



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**RELACIÓN DE LA RED DE DRENAJE Y LA EVOLUCIÓN
HIPSOMÉTRICA CON LAS CARACTERÍSTICAS
MORFOMÉTRICAS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL**

AUTOR:

**KARLA PATRICIA RISCO CEDEÑO
HAYDEE PATRICIA VERA PALMA**

TUTOR:

ING. JOFFRE ANDRADE CANDELL

CALCETA, OCTUBRE DE 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

RISCO CEDEÑO KARLA PATRICIA, con cédula de ciudadanía **0941300238** y **VERA PALMA HAYDEE PATRICIA**, con cédula de ciudadanía **1314649169** declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **RELACIÓN DE LA RED DE DRENAJE Y LA EVOLUCIÓN HIPSOMÉTRICA CON LAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnico Agropecuario de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autores sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



KARLA P. RISCO CEDEÑO

CC: 0941300238

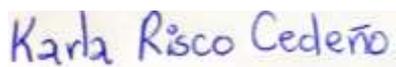


HAYDEE P. VERA PALMA

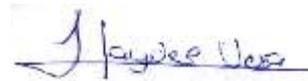
CC: 1314649169

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

RISCO CEDEÑO KARLA PATRICIA, con cédula de ciudadanía **0941300238** y **VERA PALMA HAYDEE PATRICIA**, con cédula de ciudadanía **1314649169**, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación del trabajo de integración curricular titulado: **RELACIÓN DE LA RED DE DRENAJE Y LA EVOLUCIÓN HIPSOMÉTRICA CON LAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



KARLA P. RISCO CEDEÑO
CC: 0941300238



HAYDEE P. VERA PALMA
CC: 1314649169

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

M. Sc., JOFFRE ANDRADE CANDELL, certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular Titulado: **RELACIÓN DE LA RED DE DRENAJE Y LA EVOLUCIÓN HIPSOMÉTRICA CON LAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL**, que ha sido desarrollado por **RISCO CEDEÑO KARLA PATRICIA** y **VERA PALMA HAYDEE PATRICIA**, previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. JOFFRE ANDRADE CANDELL, M. Sc.

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de Integración Curricular Titulado: **RELACIÓN DE LA RED DE DRENAJE Y LA EVOLUCIÓN HIPSOMÉTRICA CON LAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL**, que ha sido desarrollado por **RISCO CEDEÑO KARLA PATRICIA** y **VERA PALMA HAYDEE PATRICIA**, previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. JOSÉ M. PINCAY CALDERÓN, M. Sc.

CC:2300121833

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ING. KEVIN A. PATIÑO ALONZO, M. Sc.

CC:1313231118

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

**ING. CARLOS SOLÓRZANO
SOLÓRZANO, M. Sc.**

CC:1306071984

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darnos la oportunidad de estar en este mundo. Él es quién nos ha guiado y dado la fortaleza suficiente para salir adelante.

A nuestros padres que han sido nuestro pilar fundamental en estos cinco años de estudios, por sus palabras de motivación confianza y brindarnos el tiempo necesario para realizarnos profesionalmente. Todo sin esperar nada a cambio compartieron alegrías, tristezas, amor y cariño durante esta etapa de estudio a nuestro lado apoyándonos para lograr que nuestro sueño se haga realidad.

Agradecimientos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí MFL. Carrera de Ingeniería Ambiental por habernos abierto las puertas de su respetable institución, gracias a todas las personas que fueron parte de este crecimiento, ya sea de manera directa e indirecta, fueron ustedes responsables de sembrar conocimiento y se ve reflejado en la culminación de nuestro paso por la universidad.

Cómo no agradecerle a nuestro tutor, Mg. Joffre Andrade Candel por su gentil labor brindándonos los conocimientos para llevar a cabo nuestro proyecto de tesis, gracias por la paciencia y dedicación desde el primer día.

A los profesores que nos impartieron sus conocimientos en cada una de sus clases, guiarnos por el buen camino, impulsarnos por a cada día ser mejores profesionales.

De igual manera agradecer al tribunal de la tesis por guiarnos en este proceso de investigación, por sus consejos que nos han ayudado a formarnos como investigador.

LAS AUTORAS

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño a mis padres y a mi amado hermano Jean Carlos.

Como no a Dios, por haberme dado la oportunidad de vivir, experimentar, y haber culminado esta etapa universitaria.

El amor, paciencia, y esfuerzo que mis padres Brasilia Cedeño y Carlos Risco me dedicaron para que yo culmine mis estudios, es simplemente único y reflejado en mi vida. Les agradezco de todo corazón ya que confiaron y creyeron en mí, gracias por sus consejos y por cada una de sus palabras que guiaron durante mi vida. A mi mamá que siempre estuvo pendiente de todos mis pasos durante esta fase de la tesis.

Gracias a mi Tía Lilia que me dio la bienvenida a su hogar para que comenzara con unos de mis proyectos de vida como fue la universidad y haberme aconsejado y ser como una mamá.

Gracias a mi familia que de una u otra manera fueron parte de mi crecimiento estudiantil. Le agradezco a la familia Vera por el apoyo durante todo el tiempo que viví con ellos y que me hicieron sentir como en casa.

KARLA P. RISCO CEDEÑO

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico con todo mi amor y cariño a mi madre por su amor, sacrificio y paciencia en toda mi formación profesional. Gracias por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad. A mis hermanas, que de una u otra forma han estado presente en este proceso con palabras de apoyo, amor y solidaridad. Muchos de mis logros se los debo a ustedes.

A mi abuelo Héctor y abuela Segunda, que Dios los tenga en su santa gloria y ahora son ángeles, sé que están muy orgullosos de su nieta y sé que donde estén siempre me bendicen.

A mi compañero de vida quien ha sido un pilar fundamental; gracias por todo el amor y la inspiración que generas en mí para ser una mejor persona. Tus consejos y la ayuda que me has brindado han sido incomparables.

HAYDEE P. VERA PALMA

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
CONTENIDO GENERAL.....	ix
CONTENIDO DE TABLAS, FIGURAS Y FÓRMULAS	xi
RESÚMEN	xiii
PALABRAS CLAVES	xiii
ABSTRACT	xiv
KEYWORDS	xiv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. HIPÓTESIS, PREMISAS Y/O IDEAS A DEFENDER	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	5
2.1.1. DELIMITACIÓN DE UNA CUENCA.....	5
2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS	7
2.2. CICLO HIDROLÓGICO	8
2.2.1. PROCESOS HIDROLÓGICOS.....	8
2.3. MORFOMETRÍA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	8
2.3.1. PARÁMETROS DE FORMAS	9
2.3.2. PARÁMETROS DE RELIEVE.....	12
2.3.3. PARÁMETROS DE DRENAJE	13
2.3.4. MORFOLOGÍA DE LAS CUENCAS	15
2.3.5. SECCIONES TRANSVERSALES.....	15

2.4. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	16
• ArcGIS.....	16
2.4.1 EROSIÓN HÍDRICA	16
2.4.2. FACTORES Y MECANISMOS DE LA EROSIÓN.....	18
2.4.3. IMPORTANCIA DE SU ESTUDIO	19
2.4.4. CURVA HIPSOMÉTRICA.....	20
2.5. IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN HÍDRICA DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.....	21
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	22
3.1. UBICACIÓN	22
3.2. DURACIÓN	22
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	22
3.3.1. MÉTODOS	22
3.3.2. TÉCNICAS	23
3.4. VARIABLES EN ESTUDIO	23
3.4.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....	23
3.4.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	23
3.5. PROCEDIMIENTO.....	24
3.5.1. FASE I. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA HIDROLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL	24
3.5.2. FASE II. DETERMINACIÓN DE LA RED DE DRENAJE DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL.....	26
3.5.3. FASE III. IDENTIFICACIÓN DE LA CURVA HIPSOMÉTRICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE EROSIÓN DE LA CUENCA	28
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	29
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA HIDROLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL PARA EL ANÁLISIS DE LAS DIRECCIONES DE FLUJO Y LAS CELDAS DRENANTES ACUMULADAS.	
30	
4.2 DETERMINAR LA RED DE DRENAJE DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LA RED Y SU LONGITUD.....	40

4.3 IDENTIFICAR LA CURVA HIPSOMÉTRICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE EROSIÓN DE LA CUENCA.....	42
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
5.1 CONCLUSIONES.....	48
5.2 RECOMENDACIONES.....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	49

CONTENIDO DE TABLAS, FIGURAS Y FÓRMULAS

TABLAS

Tabla 2.1. Características de la cuenca de acuerdo con el valor k_c	12
Tabla 2.2. Parámetros de relieve.....	13
Tabla 4.1. Parámetros de superficie de la subcuenca del río Carrizal.....	43
Tabla 4.2. Clasificación geométrica de la cuenca según el coeficiente de compacidad.....	43
Tabla 4.3. Datos del estadístico ITB.....	46

FIGURAS

Figura 2.1. DEM cuenca río Guatiquia.....	6
Figura 2.2. DEM y red de drenaje Cuenca río Guatiquia.....	7
Figura 2.3. Distribución espacio-temporal del factor R, siendo R el factor de erosividad por la lluvia.	18
Figura 2.4. Clasificación de los ríos según su curva hipsométrica.....	20
Figura 3.1. Área de estudio.....	22
Figura 3.2. Representación direccional del modelo D8.....	25
Figura 4.1. Mapa de Modelo de Elevación Digital (MED).....	30
Figura 4.2. Capa de sumideros del MED.....	31
Figura 4.3. Capa de direcciones de drenaje (DD).....	32
Figura 4.4. Capa de celdas drenantes (CDA).....	33
Figura 4.5. Capa de pendiente del terreno (PEN).....	34
Figura 4.6. Histograma de pendientes del terreno.....	35

Figura 4.7. Capa índice topográfico de Beven (ITB)	36
Figura 4.8. Capa índice topográfico de Beven (ITB)	37
Figura 4.9. Vectorial de la cuenca (obtenida con el raster)	38
Figura 4.10. Recortes de las capas básicas con la calculadora de QGIS (CDA, ITB y PEN)	39
Figura 4.11. Capa de red de drenaje rasterizada	40
Figura 4.12. Red de drenaje de la cuenca	41
Figura 4.13. Cauce principal de la cuenca	42
Figura 4.14. Curva hipsométrica de la subcuenca del río Carrizal	45
Figura 4.15. Gráfica de área vs ITB por intervalo.....	47

FÓRMULAS

Ecuación 2.1. Índice de forma	10
Ecuación 2.2. Coeficiente de Gravelius	10
Ecuación 2.3. Razón de elongación	11
Ecuación 2.4. Densidad de drenaje	13
Ecuación 2.5. Relación de bifurcación.....	14
Ecuación 2.6. Coeficiente de torrencialidad.....	15

RESUMEN

A nivel mundial las dependencias que mantienen las poblaciones con relación al agua se enfocan principalmente en el desarrollo, conocimiento y cuidado de este recurso. La presente investigación se enmarca como una contribución al conocimiento local para lograr tomar decisiones en los temas de ordenamiento territorial, control de inundaciones, protección civil, infraestructura y políticas públicas, con el fin de trabajar conjuntamente en el fortalecimiento de las capacidades locales e institucionales. Para este fin se obtuvo un modelo de elevación digital (MED) de la plataforma SIGTIERRAS, el cual fue procesado en el software Q-GIS para la obtención de las capas de dirección de drenaje, celdas drenantes acumuladas e índice de Beven. Con ello se limitó la subcuenca del Carrizal y se identificó la red de drenaje para su caracterización y comparación con las características morfométricas de la cuenca y el perfil hipsométrico. El área de la cuenca se estableció en 1329,63 km² y el perímetro de 251,6 Km; se identificó como cauce principal al río Carrizal con una longitud de 80,66 Km. Según los indicadores de forma, la cuenca se categorizó como rectangular o alargada. La curva hipsométrica mostró que se trata de una cuenca vieja o sedimentaria debido a la forma convexa, es decir, que ha atravesado un largo proceso de erosión. Estos resultados dan paso a la planificación de políticas de gestión y ordenamiento del recurso agua, que, a su vez, involucra la gestión de suelos y cuidado de la cobertura vegetal.

PALABRAS CLAVES

Subcuenca del Carrizal; curva hipsométrica; características morfométricas; Q-GIS.

ABSTRACT

Worldwide, the dependencies that populations maintain in relation to water focus mainly on the development, knowledge and care of this resource. This research is framed as a contribution to local knowledge in order to make decisions on the issues of territorial planning, flood control, civil protection, infrastructure and public policies, in order to work together to strengthen local and institutional capacities. For this purpose, a digital elevation model (DEM) was obtained from the SIGTIERRAS platform, which was processed in the Q-GIS software to obtain the drainage direction layers, accumulated draining cells and Beven index. With this, the Carrizal sub-basin was limited and the drainage network was identified for its characterization and comparison with the morphometric characteristics of the basin and the hypsometric profile. The basin area was established at 1,329.63 km² and the perimeter at 251.6 km; the Carrizal River was identified as the main channel with a length of 80.66 km. According to the shape indicators, the basin was categorized as rectangular or elongated. The hypsometric curve showed that it is an old or sedimentary basin due to its convex shape, that is, it has undergone a long process of erosion. These results give way to the planning of water resource management and ordering policies, which, in turn, involves soil management and care of vegetation cover.

KEYWORDS

Carrizal sub-basin, hypsometric curve, morphometric characteristics, QGIS.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Dourojeanni et al. (2002) y Amendaño (2018) mencionan que a nivel mundial las dependencias que mantienen las poblaciones con relación al agua se enfocan principalmente en el desarrollo, conocimiento y cuidado de este recurso, por tal razón existen diversas técnicas que permiten determinar el comportamiento de la gestión del agua, ciclo hidrológico y cuencas hidrográficas.

