



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Determinación de un tiempo de concentración teórico a partir de la
morfometría de la cuenca hidrográfica del río Jubones**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

AUTOR: FRANCISCO XAVIER BRAVO BURI

DIRECTOR: ING. CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS

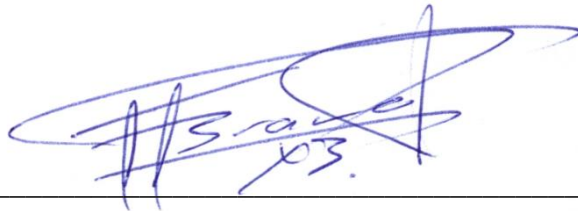
MATRIZ CUENCA

2019

1. DECLARACIÓN

Yo, Francisco Xavier Bravo Buri, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

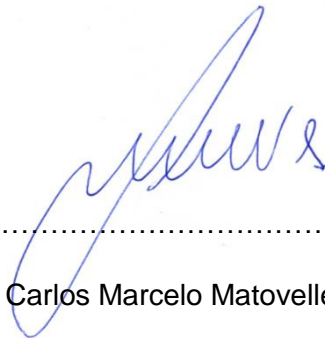


Francisco Xavier Bravo Buri

0106845563

2. CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado "Determinación de un tiempo de concentración teórico a partir de la morfometría de la cuenca hidrográfica del río Jubones" fue desarrollado por el Sr. Francisco Xavier Bravo Buri, bajo mi supervisión.



Carlos Marcelo Matovelle Bustos

Director

3. AGRADECIMIENTO

Primeramente gracias a Dios, que me permite alcanzar este logro y culminar una etapa más en mi vida. A mi Universidad gracias, por haberme permitido formarme en ella y a cada maestro que fue partícipe de éste proceso ya sea de manera directa e indirecta para que el día de hoy se vea reflejado este logro. Explícitamente quiero agradecer al Ingeniero Carlos Matovelle, Ingeniero Diego Eras, Ingeniero José Solano, Ingeniera Diana Macancela e Ingeniera Melva Gonzáles, quienes a más de compartir generosamente sus conocimientos conmigo fueron un pilar fundamental en el desarrollo de este trabajo.

Gracias a mi familia y en especial a mi hermana Sofía, quien fue mi principal apoyo para culminar esta meta. De igual manera expreso una inmensa gratitud a Paola quien ha sido a más de un apoyo incondicional, la fuerza e inspiración para seguir superándome día a día.

4. DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Paola Méndez, quien ha estado todo este tiempo animándome a seguir adelante con cada palabra de aliento y motivación, compartiendo generosamente su tiempo y brindándome su ayuda incondicional. Para mí ha sido una fuente de inspiración, admiración, respeto y cariño, pues en ella encontré la mujer que lucha y nunca se rinde y que a pesar de cualquier situación ha tenido la fuerza y el corazón para ser mi apoyo en todo momento.

5. ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. DECLARACIÓN	3
2. CERTIFICACIÓN	4
3. AGRADECIMIENTO	5
4. DEDICATORIA	6
5. ÍNDICE DE CONTENIDOS	7
6. LISTA DE FIGURAS	9
7. LISTAS DE TABLAS	10
8. LISTA DE ANEXOS	11
9. RESUMEN	11
10. ABSTRACT	12
11. CAPITULO I	13
1 INTRODUCCIÓN	13
1.1 Objetivos	14
1.1.1 General	14
1.1.2 Específicos	14
1.2 Justificación	14
12. CAPÍTULO II	16
2 REVISIÓN DE LITERATURA	16
2.1 Cuenca hidrográfica del río Jubones	16
2.2 Subcuenca del río Rircay	16
2.3 Morfometría	17
2.4 Parámetros relacionados a la forma de la cuenca	17
2.5 Área	17
2.6 Perímetro	18
2.7 Factor de forma de Horton	18
2.8 Coeficiente de compacidad (kc)	18
2.9 Relación de elongación (Re)	19
2.10 Parámetros relativos al relieve	19
2.11 Altura y elevación	19
2.12 Curva Hipsométrica	20
2.13 Orden de los cauces	20

2.14	Densidad de drenaje (Dd)	20
2.15	Relación de bifurcación	21
2.16	Tiempo de Concentración	21
2.17	Análisis estadístico	21
2.18	Análisis exploratorio de datos	22
2.19	Coefficiente de variación	22
13.	CAPÍTULO III	23
3	MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1	Área de estudio	23
3.2	Extracción del MDT (Modelo Digital de Terreno) de la cuenca hidrográfica del río Jubones y subcuenca Rircay	24
3.3	Delimitación de las zonas aportantes de la subcuenca Rircay	25
3.4	Determinación de los parámetros morfométricos de las zonas aportantes de la subcuenca Rircay	31
14.	CAPÍTULO IV	54
4	RESULTADOS	54
4.1	Resultados	54
15.	CAPÍTULO V	64
5	CONCLUSIONES	64
16.	CAPÍTULO VI	66
6	RECOMENDACIONES	66
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

6. LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Rango y forma del coeficiente de compacidad.</i>	19
<i>Figura 2: Cuenca y subcuencas hidrográficas del río Jubones.</i>	23
<i>Figura 3: Modelo Digital de Terreno para la cuenca del Jubones.</i>	24
<i>Figura 4: Modelo Digital de Terreno para la subcuenca Rircay.</i>	25
<i>Figura 5: MDT de la subcuenca del Rircay relleno.</i>	26
<i>Figura 6: Ráster de dirección de flujo de la subcuenca del Rircay.</i>	26
<i>Figura 7: Ráster de acumulación de flujo de la subcuenca del Rircay.</i>	27
<i>Figura 8: Ráster resultado del proceso "log10" del ráster "acumulación de flujo".</i>	28
<i>Figura 9: Ráster resultado del proceso con la herramienta "vínculo de arroyo"</i>	28
<i>Figura 10: Ráster con el orden de los cauces para la subcuenca del Rircay</i>	29
<i>Figura 11: Shape de puntos en intersecciones de cauces</i>	30
<i>Figura 12: Shape de la delimitación de las zonas aportantes para el estudio</i>	30
<i>Figura 13: Mapa reclasificado de la altura en 12 intervalos</i>	36
<i>Figura 14: Curva hipsométrica y ecuación del área aportante</i>	37
<i>Figura 15: Ráster de longitud de flujo de las zonas aportantes</i>	38
<i>Figura 16: Ráster resultado del proceso "log10" de la Calculadora Ráster</i>	39
<i>Figura 17: Ráster resultado del cálculo de la condicionante "Con("red_log10">=2,red_log10)</i>	39
<i>Figura 18: Ráster obtenido del proceso de la herramienta "vínculo de arroyo"</i>	40
<i>Figura 19: Ráster de clasificación del orden de los cauces</i>	41
<i>Figura 20: Clasificación de las zonas aportantes en tres rangos de altura</i>	46
<i>Figura 21: Boxplots e histogramas de la densidad de drenaje para la cuenca</i>	54
<i>Figura 22: Boxplots e histogramas del coeficiente de compacidad para la cuenca</i>	55
<i>Figura 23: Boxplots e histogramas del factor de forma para la cuenca</i>	56
<i>Figura 24: Boxplots e histogramas de la relación de bifurcación para la cuenca</i>	57
<i>Figura 25: Boxplots e histogramas de la relación de elongación para la cuenca</i>	58
<i>Figura 25: Boxplots e histogramas de la rugosidad para la cuenca</i>	59
<i>Figura 27: Matriz de dispersión de datos para la zona alta de la cuenca</i>	60
<i>Figura 28: Matriz de dispersión de datos para la zona media de la cuenca</i>	60
<i>Figura 29: Matriz de dispersión de datos para la zona baja de la cuenca</i>	61
<i>Figura 30: Curva hipsométrica de la cuenca del Rircay</i>	63

7. LISTAS DE TABLAS

<i>Tabla 1 Datos obtenidos del Shape interpolado con el MDT</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 2: Datos extraídos de la reclasificación de alturas para la curva hipsométrica</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 3 Datos de los parámetros de la red de drenaje obtenidos del SIG</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 4: Parámetros Morfométricos de la zona alta</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 5: Parámetros Morfométricos de la zona media</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 6: Parámetros Morfométricos de la zona baja</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 7: Sumario de los parámetros morfométricos de la zona alta de la subcuenca</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 8: Sumario de los parámetros morfométricos de la zona media de la subcuenca</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 9: Sumario de los parámetros morfométricos de la zona baja de la subcuenca</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 10: Sumario de los parámetros morfométricos de las subcuencas del Jubones</i>	<i>53</i>

8. RESUMEN

Para la determinación de un tiempo teórico de concentración en la subcuenca del río Rircay se realizó la delimitación por áreas aportantes; de las cuales se extrajeron los parámetros morfométricos para el análisis estadístico y la interpretación de los resultados. Este estudio contiene la revisión bibliográfica, la determinación de los parámetros morfométricos, el análisis estadístico y la interpretación de los datos obtenidos. Se dividió la subcuenca en 164 zonas aportantes de las cuales se obtuvieron los datos de: curva hipsométrica, relación de elongación, relación de bifurcación, densidad de drenaje, coeficiente de compacidad, factor de forma de Horton y la rugosidad de la cuenca; para el análisis de los datos se clasificó las zonas aportantes de acuerdo a su altura en tres grupos: zona alta, zona media y zona baja, de las curvas hipsométricas se obtuvo su respectiva ecuación, determinando así la relación matemática con el tiempo de concentración, mientras que para los demás parámetros se realizó un análisis exploratorio de datos y un análisis de dispersión de datos por pares para determinar la relación entre parámetros. Se determinó un tiempo de concentración para cada piso altitudinal, y la variabilidad en la morfometría de las zonas aportantes en la subcuenca.

PALABRAS CLAVES: SUBCUENCA, PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS, TIEMPO DE CONCENTRACIÓN, CURVA HIPSOMÉTRICA.

9. ABSTRACT

For determination of a target time of concentration in the Rircay River sub-basin, delimitation was made by contributing areas; from which the morphometric parameters for the statistical analysis and the interpretation of the results were extracted. This study contains the bibliographic review, determination of the morphometric parameters, the statistical analysis and the interpretation of the obtained data. Sub-basin was divided into 164 contributing zones from which the data were extracted: hypsometric curve, elongation ratio, bifurcation ratio, drainage density, compactness coefficient, Horton shape factor and basin roughness; For the analysis of the data, the contributing zones were classified according to their height into three groups: upper zone, middle zone and lower zone, from the hypsometric curves their respective equation was obtained, determining the mathematical relationship with the concentration time, while for the other parameters, an exploratory analysis of data and an analysis of data dispersion by pairs were carried out to determine the relationship between parameters. A concentration time was determined for each altitudinal floor, and the variability in the morphometry of the contributing zones in the sub-basin.

KEYWORDS: SUB-BASIN, MORPHOMETRIC PARAMETERS, TARGET TIME OF CONCENTRATION, HYPSONETRIC CURVE.

10. CAPITULO I

1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la presente tesis, está relacionada con el análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Rircay perteneciente a la cuenca del Jubones, que implica la determinación de correlaciones entre las zonas aportantes dentro de la subcuenca Rircay, mediante la obtención de parámetros morfométricos, que permitan entender el comportamiento hidrográfico y contar con una herramienta que permita un manejo óptimo del recurso hídrico. Debido a que en la cuenca la morfometría es similar podemos reducir el área de estudio; para este caso puntual se enfocó en la cuenca del río Rircay ya que en relación a toda la cuenca es una de las que más superficie abarca, de igual manera es la cuenca de mayor interés por la problemática de la degradación de varios factores que afectan al recurso hídrico y es la zona que cuenta con gran cantidad de datos para futuros proyectos hidrológicos y de recursos hídricos.

El tiempo de concentración es una variable altamente utilizada en el diseño hidrológico para determinar la capacidad hidráulica máxima de diferentes estructuras, son variables que dependen de las características geomorfológicas de la cuenca y de la lluvia por lo tanto son únicas para cada cuenca. Mediante un mayor comportamiento del recurso hídrico se fortalecen los procesos de planeación local, así como también una adecuada prevención de desastres.

Los aspectos generales del presente análisis recogen: la delimitación de zonas aportantes de la subcuenca Rircay, la obtención de parámetros morfométricos a través del sistema de información geográfica, la clasificación de las zonas aportantes en tres grupos, la interpretación estadística, la relación de los datos de parámetros extraídos, la determinación de las curvas hipsométricas con su respectiva ecuación y la determinación de un tiempo de concentración de cada zona aportante de la cuenca hídrica, todo en conjunto para obtener una herramienta que permita gestionar el recurso hídrico.

En la presente tesis, se planteó realizar un estudio morfométrico de la cuenca que consistió en determinar atributos configuracionales del relieve y, en base a ellos, conocer el sistema de relaciones espaciales que caracterizan a las formas del terreno; y en función a este análisis se pudo obtener la curva hipsométrica, que permitió conocer la distribución de masa en la subcuenca. Con los datos obtenidos se realizó un análisis estadístico que extrajo conclusiones sobre la correlación entre parámetros para una mejor comprensión del comportamiento hidrológico en la subcuenca. Por último se

determinó el tiempo en el cual la escorrentía superficial del punto más alejado de la cuenca alcanza el punto de desagüe o salida, llamado tiempo de concentración.

Para alcanzar los resultados esperados se utilizó un software de información geográfica, con el cual mediante procesos y el empleo de un modelo digital de terreno de la cuenca se obtuvo los datos principales que permitieron el cálculo de los parámetros morfométricos, al igual que la curva hipsográfica, y mediante la ayuda de herramientas procesadoras de datos se determinó el tiempo de concentración para la cuenca del Rircay.

1.1 Objetivos

1.1.1 General

Realizar una caracterización morfométrica de la cuenca del río Jubones para determinar su tiempo de concentración y mediante un análisis estadístico encontrar parámetros que tengan relación, logrando una mayor comprensión del comportamiento hidrológico sobre la subcuenca.

1.1.2 Específicos

- Obtener los parámetros morfométricos de las zonas aportantes de la subcuenca del Rircay.
- Encontrar la relación entre los parámetros de las zonas aportantes, mediante un análisis exploratorio de datos.
- Determinar un tiempo de concentración teórico para la cuenca del Jubones, con los datos previamente obtenidos.

1.2 Justificación

Una cuenca hidrográfica es utilizada para la planeación territorial-ambiental ya que se la considera como la unidad en cuanto al recurso hídrico se refiere. Es el lugar donde se presentan escurrimiento e infiltración donde el agua de lluvia tiende a ser drenada y desemboca a ríos, lagos y finalmente al mar. (Fuentes, 2014)

La dinámica morfométrica puede caracterizarse por la relación de su morfología, textura, tipo de suelo y cobertura vegetal.

El estudio morfométrico y la determinación un tiempo de concentración tienen relevancia porque permiten considerar variables de forma, relieve y red de drenaje, que revelan el comportamiento morfodinámico e hidrológico de la cuenca, lo cual permite prevenir percances en casos de excesos de precipitación y ayuda a la planeación del uso sustentable del recurso.

El conocimiento generado del comportamiento hidrológico en la cuenca del Rircay, permitirá la disminución de la subjetividad en la toma de decisiones, para el mejor manejo del recurso hídrico, mismo que es imprescindible para la subsistencia de la vida en general.

Los resultados de este estudio, servirán como herramienta para una mejor comprensión de la dinámica hidrológica de la subcuenca y el tiempo de concentración en la misma, lo que permitirá potenciar la administración del recurso.

11. CAPÍTULO II

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cuenca hidrográfica del río Jubones

La Cuenca Hidrográfica del Jubones se ubica al Sur del Ecuador en el Austro del país, conformada por 9 subcuencas hidrográficas; integrada por tres provincias (Azuay, Loja y El Oro), 12 cantones; con una población de 220.613 habitantes; y, una superficie de 4.413 Km². (Fajardo, 2010)

Sus límites son: Al Norte el Nudo del Portete. Al Sur el Nudo de Acacana y la cordillera de Chilla por el Este la Cordillera Oriental Al Oeste una parte la provincia de Loja y Tarqui en la provincia del Azuay. En la cuenca hidrográfica del Jubones se articulan la riqueza ecológica y la subsistencia de los diversos asentamientos humanos que se benefician de ella, y a través de su curso estas comunidades se conectan unas con otras. Este destino común hace de las cuencas zonas vulnerables a las acciones positivas de cuidado y conservación como de las negativas de contaminación y destrucción que realiza el ser humano. (Fajardo, 2010)

La Secretaría Nacional del Agua, establece cinco cuencas estratégicas a nivel nacional, entre las cuales se incluye la del río Jubones. (Dominguez, 2013) Debido a la importancia de esta cuenca y en busca de una mejor administración se han realizado varios estudios que se enfocan en la gestión y comportamiento hidrológico.

2.2 Subcuenca del río Rircay

La subcuenca del río Rircay está asentada en los cantones de Girón, San Fernando y parte del territorio de Nabón y Santa Isabel, posee una superficie de 82.610,73 hectáreas, representa el 19% de la superficie total de la cuenca del Jubones. (Margarita, 2012)

2.3 Morfometría

“Conjunto de técnicas, procedimientos y métodos, utilizados para determinar atributos configuracionales del relieve y, en base a ellos, conocer el sistema de relaciones espaciales que caracterizan a las formas del terreno” (UNSL, 2009)

Es el estudio cuantitativo de las particularidades físicas de una cuenca hidrográfica, se utiliza para analizar la red de drenaje, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos. Dentro de este contexto, es importante señalar que las mediciones deben ser realizadas sobre un mapa con suficiente información hidrográfica y topográfica.

La morfometría particular de cada cuenca hidrográfica es proporcional con la posibilidad de cosecha hídrica, ante eventos climáticos, y con la generación de una respuesta a los mismos, como ser la escorrentía superficial, expresada en términos de caudales, la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistemas que la integran. (Gaspari, 2012) básica para su manejo y utilización (Olaya, 2009).

2.4 Parámetros relacionados a la forma de la cuenca

La forma de la cuenca es fundamental para conocer el comportamiento morfodinámico e hidrológico de la misma; a través de índices o coeficientes aplicados con las formulas establecidas se pueden determinar ciertos comportamientos del recurso hídrico. De acuerdo a la forma de la cuenca está condicionada la velocidad de escurrimiento superficial. Para cuencas de superficies iguales con diferentes formas se espera un comportamiento hidrológico distinto. La medición de los factores de forma de una cuenca permite comparar la forma de la cuenca con figuras geométricas conocidas.

2.5 Área

Es la proyección horizontal de la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido a un mismo cauce natural. Está delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio, normalmente está expresada en km². (Cardona)

2.6 Perímetro

Es la longitud que recorre la divisoria de aguas medida sobre un plano horizontal. Normalmente se expresa éste parámetro en kilómetros. (Cardona)

2.7 Factor de forma de Horton

Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca.

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

Intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca. Un cuenca con factor de forma bajo, está menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma.

Principalmente los factores geológicos son los encargados de moldear la fisiografía de una región y la forma que tienen las cuencas hidrográficas. Un valor de k_f superior a la unidad proporcionada el grado de achatamiento de ella o de un río principal corto y por consecuencia con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas. (Horton, 1945)

2.8 Coeficiente de compacidad (k_c)

Este parámetro relaciona el perímetro o longitud del parteaguas de la subcuenca y el de un círculo que tenga igual área que ésta; mientras el índice se acerque a la unidad, la forma tiende a ser más redondeada y con mayor peligro de que se produzcan avenidas máximas. (Sarria)

Este coeficiente tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias con una forma circular perfecta. Mientras más se aproxime este índice a la unidad, la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento será mayor, lo cual se vería reflejado en una tendencia a producir avenidas superiores, dada su simetría (Cardona).

$$k_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\pi R}$$

Donde, P es el perímetro de la cuenca, Pc es el perímetro de la circunferencia y R es el radio de la circunferencia. Se han establecido tres categorías para la clasificación de acuerdo con este parámetro:

VALORES DE k_c	FORMA
1.00 – 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

Figura 1 Rango y forma del coeficiente de compacidad.
Fuente: Cardona (2015)

2.9 Relación de elongación (Re)

Es la relación entre el diámetro de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca y la longitud máxima de la cuenca. La variable de la longitud se define como la dimensión de la cuenca a lo largo de una línea recta que empieza desde la desembocadura del cauce principal hasta el límite extremo del parteaguas y de manera paralela al río principal (Puyol, 2006). Su formulación matemática es la siguiente:

$$R_e = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L}$$

El valor de la relación de elongación se acerca a la unidad cuando la cuenca es muy plana y circular, cuando la cuenca tiene un relieve pronunciado, la relación de elongación está entre 0.6 y 0.8.

