



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 Interandina del sur del Ecuador

TRABAJO DE TITULACION.

AUTOR: Armijos Tinoco, Jonathan Vladimir

DIRECTOR: Oñate Valdivieso, Fernando Rodrigo, PhD.

LOJA – ECUADOR

2015



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, 2015

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 Armijos Tinoco Jonathan Vladimir, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, septiembre de 2015

f).....

DECLARACION DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Armijos Tinoco Jonathan Vladimir 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 realices con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad.”

f

Armijos Tinoco Jonathan Vladimir

CI:1105028698

DEDICATORIA

“Dios es mi fortaleza, y mi familia es mi apoyo”

J. A.

El presente trabajo de fin de titulación es dedicado, a Dios por haberme permitido la oportunidad de llegar a cumplir este sueño, el cual con tanto anhelo lo disfruté siempre, acompañado del apoyo incondicional de mi padres y hermanos, quienes fomentaron valores morales que formaron la esencia de mi personalidad y carácter.

Este logro lo dedico a alguien que infatigablemente me brindo su amor y cariño como es Rosa Cristina González Lima, por brindarme tantas experiencias y acompañaren cada uno de los pasos para llegar a esta meta.

De manera muy sencilla y humilde recalco que esto no hubiera sido posible sin ustedes: Soledad, Mercedes y Miguel, pues nunca dejaron que mis miedos me doblegaran y su esfuerzo será recompensado.

Muchas personas caminaron conmigo en este sueño, muchas de ellas dejaron grandes recuerdos, sabios consejos, e irrepetibles experiencias de vida, agradezco por su amistad, cariño y afecto.

AGRADECIMIENTO

“Dios, tiene un plan perfecto para ti”.

Anónimo

Definitivamente este trabajo investigativo no hubiera sido posible sin la ayuda de Dios y de todas las personas que él ha dispuesto en vida, las cuales dejaron grandes y sabias lecciones de vida.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, por permitirme formar parte de sus estudiantes y formarme profesionalmente en esta noble universidad.

A mi director del trabajo de fin de titulación, Ph D. Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso quien, con sus conocimientos, experiencia, y paciencia; motivó para el desarrollo y culminación de mis estudios.

A mi compañero en la ejecución de esta investigación Daniel Ramiro Puchaicela Abendaño, por su infatigable apoyo en la ejecución del mismo, a amigos y compañeros que colaboraron en la realización de esta investigación como son: Luis Quezada, Carlos Iñiguez, Jhon Riofrío, Patricio Torres, Leandro Torres, Yandri Lalangui y Roberth Tandazo.

A mis compañeros de trabajo por brindarme la ayuda necesaria para poder cumplir tan anhelado sueño: Ing. Jhon Aguilar, y Srta. Liseth Tinoco; por sus consejos y experiencias que me formaron profesionalmente y personalmente.

A mis compañeros de aula que estuvieron paso a paso y recorrieron este sueño conmigo, con quienes forme una amistad honesta e infatigable, a ellos quienes también dejaron una huella irremplazable.

INDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA DEDICATORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACION DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN:.....	1
ABSTRACT:	2
INTRODUCCIÓN:.....	3
CAPITULO I:.....	5
ESTADO DEL ARTE.....	5
CAPITULO II:.....	8
2.1. Área de estudio:.....	9
2.2. Caracterización morfológica:	10
2.3. Caracterización hidráulica hidrológica	13
CAPITULO III:.....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	21
3.1. Resultados.....	22
3.2. Comparación con investigaciones similares	31
CONCLUSIONES:.....	35
RECOMENDACIONES:	36
BIBLIOGRAFIA:.....	37
ENLACES WEP:.....	42
ANEXOS:.....	43
Anexo 1: Número de la curva de las cuencas analizadas	44
Anexo 2: Análisis de Tiempos de Concentración y Características Hidrológicas Hidráulicas del cauce del de las Cuencas Hidrográficas	47
Anexo 3: Datos de Curvas Regionales	48
Anexo 4: Fotográfico	49
Anexo 5: Dibujos de secciones de los cauces en los puntos de cierre	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Criterios de caracterización del índice de Gravelius:	11
Tabla 2: Criterios de caracterización de tipo de relieve:	11
Tabla 3: Criterios de caracterización de drenaje:	12
Tabla 4: Información general de las cuencas hidrográficas levantadas:.....	22
Figura 5. Ubicación de las de los puntos de cierre de las cuencas aforadas.....	22
Tabla 5. Características generales de las cuencas hidrográficas	23
Tabla 6. Parámetros de forma de las cuencas hidrográficas	24
Tabla 7. Parámetros de Relieve.....	25
Tabla 8: Resumen de resultados hidrológicos de cuencas analizadas.....	26
Tabla 9: Resumen de resultados hidráulicos de cuencas analizadas.....	27
Tabla 10. Parámetros hidráulicos de sección llena	28
Tabla 11: Correlación entre la geométrica del cauce lleno y la geomorfología de la cuenca drenante.	28
Tabla 12: Ecuaciones de curvas regionales de investigaciones similares	31

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. .	30
Grafico 2. Relación entre el área de la cuenca drenante y el espejo de agua del cauce.	30
Grafico 3. Relación entre el área de la cuenca drenante y área mojada de la sección del cauce.....	31

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 10 en 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 las secciones 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 10 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 es un tema que ha recibido considerable atención a largo del tiempo (por ejemplo, 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 fluviales. Un índice hidrológico típico es la descarga de cauce lleno (m^3/s), lo que implícitamente se asocia con unas dimensiones de canal y de la cuenca drenante (Franklin T. Heitmüller, Paul F. Hudson b, William H. Asquith c, 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 unas herramientas muy valiosas 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 esta investigación se realizará con el apoyo del Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil, y del grupo de trabajo de Hidrología y Climatología, quienes brindarán información, accesos a base de datos científicas, apoyo logístico; así como 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 zona Interandina del sur del Ecuador. Para alcanzar este objetivo se seleccionaron 10 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 compuesta de los siguientes capítulos:

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

Capitulo II Materiales y Métodos: Se presenta el área de estudio y se describe la metodología empleada para desarrollar la presente investigación.

Capitulo III Resultados y Discusión: Se presentan todos los resultados obtenidos en la presente investigación y se lo contrasta con las condiciones locales y estudios similares publicados en la literatura científica.

Capitulo 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) 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.

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; van den Berg, 1995; Osterkamp y Hedman, 1982 y Williams 1984; Miall, 1976; Le Roux, 1994; Ghosh, 2000), se basan en lo planteado por 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, y encontraron 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 hidráulica 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 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 y otros, 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 ; Jackson, 2001; Merritt; Wohl, 2003).

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 10 cuencas ubicadas en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, y obtener de esta manera curvas regionales de geometría hidráulica específicas para esta zona.

CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio:

El área de estudio se encuentra en la región sur del Ecuador, en la zona interandina de la Cordillera de los Andes. Comprende las provincias de Loja y Zamora Chinchipe el área de estudio se encuentra limitada por las siguientes coordenadas en la proyección UTM en la zona 17S y con el datum WGS 84: N 9°543 000, E 680 000 y N 9°596 000, E 750 000. Presenta variaciones climáticas debido a las irregularidades montañosas propias del terreno, con registros de precipitaciones altas lo que provoca un riesgo potencial en la ocurrencia de inundaciones repentinas y deslizamientos de tierra.

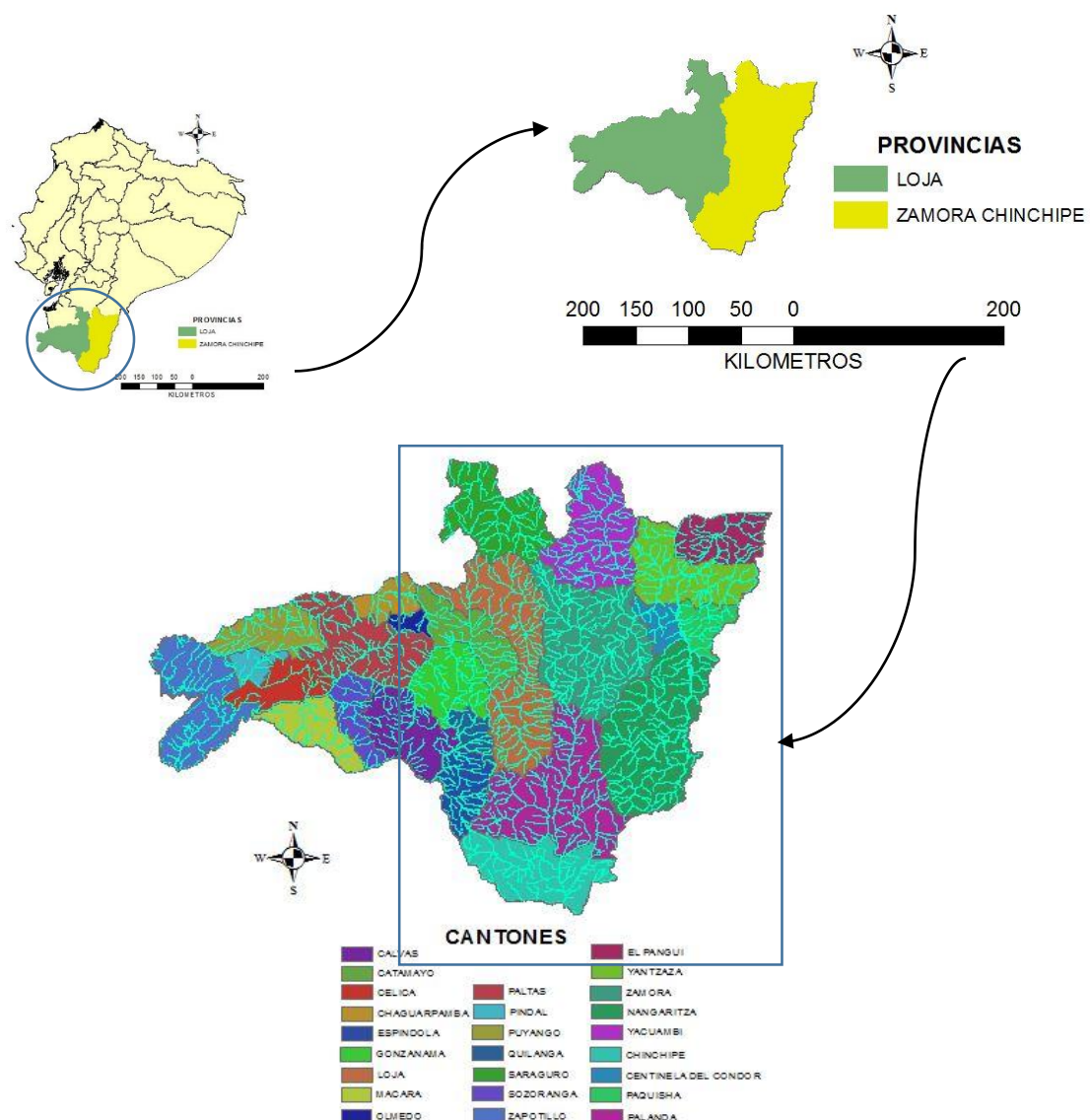


Figura 1. Área de estudio
Fuente: Elaboración propia

La provincia de Loja presenta un clima que posee una temperatura media ambiente de 16 °C considerado frio húmedo, la misma que posee un relieve tipo montañoso que abarca una superficie de 11.026 km² con su capital Loja y cabecera cantonal Loja posee una superficie de 1.928 km² y con una elevación de 2.200 msnm, tiene una precipitación total anual de 912,7 mm y cuenta con varios tipos de suelo: arcillosos y erosionable de textura variable; y el uso de suelo varía entre: pastos cultivados y cultivos de zonas frías (SIGTIERRAS, 201).