Zhicay (2020) y Da Costa et al. (2020) mencionan que los primeros análisis de una cuenca hidrográfica los constituyen los estudios morfométricos los cuales aportan datos que servirán para la comprensión del régimen hidrológico, tales como los desbordamientos, inundaciones, erosiones y mantenimiento de la red de drenaje. Así mismo Ramírez et al. (2021) señalan que la morfometría es usada como herramienta para el análisis hídrico, ya que ayuda a establecer parámetros de evaluación del funcionamiento del sistema hidrológico de una región.

Méndez et al. (2021) explica que una cuenca hidrográfica es un pilar fundamental para el manejo explícito de los recursos hídricos y forestales, a su vez, las técnicas morfométricas e hipsométricas son de suma importancia para la conservación de las subcuencas y los recursos hídricos. Greenidge et al. (2020) señalan que las características morfométricas de una red de drenaje se basan principalmente en su determinación. De acuerdo con Trujillo et al (2020) estos estudios permiten medir y analizar cuantitativamente la estructura de un área teniendo para ello variables como curva hipsométrica, asimetría y radio de forma de la cuenca hidrográfica; con estos datos se podrá determinar la etapa de desarrollo geológico de la unidad de estudio.

En América Latina las redes de drenaje mantienen una influencia directa con la cordillera de Los Andes, dado que generan incidencias de movimientos tectónicos y cambios climáticos, influyendo directamente en el comportamiento de los cuerpos de agua, sin embargo, la aplicación de un estudio hipsométrico

permite dar respuestas ante los diferentes sucesos que se acentúan sobre los cauces y sus características (Guarín, 2017).

Galárraga (2000) y Allauca (2011) señalan que en Ecuador el territorio se divide en 31 sistemas hidrográficos, conformados por 79 cuencas hidrográficas, 72 de ellas nacen en la cordillera de Los Andes y drenan sus aguas hacia el Océano Pacífico, las cuales representan un área de 123.243 km²; y 7 hacia la Región Oriental, con un área que enmarca 131.802 km², sin embargo, se debe tomar en cuenta la superficie insular aledaña al continente que tiene un área de 1.325 km². Cabe destacar que el estudio morfológico en el territorio nacional de las cuencas se encuentra en su mayoría con escaso control, debido a la falta de compromiso de las autoridades locales, así como factores ambientales y económicos (Cure, 2012).

La provincia de Manabí es una zona con altas actividades antropogénicas cerca del cauce de los ríos a pocos metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), donde varias comunidades se encuentran vulnerables a inundaciones, por lo tanto, los estudios hipsométricos son considerables tomando como referencia al estudio exponencial que se puede realizar con las redes de drenaje que influyen en el territorio (Caicedo et al., 2021).

El río Carrizal es la principal cuenca hidrográfica del cantón Bolívar, su territorio tiene una extensión de 552 km², la cual se alimenta por varios ríos y afluentes (Chancay y Ureta, 2019). A su vez Chávez y Litardo (2019) indican que la cuenca forma parte del sistema hidrográfico Chone abarcando jurisdicciones territoriales de los cantones: Chone, Tosagua, Bolívar y Junín. Por otra parte, Ortiz et al. (2019) señalan que el río Carrizal es un recurso importante para el desarrollo de sus comunidades y representa un valor económico en actividades agrícolas, pecuarias, turísticas, domésticas, entre otras.

En base a las consideraciones planteadas se formula la siguiente pregunta:

¿Cómo se relaciona la red de drenaje y la evolución hipsométrica con las características morfométricas de la subcuenca del río Carrizal?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La subcuenca del río Carrizal muestra un desnivel altitudinal alto, lo que suministra la presencia de crecidas en temporada de lluvias, principalmente en zonas bajas (Álvarez y Medrano, 2020). Es así como la presa Sixto Durán Ballén, construida con la finalidad de solucionar las problemáticas de sequías, logra condicionar la dinámica hidro morfológica y los parámetros morfométricos, dado que su forma alargada y angosta muestra una baja tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento (Cedeño y Zambrano, 2017).

Según Felicísimo (2003) y Santos (2020) los modelos ráster se utilizan en estudios hidrológicos ambientales por su forma matricial, simplicidad y poca variabilidad continua de sus parámetros, ya que no están sujetos a la resolución de las imágenes, es por ello que desde el punto de vista técnico y metodológico se justifica el uso de esta herramienta para el tratamiento de la información.

La Constitución Política del Ecuador establece que “Los Consejos de Cuenca son órganos colegiados de carácter consultivo, liderados por la Secretaría del Agua integrados por los representantes electos de las organizaciones de usuarios, con la finalidad de participar en la formulación, planificación, evaluación y control de los recursos hídricos en la respectiva cuenca” y “Los Consejos de Cuenca también participarán las autoridades de los diferentes niveles de gobierno en el tema de su responsabilidad, así como los representantes de las Universidades o Escuelas Politécnicas” (Decreto Ejecutivo 650, 2014, Art. 25)

La presente investigación se enmarca como una contribución al conocimiento local para que logren tomar decisiones en los temas de ordenamiento territorial, control de inundaciones, protección civil, infraestructura y políticas públicas, con el fin de trabajar conjuntamente en el fortalecimiento de las capacidades locales e institucionales, lo que se justifica desde el aspecto ambiental y social.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer la relación entre el comportamiento de la red de drenaje y evolución hipsométrica con las características morfométricas de la subcuenca del río Carrizal.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el sistema hidrológico de la subcuenca del río Carrizal para el análisis de las direcciones de flujo y las celdas drenantes acumuladas.
- Determinar la red de drenaje de la subcuenca del río Carrizal para el cálculo de la densidad de la red y su longitud.
- Identificar la curva hipsométrica para la determinación del estado de erosión de la cuenca.

1.3. IDEA A DEFENDER

Con el estudio de la relación entre la red de drenaje, la evolución hipsométrica y las características morfológicas se determinará el estado de vejez de la subcuenca del río Carrizal.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS

De acuerdo con Brieva (2018) así como Gaspari et al. (2013) mencionan en términos hídricos, una cuenca hidrográfica es una unidad natural definida por las divisorias de aguas en un territorio dado, donde las aguas escurren superficialmente hacia un cuerpo de agua común (río, lago, mar), que constituye la necesidad de obtener un buen manejo dinámico de estos recursos hidrológicos. Por otra parte, Braz et al. (2020) mencionan que estas cuencas poseen subcuencas y microcuencas que se desprenden desde el cauce principal de la misma y descienden debido a la disminución de la pendiente.

Las cuencas hidrográficas son un sistema complejo y abierto a flujos, influencias y líneas de acción que cruzan sus fronteras, donde ocurre el ciclo hidrológico y cuyos elementos naturales, socioeconómicos, ambientales, políticos e institucionales son inconstantes en el tiempo (Arellano et al.,2019). Según Vázquez et al. (2016) las cuencas hidrográficas se encuentran en estrecha interrelación, es decir que pueden recibir y dar; pues ésta es sólo una parte ínfima de la tierra, considerando que no existe ningún lugar de la tierra que no pertenezca a una cuenca hidrográfica

2.1.1.DELIMITACIÓN DE UNA CUENCA

La delimitación de cuencas hidrográficas se hace indispensable para los análisis territoriales, a tal punto que son consideradas como la unidad del territorio fundamental para la planificación y el manejo de los recursos naturales (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2013). Así mismo Geraldí et al. (2010) señalan que la delimitación radica en definir la línea divisoria de aguas, la cual es una línea curva definida por las altitudes y que tiene su punto de cierre en la zona más baja de la cuenca. Por otra parte, Garay y Agüero (2018) manifiesta que la longitud de la línea divisoria es el perímetro de la cuenca y la superficie que rodea la curva es el área, dicha delimitación significa definir la zona de drenaje superficial.

Moreno y Rivas (2019) exponen un estudio basado en la realización de un análisis morfométrico de la subcuenca del río Guatiquia, mediante la delimitación de la cuenca del río Metica en Colombia, el mismo que obtuvo como resultados los parámetros morfológicos de medida de la cuenca, un amplio conocimiento de la estructura, composición y estado actual de las subcuencas involucradas.

Los autores de dicho estudio afirman que los datos de su análisis representan una aproximación a la realidad del campo de estudio, mismos que pueden ser tomados como base para la cuantificación y conservación de estos recursos naturales, considerando que las cuencas son necesarias para el sustento de vida tanto en las personas y animales como en las plantas y representan un alto potencial respecto a la prevención de desastres por inundaciones (Moreno y Rivas 2019). En la figura 2.1 se muestran los modelos digitales de la cuenca de Guatiquia para estudiar los parámetros asociados a la red de drenaje.



Figura 2.1. DEM cuenca río Guatiquia.
Fuente: Moreno y Rivas (2019)

Una investigación realizada por Cruz (2015) menciona que los resultados de este estudio son relevantes gracias al análisis realizado en los parámetros morfométricos asociados a la red de drenaje, forma y relieve de la cuenca. Lo que deduce que la subcuenca del río Guatiquia, normalmente no generaría tantos eventos torrenciales o picos máximos de caudales que puedan causar afectaciones a la población, aunque puede ser propensa a presentar desbordamientos e inundaciones debido a la falta de drenajes suficientes que permitan evacuar excesos hídricos en momentos determinados (Moreno y Rivas

2019). En la figura 2.2 se muestra la proyección de la superficie de la red de drenaje dirigida a un mismo cauce.

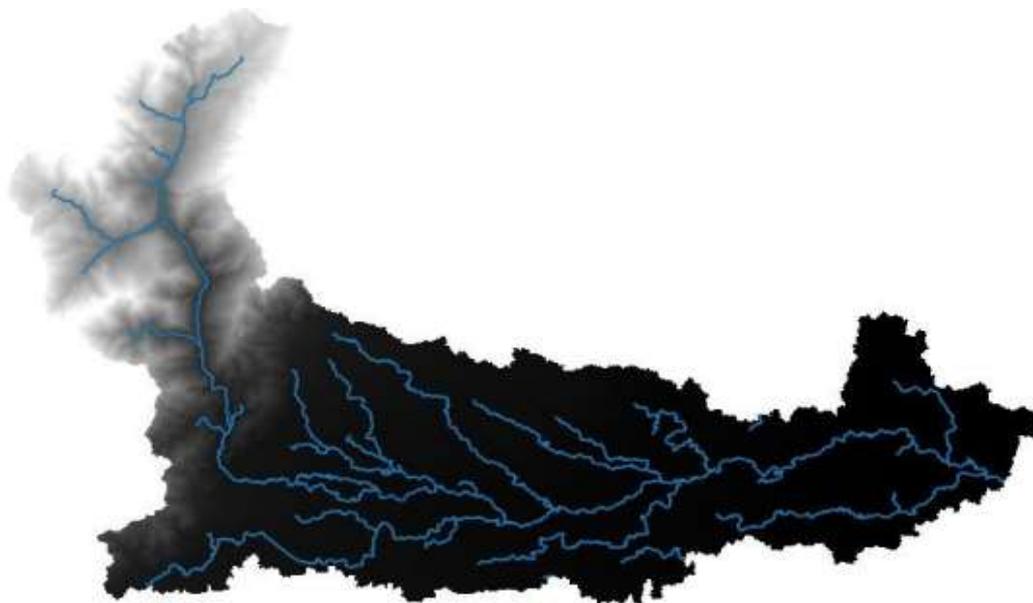


Figura 2.2. DEM y red de drenaje Cuenca río Guatiquia.
Fuente: Moreno y Rivas (2019)

De esta manera constata que la complejidad o la unicidad de las cuencas se basan en la organización espacial fundamentada en el emplazamiento tectónico de la estructura geológica, en la disposición geomorfológica del desarrollo de la red hidrográfica, en el grado de diversidad de paisajes geomorfológicos, en la diferenciación de pisos de asociaciones fitoclimáticos y en la estimación del valor de su biodiversidad (Cotler, 2010; Ortiz, 2017).

Para realizar la delimitación de una cuenca se puede trabajar de forma manual y digital con las herramientas SIG, ya que todas conducen al mismo objetivo, sin embargo, la diferencia radica en la exactitud; y es allí donde el método que se utilice y la información base, determinarán la calidad del resultado final (Garay y Agüero, 2018).

2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

De acuerdo con Gaspari (2019) las características de una cuenca se definen en partes altas, medianas y bajas, y se basan en analizar y formar los parámetros morfométricos mediante el uso de los sistemas de información geográficas, es importante recordar que también pueden caracterizarse por su morfología, por la

naturaleza del suelo, por la cobertura vegetal y uso de suelo. Por otra parte, Van et al. (2018) indica que las características de las cuencas son importantes para predecir el comportamiento hidrológico, las cuencas pueden ser de diferentes tamaños, siendo un sistema de drenaje natural que consiste en transportar agua y sedimentos.

2.2. CICLO HIDROLÓGICO

Es un movimiento general del agua, es decir se conecta con subsistemas por medio de la transferencia del agua en distintas fases donde una gran cantidad de agua en forma de vapor, líquido o hielo se mueve continuamente entre todas las áreas del sistema climático con la influencia de los lagos, aguas, océanos, río, plantas o animales que evaporan agua entregando fluido a la atmósfera (Moreno, 2018). Por otro lado, Lizárraga et al. (2019) manifiesta que es un proceso de circulación que se compone por diversos compartimentos de la hidrosfera y se encuentra dividido en ciclo interno y externo, ambos son producidos en escala de tiempos diferentes.

2.2.1. PROCESOS HIDROLÓGICOS

Para Ordoñez (2011) y Gonzáles (2018) son procesos que rigen el agotamiento y recuperación de los recursos hídricos, las causas que abarcan son evaporación, condensación, precipitación, infiltración y transpiración. Por otro lado, Rafael et al. (2022) señalan que es aspecto importante para conocer las propiedades físicas y morfológicas de la cuenca que inciden en la escala y variabilidad del medio. Así mismo, características que establecen una base cuantitativa para predecir la respuesta de la cuenca en función de algunos parámetros que pueden agruparse en tres categorías: parámetros asociados a la forma de la cuenca; parámetros relativos al relieve; y parámetros relativos al drenaje (Brieva, 2018).