2.10 Parámetros relativos al relieve

2.11 Altura y elevación

Es de suma importancia ya que de este parámetro depende en gran medida la cobertura vegetal, la biota, el clima, el tipo y uso del suelo, entre otros; de igual manera está relacionado al movimiento del agua a lo largo de la cuenca. De este parámetro se deriva la cota mayor que es la cota más alta a la cual se encuentra la divisoria de la

cuenca, y la cota menor que es la cota sobre la cual la cuenca entrega sus aguas a un cauce superior. (Cardona)

2.12 Curva Hipsométrica

Permitirá caracterizar el relieve, obteniéndose a partir de las cotas de altitud registradas en los MDE. (DOFFO, 2005)

La curva hipsométrica (Strahler 1952) permite conocer la distribución de masa en la cuenca desde arriba hacia abajo. Se obtiene colocando en las ordenadas los valores correspondientes a las diferentes alturas de la cuenca referidos a la máxima de la misma y, en las abscisas, los valores de área que se encuentran por encima de las alturas correspondientes, referidos al área total de la cuenca. De esta forma se utilizan valores relativos (porcentuales), lo que hace posible comparar curvas de diferentes cuencas, prescindiendo de las dimensiones absolutas. Normalmente su forma es sigmoidal, cóncava hacia arriba en la parte superior y convexa en la parte baja; el grado de sinuosidad es muy variable, lo mismo que la pendiente en el punto de inflexión. (Racca, 2007).

2.13 Orden de los cauces

Está determinado por el grado de bifurcación de los cauces dentro de la cuenca, expresando la relación jerárquica entre los diferentes tramos de corrientes. De manera que dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 2 forman una de orden 3, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, etc. (Puyol, 2006).

2.14 Densidad de drenaje (Dd)

Este índice relaciona la longitud de los canales de flujo y la superficie de la cuenca. (Díaz Delgado, Mamadou Bâ, Iturbe Posadas, Esteller, & Reyna, 1999)

$$D = \frac{\text{Longitud corrientes (km)}}{\text{Área cuenca (km}^2\text{)}}$$

Si el valor de densidad se aproxima a 0.5 km/km² y superiores se puede catalogar una cuenca como bien drenada.

2.15 Relación de bifurcación

Define el cociente entre el número de cauces de cualquier orden y el número de corrientes del siguiente orden superior. Si los valores oscilan en un rango de 3.0 y 5.0 se entiende que las estructuras geológicas no distorsionan el modelo de drenaje. (Díaz Delgado, Mamadou Bâ, Iturbe Posadas, Esteller, & Reyna, 1999)

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

2.16 Tiempo de Concentración

Se denomina al tiempo en el cual la escorrentía superficial del punto más alejado de la cuenca alcanza el punto de desagüe o salida, es decir el tiempo en el cual toda la cuenca contribuye al flujo. Dicho de otra forma, es el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida, cuando se tiene una lluvia uniforme que cubre toda la cuenca.

Para cuencas muy grandes en donde no es posible cumplir la hipótesis de uniformidad en la lluvia, se considera al tiempo de concentración como el tiempo representativo del flujo en laderas más el tiempo de viaje en los cauces. Para su cálculo se pueden emplear diferentes fórmulas que se relacionan con otros parámetros propios de la cuenca. (Upegui, 2010)

2.17 Análisis estadístico

Pretende dar una descripción numérica, ordenada y simplificada de la información obtenida en la recogida de datos de un fenómeno aleatorio, se suele ayudar con representaciones gráficas para una mejor comprensión.

En el contexto de la inferencia estadística se supone que en la población se estudia una variable aleatoria, X, con una determinada función de probabilidad, caracterizada por un/os parámetro/s. Mediante el análisis de las observaciones

contenidas en una muestra extraída de esta población, se querrán obtener aproximaciones de las características de la distribución poblacional de X, y utilizar esta información para contrastar hipótesis sobre la misma. (Cladera, s.a.).

2.18 Análisis exploratorio de datos

Es un modo de análisis de datos que utiliza el resumen numérico y visual por medio de gráficas en donde se puede apreciar la distribución de los datos identificando características tales como: valores atípicos, saltos o discontinuidades, concentraciones de valores, forma de la distribución, entre otras para el descubrimiento de formas asociativas entre parámetros. (Olivares, 2002).

El análisis exploratorio tiene como objetivo identificar el modelo teórico más adecuado para representar la población de la cual proceden los datos muestrales. Por otra parte, este análisis se puede realizar sobre todos los casos conjuntamente o de forma separada por grupos. En este último caso los gráficos y estadísticos permiten identificar si los datos proceden de una o varias poblaciones, considerando la variable que determina los grupos como factor diferenciador de las poblaciones. También permite comprobar, mediante técnicas gráficas y contrastes no paramétricos, si los datos han sido extraídos de una población con distribución aproximadamente normal. (Alea, 2000)

2.19 Coeficiente de variación

Esta herramienta calcula la dispersión de los valores de la variable respecto a la media aritmética. Cuanto mayor sea la varianza mayor dispersión existirá y por tanto menor representatividad tendrá la media aritmética. (Muñoz, 2000)

12. CAPÍTULO III

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

La presente área de estudio comprende la cuenca hidrográfica del Jubones, cuya superficie es de 4.413 km², conformada por nueve subcuencas hidrográficas; tal como indica la siguiente figura:

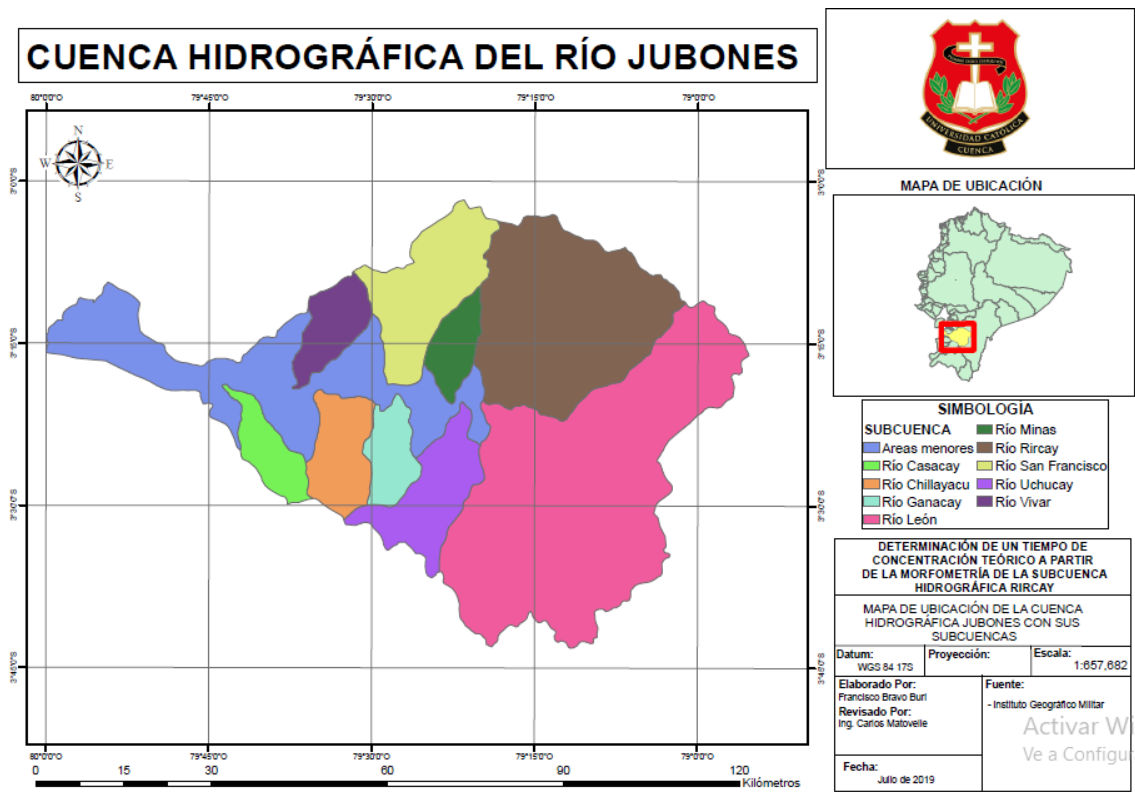


Figura 2: Cuenca y subcuencas hidrográficas del río Jubones.

Fuente: Elaboración propia

3.2 Extracción del MDT (Modelo Digital de Terreno) de la cuenca hidrográfica del río Jubones y subcuenca Rircay

En este estudio se utilizaron dos modelos digitales de terreno con distinta resolución. Para el proceso de extracción de datos de la cuenca hidrográfica del río Jubones se utilizó un MDT con una resolución de 30 x 30 m, mientras que para la subcuenca Rircay se utilizó un modelo mucho más preciso con tamaño de *píxel* de 3 x 3 m. Mediante un archivo *Shape* de la división de cuencas y subcuencas hidrográficas del Ecuador se procedió a cortar el MDT con la herramienta “Extracción por máscara”, obteniendo por resultado los modelos digitales de terreno para la cuenca del Jubones y la subcuenca Rircay.

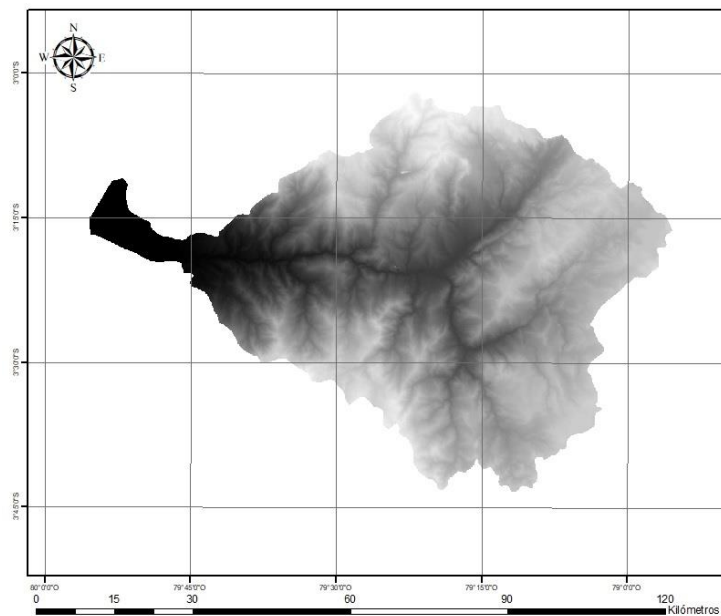


Figura 3: Modelo Digital de Terreno para la cuenca del Jubones.
Fuente: Elaboración propia

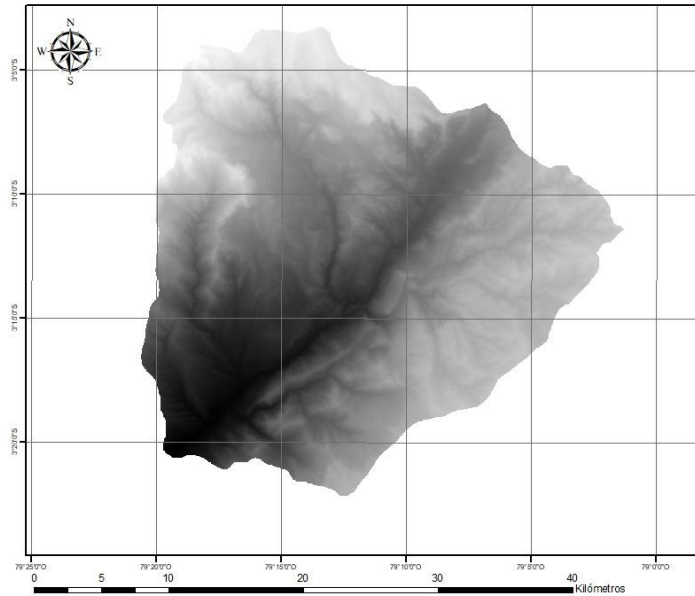


Figura 4: Modelo Digital de Terreno para la subcuenca Rircay.
Fuente: Elaboración propia

3.3 Delimitación de las zonas aportantes de la subcuenca Rircay

La delimitación por áreas aportantes se realizó con el fin de obtener los datos y comparar los parámetros morfométricos de tal manera que se puedan identificar patrones asociativos entre pequeñas zonas de la cuenca. Para lo cual se siguió los pasos descritos a continuación:

Se utilizó la herramienta “Relleno” para corregir pequeñas imperfecciones en los datos del MDT.

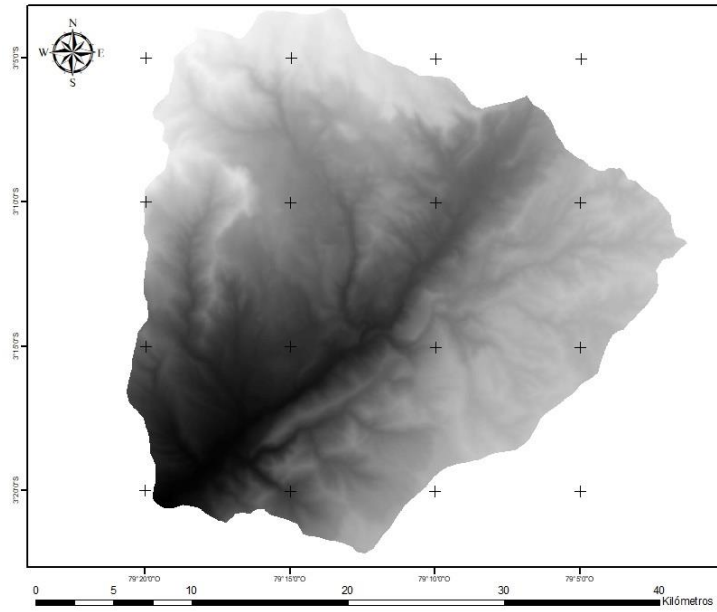


Figura 5: MDT de la subcuenca del Rircay rellenado.
Fuente: Elaboración propia

Con la herramienta “Dirección de flujo” que busca el camino descendente de una celda a otra se obtuvo el siguiente ráster.

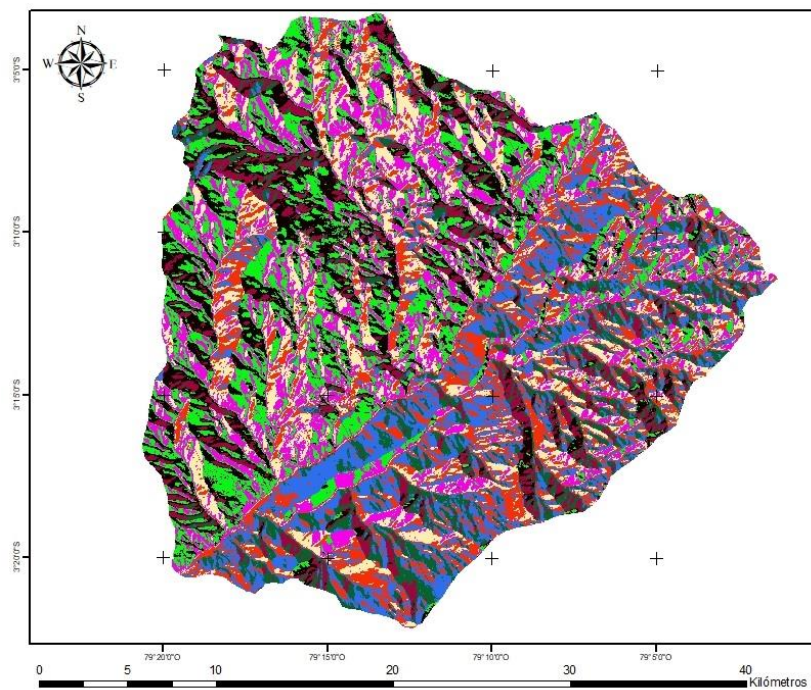


Figura 6: Ráster de dirección de flujo de la subcuenca del Rircay.
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se procedió a extraer la acumulación de flujo para la subcuenca.

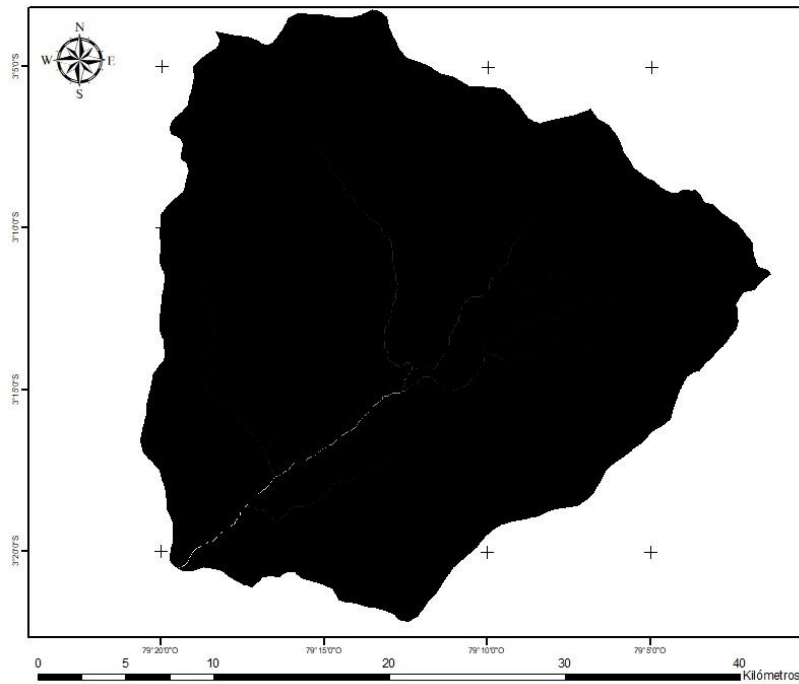


Figura 7: Ráster de acumulación de flujo de la subcuenca del Rircay.
Fuente: Elaboración propia

Utilizando la herramienta “Calculadora Ráster” se introdujo una condicionante de lo que se obtuvo como resultado un archivo de tipo ráster con aquellas celdas a las cuales drenaran 1750 celdas o más, lo cual determinó las zonas aportantes para la delimitación.

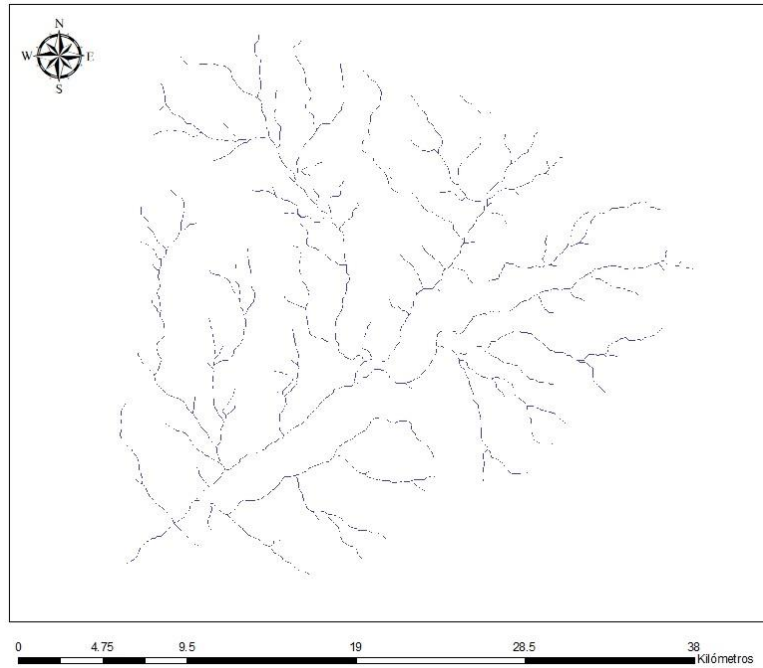


Figura 8: Ráster resultado del proceso "log10" del ráster "acumulación de flujo".
Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se utilizó la herramienta "Vínculo de arrollo" que conecta dos cruces sucesivos, un cruce y la salida o un cruce y la división de drenaje resultando segmentos de red de drenaje ininterrumpidos.