La provincia de Loja, tiene una población de 448.966 habitantes (INEC, 2010), en donde la PEA (Población Económicamente Activa) en su mayoría son hombres aunque el mayor número de habitantes se caracteriza por ser de sexo femenino.

La provincia de Zamora Chinchipe, presenta clima cálido húmedo con una temperatura media ambiente de 25°C, cuenta con un relieve ondulado montañoso con una superficie de 10.556 km², la capital es Zamora y su cabecera cantonal también es Zamora, la región se encuentra en elevaciones desde los 300 msnm hasta aproximadamente los 1.900 msnm. Se caracteriza por tener una precipitación anual de 2.500 mm. Las irregularidades presentes a lo largo de la cordillera han permitido a sus habitantes un diferente uso de suelo ya sean agrícola, ganadero y minero, debido a las diferencias de alturas que esta posee. El tipo de suelo es de textura arenosa fina a franco arcillosa, siendo el uso suelo pastos cultivados de zonas cálidas y subcálidas.

La provincia de Zamora Chinchipe tiene 91.376 habitantes (INEC 2010), en donde el género predominante es masculino, siendo la Población Económicamente Activa en su mayoría son hombres; entre las principales actividades de ingreso son: la minería, agricultura y comercio.

2.2. Caracterización morfológica:

Se realizó la delimitación de 10 cuencas hidrográficas a partir de la cartografía del IGM a escala 1:50000, se efectuó la caracterización de la morfología de las cuencas drenantes con la delimitación de cada una de las cuencas empleado 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:	$R_f = \frac{A}{L^2}$	EC 2
------------	-----------------------	------

Índice de Gravelius:	$K_c = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$	EC 3
----------------------	--	------

En donde:

A: Área en Km².

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:

Kc	Tipo de Forma de la Cuenca	Tipo de Crecidas
1-1.25	Redonda-Oval Redonda	Crecidas Altas
1.25-1.5	Oval Redonda-Oval Oblonga	Crecidas Tipo Medio
1.5-1.75	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:
$$L_{\text{mayor}} = \frac{Kc \times \sqrt{A}}{1.12} + \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right] \quad \text{EC 4}$$

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

En donde:

A: Área de las fajas altitudinales.

Kc: Índice de Gravelius.

Pendiente promedio de la cuenca:

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

En donde:

D: Diferencia altitudinal entre las cotas.

L: Longitud intermedia de cada faja.

A total: Área total de la cuenca km².

Sc: Pendiente promedia de la cuenca en porcentaje

Curva hipsométrica

$$Ig = \frac{(H_5 - H_{95})}{L_{\text{mayor}}} \quad \text{EC 7}$$

Tabla 2: Criterios de caracterización de tipo de relieve:

Tipos de Relieve	Ig(m/km)
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

H₅: Es la cota sobre la que está el 5% de la superficie de la cuenca.

H₉₅: Es la cota sobre la que está el 95% de la superficie de la cuenca.

Elevación media de la cuenca

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

En donde:

H_i: Altitud media.

A_i: 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_c: 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:

Drenaje de la cuenca	Dd
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 Km².

Pendiente promedio del cauce Principal.

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

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 la velocidad y velocidad promedio del cauce.

2.3. Caracterización hidráulica hidrológica

La intensidad de lluvia que genera crecidas máximas se obtuvo a partir 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 3 zonas de intensidad. Cuyas ecuaciones para 25 años de periodo de retorno son:

ZONA 1	$I = 1681,645 \times t^{-0,8489}$	EC 12
--------	-----------------------------------	-------

ZONA 2	$I = 340,862 \times t^{-0,6117}$	EC 13
--------	----------------------------------	-------

ZONA 3	$I = 2156 \times t^{-0,8634}$	EC 14
--------	-------------------------------	-------

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 tiene diferentes tipos de duración de tormenta y para nuestra investigación se planteó una duración efectiva de 1.5 horas para todas las cuencas estudiadas, 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:

$$P = I \times t \quad \text{EC 15}$$

En donde:

I: Intensidad mm/h.

t : tiempo en horas.

P: Precipitación mm.

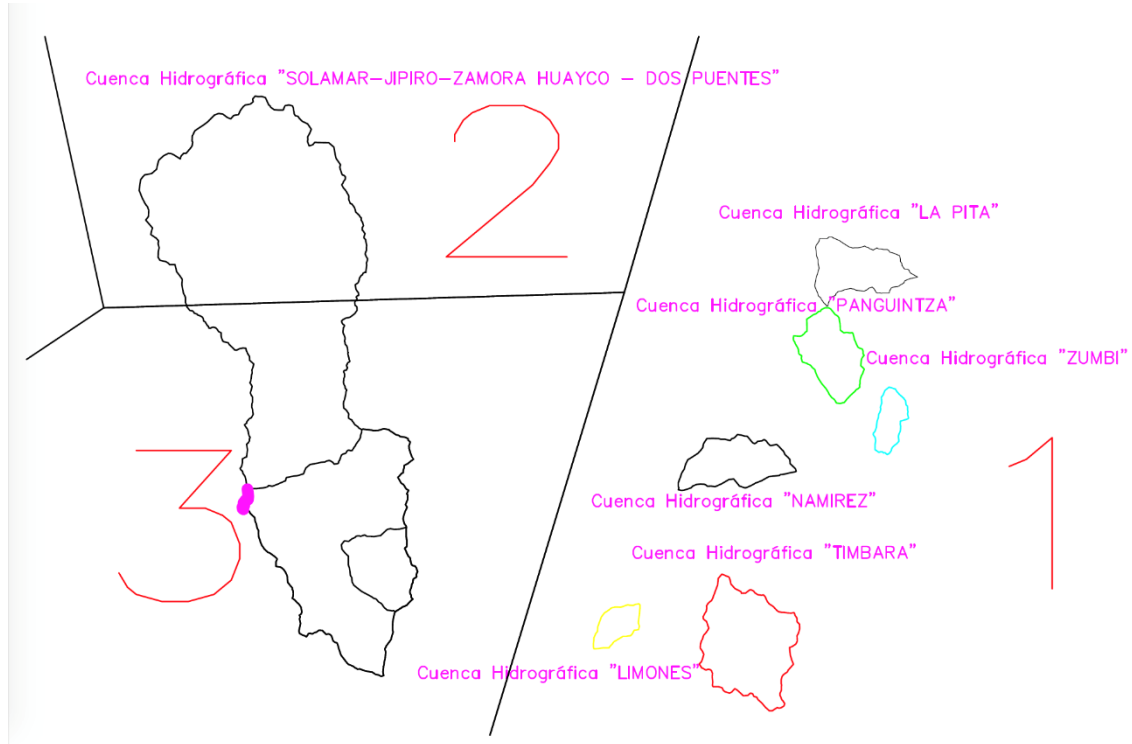
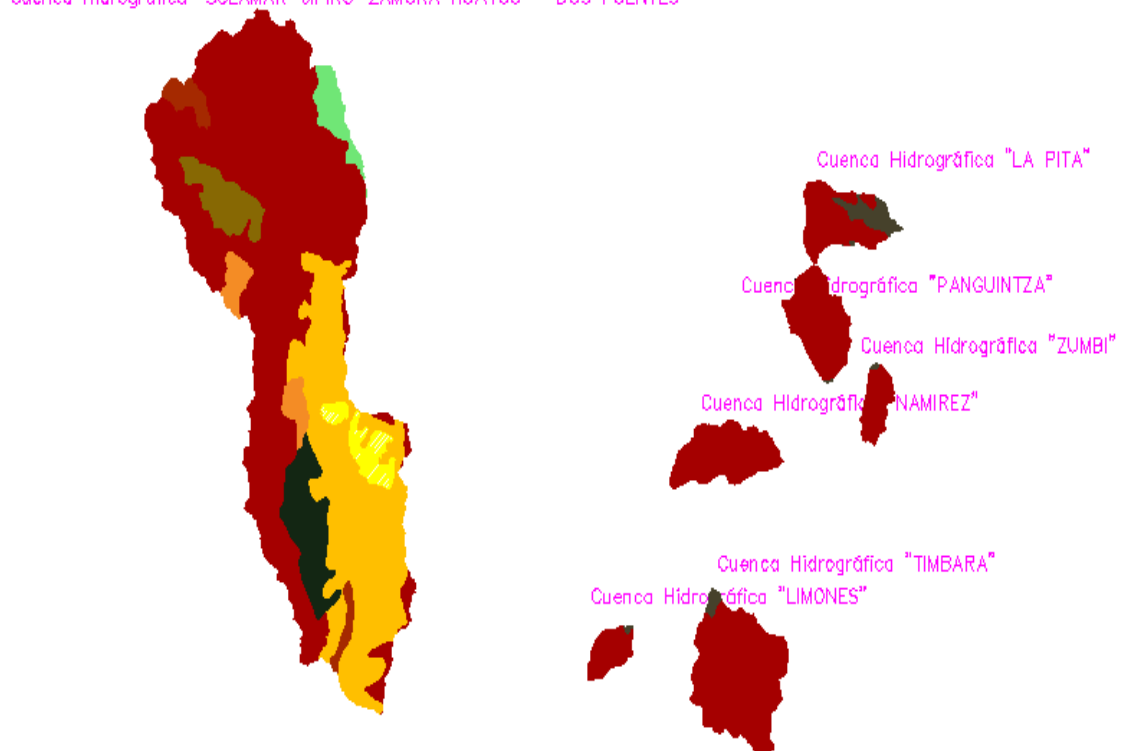


Figura 2. Uso de polígonos para ecuaciones de intensidades en el área de estudio
Fuente: Elaboración propia a partir del mapa de intensidades proporcionado por el INAMHI

Con la finalidad de calcular la precipitación efectiva se determinó el número de curva para cada una de las zonas analizadas mediante mapas de tipo de suelos y uso de suelo registrados en Sigtierras (2010)., y que se presenta en la figura 3 y 4 respectivamente.