2.3. MORFOMETRÍA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Según Gaspari et al. (2018) corresponden a la aplicación de procedimientos que permiten realizar estudios de la morfología y geomorfología de una cuenca

hidrográfica en valores numéricos, los cuales permiten comparar en forma exacta dicha superficie.

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella, es decir, el comportamiento de la cuenca ante la presencia de lluvias excepcionales, puede verse condicionado por sus características morfométricas, como son el tamaño, la forma y la pendiente (Esper et al., 2016; Cruz y Cheng, 2019). Sin embargo, Ramírez (2015) menciona que no se puede asegurar que la información morfométrica de una cuenca complete un conjunto de estimaciones en un solo estudio en la misma proporción.

Por otra parte, el análisis morfométrico es el estudio de un conjunto de variables lineales, superficie, relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de una cuenca, la misma que ayuda a realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo (Méndez et al., 2021).

2.3.1. PARÁMETROS DE FORMAS

La forma de una cuenca es determinante en su comportamiento hidrológico (cuencas con la misma área, pero de diferentes formas presentan diferentes respuestas hidrológicas, hidrogramas diferentes, una lámina precipitada de igual magnitud y desarrollo) (Ordoñez, 2011; Ibáñez et al., 2011).

Cabe mencionar que la forma de las cuencas ha sido analizada por medio de 3 índices los cuales son: forma, coeficiente de compacidad y razón de elongación que atienden a la interacción del área con el cauce principal que la drena, cada uno de estos índices toma una cuenca ideal como referencia, pero su análisis no contempla el relieve (García, 2017; Camino et al., 2018).

Guerra y Gonzáles (2002), así como Ibáñez et al. (2011) mencionan que el término morfometría fluvial se refiere a la medida de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial, de modo que el análisis

morfométrico de una cuenca trata de medir la erosión de los cursos de agua interpretando las características de los elementos de las redes de drenaje.

• Índice de Forma (IF)

Es un coeficiente adimensional que manifiesta como se regula la concentración del escurrimiento superficial. Se expresa como la relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud axial (Gaspari et al, 2013; Jardí, 2015). Además, se expresa cuando IF es similar a 1, representando una cuenca de forma redondeada y cuando su valor decrece, en oposición, tenderá a ser una cuenca alargada (Vera, 2015).

Ecuación 2.1. Índice de forma

$$IF = Ap / La \quad [2.1]$$

Una cuenca alargada tendrá menor probabilidad de recibir lluvias intensas y simultáneas sobre la totalidad de su superficie y, consecuentemente, estará sujeta a crecientes de menor magnitud que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor (Camino et al., 2018):

- 1 circular
- 1 alargada

• Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc)

Este parámetro es adimensional y relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca (Gaspari et al., 2013; Vera, 2015).

Ecuación 2.2. Coeficiente de Gravelius

$$Kc = 0,282 * P / \sqrt{A} \quad [2.2]$$

Este también brinda información de las fuerzas y ondas de las crecidas, permitiendo estimar el tiempo que tarda en llegar el agua desde la zona donde precipita hasta la desembocadura, y está relacionado estrechamente con el

tiempo de concentración (Cañibano y Gandini). Por lo tanto, permite evaluar cómo influyen las precipitaciones torrenciales en el escurrimiento superficial (Camino et al., 2018).

Un índice de compacidad cercano al valor 1 indica que la forma de la cuenca se asemeja a un círculo; de manera que, la peligrosidad de la cuenca a las crecidas es mayor, porque existe una equidistancia relativa de los puntos de la divisoria con respecto a uno central, cuando estos valores se acercan progresivamente hasta 1,75 las cuencas tienden a ser alargadas y los valores superiores indican cuencas irregulares y con menor peligro a las crecidas (Gaspari et al., 2018). A medida que el tiempo de concentración es mayor, la respuesta de la cuenca a determinada precipitación tenderá a ser menor y viceversa (Pimiento y Galvez, 2015).

- **Razón de elongación (Re)**

Relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la cuenca y la longitud máxima de la cuenca, este parámetro explica la relación del área con el cauce principal que la drena, la fórmula utilizada es la propuesta por Schumm (1956).

Ecuación 2.3. Razón de elongación

$$Re = (1,128 \sqrt{A}) La \quad \{ 2.3 \}$$

Este parámetro es el más utilizado, ya que guarda mayor correlación con la hidrología de la cuenca y los valores inferiores a la unidad implican cuencas de formas alargadas, en coincidencia con lo mencionado por (González de Matauco, 2004). El valor 1 de este parámetro indica cuencas redondeadas y cuanto menor a la unidad sea el índice, mayor será el alargamiento de la misma.

Tabla 2.1 Características de la cuenca de acuerdo con el valor kc.

Valores de Kc	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

Fuente: Camino et al. (2018)

2.3.2. PARÁMETROS DE RELIEVE

Este proceso se conoce como parametrización del relieve: en relación al conjunto de medidas que describen las formas topográficas permitiendo distinguir diferentes tipos de relieve (Méndez, 2016; Araya, 2018). Camino et al. (2018) involucra la tercera dimensión de una cuenca hidrográfica, es decir el conjunto de las cotas y parámetros considerados como la pendiente:

- Altura máxima de la cuenca (HM) (m). Es la cota más elevada de la cuenca.
- Altura mínima (Hm) (m). En la zona estas cotas corresponden al nivel del mar por desembocar en el Mar Argentino.
- Altura media (Hmed) (m). Promedio entre la cota máxima y mínima.
- Desnivel absoluto (d) (m). Es la diferencia entre la cota máxima y la mínima.
- Pendiente media del cauce principal (i) (%). Indicador del grado de respuesta de un cauce ante la torrencialidad de la precipitación.
- Pendiente media de la cuenca (Pend) (%). Brinda información de la velocidad de escorrentía y de las características de los hidrogramas.

Tabla 2.2 Parámetros de relieve

Pendiente (%)	Tipo de relieve
0.3	Plano
3-7	Suave
7-12	Mediano
12-35	Accidentado
35-50	Fuerte
50 - 74	Muy fuerte
>75	Escarpado

Fuente: Camino et al.(2018)

2.3.3. PARÁMETROS DE DRENAJE

Estas variables explican la configuración y el comportamiento del drenaje; así mismo aportan información de las características del sustrato y de las superficies de las cuencas, consecuentemente son parámetros relevantes para lograr una visión más exhaustiva de su comportamiento (Camino et al., 2018; CEPAL, 2013).

- **Densidad de drenaje (Dd) (km/km²)**

Parámetro que cuantifica el grado de desarrollo de un sistema hidrográfico y permite conocer su complejidad, es decir, la relación entre la longitud total (Lt) de los cursos de agua perennes, intermitentes y efímeros, de una cuenca y su propia área (A) (Horton, 1945; Azules et al., 2020). A mayor densidad de drenaje, el tiempo de escorrentía es menor, por lo cual se considera como otro indicador de peligrosidad.

Ecuación 2.4. Densidad de drenaje

$$Dd = Lt / A \quad [2.4]$$

Mirassou (2009) menciona que las precipitaciones y la topografía condicionan la red de drenaje; en cuencas planas y de alta densidad de drenaje, se espera estabilidad de regímenes de caudales, debido al escurrimiento superficial y al aporte de aguas subterráneas. Este parámetro brinda información de la eficiencia del drenaje.

- **Extensión media de escorrentía (EME) (km)**

Se la puede definir como “la distancia media” que el agua tendría que recorrer sobre el terreno en el caso de que el escurrimiento ocurriera en línea recta desde el lugar en que el agua precipita hasta el punto más próximo de un curso cualquiera de esa cuenca y por el cual se encauza.

- **Orden de la cuenca (O) (N°)**

Es aquel número que expresa el grado de ramificación de un sistema hidrográfico.

- **Relación de bifurcación (Rb)**

Es el cociente entre el número total de cauces de un orden dado ($Nr(n)$) y el número total de cursos del orden inmediato superior ($Nr(n+1)$).

Ecuación 2.5. Relación de bifurcación

$$Rb = Nr(n) / Nr(n+1) \quad [2.5]$$

Si la litología en una cuenca es homogénea, la relación de bifurcación rara vez es mayor de 5 o menor de 3; si la cuenca es muy elongada, con una alternancia de afloramientos contrastantes en sus características litológicas, pueden obtenerse valores mayores a 10.

- Cuenca homogénea; $3 \leq Rb \leq 5$
- Cuenca muy elongada; $Rb > 10$

Esta variable es importante para describir el comportamiento del sistema fluvial, interpreta los valores de Rb en cuanto a su torrencialidad; asocia valores bajos con cuencas bien drenadas pero que pueden generar crecidas más violentas que aquellas que poseen un Rb alto.

- **Coefficiente de torrencialidad (Ct)**

Se debe multiplicar la densidad de drenaje por el número de orden 1. Es un indicador del factor K y el contenido de descarga de una cuenca, se establece

de la relación entre el número total de cursos de primer orden (N_{c1}) y el área total de la cuenca, la torrencialidad de la cuenca será mayor (Camino et ál., 2018)

Por otro lado, Guzmán et al. (2021) y Varela (2022) señalan que es coeficiente indicador de la erodabilidad lineal y la capacidad de descarga de una cuenca, debido a que los cursos de primer orden son de génesis erosiva, es decir, los altos valores indican una elevada susceptibilidad a la erosión, en menos tiempo de llegada al pico y alta torrencialidad.

Este parámetro también permite interpretar el comportamiento del flujo de agua en la cuenca (Escobar, 2019).

Ecuación 2.6. Coeficiente de torrencialidad

$$C_t = N_{c1} / A \quad [2.6]$$

2.3.4. MORFOLOGÍA DE LAS CUENCAS

Una cuenca hidrográfica es “toda el área o superficie del terreno que aporta sus aguas de esorrentía a un mismo punto de desagüe o punto de cierre” (Ibáñez et al., 2011). Es decir que, la morfología de los canales fluviales naturales es dependiente de la relación entre el flujo y los materiales erosionables en el límite del canal. Por su lado, el río está sometido a 2 fuerzas primordiales: la gravedad y la pendiente del canal, mientras tanto que la fricción se opone al movimiento del agua (Albarracín et al., 2020).

2.3.5. SECCIONES TRANSVERSALES

Según Sandoval et al. (2019) y Velázquez et al. (2019) las secciones transversales son líneas de niveles o perfiles cortos que se realizan de forma perpendicular al eje del proyecto, proporcionando la información necesaria para la estimación de los volúmenes de movimientos de tierras, para aquellos existen dos tipos generales de secciones transversales tanto para proyectos de vías terrestres (carreteras) y para bancos de materiales.

2.4. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

De acuerdo con Loaiza (2016); Pérez et al. (2019) es un conjunto de información con herramientas informáticas, es decir, con programas informáticos o software, que permite a los usuarios crear consultas interactivas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier tipo de información geográfica referenciada y asociada a un territorio, conectando mapas con base de datos.

El método más utilizado para la creación de datos es la digitalización, donde a partir de un mapa impreso o con información tomada en campo, se transfiere a un medio digital por el empleo de un programa de Diseño Asistido por Ordenador (DAO o CAD) con capacidades de georreferenciación, siendo ArcGIS el más utilizado (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

- **ARCGIS**

Según SIGSA (2021) ArcGIS es una plataforma de representación cartográfica que proporciona herramientas contextuales para el mapeo y razonamiento espacial, este sistema se ejecuta en su propia infraestructura, así mismo, ofrece diversas funciones para aplicar analíticas basadas en la ubicación a sus prácticas:

- **Captura y gestión de datos:** Captura, escala, almacena, accede y comparte datos de manera eficiente, segura y fácil. Puede integrar los datos almacenados con el sistema comercial del usuario y hace que cualquier dato de cualquier fuente sea geográficamente válido.
- **Representación Cartográfica:** Los mapas ayudan a descubrir patrones espaciales en sus datos y permiten tomar mejores decisiones y actuar. Los mapas también eliminan barreras y facilitan la colaboración. Con ArcGIS se puede crear, usar y compartir mapas en cualquier dispositivo.

2.4.1 EROSIÓN HÍDRICA

Colque (2021) manifiesta que la erosión es el proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo por los agentes naturales y antrópicos, conjuntamente, la erosión hídrica es el resultado de la energía

producida por el agua al precipitarse sobre la tierra y fluir sobre la superficie de los terrenos. Por otro lado, Huerta y Loli (2014) menciona que la erosión hídrica depende principalmente de factores y de sus interrelaciones, como a) cantidad e intensidad de las precipitaciones; b) propiedades intrínsecas de los suelos; y c) inclinación y área del terreno, vegetación y aplicación de medidas preventivas para la conservación del suelo.

La erosión hídrica es uno de los fenómenos más significativos de degradación del suelo a nivel mundial, provocando serios impactos ecológicos y elevados costos económicos (Nájera et al., 2016). A través de sus efectos sobre la producción agrícola, la infraestructura y la calidad del agua que, a su vez, afectan la calidad de la población, puede llegar a amenazar la seguridad alimentaria y representar un serio problema para el desarrollo sustentable (Sequeira, 2019).

Este representa un proceso sumamente complejo de analizar y ha sido estudiado con diferentes metodologías y modelos desde 1950 hasta hoy, como la Universal Soil Loss Equation (USLE), o el Chemical Runoff Erosion from Agricultural Management Systems (CREAMS), aplicados principalmente en terrenos agrícolas para analizar la erosión laminar; no obstante, éstos no se pueden aplicar sobre superficies sin suelo.

Un estudio realizado en México recalcó que el mapa nacional de erosión potencial de México establece más de 64% del territorio mexicano en este rango. Al calcularse las tasas de erosión con el método USLE en esta misma cuenca, con valores medios para cada atributo, que establecen sobre la formación Yanhuitlán, los valores máximos de erosión eran superiores a $250 \text{ Mj mm ha}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (Fernández et al., 2018).