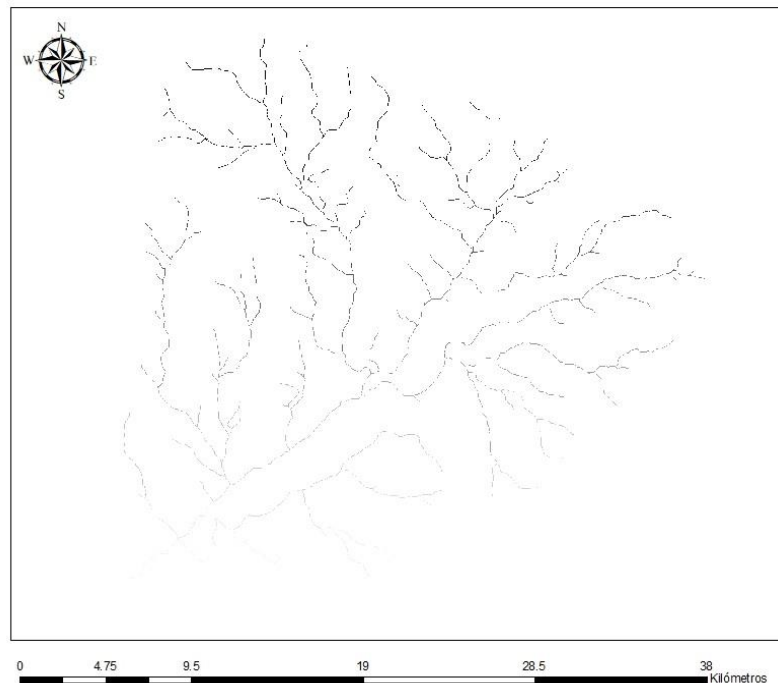


Figura 9: Ráster resultado del proceso con la herramienta "vínculo de arroyo"
Fuente: Elaboración propia

La herramienta “Clasificación de Arroyos” fue utilizada para asignar un orden a las corrientes dependiendo de cuántos afluentes tenga cada segmento del flujo.

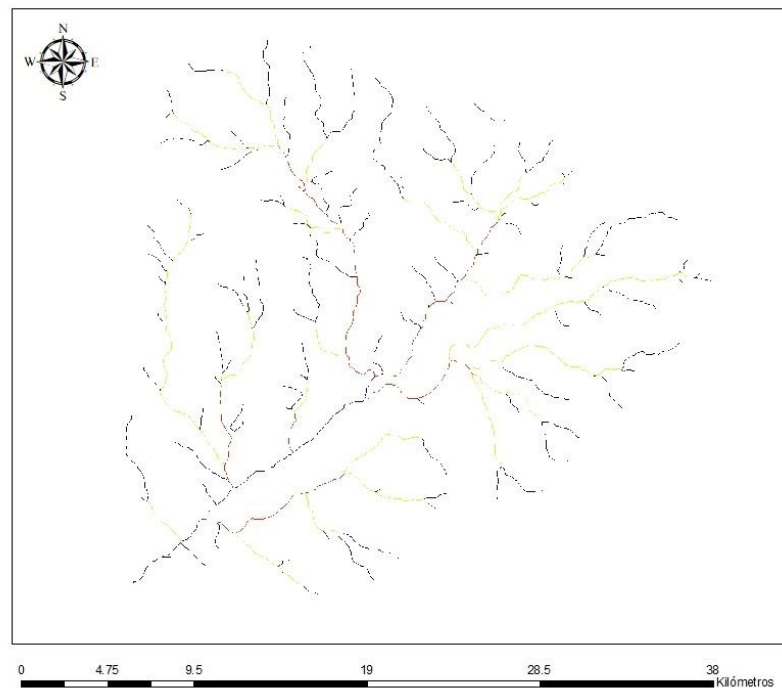


Figura 10: Ráster con el orden de los cauces para la subcuenca del Rircay
Fuente: Elaboración propia

Se procedió a crear un archivo .shp de polilínea mediante la herramienta “De Arroyo a Entidad” de la red hídrica, para luego determinar con la herramienta “De Vértices de Entidad a Puntos” las uniones en la red de drenaje que servirán como punto de drenaje de cada zona aportante.

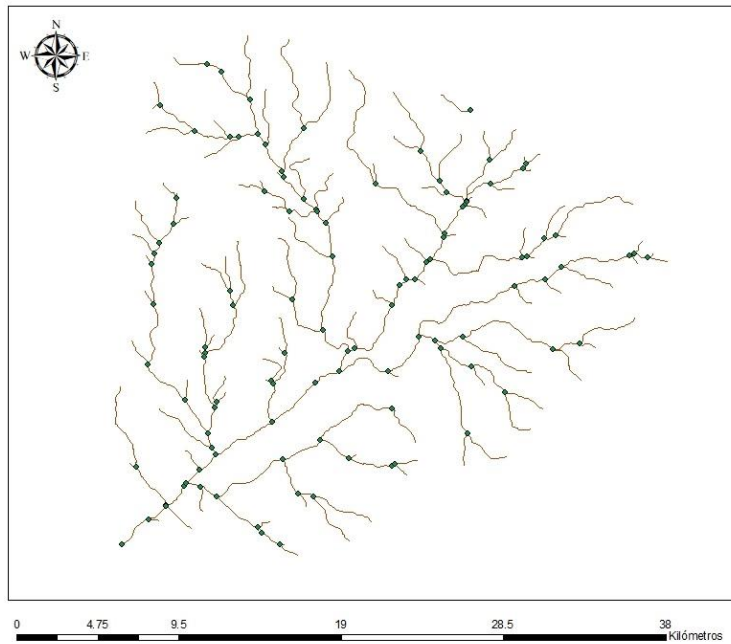


Figura 11: Shape de puntos en intersecciones de cauces
Fuente: Elaboración propia

Para finalizar se utilizó la herramienta “Cuenca hidrográfica” que sirvió para obtener como resultado 164 zonas aportantes de la cuenca del Rircay.

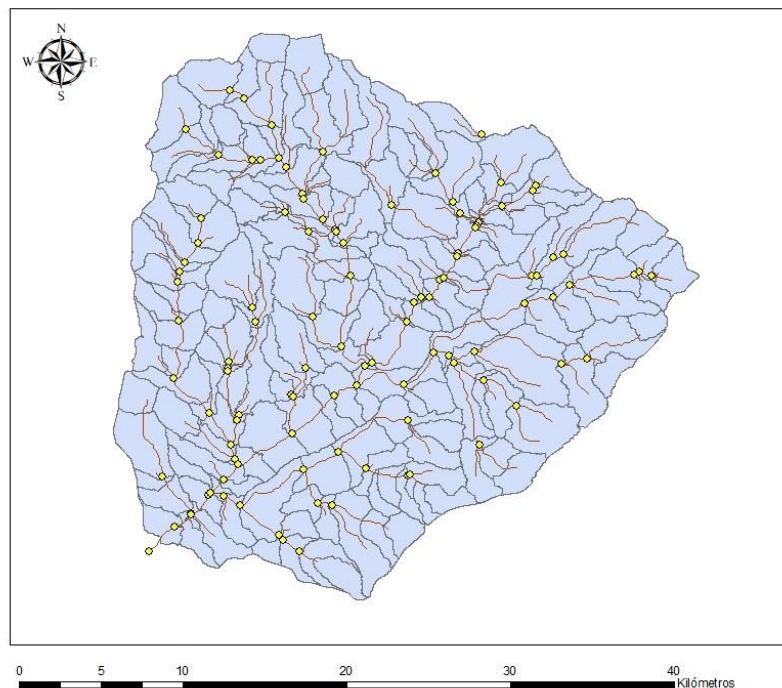


Figura 12: Shape de la delimitación de las zonas aportantes para el estudio
Fuente: Elaboración propia

A partir del Modelo Digital de Terreno y mediante los procesos antes descritos se generó la Red Hídrica de la cuenca, con este resultado se determinaron los puntos de drenaje a los cuáles aportaran más de 1750 celdas; éstos puntos se utilizaron para la generación de zonas aportantes con un promedio de 4.8 kilómetros cuadrados cada una; posterior a esta delimitación se procedió a generar los datos de parámetros morfométricos para cada zona por individual.

3.4 Determinación de los parámetros morfométricos de las zonas aportantes de la subcuenca Rircay

Para este estudio se generaron los datos de: área, perímetro, cotas máxima y mínima, centroide en los ejes X, Y y Z, curva hipsométrica; además las propiedades de la red hídrica: longitud del curso principal, orden de la red hídrica, sumatoria de las longitudes de cada orden y longitud total de la red hídrica. Estos datos sirven para el cálculo de los parámetros morfométricos: densidad de drenaje, rugosidad, relación de elongación, relación de bifurcación, coeficiente de compacidad, el factor de forma de Horton y el tiempo de concentración.

Para la obtención de los datos de área, perímetro, cotas máxima y mínima, centroides se procedió a interpolar el shape que contiene la delimitación de las zonas aportantes de la subcuenca del río Rircay con el ráster del modelo digital de terreno mediante la herramienta “Interpolar forma”; esto permitió que los parámetros antes mencionados sean generados en la tabla de atributos mediante la herramienta “Calculadora de campo” del menú de cada campo. El proceso se repite para cada característica que se determinó.

Tabla 1 Datos obtenidos del Shape interpolado con el MDT

ID	ÁREA (km ²)	PERÍMETRO (km)	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA	X CENTROIDE	Y CENTROIDE	Z CENTROIDE
1	0.00	0.02	3797.19	3794.65	697257.85	9662228.70	3795.94
2	3.70	7.96	3878.86	3685.00	693529.88	9661158.30	3787.10
3	0.00	0.01	3601.08	3600.70	695591.50	9658283.50	3600.89
4	7.27	11.67	3875.00	3516.81	695906.60	9660190.09	3715.18
5	3.48	10.44	3844.80	3298.20	691959.75	9659433.70	3605.60
6	8.12	12.37	3926.79	3510.00	689905.11	9659098.32	3773.85
7	0.00	0.02	3677.51	3677.21	689272.58	9656691.87	3677.37
8	8.64	16.22	3776.74	2870.33	692945.49	9658225.67	3379.57
9	0.00	0.01	3140.00	3140.00	706880.50	9655733.50	3140.00
10	7.43	15.15	3835.00	3047.12	698127.00	9658141.58	3461.89
11	4.49	11.19	3542.22	3053.94	704651.73	9656686.13	3334.56

12	3.64	8.52	3796.11	3131.65	690942.30	9656451.56	3481.08
13	5.00	14.64	3760.00	2808.40	695052.13	9657313.66	3294.03
14	1.64	8.16	3840.00	3155.88	689823.94	9656287.13	3533.03
15	8.36	14.15	3919.70	3453.91	687704.17	9657099.05	3731.76
16	7.91	16.21	3697.58	2835.59	696769.66	9656604.03	3257.06
17	1.84	7.32	3353.58	2646.44	693633.58	9655518.16	2957.59
18	9.29	21.28	3752.11	2863.86	699433.64	9656857.66	3342.77
19	3.85	13.31	3533.20	2805.00	690853.42	9654623.20	3165.12
20	1.85	8.68	2924.16	2605.00	694434.81	9654316.65	2757.82
21	3.28	8.52	3558.19	2746.17	701686.12	9654857.01	3176.53
22	2.34	8.99	3495.81	2504.92	702719.02	9654524.83	3006.56
23	8.63	19.96	3713.21	2459.71	702257.41	9656184.33	3199.42
24	4.42	14.05	3499.18	2661.11	692595.95	9654800.79	3053.95
25	2.63	10.83	3800.00	3098.53	688864.29	9654181.50	3479.70
26	5.61	13.02	3800.00	3170.00	688176.74	9654811.77	3545.03
27	10.75	15.52	3195.00	2238.47	708631.84	9654535.72	2718.90
28	0.00	0.01	2485.52	2482.57	708371.31	9652313.70	2484.07
29	1.19	6.15	2915.00	2520.00	696569.04	9653120.84	2709.28
30	5.73	15.28	3029.57	2519.18	694954.58	9653687.46	2765.38
31	4.83	11.12	3123.58	2444.83	711114.01	9653455.64	2789.04
32	4.79	10.21	3219.92	2700.89	698204.37	9653403.26	2933.57
33	0.00	0.01	3694.96	3692.99	687494.50	9651743.50	3693.97
34	0.00	0.03	3692.99	3686.22	687502.40	9651739.20	3689.44
35	2.96	9.29	2711.99	2125.00	707354.01	9652832.59	2374.59
36	10.22	17.34	3415.01	2239.51	704576.62	9653793.39	2811.57
37	3.32	9.31	3672.81	3006.22	690065.07	9652759.47	3359.13
38	3.11	11.08	3226.29	2409.80	711416.88	9652038.87	2842.94
39	2.98	10.92	3089.31	2566.70	692892.29	9652294.28	2832.94
40	1.79	6.41	2535.00	2085.00	706125.30	9652041.11	2299.44
41	1.07	7.01	2464.83	2085.00	707403.50	9651605.27	2239.27
42	5.13	10.94	3800.00	3005.49	688604.03	9652112.58	3441.09
43	3.08	12.94	3078.16	2220.45	709710.33	9651902.82	2623.85
44	5.21	12.10	2774.92	2357.05	695669.01	9651753.02	2561.54
45	1.34	8.19	2426.66	2084.10	705545.88	9651302.43	2235.38
46	3.62	10.14	3635.00	2669.33	692307.69	9651456.48	3111.20
47	6.43	15.31	3429.26	2530.00	700610.84	9652828.78	2951.74
48	1.77	7.74	2539.07	2085.00	707235.81	9650715.71	2270.44
49	3.04	9.12	2755.00	2210.00	697751.48	9651239.77	2507.80
50	3.14	7.60	2999.27	2262.39	709387.68	9650654.76	2636.10
51	0.00	0.01	2595.00	2594.81	699566.50	9649586.50	2594.94
52	0.00	0.01	2595.00	2595.00	699569.70	9649583.31	2595.00
53	9.67	14.08	2892.95	2036.64	703002.96	9651043.42	2481.35
54	2.27	13.27	2796.22	2208.14	695470.34	9650520.33	2492.49
55	6.13	14.18	2821.84	2125.00	699140.49	9650944.64	2532.71
56	7.08	14.10	3686.22	2665.50	689809.64	9650258.56	3205.72
57	3.63	12.27	2452.45	1958.58	705663.58	9649665.18	2151.77

58	4.85	9.89	3469.87	3125.00	716276.72	9649855.69	3308.20
59	1.73	9.61	2671.76	2090.00	698949.52	9649180.10	2429.51
60	6.18	16.09	3252.94	2284.80	694321.53	9649625.34	2676.94
61	7.91	16.12	3835.00	2462.83	688031.69	9650153.61	3162.98
62	3.44	12.43	2575.71	2045.00	697497.50	9648940.37	2297.77
63	4.24	11.08	3020.41	2077.06	707932.90	9649251.69	2562.50
64	9.40	15.09	3464.79	2889.60	713757.21	9649930.94	3187.48
65	2.33	12.66	3832.36	2363.94	687518.11	9649101.55	3006.31
66	2.41	9.09	2796.06	1946.07	706515.06	9648437.00	2379.52
67	4.09	10.19	3786.85	2696.58	686067.12	9649150.28	3263.15
68	0.00	0.02	3434.14	3432.73	719840.32	9647217.99	3433.41
69	3.80	10.50	3434.72	3085.00	716930.81	9648337.87	3267.45
70	4.32	10.32	2659.81	1975.00	698079.31	9647629.61	2292.95
71	4.64	11.53	2713.83	1881.19	704805.82	9648204.37	2227.53
72	0.00	0.01	2150.15	2148.26	705017.51	9646655.50	2149.21
73	4.72	14.73	2795.00	1845.00	702620.46	9648552.22	2311.38
74	1.93	7.78	3135.00	2277.41	688912.59	9647226.03	2676.65
75	4.62	13.11	3036.65	2765.00	709963.69	9648639.62	2912.23
76	7.99	18.38	3320.00	2775.96	711719.15	9649234.45	3034.42
77	3.61	9.06	3212.61	2204.96	686801.38	9647437.64	2731.83
78	5.96	11.07	3354.34	2935.00	714702.80	9647395.53	3191.20
79	4.88	10.22	3435.28	3165.00	718336.56	9647509.34	3324.28
80	5.50	13.39	2675.00	1767.41	701389.65	9647795.64	2277.17
81	2.86	9.59	2646.01	1751.24	701285.56	9646703.78	2189.30
82	0.00	0.01	2599.05	2598.89	706469.50	9645182.50	2598.97
83	3.46	9.76	2705.00	1863.50	705660.48	9646364.03	2338.48
84	9.53	14.64	3355.00	2085.00	691405.89	9647474.61	2733.60
85	0.00	0.01	2773.28	2771.29	689327.50	9645137.50	2772.29
86	2.44	8.69	3440.00	3085.00	716997.60	9646313.60	3282.71
87	0.00	0.01	2326.29	2323.62	688604.50	9644843.50	2324.96
88	0.00	0.01	2323.62	2320.91	688601.50	9644840.50	2322.27
89	0.00	0.01	2320.91	2318.40	688598.51	9644837.50	2319.64
90	0.00	0.01	2318.40	2316.00	688595.50	9644834.50	2317.20
91	0.00	0.01	2316.00	2312.08	688592.54	9644831.49	2314.14
92	3.89	10.74	3012.50	2005.00	688095.37	9645881.90	2480.61
93	4.71	9.49	2430.00	1691.22	698168.89	9646027.96	2072.38
94	10.18	15.65	2671.74	1980.09	695207.00	9646837.11	2308.33
95	3.82	10.67	3211.22	1920.25	686758.36	9645752.20	2589.97
96	9.06	20.66	3440.00	2885.00	714429.25	9646391.89	3189.25
97	2.66	11.80	2597.27	1678.22	700904.66	9645821.84	2102.85
98	6.65	22.27	3421.65	1959.55	692713.27	9647169.04	2584.09
99	4.44	11.73	2600.00	1778.95	704609.52	9645626.39	2184.10
100	2.71	8.11	2594.43	1681.86	702843.51	9644779.72	2089.44
101	1.91	8.30	2584.65	1767.41	703789.57	9645117.63	2147.16
102	3.46	8.27	2799.28	1875.58	690347.80	9645074.31	2365.91
103	5.06	10.84	3315.00	2845.00	712116.40	9645481.75	3111.81

