente se estimaron los factores de forma de la cuenca (Monsalve G, 1995), como son:

Factor de Horton:  $L = 1.41 \times A^{0.568}$  EC 1

Factor RF:  $R_f = \frac{L}{L^2}$  EC 2

Índice de Gravelius:

$$Kc = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

EC 3

En donde:

A: Área en Km<sup>2</sup>

P: Perímetro.

L: Longitud desde el punto de interés hasta el punto más elevado de la cuenca drenante.

Tabla 1: Criterios de caracterización del índice de Gravelius:

<b>Kc</b>	<b>Tipo de forma de la cuenca</b>	<b>Tipo de crecidas</b>
1,00 – 1,25	Redonda - Oval Redonda	Crecidas altas
1,25 – 1,50	Oval Redonda - Oval Oblonga	Crecidas tipo medio
1,50 – 1,75	Oval Oblonga - Alargada	Crecidas tipo baja

Fuente: Apuntes de Hidrología

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros considerados para la caracterización del relieve en las cuencas analizadas son:

Rectángulo equivalente:  $L_{mayor} = \frac{Kc \cdot \sqrt{A}}{1.12} + \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$  EC 4

$$L_{menor} = \frac{Kc \cdot \sqrt{A}}{1.12} + \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$
 EC 5

En donde:

A: Área de las fajas altitudinales.

Kc: Índice de Gravelius.

Pendiente promedio de la cuenca:

$$Sc = \frac{\sum D \cdot L}{A_{total}} \times 100$$
 EC 6

En donde:

D: Diferencia altitudinal entre las cotas.

L: Longitud intermedia de cada faja.

A total: Área total de la cuenca km<sup>2</sup>

Sc: Pendiente promedia de la cuenca en porcentaje.

Curva hipsométrica

$$I_H = \frac{(H_s - H_{es})}{L_{mayor}}$$
 EC 7

Tabla 2: Criterios de caracterización de tipo de relieve:

<b>Tipos de relieve</b>	<b>Ig(m/km)</b>
Muy débil	<2
Débil	2 a 5
Débil moderado	5 a 10
Moderado	10 a 20
Moderado Fuerte	20 a 50
Fuerte	50 a 100
Muy Fuerte	100 a 200

Fuente: Monsalve, G. Hidrología en la Ingeniería, 1995.

Fuente: Elaboración propia

En donde:

L mayor: Lado mayor del rectángulo equivalente.

H<sub>5</sub>: Es la cota sobre la que está el 5% de la superficie de la cuenca.

H<sub>95</sub>: Es la cota sobre la que está el 95% de la superficie de la cuenca.

Elevación media de la cuenca

$$H_m = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \cdot H_i)}{A_{Total}} \quad \text{EC 8}$$

En donde:

H<sub>i</sub>: Altitud media.

A<sub>i</sub>: Área de dicho intervalo de faja.

Densidad de Red de los Cauces

$$D_c = \frac{N_c}{A} \quad \text{EC 9}$$

En donde:

N<sub>c</sub>: Número de cauces que hay en la cuenca.

A: Área de la cuenca.

Densidad de Drenaje

$$D_d = \frac{L}{A} \quad \text{EC 10}$$

Tabla 3: Criterios de caracterización de drenaje:

<b>Drenaje de la cuenca</b>	<b>Dd</b>
Regular drenaje	0 a 1
Normal drenaje	1 a 1,5
Buen drenaje	>1,5

Fuente: Monsalve, G. Hidrología en la Ingeniería, 1995.

Fuente: Elaboración propia

En donde:

L: Longitud total de las corrientes de agua, en Km

A: Área total de la hoya, en Km<sup>2</sup>

Pendiente promedio del cauce Principal

$$PV = \left[ \frac{L}{2} ; H_{min} + \frac{Area\ de\ la\ cuenca}{L} \right] \quad EC\ 11$$

En donde:

H min: Cota mínima

L: Longitud de cauce principal

En el punto de cierre de cada una de las cuencas se realizó el levantamiento topográfico de la sección del canal en donde se obtuvieron datos del perfil del canal, altura del tirante del cauce natural, altura del tirante en condiciones de cauce lleno y se realizó el aforo de velocidades entre los puntos en los que se establecieron las secciones transversales; los datos de aforo se obtuvieron con cinco repeticiones para en lo posterior estimar las velocidad y velocidad promedio del cauce.

### 2.3 Caracterización hidráulica hidrológica

La intensidad de lluvia que genera crecidas máximas se obtuvo a partir de las ecuaciones de Intensidad-Duración-Frecuencia desarrolladas por el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), en donde para el desarrollo de la investigación se han tomado en cuenta que la zona se divide en 5 zonas de intensidad. Cuyas ecuaciones para 25 años de periodo de retorno son:

ZONA 2	$I = 440.055 * t^{-0.5673}$	EC 12
--------	-----------------------------	-------

ZONA 3	$I = 1601.645 * t^{-0.8489}$	EC 13
--------	------------------------------	-------

ZONA 4	$I = 2553.55 * t^{-0.849}$	EC 14
--------	----------------------------	-------

ZONA 5	$I = 994.479 * t^{-0.7143}$	EC 15
--------	-----------------------------	-------

ZONA 6	$I = 7342.8 * t^{-0.9751}$	EC 16
--------	----------------------------	-------

En donde:

I: Intensidad mm/h.

t: Duración de la tormenta en minutos.

En base a la estimación de la intensidad máxima de las tormentas y mediante los registros históricos se tienen diferentes tipos de duración de tormenta y para nuestra investigación se planteó un duración efectiva de 1.5 horas para todas las cuencas analizadas, esto debido a que permite establecer un adecuado análisis del comportamiento de máximas avenidas para todas las cuencas.

En base a los valores obtenidos de la intensidad para cada cuenca y en función que las ecuaciones fueron obtenidas para un periodo de retorno de 25 años, se obtuvo la precipitación total, mediante la expresión:

$$P = I * t$$

EC 17

En donde:

I: Intensidad mm/h.

t: tiempo en horas.

P: Precipitación en mm.

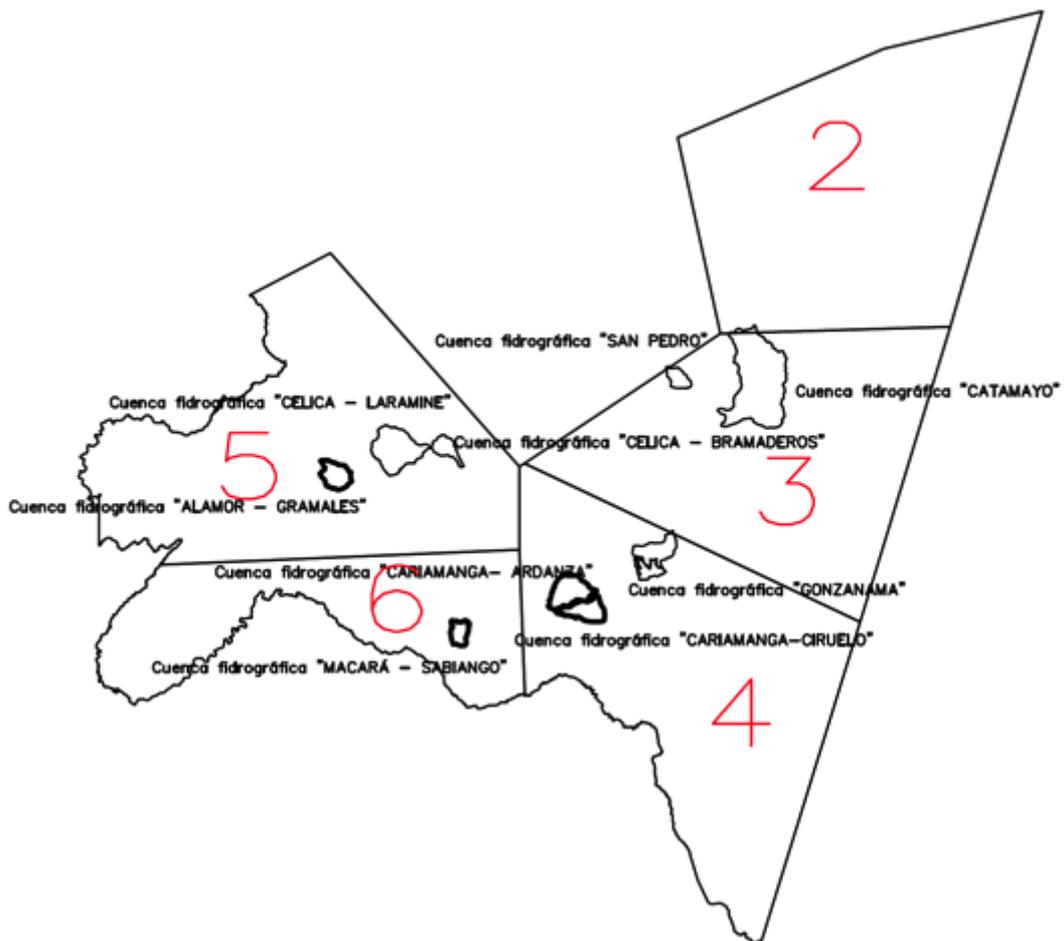
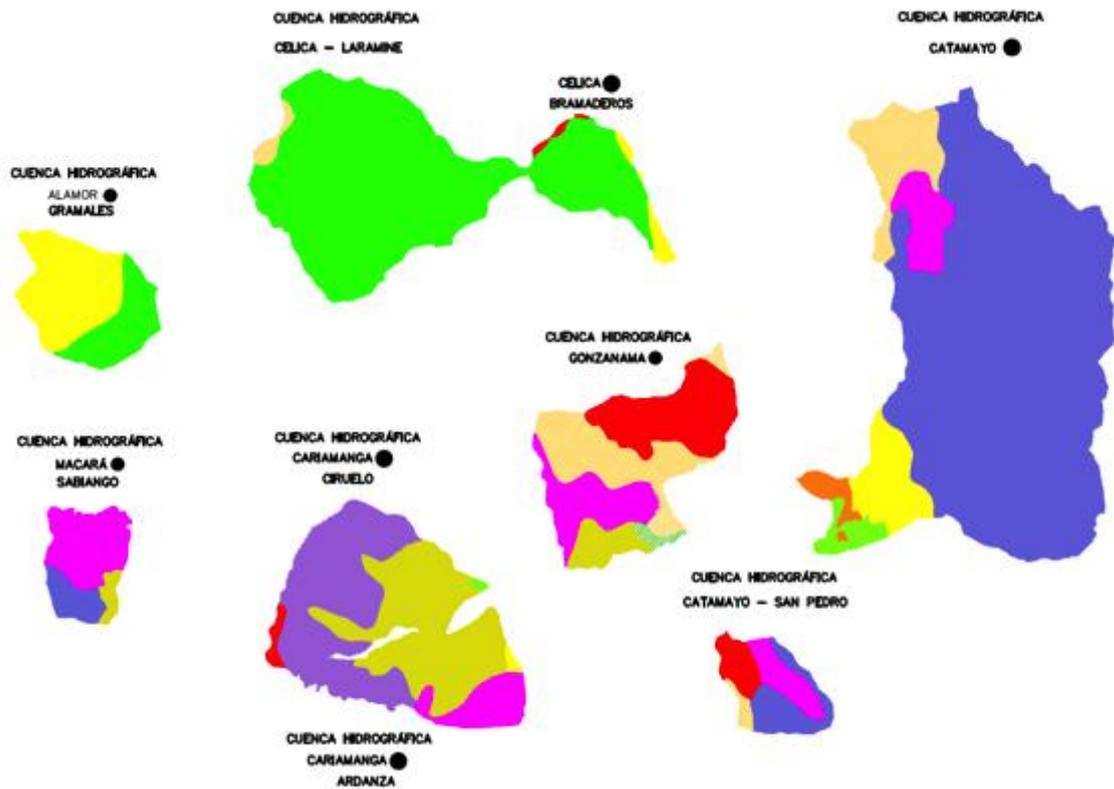


Figura 2. Uso de polígonos para ecuaciones de intensidades en el área de estudio.  
Fuente: Elaboración propia a partir del mapa de intensidades proporcionado por el INAMHI

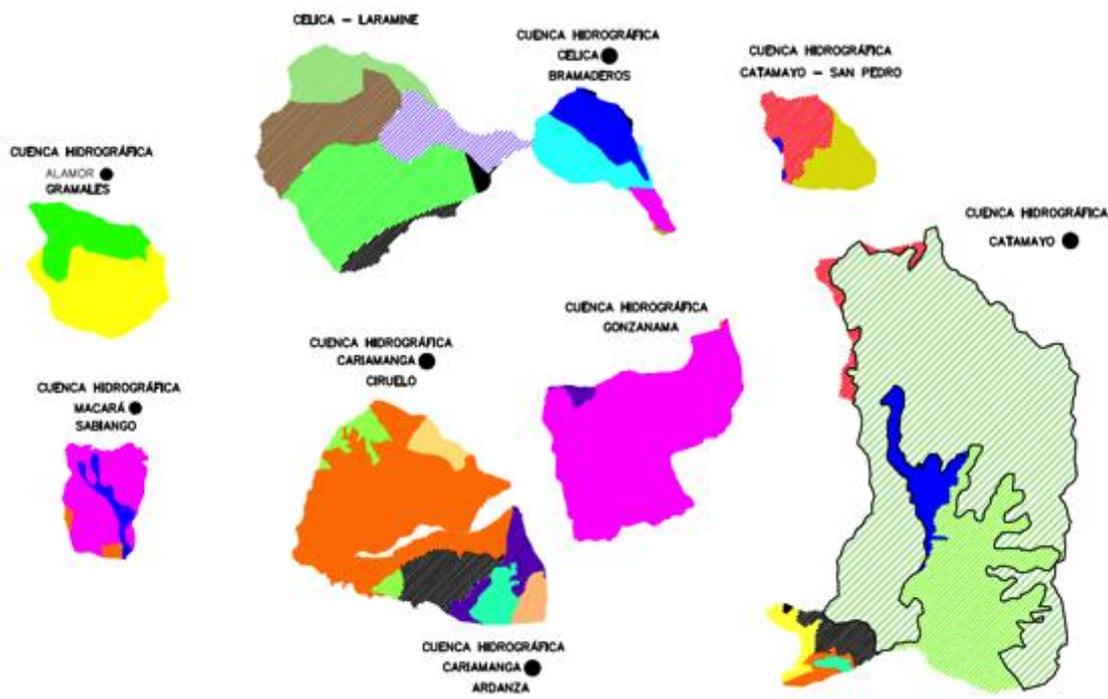
Con la finalidad de calcular la precipitación efectiva se determinó el número de curva para cada una de las zonas analizadas empleando mapas de uso de suelo y tipo de suelos registrados en Sigtierras (2010)., y que se presenta en la figura 3. Anexo 1.