Otro estudio realizado en La Cuenca del Cañón del Sumidero que se localiza en la depresión central del estado de Chiapas, México, con metodologías para la aplicación de la USLE/RUSLE, dio como resultado que el índice de erosividad de la lluvia anual oscila de $3334 \text{ Mj mm ha}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ a $15964 \text{ Mj mm ha}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

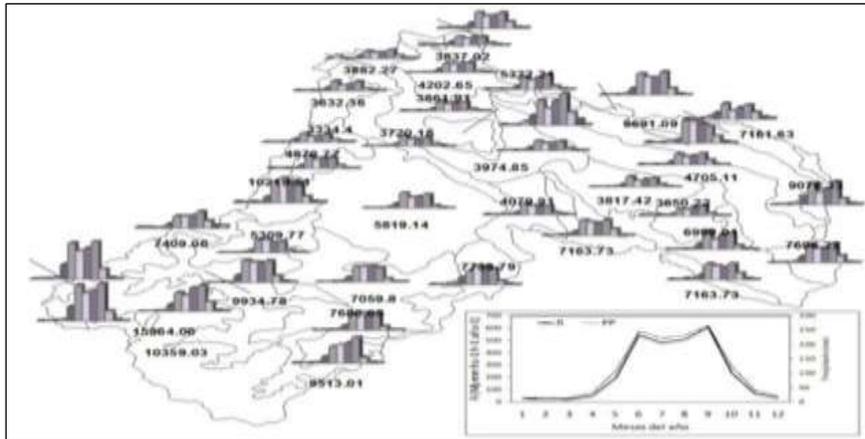


Figura 2.3. Distribución espacio-temporal del factor R, siendo R el factor de erosividad por la lluvia.
Fuente: Torres et ál (2020).

En la figura superior se muestran los valores medios mensuales y anuales de R, siendo a partir de mayo cuando el potencial erosivo de la lluvia aumenta, alcanzando en este mes valores de $193 \text{ Mj mm ha}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, para septiembre se presenta el potencial erosivo de $607 \text{ Mj mm ha}^{-1} \text{ ha}^{-1}$. Según los resultados de este estudio, la cuenca del Cañón del Sumidero es más sensible a la erosión por sus condiciones edáficas y topográficas en las partes altas, donde se tienen los mayores intervalos de pendiente y suelos someros y poco desarrollados, los intervalos de susceptibilidad a la erosión de la cuenca van de $0,0001$ a $0,08 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ Mj mm}^{-1}$ (Torres et al., 2020).

2.4.2. FACTORES Y MECANISMOS DE LA EROSIÓN

Son diversos los factores que determinan la tasa de erosión, entre ellos se encuentran: la precipitación, la cobertura vegetal, la topografía y las propiedades del suelo, lluvia, escorrentía, viento, suelo y pendiente (Jaya, 2023). Sin embargo, los factores que determinan mayormente la pérdida del suelo son la intensidad y la duración de la lluvia, la distribución del tamaño de las partículas del suelo y las propiedades (textura y estructura superficial), así como la forma de la pendiente (Colque, 2021).

- **La lluvia**

La lluvia es el agente activo en la degradación de los suelos por erosión hídrica, pues el impacto ejercido por sus gotas causa la dislocación de los materiales orgánicos y minerales del suelo originando la erosión por salpique; de seguida, una vez alcanzada la máxima infiltración de agua en el suelo, las partículas disgregadas son transportadas por la lámina de agua superficial, produciendo la erosión por arrastre (Colotti, 1999).

Para Camargo et al. (2017) los efectos interactivos de estos factores determinan la magnitud y la tasa de erosión del suelo. Cuanto mayor sea la capacidad de transporte del escurrimiento bajo una intensa lluvia, ello resultará en una mayor tasa de pérdida de suelo y vegetación por la erosión.

Es así como la escorrentía superficial se considera otro de los principales factores de erosión, y está relacionada con la precipitación y los asociados con la cuenca hidrográfica.

2.4.3. IMPORTANCIA DE SU ESTUDIO

Zuleica et ál. (2020) destaca que los estudios realizados sobre la erosión hídrica son de gran relevancia para analizar la incidencia de los procesos erosivos de los suelos productivos que comprometen la sustentabilidad ecológica y también social del territorio, además de evaluar el riesgo de erosión, predecir tasas de pérdida y establecer diferentes estrategias o medidas de prevención, mantenimiento, defensa o recuperación del recurso hídrico.

En concreto, la erosión hídrica se está reconociendo ahora como una amenaza grave para la seguridad y la estabilidad socioeconómica, por ello, proporcionar información a los políticos en funciones y a los responsables del manejo de las cuencas acerca de los procesos de erosión y sus consecuencias con base en una evaluación fiable de vulnerabilidad y niveles de riesgo, es un paso necesario para su prevención y control (Camargo et ál., 2017).

2.4.4. CURVA HIPSOMÉTRICA

Guerra y Gonzáles (2002) señalan que la curva hipsométrica es una distribución del área de acuerdo con la elevación, es decir, una representación bidimensional, que grafica en el eje vertical la elevación y en el eje horizontal el porcentaje del área sobre cada curva de nivel, en términos del área total. Por otro lado, De La Cruz (2022) indica que la curva hipsométrica puede modificarse en función de la altura relativa y ello permite estimar el estado de equilibrio dinámico potencial de la cuenca, bajo la hipótesis de que esta función relaciona altitud con área, por lo tanto, cambia con el tiempo a medida que la cuenca sufre desnudación. No obstante, algunos autores atribuyen las diversas formas de la curva hipsométrica a actividades no necesariamente relacionadas con la edad de la cuenca.

Consortio Pomca Quindio (2018) destaca que, para construir la curva se lleva a escalas convenientes la elevación dada en las ordenadas y la superficie de la cuenca en las abscisas. Se denomina elevación mediana de una cuenca a aquella que determina la cota de la curva de nivel que divide la cuenca en dos zonas de igual área. Así mismo Ibáñez (2011) menciona que la función hipsométrica es una forma conveniente de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su área. Las curvas hipsométricas también son asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas, tal como se observa en la siguiente ilustración.

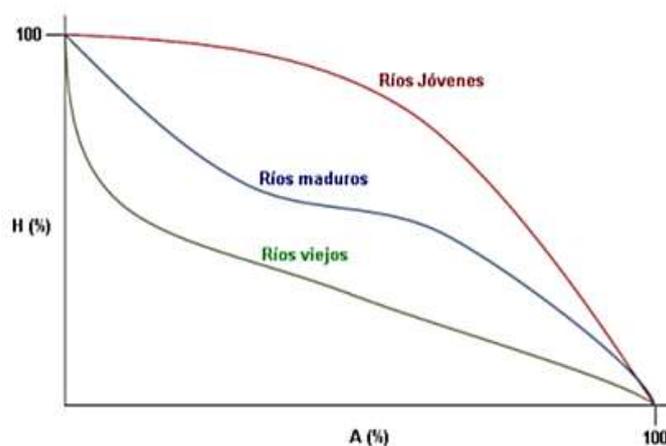


Figura 2.4 Clasificación de los ríos según su curva hipsométrica.

Fuente: Porres (2018)

2.5. IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN HÍDRICA DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA

Peña (2004) señala que las cuencas hidrográficas brindan múltiples e importantes servicios relacionados con el agua, desde los servicios directos de provisión de bienes o productos, hasta la provisión de servicios indirectos tales como los de regulación de hábitat y servicios relacionados con el ecoturismo. Por otra parte, Martínez y Villalejo (2018) mencionan que la gestión hídrica es un concepto basado en la idea de que los diferentes usos del recurso son excluyentes e interdependientes y surgió como respuesta a la «crisis del agua» expresada en la presión insostenible sobre las cuencas, debida a la creciente demanda de agua, la contaminación y el crecimiento demográfico.

Para Dourojeanni et al. (2002), así como Escenarios Hídricos (2021) la posibilidad de abordar la gestión hídrica de forma sustentable es tener que considerar todo el ciclo natural del agua, que en gran medida se desarrolla en la cuenca hidrográfica. Así mismo, Sánchez y Reyes (2015) señalan que esta gestión debe tener en cuenta las distintas dimensiones de la actividad humana, así como las necesidades de adaptación y mitigación del cambio climático.

Es por ello que se considera a la cuenca hidrográfica como la unidad donde se logran distinguir y calcular los efectos de las acciones en el ciclo del agua, y donde se puede mantener un mejor control de dichas intervenciones (Burgos, 2022).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La presente investigación se realizó en la subcuenca del río Carrizal misma que está comprendida en un área aproximadamente de 1347,05 m² perteneciente a la provincia de Manabí, específicamente en el extremo oriental con un clima seco que comprende una temperatura de 25°C.

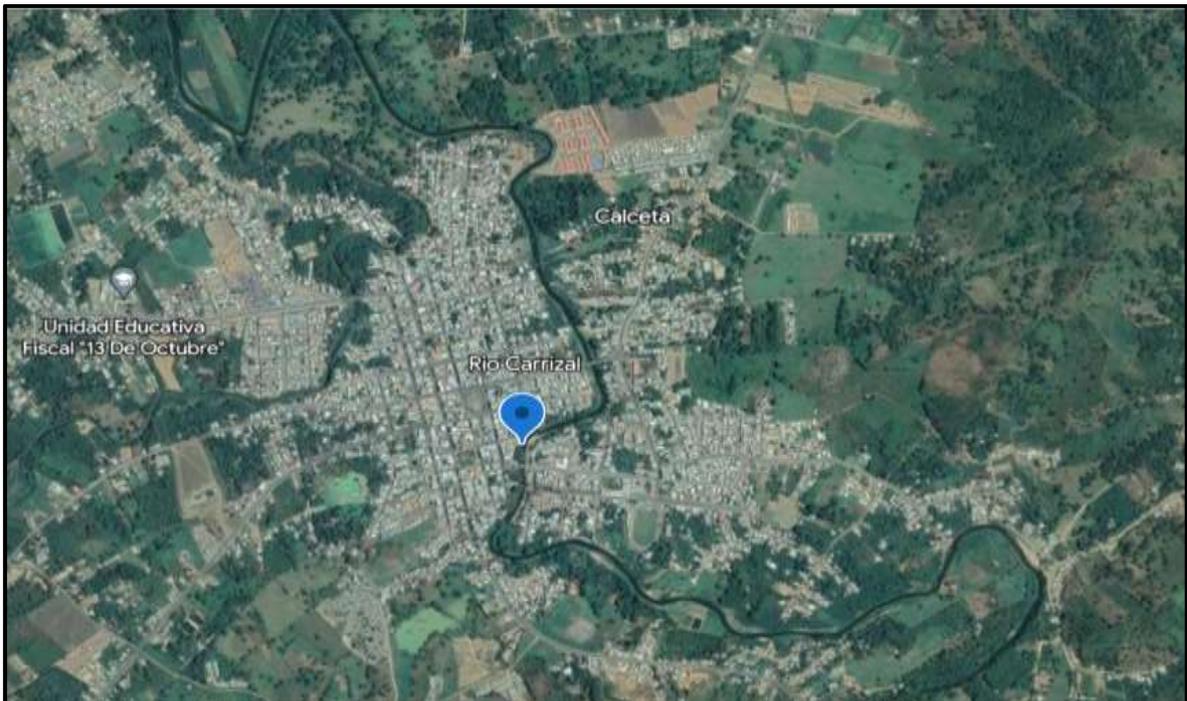


Figura 3.1 Área de estudio.
Fuente Google Maps (2022)

3.2. DURACIÓN

La presente investigación tuvo una duración de 1 año, a partir de la aprobación de planificación del trabajo de integración curricular.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1. MÉTODOS

Los métodos que se aplicaron fueron cuantitativos (no experimental) y deductivos.

3.3.1.1. CUANTITATIVO: Cook (1979); Cadena et al. (2017) mencionan que este método produce datos, este se utilizó en la recopilación de información para su posterior análisis y así se determinó el comportamiento de la red de drenaje la cual sirvió como información basada en análisis científico.

3.3.1.2. DEDUCTIVO: Según Diéguez (2020); Sánchez et al. (2017) es aquel que produce ciencia a partir del planteamiento de hipótesis y predicciones que pueden o no cumplirse. Se empleó en el planteamiento de la hipótesis a partir de un supuesto que luego fue comprobado y desde el cual se alcanzaron a realizar modificaciones, además valió para deducir las conclusiones lógicas a partir de principios que sirvieron como fundamento científico.

3.3.2. TÉCNICAS

Las técnicas que se realizaron para la recolección de información fueron los sistemas de información geográfica y geoespacial.

3.3.2.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: Para Felicísimo (2003); García (2021) los SIG son un conjunto de herramientas que tienen la capacidad de analizar información referenciada geográficamente. Estos se representaron como una tecnología para la resolución de los problemas territoriales que suscitan en la subcuenca del río Carrizal, aportando con nuevos procesos de información para el ordenamiento del buen manejo de recursos hídricos (Mirassou, 2009).

3.4. VARIABLES EN ESTUDIO

3.4.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Red de drenaje y la evolución hipsométrica.

3.4.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Características morfométricas.

3.5. PROCEDIMIENTO

3.5.1. FASE I. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA HIDROLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL

Para el cumplimiento de los objetivos planteados se dispusieron una serie de actividades que se describen a continuación:

ACTIVIDAD 1: OBTENCIÓN DEL MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL (MED)

El modelo de elevación digital es una imagen superficial continua en un modelo ráster en formato TIFF que contiene datos de las alturas del terreno y se puede obtener a partir de las fotografías aéreas, en el Ecuador una de las instituciones que tiene esa información es SIGTIERRAS. Se realizaron los procedimientos planteados en la plataforma del MAG, se requirieron imágenes de 4 m disponibles para la región Costa con una precisión altimétrica de 1,5 m (Mancero et al., 2015).

ACTIVIDAD 2: ELIMINACIÓN DE SUMIDEROS

Para ello fue utilizado un sistema de información geográfica en el cual fueron creados nuevos proyectos cargando la información básica que será el MED, se verificó que el sistema de referencia por coordenadas (SRC) corresponda a Ecuador (WGS84, Proyección. UTM, Zona 17S). Según Cánovas (2017) antes de realizar cualquier análisis a estos datos, fue necesario manipular la imagen utilizando un potente algoritmo (r.fill.dir) para la identificación y eliminación de sumideros, de toda la información de salida que ofrece esta herramienta la que interesa es específicamente el MED sin depresiones.