Anexo 1

Cuenca Hidrográfica "SOLAMAR-JIPIRO-ZAMORA HUAYCO - DOS PUENTES"



-  Suelos ricos en MO > 30%
-  Suelos rojos o pardos generalmente con restos de rocas madre poco meteorizada entre 1 y 2 m de profundidad arcillosos (caolinita) saturación de bases > 35%
-  Suelos rojos o pardo amarillentos, arcillosos, presencia de caolinita en superficie y motmorillonita en profundidad saturación de bases >50%
-  Suelos negros arcillo arenosos o arcillosos, saturación de bases > 50%
-  Suelos muy jóvenes de color amarillo, arcilloso a veces muy pedregoso, arcilla motmorillonítica
-  Suelos pardorrojizos, arcillosos con alto contenido de arcilla tipo montmorillonita
-  Suelos poco profundos erosionados de textura variable
-  Suelos rojos o pardo amarillentos con alteración muy profunda, arcilla tipo caolinita saturación de bases 35%

Figura 3. Tipo de Suelo

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

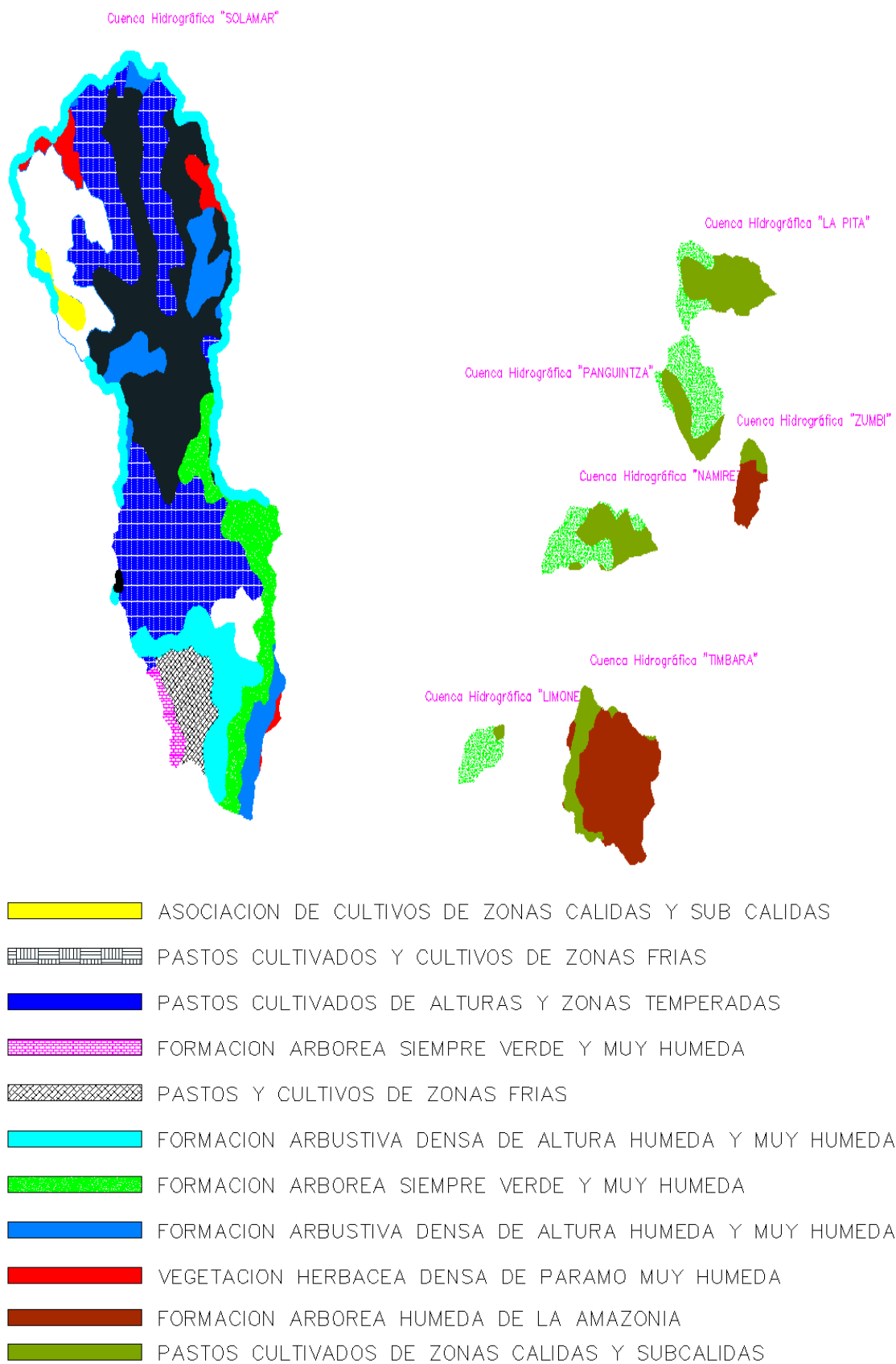


Figura 4. Uso de Suelo

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:

$$CN \text{ ponderado} = \frac{CN_1 \times A_1 + CN_2 \times A_2 + \dots + CN_n \times A_n}{A_T} \quad EC 16$$

En donde:

CN_i= Numero de la curva de la combinación (uso de suelo - tipo de suelo)_i.

A_i= Área ocupada por la combinación (uso de suelo - tipo de suelo)_i.

A_T= 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:

$$Pe = \frac{(P - \frac{508}{CN} + 5,08)^2}{P + \frac{2032}{CN} - 20,32} \quad EC 17$$

En donde:

P: Precipitación cm.

CN: Número de la Curva Ponderado.

Pe: Precipitación efectiva cm.

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

$$Q_i = \frac{\sqrt{\frac{\Delta y}{L}}}{\sqrt{\frac{1}{Kd^2} - \frac{1}{b * g * L} \times \left(\frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right)}} \quad EC 18$$

$$Kd_i = \frac{A_i \times R_i^{2/3}}{n} \quad EC 19$$

$$\frac{\rightarrow}{Kd} = \frac{Kd_1 + Kd_2}{2} \quad EC 20$$

$$\Delta y = Y_1 - Y_2 \quad EC 21$$

En donde:

A = A_{XS}: es el obtenido en base a la EC 29.

R: Radio hidráulico de la sección.

g: Gravedad m/s².

n: Número de Manning.

L: Distancia entre secciones.

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

$$Q_p = q_p \times P_e \quad \text{EC 22}$$

En donde:

Q_p: Caudal pico m³/s.

$$q_p = \left(\frac{0,208 \times A}{t_p} \right) \quad \text{EC 23}$$

En donde:

A: Area de la cuenca km².

q_p: Cuada pico por mm de lluvia efectiva (m³/s)/mm.

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r \quad \text{EC 24}$$

En donde:

t_p: tiempo al pico del Hidrograma triangular, horas.

$$t_r = 0,6 \times t_c \quad \text{EC 25}$$

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

$$d_e = 2 \times \sqrt{t_c} \quad \text{EC 26}$$

El t_c es el tiempo de concentración que fue estimado igual a 1.5 horas, debido 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 hidráulicas son modelos matemáticos que se obtienen de las relaciones entre las dimensiones del canal de cauce lleno y la gestión del área de drenaje de la cuenca drenante, (Dunne, T., Leopold, L., 1978). Estas relaciones se fundamenta como dato inicial el área de la cuenca analizada, para la cual se plantean las siguientes ecuaciones:

$$B_b = \alpha A^\beta \quad \text{EC 27}$$

$$D_b = \varepsilon A^\delta \quad \text{EC 28}$$

$$A x S_b = \lambda A^Y \quad \text{EC 29}$$

B_b : Anchura de cauce lleno

D_b : Profundidad

$A x S_b$: 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 de aforo VS Longitud del cauce principal
- Caudal 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 presentan las coordenadas de los puntos de cierre de las cuencas analizadas, el área y el número de carta del IGM correspondiente. La ubicación de dichos sitios se presenta en la figura 3.

Tabla 4: Información general de las cuencas hidrográficas levantadas:

Nº	Cuenca	Coordenada de la Sección de Interés		Área	Num. Carta
		NORTE	ESTE	Km2	
SIERRA					
1	LOJA (Dos Puentes)	9 548 952	700 125	17	3781 I
2	LOJA (Zamora Huayco)	9 556 452	701 358	30	3781 I
3	LOJA (Jipiro)	9 562 265	698 853	181	3781 I
4	LOJA (Solamar)	9 572 866	700828	531	VARIAS
ORIENTE					
5	YANTZAZA (La Pita)	9 578 497	749 312	34	81 NVI - E1
6	ZAMORA (El Limon)	9 550 839	725 725	10	81 NVI - E1
7	ZAMORA (Timbara)	9 514 554	733 020	62	81 NVI - E1
8	ZUMBI (Namirez)	9 562 143	738 921	30	81 NVI - E3
9	ZUMBI (Panguitza)	9 567931	742 650	28	81 NVI - E3
10	ZUMBI (Zumbi)	9 569 026	746 422	10	81 NVI - E3

Fuente: Elaboración propia

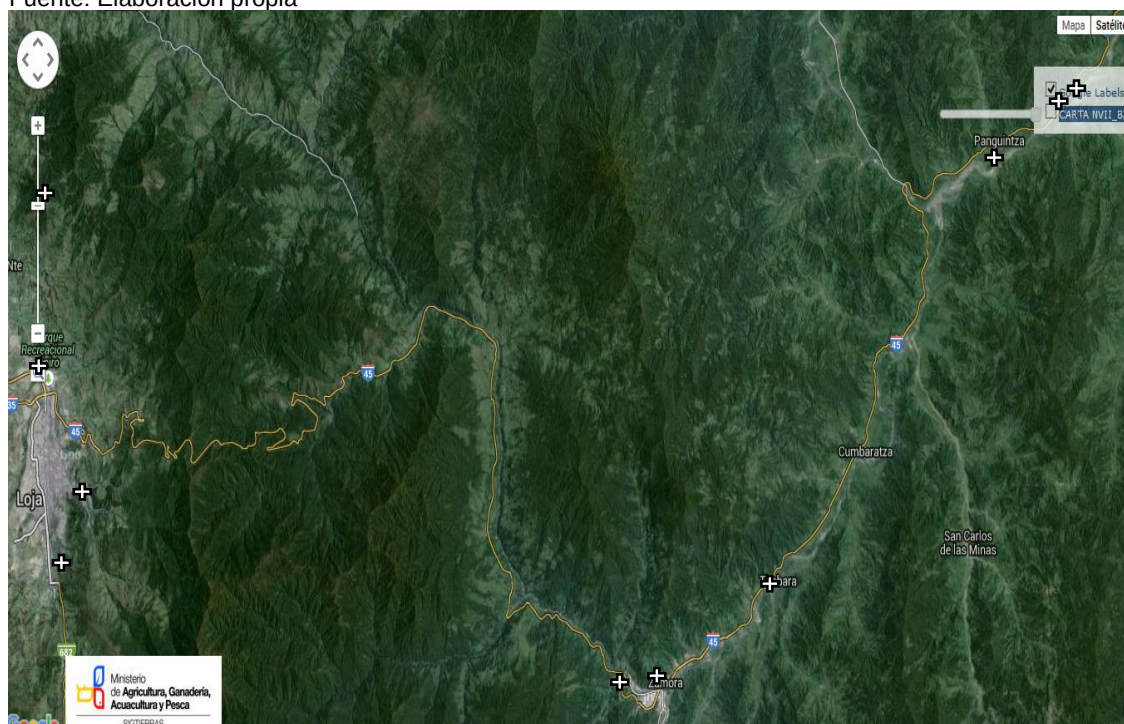


Figura 5. Ubicación de las de los puntos de cierre de las cuencas aforadas

Fuente: http://www.sigtierras.gob.ec/Servicios/Cartas1_50k

Elaboración propia

El análisis morfométrico 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 10 km² y 531 km² con perímetros que varían de 13 km a 143 km, cuya relación permite observar que predominantemente las cuencas tienen formas Redonda-Oval Redonda - Oval Oblonga que le conceden tendencias medias y altas a crecidas (tabla 6).