104	10.09	15.21	3075.00	2525.00	708136.37	9645887.13	2822.80
105	2.93	7.70	3440.00	3165.00	716693.52	9644214.78	3309.56
106	6.13	13.14	3310.00	2765.00	710767.94	9644687.14	3055.71
107	5.18	11.15	2375.55	1593.12	699605.43	9644610.94	1962.95
108	5.47	11.81	2775.00	1725.14	688021.61	9643861.26	2236.62
109	6.09	13.49	2196.29	1585.00	697182.95	9644098.15	1902.62
110	8.33	16.81	3360.00	3075.00	714854.88	9643277.23	3230.47
111	5.53	11.97	2513.51	1531.93	691203.22	9643479.78	1973.65
112	5.86	13.86	2915.00	2330.00	705385.67	9643358.59	2612.11
113	9.47	14.35	2589.12	1406.34	701384.67	9642991.92	1964.92
114	4.97	13.65	3036.30	1686.08	686140.40	9643372.35	2334.93
115	7.88	15.20	2344.18	1550.00	695248.48	9643394.23	1908.81
116	3.44	11.80	1915.00	1406.34	698286.43	9642318.01	1660.85
117	2.48	8.88	2515.00	1485.00	690224.13	9642505.51	1985.56
118	1.96	8.40	2847.83	2378.51	705376.13	9642276.62	2620.28
119	2.58	7.60	2310.00	1567.18	687888.56	9642041.32	1871.59
120	4.80	16.82	2127.02	1472.75	694595.82	9642117.01	1754.05
121	3.72	9.62	3320.00	3085.00	714521.97	9641245.95	3187.29
122	1.88	6.60	1650.45	1464.31	694282.84	9640458.88	1553.45
123	5.35	11.63	2470.00	1340.00	700611.14	9640755.82	1873.56
124	6.67	15.11	2395.00	1361.38	687920.29	9640894.35	1825.51
125	17.62	20.55	3273.65	2595.08	709181.34	9641812.37	3015.24
126	3.81	8.86	3035.00	1954.19	703584.90	9639859.70	2586.36
127	4.59	8.73	2392.34	1596.97	685504.45	9640016.27	2000.14
128	6.62	19.43	2127.58	1281.89	692728.72	9641541.04	1686.64
129	3.93	13.57	2838.71	1834.60	703005.94	9640617.99	2370.99
130	2.91	12.31	2191.31	1299.53	689757.03	9640259.33	1637.64
131	2.01	6.64	2141.08	1331.70	699559.28	9639437.39	1766.87
132	3.85	12.98	1748.80	1238.27	691405.39	9640322.98	1482.85
133	5.98	13.59	2186.28	1285.00	697872.39	9640051.42	1699.57
134	8.79	15.95	3315.00	3005.00	712645.20	9640583.78	3180.98
135	2.14	10.76	3195.00	2615.00	706645.33	9639792.06	2931.15
136	0.00	0.00					
137	5.33	10.41	1931.37	1275.63	687833.13	9638845.96	1608.27
138	5.69	12.44	3235.00	2678.59	707760.41	9639456.88	3022.50
139	7.17	16.42	3195.00	2410.00	705725.88	9639670.32	2831.86
140	3.33	10.65	2185.00	1245.00	697502.20	9638855.42	1681.24
141	6.54	17.23	3075.00	2050.00	702261.29	9638483.00	2544.27
142	4.02	11.70	1535.47	1127.54	690730.50	9638430.47	1311.96
143	0.00	0.02	3235.00	3235.00	708889.34	9636556.34	3235.00
144	3.83	9.64	3160.00	2452.57	704033.85	9637530.23	2880.30
145	8.27	15.37	2107.27	1165.00	695826.91	9638390.65	1632.33
146	11.72	15.79	3315.00	3041.35	710188.71	9637962.35	3199.29
147	3.42	12.20	1478.38	1094.90	689930.69	9637081.39	1269.04
148	0.00	0.00					
149	0.00	0.00					

150	4.76	12.36	3170.25	2371.05	703482.36	9636614.98	2826.45
151	9.99	16.08	2035.00	1117.06	693737.81	9637387.19	1544.61
152	3.74	9.02	3240.00	2991.07	707502.79	9636091.69	3138.47
153	10.54	14.31	2015.14	1135.00	685873.01	9636987.73	1578.00
154	3.24	10.06	1987.94	1065.56	692484.97	9635770.05	1425.40
155	5.59	15.75	1619.90	1045.00	689704.77	9636098.11	1290.48
156	7.25	13.82	2740.09	1832.33	699259.07	9636520.69	2291.05
157	2.62	9.89	1519.45	1042.53	688607.20	9635510.58	1282.00
158	1.59	6.88	1555.66	1125.00	686351.55	9634747.61	1333.01
159	0.00	0.01	1154.68	1153.79	691265.50	9633962.50	1154.23
160	0.00	0.01	2226.20	2224.41	696932.50	9633776.50	2225.30
161	7.23	12.60	2626.96	1578.07	696805.09	9635274.70	2092.48
162	0.00	0.01	2224.41	2222.61	696929.50	9633773.50	2223.51
163	3.89	12.63	2880.00	2165.00	700383.94	9635471.06	2535.86
164	1.63	7.60	1851.07	1045.00	691870.26	9634387.07	1353.02
165	5.05	13.26	3270.93	2488.42	703620.93	9634835.95	2888.28
166	0.00	0.01	1153.95	1153.25	688619.50	9633599.50	1153.60
167	5.01	10.64	3355.00	3085.00	708846.08	9635197.61	3230.83
168	5.75	14.98	3355.00	2965.00	706379.92	9635411.18	3164.33
169	0.96	6.15	1160.66	1042.78	690514.30	9634193.43	1090.66
170	0.00	0.02	1162.04	1160.66	690677.50	9633239.50	1161.35
171	2.75	8.38	2822.81	2250.90	700949.89	9634453.78	2571.51
172	0.00	0.01	2259.76	2258.36	694622.50	9632660.50	2259.06
173	3.59	11.10	3330.92	2708.82	704652.56	9633582.67	3033.26
174	2.09	8.76	2794.62	2226.27	700446.80	9633804.30	2529.43
175	3.25	9.07	2341.71	1776.45	695662.94	9633324.26	2083.45
176	0.00	0.02	2264.83	2262.27	696263.50	9632056.00	2263.54
177	2.37	9.86	3075.00	2404.63	702063.14	9633791.51	2737.09
178	1.81	8.30	3075.00	2602.41	703098.26	9633296.31	2850.01
179	3.71	10.10	1450.49	1017.57	689396.91	9633577.85	1187.20
180	4.79	14.19	1466.35	1005.00	687433.78	9633489.64	1224.00
181	2.94	7.82	2458.47	1637.18	695361.80	9631988.62	2084.01
182	10.46	16.12	2262.79	1160.00	693651.58	9633459.11	1786.38
183	2.78	8.76	2675.00	1965.00	697061.15	9632333.82	2317.79
184	4.25	11.30	1441.25	995.00	686953.28	9632176.19	1180.07
185	4.02	10.34	2195.00	1075.00	691550.63	9632250.35	1573.54
186	0.00	0.43	965.00	965.00	686207.94	9630438.51	965.00
187	0.00	0.01	965.00	965.00	686297.50	9630431.50	965.00
188	0.00	0.15	968.68	965.00	686327.38	9630406.22	966.82
189	0.00	0.01	968.99	968.68	686351.70	9630383.31	968.86
190	4.07	8.80	3075.00	2582.91	701741.25	9631508.51	2844.49
191	5.11	13.98	2191.49	1005.00	690504.19	9631348.98	1583.16
192	3.73	10.58	3022.69	2259.67	700242.00	9631318.63	2660.44
193	3.27	12.21	2075.00	1005.00	689103.27	9631072.07	1417.16
194	2.03	6.77	2195.00	1644.69	693467.69	9630423.63	1959.97
195	3.46	11.36	2583.27	1661.22	695250.73	9630010.87	2102.96

196	10.87	19.31	3120.00	2021.90	699029.71	9631072.84	2633.32
197	4.44	16.78	3006.39	1914.41	696947.94	9629753.86	2453.36
198	0.00	0.06	3053.93	3049.65	699209.50	9627398.50	3051.80
199	4.57	10.36	3115.05	2156.49	697895.06	9628834.11	2708.15

Fuente: Elaboración propia

Los datos presentados en la tabla representan los valores de: área, perímetro, cotas máxima y mínima y los puntos del centroide para cada zona aportante; esto se consiguió mediante la combinación de la capa vectorial de la delimitación de las zonas aportantes y la capa ráster que contiene la información del modelo digital del terreno.

Los siguientes procesos se repitieron para obtener los datos en cada zona aportante.

Para obtener los datos de la curva hipsométrica se procedió a reclasificar el MDT en 12 intervalos iguales con respecto a la altura.

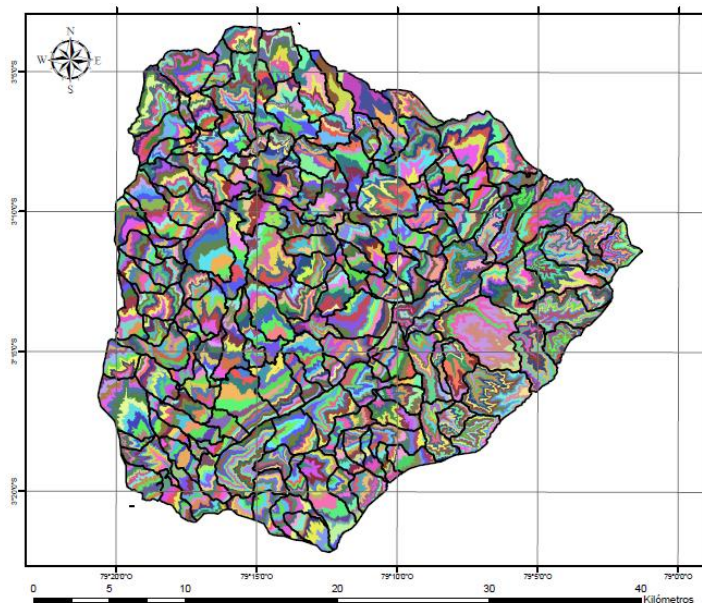


Figura 13: Mapa reclasificado de la altura en 12 intervalos
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente con la herramienta “Estadísticas zonales como tabla” se generó una compilación de los datos con la información de cotas máxima y mínima de cada intervalo con su respectivo valor de área. Se exportó los datos obtenidos a una tabla de Excel, donde se procedió a realizar un promedio entre cada intervalo de cotas, con lo cual se obtuvo los datos de altura para la curva hipsométrica. Con los valores de promedio entre rangos de cota y el área que tiene cada intervalo se procedió a dibujar la curva hipsométrica asignando al eje de las “X” la altitud y al eje de las “Y” el área.

Tabla 2: Datos extraídos de la reclasificación de alturas para la curva hipsométrica

AREA	MINIMO	MAXIMO	ACUMULADO	% ACUMULADO	PROMEDIO
23067	3672	3689	3699027	100	3680.5
89739	3690	3706	3675960	99.37640358	3698
132228	3707	3724	3586221	96.95038722	3715.5
123498	3725	3741	3453993	93.37571745	3733
469602	3742	3759	3330495	90.03705569	3750.5
823230	3760	3776	2860893	77.34177123	3768
822528	3777	3793	2037663	55.08645922	3785
638019	3794	3811	1215135	32.85012518	3802.5
337860	3812	3828	577116	15.60183259	3820
196434	3829	3846	239256	6.468079308	3837.5
33615	3847	3863	42822	1.157655784	3855
9207	3864	3881	9207	0.248903293	3872.5

Fuente: Elaboración propia

Una vez dibujada la curva se agregó una línea de tendencia logarítmica mediante la herramienta “Agregar línea de tendencia” del menú “Herramientas de gráficos” de Excel, también se agregó la ecuación de la gráfica y el valor “R cuadrado” que nos indica cuán dispersa es la ecuación de la línea de tendencia logarítmica. La ecuación se derivó del ajuste a una línea exponencial debido a que la forma general de las cuencas tiende a aumentar su altura a medida que aumenta su área, sin embargo, no lo hace de una manera lineal sino mas bien exponencial.

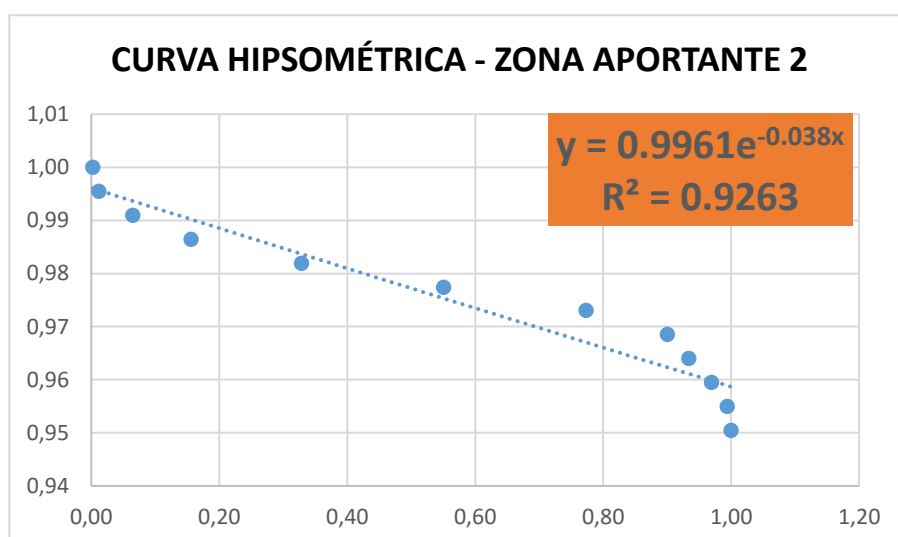


Figura 14: Curva hipsométrica y ecuación del área aportante

Fuente: Elaboración propia

Para determinar las propiedades de la red hídrica se procedió a utilizar la herramienta “Longitud de flujo” que determina la distancia que recorre el cauce principal en cada zona aportante.

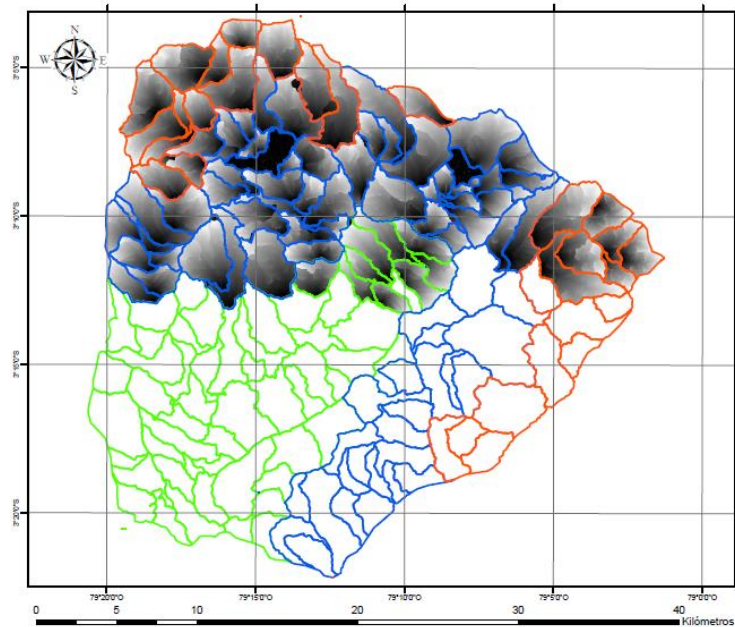


Figura 15: Ráster de longitud de flujo de las zonas aportantes
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se determinó la red hídrica mediante la herramienta “Calculadora ráster” en la que se trabajó con la acumulación de flujo previamente obtenida, se aplicó el logaritmo 10 del ráster.

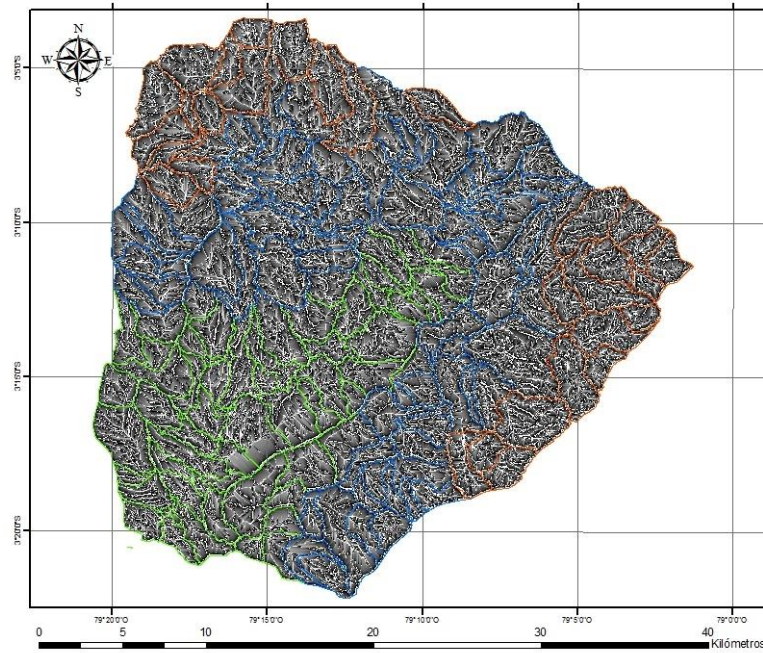


Figura 16: Ráster resultado del proceso "log10" de la Calculadora Ráster
Fuente: Elaboración propia

Con el resultado y mediante la misma herramienta se aplicó la siguiente condicionante "Con("red_log10">=2, "red_log10"), dando como resultado el siguiente ráster.

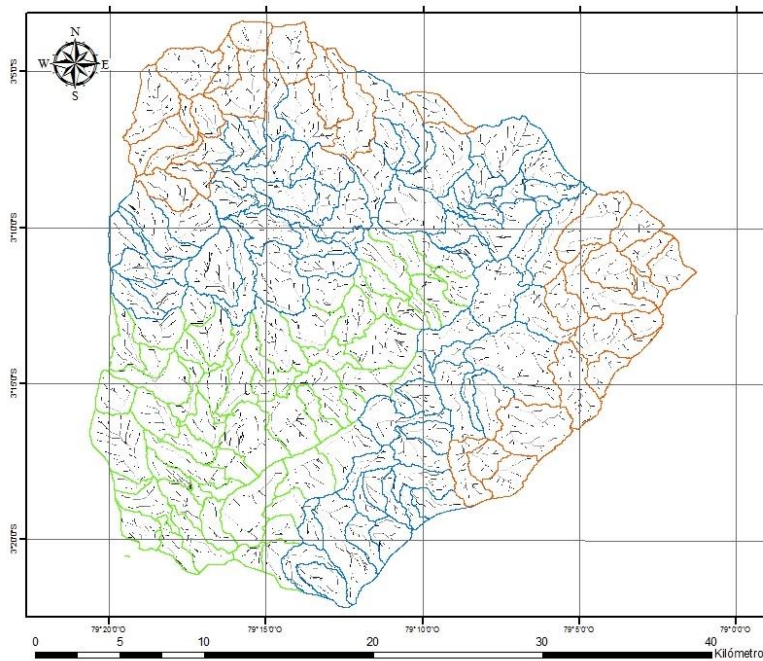


Figura 17: Ráster resultado del cálculo de la condicionante "Con("red_log10">=2,red_log10)
Fuente: Elaboración propia

Seguidamente para obtener la red hídrica se realizó el proceso de unión de las intersecciones con la herramienta “Vínculo de arroyo”.

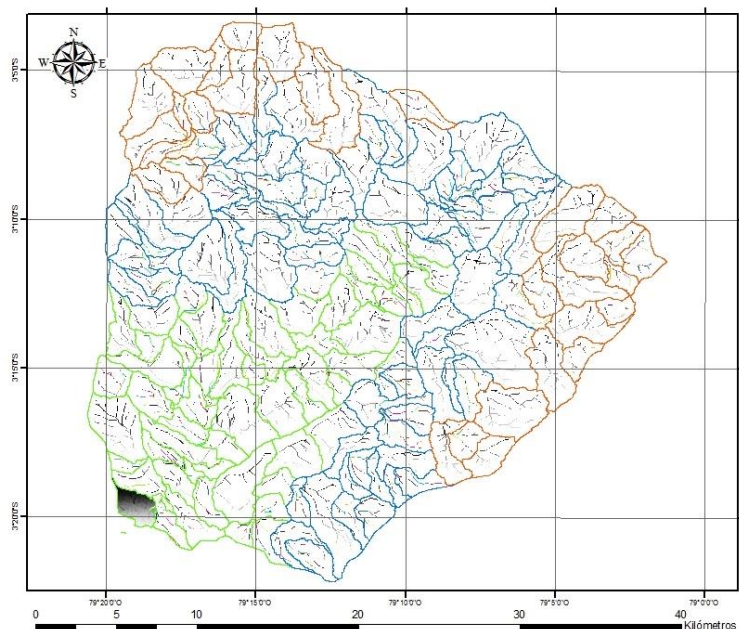


Figura 18: Ráster obtenido del proceso de la herramienta "vínculo de arroyo"
Fuente: Elaboración propia

Con el ráster de salida se obtuvo el orden de la red hídrica con la herramienta “Orden de arroyo”, finalmente y con el objetivo de generar los datos de: orden de la red hídrica, y longitud total de la red, se transformó el archivo ráster a shape mediante la herramienta “De arroyo a entidad”.