Para la confirmación del algoritmo y evaluación del área corregida, se utilizó una resta entre el MED original y corregido, esta información se presentó en imágenes y se realizaron histogramas de los datos.

ACTIVIDAD 3: OBTENCIÓN DE CAPAS BÁSICAS: DD, CDA, PEN E ITB

Para la obtención de los mapas básicos del análisis hidrológico se pusieron en prácticas las siguientes capas según lo mencionado por Baroja et al. (2020):

Para la extracción de las capas de direcciones de drenaje (DD), celdas drenantes acumuladas (CDA) e índice topográfico de Beven (ITB) a partir del MED corregido se empleó un algoritmo del SIG (r.watershed). Por otro lado, Ríos (2018) en cuanto al parámetro: extensión mínima de terreno vertiente a las cabeceras de la red se partirá del supuesto que a partir de 1 km² de acumulación de agua se convierte en cauce, la longitud máxima del flujo en superficie es de 1600 m, además el factor de convergencia para el algoritmo de cálculo de las direcciones de flujo será de 10 correspondiente a un modelo D8.

El modelo D8 que fue empleado en el cálculo de la dirección de drenaje asigna un valor entre 1 y 8 a cada celda adyacente en función de la dirección del flujo. Las celdas adyacentes se enumeran desde la Fila $i-1$ Columna $j+1$ girando en dirección anti horaria hasta la Fila i Columna $j+1$ de la siguiente forma: 1 (drenaje a la celda NE), 2 (drenaje a la celda N), 3 (drenaje a celda NO), 4 (drenaje a la celda O), 5 (drenaje a celda SO), 6 (drenaje a celda S), 7 (drenaje a celda SE) y 8 (drenaje de celda E).

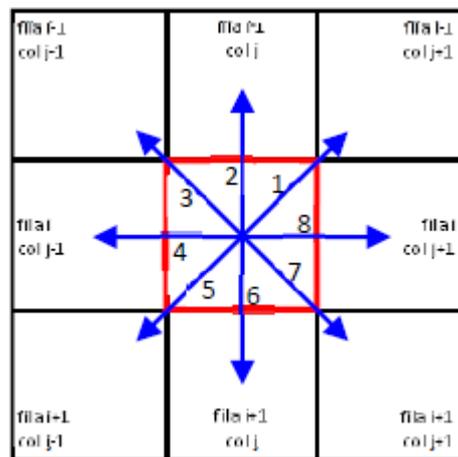


Figura 3.2. Representación direccional del modelo D8.

Las 8 posibles direcciones del flujo están representadas en colores elegidos por los autores de este documento, siendo la dirección de celda 8 de color marrón, pasando por el color naranja para las celdas que tienen dirección de drenaje sur, y los píxeles verdes representan flujos en dirección noreste con numeración 1.

Para obtener el mapa de pendientes del terreno se utilizó la herramienta de procesamiento ráster de análisis, la cual requiere como datos de entrada el MED a analizar, seguidamente se activaron las opciones de procesado de los límites de la región y el resultado se obtuvo en porcentaje.

ACTIVIDAD 4: IDENTIFICACIÓN DEL DESAGÜE

De acuerdo con Barbosa (2011) la ubicación del punto de desagüe de la cuenca indica la topología de la red, por ello a partir del mapa CDA se determinó la ubicación en coordenadas UTM de este punto, complementario a esto se visitó el lugar de confluencia entre el río Carrizal y el río Chone para comprobar dicho dato.

ACTIVIDAD 5: IDENTIFICACIÓN DE LA CUENCA VERTIENTE

González (2015) menciona que para la identificación de la cuenca vertiente se utiliza el algoritmo (r.water.outlet), para ello se requiere como información de entrada el mapa DD y las coordenadas del punto de desagüe obtenidas en la actividad anterior, teniendo como resultado un fichero booleano y los datos estadísticos del área de estudio, transformando la información de ráster a vectorial.

ACTIVIDAD 6: RECORTE DE CAPAS BÁSICAS A LA CUENCA

Para ello se empleó una multiplicación de las capas básicas DD, CDA, ITB y pendientes del terreno con la capa de la cuenca vertiente, como resultado se obtuvo la información básica recortada al área de estudio (QGIS, 2002).

3.5.2. FASE II. DETERMINACIÓN DE LA RED DE DRENAJE DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL

ACTIVIDAD 1. IDENTIFICACIÓN DE LA RED DE DRENAJE

Según Meléndez de la Cruz (2019) para identificar las cabeceras de la red se llevó a cabo el criterio de área umbral, para determinar esto, se realizó una visita de campo a las cabeceras de la cuenca para georreferenciar el punto en donde empiezan los cauces en las zonas altas, ya con estos datos se determinó cuántas

celdas se han acumulado hasta los puntos mencionados en cada uno de los cauces, con la información total se determinó la media aritmética.

Con base en lo anterior, se utilizó nuevamente el algoritmo (r.watershed) incluyendo como datos de entrada el MED corregido, además del número promediado de celdas acumuladas, la longitud máxima del flujo en superficie fue la anteriormente utilizada, asimismo el modelo D8, sin embargo, para este caso la información de salida que se obtuvo fue la red de drenaje del área de estudio.

ACTIVIDAD 2. IDENTIFICACIÓN DEL CAUCE PRINCIPAL

Para Ochoa et al. (2022) obtener un algoritmo específico para derivar el cauce principal de una red de drenaje es difícil, por lo cual se acude a las herramientas del sistema de información geográfica, estas posibilitan su obtención mediante distintos procedimientos. Por ello el mapa que se obtuvo de la red de drenaje tuvo clasificados los diferentes cauces a partir del volumen acumulado en cada celda, mientras que para aquellas celdas que no son parte del cauce se consiguió tener un valor nulo y esto facilitó la edición posterior del vector.

Tomando la idea de Chamarro (2016), se procedió a transformar la capa ráster a vectorial mediante un algoritmo denominado (r.to.vec) es importante generar una copia para tener los datos estadísticos de la red total y luego del cauce principal, posteriormente se fueron eliminando los tramos del cauce que no son parte del cauce principal, esta discriminación se la realizó teniendo la capa CDA activada y mediante el visualizador de objetos espaciales se obtuvo los datos de las celdas drenantes acumuladas en cada bifurcación.

3.5.3. FASE III. IDENTIFICACIÓN DE LA CURVA HIPSOMÉTRICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE EROSIÓN DE LA CUENCA

ACTIVIDAD 1. OBTENCIÓN DE LA SUPERFICIE Y PERÍMETRO DE LA CUENCA

De acuerdo con Greenidge et al. (2020) es posible obtener de diferentes formas la superficie de la cuenca.

- A partir del valor del mapa CDA de la celda desagüe, multiplicando por la resolución de la capa.
- A partir de la capa vectorial de la cuenca usando las herramientas de la tabla de atributos.

Para este caso se utilizó la segunda opción, tomando como base el mapa vectorizado y usando la calculadora vectorial se procedió a obtener los estadísticos como superficie y perímetro de la cuenca.

ACTIVIDAD 2. DETERMINACIÓN DE LA OROGRAFÍA DE LA CUENCA

Para Guevara et al. (2019) la orografía de la cuenca se representó adecuadamente con:

- a.) El perfil hipsométrico.
- b.) La pendiente topográfica.
- c.) El índice topográfico de Beven.

Para el tratamiento de la información y su posterior análisis se procedió a obtener un histograma de las alturas del terreno en la cuenca hidrográfica, para esto se procedió a recortar el MED original al área de estudio utilizando nuevamente la calculadora ráster y multiplicando estas dos capas, luego de ello se obtienen los datos estadísticos a partir del algoritmo (r.report) discretizados en áreas que

estarán en unidades de km^2 , estos datos fueron manipulados en una hoja de datos y se graficó el perfil mencionado.

ACTIVIDAD 3. CÁLCULO DE LA LONGITUD Y PENDIENTE MEDIA DEL RECORRIDO PRINCIPAL

Para Fernández y Peña (2016) a partir de la capa vectorial del canal principal, primero se realizó un trabajo con la tabla de atributos similar a la tabla de atributos ya explicada para obtener la longitud, utilizando nuevamente la calculadora vectorial se obtuvo los datos estadísticos.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron histogramas de los distintos parámetros geomorfológicos de la cuenca en estudio los mismos que fueron representados en gráficos, también los principales datos estadísticos de la cuenca como área, perímetro, longitud de la red de drenaje, longitud del cauce principal, celdas drenantes acumuladas, índice de humedad, pendientes del terreno y factores de forma, además de los estadísticos necesarios para determinar la curva hipsométrica y con ello se determinaron el estado de erosión del área de estudio.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA HIDROLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL PARA EL ANÁLISIS DE LAS DIRECCIONES DE FLUJO Y LAS CELDAS DRENANTES ACUMULADAS

Con la obtención del mapa del MED a partir de los datos espaciales de la plataforma SIGTIERRAS, se observa la forma de relieve de la subcuenca del río Carrizal.

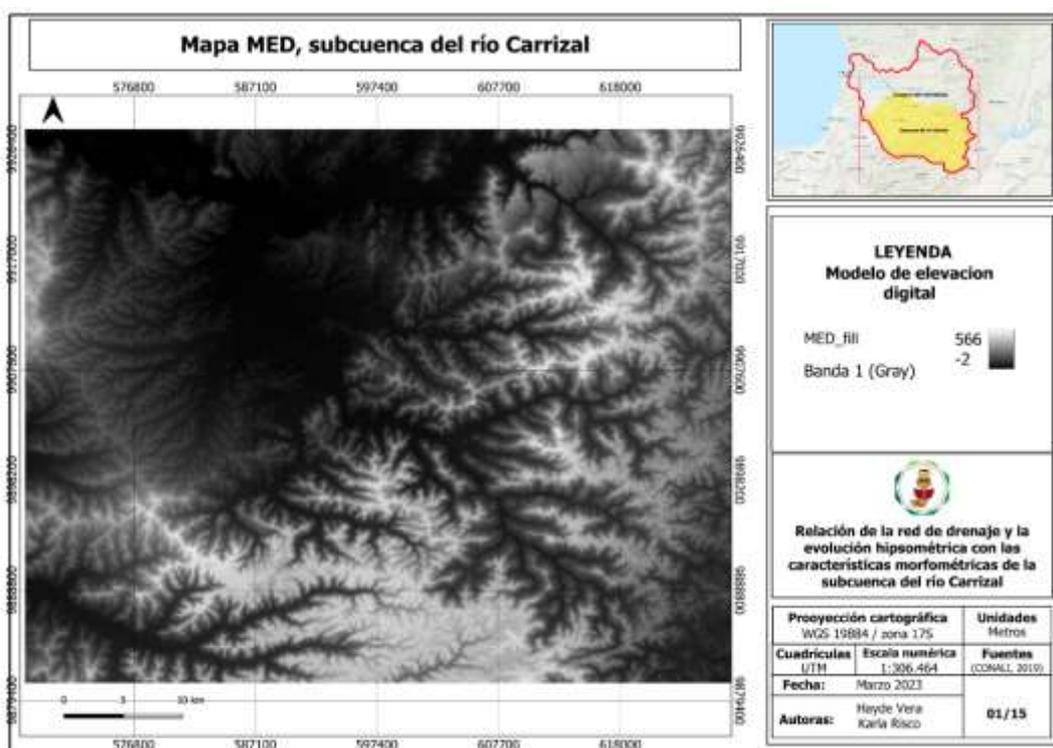


Figura 4.1. Mapa de Modelo de Elevación Digital (MED)

En el mapa MED se aprecia que la altura mayor de la subcuenca del río Carrizal alcanza los 566 metros sobre el nivel del mar (msnm), y la altura mínima alcanza los -2 msnm. La diferencia de alturas no es muy grande, sin embargo, considerando que la distancia entre los puntos de alta elevación y menor elevación es corta, se podrían encontrar zonas significativas con alta escorrentía superficial, debido a pendientes considerables (Palacios et ál., 2020).

Hitchcock (2023) Menciona que en 1981 Digman fue uno de los primeros autores en estudiar la incidencia de la altitud en el comportamiento de los

caudales de una cuenca, en su estudio sobre la incidencia de la altitud en Nuevo Hampshire y Vermont (región de Estados Unidos) sobre la hidrología de la cuenca, determinó que la altitud podría usarse como única variable independiente para predecir caudales. Por su parte Dahriet ál. (2016) en su estudio de una cuenca de gran altitud, no encontró relación entre la altitud y las precipitaciones de diferentes zonas de la cuenca del Indo.

La aplicación de la herramienta de GRASS r.fill.dir y la obtención del output de interés, para el software es el MED sin depresión, permite la eliminación de zonas de sumidero o drenaje, es decir, celdas cuyos valores a su alrededor poseen mayor elevación, presentándose una zona de drenaje interna (Touya et ál., 2019). Generalmente son imperfecciones de los MED, sin embargo, es posible que se den de manera natural particularmente en áreas de glaciares, en ese caso no aplica para esta investigación. Por ende, su eliminación permite una mejor aplicación de cálculos de dirección de flujos (ESRI, 2019).