-  Suelo profundo, arcillosos, pedregosos; en terrenos montañosos, seco, con riesgo de inundación, en valles aluviales.
-  Suelo profundo, seco, suelos arcillosos, pedregosos; en terrenos montañosos.
-  Suelos profundos; franco arcillosa a arcillosa arenoso, moderada permeabilidad
-  Suelo superficial a muy superficial; franco a franco arcillosa, con permeabilidad moderada
-  Suelo moderado a poco profundo con y sin arcillas plásticas (2:1), (pardo y pardo rojizo).
-  Suelo profundo, asociado con suelos arcillosos poco profundos pedregosos.
-  Suelo moderadamente profundo, de textura media a moderadamente pesadas y bien a moderadamente drenados (aluvial).
-  Suelo Profunda; franco arcillosa a arcillosa arenoso, permeabilidad moderadamente lenta.
-  Suelo superficial a muy superficial; franco a franco arcillosa, con permeabilidad moderada
-  Suelo moderadamente profundo, baja saturación de bases con alta frecuencia de inundación. (aluvial).
-  Suelo moderadamente profundo, con alta frecuencia de inundación en la terraza aluvial. (aluvial).
-  Suelo plano, profundo, bien drenado, (aluvial).

Figura 3. Tipo de suelo.

Fuente: Elaboración propia a partir del mapa de tipo de suelo proporcionado por SIGTIERRAS.



- 70% CULTIVOS DE CICLO CORTO / 30% PASTO NATURAL
- 70% CAFE / 30% PASTO CULTIVADO
- 70% ARBORICULTURA TROPICAL / 30% PASTO NATURAL
- 50% ARBORICULTURA TROPICAL - 50% PASTO CULTIVADO
- 70% BOSQUE INTERVENIDO / 30% ARBORICULTURA TROPICAL
- 70% PASTO NATURAL / 30% CULTIVOS DE CICLO CORTO
- VEGETACION ARBUSTIVA EN AREAS EN PROCESO DE EROSION
- PASTO NATURAL EN AREAS EN PROCESO DE EROSION
- CULTIVOS DE CICLO CORTO
- PASTO NATURAL
- 50% CULTIVOS DE CICLO CORTO - 50% VEGETACION ARBUSTIVA
- ARBORICULTURA TROPICAL
- 70% VEGETACION ARBUSTIVA / 30% PASTO NATURAL
- PASTO CULTIVADO
- VEGETACION ARBUSTIVA
- CAÑA DE AZUCAR
- AREA URBANA

Figura 4. Uso de suelo.

Fuente: Elaboración propia a partir del mapa de uso de suelo proporcionado por SIGTIERRAS.

Se emplearon las tablas existentes en la literatura para caracterizar las condiciones de infiltración que presenta cada combinación de uso de suelo – tipo de suelo. Encontrándose finalmente el CN Ponderado para cada cuenca, aplicando la expresión:

$$CN_{ponderado} = \frac{CN_1 \cdot A_1 + CN_2 \cdot A_2 + \dots + CN_n \cdot A_n}{A_T} \quad EC 18$$

En donde:

CN<sub>i</sub>: Numero de la curva de la combinación (uso de suelo - tipo de suelo);

A<sub>i</sub>: Área ocupada por la combinación (uso de suelo - tipo de suelo);

A<sub>T</sub>: Área total de la cuenca

La lluvia efectiva se define como la cantidad de lluvia que contribuye directamente a la escorrentía superficial de captación, y no incluye la precipitación que es interceptada, infiltrada en el suelo, o se evapora desde el suelo o a través de las plantas. (Modrick y Georgakakos, 2014) y se determinó aplicado la ecuación:

$$P_e = \frac{(P - \frac{508}{CN} + 5,00)^2}{P + \frac{2032}{CN} - 20,320} \quad EC 19$$

En donde:

P: Precipitación en cm.

CN: Número de la curva ponderado.

P<sub>e</sub>: Precipitación efectiva en cm.

El caudal de descarga se consigue en base de la ecuación de Manning:

$$Q_i = \frac{\sqrt[3]{\frac{P_e}{1}}}{\left( \frac{1}{\sqrt{Kd_i^2}} + \frac{1}{\sqrt{Kd_i^2}} \right)} \quad EC 20$$

$$Kd_i = \frac{A_i \cdot R_i^{2/3}}{\pi} \quad EC 21$$

$$Kd = \frac{K \cdot I \cdot K_2}{2} \quad EC 22$$

$$\Delta y = Y_1 - Y_2 \quad EC 23$$

En donde:

A:  $A_{XS}$ , es el obtenido en base a la EC 31.

R: Radio hidráulico de la sección.

g: Gravedad  $m/s^2$

n: Número de Manning.

L: Distancia entre secciones

El caudal pico se determinó aplicando los criterios del Hidrograma hidrológico de USSCS:

$$Q_p = q_p + Pc \quad \text{EC 24}$$

En donde:

$Q_p$  = Caudal pico  $m^3/s$

$$q_p = \left( \frac{0,208 \times A}{L_p} \right) \quad \text{EC 25}$$

En donde:

A: Área de la cuenca  $km^2$

$q_p$ : Caudal pico por mm de lluvia efectiva ( $m^3/s$ )/mm .

$$L_p = \frac{d_c}{2} + t_r \quad \text{EC 26}$$

En donde:

$t_p$ : tiempo al pico del Hidrograma triangular, horas

$$t_r = 0,6 + t_c \quad \text{EC 27}$$

El tiempo de lluvia efectiva  $t_r$ , se lo considera como 60% del tiempo de concentración.

$$d_c = 2 + \sqrt{t_c} \quad \text{EC 28}$$

El  $t_c$  es el tiempo de concentración que fue estimado igual a 1.5 horas, debido a que los tiempos de concentración (Anexo 2) obtenidos por diferentes métodos no se acercan a la realidad de nuestro medio; permitiendo así establecer un análisis entre cada una de ellas.

El caudal pico es un valor de vital importancia ya que debido a este resultado permite la realización de todo tipo de infraestructuras fluviales.

En nivel de máximas crecidas correspondiente a cada caudal pico se estableció aplicando la ecuación para el caudal de análisis de niveles correspondientes a máximas crecidas Manning.

Se debe tener en cuenta que el Número de Manning se considera entre los valores desde 0,04 hasta 0,07 (Maidment,1993)., con valor máximo de 0,1 de la misma manera se puede considerar que en flujos naturales, (Chow et al., 1988). Chow (1959) presenta valores de rugosidad hasta 0,15.

#### 2.4 Curvas Regionales para geometría de cauce lleno

Las curvas regionales de geometría hidráulica son modelos matemáticos que se obtienen de las relaciones de las dimensiones del canal de cauce lleno y la gestión del área de drenaje de la cuenca drenante, (Dunne T y Leopold L, 1978). Estas relaciones se fundamentan como dato inicial el área de la cuenca analizada, para la cual se fundamentan las siguientes ecuaciones

$$B_b = \alpha A^\beta \quad \text{EC 29}$$

$$D_b = \varepsilon A^\delta; \quad \text{EC 30}$$

$$A_{xs_b} = \lambda A^Y \quad \text{EC 31}$$

Donde:

B<sub>b</sub>: Anchura de cauce lleno.

D<sub>b</sub>: Profundidad.

A<sub>xs<sub>b</sub></sub>= Área de la sección transversal.

Se relacionaron las variables:

- Área cuenca drenante VS caudal de aforo.
- Área cuenca drenante VS caudal de pico.
- Área cuenca drenante VS velocidad del cauce.
- Área cuenca drenante VS precipitación efectiva.
- Área cuenca drenante VS precipitación máxima.
- Área cuenca drenante VS espejo de agua.
- Perímetro cuenca drenante VS perímetro mojado.
- Área cuenca drenante VS profundidad.
- Caudal de aforo VS pendiente del cauce principal.
- Caudal aforo VS longitud del cauce principal.
- Caudal de pico VS pendiente del cauce principal.

- Caudal pico VS longitud del cauce principal.
- Área mojada VS pendiente del cauce principal.
- Área mojada VS longitud del cauce principal.
- Profundidad del cauce VS pendiente del cauce principal.
- Profundidad del cauce VS longitud del cauce principal.
- Índice de Gravelius VS caudal de aforo.
- Índice de Gravelius VS caudal pico.

#### CURVAS REGIONALES

- Área cuenca drenante VS ancho del cauce.
- Área cuenca drenante VS profundidad del cauce.
- Área cuenca drenante VS área mojada.

CAPITULO III:  
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 3.1 Resultados

En la Tabla 4 se presenta las coordenadas de los puntos de cierre en la proyección UTM para la zona 17S y con el datum WGS 84 de las cuencas analizadas, el área y el número de carta del IGM correspondiente. La ubicación de dichos sitios se presenta en la figura 5.

Tabla 4: Información general de las cuencas hidrográficas levantadas.

N°	Cuenca	Coordenada de la sección de interés		Área Km2	Carta
		Norte	Este		
<b>COSTA</b>					
1	ALAMOR	9 551 394.26	603 794.09	24	90 MVII - B2
2	CELICA	9 548 392.13	630 730.00	16	88 NVII - A1
3	CARIAMANGA	9 526 214.36	656 638.54	26	89 NVII - A4
4	CARIAMANGA	9 523 426.24	655 779.20	38	89 NVII - A4
5	CATAMAYO	9 560 000.00	681 305.58	162	81 NVI - F3
6	CELICA	9 554 637.00	613 664.00	62	88 NVII - A1
7	GONZANAMA	9 529 385.07	668 896.43	44	89 NVII - B3
8	MACARÁ	9 515 724.27	631 317.27	14	88 NVII - C1
9	CATAMAYO	9 565 572.24	674 339.31	14	81 NVI - F3

Fuente: Elaboración propia

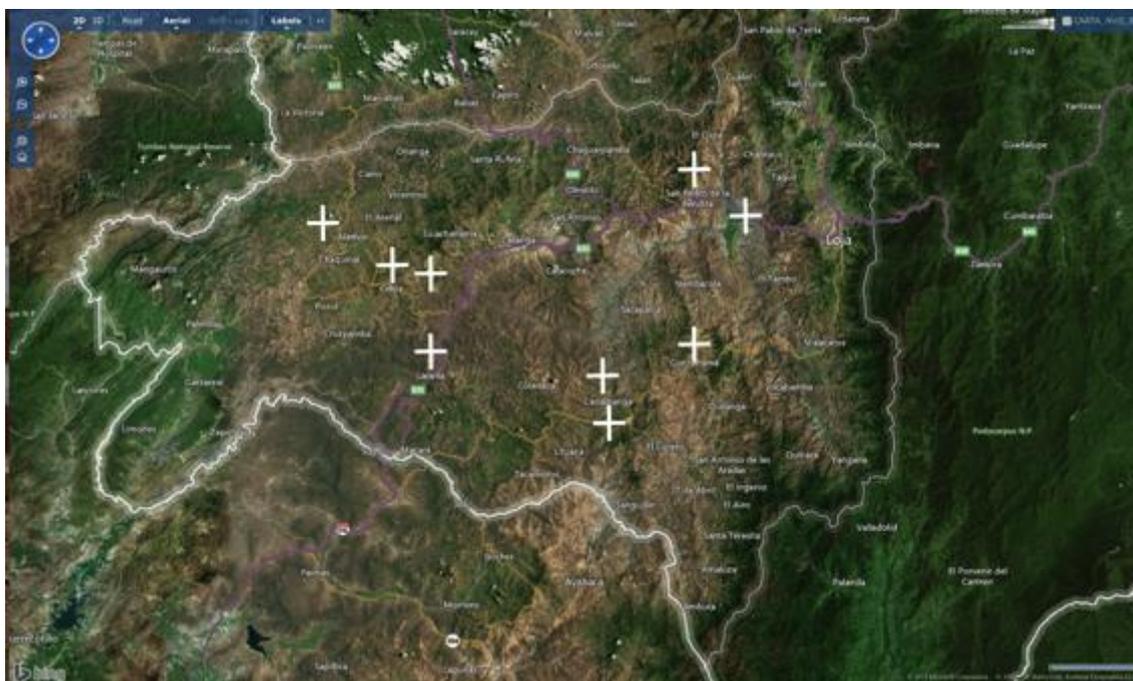


Figura 5. Ubicación de las de los puntos de cierre de las cuencas aforadas.