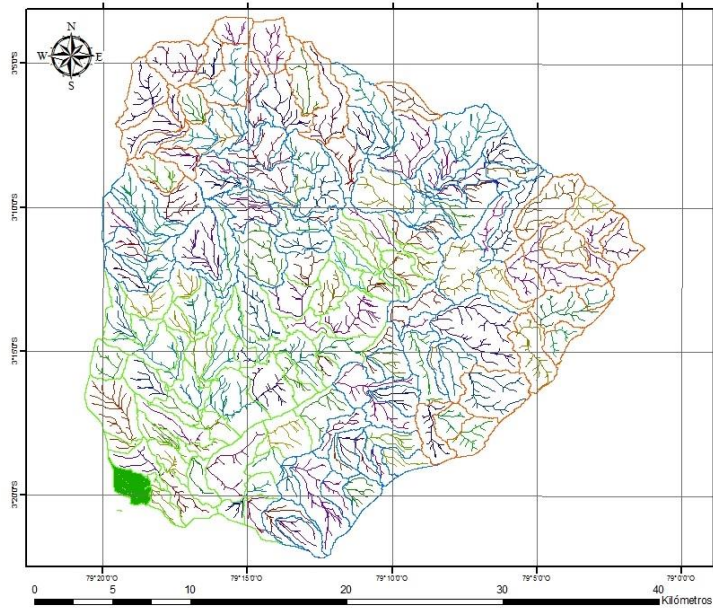


Figura 19: Ráster de clasificación del orden de los cauces
Fuente: Elaboración propia

En la tabla de atributos de la capa de resultado agregamos un campo para la obtención de la longitud de cada tramo y mediante la herramienta “Resumen” se realizó una consulta de la longitud del cauce para cada orden de la red hídrica, consiguiendo así una tabla con los datos esperados.

Tabla 3 Datos de los parámetros de la red de drenaje obtenidos del SIG

ID	ORDEN 1	ORDEN 2	ORDEN 3	ORDEN 4	LONGITUD TOTAL	ORDEN
1					0	0
2	3758.96124	2610.21142			6369.17266	2
3					0	0
4	7770.14703	2537.15873	2769.34101		13076.6468	3
6	5892.39266	3810.76573	3698.74177	10	13411.9002	4
7					0	0
8	9576.14537	1425.24317	4290.73676	75	15367.1253	4
9					0	0
10	4641.35397	4658.52839	3195.35089		12495.2332	3
11	2835.8223	2388.87667	2088.25673		7312.9557	3
12	5900.52176	2372.03492	302.96388		8575.52056	3
13	5504.2606	5192.1471			10696.4077	2
14	1591.17932	2107.40379			3698.58311	2
15	8148.58777	5640.75492	1341.02624		15130.3689	3
16	8605.28081	4551.18319	1891.20584	41.5048943	15089.1747	4
17	742.996906	1831.86895			2574.86586	2

18	7319.33702	7125.08388	1868.71175		16313.1326	3
19	4626.04593	3176.50782	40		7842.55375	3
20	1570.10157	1064.23676	87.4642784		2721.80261	3
21	3343.44888	2351.05722	552.086427		6246.59253	3
22	2896.03488	939.163954	54.0832691		3889.2821	3
23	6208.84541	2583.88644	5296.3115		14089.0433	3
24	6256.55721	1498.83642	1905.66145	444.069978	10105.1251	4
25	2762.58806	1474.85121	793.969451		5031.40872	3
26	4500.18224	4592.35802			9092.54026	2
27	10754.2014	5968.44176	4563.87598	21.2132034	21307.7323	4
28					0	0
29	1152.87952	1143.58847			2296.46798	2
30	5227.74248	3711.43119	1517.24226		10456.4159	3
31	6608.81735	3873.23045	1132.10353		11614.1513	3
32	6797.52962	2974.81871	289.86833		10062.2167	3
33					0	0
34					0	0
35	2814.82695	3629.72793	363.76009		6808.31498	3
36	10858.6001	5767.92097	3853.27005	65	20544.7912	4
37	6332.213	1948.81652	69.5820393		8350.61155	3
38	3657.19934	2576.19672			6233.39606	2
39	5253.73484	696.946541	1715.15764		7665.83902	3
40	2229.53214	981.744578			3211.27672	2
41	1074.33399	1096.16761			2170.5016	2
42	6742.98607	1403.80775	1981.92285		10128.7167	3
43	3613.8518	1770.97006	1154.16847		6538.99033	3
44	4863.78708	4542.12325	177.748578		9583.65891	3
45	1508.2147	1003.58739			2511.80208	2
46	5186.2794	2303.47419	999.116842		8488.87043	3
47	8942.92143	1774.37106	3166.65457	254.632034	14138.5791	4
48	2992.43723	1385.34947	198.293167		4576.07986	3
49	3509.30519	1706.95689	899.917786		6116.17987	3
50	4782.61463	2210.00948	15		7007.62412	3
51					0	0
52					0	0
53	6325.13772	6005.50267	3255.44802		15586.0884	3
54	4522.03886	135.914238			4657.9531	2
55	5690.35194	2925.26868	1839.92213		10455.5428	3
56	8254.27035	5218.19122	1202.67609		14675.1377	3
57	3693.02636	1760.57497			5453.60133	2
58	4887.79463	3048.15609	526.066017		8462.01673	3
59	1983.82675	1176.54197			3160.36872	2
60	11887.585	5180.45041	983.110316		18051.1457	3
61	10682.808	3298.41019	3457.19437	5	17443.4126	4
62	2866.93673	2409.00517	105		5380.9419	3
63	6145.39426	2596.74319	1636.32673		10378.4642	3

64	8304.5713	2826.60068	5094.05175	21.2132034	16246.4369	4
65	3496.20293	2271.05041			5767.25334	2
66	5690.09148	787.872166	825.1601		7303.12375	3
67	6208.96662	2198.64454	1075.63674		9483.24789	3
68					0	0
69	4054.91481	2035.77925	430.272095		6520.96615	3
70	4865.14555	2435.2528	741.137272		8041.53562	3
71	4486.93252	3808.18372	1327.4686		9622.58484	3
72					0	0
73	4597.09616	4015.20812			8612.30428	2
74	1875.81859	1392.12821			3267.94679	2
75	4530.00762	1971.66304	1151.36845		7653.03911	3
76	5712.18122	7561.37702	15		13288.5582	3
77	5279.20144	2633.39992	1726.34594		9638.9473	3
78					0	0
79	3901.54669	2569.39977	942.622443		7413.5689	3
80	6062.57208	1617.68698	2588.47745		10268.7365	3
81	2034.05395	2938.8762			4972.93015	2
82					0	0
83	5096.41486	1013.77251	1362.82358		7473.01095	3
84	10483.1033	6655.64683	5813.05774	36.5625	22988.3704	4
85					0	0
86	2382.22023	1967.93512			4350.15535	2
87					0	0
88					0	0
89					0	0
90					0	0
91					0	0
92	8639.61343	1161.55881	45		9846.17224	3
93	5770.69648	2432.7264	2.5		8205.92288	3
94	11315.2853	6360.05606	2582.13539		20257.4767	3
95	3444.70228	3871.31198	303.069758		7619.08402	3
96	7006.85324	6443.08713	2218.27335		15668.2137	3
97	2518.37142	2974.19893			5492.57035	2
98	4957.47166	5239.62595	2308.1995		12505.2971	3
99	6587.12278	2271.76478	660.769149		9519.65671	3
100	5565.34962	1440.06776	63.6396103		7069.05699	3
101	4216.6957	234.236597			4450.93229	2
102	5256.69336	2237.09468	106.066017		7599.85406	3
103	4490.09345	2458.94286	1223.28259		8172.3189	3
104	9871.01392	2762.3507	4694.39245		17327.7571	3
105	1456.77402	2382.09551	165		4003.86952	3
106	6559.83781	4577.96202	47.4341649		11185.234	3
107	6225.65265	4316.51063	227.132034		10769.2953	3
108	6859.97913	1967.19927	1808.50562	15	10650.684	4
109	5483.5478	3501.27762	1025.75628		10010.5817	3

110	7239.79213	5172.38447	2521.3764		14933.553	3
111	6404.35667	1008.03378	3570.2043	251.261247	11233.856	4
112	3486.65384	4634.91158	1515.75586		9637.32128	3
113	14066.4008	2423.86678	3313.34715		19803.6147	3
114	6548.61965	3675.90502	2300.32614		12524.8508	3
115	8808.44326	4585.1662	2441.29513		15834.9046	3
116	2606.36352	2028.77748			4635.14099	2
117	3233.11155	1138.70765	1321.214		5693.0332	3
118	1090.405	1429.25576			2519.66076	2
119	1252.94155	1734.76122	1024.25048		4011.95325	3
120	4704.96296	1090.84634	3810.72496		9606.53426	3
121	3476.05899	2152.90706			5628.96605	2
122	1602.59298	1225.1205			2827.71348	2
123	5325.99382	2270.77416	2020.59315		9617.36114	3
124	5424.02258	4374.62965	2054.06718		11852.7194	3
125	14747.3702	8655.79702	8946.34293	2.5	32352.0102	4
126	10253.784				10253.784	1
127	3441.86546	2507.6568	1568.06751		7517.58977	3
128	7107.89075	5674.33331	1525.89975		14308.1238	3
129	3094.76683	2034.87311	1781.21137		6910.8513	3
130	1920.44435	3087.90335	33.75		5042.0977	3
131	3007.76496	1912.567	36.5625		4956.89446	3
132	5814.50332	1324.9637			7139.46702	2
133	9025.24713	3454.28607	1170.51503	63.6396103	13713.6878	4
134	9768.99264	3004.3342	3493.89858	39.8508299	16307.0763	4
135	3472.5557	447.453425			3920.00912	2
136					0	0
137	6849.77333	2115.56336	971.32095		9936.65764	3
138	2796.68396	5477.73557	37.004342		8311.42387	3
139	5355.61717	5628.71614	63.6396103		11047.9729	3
140	4372.80222	1844.00365			6216.80587	2
141	6390.82912	5541.28533	216.046864		12148.1613	3
142	3383.17551	3884.91169	48.3902934		7316.47749	3
143					0	0
144	5373.78716	3658.51484	348.561598		9380.8636	3
145	9062.5342	3636.81783	1743.54049		14442.8925	3
146	11939.9845	4305.75333	4009.30015		20255.038	3
147	3652.76243	1156.14515	1424.19761		6233.10519	3
148					0	0
149					0	0
150	4291.77411	2162.03901	2425.36972		8879.18283	3
151	11463.6066	6654.85699	1822.25355	96.0468636	20036.7641	4
152	2856.54653	2930.8018	293.033009		6080.38134	3
153	14594.0229	5327.50144	2352.46828		22273.9926	3
154	3836.94737	1071.51983			4908.46721	2
155	3561.42857	6167.42603	304.705627		10033.5602	3

156	7016.51838	3146.49249	2244.73906		12407.7499	3
157	9429.08406	625.87842	299.558441		10354.5209	3
158	2146.30184	769.976538			2916.27838	2
159					0	0
160					0	0
161	6642.0312	2973.17081	1592.70914		11207.9112	3
162					0	0
163	3813.56974	2093.70558	1782.27938		7689.5547	3
164	2208.31377	589.227205			2797.54097	2
165	10173.9744	946.160615	1950.49219		13070.6272	3
166					0	0
167	4736.17511	3557.53184	10.6066017		8304.31355	3
168	4571.08797	4413.91095	1962.23245		10947.2314	3
169	542.234216				542.234216	1
170					0	0
171	3004.64796	1531.59796	15		4551.24592	3
172					0	0
173	4847.06176	3676.33125			8523.39301	2
174	1389.72571	2329.70806			3719.43377	2
175	2687.48933	1604.02888			4291.51821	2
176					0	0
177	2108.49256	2181.72924	27.9508497		4318.17265	3
178	1404.82526	2012.07891			3416.90418	2
179	5520.78886	1296.09898	888.229393		7705.11723	3
180	6141.2745	2102.74888			8244.02338	2
181	2477.51539	1101.2909	859.467817		4438.27411	3
182	5412.09622	3510.35309	4365.00158	21.2132034	13308.6641	4
183	4374.21335	1073.76954			5447.98288	2
184	119182.388	30991.6497	10696.0475	5016.43795	167852.955	5
185	2470.71809	3226.45772	305.460735		6002.63655	3
186					0	0
187					0	0
188					0	0
189					0	0
190	4659.9943	3975.05444	315.546401		8950.59514	3
191	5203.32182	3783.57026	1707.39414		10694.2862	3
192	3827.21408	2506.18721	70		6403.40129	3
193	5655.99814	2148.94497	117.153745		7922.09686	3
194	3628.77967	1188.82251	214.054484		5031.65667	3
195	4455.1014	2302.6881	15		6772.7895	3
196	11223.6095	6842.94494	4358.39566	168.772561	22593.7227	4
197	6896.76808	3014.84078	319.86833		10231.4772	3
198					0	0
199	6718.09096	4993.06679	244.032408		11955.1902	3

Fuente: Elaboración propia

Los datos presentados en la tabla describen el orden y la longitud de la red hídrica para cada zona aportante de la cuenca. Los valores describen en metros la distancia recorrida por los cauces de cada orden y en total para cada área delimitada.

Una vez terminados el proceso para cada zona aportante, se compiló todos los datos en una tabla de Excel. Acto seguido se procedió a calcular los parámetros de: densidad de drenaje, relación de bifurcación, relación de elongación, coeficiente de compacidad y factor de forma de Horton.

Para el análisis de los datos obtenidos se agruparon las zonas aportantes según su altura en tres áreas: alta, media y baja.

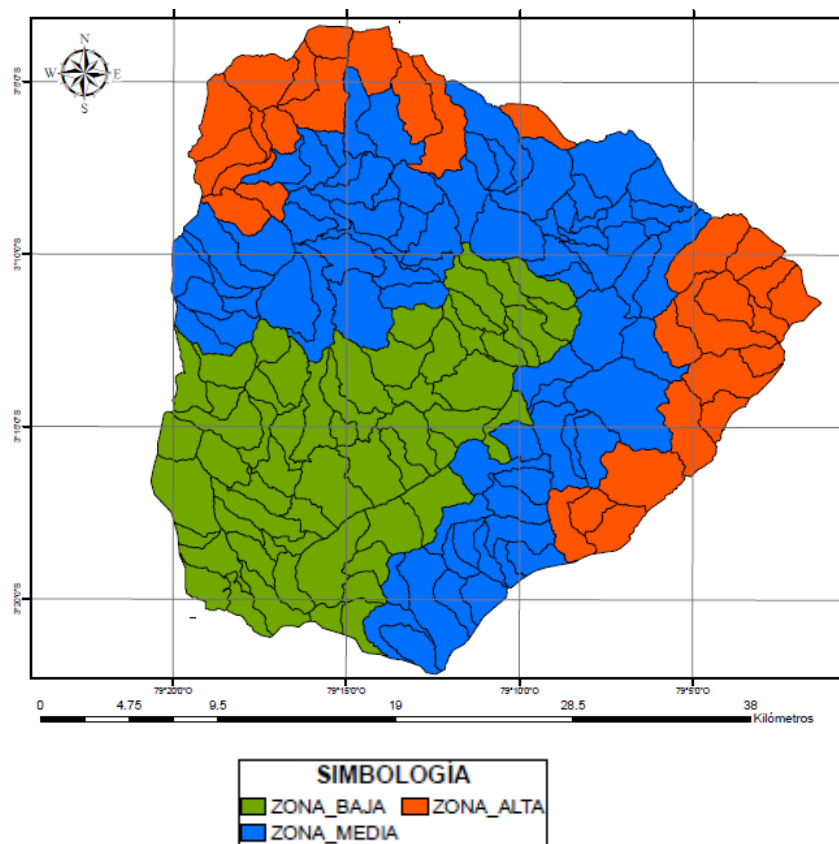


Figura 20: Clasificación de las zonas aportantes en tres rangos de altura
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Parámetros Morfométricos de la zona alta

id	DEN	RUG	BIF	ELO	COM	FOR
2	1.72185143	0.33379368	1.42857143	0.85531575	1.16719758	0.57495616
4	1.79813127	0.64408044	1.88888889	0.66152962	1.22107122	0.34393819
5	1.98598666	1.0855376	1.5	0.53929537	1.57825197	0.2285784

6	1.65156081	0.68834643	2.54545455	0.68241307	1.22490727	0.36599612
8	1.77918204	1.61267258	3.42857143	0.57318091	1.55664401	0.25820535
10	1.68220022	1.32537459	2.57142857	0.48926982	1.56796789	0.18813892
11	1.62701081	0.79444404	2.25	0.45089951	1.48854486	0.15978696
12	2.35554263	1.56516319	1.8	0.60013598	1.25898082	0.28306172
14	2.25596882	1.54335861	1.2	0.41263154	1.79880708	0.13381557
15	1.80937556	0.84280104	1.6	0.76258741	1.38051424	0.45704721
18	1.75690196	1.56056603	1.47058824	0.38538229	1.97012832	0.11672538
25	1.91062968	1.34024421	1.75	0.41613135	1.88243272	0.13609516
26	1.61945086	1.02025404	1.27272727	0.51794497	1.54995667	0.21083808
37	2.51581352	1.67700837	1.66666667	0.6920258	1.44211208	0.37637986
42	1.97278494	1.56740557	2.83333333	0.59885548	1.36157746	0.28185507
58	1.74335628	0.60123106	1.27272727	0.80399613	1.2658769	0.50803042
64	1.72816773	0.99402554	2.5	0.46908757	1.38866652	0.17293769
69	1.71465361	0.59965531	1.83333333	0.62638616	1.51863457	0.30836573
79	1.52038676	0.41092461	1.625	0.79517291	1.30498902	0.49694114
86	1.78334577	0.63308775	1.66666667	0.50997301	1.57011954	0.20439779
96	1.73015747	0.96023739	1.90909091	0.51485279	1.93676405	0.20832814
103	1.61486479	0.75898645	1.75	0.70499098	1.35990955	0.390615
105	1.36549526	0.3755112	2	0.68745458	1.26797374	0.37142388
110	1.79303248	0.51101426	1.76923077	0.55972273	1.64325542	0.24622247
121	1.51430526	0.35586174	1.57142857	0.73012746	1.40727787	0.41896637
134	1.85421543	0.57480678	2.36363636	0.55985494	1.51685124	0.2463388
146	1.72867754	0.47305582	2.33333333	0.56108245	1.30147732	0.24742021
152	1.62491806	0.40449669	1.83333333	0.74090356	1.3147761	0.43142485
167	1.65675905	0.44732494	1.27272727	0.86015501	1.34034888	0.58148062
168	1.90330243	0.74228795	2.25	0.52458936	1.76151752	0.21628219

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Parámetros Morfométricos de la zona media

id	DEN	RUG	BIF	ELO	COM	FOR
13	2.13911852	2.03559218	1.21428571	0.42116402	1.84683381	0.13940692
16	1.90754863	1.6442841	1.83333333	0.53421348	1.62631193	0.22429081
17	1.4019894	0.99140127	1.33333333	0.46587502	1.52467372	0.17057707
19	2.03532174	1.48212417	1.66666667	0.46899477	1.9133933	0.17286927
20	1.46776011	0.46844445	1.75	0.70126551	1.79811511	0.38649756
21	1.90278126	1.54509647	2.5	0.59418025	1.32602837	0.2774714
22	1.66558941	1.65040921	1.5	0.51027019	1.66051271	0.20463608
23	1.63302176	2.04699676	3.125	0.37732049	1.91704157	0.11189291
24	2.28553739	1.91544047	3.5	0.59425006	1.88496074	0.2775366
27	1.98152498	1.89538089	2.26666667	0.7380326	1.33553649	0.42808783
29	1.93602133	0.76472842	1.33333333	0.47403407	1.59217388	0.17660415
30	1.82342906	0.93065754	1.63636364	0.59027181	1.7996226	0.27383306