En la tabla 7 se puede observar que las pendientes medias de la cuenca oscilan entre 33% y 58%, 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 2% y 26%.

Tabla 5. Características generales de las cuencas hidrográficas

REGION	NOMBRE DE LA CUENCA	Datos Generales		
		A (Km ²)	P (Km)	L (Km)
SIERRA	CUENCA HIDROGRAFICA DOS PUENTES	17,35	16,90	5,58
	CUENCA HIDROGRAFICA ZAMORA HUAYCO	29,56	22,40	7,24
	CUENCA HIDROGRAFICA JIPIRO	181,39	64,45	18,91
	CUENCA HIDROGRAFICA SOLAMAR	531,09	142,79	22,04
ORIENTE	CUENCA HIDROGRAFICA LA PITA	34,04	25,58	18,91
	CUENCA HIDROGRAFICA EL LIMON	9,72	13,07	4,34
	CUENCA HIDROGRAFICA TIMBARA	61,70	35,70	22,04
	CUENCA HIDROGRAFICA NAMIREZ	29,72	25,86	10,07
	CUENCA HIDROGRAFICA PANGUINTZA	27,89	22,84	8,03
	CUENCA HIDROGRAFICA ZUMBI	10,41	14,41	5,31

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Parámetros de forma de las cuencas hidrográficas

NOMBRE DE LA CUENCA	Parámetros 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 DOS PUENTES	7,13	0,34	1,14	Redonda-Oval Redonda	Crecidas Altas
CUENCA HIDROGRAFICA ZAMORA HUAYCO	9,65	0,32	1,15	Redonda-Oval Redonda	Crecidas Altas
CUENCA HIDROGRAFICA JIPIRO	27,05	0,25	1,34	Oval Redonda-Oval Oblonga	Crecidas Tipo Medio
CUENCA HIDROGRAFICA SOLAMAR	49,79	0,21	1,73	Oval Oblonga-Alargada	Crecidas Tipo Baja
CUENCA HIDROGRAFICA LA PITA	10,46	0,31	1,23	Redonda-Oval Redonda	Crecidas Altas
CUENCA HIDROGRAFICA EL LIMON	5,13	0,37	1,17	Redonda-Oval Redonda	Crecidas Altas
CUENCA HIDROGRAFICA TIMBARA	14,66	0,29	1,27	Oval Redonda-Oval Oblonga	Crecidas Tipo Medio
CUENCA HIDROGRAFICA NAMIREZ	9,68	0,32	1,33	Oval Redonda-Oval Oblonga	Crecidas Tipo Medio
CUENCA HIDROGRAFICA PANGUINTZA	9,34	0,32	1,21	Redonda-Oval Redonda	Crecidas Altas
CUENCA HIDROGRAFICA ZUMBI	5,34	0,37	1,25	Oval Redonda-Oval Oblonga	Crecidas Tipo Medio

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Parámetros de Relieve

NOMBRE DE LA CUENCA	Parámetros relativos al relieve.									
	Rectángulo Equivalente		Pendiente promedia 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 HIDROGRAFICA DOS PUENTES	4,92	3,52	59,80	207,52	Muy Fuerte	2740,53	0,29	0,99	Regular drenaje	19,33
CUENCA HIDROGRAFICA ZAMORA HUAYCO	6,95	4,26	51,43	157,10	Muy Fuerte	2546,08	0,27	0,82	Regular drenaje	17,50
CUENCA HIDROGRAFICA JIPIRO	24,96	7,27	41,81	50,35	Fuerte	2418,68	0,39	1,22	Normal drenaje	6,38
CUENCA HIDROGRAFICA SOLAMAR	62,96	8,44	49,65	25,88	Moderado Fuerte	2536,85	0,60	1,43	Buen drenaje	2,79
CUENCA HIDROGRAFICA LA PITA	9,01	3,78	33,27	117,27	Muy Fuerte	1307,38	0,26	0,36	Regular drenaje	12,58
CUENCA HIDROGRAFICA EL LIMON	4,25	2,29	57,02	298,57	Muy Fuerte	1677,43	0,31	0,82	Regular drenaje	26,23
CUENCA HIDROGRAFICA TIMBARA	13,16	4,69	48,91	121,62	Muy Fuerte	1610,09	0,71	1,44	Buen drenaje	12,11
CUENCA HIDROGRAFICA NAMIREZ	9,94	2,99	45,01	131,45	Muy Fuerte	1357,95	0,34	0,92	Regular drenaje	12,54
CUENCA HIDROGRAFICA PANGUINTZA	7,88	3,54	42,13	123,23	Muy Fuerte	1279,47	0,50	1,09	Normal drenaje	9,32
CUENCA HIDROGRAFICA ZUMBI	5,21	2,00	42,21	223,48	Muy Fuerte	1323,82	0,10	0,54	Regular drenaje	23,04

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 en la Región Interandina la intensidad fluctúa entre 28 mm/h y 37 mm/h, para una duración de 1,5 h y un periodo de retorno de 25 años. En la zona amazónica la intensidad presenta un valor de 44,3 mm/h para todas las cuencas que se encontraron en la misma zona de intensidad.

El número de la curva fluctúa entre 65 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 especialmente en la región amazónica

Tabla 8: Resumen de resultados hidrológicos de cuencas analizadas

NOMBRE DE LA CUENCA	Datos Generales		RESULTADOS HIDROLOGICOS HIDRAULICOS DE LAS CUENCAS ANALIZADAS				
	A Km ²	P Km		Intensidad mm/H	Precipitación mm	Número de la Curva	Precipitación Efectiva mm
Cuenca hidrográfica dos puentes	17,35	16,90	Interandina	36,88	55,32	70,61	135,71
Cuenca hidrográfica Zamora huayco	29,56	22,40		36,88	55,32	70,38	135,02
Cuenca hidrográfica Jipíro	181,39	64,45		36,88	55,32	71,59	138,79
Cuenca hidrográfica Jimbilla	531,09	142,79		28,09	42,14	72,27	66,82
Cuenca hidrográfica La Pita	34,04	25,58	Amazónica	44,30	66,44	67,48	215,39
Cuenca hidrográfica El Limon	9,72	13,07		44,30	66,44	65,34	207,09
Cuenca hidrográfica Timbara	61,70	35,70		44,30	66,44	65,25	206,72
Cuenca hidrográfica Namirez	29,72	25,86		44,30	66,44	65,03	205,88
Cuenca hidrográfica Panguitza	27,89	22,84		44,30	66,44	65,05	205,94
Cuenca hidrográfica Zumbi	10,41	14,41		44,30	66,44	65,27	206,80

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros de los Hidrogramas Triangulares USSCS obtenidos se detallan en la tabla 9. Se observa que para una duración efectiva de 1,5 horas de tormenta se obtuvieron caudales de 37 m³/s hasta 1476 m³/s, para un área de la cuenca que varía

su tamaño de 10 Km² a 531 Km²; 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 Km2=	q _p	t _p	t _r	de	Caudal pico m3/s
CUENCA HIDROGRAFICA DOS PUENTES	17,35	1,70	2,12	0,90	2,45	45,96
CUENCA HIDROGRAFICA ZAMORA HUAYCO	29,56	2,89	2,12	0,90	2,45	79,78
CUENCA HIDROGRAFICA JIPIRO	181,39	17,76	2,12	0,90	2,45	440,77
CUENCA HIDROGRAFICA SOLAMAR	531,09	51,99	2,12	0,90	2,45	1476,67
CUENCA HIDROGRAFICA LA PITA	34,04	3,33	2,12	0,90	2,45	101,38
CUENCA HIDROGRAFICA EL LIMON	9,72	0,95	2,12	0,90	2,45	34,26
CUENCA HIDROGRAFICA TIMBARA	61,70	6,04	2,12	0,90	2,45	219,08
CUENCA HIDROGRAFICA NAMIREZ	29,72	2,91	2,12	0,90	2,45	107,26
CUENCA HIDROGRAFICA PANGUINTZA	27,89	2,73	2,12	0,90	2,45	100,52
CUENCA HIDROGRAFICA ZUMBI	10,41	1,02	2,12	0,90	2,45	36,91

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se presentan los datos analizados en los cauces de sección llena en los puntos de cierre, en donde los valores del área mojada se encuentra entre 8 m² y 192 m² de las cuales el perímetro de dicha sección esta entre 2 m y 48 m; para cada sitio analizado se incluyó el cálculo de la anchura superior del canal de cauce lleno, (B_b), área de sección transversal, (A_{xsb}), y la profundidad hidráulica, (D_b, definido como el área de sección transversal dividida por el ancho superior).

$$D_b = A_{xsb} / B_b \quad \text{EC 30}$$

B_b: Anchura de cauce lleno

D_b: Profundidad

A_{xsb}: Área de la sección transversal

Tabla 10. Parámetros hidráulicos de sección llena

NOMBRE DE LA CUENCA	Área Mojada (A _{xs} b)m ²	Perímetro Mojado m	Ancho Cauce (B _b) m	Profundidad (D _b) m
CUENCA HIDROGRAFICA DOS PUENTES	9,1	9,2	7,4	0,8
CUENCA HIDROGRAFICA ZAMORA HUAYCO	6,6	13,0	15,1	0,9
CUENCA HIDROGRAFICA JIPIRO	47,0	33,4	23,8	2,6
CUENCA HIDROGRAFICA SOLAMAR	190,2	48,8	21,2	2,4
CUENCA HIDROGRAFICA LA PITA	13,1	33,2	17,8	1,1
CUENCA HIDROGRAFICA EL LIMON	8,3	2,54	9,1	0,9
CUENCA HIDROGRAFICA TIMBARA	20,0	21,6	14,7	1,9
CUENCA HIDROGRAFICA NAMIREZ	35,1	19,5	11,3	0,7
CUENCA HIDROGRAFICA PANGUINTZA	15,1	28,8	12,8	1,1
CUENCA HIDROGRAFICA ZUMBI	12,9	22,5	9,3	1,0

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 obtenidos mediante mínimos cuadrados.