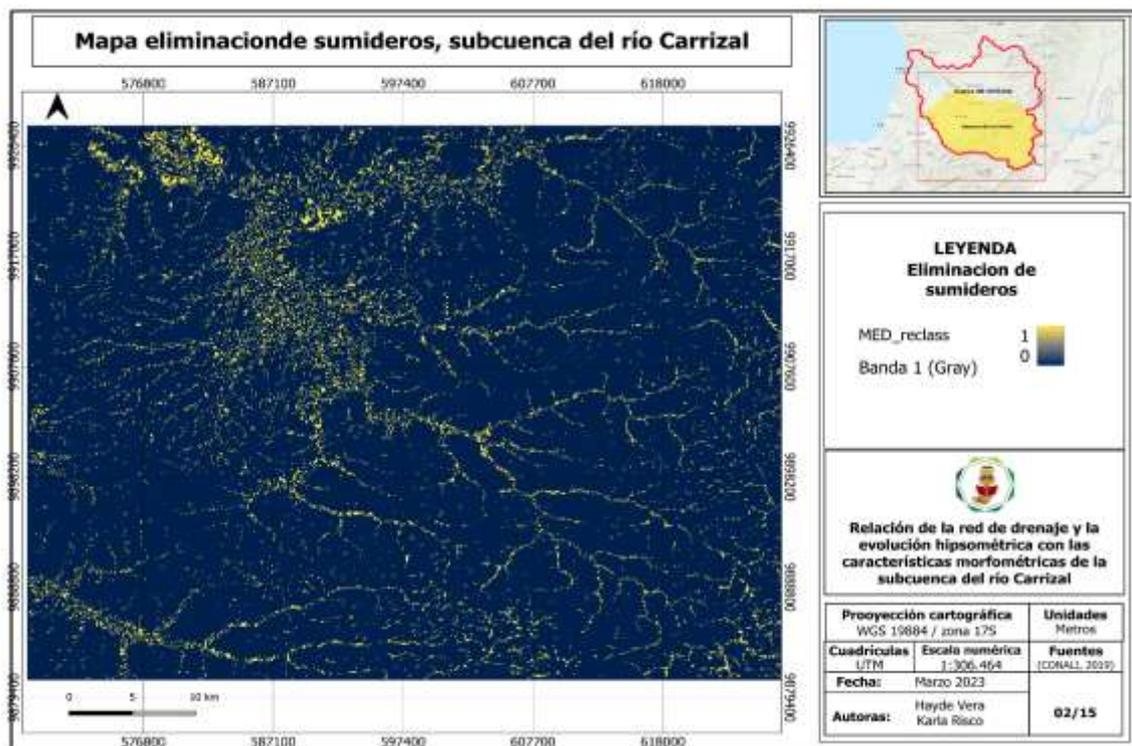


Figura 4.2. Capa de sumideros del MED

Al efectuar una resta entre la elevación del MED antes y después de la eliminación de sumideros, se puede conocer el número de celdas que se corrigieron mediante la aplicación del algoritmo, para esta investigación fueron 337.620 celdas que se

eliminaron, equivalentes a un área de 211,01 km², de esta manera, se realizan análisis hidrológicos de drenaje con mayor margen de confianza.

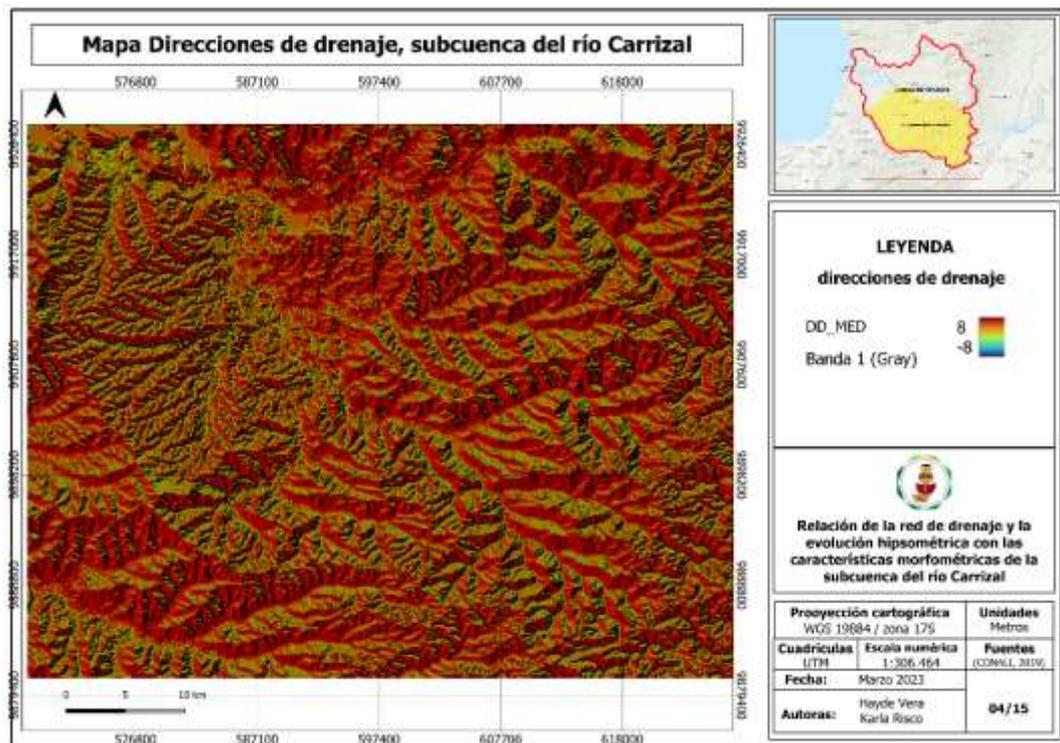


Figura 4.3. Capa de direcciones de drenaje (DD)

Ramírez (2002) menciona que el modelo D8 presenta como principal desventaja la poca precisión en estimaciones de flujo de relieves moderados con laderas de inclinación constante, siendo el peor de los casos cuando el relieve posee una pendiente cercana a un múltiplo de $\pi/8$. El mismo autor detalla un ejemplo para explicar esta falla, si una ladera tiene drenaje hacia el norte con inclinación $\pi/8 + \epsilon$, siendo ϵ un valor muy pequeño, a cada celda de drenaje se le asignará un valor de dirección de $\pi/4$, con lo cual el error de estimación será $\pi/8 - \epsilon$, esto ocasiona direcciones de drenaje paralelas sobre toda la ladera, que por consiguiente dificultan la identificación de zonas de acumulación de flujo.

La herramienta r.watershed también permite la obtención del mapa de flujo acumulado o de celdas drenantes, el cual se logra a partir de la información de dirección del flujo, esto indica cuales celdas poseen una mayor cantidad de puntos que drenan hacia ella, es decir, las corrientes drenantes aguas arriba. De esta forma se crea una red de drenaje donde se pueden analizar las zonas altas (colores

rojos), y las zonas más bajas de la cuenca (colores más claros y azules) (Rosero, 2019).

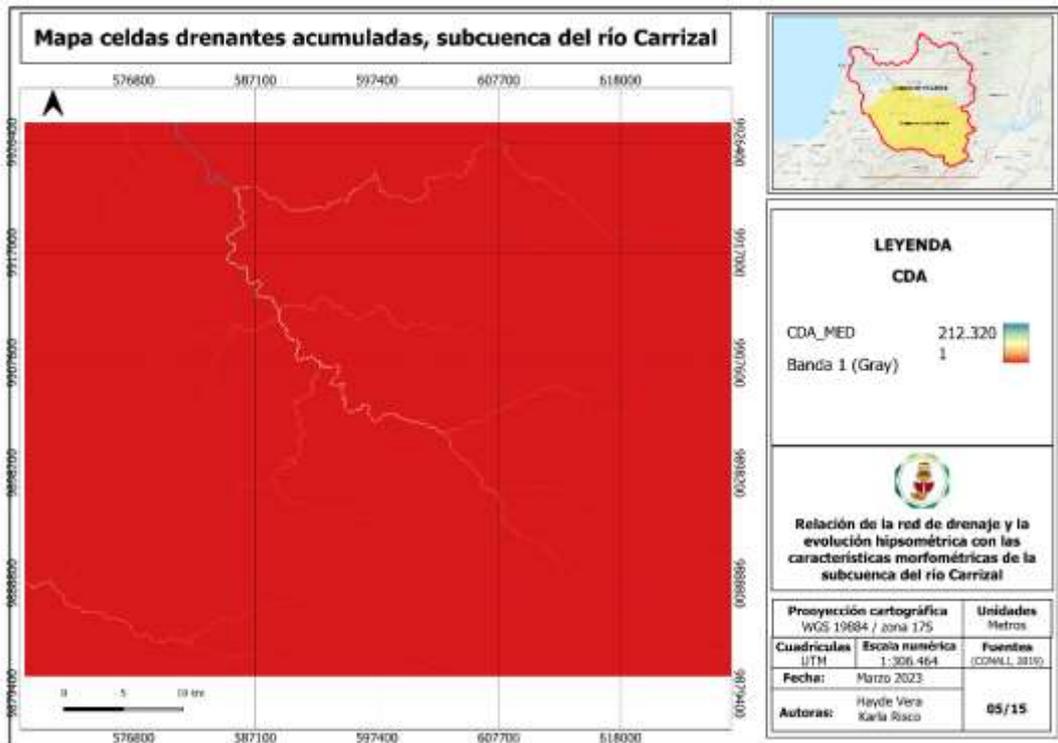


Figura 4.4. Capa de celdas drenantes (CDA)

El mapa muestra zonas azules cuyos flujos drenantes se aproximan a un número de píxeles aguas arriba de 212.320 celdas, a partir de esta información es posible delimitar la cuenca calculando las celdas que drenan hacia estos puntos de acumulación. En la subcuenca del Carrizal, se observa como se marcan las zonas de acumulación donde se encuentra el cauce del río Carrizal con sus efluentes como el río Tigre, Mosca y Trueno, pues en estos puntos van a parar las aguas que se drenan en la subcuenca.

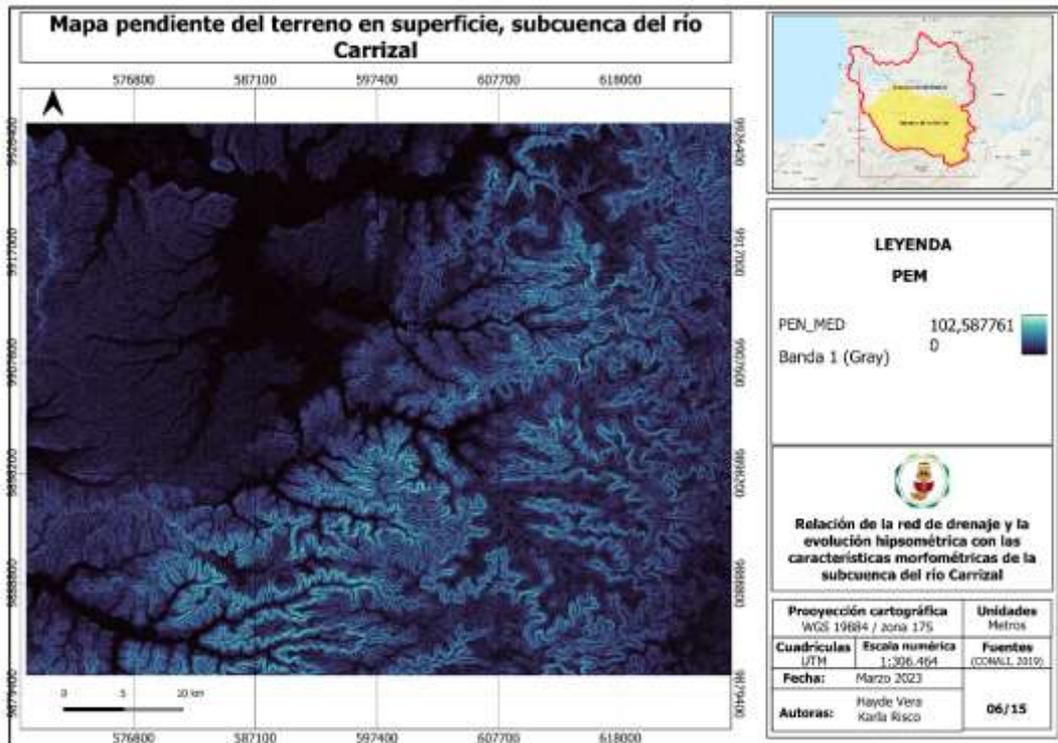


Figura 4.5. Capa de pendiente del terreno (PEN)

El mapa de pendiente PEN muestra que existen zonas altas donde la inclinación de la subcuenca alcanza una pendiente cercana al 102 % (áreas azuladas), lo cual indica zonas con mayor relieve, asimismo, se encuentran zonas con menor pendiente (áreas oscurecidas) más cerca de las zonas de drenaje. Ibáñez et ál. (2010) mencionan que una cuenca con pendiente mayor representa un menor lapso de tiempos de escorrentía superficial hacia el sumidero.

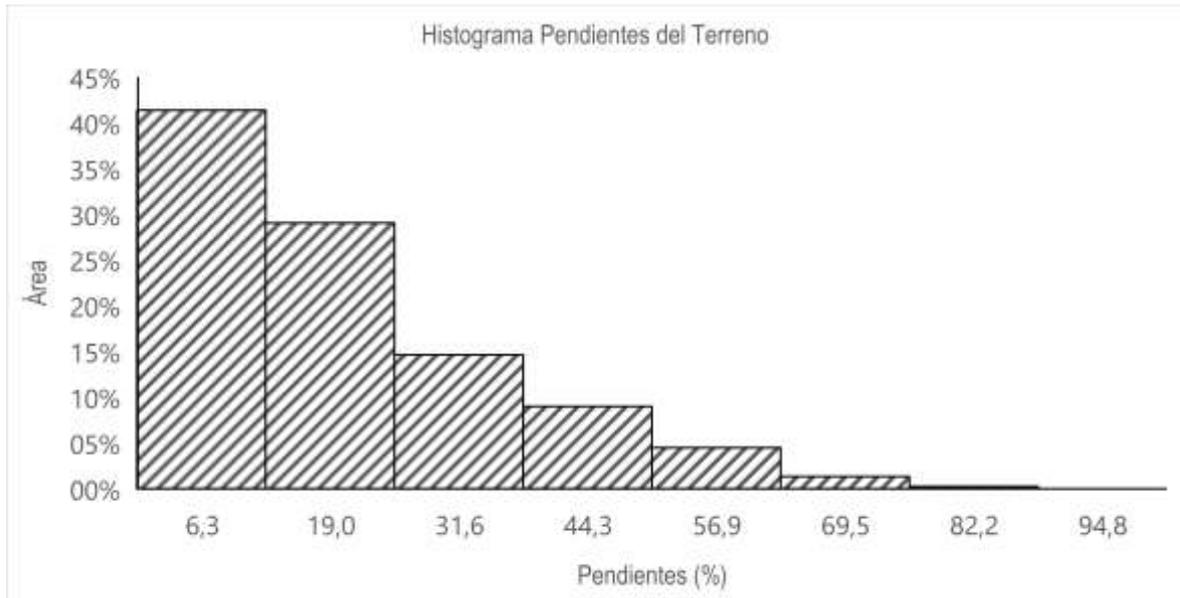


Figura 4.6. Histograma de pendientes del terreno

Castelltort y Yamato (2013) mencionan que las zonas con orografía más inclinada y lisa, desarrollan cuencas de captación más largas y estrechas que las zonas más ásperas y buzamiento suave.