31	2.40316779	1.63114251	1.75	0.58449218	1.42711665	0.26849686
32	2.09952545	1.08972137	1.41666667	0.54776722	1.31589837	0.23581633
35	2.29800034	1.34890656	1.6	0.58329163	1.52287816	0.267395
36	2.01084191	2.36374467	1.78571429	0.51339037	1.53072603	0.20714632
38	2.00752243	1.63911756	1.28571429	0.40263095	1.77360569	0.12740783
39	2.57496693	1.34569368	2	0.38540919	1.7856512	0.11674168
40	1.79306884	0.80688098	1.75	0.62797727	1.35175316	0.30993431
41	2.01909836	0.76691774	3	0.6664012	1.90705173	0.34902243
43	2.12610149	1.82357739	1.75	0.42764994	2.08071422	0.14373371
44	1.83886809	0.76842553	1.55555556	0.55955341	1.49471557	0.24607353
45	1.87886063	0.64360977	1.33333333	0.44878928	1.99840605	0.15829484
46	2.34596136	2.26541803	3	0.53148524	1.50424596	0.22200575
47	2.2004271	1.97874642	2	0.62092242	1.70367333	0.30300967
48	2.58028508	1.17163526	1.66666667	0.48383292	1.63983161	0.18398085
49	2.012726	1.09693567	2.33333333	0.54120179	1.47562377	0.23019731
50	2.23357022	1.64588768	1.3	0.64526638	1.21070726	0.3272351
53	1.61217527	1.38051757	2	0.54924626	1.27775321	0.23709152
54	2.05197134	1.20671695	6	0.29904548	2.48491762	0.07028397
55	1.70508775	1.18816642	2	0.4801015	1.61503164	0.181154
56	2.07385381	2.1168154	1.5	0.71051891	1.49491237	0.39676476
57	1.50378027	0.74266553	1.33333333	0.69711347	1.81782373	0.38193438
59	1.82715955	1.06296479	1.75	0.54465026	2.06143649	0.23314023
60	2.92139233	2.82831432	1.77777778	0.63021185	1.82578927	0.31214396
61	2.20580682	3.02674285	2	0.52289913	1.61695502	0.21489071
62	1.56336615	0.82968826	1.8	0.45734077	1.89022738	0.16438479
63	2.44774069	2.30906626	1.83333333	0.52747496	1.5180395	0.21866813
65	2.47731028	3.63774325	2	0.35121333	2.34082925	0.09694464
66	3.02681126	2.57277627	1.75	0.4244678	1.65137837	0.14160262
67	2.31598509	2.52503949	2	0.57544175	1.42039442	0.26024628
70	1.86024524	1.27391647	1.85714286	0.84059981	1.4007084	0.55534182
74	1.69131215	1.45044428	1.5	0.56181728	1.57985055	0.24806871
75	1.65621749	0.44991253	2	0.49365157	1.7201613	0.19152384
76	1.66345716	0.90498446	1.125	0.4210152	1.8342646	0.13930842
77	2.67177599	2.69222786	2	0.53698869	1.34585803	0.22662722
84	2.41214057	3.06341852	2.23076923	0.61260792	1.33820173	0.29494905
92	2.52871113	2.54766658	1.83333333	0.61903928	1.53498617	0.30117451
94	1.98980688	1.37625751	1.625	0.48601552	1.38375325	0.18564449
95	1.99281691	2.57267262	1.42857143	0.4653106	1.53933888	0.170164
98	1.87926004	2.74765665	1.54545455	0.33352362	2.43495915	0.08742487
104	1.71784324	0.94481378	3	0.54227761	1.35131966	0.23111341
106	1.82342894	0.99376877	1.22222222	0.52676246	1.49664986	0.21807779
112	1.64395638	0.96171448	1.41666667	0.37018446	1.61462036	0.10770061
118	1.28558761	0.60335332	1.4	0.58565487	1.69295846	0.26956612
125	1.83571217	1.24565126	1.9	0.57337452	1.38120738	0.25837981
135	1.82877696	1.06069064	1.5	0.41102044	2.07246555	0.13277265
138	1.46004822	0.81239065	1.25	0.642694	1.47087978	0.32463123

139	1.54103331	1.20971115	1.23076923	0.41032188	1.73045738	0.13232173
141	1.85687356	1.9032954	1.375	0.44193507	1.90034049	0.15349659
144	2.45087548	1.73382208	1.33333333	0.4924839	1.39059848	0.19061886
150	1.86453169	1.49012635	2.2	0.44062601	1.59726958	0.15258859
163	1.97621652	1.41299481	2.8	0.62041011	1.80641923	0.30250985
165	2.58654674	2.02400061	3	0.49907608	1.66413156	0.19575611
171	1.65295372	0.94533375	1.5	0.63574217	1.4239075	0.31764633
173	2.37535389	1.47770673	1.42857143	0.50159337	1.65318198	0.19773584
174	1.78379351	1.01381921	1.5	0.44207692	1.71146571	0.15359514
177	1.82285562	1.22199239	1.5	0.43684322	1.80679544	0.14997988
178	1.88858082	0.89253057	1.4	0.42707612	1.74044524	0.14334824
183	1.95689492	1.38939539	1.75	0.63211247	1.48034822	0.31402955
190	2.20178763	1.08347034	1.375	0.65211907	1.2312684	0.33422244
192	1.71553824	1.30900426	2.5	0.51106205	1.54537791	0.2052717
196	2.07918579	2.28315614	1.9375	0.49122315	1.6526488	0.18964415
197	2.3035762	2.51547231	1.75	0.48296533	2.24546456	0.18332163
199	2.61796871	2.50946873	2.16666667	0.5035805	1.36716787	0.19930565

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Parámetros Morfométricos de la zona baja

id	DEN	RUG	BIF	ELO	COM	FOR
71	2.07576588	1.72836725	1.55555556	0.66693252	1.51013894	0.34957921
73	1.82649098	1.73516643	1.25	0.43667499	1.91384508	0.14986438
80	1.8680892	1.69546038	2.75	0.51426492	1.61146311	0.20785267
81	1.73692032	1.55414805	1.8	0.46624774	1.59814592	0.17085012
83	2.16138111	1.81881012	2.75	0.54643671	1.48067557	0.23467215
93	1.74088121	1.28613146	1.625	0.54208453	1.23323752	0.23094886
97	2.06659129	1.89930537	1.4	0.38276743	2.04194515	0.11514677
99	2.14597014	1.76194522	1.41666667	0.66332625	1.57052164	0.34580891
100	2.60815462	2.38011557	1.28571429	0.63767004	1.39036068	0.31957575
101	2.33553788	1.90868611	3	0.48859865	1.69633372	0.1876231
102	2.19886738	2.03110308	1.375	0.76823503	1.25501284	0.46384194
107	2.07915409	1.62678706	1.5	0.5721796	1.38185383	0.25730401
108	1.94642399	2.04347504	2.33333333	0.74899269	1.42402935	0.44089681
109	1.64246266	1.00401585	1.88888889	0.65878134	1.54157681	0.34108638
111	2.0326413	1.99518483	3	0.56151343	1.43661727	0.24780046
113	2.09097264	2.47314715	2.5	0.57253736	1.31514349	0.25762587
114	2.51972062	3.40218448	1.55555556	0.44212968	1.72698309	0.15363181
115	2.00985079	1.59618512	1.6	0.51302669	1.52767977	0.20685295
116	1.34727274	0.68529854	1.4	0.44966887	1.79455604	0.15891594
117	2.29583943	2.36471461	2.66666667	0.5244251	1.59144685	0.21614676
119	1.55284268	1.15347645	2	0.54829803	1.33391097	0.23627359
120	2.00299151	1.3105061	2.8	0.38724092	2.16632898	0.11785399

122	1.50070239	0.27934974	1.4	0.62213199	1.35685301	0.30419136
123	1.79808326	2.03183408	2	0.54492645	1.41839088	0.23337675
124	1.77757758	1.83733994	1.8	0.49221216	1.6509661	0.19040857
127	1.63814795	1.30294153	1.57142857	0.6612548	1.14912011	0.34365248
128	2.16262482	1.8289193	1.41666667	0.3361656	2.13063612	0.08881541
129	1.75719054	1.76441857	2	0.59220868	1.93024413	0.27563308
130	1.73556522	1.5477477	1.75	0.423644	2.03676216	0.14105352
131	2.46209245	1.99278703	1.5	0.58065259	1.32052002	0.26498088
132	1.8532084	0.94610949	1.71428571	0.43989197	1.86488807	0.15208062
133	2.2939179	2.06746631	2.11111111	0.78609417	1.56763359	0.48565845
137	1.86517084	1.22306574	2	0.59383898	1.27278343	0.27715276
140	1.865217	1.75330398	1.83333333	0.72776944	1.64584448	0.41626455
142	1.8178373	0.74155446	1.44444444	0.51474172	1.64524237	0.20823826
145	1.74669152	1.64585249	2.90909091	0.72871516	1.50825122	0.41734711
147	1.82228887	0.69882287	4	0.48813911	1.86046263	0.18727034
151	2.00621971	1.84158529	2	0.64683422	1.43563802	0.32882723
153	2.1128633	1.85962276	2.08333333	0.61176135	1.24324905	0.29413444
154	1.51394638	1.39643738	1.25	0.6572603	1.57587174	0.33951315
155	1.79361157	1.03114734	1.29577465	0.48179623	1.87831996	0.18243518
156	1.71103226	1.5532219	1.5	0.57129211	1.44813313	0.25650642
157	3.95501198	1.88621483	2	0.37930461	1.72468333	0.11307277
158	1.83165163	0.78881625	2	0.5249677	1.53711579	0.21659427
161	1.55027313	1.62606734	1.9	0.72569203	1.32156243	0.4138915
164	1.71596439	1.38318586	1.66666667	0.49529134	1.67848147	0.19279833
175	1.32004643	0.746173	2	0.65699992	1.41877747	0.3392442
179	2.07928425	0.90015418	3.2	0.7453744	1.48030822	0.43664727
180	1.72153954	0.79422697	1.42857143	0.50113824	1.82965658	0.19737715
181	1.50898132	1.23930967	2.66666667	0.64455359	1.28585542	0.32651254
182	1.2724128	1.40320447	3.57142857	0.57380501	1.40606785	0.25876794
185	1.49271094	1.67183625	1.33333333	0.49736328	1.45459174	0.19441476
191	2.09410513	2.48464245	2.5	0.4771287	1.74533423	0.17891752
193	2.42595044	2.59576697	1.83333333	0.46798963	1.90558206	0.17212909
194	2.47811589	1.36372363	2	0.65164128	1.33977594	0.33373286
195	1.95771849	1.8051228	1.4	0.49657504	1.72288048	0.19379902

Fuente: Elaboración propia

Las tablas presentadas contienen el resultado de los cálculos con los que se determinó los parámetros morfométricos para el análisis. Los datos están divididos en tres grupos de acuerdo a su altura en: zona alta, zona media y zona baja.

Con las ecuaciones de cada zona aportante clasificadas por alturas; se generó una ecuación de curva hipsométrica, haciendo un promedio del número de base y el número del exponente de cada ecuación.

Cuenca alta

$$y = 0.9957e^{-0.985(\%A)}$$

Cuenca media

$$y = 0.9949e^{-0.2485(\%A)}$$

Cuenca baja

$$y = 0.9718e^{-0.3948(\%A)}$$

De igual forma los datos de los parámetros fueron clasificados de acuerdo al orden de alturas previamente mencionado, de manera tal que se procedió a realizar las gráficas y los cálculos para el análisis exploratorio de datos mediante el software “Rstudio” en donde se generó: un sumario de todos los parámetros y un gráfico de dispersión de datos para el análisis por pares, por otro lado, para cada parámetro por individual se generó un histograma y un *boxplot*. También se calculó la desviación estándar y el coeficiente de variación en porcentaje, resultado que sirve para constatar qué tan dispersos están los datos de su media.

Tabla 7: Sumario de los parámetros morfométricos de la zona alta de la subcuenca

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS - ZONA ALTA						
	DENSIDAD DE DRENAJE	RUGOSIDAD DE LA CUENCA	RELACIÓN DE BIFURCACIÓN	RELACIÓN DE ELONGACIÓN	COEFICIENTE DE COMPACIDAD	FACTOR DE FORMA
Min.	1.365	0.3338	1.2	0.3854	1.167	0.1167
1st Qu.	1.653	0.527	1.579	0.5156	1.307	0.209
Median	1.737	0.7506	1.785	0.586	1.425	0.27
Mean	1.791	0.8815	1.905	0.6095	1.478	0.3055
3rd Qu.	1.843	1.2654	2.25	0.7017	1.57	0.3871

Max.	2.516	1.677	3.429	0.8602	1.97	0.5815
DESVIACIÓN	0.240938	0.443982	0.5183764	0.1332638	0.2189152	0.131631
VARIANZA	13.4557	50.3694	27.20815	21.86332	14.80906	43.08897

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Sumario de los parámetros morfométricos de la zona media de la subcuenca

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS - ZONA MEDIA						
	DENSIDAD DE DRENAJE	RUGOSIDAD DE LA CUENCA	RELACIÓN DE BIFURCACIÓN	RELACIÓN DE ELONGACIÓN	COEFICIENTE DE COMPACIDAD	FACTOR DE FORMA
Min.	1.286	0.4499	1.125	0.299	1.211	0.07028
1st Qu.	1.788	1.0038	1.429	0.4531	1.473	0.16134
Median	1.976	1.3894	1.75	0.5229	1.617	0.21459
Mean	2.013	1.564	1.873	0.526	1.655	0.22543
3rd Qu.	2.26	2.0298	2	0.5922	1.807	0.27565
Max.	3.027	3.6377	6	0.8406	2.485	0.5534
DESVIACIÓN	0.3596314	0.704186	0.7025054	0.1012264	0.2717154	0.08722271
VARIANZA	17.86832	45.02431	37.49724	19.24288	16.42079	38.69158

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Sumario de los parámetros morfométricos de la zona baja de la subcuenca

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS - ZONA BAJA						
	DENSIDAD DE DRENAJE	RUGOSIDAD DE LA CUENCA	RELACIÓN DE BIFURCACIÓN	RELACIÓN DE ELONGACIÓN	COEFICIENTE DE COMPACIDAD	FACTOR DE FORMA
Min.	1.272	0.2793	1.25	0.3362	1.149	0.08882
1st Qu.	1.732	1.2744	1.486	0.4885	1.402	0.18753
Median	1.865	1.6588	1.833	0.5474	1.539	0.23547
Mean	1.945	1.598	1.974	0.5613	1.577	0.25653
3rd Qu.	2.099	1.8895	2.167	0.648	1.725	0.33005
Max.	3.955	3.4022	4	0.7861	2.166	0.48566
DESVIACIÓN	0.4120895	0.563923	0.628795	0.1076297	0.2436558	0.09716231
VARIANZA	21.18662	35.29002	31.85735	19.17606	15.44704	37.87584

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Sumario de los parámetros morfométricos de las subcuencas del Jubones

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS - SUBCUENCAS DEL JUBONES						
	DENSIDAD DE DRENAJE	RUGOSIDAD DE LA CUENCA	RELACIÓN DE BIFURCACIÓN	RELACIÓN DE ELONGACIÓN	COEFICIENTE DE COMPACIDAD	FACTOR DE FORMA
Min.	1.882	4.968	2.051	0.432	1.183	0.1467
1st Qu.	1.937	5.626	2.13	0.4991	1.298	0.1958
Median	2.01	6.228	2.227	0.5095	1.332	0.204
Mean	2.003	6.269	2.211	0.5324	1.383	0.2267
3rd Qu.	2.038	6.67	2.269	0.5713	1.49	0.2565
Max.	2.147	7.628	2.353	0.6811	1.625	0.3645
DESVIACIÓN	0.09435081	0.908977	0.09621435	0.07444236	0.1426801	0.0650766
VARIANZA	4.709845	14.49962	4.352509	13.98211	10.31743	28.71218

Fuente: Elaboración propia

En las tablas podemos apreciar el sumario de los datos para las tres zonas en las que fue dividida la cuenca en este estudio. De cada parámetro se obtuvo la desviación estándar y la varianza para la verificación de la dispersión de datos en cada variable.

13. CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS

4.1 Resultados

Tras el análisis estadístico de los parámetros morfométricos de las zonas aportantes se obtuvo lo siguiente:

Densidad de drenaje

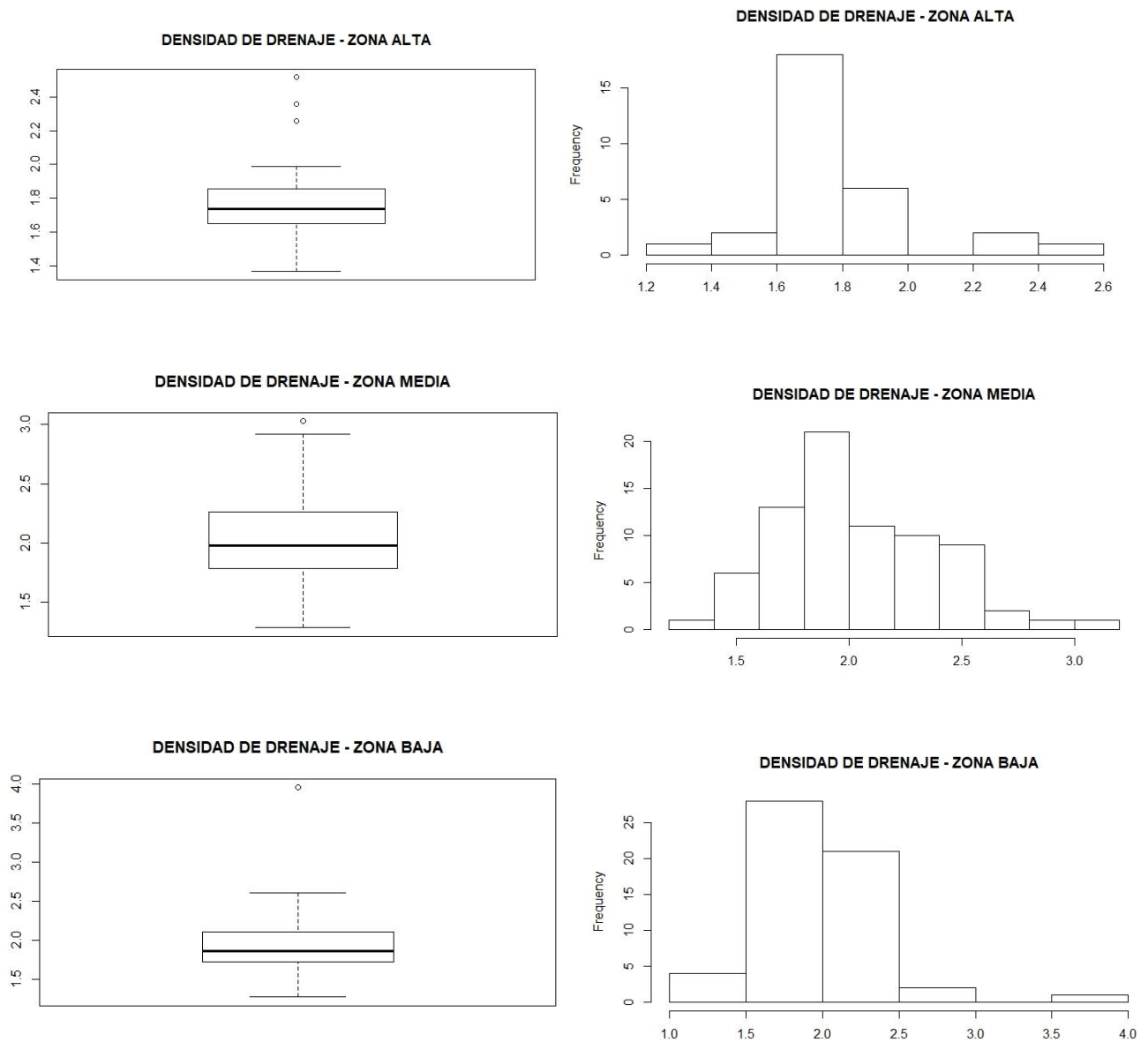


Figura 21: Boxplots e histogramas de la densidad de drenaje para la cuenca
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en las figuras los datos oscilan en un rango de 1.4 a 4, sin embargo, la media es cercana a 1.8, lo cual nos indica que la cuenca está muy bien drenada, se observa un incremento paulatino en la densidad de drenaje mientras la altura de la cuenca disminuye. Las zonas alta y baja tienen una mayor dispersión en los datos, que indica que en aquellas zonas existe mayor irregularidad en la densidad de drenaje, mientras que en la zona media se obtuvo una mayor similitud entre las zonas aportantes.