Las variables analizadas permitieron establecer valores de correlaciones (R^2) cercanos a 1, estos valores se obtuvieron 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	$y = 0,4374A^{0,9915}$	$R^2 = 0,7807$
A Cuenca Drenante VS Caudal de Pico	$y = 3,9018A^{0,9377}$	$R^2 = 0,9871$
A Cuenca Drenante VS Velocidad del Cauce	$y = 31,47A^{-0,271}$	$R^2 = 0,0388$
A Cuenca Drenante VS Precipitación Efectiva	$y = 39,857A^{-0,062}$	$R^2 = 0,2525$
A Cuenca Drenante VS Precipitación Máxima	$y = 83,705A^{-0,09}$	$R^2 = 0,5517$
A Mojada VS Ancho del Cauce	$y = 6,6519A^{0,2348}$	$R^2 = 0,3846$
P Cuenca Drenante VS P Mojado	$y = 1,2077A^{0,8095}$	$R^2 = 0,4506$
A Cuenca Drenante VS Profundidad	$y = 0,3658A^{0,3246}$	$R^2 = 0,7453$
Caudal de Aforo VS Pendiente del Cauce Principal	$y = 1341,5A^{-1,763}$	$R^2 = 0,7068$
Caudal Aforo VS Longitud del Cauce Principal	$y = 0,2542A^{1,7951}$	$R^2 = 0,6656$
Caudal de Pico VS Pendiente del Cauce Principal	$y = 8384,9A^{-1,7}$	$R^2 = 0,9284$

Caudal Pico VS Longitud del Cauce Principal	$y = 3,1861A^{1,5644}$	$R^2 = 0,7146$
Área Mojada VS Pendiente del Cauce Principal	$y = 602,17A^{-1,378}$	$R^2 = 0,828$
Área Mojada VS Longitud del Cauce Principal	$y = 1,5482A^{1,0874}$	$R^2 = 0,4684$
Profundidad del Cauce VS Pendiente del Cauce Principal	$y = 4,8341A^{-0,558}$	$R^2 = 0,6308$
Profundidad del Cauce VS Longitud del Cauce Principal	$y = 0,32A^{0,569}$	$R^2 = 0,5954$
Índice de Gravelius VS Caudal de Aforo	$y = 1,4452A^{10,1}$	$R^2 = 0,7729$
Índice de Gravelius VS Caudal Pico	$y = 15,879A^{8,4229}$	$R^2 = 0,7599$
A Cuenca Drenante VS Espejo de Agua	$y = 5,1693A^{0,2587}$	$R^2 = 0,7113$
A Cuenca VS Profundidad del Cauce	$y = 0,3658x^{0,3246}$	$R^2 = 0,7453$
A Cuenca VS A Mojada	$y = 1,4367A^{0,7105}$	$R^2 = 0,7689$
A Cuenca Drenante VS Espejo de Agua	$y = 5,1693A^{0,2587}$	$R^2 = 0,7113$
A Cuenca VS Profundidad del Cauce	$y = 0,3658x^{0,3246}$	$R^2 = 0,7453$
A Cuenca VS A Mojada	$y = 1,4367A^{0,7105}$	$R^2 = 0,7689$

Fuente: Elaboración propia

En base a los coeficientes de correlación de las 21 relaciones realizadas tenemos que 8 se encuentran entre valores de 0,003 a 0,7, 13 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.

Los gráficos 1, 2 y 3; permiten observar el modelo matemático de las curvas regionales de geometría hidráulica y la estimación de los coeficientes propuestos por (Dunne, T., 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.

$$D_B = 0,3658 * A^{0,3246} \quad \text{EC 31} \quad R^2 = 0,7453$$

$$B_b = 5,1693 * A^{0,2587} \quad \text{EC 32} \quad R^2 = 0,7113$$

$$A_{XSb} = 1,4367 * A^{0,7105} \quad \text{EC 33} \quad R^2 = 0,7689$$

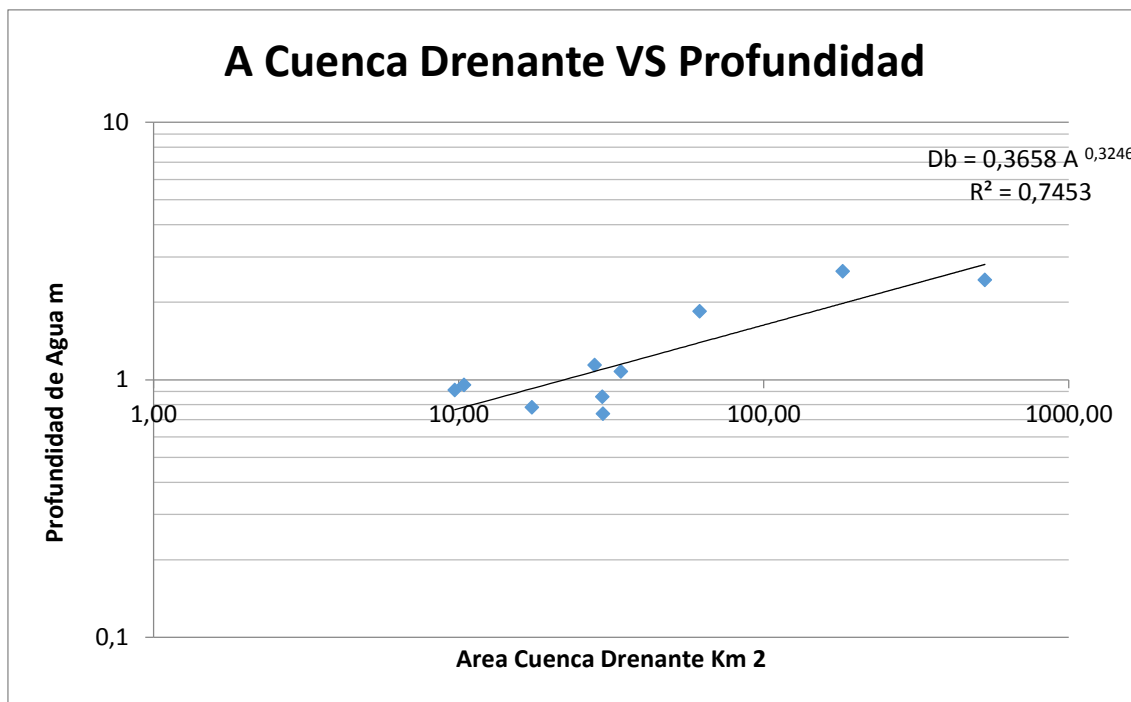


Grafico 1. Relación entre el área de la cuenca drenante y la profundidad del cauce.
Fuente: Elaboración propia

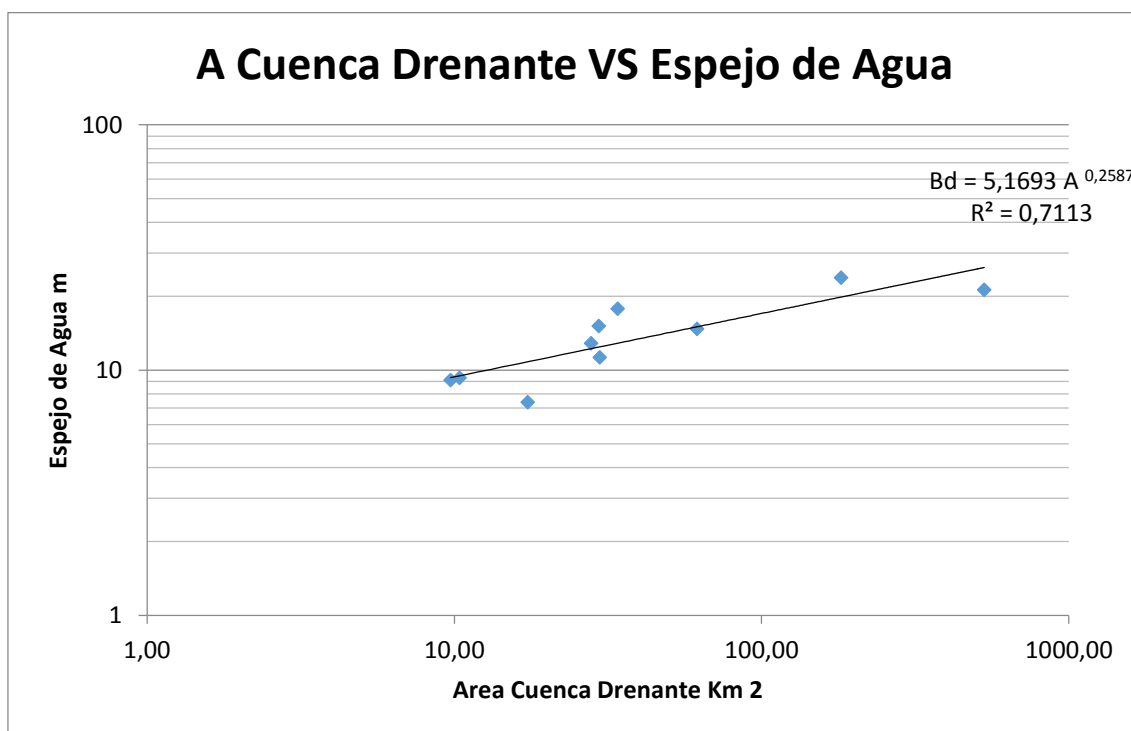


Grafico 2. Relación entre el área de la cuenca drenante y el espejo de agua del cauce.
Fuente: Elaboración propia

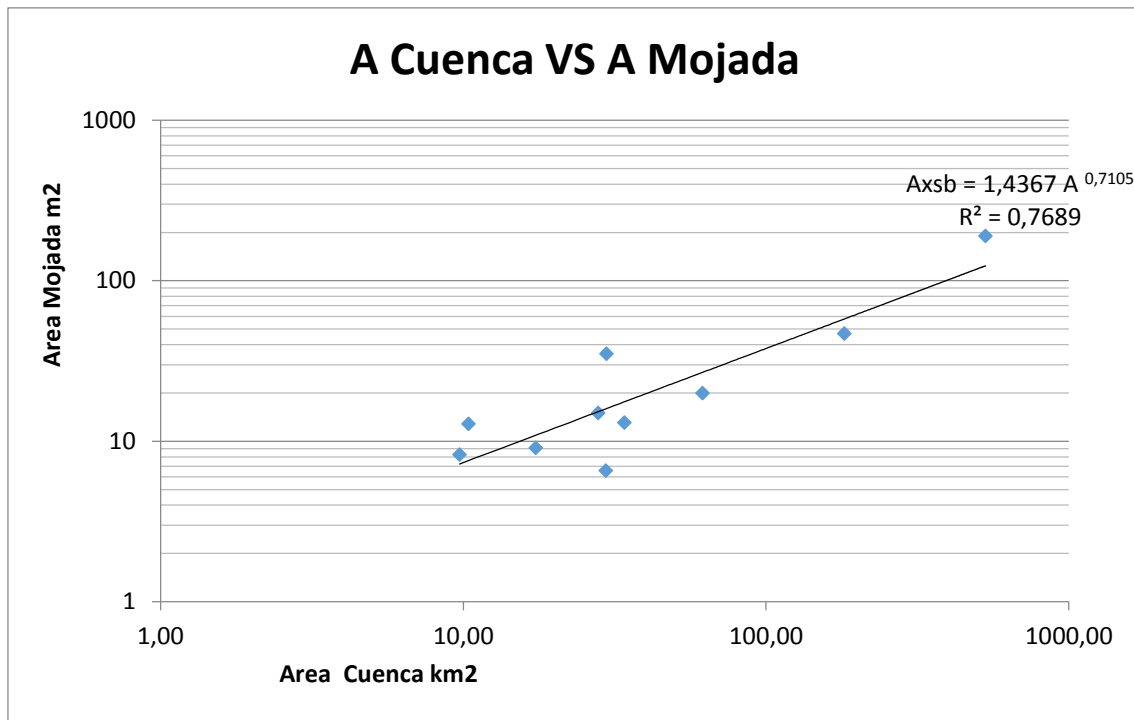


Gráfico 3. Relación entre el área de la cuenca drenante y área mojada de la sección del cauce.
Fuente: Elaboración propia

Estableciendo que los coeficientes de correlación en los análisis de las curvas regionales de geometría hidráulica se encuentra entre 0,7 y 0,8, lo que permite establecer una comparativa entre los resultados de las correlaciones establecidas en la literatura.