Fuente: [http://www.sigtierras.gob.ec/Servicios/Cartas1\\_50k/CARTA\\_NVII\\_B2/CARTA\\_NVII\\_B2\\_BingMaps3D.html](http://www.sigtierras.gob.ec/Servicios/Cartas1_50k/CARTA_NVII_B2/CARTA_NVII_B2_BingMaps3D.html)

Elaboración propia

El análisis morfológico de cada una de las cuencas se resume en las tablas 5, 6 y 7. En la tabla 5 se puede observar que el área de las cuencas fluctúa entre 13 km<sup>2</sup> y 162 km<sup>2</sup>, con perímetros que varían entre 16 km y 71 km, cuya relación permite observar que las cuencas tienen formas Redonda - Oval Redonda – Oval Oblonga que le conceden tendencias medias altas a crecidas (Tabla 6).

En la tabla 7 se puede observar que las pendientes medias de la cuenca oscilan entre 35% y 77%, lo que corresponde a un relieve fuerte y muy fuerte. Las cuencas poseen redes de cauces que pueden considerarse de regulares a buenos, con pendientes del cauce principal que oscilan entre 7% y 42%.

Tabla 5. Características generales de las cuencas hidrográficas.

Región	Nombre de la cuenca	Datos generales		
		A Km <sup>2</sup> =	P Km=	L Km=
COSTA	CUENCA HIDROGRAFICA ALAMOR -GRAMALES	23,52	20,17	6,75
	CUENCA HIDROGRAFICA BRAMADEROS	16,19	20,10	6,85
	CUENCA HIDROGRAFICA CARIAMANGA ARDANZA	26,32	25,93	8,37
	CUENCA HIDROGRAFICA CARIAMANGA –CIRUELO	37,72	26,91	9,48
	CUENCA HIDROGRAFICA CATAMAYO	161,67	70,67	16,79
	CUENCA HIDROGRAFICA CELICA – LARAMINE	61,69	34,87	11,47
	CUENCA HIDROGRAFICA GONZANAMÁ	44,04	32,74	8,85
	CUENCA HIDROGRAFICA MACARÁ - SABIANGO	13,88	16,36	5,34
	CUENCA HIDROGRAFICA CATAMAYO - SAN PEDRO	13,53	16,15	5,66

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Parámetros de forma de las cuencas hidrográficas.

Nombre de la cuenca	Parametros de forma de la cuenca				
	Factores de forma de Horton	Factor adimensional deforma Rf	Índice de gravelius	Forma de la cuenca	Tipo de crecidas
CUENCA HIDROGRAFICA ALAMOR - GRAMALES	8,48	0,33	1,16	Redonda-Oval Redonda	Crecidas Altas
CUENCA HIDROGRAFICA BRAMADEROS	6,86	0,34	1,40	Oval Redonda-Oval Oblonga	Crecidas Tipo Medio
CUENCA HIDROGRAFICA CARIAMANGA ARDANZA	9,04	0,32	1,42	Oval Redonda-Oval Oblonga	Crecidas Tipo Medio
CUENCA HIDROGRAFICA CARIAMANGA - CIRUELO	11,08	0,31	1,23	Redonda-Oval Redonda	Crecidas Altas
CUENCA HIDROGRAFICA CATAMAYO	25,33	0,25	1,56	Oval Oblonga-Alargada	Crecidas Tipo Baja
CUENCA HIDROGRAFICA CELICA - LARAMINE	14,66	0,29	1,24	Redonda-Oval Redonda	Crecidas Altas
CUENCA HIDROGRAFICA GONZANAMÁ	12,10	0,30	1,38	Oval Redonda-Oval Oblonga	Crecidas Tipo Medio
CUENCA HIDROGRAFICA MACARÁ - SABIANGO	6,28	0,35	1,23	Redonda-Oval Redonda	Crecidas Altas
CUENCA HIDROGRAFICA CATAMAYO - SAN PEDRO	6,19	0,35	1,23	Redonda-Oval Redonda	Crecidas Altas

Fuente: Elaboración propia



Tabla 7. Parámetros de relieve

Nombre de la cuenca	Parámetros relativos al relieve.									
	Rectángulo equivalente		Pendiente promedio de la cuenca.	Curva hipsométrica IG	Tipo de relieve	Elevación media	Densidad de drenaje			S% prom del cauce principal
	L mayor	L menor					Densidad de red	Densidad de drenaje	Drenaje de la cuenca	
CUENCA HIDROGRÁFICA ALAMOR - GRAMALES	6,43	3,66	41,83	178,00	Muy fuerte	1293,08	0,85	1,88	Buen drenaje	15,47
CUENCA HIDROGRÁFICA BRAMADEROS	8,04	2,01	52,82	222,44	Muy fuerte	2247,89	0,37	1,29	Normal drenaje	24,01
CUENCA HIDROGRÁFICA CARIAMANGA ARDANZA	10,45	2,52	38,45	93,22	Fuerte	2649,98	1,10	0,40	Regular drenaje	10,30
CUENCA HIDROGRÁFICA CARIAMANGA - CIRUELO	9,47	3,98	50,86	124,07	Muy fuerte	1794,78	1,33	0,31	Regular drenaje	12,43
CUENCA HIDROGRÁFICA CATAMAYO	29,93	5,40	41,03	65,18	Fuerte	2225,27	0,24	0,95	Regular drenaje	9,44
CUENCA HIDROGRÁFICA CELICA - LARAMINE	12,50	4,93	42,78	141,80	Muy fuerte	1884,64	0,58	1,43	Normal drenaje	15,05
CUENCA HIDROGRÁFICA GONZANAMÁ	12,97	3,39	35,64	63,75	Fuerte	2133,12	1,25	1,88	Buen drenaje	7,54
CUENCA HIDROGRÁFICA MACARÁ - SABIANGO	5,77	2,40	46,52	81,04	Fuerte	866,43	0,50	1,37	Normal drenaje	42,48
CUENCA HIDROGRÁFICA CATAMAYO - SAN PEDRO	5,70	2,37	77,46	82,09	Fuerte	990,02	0,52	1,40	Normal drenaje	42,48

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8 se resumen los valores de intensidad, precipitación, número de la curva, y precipitación efectiva calculada para cada una de las cuencas en estudio. Se puede observar que la región de transición interandina la intensidad fluctúa entre 29 mm/h y 55 mm/h, para una duración de 1,5 h y un periodo de retorno de 25 años.

El número de la curva fluctúa entre 71 y 73, que corresponde a condiciones de infiltración entre media y baja, esto debido a que el tipo hidrológico de suelo es tipo C (permeabilidad media) y buenas condiciones de cobertura vegetal.

Tabla 8: Resumen de resultados hidrológicos de cuencas analizadas

Nombre de la cuenca	Datos generales		Resultados hidrológicos hidráulicos de las cuencas analizadas			
	A Km <sup>2</sup>	P Km	Intensidad mm/H	Precipitación mm	Número de la curva	Precipitación efectiva mm
CUENCA HIDROGRÁFICA ALAMOR - GRAMALES	23,52	20,17	39,97	59,95	73,32	19,51
CUENCA HIDROGRÁFICA BRAMADEROS	16,19	20,10	39,97	59,95	73,60	18,95
CUENCA HIDROGRÁFICA CARIAMANGA ARDANZA	26,32	25,93	55,97	83,96	72,50	13,83
CUENCA HIDROGRÁFICA CARIAMANGA - CIRUELO	37,72	26,91	55,97	83,96	72,42	13,98
CUENCA HIDROGRÁFICA CATAMAYO	161,67	70,67	29,51	33,22	73,37	21,02
CUENCA HIDROGRÁFICA CELICA - LARAMINE	61,69	34,87	39,97	59,95	73,90	18,35
CUENCA HIDROGRÁFICA GONZANAMÁ	44,04	32,74	39,97	59,95	72,33	21,57
CUENCA HIDROGRÁFICA MACARÁ - SABIANGO	13,88	16,36	39,97	59,95	72,87	20,44
CUENCA HIDROGRÁFICA CATAMAYO - SAN PEDRO	13,53	16,15	39,97	59,95	71,96	18,35

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros de los Hidrograma triangular USSCS obtenidos se detallan en el tabla 9. Se observa que para una duración efectiva de 1.5 horas de tormenta se obtuvieron caudales desde los 24 m<sup>3</sup>/s hasta 332 m<sup>3</sup>/s, para un área de la cuenca que

varía su tamaño desde 13 Km<sup>2</sup> hasta los 161 Km<sup>2</sup>; y determinar la relación existente que a mayor área de drenaje mayor será el incremento del caudal en la sección de cauce lleno.

Tabla 9: Resumen de resultados hidráulicos de cuencas analizadas

Nombre de la cuenca	Resultados hidraulicos de las cuencas analizadas					
	A Km <sup>2</sup>	q <sub>p</sub>	tp	tr	de	Caudal pico m <sup>3</sup> /s
CUENCA HIDROGRAFICA ALAMOR - GRAMALES	23,52	2,30	2,12	0,90	2,45	44,92
CUENCA HIDROGRAFICA BRAMADEROS	16,19	1,59	2,12	0,90	2,45	30,03
CUENCA HIDROGRAFICA CARIAMANGA ARDANZA	26,32	2,58	2,12	0,90	2,45	35,63
CUENCA HIDROGRAFICA CARIAMANGA - CIRUELO	37,72	3,69	2,12	0,90	2,45	51,64
CUENCA HIDROGRAFICA CATAMAYO	161,67	1,34	2,12	0,90	2,45	332,62
CUENCA HIDROGRAFICA CELICA - LARAMINE	61,69	6,04	2,12	0,90	2,45	110,81
CUENCA HIDROGRAFICA GONZANAMÁ	44,04	4,31	2,12	0,90	2,45	93,00
CUENCA HIDROGRAFICA MACARÁ - SABIANGO	13,88	1,36	2,12	0,90	2,45	27,78
CUENCA HIDROGRAFICA CATAMAYO - SAN PEDRO	13,53	1,32	2,12	0,90	2,45	24,31

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se presenta los datos analizados en los cauces a sección llena en los puntos de cierre, en donde los valores del área mojada se encuentra entre 2 m<sup>2</sup> y 17 m<sup>2</sup> de las cuales el perímetro de dicha sección esta entre 13 m y 35 m; para cada sitio analizado se incluyó el cálculo de la anchura superior del canal de cauce lleno, (B<sub>b</sub>), área de sección transversal, (A<sub>xsb</sub>), y la profundidad hidráulica, (D<sub>b</sub>, definido como el área de sección transversal dividida por el ancho superior).

$$D_b = A_{xsb} / B_b$$

EC 30

B<sub>b</sub>: Anchura de cauce lleno.

D<sub>b</sub>: Profundidad.

A<sub>xsb</sub>: Área de la sección transversal.

Tabla 10. Parámetros hidráulicos de sección llena.

Nombre de la cuenca	Área mojada (A <sub>xs</sub> )m <sup>2</sup>	Perímetro mojado m	Ancho cauce (B <sub>b</sub> ) m	Profundidad (D <sub>b</sub> ) m
CUENCA HIDROGRAFICA ALAMOR - GRAMALES	5,53	45,85	9,45	0,73
CUENCA HIDROGRAFICA BRAMADEROS	3,72	16,54	7,93	0,63
CUENCA HIDROGRAFICA CARIAMANGA ARDANZA	4,17	18,13	7,33	0,69
CUENCA HIDROGRAFICA CARIAMANGA - CIRUELO	7,64	24,01	10,41	0,94
CUENCA HIDROGRAFICA CATAMAYO	17,13	35,60	16,69	1,40
CUENCA HIDROGRAFICA CELICA - LARAMINE	14,93	34,92	14,31	1,43
CUENCA HIDROGRAFICA GONZANAMÁ	9,39	29,42	9,63	1,19
CUENCA HIDROGRAFICA MACARÁ - SABIANGO	2,87	14,36	9,79	0,39
CUENCA HIDROGRAFICA CATAMAYO - SAN PEDRO	2,64	13,64	7,08	0,46

Fuente: Elaboración propia

Las curvas regionales de geometría hidráulica planteadas en esta investigación se obtuvieron en base a las relaciones entre los parámetros hidráulicos del cauce y el área de la cuenca drenante, presentando coeficientes de correlación mediante mínimos cuadrados.