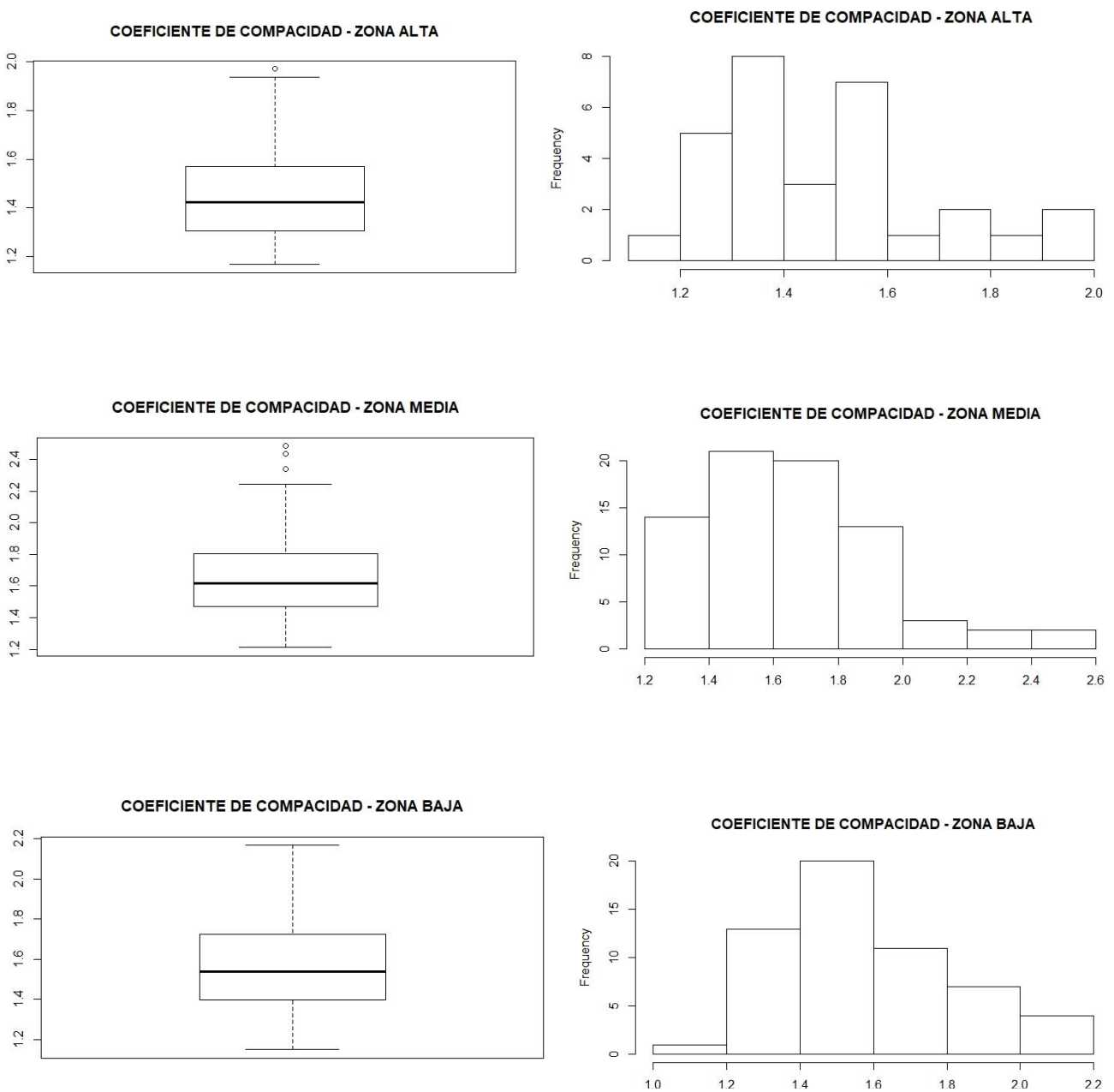


Figura 22: Boxplots e histogramas del coeficiente de compacidad para la cuenca
Fuente: Elaboración propia

La comparación del coeficiente de compacidad denota que las zonas aportantes no mantienen una forma circular ya que su promedio es de 1.6 lo cual nos indica una forma de oval oblonga a rectangular oblonga, podemos corroborar que la distribución de datos y por tanto la forma de las zonas aportantes de la parte alta son más irregulares, mientras que en la parte media y baja tienden a ser más parecidas.

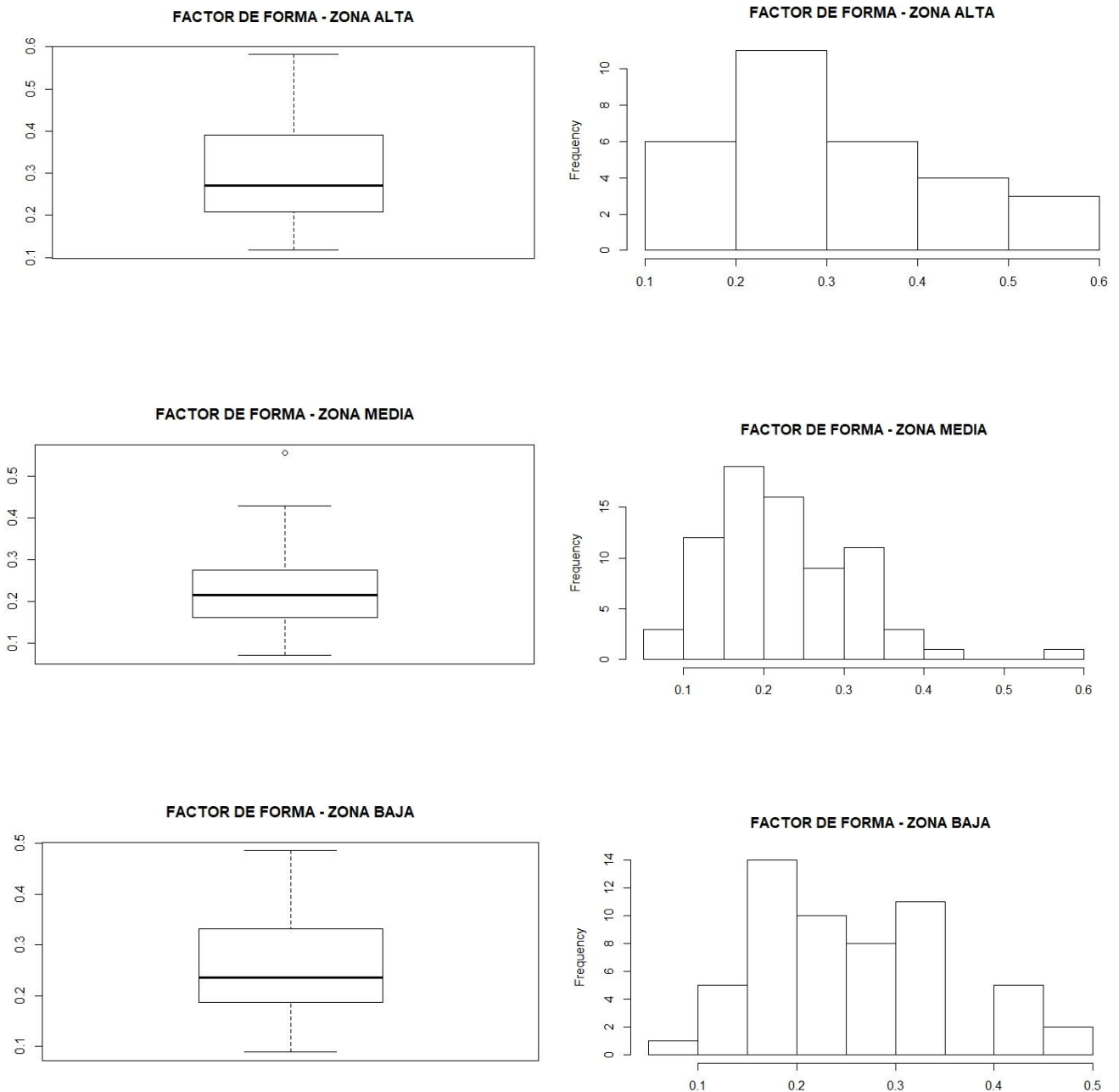


Figura 23: Boxplots e histogramas del factor de forma para la cuenca
Fuente: Elaboración propia

En la parte alta podemos observar que la forma de las zonas aportantes son ligeramente más alargadas que en la parte media y baja de la cuenca, la distribución de datos en la zona alta es más prolija, denotando más uniformidad en la forma de las zonas aportantes.

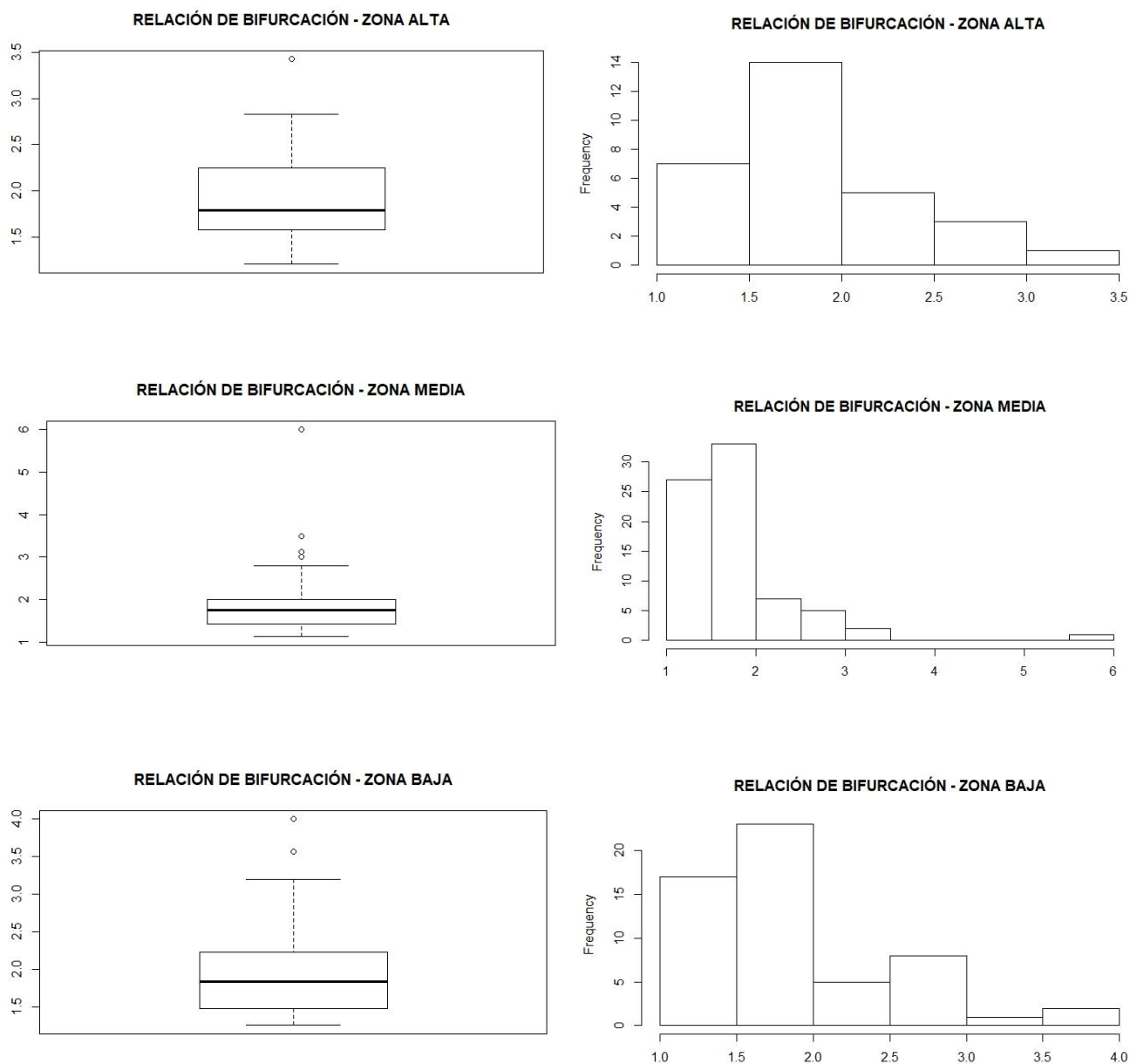


Figura 24: Boxplots e histogramas de la relación de bifurcación para la cuenca
Fuente: Elaboración propia

La relación de bifurcación aparentemente tiene un valor bajo, sin embargo esto se debe a que el área analizada es pequeña por lo que generalmente se tiene un orden máximo de 2 en la red hídrica para cada zona aportante. En toda la cuenca se mantiene una relación de bifurcación parecida.

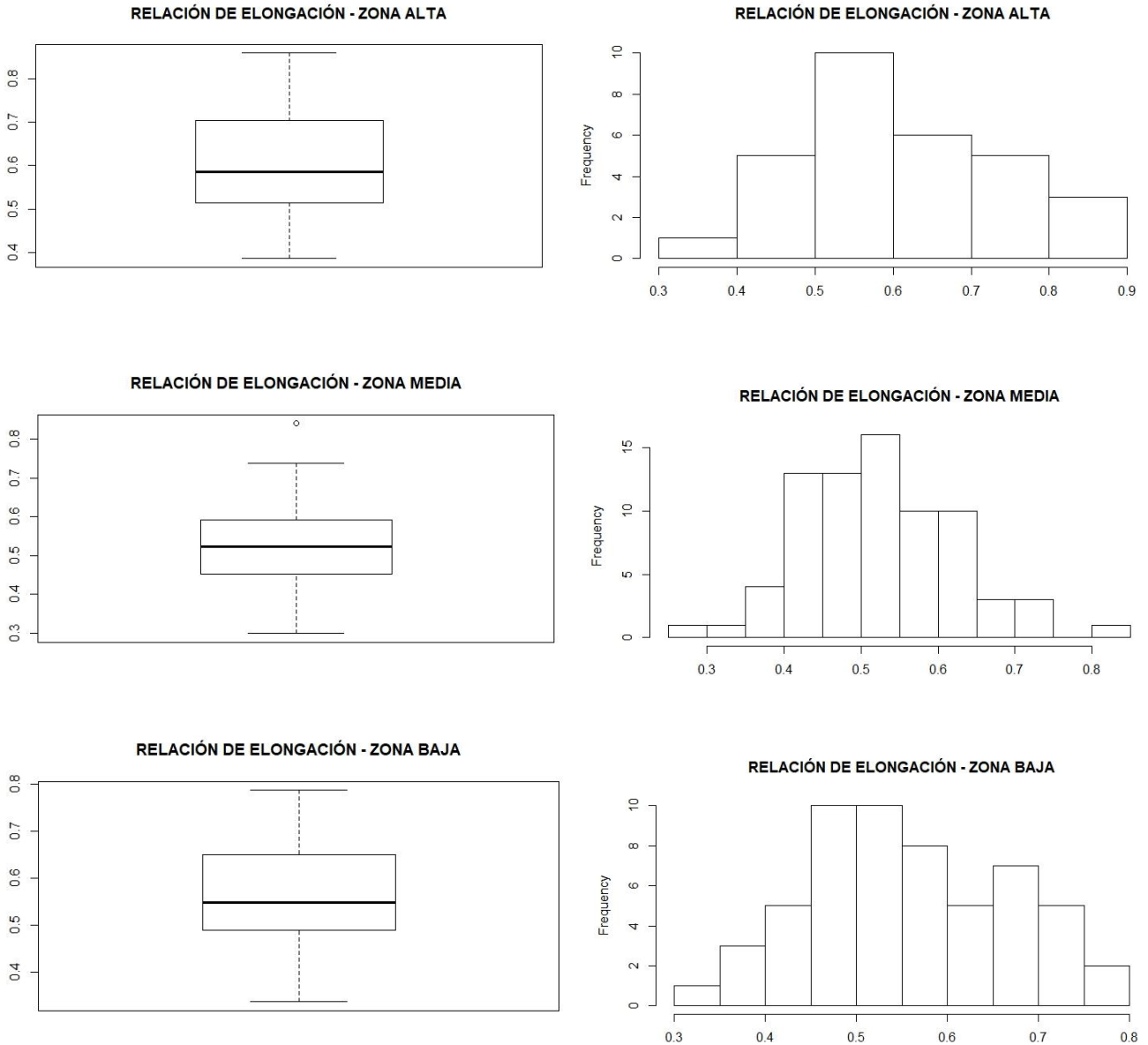


Figura 25: Boxplots e histogramas de la relación de elongación para la cuenca
Fuente: Elaboración propia

La relación de Elongación para toda la cuenca expone que las zonas aportantes tienen una forma accidentada en su relieve. Se mantiene a lo largo de toda la cuenca una distribución de datos muy parecida, por lo que en cuanto al relieve de toda el área de estudio es muy parecida.

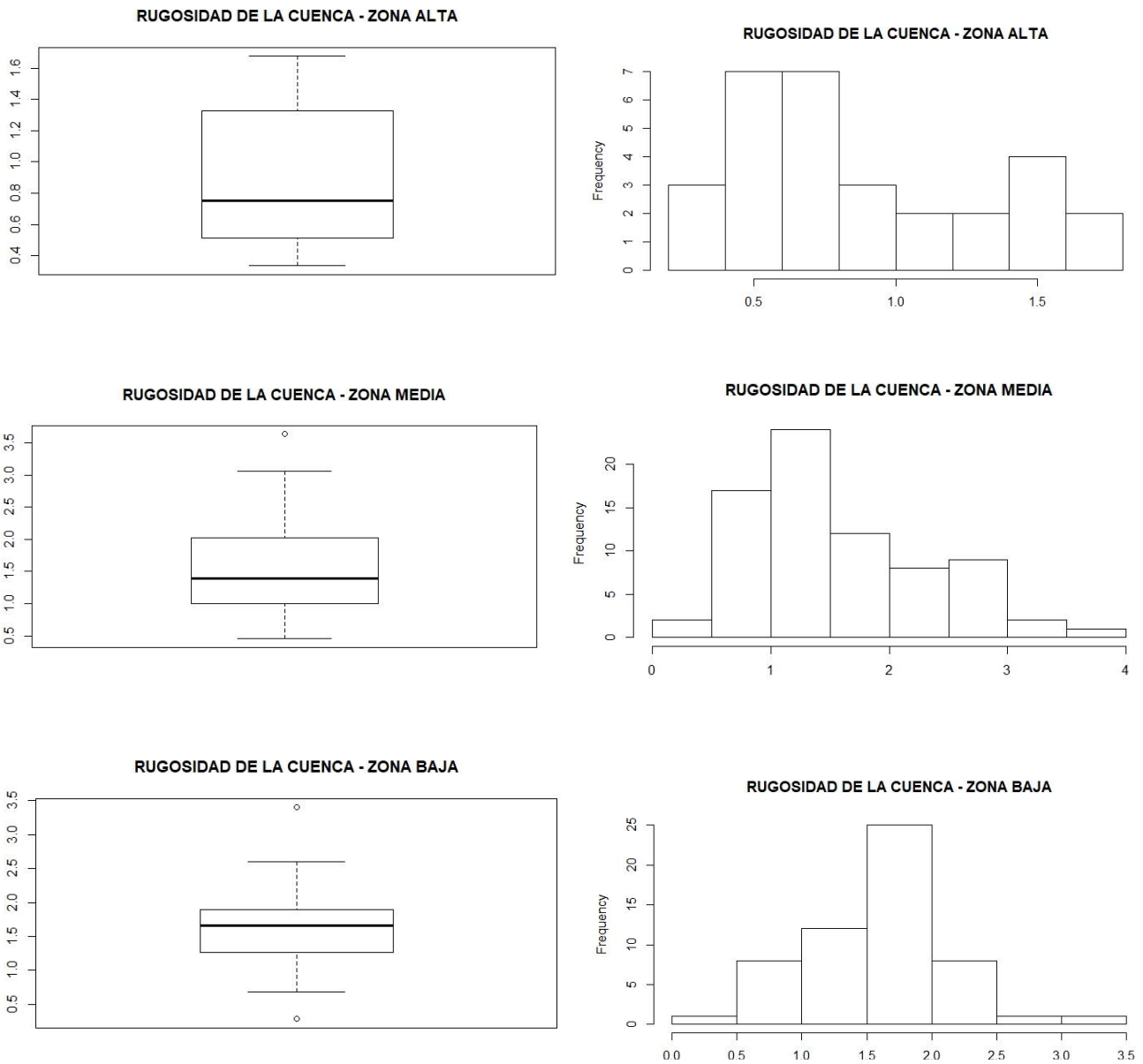


Figura 26: Boxplots e histogramas de la rugosidad para la cuenca
Fuente: Elaboración propia

La rugosidad en la cuenca denota que a mayor altura el coeficiente aumenta, y sigue una distribución de datos bastante notoria a la hora de exhibir la tendencia de disminuir la rugosidad de la cuenca a medida que disminuye la altura.