Con el mapa de pendiente y el de zonas acumuladas, se obtiene el mapa de Índice Topográfico de Beven (ITB), también llamado Índice de Inundación. El ITB resulta del cociente entre la acumulación de flujo y la tangente de la pendiente, y es una herramienta que indica cuales son las zonas más propensas a una inundación (Uribe et ál., 2010). Además, según Roa y Kamp (2012) el ITB también permite conocer la distribución y origen del escurrimiento superficial.

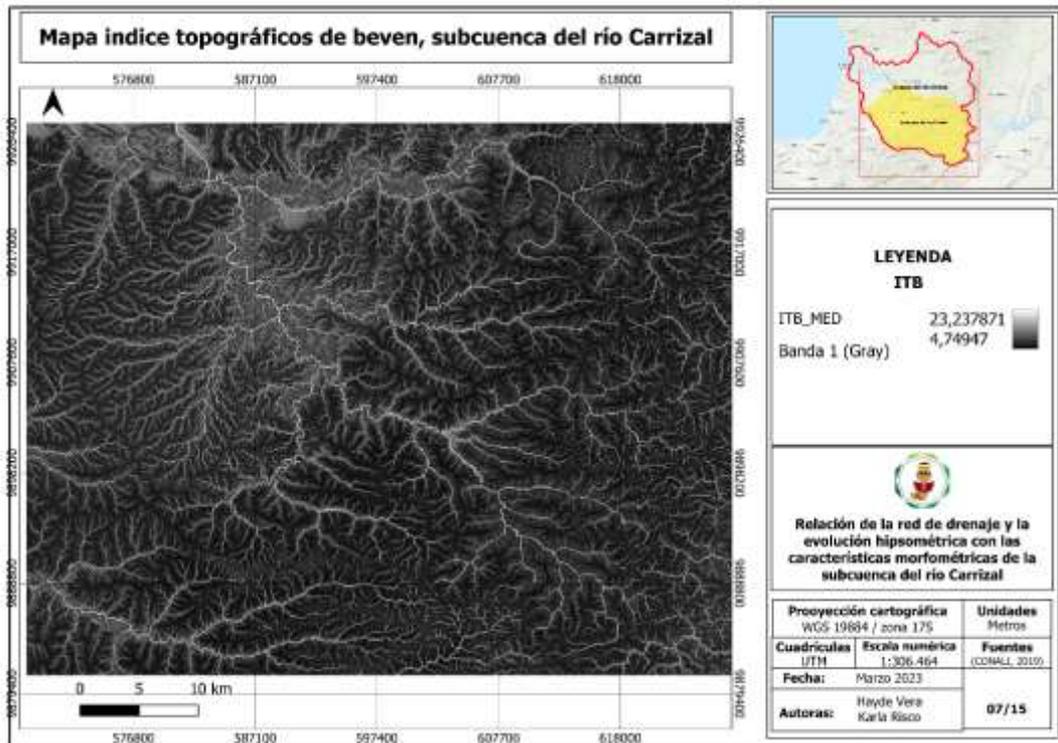


Figura 4.7. Capa índice topográfico de Beven (ITB)

Mientras mayor sea el ITB, mayor es la susceptibilidad de inundación en la zona, por lo tanto, el mapa indica como zonas más clarificadas las áreas propensas a inundaciones, generalmente son las zonas de acumulación de flujo, por otro lado, los colores más oscurecidos indican una menor susceptibilidad a la inundación, por lo regular son zonas de mayor relieve y altitud. Cabe mencionar que este índice solo toma en cuenta las características morfológicas de la cuenca, más no las climatológicas, por ese motivo diferentes cuencas con similar ITB pueden tener distintos riesgos de inundación.

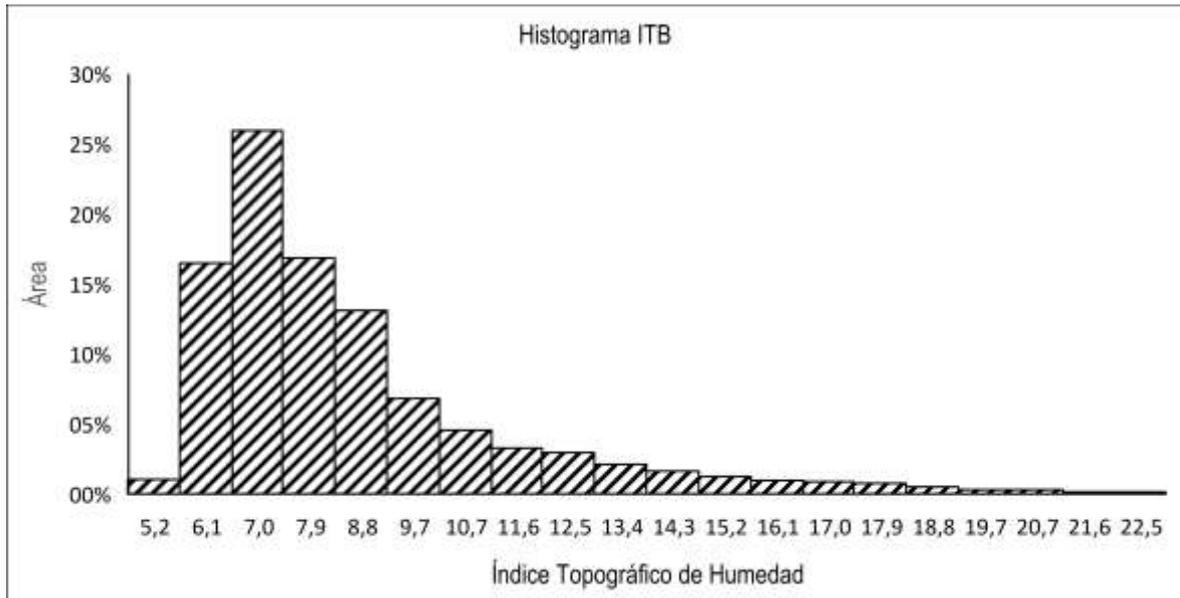


Figura 4.8. Capa índice topográfico de Beven (ITB)

Sørensen et ál. (2006) mencionan que el ITB aparte de ser una herramienta útil para estudiar los efectos de los procesos hidrológicos, también brinda información topográfica que incide en las características del suelo y la distribución de especies vegetales, lo cual ha sido demostrado con varios estudios.

Con toda la información geográfica recopilada, se procedió a limitar la subcuenca del río Carrizal, tomando como referencia un punto de drenaje o punto de desfogue, a partir del cual se localizan e identifican las celdas que alimentan la vertiente, de este modo se obtienen todos los píxeles que drenan hacia un punto común o cauce.

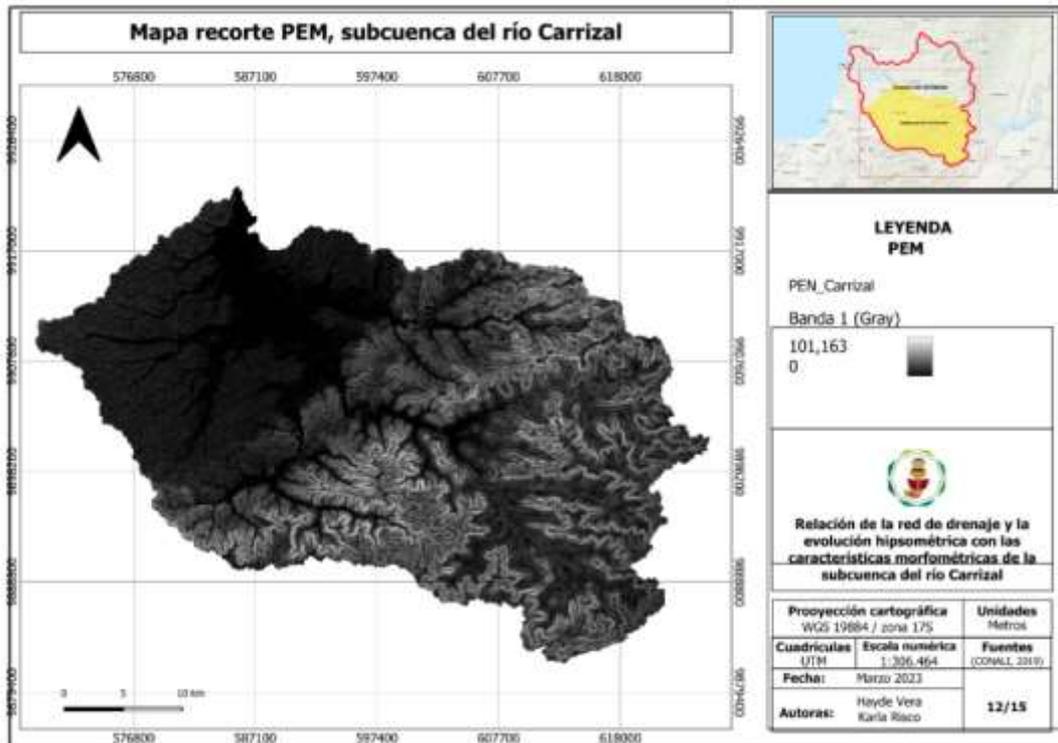


Figura 4.9. Vectorial de la cuenca (obtenida con el raster)

Con ello se identifica el área de la subcuenca del río Carrizal. La delimitación de la cuenca hidrográfica implica la identificación del área de drenaje de las aguas superficiales, es decir, toda partícula de agua con movimiento inducido únicamente por las fuerzas naturales (principalmente la gravedad) y que no se infiltren a través del suelo, drenan hacia las zonas de acumulación de flujo de la superficie expuesta (Cotler et ál., 2007).

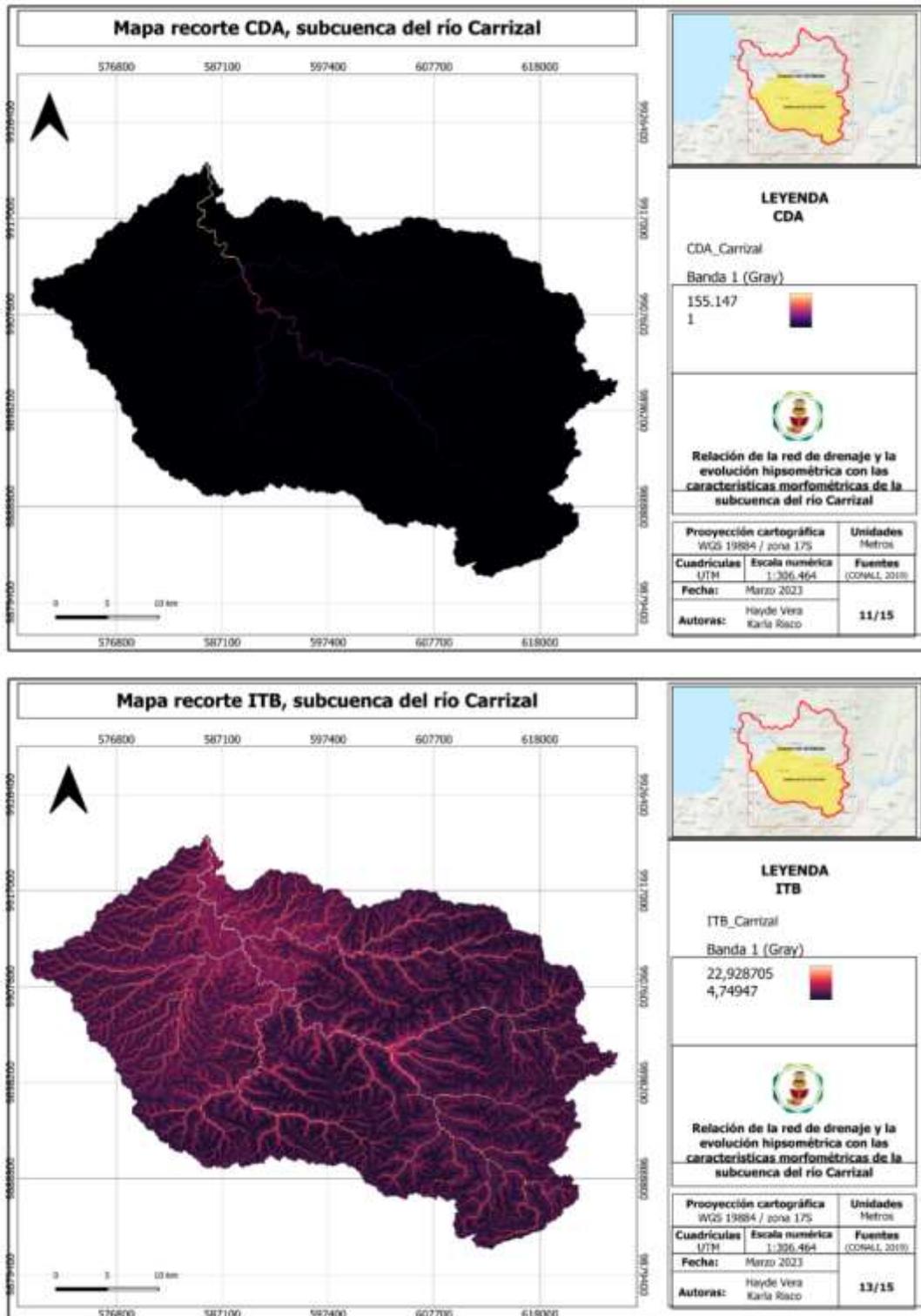


Figura 4.10. Recortes de las capas básicas con la calculadora de QGIS (CDA, ITB y PEN)