Los variables analizadas en esta investigación permitieron establecer ( $R^2$ ) cercanos a 1, estos valores se obtuvieron de las ecuaciones mostradas en la tabla 11.

Tabla 11: Correlación entre la geométrica del cauce lleno y la geomorfología de la cuenca drenante.

DESCRIPCIÓN	ECUACIÓN	$R^2$
A Cuenca Drenante VS Caudal de Aforo	$y = 0.0038x^{1.853}$	$R^2 = 0.79941$
A Cuenca Drenante VS Caudal de Pico	$y = 1.616x^{1.0288}$	$R^2 = 0.96332$
A Cuenca Drenante VS Velocidad del Cauce	$y = 28.384x^{0.4171}$	$R^2 = 0.09465$
A Cuenca Drenante VS Precipitacion Efectiva	$y = 16.508x^{0.0288}$	$R^2 = 0.02022$
A Cuenca Drenante VS Precipitacion Maxima	$y = 114.62x^{-0.185}$	$R^2 = 0.31089$
A Mojada VS Ancho del Cauce	$y = 5.0853x^{0.3677}$	$R^2 = 0.7646$
P Cuenca Drenante VS P Mojado	$y = 3.5618x^{0.5797}$	$R^2 = 0.3696$

Caudal de Aforo VS Pendiente del Cauce Principal	$y = 261.43x^{-1.691}$	$R^2 = 0.40432$
Caudal Aforo VS Longitud del Cauce Principal	$y = 0.0005x^{4.0172}$	$R^2 = 0.7517$
Caudal de Pico VS Pendiente del Cauce Principal	$y = 727.88x^{-0.912}$	$R^2 = 0.45979$
Caudal Pico VS Longitud del Cauce Principal	$y = 0.544x^{2.1918}$	$R^2 = 0.87471$
Area Mojada VS Pendiente del Cauce Principal	$y = 59.09x^{-0.809}$	$R^2 = 0.54994$
Area Mojada VS Longitud del Cauce Principal	$y = 0.1466x^{1.7619}$	$R^2 = 0.8598$
Profundidad del Cauce VS Pendiente del Cauce Principal	$y = 4.4397x^{-0.613}$	$R^2 = 0.67877$
Profundidad del Cauce VS Longitud del Cauce Principal	$y = 0.0659x^{1.1755}$	$R^2 = 0.82103$
Indice de Gravelius VS Caudal de Aforo	$y = 0.5961x^{4.9538}$	$R^2 = 0.0785$
Indice de Gravelius VS Caudal Pico	$y = 14.974x^{4.8982}$	$R^2 = 0.29999$
A Cuenca VS Profundidad del Cauce	$y = 0.129x^{0.5266}$	$R^2 = 0.82346$
A Cuenca VS A Mojada	$y = 0.3733x^{0.8098}$	$R^2 = 0.90789$
A Cuenca Drenante VS Espejo de Agua	$y = 3.4123x^{0.3084}$	$R^2 = 0.74453$
A Mojada VS Profundidad del Cauce	$y = 0.2387x^{0.6641}$	$R^2 = 0.94615$

En base a los coeficientes de correlación de las 21 relaciones realizadas tenemos que 10 se encuentran entre valores de 0,001 a 0,7, 9 correlaciones se establecen entre 0,7 y 0,9, y 2 correlaciones se encuentran entre 0,9 a 1.

Las relaciones son representadas mediante curvas de tipo exponencial en gráficos estadísticos en escala logarítmica en sus ejes, esto para conseguir una mejor representación de los resultados.

De los gráficos 1, 2 y 3 obtenidos permiten apreciar el modelo matemático de las curvas regionales de geometría hidráulica y la estimación de los coeficientes propuestos por Dunne, T y, Leopold, L. (1978.), los cuales resultan de las relaciones de los datos representativos de cada cuenca estudiada, en donde la forma de la ecuación exponencial es similar a la planteada en la literatura.

$$D_b = 0.129 * A^{0.5266} \quad \text{EC 32} \quad R^2 = 0,82346$$

$$B_b = 3.4123 * A^{0.3084} \quad \text{EC 33} \quad R^2 = 0,74453$$

$$A_{Xsb} = 0.3733 * A^{0.8098} \quad \text{EC 34} \quad R^2 = 0,90789$$

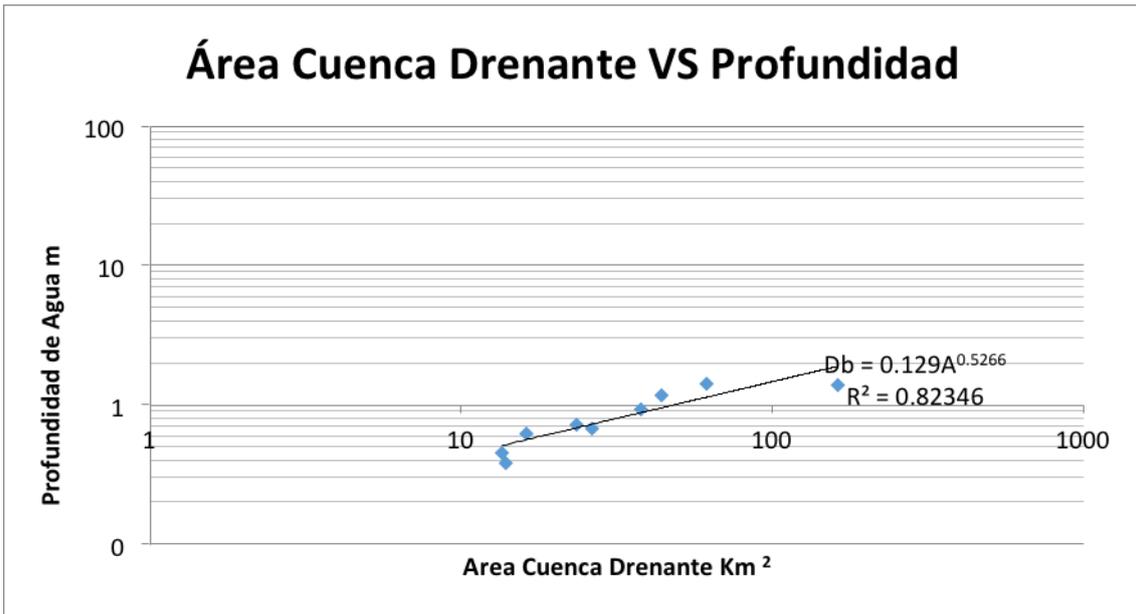


Grafico 1.

Fuente: Elaboración propia

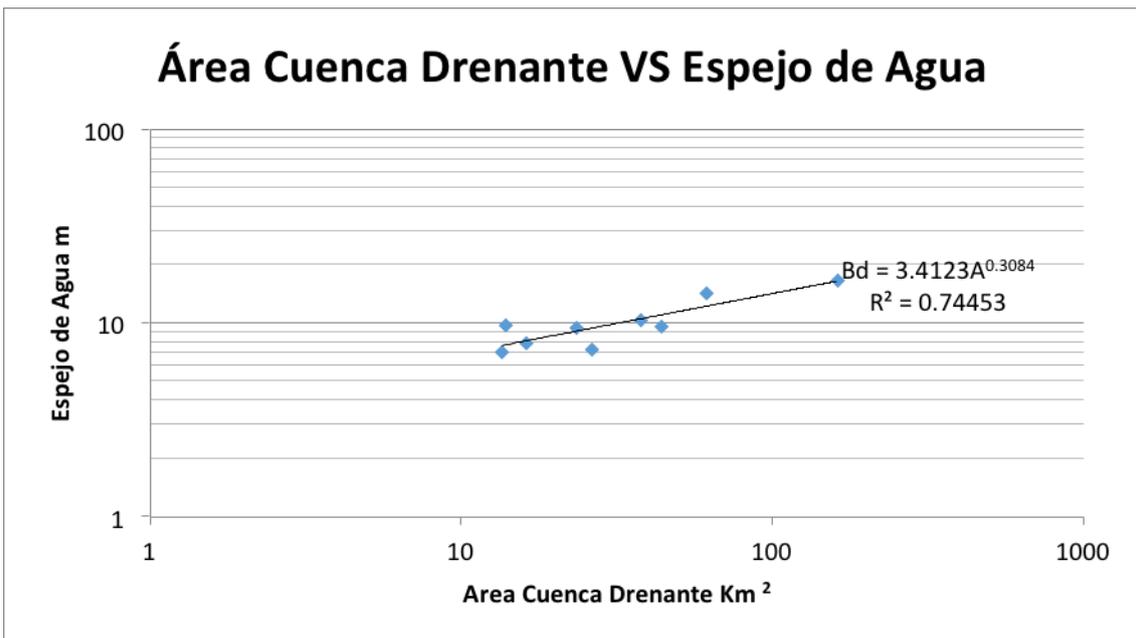


Grafico 2.

Fuente: Elaboración propia

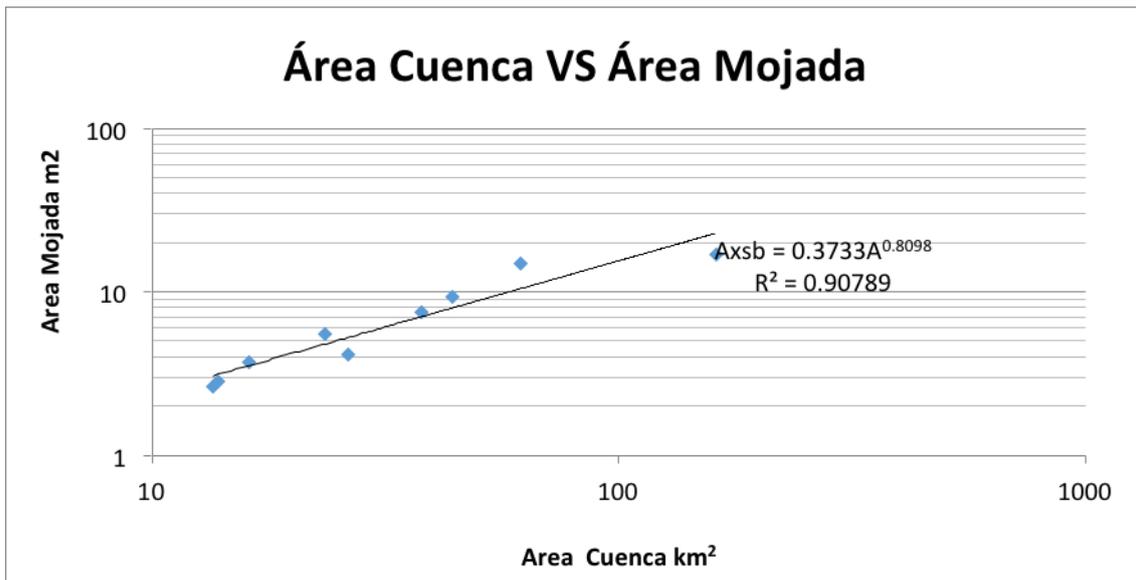


Gráfico 3.

Fuente: Elaboración propia

Estableciendo que los coeficientes de correlación en los análisis de las curvas regionales de geometría hidráulica se encuentra entre 0,7 y 0,9, lo que permite establecer una comparativa entre los resultados de las correlaciones establecidas en la literatura.

### 3.2 Comparación con investigaciones similares

Investigaciones similares referidas a curvas regionales de geometría hidráulica, se han analizado según las propiedades de las cuencas y las secciones de cauce lleno, para las cuales establecemos un análisis en base a las ecuaciones determinadas en esta investigación.