Matriz de dispersión

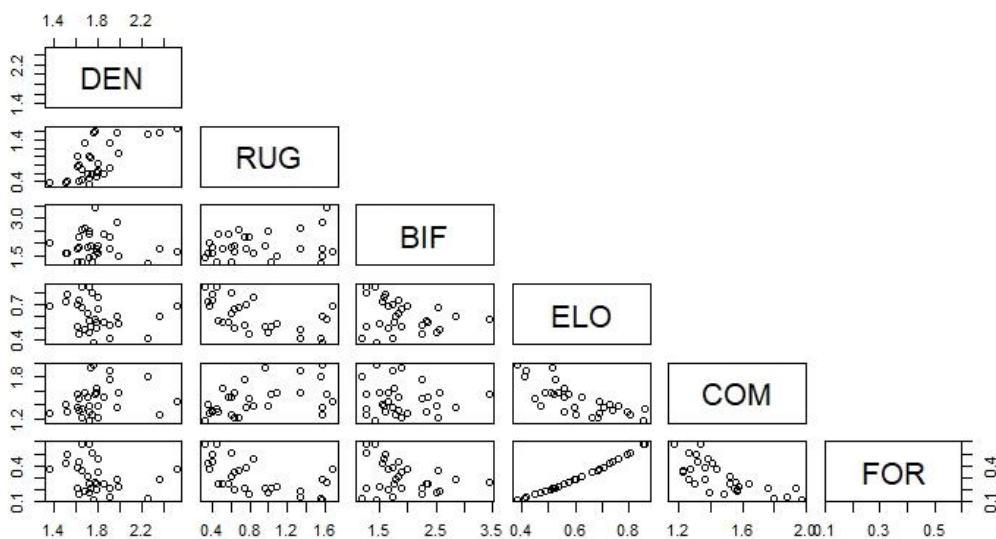


Figura 27: Matriz de dispersión de datos para la zona alta de la cuenca
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica podemos observar claramente una relación entre los parámetros de forma de las zonas aportantes, esto debido a que las relaciones matemáticas están determinadas por características de la forma de la cuenca, este resultado es lógico. Podemos observar también que hay una relación entre la rugosidad y el factor de forma, a medida que la rugosidad aumenta el índice de factor de forma disminuye. La dispersión de datos para los demás parámetros nos indica que no mantienen una relación marcada.

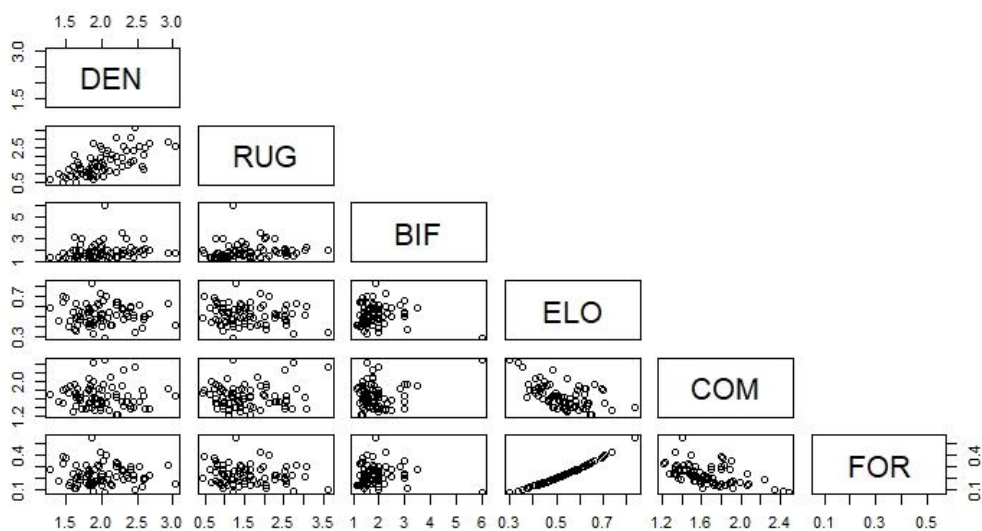


Figura 28: Matriz de dispersión de datos para la zona media de la cuenca
Fuente: Elaboración propia

Para la zona media se repite la tendencia de la relación entre los parámetros de forma. Podemos observar claramente una relación entre la densidad de drenaje con la rugosidad de la cuenca, a medida que aumenta la densidad de drenaje aumenta el coeficiente de rugosidad en la cuenca.

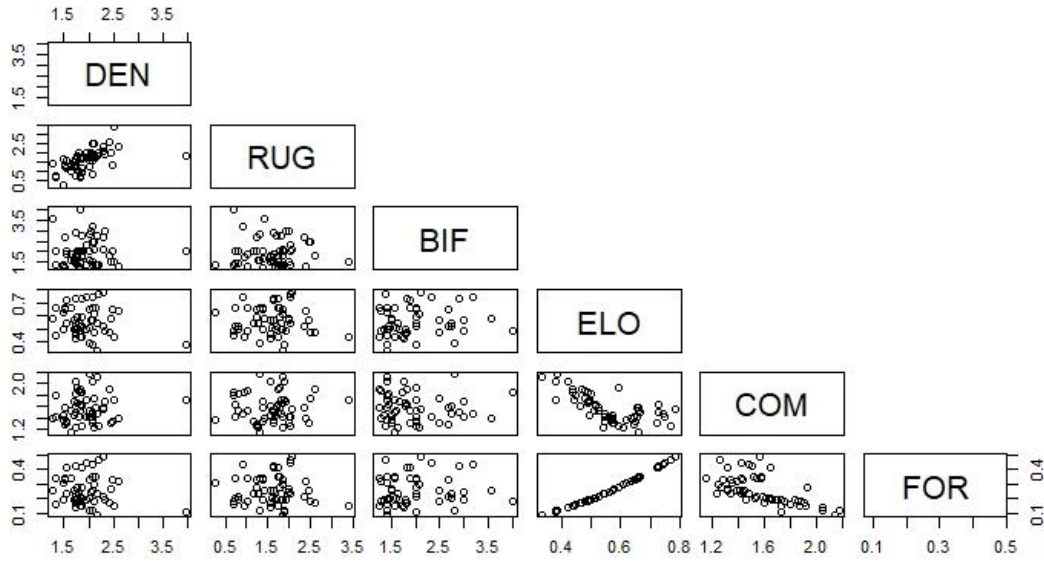


Figura 29: Matriz de dispersión de datos para la zona baja de la cuenca
Fuente: Elaboración propia

Es reiterativa la tendencia entre los parámetros de forma para la zona baja. La dispersión en la gráfica de datos nos indica que los factores no tienen una correlación directa.

Tiempo de concentración

Para la determinación de las ecuaciones de cada zona se procedió a promediar las ecuaciones extraídas mediante el ajuste exponencial de las curvas hipsométricas de cada zona aportante.

Modelo hipsométrico:

Cuenca alta

$$y = 0.9957e^{-0.985(\%A)}$$

Cuenca media

$$y = 0.9949e^{-0.2485(\%A)}$$

Cuenca baja

$$y = 0.9718e^{-0.3948(\%A)}$$

Determinación de la Ecuación de Tiempo de Concentración para la Hipsometría analizada:

El tiempo de concentración se determinó a partir del modelo de curva hipsométrica, mediante la siguiente relación:

$$\frac{\int Z}{\int \%A} \approx \frac{\int t}{\int \%A} = -Kt \rightarrow t = be^{-K\%A}$$

Se obtuvieron los siguientes resultados de la ecuación presentados en la Tabla 11. {

Tabla 11: Resultados para la determinación Teórica del Tc

Cuenca	Área		b	e	t
	km2	%			
ALTA	162	20,74	0,9957	0,985	0,97
MEDIA	354	45,33	0,9949	0,248	0,88
BAJA	265	33,93	0,9718	0,394	0,85
Total	781	100			

El tiempo de concentración calculado a partir de las ecuaciones de Hipsometría viene dado en horas. Se puede contrastar las fórmulas determinadas con la curva hipsométrica de la subcuenca.

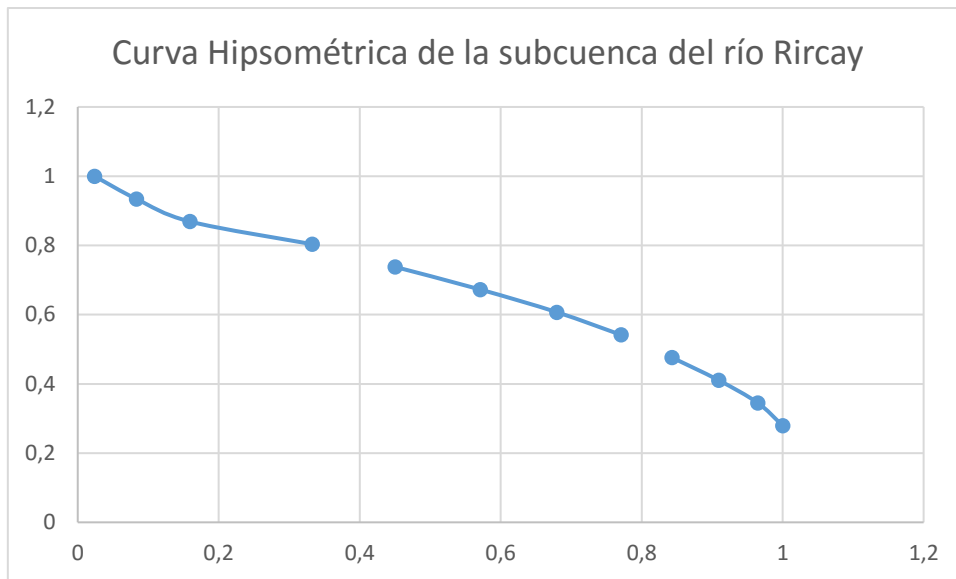


Figura 30: Curva hipsométrica de la cuenca del Rircay
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en los datos que el tiempo de concentración en la zona alta tiene el valor más alto, en la zona media se observa que el tiempo es menor al anterior, y el de la zona baja desciende de igual manera. Como se observa en el gráfico de la curva hipsométrica de la cuenca, la morfometría de cada zona tiene relación con el tiempo de concentración ya que a medida que desciende en altura la pendiente de la cuenca se vuelve más pronunciada y por ese motivo el tiempo de concentración es bajo indicando que el agua de precipitación puede salir más rápido de la cuenca.

14. CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES

El análisis morfométrico determinó que la subcuenca del río Rircay cuenta con una capacidad de drenaje muy buena, a medida que la altura disminuye la densidad de drenaje aumenta paulatinamente hasta la zona media y vuelve a descender levemente para la zona baja.

El valor de coeficiente de compacidad demostró que las zonas aportantes tienen forma oval oblonga, a medida que desciende la altura la forma de las zonas aportantes se vuelve más similar entre las mismas.

El factor de forma denota que las zonas aportantes son ligeramente más alargadas en la parte alta de la subcuenca.

La relación de elongación demostró que la subcuenca mantiene una superficie accidentada en su relieve. Se mantiene la uniformidad de los valores obtenidos en toda el área de estudio.

La relación de bifurcación tiene valores similares para toda la subcuenca. Puesto que el análisis se realizó con áreas pequeñas el índice tiene un valor bajo en general; sin embargo no significa que tenga un nivel bajo en su número de cauces.

El análisis de la matriz de dispersión exhibió claramente un patrón de relación directa con los parámetros de: factor de forma, coeficiente de compacidad y relación de elongación, este resultado es evidente ya que son coeficientes que describen la forma de las zonas aportantes. En la zona alta de la subcuenca se encontró que el coeficiente de rugosidad tiene una correlación con la relación de elongación y con el factor de forma, ya que mientras el valor de rugosidad aumenta, la tendencia de elongación y factor de forma baja, sin embargo, cabe destacar que la rugosidad no guarda relación con el coeficiente de compacidad que al ser otro parámetro de forma se esperaba que reaccione igual que los otros dos parámetros de forma, lo cual denota una dinámica interesante en la morfometría, en posteriores estudios se podría enfocar cuál es la razón para que este parámetro actúe distinto en esta zona.

En la zona media y baja podemos observar una clara relación entre la densidad de drenaje que a medida que aumenta su valor la rugosidad también lo hace.

Se encontró una relación entre parámetros morfométricos baja, excepto por los parámetros de forma, lo que da paso a nuevos análisis en busca de otras maneras de relaciones entre parámetros del área de estudio.

Se determinó la relación para el tiempo de concentración mediante tres fórmulas matemáticas; una para cada zona, lo cual pudimos comprobar con las curvas hipsométricas que por la pendiente observada en cada zona tiende a disminuir el tiempo de concentración a medida que desciende en altura ya que la pendiente aumenta inversamente proporcional a la altura.

Se comprobó la relación directa de los parámetros de forma dentro de la cuenca, al igual que se observó como cambia la dinámica de la morfometría dentro de la misma, de acuerdo a las tres zonas clasificadas.

En este estudio no se obtuvieron datos tomados en campo, lo cuál fue una limitante para verificar la aproximación con los datos obtenidos mediante el proceso con herramientas de software.

15. CAPÍTULO VI

6 RECOMENDACIONES

Se recomienda:

Profundizar en el estudio realizando pruebas de campo para validar el tiempo de concentración de la subcuenca, de tal manera que se pueda ajustar el modelo obtenido.

Replicar el análisis en todas las subcuencas del Jubones, para poder observar la variación en los parámetros morfométricos y determinar en qué forma se relacionan.

Ampliar el estudio a las cuencas hidrográficas de mayor interés en el país para contar con una visión más clara del comportamiento hídrico según la variación en las morfometrías propias de cada cuenca.

Para futuros estudios incluir datos de precipitación para que el modelo abarque más variables y sea más preciso.

Realizar un análisis Clúster para encontrar relaciones entre parámetros morfométricos.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alea, V. (2000). Estadística con SPSS v.10.0. En M. G. Victoria Alea, *Estadística con SPSS v.10.0*. Barcelona: EDICIONS UNIVERSITAT DE BARCELONA. Obtenido de www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap2-3.htm
- Aher, P. D., Adinarayana, J., & Gorantiwar., S. D. (2013). Prioritization of watersheds using multi criteria evaluation through fuzzy analytical hierarchy process. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 15(1), 11–18.
- Anaya, O. (2012). Caracterización Morfométrica de la Cuenca Hidrográfica Chinchao, Distrito de Chinchao, Provincia Huanuco, Region Huanuco. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Retrieved from http://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas_CHARACTERIZACION_MORFOMETRICA_DE_LA_CUENCA_HIDROGRAFICA_CHINCHAO,_DISTRITO_DE_CHINCHAO,_PROVINCIA_DE_HUANUCO,.pdf
- Burbano-Girón, J., Domínguez, E., & Barón-Ruiz, O. (2016). Análisis de la relación entre variables morfométricas y biofísicas en la estimación de características probabilísticas para la oferta hídrica superficial en Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(156), 514. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.291>
- Cardona, B. L. (s.f.). *www.repositorio.usac.edu*. Obtenido de Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas.: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Cladera, M. (s.a.). *Universitat de les Illes Balears*. Obtenido de <http://www.uib.cat/depart/deaweb/personal/profesores/personalpages/magdalenaccladera/MCME/Sesion1.pdf>
- Díaz Delgado, C., Mamadou Bâ, K., Iturbe Posadas, A., Esteller, M. V., & Reyna. (1999). Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del. *Ciencia Ergo Sum*, 9.
- DOFFO, N. (2005). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del arroyo, Análisis Estadístico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 7.
- Fajardo, J. (junio de 2010). *Universidad Politécnica Salesiana UPS sede Quito*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2343/1/Tesis.pdf>
- Gaspari, F. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*, 16. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the geological society of America*.
- Juan Carlos Correa, N. G. (2002). *cran.r-project.org*. Obtenido de <https://cran.r-project.org/doc/contrib/grafi3.pdf>

- Lara, G., Aluviones, P. O. R., Estudio, C. D. E., Del, C., Agua, D. E. L., & Juan, S. A. N. (2016). Morfometría de cuencas como base en la evaluación de la susceptibilidad / peligrosidad por aluviones , caso de ..., 73(October 2017), 513–519.
- Margarita, M. G. (2012). *Universidad Politécnica Salesiana Ecuador*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3680/1/UPS-CT002575.pdf>
- Muñoz, D. R. (2000). Manual de estadística. En D. R. Muñoz, *Manual de estadística*.
- Olivares, J. P. (2002). Análisis exploratorio y análisis confirmatorio de datos. *Espacio Abierto*, 118.
- Puyol, A. F. (2006). Universidad Autónoma Metropolitana. En *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial* (pág. 38). México.
- Racca, J. (2007). Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, 8.
- Rahaman, S. A., Ajeez, S. A., Aruchamy, S., & Jegankumar, R. (2015). Prioritization of Sub Watershed Based on Morphometric Characteristics Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process and Geographical Information System – A Study of Kallar Watershed, Tamil Nadu. *Aquatic Procedia*, 4(Icwrcoe), 1322–1330. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.172>
- Reyes, A., Barroso, F., & Carvajal, Y. (2010). Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrograficas. Calí. Colombia.
- Sarria, J. T. (s.f.). Calculo de parámetros morfométricos y propuesta de ordenación agroforestal en la subcuena el Cacao provincia Ciudad de la Habana. *Calculo de parámetros morfométricos y propuesta de ordenación agroforestal en la subcuena el Cacao provincia Ciudad de la Habana*. Habana, Cuba.
- UNSL. (30 de 08 de 2009). *UNSL*. Obtenido de <http://geologia.unsl.edu.ar/materias/geomorfologia/teorias/20xx/MORFOMETRIA.pdf>
- Upegui, J. J. (2010). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. *bdigital*.
- Valencia, J. A. (2008). Fundamentos de Inferencia Estadística. En J. A. Valencia, *Fundamentos de Inferencia Estadística*. Pontificia Universidad Javeriana.



**PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL**

Yo, **Francisco Xavier Bravo Buri** portador de la cédula de ciudadanía N° 0106845563. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Determinación de un tiempo de concentración teórico a partir de la morfometría de la cuenca hidrográfica del río Jubones”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 30 de julio de 2019


F:
Francisco Xavier Bravo Buri
C.I. 0106845563