3.2. Comparación con investigaciones similares

Las investigaciones similares referidas a curvas regionales de geometría hidráulica, se han estimado 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	10	$B_b = 5,1693 * A^{0,2587}$ $D_B = 0,3658 * A^{0,3246}$ $Axsb = 1,4367 A^{0,7105}$	$R^2 = 0,7113$ $R^2 = 0,7453$ $R^2 = 0,7689$
Sur de California (Modrick y Georgakakos, 2014).	60	$B_b = 2,961A^{0,338}$ $D_b = 0,196A^{0,219}$ $Axsb = 0,594A^{0,551}$	$R^2 = 0,59$ $R^2 = 0,26$ $R^2 = 0,54$
Sur de California, Azary (1999) (Modrick y Georgakakos, 2014).	7	$B_b = 1,794A^{0,366}$ $Dm_b = 0,099A^{0,371}$ $Axsb = 0,169A^{0,749}$	$R^2 = 0,74$ $R^2 = 0,71$ $R^2 = 0,86$

Sur de California, EPA WSA (Modrick y Georgakakos, 2014).	54	$B_b=2,058A^{0,270}$ $Dm_b=0,255A^{0,117}$ $Axs_b=0,525A^{0,387}$	$R^2=0,45$ $R^2=0,07$ $R^2=0,29$
Noroeste del Pacífico Castro and Jackson (2001)	76	$B_b=3,000A^{0,380}$ $Dm_b=0,307A^{0,240}$ $Axs_b=0,751A^{0,643}$	$R^2=0,49$ $R^2=0,29$ $R^2=0,49$
Arizona Central Moody et al. (2003)	53	$B_b=4,130A^{0,317}$ $Dm_b=0,215A^{0,219}$ $Axs_b=0,860A^{0,540}$	$R^2=0,82$ $R^2=0,73$ $R^2=0,92$
Eastern Arizona/Nuevo México Moody et al. (2003)	85	$B_b=2,640A^{0,280}$ $Dm_b=0,127A^{0,237}$ $Axs_b=0,348A^{0,512}$	$R^2=0,80$ $R^2=0,72$ $R^2=0,92$

Fuente: (Modrick y Georgakakos, 2014). Regional bankfull geometry relationships for southern California mountain streams and hydrologic applications

Al analizar los coeficiente de correlaciona obtenidos en la presente investigación (tabla 12) puede observarse que estos alcanzan valores superiores a 0,71, 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 km². 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 31, 32 y 33 las cuales se fundamentan en las siguientes expresiones, y a su vez se extraen los siguientes coeficientes: α , β , ε , δ , λ , y γ .

$$B_b = \alpha A^\beta \quad \text{EC 27}$$

$$D_b = \varepsilon A^\delta; \quad \text{EC 28}$$

$$Axs_b = \lambda A^\gamma \quad \text{EC 29}$$

En donde los rangos de los coeficientes de exponentes, referido a α 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 5,1693. De la misma manera se tiene que para el coeficiente β los valores se encuentra entre 0,280 hasta 0,430 y el calculado en base al análisis estadístico es 0,2587. Como puede observarse el valor de α supera el valor reportado en la literatura, pero permanece cercano a este, en cambio el exponente β se encuentra entre el rango reportado.

El coeficiente ϵ poseen valores de 0,099 a 0,307, obteniendo el valor de 0,3658, este supera levemente el rango reportado en la literatura debido; por su parte el coeficiente δ oscila entre 0,117 a 0,371 alcanzando un valor de 0,3246 en la presente investigación.

El coeficiente λ se encuentra entre valores de 0,169 a 0,932 y obtenido en el desarrollo de la investigación es de 1,4367; que supera el rango reportado, por su parte y se encuentra entre los valores 0,270 hasta 0,739, los resultados obtenidos en el presente trabajo es 0,7105.

Como puede apreciarse, los coeficientes de las ecuaciones superan los rangos publicados en la literatura; esto debido a que reflejan 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 $R^2 = 0,7113$, para anchura de cauce lleno, $R^2 = 0,7453$ para la profundidad y $R^2 = 0,7689$ para l área de la sección transversal media en 10 zonas de la región sur interandina.

Las correlaciones con mayor tendencia a 1 obtenidas de las resultados estadísticos se obtuvieron al comprar: caudal pico y pendiente del cauce principal; área de la cuenca drenante y el caudal pico; y área mojada de la sección con la pendiente del cauce principal con valores de R^2 de 0,92, 0,98 y 0,83 respectivamente.

Las relaciones morfológicas de las cuencas drenantes y las características hidrológicas hidráulicas tienen un valor promedio de coeficiente de correlación 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 contrarios serian 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.

BIBLIOGRAFIA:

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 Georgakakos 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 sinuosity. *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:ESOCPJ2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1972)83[1755:ESOCPJ2.0.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 WEP:

<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/geoinformacion/mapas-oficiales/>

http://www.sigtierras.gob.ec/Servicios/Cartas1_50k

<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ea.13.050185.000253>.

[http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00241-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00241-6).

<http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb03636.x>.

<http://dx.doi.org/10.1177/0309133310365300>.

[http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1977\)88b1057:SRTFWEN2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1977)88b1057:SRTFWEN2.0.CO;2).

ANEXOS:

Anexo 1: Número de la curva de las cuencas analizadas

Cauce de las Cuencas Drenante	Características de Uso de Suelo	Grupos de Suelos Hidrológicos	Grupos de Suelos Hidrológicos Ponderado	Características de Tipo de Suelo	Condición Hidrológica	NC	NC Ponderado
Dos Puentes (Q. Santa Ana - Q. Curitraje)	Pastos cultivados, Cultivos de Zonas Frías (Pastos, Papas y Cereales)	B	C	Suelos pardo rojizos, arcillosos con alto contenido de arcilla tipo montmorillonita	Buena	74	70,6
	Formación arbustiva, Densa de altura, húmeda y muy húmeda	C		Suelos poco profundos erosionados de textura variable	Buena	70	
	Formación arbórea, Siempre verde, muy húmeda (Vertientes exteriores de los Andes)	C		Suelos rojos o pardo amarillentos con alteración muy profunda, arcilla tipo caolinita saturación de bases 35%	Buena	72	
	Formación arbustiva, Densa de altura, húmeda y muy húmeda	C					
	Vegetación herbácea, densa de prado muy húmedo	D					
Rio Zamora Huayco (Q. Mendieta)	Formación arbustiva, Densa de altura, húmeda y muy húmeda	C	C	Suelos pardo rojizos, arcillosos con alto contenido de arcilla tipo montmorillonita	Buena	74	70,4
	Formación arbórea, Siempre verde, muy húmeda (Vertientes exteriores de los Andes)	C		Suelos poco profundos erosionados de textura variable	Buena	70	
	Formación arbustiva, Densa de altura, húmeda y muy húmeda	C		Suelos rojos o pardo amarillentos con alteración muy profunda, arcilla tipo caolinita saturación de bases 35%	Buena	72	
	Vegetación herbácea, densa de prado muy húmedo	D					
Rio Jipiro (Q. Volcán - Q. El Salado)	Pastos cultivados en alturas y zonas templadas	B	C	Suelos negros arcillo arenosos o arcillosos, saturación de bases > 50%	Mala	77	71,6
	Formación arbustiva, Densa de altura, húmeda y muy húmeda	C		Suelos muy jóvenes de color amarillo, arcilloso a veces muy pedregoso, arcilla motmorillonitica	Buena	71	
	Pastos cultivados, Cultivos de Zonas Frías (Pastos, Papas y Cereales)	B		Suelos pardo rojizos, arcillosos con alto contenido de arcilla tipo montmorillonita	Buena	74	
	Formación arbustiva, Densa de altura, húmeda y muy húmeda	C		Suelos poco profundos erosionados de textura variable	Buena	70	
	Formación arbórea, Siempre verde, muy húmeda (Vertientes exteriores de los Andes)	C					
	Formación arbustiva, Densa de altura, húmeda y muy húmeda	C		Suelos rojos o pardo amarillentos con alteración muy profunda, arcilla tipo caolinita saturación de bases 35%	Buena	72	
	Vegetación herbácea, densa de prado muy húmedo	D					

Cauce de las Cuencas Drenante	Características de Uso de Suelo	Grupos de Suelos Hidrológicos	Grupos de Suelos Hidrológicos Ponderado	Características de Tipo de Suelo	Condición Hidrológica	NC	NC Ponderado	
Rio Jimbilla	Asociación de cultivos de zonas cálidas y subcálidas	D	C	Suelos ricos en MO > 30%	Mala	86	72,3	
	Pastos cultivados, Cultivos de Zonas Frías (Pastos, Papas y Cereales)	B		Suelos rojos o pardos generalmente con restos de rocas madre poco meteorizada entre 1 y 2 m de profundidad arcillosos (caolinita) saturación de bases > 35%	Regular	79		
	Pastos cultivados en alturas y zonas templadas	B		Suelos rojos o pardo amarillentos, arcillosos, presencia de caolinita en superficie y motmorillonita en profundidad saturación de bases >50%	Buena	72		
	Formación arbórea, Siempre verde, muy húmeda (Vertientes exteriores de los Andes)	C		Suelos negros arcillo arenosos o arcillosos, saturación de bases > 50%	Mala	77		
	Pastos cultivados, Cultivos de Zonas Frías (Pastos, Papas y Cereales)	B		Suelos muy jóvenes de color amarillo, arcilloso a veces muy pedregoso, arcilla motmorillonítica	Buena	71		
	Formación arbustiva, Densa de altura, húmeda y muy húmeda	C		Suelos pardo rojizos, arcillosos con alto contenido de arcilla tipo montmorillonita	Buena	74		
	Formación arbórea, Siempre verde, muy húmeda (Vertientes exteriores de los Andes)	C		Suelos poco profundos erosionados de textura variable	Buena	70		
	Formación arbustiva, Densa de altura, húmeda y muy húmeda	C		Suelos rojos o pardo amarillentos con alteración muy profunda, arcilla tipo caolinita saturación de bases 35%	Buena	72		
	Vegetación herbácea, densa de prado muy húmedo	D						
Yantzaza (Q. De Pita)	Formación arbórea, Siempre verde, muy húmeda (Vertientes exteriores de los Andes)	C	C	Suelos color pardo a pardo oscuro, de textura franco arenosa fina a franco arcillosa, derivados de materiales aluviónicos	Buena	74	67,5	
	Pastos cultivados de zonas cálidas y subcálidas	C		Suelos rojos o pardo amarillentos con alteración muy profunda, arcilla tipo caolinita saturación de bases 35%	Buena	65		
Zamora - El Limón (Q. G Mairo)	Pastos cultivados de zonas cálidas y subcálidas	C	C	Suelos color pardo a pardo oscuro, de textura franco arenosa fina a franco arcillosa, derivados de materiales aluviónicos	Buena	74	65,3	
	Formación arbórea, Siempre verde, muy húmeda (Vertientes exteriores de los Andes)	C		Suelos rojos o pardo amarillentos con alteración muy profunda, arcilla tipo caolinita saturación de bases 35%	Buena	65		