Tabla 12: Ecuaciones de curvas regionales de investigaciones similares

UBICACIÓN/ FUENTE	NÚMERO DE SITIOS	REGRESION	R2
Zona Interandina Elaboración propia	9	$B_d = 3,4123A^{0,3084}$ $D_b = 0,129A^{0,5266}$ $Ax_{s_b} = 0,3733A^{0,8098}$	$R^2 = 0,745$ $R^2 = 0,824$ $R^2 = 0,908$
Sur de California (Modrick y Georgakakos, 2014).	60	$B_b = 2,961A^{0,338}$ $D_b = 0,196A^{0,219}$ $Ax_{s_b} = 0,594A^{0,551}$	$R^2 = 0,59$ $R^2 = 0,26$ $R^2 = 0,54$
Sur de California, Azary (1999) (Modrick y Georgakakos, 2014).	7	$B_b = 1,794A^{0,366}$ $D_{m_b} = 0,099A^{0,371}$ $Ax_{s_b} = 0,169A^{0,749}$	$R^2 = 0,74$ $R^2 = 0,71$ $R^2 = 0,86$
Sur de California, EPA WSA (Modrick y Georgakakos, 2014).	54	$B_b = 2,058A^{0,270}$ $D_{m_b} = 0,255A^{0,117}$ $Ax_{s_b} = 0,525A^{0,387}$	$R^2 = 0,45$ $R^2 = 0,07$ $R^2 = 0,29$

Noroeste del Pacífico Castro and Jackson (2001)	76	$B_b=3,000A^{0.380}$ $Dm_b=0,307A^{0.240}$ $Axsb=0,751A^{0.643}$	$R^2=0,49$ $R^2=0,29$ $R^2=0,49$
Arizona Central Moody et al. (2003)	53	$B_b=4,130A^{0.317}$ $Dm_b=0,215A^{0.219}$ $Axsb=0,860A^{0.540}$	$R^2=0,82$ $R^2=0,73$ $R^2=0,92$
Eastern Arizona/Nuevo México Moody et al. (2003)	85	$B_b=2,640A^{0.280}$ $Dm_b=0,127A^{0.237}$ $Axsb=0,348A^{0.512}$	$R^2=0,80$ $R^2=0,72$ $R^2=0,92$

Al analizar los coeficientes de correlación obtenidos en la presente investigación (tabla 12) puede observarse que estos alcanzan valores superiores a 0,74, los que se consideran estadísticamente significativos ya que el mínimo valor aceptable es 0,7.

Al analizar los resultados obtenidos en la presente investigación con otros trabajos presentados en la tabla 12 se observa que los coeficientes de correlación con una mayor aproximación son los reportados por Azary (1999), el mismo que presenta los coeficientes de  $R^2 = 0,74$ ,  $0,71$  y  $0,86$  para la anchura de cauce lleno, la profundidad y el área de la sección transversal media en 7 zonas de interés y con área desde 5 hasta 99 km<sup>2</sup>. Moody et al. (2003) en el Este Arizona/Nuevo México, estudiando 85 cuencas, obtuvieron coeficientes de  $R^2 = 0,80$ ,  $0,72$  y  $0,92$  para la anchura de cauce lleno, la profundidad y el área de la sección transversal; en Arizona central, se realizó la investigación con 53 lugares de los cuales se obtuvieron valores de  $R^2 = 0,82$ ,  $0,73$  y  $0,92$  respectivamente. Estos valores, aunque algo mayores son similares a los obtenidos en la presente investigación.

De las EC 32, 33 y 34 las cuales se fundamentan en las siguientes expresiones, y a su vez se extraen los siguientes coeficientes:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\epsilon$ ,  $\delta$ ,  $\lambda$ , y  $\gamma$ .

$$B_b = \alpha A \beta \quad \text{EC 29}$$

$$D_b = \epsilon A \delta; \quad \text{EC 30}$$

$$Axsb = \lambda A \gamma \quad \text{EC 31}$$

En donde los rangos de los coeficientes de exponentes, referido a  $\alpha$  en la literatura se encuentra entre los valores de 1,794 y se extiende hasta 4,130 mientras que el resultado de esta investigación es 3,4123. De la misma manera se tiene que para el coeficiente  $\beta$  los valores se encuentra entre 0,280 hasta 0,430 y el calculado en base al análisis estadístico es 0,3084. Como puede observarse el valor de  $\alpha$  se encuentra

dentro del rango de el valor reportado en la literatura, el exponente  $\beta$  también se encuentra dentro del rango reportado.

El coeficiente  $\epsilon$  poseen valores de 0,099 a 0,307, obteniendo el valor de 0,129, este se encuentra en el rango reportado en la literatura; por su parte el coeficiente  $\delta$  oscila entre 0,117 a 0,371 alcanzando un valor de 0,5266 que se encuentra elevado en comparación a la literatura existente.

El coeficiente  $\lambda$  se encuentra entre valores de 0,169 a 0,932 y obtenido en el desarrollo de la investigación es de 0,3733; se encuentra dentro de el rango reportado, por su parte  $\gamma$  se encuentra entre los valores 0,270 hasta 0,739, los resultados obtenidos en el presente trabajo es 0,8098.

Como puede apreciarse, los coeficientes de las ecuaciones se encuentran dentro de los rangos publicados en la literatura; reflejando condiciones locales particulares del área de estudio. Los exponentes se encuentran todos dentro de los rangos reportados por la literatura, lo que avala la forma general de las curvas regionales de geometría hidráulica que en todos los casos incluidos los resultados de nuestra investigación, son ecuaciones exponenciales.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES

En este trabajo se describe el estudio de las relaciones regionales de las características de la geometría del canal de cauce lleno y las características morfométricas de las cuencas hidrográficas, resultados que pueden apoyar la modelización hidrológica de alta resolución para la ocurrencia de inundaciones repentinas.

La morfología predominante de las de las cuencas drenantes son Redonda-Oval Redonda, Oval Redonda-Oval Oblonga y Oval Oblonga-Alargada.

Las relación entre el tipo de relieve de muy fuerte, fuerte, moderadamente fuerte caracteriza un drenaje de la cuenca de regular, normal y buen drenaje respectivamente.

La descarga de cauce lleno se encuentra directamente relacionada con el área de la cuenca drenante.

Las curvas regionales de geometría hidráulica se obtuvieron mediante ecuaciones de intensidad máxima de 24 horas y para un periodo de retorno de 25 años.

Los resultados de las curvas regionales obtenidas en el desarrollo de esta investigación se ajustaron de manera adecuada a una línea de tendencia exponencial y representada en escala logarítmica para el análisis de sus resultados.

Se obtuvieron los coeficientes de correlación de curvas regionales de geometría hidráulica  $R^2 = 0,74453$ , para anchura de cauce lleno,  $R^2 = 0,82346$  para la profundidad y  $R^2 = 0,90789$  para el área de la sección transversal media en 9 zonas de la región sur interandina.

Las correlaciones con mayor tendencia a 1 obtenidas de las resultados estadísticos se obtuvieron al comprar: área de la cuenca drenante y el caudal pico; caudal pico y longitud del cauce principal; área mojada y longitud del cauce principal; profundidad del cauce y longitud del cauce principal; área de la cuenca drenante y profundidad del cauce; área de la cuenca drenante y área mojada y área mojada de la sección con la profundidad del cauce principal con valores de  $R^2$  de 0,96; 0,87; 0,85; 0,82; 0,82; 0,91 y 0,94 respectivamente.

Se estima que la relación entre la caudal y al ancho del cauce no solo están relacionados entre las características geomorfológicas de la cuenca drenante y las condiciones climáticas, sino también de la variación de mensuales que genera descarga de cauce lleno.

Las variaciones de las curvas regionales presentan una variación considerable con entre las propiedades hidráulicas de cauce lleno con el caudal de descarga del cauce y el caudal de descarga del cauce lleno, esto debido a que para las condiciones de cauce lleno se estimó con ecuaciones de intensidad máxima de 24 horas y para un periodo de retorno de 25 años.

Las curvas regionales obtenidas en el desarrollo de esta investigación es bastante similar a las ecuaciones obtenidas en sistemas fluviales en el pacifico oeste en norte américa debido a las condiciones similares con las cuencas hidrográficas analizadas.

La aplicación de las ecuaciones de las curvas regionales para la estimación de caudal de descarga en sistemas fluviales permite que sea más aplicable en parámetros hidrológicos hidráulicos y en una adecuada estimación de caudales máximos para diseños de infraestructuras fluviales.

Las propiedades morfológicas de las cuencas drenantes y las características hidrológicas hidráulicas tienen una correlación entre si cuantificable de 0.77.

## **RECOMENDACIONES**

La aplicación de curvas regionales en estimación de caudales máximos brindará resultados correctos siempre que las cuencas hidrográficas en las que se aplique este modelo matemático, sea de condiciones similares a las cuencas en base se realizó la investigación; de lo contrario serían estimaciones inexactas.

La correcta estimación entre el modelo matemático para las curvas regionales se representa de mejor manera en escala logarítmica y con una tendencia potencial en los datos analizados.

En el análisis de las curvas regionales hay que tener en cuenta la variabilidad y el error debido a factores que influyen en los patrones de escorrentía y las estimaciones del cauce lleno utilizados para crear los modelos.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

Armijos, J (2015). Análisis regional de las relaciones entre la geometría del cauce lleno de ríos de montaña con las características morfométricas de la cuenca drenante. Caso de estudio zona Interandina del sur del Ecuador, trabajo de fin de titulación, Universidad Técnica Particular de Loja.

Ashley M. Helton. Relative influences of the river channel, floodplain surface, and alluvial aquifer on simulated hydrologic residence time in a montane river floodplain. *Geomorphology* 205 (2014) 17–26.

Leopold, L.B., Wolman, M.G., 1957. River channel patterns: braided, meandering, and straight. U.S. Geological Survey Professional Paper 282-B, Washington, DC, pp. 39–85.

Schumm, S.A., 1960. The shape of alluvial channels in relation to sediment type. U.S. Geological Survey Professional Paper 352-B, Washington, DC, pp. 17–30.

Schumm, S.A., 1985. Patterns of alluvial rivers. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 13, 5–27.

Ferguson, R.I., 1977. Meander sinuosity and direction variance. *Geol. Soc. Am. Bull.* 88, 212–214.

Ferguson, R.I., 1987. Hydraulic and sedimentary controls of channel pattern. In: Richards, K.S. (Ed.), *River Channels: Environment and Process*. Blackwell, Oxford, UK, pp. 129–158.

Ferguson, R.I., 1977. Meander sinuosity and direction variance. *Geol. Soc. Am. Bull.* 88, 212–214.

Pitlick, J., Cress, R., 2002. Downstream changes in the channel geometry of a large gravel bed river. *Water Resour. Res.* 38 (10), 34-1–34-11. <http://dx.doi.org/10.1029/2001WR000898>.

Kleinhans, M.G., 2010. Sorting out river channel patterns. *Prog. Phys. Geogr.* 34 (3), 287–326.

Franklin T. Heitmuller, Paul F. Hudsonb, William H. Asquith. Lithologic and hydrologic controls of mixed alluvial–bedrock channels in flood-prone fluvial systems: Bankfull and macrochannels in the Llano River watershed, central Texas, USA. *Geomorphology* 232 (2015) 1–19.

Leopold, L. B., and Maddock, T. (1953). “The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications.” U.S. Geological Survey Professional Paper No. 252, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 57.

Modrick T. y Georgakako K. 2014, Regional bankfull geometry relationships for southern California mountain streams and hydrologic applications Kasahara, T., Wondzell, S.M., 2003.

- Dunne, T., Leopold, L., 1978. *Water in Environmental Planning*. W.H. Freeman and Co., San Francisco (818 pp.).
- Metcalf, C.K., Wilkerson, S.D., Harman, W.A., 2009. Bankfull regional curves for north and northwest Florida streams. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 45 (5), 1260–1272.
- Harvey, A.M., 1969. Channel capacity and the adjustment of streams to hydrologic regime. *J. Hydrol.* 8, 82–98.
- Rhoads, B.L., 1991. A continuously varying parameter model of downstream hydraulic geometry. *Water Resour. Res.* 27 (8), 1865–1872.
- Lawlor, S.M., 2004. Determination of channel morphology characteristics, Bankfull discharge, and various design-peak discharges in Western Montana. Scientific Investigations Report 2004–5263. U.S. Geological Survey, Reston, VA (26 pp.).
- Messinger, T., Wiley, J.B., 2004. Regional relations in bankfull channel characteristics determined from flow measurements at selected stream-gaging stations in West Virginia, 1911–2002. USGS Water Resources Investigations Report 03–4276. U.S. Geological Survey, Reston, VA (43 pp.).
- Chaplin, J.J., 2005. Development of regional curves relating bankfull-channel geometry and discharge to drainage area for streams in Pennsylvania and select areas of Maryland. Scientific Investigations Report 2005–5147. U.S. Geological Survey, Reston, VA (34 pp.).
- Osterkamp, W.R., Hedman, E.R., 1982. Perennial-streamflow characteristics related to channel geometry and sediment in Missouri River Basin. U. S. Geological Survey Professional Paper 1242.
- Williams, G.P., 1984a. Paleohydrological methods and some examples from Swedish fluvial environments II — river meanders. *Geogr. Ann.* 66A, 89–102.
- Miall, A.D., 1976. Paleocurrent and paleohydrologic analysis of some vertical profiles through a Cretaceous braided stream deposit, Banks Island, Arctic Canada. *Sedimentology* 23, 459–483.
- Le Roux, J.P., 1994. The angular deviation of paleocurrent directions as applied to the calculation of channel sinuosities. *J. Sediment. Res.* A64, 86–87.
- Ghosh, P., 2000. Estimation of channel sinuosity from paleocurrent data: a method using fractal geometry. *J. Sediment. Res.* 70, 449–455.
- Shibata K., Ito M. (2014) Relationships of bankfull channel width and discharge parameters for modern fluvial systems in the Japanese Islands.
- Wohl, E., 2000. *Mountain Rivers*. American Geophysical Union Water Resources Monograph 14:320.
- Dunne, T., Leopold, L., 1978. *Water in Environmental Planning*. W.H. Freeman and Co., San Francisco (818 pp.).