Cauce de las Cuencas Drenante	Características de Uso de Suelo	Grupos de Suelos Hidrológicos	Grupos de Suelos Hidrológicos Ponderado	Características de Tipo de Suelo	Condición Hidrológica	NC	NC Ponderado
Timbara - Timbara Alto (Q. Tunatza)	Pastos cultivados de zonas cálidas y subcálidas	C	C	Suelos color pardo a pardo oscuro, de textura franco arenosa fina a franco arcillosa, derivados de materiales aluviónicos	Buena	74	65,2
	Formación arbórea húmeda de la amazonia	C		Suelos rojos o pardo amarillentos con alteración muy profunda, arcilla tipo caolinita saturación de bases 35%	Buena	65	
Namirez - La Saquea (Rio Nambija)	Pastos cultivados de zonas cálidas y subcálidas	C	C	Suelos color pardo a pardo oscuro, de textura franco arenosa fina a franco arcillosa, derivados de materiales aluviónicos	Buena	74	65,0
	Formación arbórea, Siempre verde, muy húmeda (Vertientes exteriores de los Andes)	C		Suelos rojos o pardo amarillentos con alteración muy profunda, arcilla tipo caolinita saturación de bases 35%	Buena	65	
Panguitza - Zumbi (Q. Panguitza)	Pastos cultivados de zonas cálidas y subcálidas	C	C	Suelos color pardo a pardo oscuro, de textura franco arenosa fina a franco arcillosa, derivados de materiales aluviónicos	Buena	74	65,0
	Formación arbórea, Siempre verde, muy húmeda (Vertientes exteriores de los Andes)	C		Suelos rojos o pardo amarillentos con alteración muy profunda, arcilla tipo caolinita saturación de bases 35%	Buena	65	
Zumbi (Q. Zumbi)	Pastos cultivados de zonas cálidas y subcálidas	C	C	Suelos color pardo a pardo oscuro, de textura franco arenosa fina a franco arcillosa, derivados de materiales aluviónicos	Buena	74	65,3
	Formación arbórea, húmeda de la amazonia	C		Suelos rojos o pardo amarillentos con alteración muy profunda, arcilla tipo caolinita saturación de bases 35%	Buena	65	

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							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	Giandott i t=min	Tiempo para análisis de cuencas Horas		Área Mojada		Radio Hidráulico	
									Secció n 1 m2	Sección 2 m2	Sección 1 m	Secció n 2 m
CUENCA HIDROGRAFICA DOS PUENTES	1,37	28,88	0,30	1,50	1,57	0,43	1,5	0,56	8,01	10,25	1,60	1,81
CUENCA HIDROGRAFICA ZAMORA HUAYCO	1,72	36,69	0,40	1,80	1,82	0,47		0,07	6,39	6,794	1,43	1,47
CUENCA HIDROGRAFICA JIPIRO	4,58	113,30	3,43	10,20	5,28	0,79		0,09	46,716	47,256	3,86	3,88
CUENCA HIDROGRAFICA SOLAMAR	5,66	175,40	23,34	55,05	14,14	50,51		0,66	166,50 4	213,988	7,28	8,25
CUENCA HIDROGRAFICA LA PITA	4,73	87,23	0,74	3,08	2,43	0,34		0,79	10,13	16,12	1,80	2,27
CUENCA HIDROGRAFICA EL LIMON	1,06	21,18	0,20	1,26	1,39	0,39		0,72	8,25	8,287	1,62	1,62
CUENCA HIDROGRAFICA TIMBARA	5,24	99,61	1,21	5,20	3,45	0,45		0,67	18,46	21,468	2,42	2,61
CUENCA HIDROGRAFICA NAMIREZ	2,56	53,78	0,92	4,20	2,86	0,49		0,78	34,07	36,14	3,29	3,39
CUENCA HIDROGRAFICA PANGUINTZA	2,18	50,63	1,24	4,93	3,03	0,54		0,84	14,92	15,19	2,18	2,20
CUENCA HIDROGRAFICA ZUMBI	1,33	25,99	0,24	1,41	1,47	0,37		0,46	10,06	15,64	1,79	2,23

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Anexo 3: Datos de Curvas Regionales

NOMBRE DE LA CUENCA	CURVAS REGIONALES					
	Promedio					
	Área Mojada m ²	Perímetro Mojado m	Ancho Cauce (T)m	Profundidad (H) m	Relacion A/P	Relacion T/H
CUENCA HIDROGRAFICA DOS PUENTES	8,6	9,1	269,2	71,8	9,2	11,5
CUENCA HIDROGRAFICA ZAMORA HUAYCO	16,4	6,6	24,6	13,2	13,0	9,7
CUENCA HIDROGRAFICA JIPIRO	9,1	47,0	16,8	7,9	33,4	2,9
CUENCA HIDROGRAFICA SOLAMAR	8,8	190,2	41,5	19,1	48,8	13,0
CUENCA HIDROGRAFICA LA PITA	15,9	13,1	23,8	13,5	33,2	5,2
CUENCA HIDROGRAFICA EL LIMON	10,2	8,3	18,5	11,9	2,2	5,9
CUENCA HIDROGRAFICA TIMBARA	8,6	20,0	12,6	8,1	21,6	3,1
CUENCA HIDROGRAFICA NAMIREZ	14,7	35,1	5,6	0,4	19,5	0,9
CUENCA HIDROGRAFICA PANGUINTZA	11,0	15,1	6,4	0,6	28,8	0,3
CUENCA HIDROGRAFICA ZUMBI	9,4	12,9	4,6	0,5	22,5	0,3

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

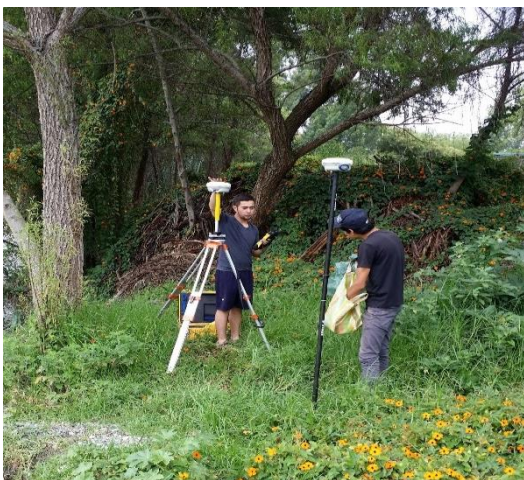
Anexo 4: Fotográfico
LEVANTAMIENTO DE CAMPO:



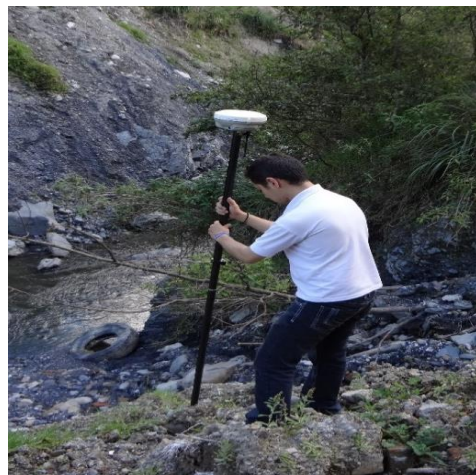
Levantamiento sección de cierre cuenca total, Solamar.



Ubicación de equipo estación total en la sección de cierre de Panguitza



Levantamiento sección de cierre cuenca Jipiro



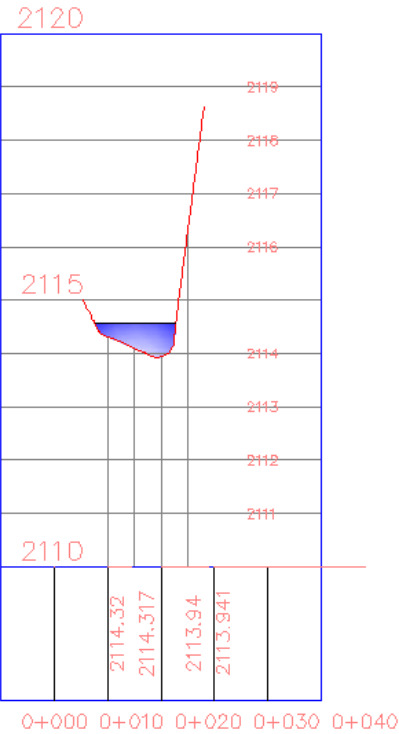
Levantamiento sección de cierre cuenca Dos Puentes



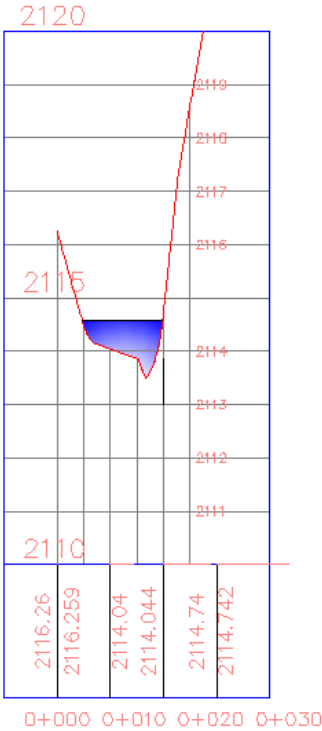
Equipo de Topografía.

Anexo 5: Dibujos de secciones de los cauces en los puntos de cierre. Escala H:V, 1:100
Cauce Zamora Huayco Cauce Dos puentes

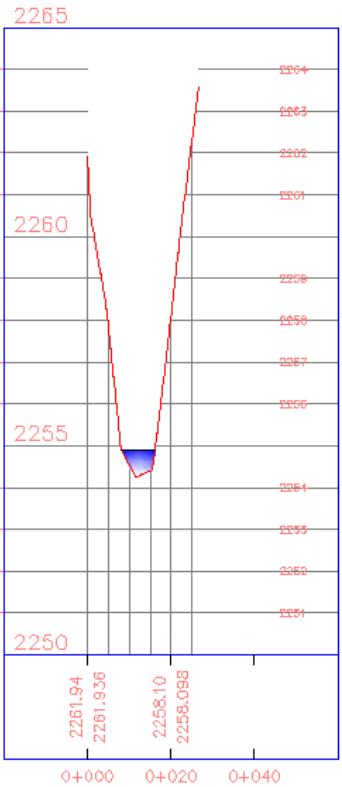
SECCION 1



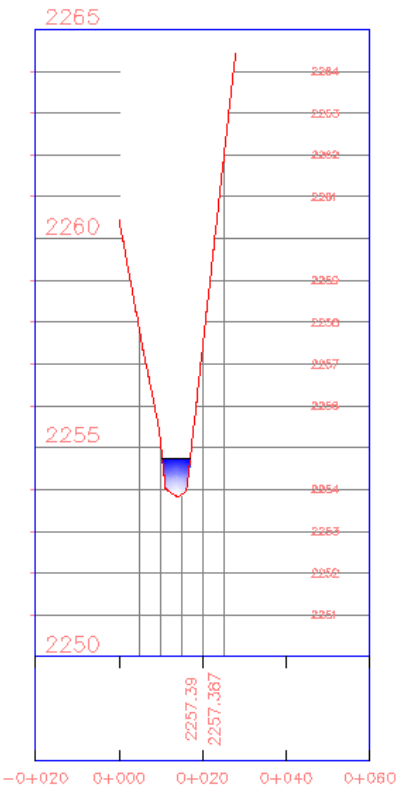
SECCION 2



SECCION 2



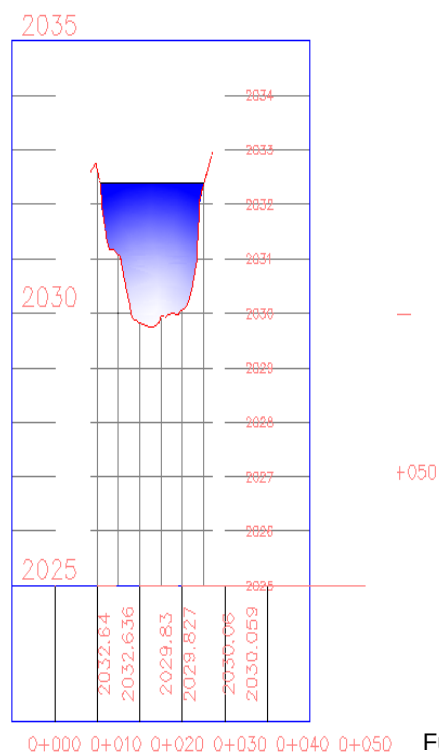
SECCION 1



Fuente: Elaboración propia

Cauce Jipiro

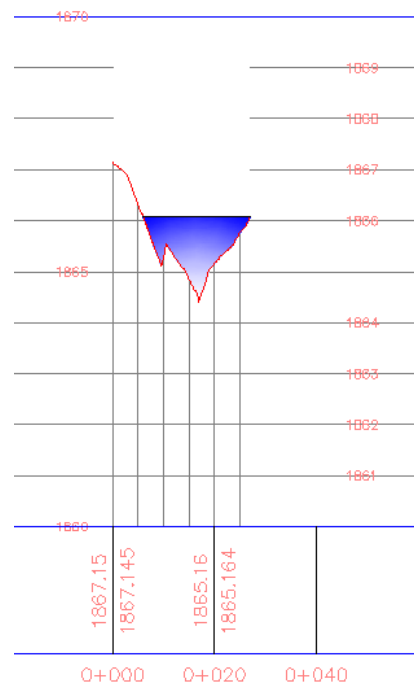
SECCION 2



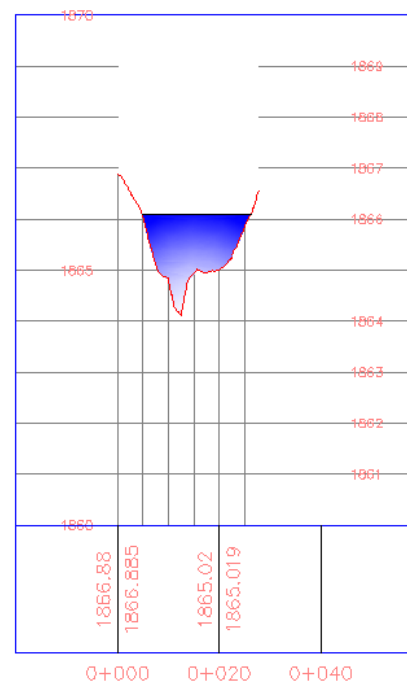
Fuente: Elaboración propia

Cauce Solamar

SECCION 1

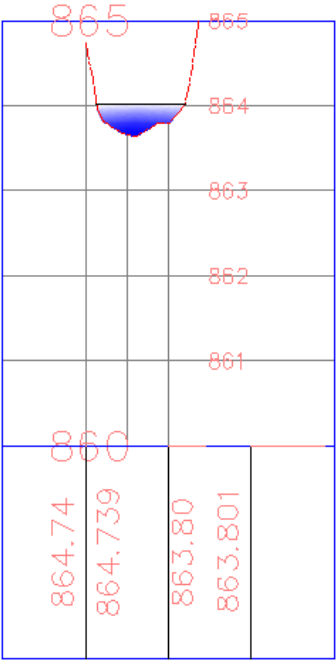


SECCION 2



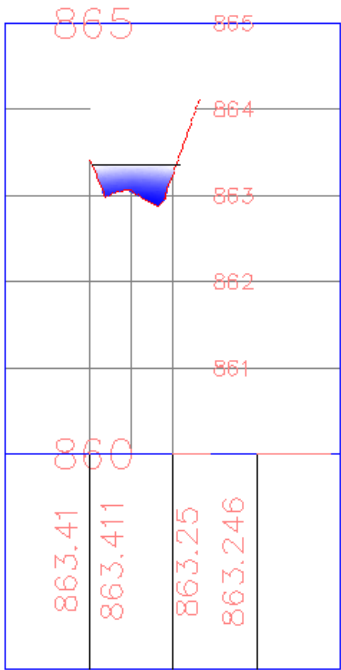
Cauce Namirez

SECCION 1



0+000 0+010 0+020

SECCION 2

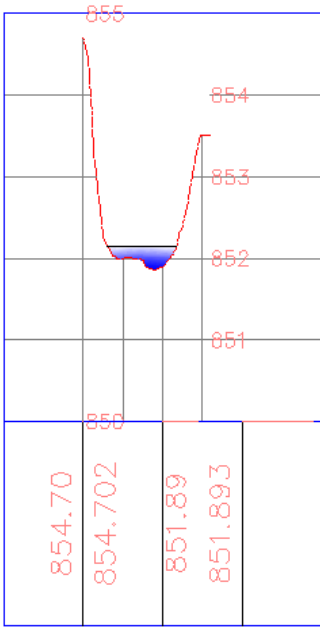


0+000 0+010 0+020

Fuente: Elaboración propia

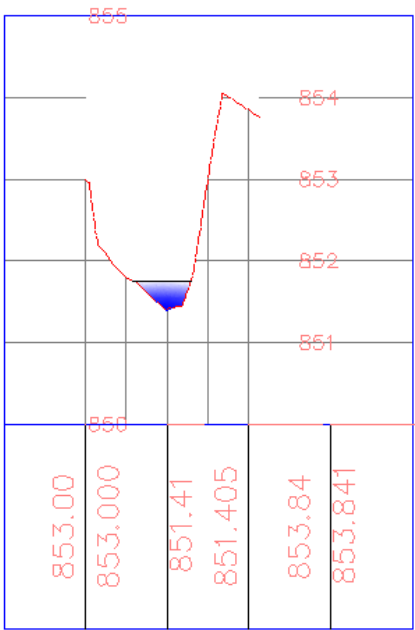
Cauce Panguitza

SECCION 1



0+000 0+010 0+020

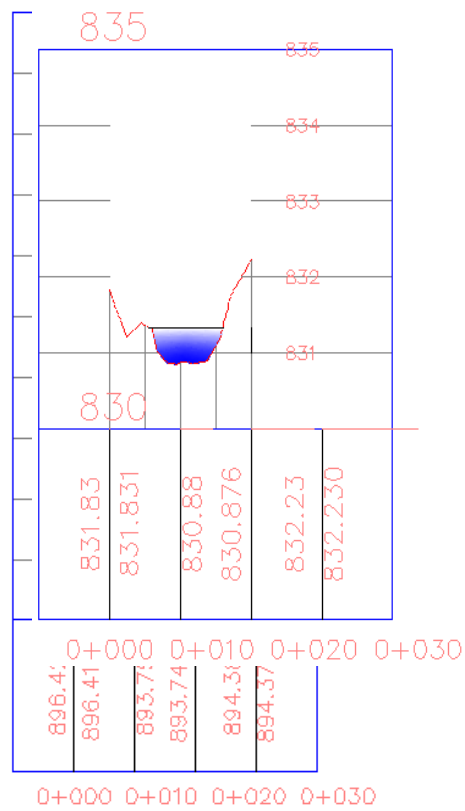
SECCION 2



0+000 0+010 0+020 0+030

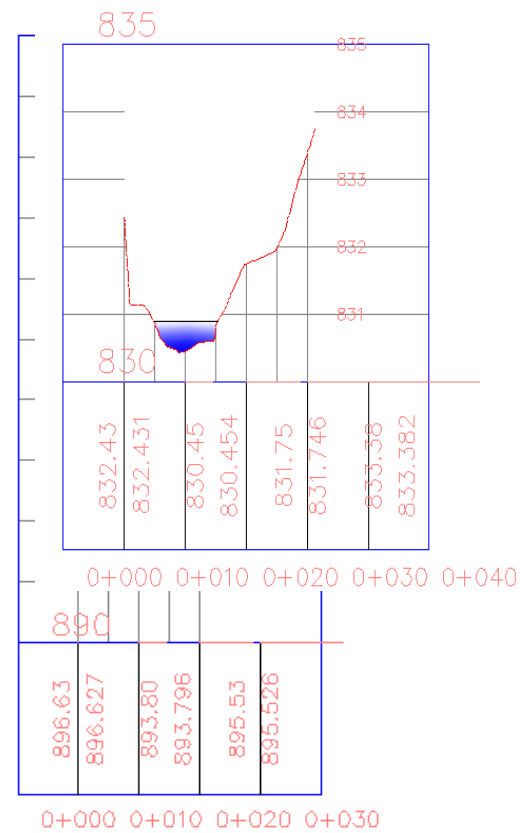
Cauce Timbara

SECCION 1



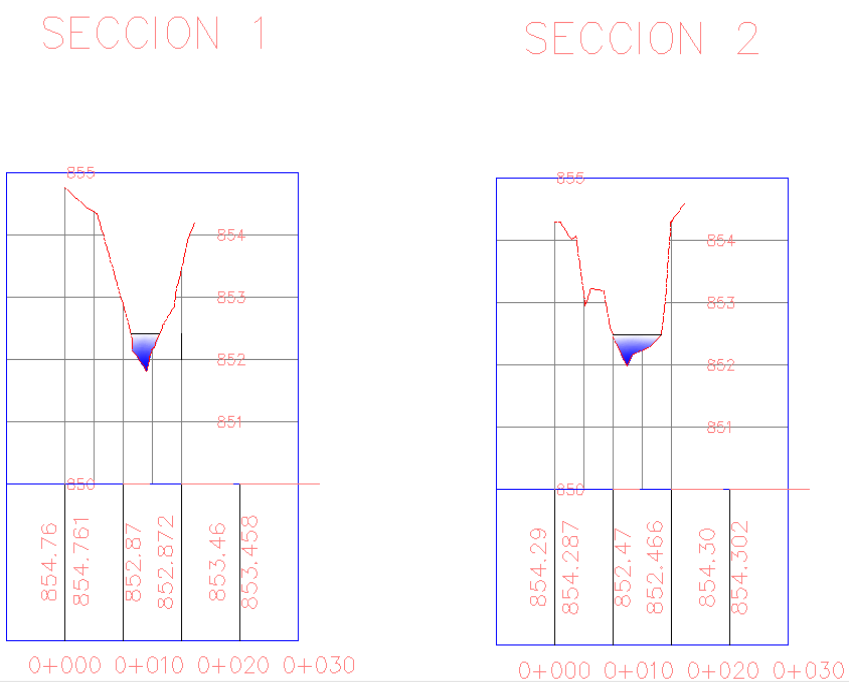
Cauce La Pita

SECCION 2



Fuente: Elaboración propia

Cauce Zumbi



Fuente: Elaboración propia

Cauce El Limón