- Castro, J.M., Jackson, P.L., 2001. Bankfull discharge recurrence intervals and regional hydraulic geometry relationships: patterns in the Pacific Northwest, USA. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 37 (5), 1249–1262.
- Petit, F., Pauquet, A., 1997. Bankfull discharge recurrence interval in gravel-bed rivers. *Earth Surf. Process. Landf.* 22, 685–693.
- McCandless, T.L., 2003. Maryland Stream Survey: Bankfull Discharge and Channel Characteristics in the Coastal Plain Hydrologic Region. U.S. Fish and Wildlife Service Technical Report CBFO-S03-02, Annapolis, Maryland.
- Sweet, W.V. and J.W. Geratz, 2003. Bankfull Hydraulic Geometry Relationships and Recurrence Intervals for North Carolina's Coastal Plain. *Journal of the American Water Resources Association* 39(4):861-871.
- GDOT (Georgia Department of Transportation), 2003. Final Report: Regional Curve Development for the Coastal Plain of Georgia. Buck Engineering, Cary, North Carolina.
- Merigliano, M.F., 1997. Hydraulic geometry and stream channel behavior: an uncertain link. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 33 (6), 1327–1336.
- Buhman, D.L., Gates, T.K., Watson, C.C., 2002. Stochastic variability of fluvial hydraulic geometry: Mississippi and Red Rivers. *J. Hydraul. Eng. ASCE* 128 (4), 426–437.
- Harman, C., Stewardson, M., DeRose, R., 2008. Variability and uncertainty in reach bankfull hydraulic geometry. *J. Hydrol.* 351, 13–25.
- Wohl, E., 2004. Limits of downstream hydraulic geometry. *Geology* 32, 897–900.
- Osterkamp, W.R., Hedman, E.R., 1982. Perennial-streamflow characteristics related to channel geometry and sediment in Missouri River Basin. U.S. Geological Survey Professional Paper 1242, Washington, DC.
- Howard, A.D., 1987. Modelling fluvial systems: rock-, gravel-, and sand-bed channels. In: Richards, K.S. (Ed.), *River Channels: Environment and Process*. Blackwell, Oxford, UK, pp. 69–94.
- Schumm, S.A., Khan, H.R., 1972. Experimental study of channel patterns. *Geol. Soc. Am. Bull.* 83 (6), 1755–1770. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1972\)83\[1755:ESOCPJ\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1972)83[1755:ESOCPJ]2.0.CO;2)
- Le Roux, J.P., 1994. The angular deviation of paleocurrent directions as applied to the calculation of channel sinuosities. *J. Sediment. Res.* A64, 86–87.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G., Miller, J.P., 1964. *Fluvial Processes in Geomorphology*. W.H. Freeman and Co, San Francisco (522 pp).
- Schumm, S.A., 1977. *The Fluvial System*. John Wiley and Sons, New York.
- Andrews, E.D. and G. Parker, 1987. Formation of a Coarse Surface Layer as the Response to Gravel Mobility. In: *Sediment Transport in Gravel-Bed Rivers*, C.R.

- Thorne, J.C. Bathurst, and R.D. Hey (Editors). John Wiley & Sons, Chichester, United Kingdom, pp. 269-325, ISBN-13: 978-0471909149.
- Harman, W.A. and G.D. Jennings, 1999. River Course — Application of the Rosgen Stream Classification System to North Carolina. North Carolina Cooperative Extension Service, Raleigh, North Carolina. <http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/wqg/sri/rv-crs2.pdf>, accessed 2010.
- Doll, B.A., D.E. Wise-Frederick, C.M. Buckner, S.D. Wilkerson, W.A. Harman, R.E. Smith, and J. Spooer, 2002. Hydraulic Geometry Relationships for Urban Streams Throughout the Piedmont of North Carolina. *Journal of the American Water Resources Association* 38(3):641-651.
- Keaton, J.N., T. Messinger, and E.J. Dohneny, 2005. Development and Analysis of Regional Curves for Streams in the Non-Urban Valley and Ridge Physiographic Province. Maryland, Virginia, and West Virginia, U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report 2005-5076, 26 pp. <http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5076/>, accessed 2010.
- Johnson, P.A. and B.J. Fecko, 2008. Regional Channel Geometry Equations: A Statistical Comparison for Physiographic Provinces in the Eastern US. *River Research and Applications* 24:823-834.
- Jowett, I.G., 1998. Hydraulic geometry of New Zealand rivers and its use as a preliminary method of habitat assessment. *Regul. Rivers Res. Manag.* 14, 451–466.
- Doyle, M.W., D. Shields, K.F. Boyd, P.B. Skidmore, and D. Dominick, 2007. Channel-Forming Discharge Selection in River Restoration Design. *Journal of Hydraulic Engineering* 133(7):831- 837.
- Villarini, G.A., Krajewski, W.F., Ntelekos, A.A., Georgakakos, K.P., Smith, J.A., 2010. Towards probabilistic forecasting of flash floods. The combined effects of uncertainty in radar-rainfall and flash flood guidance. *J. Hydrol.* 394, 275–284.
- Gregory, K.J., Madew, J.R., 1982. Land use change, flood frequency and channel adjustments. In: Hey, R.D., Bathurst, J.C., Thorne, C.R. (Eds.), *Gravel-Bed Rivers*. Wiley, Chichester, UK, pp. 757–780.
- Merritt, D.M., Wohl, E.E., 2003. Downstream hydraulic geometry and channel adjustment during a flood along an ephemeral, arid-region drainage. *Geomorphology* 52 (3–4), 165– 180.
- Monsalve, Germán. *Hidrología en la Ingeniería*. Santafé de Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995.
- Gregory, K.J., Madew, J.R., 1982. Land use change, flood frequency and channel adjustments. In: Hey, R.D., Bathurst, J.C., Thorne, C.R. (Eds.), *Gravel-Bed Rivers*. Wiley, Chichester, UK, pp. 757–780.

Mertes, L.A.K., 2000. Inundation hydrology. In: Wohl, E.E. (Ed.), *Inland Flood Hazards*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 146–166.

N. LeRoy Poff, Brian P. Bledsoe, Christopher O. Cuhaciyan, 2006. Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: Geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems.

Baker, V.R., 1977. Stream-channel response to floods, with examples from central Texas. *Geol. Soc. Am. Bull.* 88 (8), 1057–1071.

Doyle, M.W., Shields, D., Boyd, K.F., Skidmore, P.B., Dominick, D., 2007. Channel-forming discharge selection in river restoration design. *J. Hydraul. Eng.* 133 (7), 831–837. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2007\)133:7\(831\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2007)133:7(831)).

Bras, R.L., 1990. *Hydrology: An Introduction to Hydrologic Science*. Addison-Wedley, New York (643 pp.).

Maidment, D.R., 1993. *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill Inc., New York (1424 pp.).

Chow, V.T., 1959. *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York (680 pp.).

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York (572 pp.).

#### **ENLACES WEB:**

<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/fasciculos-provinciales/>

[http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manual\\_lateral/Resultados-provinciales/loja.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manual_lateral/Resultados-provinciales/loja.pdf)

<http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea02s/ch11.htm>

<http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea02s/ch19.htm>

ANEXOS:

**Anexo 1: Número de la curva de las cuencas analizadas**

Cauce de las cuencas drenantes	Características de uso de suelo	Grupos de suelos hidrológicos	Grupos de suelos hidrológicos ponderado	Características de tipo de suelo	Condicion hidrológica	NC	NC ponderado
CUENCA HIDROGRAFICA ALAMOR - GRAMALES	70% CULTIVOS DE CICLO CORTO / 30% PASTO NATURAL	C	C	Pardo rojizo oscuro; raíces abundantes; contenido mediano de materia orgánica; permeabilidad moderada.	Buena	74	73,3
	70% BOSQUE INTERVENIDO / 30% ARBORICULTURA TROPICAL	C					
	VEGETACION ARBUSTIVA EN AREAS EN PROCESO DE EROSION	B		Suelo profundo, seco, suelos arcillosos, pedregosos; en terrenos montañosos.	Buena	72	
	PASTO NATURAL EN AREAS EN PROCESO DE EROSION	B					
	AREA EROSIONADA	D					
CUENCA HIDROGRAFICA - CELICA - BRAMADEROS	70% PASTO NATURAL / 30% CULTIVOS DE CICLO CORTO	C	C	Suelos profundos; franco arcillosa a arcillosa arenoso, moderada permeabilidad	Buena	74	73,6
	70% BOSQUE INTERVENIDO / 30% ARBORICULTURA TROPICAL	C					
	VEGETACION ARBUSTIVA EN AREAS EN PROCESO DE EROSION	B		Suelo superficial a muy superficial; franco a franco arcillosa, con permeabilidad moderada	Buena	70	
	AREA EROSIONADA	C					
	PASTO NATURAL EN AREAS EN PROCESO DE EROSION	B					
CUENCA HIDROGRAFICA - CARIAMANGA ARDANZA	PASTO NATURAL	B	C	Suelo superficial a muy superficial; franco a franco arcillosa, con permeabilidad moderada	Buena	74	72,5
	PASTO NATURAL EN AREAS EN PROCESO DE EROSION	B					
	50% CULTIVOS DE CICLO CORTO - 50% VEGETACION ARBUSTIVA	C		Suelo profundo, asociado con suelos arcillosos poco profundos pedregosos.	Buena	70	
	VEGETACION ARBUSTIVA EN AREAS EN PROCESO DE EROSION	C					
	ARBORICULTURA TROPICAL	C		Suelo moderado a poco profundo con y sin arcillas plásticas (2:1), (pardo y pardo rojizo).	Buena	72	
	70% PASTO NATURAL / 30% VEGETACION ARBUSTIVA	B					
				Suelo profundo, arcillosos, pedregosos; en terrenos montañosos, seco, con riesgo de inundación, en valles aluviales.	Buena	70	

Cauce de las cuencas drenantes	Características de uso de suelo	Grupos de suelos hidrológicos	Grupos de suelos hidrológicos ponderado	Características de tipo de suelo	Condicion hidrológica	NC	NC ponderado
CUENCA HIDROGRAFICA - CARIAMANGA CIRUELO	PASTO NATURAL	B	C	Suelo moderado a poco profundo con y sin arcillas plásticas (2:1), (pardo y pardo rojizo).	Buena	74	72,4
	70% VEGETACION ARBUSTIVA / 30% PASTO NATURAL	C		Suelo superficial a muy superficial; franco a franco arcillosa, con permeabilidad moderada	Buena	70	
	PASTO NATURAL EN AREAS EN PROCESO DE EROSION	C		Suelo moderadamente profundo, de textura media a moderadamente pesadas y bien a moderadamente drenados (aluvial).	Buena	72	
				Suelo moderadamente profundo, baja saturación de bases con alta frecuencia de inundación. (aluvial).	Buena	70	
CUENCA HIDROGRAFICA - CATAMAYO	PASTO CULTIVADO	B	B	Suelo moderado a poco profundo con y sin arcillas plásticas (2:1), (pardo y pardo rojizo).	Buena	74	73,4
	VEGETACION ARBUSTIVA	C		Suelo superficial a muy superficial; franco a franco arcillosa, con permeabilidad moderada	Buena	70	
	PASTO NATURAL EN AREAS EN PROCESO DE EROSION	B		Suelo Profunda; franco arcillosa a arcillosa arenoso, permeabilidad moderadamente lenta.	Buena	72	
	PASTO NATURAL	B		Suelo profundo, asociado con suelos arcillosos poco profundos pedregosos.	Buena	70	
	CAÑA DE AZUCAR	C		Suelo superficial a muy superficial; franco a franco arcillosa, con permeabilidad moderada	Buena	72	
	AREA URBANA	C					
	CULTIVOS DE CICLO CORTO	B					
	70% VEGETACION ARBUSTIVA / 30% PASTO NATURAL	C		Suelo moderadamente profundo, baja saturación de bases con alta frecuencia de inundación. (aluvial).	Buena	72	

Cauce de las cuencas drenantes	Características de uso de suelo	Grupos de suelos hidrológicos	Grupos de suelos hidrológicos ponderado	Características de tipo de suelo	Condicion hidrológica	NC	NC ponderado
CUENCA HIDROGRAFICA - CELICA - LARAMINE	70% ARBORICULTURA TROPICAL / 30% PASTO NATURAL	C	C	Suelo profundo, seco, suelos arcillosos, pedregosos; en terrenos montañosos.	Buena	74	73,9
	70% CAFE / 30% PASTO CULTIVADO	C					
	50% ARBORICULTURA TROPICAL - 50% PASTO CULTIVADO	C		Suelo Profunda; franco arcillosa a arcillosa arenoso, permeabilidad moderadamente lenta.			
	70% BOSQUE INTERVENIDO / 30% ARBORICULTURA TROPICAL	B					
	70% PASTO NATURAL / 30% CULTIVOS DE CICLO CORTO	B					
CUENCA HIDROGRAFICA - GONZANAMÁ	VEGETACION ARBUSTIVA EN AREAS EN PROCESO DE EROSION	C	C	Suelo moderadamente profundo, de textura media a moderadamente pesadas y bien a moderadamente drenados (aluvial).	Buena	74	72,3
				Suelo Profunda; franco arcillosa a arcillosa arenoso, permeabilidad moderadamente lenta.	Buena	70	
	50% CULTIVOS DE CICLO CORTO - 50% VEGETACION ARBUSTIVA	C		Suelo profundo, asociado con suelos arcillosos poco profundos pedregosos.	Buena	72	
				Suelo moderadamente profundo, con alta frecuencia de inundación en la terraza aluvial. (aluvial).	Buena	74	
	70% VEGETACION ARBUSTIVA / 30% PASTO NATURAL	C		Suelo Profunda; franco arcillosa a arcillosa arenoso, permeabilidad moderadamente lenta.	Buena	74	
				Suelo plano, profundo, bien drenado, (aluvial).	Buena	70	

Cauce de las cuencas drenantes	Características de uso de suelo	Grupos de suelos hidrológicos	Grupos de suelos hidrológicos ponderado	Características de tipo de suelo	Condicion hidrológica	NC	NC ponderado
CUENCA HIDROGRAFICA - SABIANGO	VEGETACION ARBUSTIVA EN AREAS EN PROCESO DE EROSION	C	C	Suelo profundo, asociado con suelos arcillosos poco profundos pedregosos.	Buena	74	72,9
	CULTIVOS DE CICLO CORTO	C		Suelo moderado a poco profundo con y sin arcillas plásticas (2:1), (pardo y pardo rojizo).	Buena	70	
	PASTO NATURAL	B		Suelo moderadamente profundo, con alta frecuencia de inundación en la terraza aluvial. (aluvial).	Buena	72	
CUENCA HIDROGRAFICA - SAN PEDRO	70% VEGETACION ARBUSTIVA / 30% PASTO NATURAL	C	C	Suelo moderado a poco profundo con y sin arcillas plásticas (2:1), (pardo y pardo rojizo).	Buena	74	72,0
	70% PASTO NATURAL / 30% VEGETACION ARBUSTIVA	B		Suelo profundo, asociado con suelos arcillosos poco profundos pedregosos.	Buena	70	
	70% BOSQUE INTERVENIDO / 30% PASTO NATURAL	C		Suelo moderadamente profundo, de textura media a moderadamente pesadas y bien a moderadamente drenados (aluvial).	Buena	72	
				Suelo Profunda; franco arcillosa a arcillosa arenoso, permeabilidad moderadamente lenta.	Buena	70	

Fuente: El autor  
Elaboración: El autor

**Anexo 2: Análisis de tiempos de concentración y características hidrológicas hidráulicas del cauce del de las cuencas hidrográficas**

Nombre de la cuenca	Tiempos de concentración							Tiempo para análisis de cuencas Horas	Velocidad m/s	Características iniciales del cauce			
	Bransby - Williams t=horas	Kirpich t=min	Ventura - Heras t=horas	Passini t=horas	Direccion general de carreteras t=horas	Giandotti t=min	Area mojada			Radio hidráulico			
							Seccion 1 m2			Seccion 2 m2	Seccion 1 m	Seccion 2 m	
CUENCA HIDROGRAFICA ALAMOR - GRAMALES	1,68	36,47	0,53	2,49	2,12	0,48	1,5	0,94	4,68	6,38	1,22	1,42	
CUENCA HIDROGRAFICA BRAMADEROS	1,62	31,12	0,34	2,15	1,96	0,43		0,47	3,47	3,97	1,05	1,12	
CUENCA HIDROGRAFICA CARIAMANGA ARDANZA	2,24	50,31	1,02	4,15	2,76	0,50		1,46	4,32	4,02	1,17	1,13	
CUENCA HIDROGRAFICA CARIAMANGA - CIRUELO	2,35	51,48	0,84	3,56	2,66	0,52		1,28	7,55	7,72	3,12	1,57	
CUENCA HIDROGRAFICA CATAMAYO	3,81	88,88	2,43	9,10	5,08	0,82		2,14	17,22	17,04	2,34	2,33	
CUENCA HIDROGRAFICA CELICA - LARAMINE	2,61	55,39	0,87	4,00	3,04	0,60		0,69	15,82	14,04	2,24	2,11	
CUENCA HIDROGRAFICA GONZANAMÁ	2,39	59,19	1,62	5,44	3,28	0,60		3,47	10,13	8,30	1,80	1,63	
CUENCA HIDROGRAFICA MACARÁ - SABIANGO	1,15	20,62	0,03	0,13	0,41	0,29		1,39	3,17	2,57	1,01	0,90	
CUENCA HIDROGRAFICA CATAMAYO - SAN PEDRO	1,22	21,55	0,03	0,13	0,41	0,28		1,69	2,41	2,87	0,88	0,96	

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

### Anexo 3: Datos de curvas regionales

Nombre de la cuenca	Curvas regionales					
	Promedio					
	Area mojada m <sup>2</sup>	Peímetro mojado m	Ancho cauce (T)m	Profundidad (H) m	Relacion A/P	Relacion T/H
CUENCA HIDROGRAFICA ALAMOR - GRAMALES	5.53	45.85	9.45	0.73	0.12	12.93
CUENCA HIDROGRAFICA BRAMADEROS	3.72	16.54	7.93	0.63	0.22	12.59
CUENCA HIDROGRAFICA CARIAMANGA ARDANZA	4.17	18.13	7.33	0.69	0.23	10.67
CUENCA HIDROGRAFICA CARIAMANGA - CIRUELO	7.64	24.01	10.41	0.94	0.32	11.05
CUENCA HIDROGRAFICA CATAMAYO	17.13	35.60	16.69	1.40	0.48	11.98
CUENCA HIDROGRAFICA CELICA - LARAMINE	14.93	34.92	14.31	1.43	0.43	10.01
CUENCA HIDROGRAFICA GONZANAMÁ	9.39	29.42	9.63	1.19	0.32	8.12
CUENCA HIDROGRAFICA MACARÁ - SABIANGO	2.87	14.36	9.79	0.39	0.20	25.15
CUENCA HIDROGRAFICA CATAMAYO - SAN PEDRO	2.64	13.64	7.08	0.46	0.19	15.63

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

## Anexo 4: Fotográfico

LEVANTAMIENTO DE CAMPO:



Levantamiento sección de cierre  
cuenca Alamor – Gramales



Ubicación de equipo estación total en la  
sección de cierre Celica – Bramaderos



Levantamiento sección de cierre  
Celica – Laramine



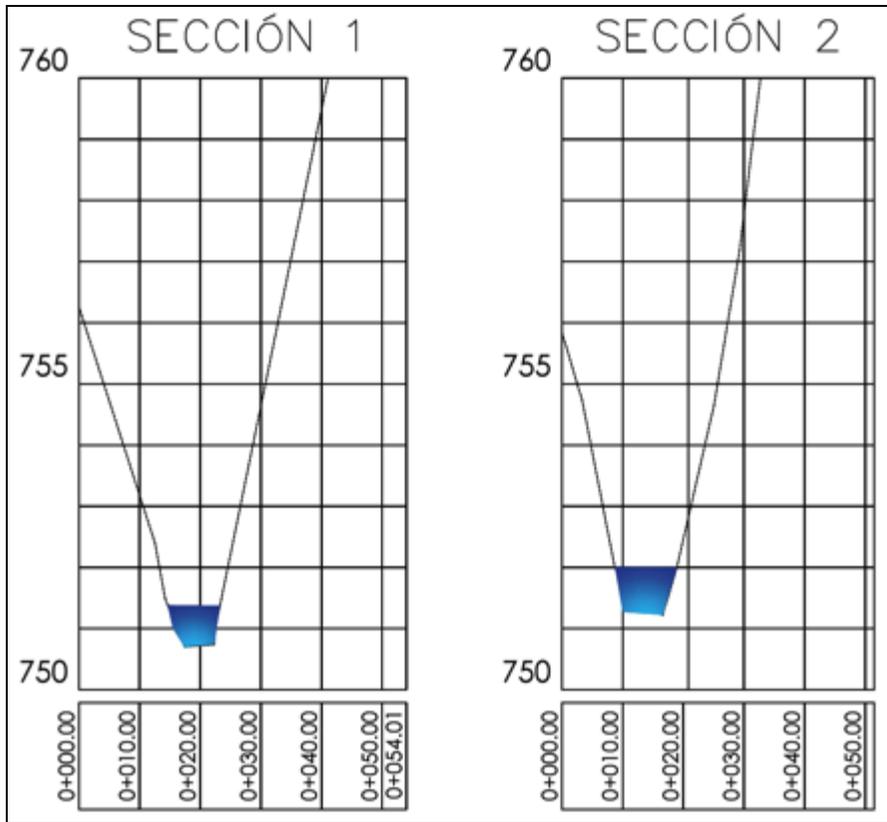
Levantamiento sección de cierre  
Macará - Sabiango



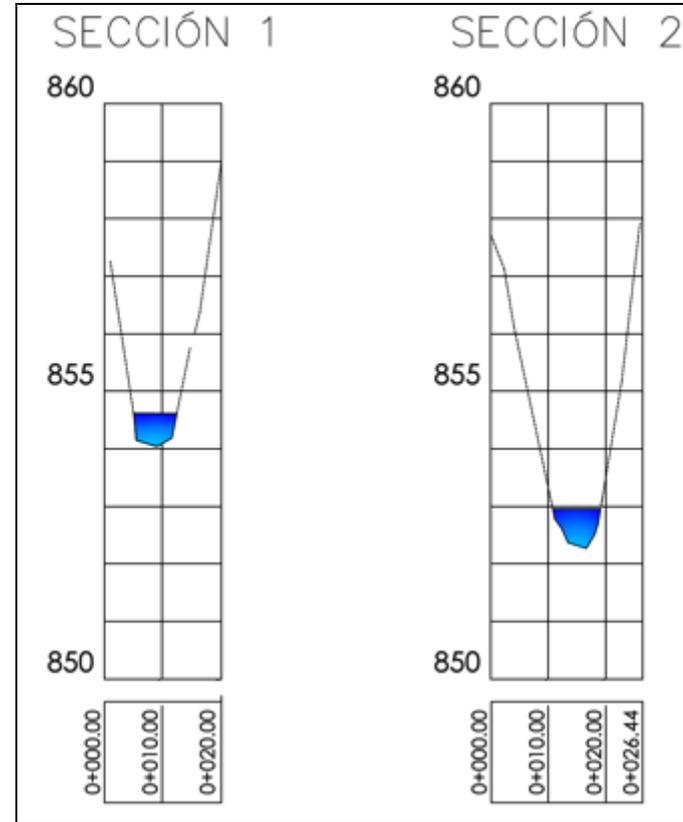
Equipo de Topografía (Catamayo)

**Anexo 5: Dibujos de secciones de los cauces en los puntos de cierre. Escala H:V, 1:100**

CAUCE: ALAMOR - GRAMALES

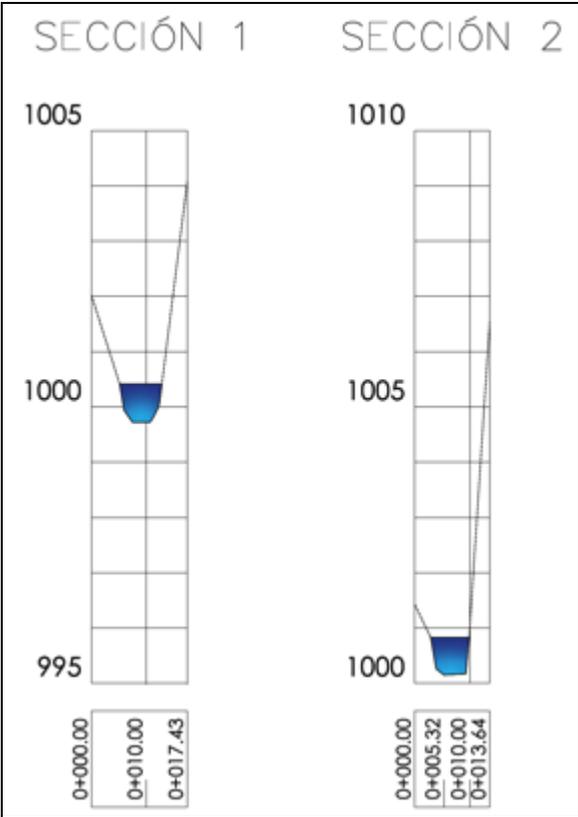


CAUCE: CELICA - BRAMADEROS

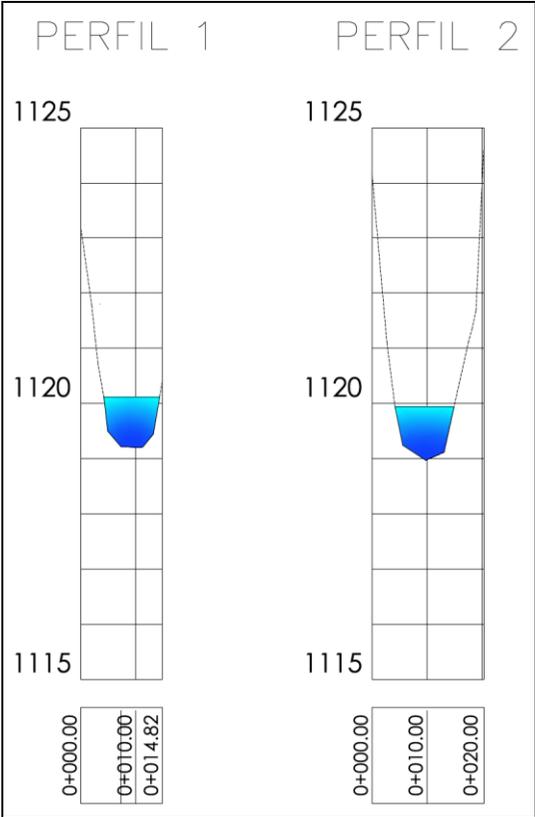


Fuente: Elaboración propia

CAUCE: CARIAMANGA – ARDANZA

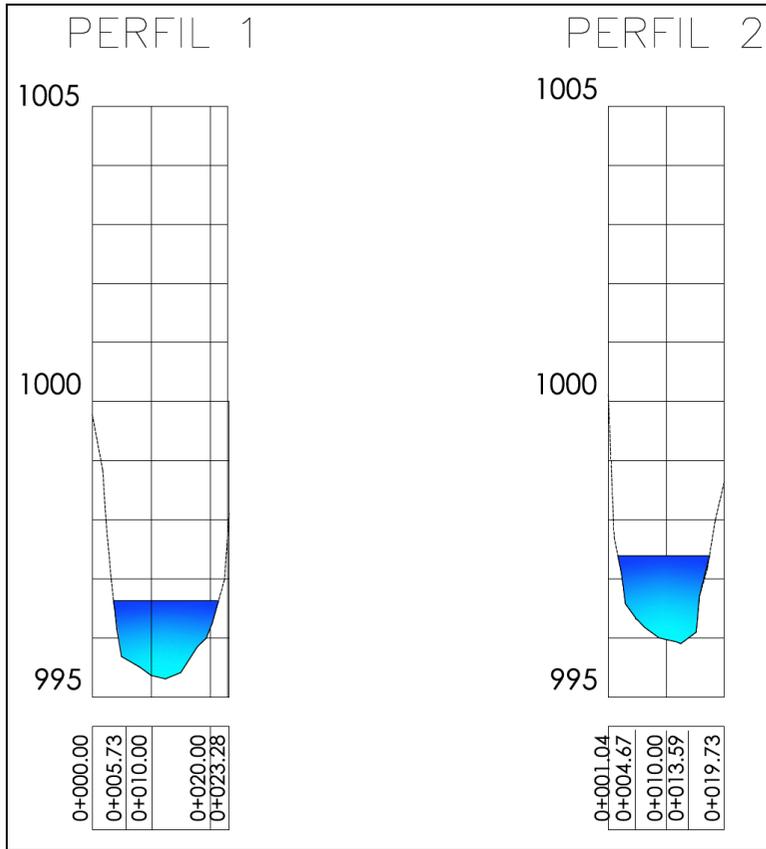


CAUCE: CARIAMANGA - CIRUELO

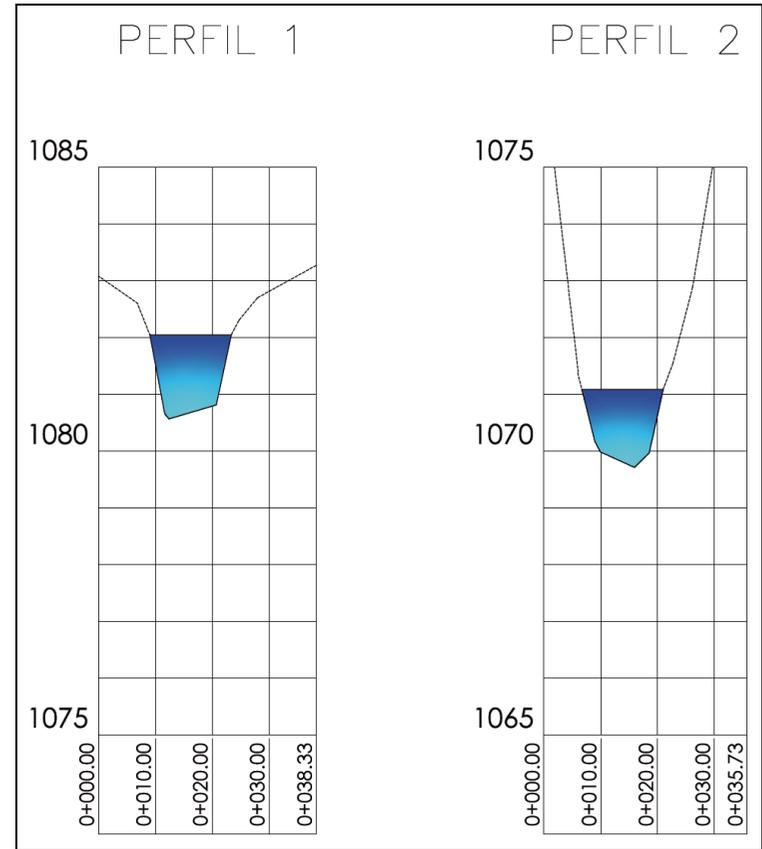


Fuente: Elaboración propia

CAUCE: CATAMAYO

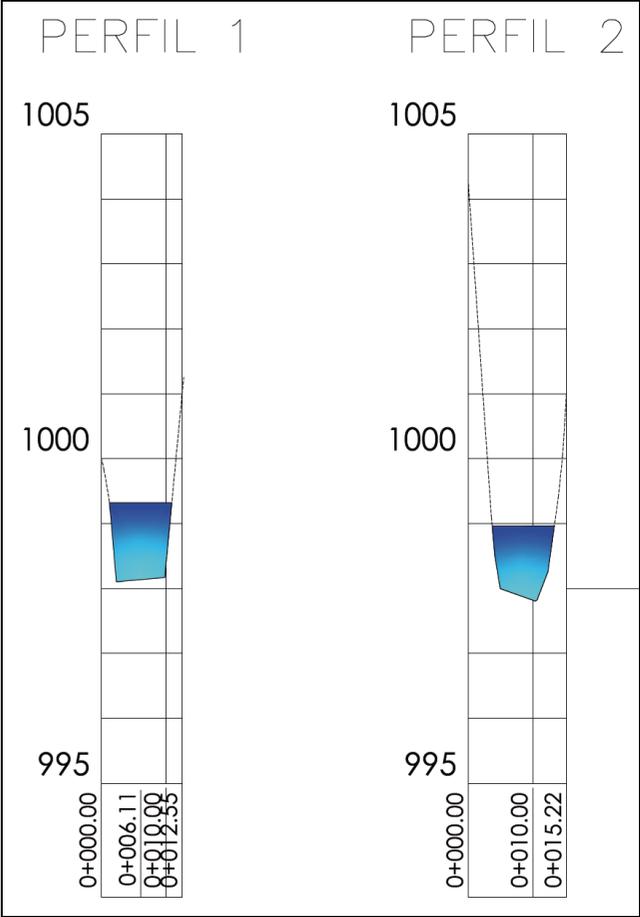


CAUCE: CELICA - LARAMINE



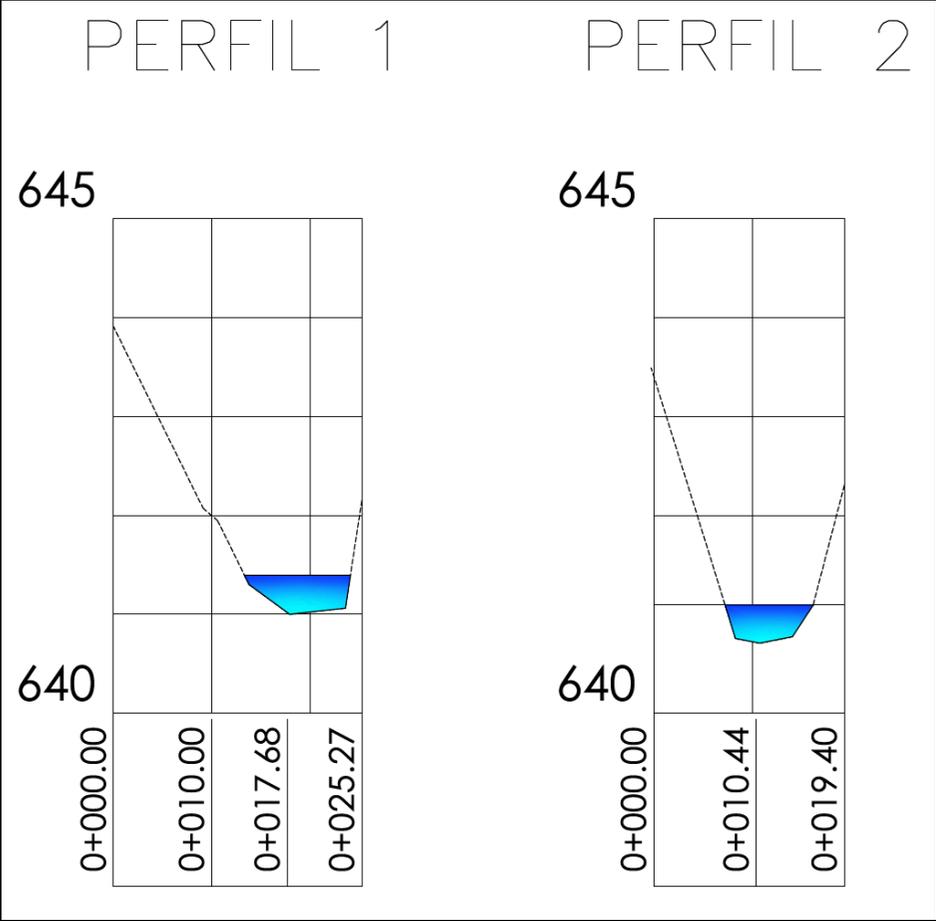
Fuente: Elaboración propia

CAUCE: GONZANAMÁ

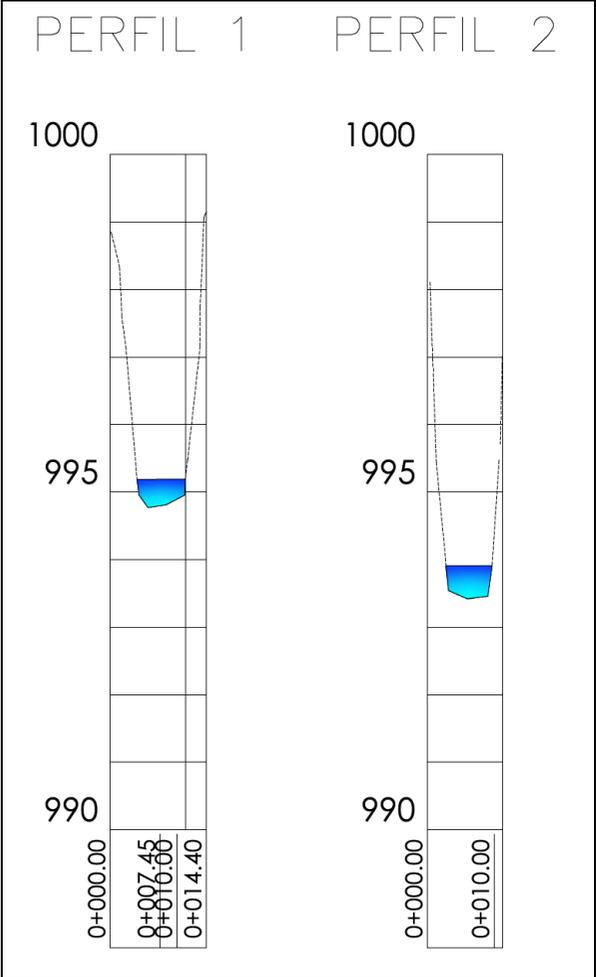


Fuente: Elaboración propia

CAUCE: MACARÁ - SABIANGO



CAUCE: CATAMAYO - SAN PEDRO



Fuente: Elaboración propia