4.2. DETERMINAR LA RED DE DRENAJE DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LA RED Y SU LONGITUD

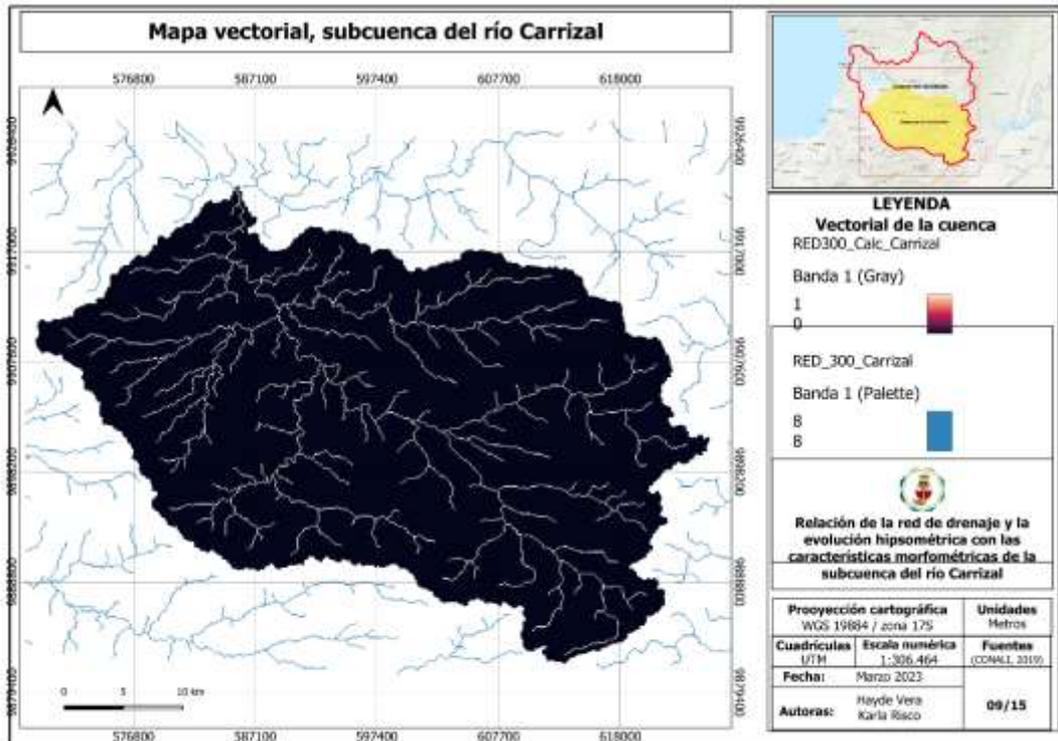


Figura 4.11. Capa de red de drenaje rasterizada

La red de drenaje o red hídrica se obtuvo a partir de la herramienta raster calculator en conjunto con la herramienta de navegación e identificación Vista del mapa, por consiguiente, se determinó el umbral óptimo de celdas en base a la superficie de la subcuenca en estudio. Posteriormente, el valor se opera con la banda de raster denominada “accumulation” y se obtiene la red con la densidad deseada en formato raster, la misma que debe ser vectorizada con la herramienta GRASS r.watershed y r.to.vect.

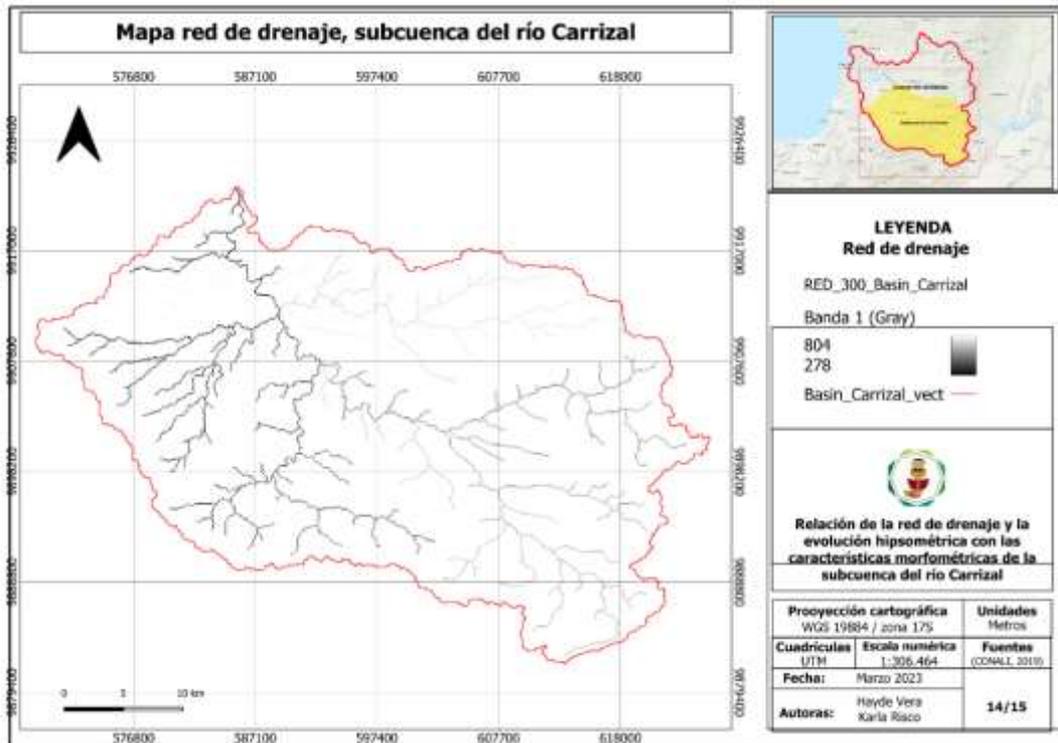


Figura 4.12. Red de drenaje de la cuenca

La red de drenaje de la subcuenca del río Carrizal presenta un patrón dendrítico, es decir, ramificaciones mayoritariamente irregulares, con una longitud la de red de 671,92 Km. Según Southard (2022) es común encontrar en este tipo de redes, estructuras geológicas como rocas sedimentarias planas o rocas ígneas masivas.

Finalmente resta encontrar el cauce principal de la subcuenca del Carrizal para completar la información espacial morfométrica necesaria para este estudio, utilizando la herramienta Toggle Editing y Select Features, se colocó el cursor en la celda de desagüe de la cuenca, seguidamente se avanzó aguas arriba del cauce eliminando aquellos afluentes con menor acumulación de flujo hasta dejar una sola línea de cauce, el segundo criterio se basó en la longitud máxima de la red.

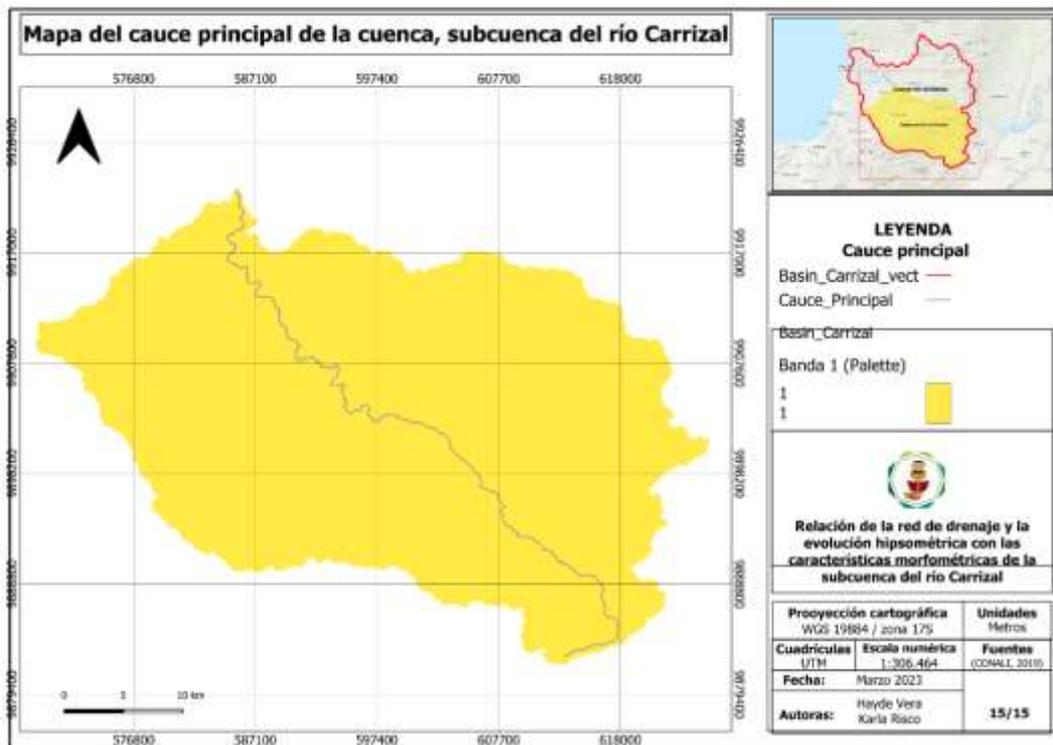


Figura 4.13. Cauce principal de la cuenca

El cauce principal de la subcuenca del Carrizal, es el correspondiente al río Carrizal con una longitud de 80,66 Km, aquel que atraviesa los cantones de Bolívar y Tosagua, pasando por la cabecera cantonal de Calceta, y que se alimenta de la represa Sixto Duran Ballén ubicada en el sector de La Esperanza según el Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Bolívar (PDOT, 2020).

4.3. IDENTIFICAR LA CURVA HIPSOMÉTRICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE EROSIÓN DE LA CUENCA

Utilizando los valores de la capa de CDA para cada celda, y realizando el producto con la resolución del mapa de 90 x 90 m, se obtuvo el área de la cuenca establecida en 1329,63 km². La calculadora de campos aplicada sobre la superficie vectorial mostró los siguientes resultados de la subcuenca del Carrizal (véase Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Parámetros de superficie de la subcuenca del río Carrizal

Parámetros morfométricos	Subcuenca Carrizal	Cuenca Carrizal-Chone (Burgos y Carpio, 2016)
Área de la cuenca (km ²)	1329,63	2690,12
Perímetro de la cuenca (km)	251,06	273,72
Longitud del cauce principal (km)	80,66	92,87

Al comparar los parámetros de la subcuenca del Carrizal, y tomando como referencia los valores de la cuenca principal del Carrizal-Chone, la subcuenca del Carrizal representa el 49 % de la superficie de la cuenca principal, el perímetro es menor por una diferencia absoluta de 22,6 km, y la longitud del cauce principal difiere por 12,2 km de distancia. Mendoza et ál. (2021) reportan una reducción en la cuenca Carrizal-Chone de la superficie de cultivos con respecto al año 1998 de 2,35 %, y el tipo de suelo predominante es el vertisol con un 21,52 %.

Sayama et ál. (2011) sugieren que a mayor superficie y perímetro de la cuenca su capacidad para almacenar agua es mayor, esto también se ve influenciado por las precipitaciones, pues al comienzo de la temporada de lluvia los suelos retienen mayor volumen del líquido, una vez que el suelo se satura se reporta un aumento considerable de la escorrentía y drenaje en los cauces que transportan el agua hacia la cuenca principal o los ríos.

Tabla 4.2. Clasificación geométrica de la cuenca según el coeficiente de compacidad

Valores de Kc	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

Fuente: Burgos y Carpio (2016)

Factores basados en la forma de la cuenca.

- Coeficiente de compacidad (Gravelius):

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 0,28 \frac{251,06}{\sqrt{1329,63}} = 1,92$$

- Índice de circularidad:

$$R_{ci} = \frac{4\pi A}{p^2} = \frac{4 * \pi * 1329,63 \text{ Km}^2}{(251,06)^2} = 0,26$$

El coeficiente de compacidad de la subcuenca del Carrizal muestra un valor de 1,92, lo cual equivale a una cuenca con forma rectangular, a diferencia de la compacidad de la cuenca principal del río Chone, la cual presenta un valor de 1,49, lo que la categoriza como una cuenca oval oblonga (Burgos y Carpio, 2016). Asimismo, el índice de circularidad es más cercano a 0 que a 1, presentándose una cuenca con poca forma circular en concordancia con el resultado obtenido del índice de compacidad.

Factores basados en la longitud.

- Factor de forma de Horton:

$$R_f = \frac{A}{L_m^2} = \frac{1329,63 \text{ Km}^2}{(16,27 \text{ km})^2} = 0,25$$

- Ratio de elongación (Schumm):

$$R_e = 1,128 \frac{\sqrt{A}}{L_m} = 1,128 \frac{\sqrt{61329,63 \text{ Km}^2}}{(16,27 \text{ km})^2} = 0,56$$

Los índices basados en la longitud permiten corroborar la clasificación de la subcuenca como una cuenca alargada, puesto que el factor de Horton es menor que 0,78, y la relación de elongación es menor que 0,7, los cuales son los criterios para categorizar la cuenca como alargada. Según Sukristiyanti et ál. (2018) una cuenca alargada significa que sus caudales máximos son más bajos durante más tiempo, mientras que una cuenca circular representa un caudal máximo más alto durante un menor periodo de tiempo.

La ratio de elongación también permite deducir el tipo de relieve de la cuenca, para una cuenca plana el valor es cercano a 1, mientras que, para una cuenca con alto relieve, el valor suele situarse entre 0,6 y 0,8, por lo tanto, se está ante una cuenca con relieve pronunciado. Según Campo et ál. (2012) las cuencas con relieve pronunciado presentan una mayor susceptibilidad a la erosión, además, suelen presentar un retardo en la concentración de escorrentía debido a la mayor longitud de su cauce principal, lo que ocasiona crecidas más bruscas.

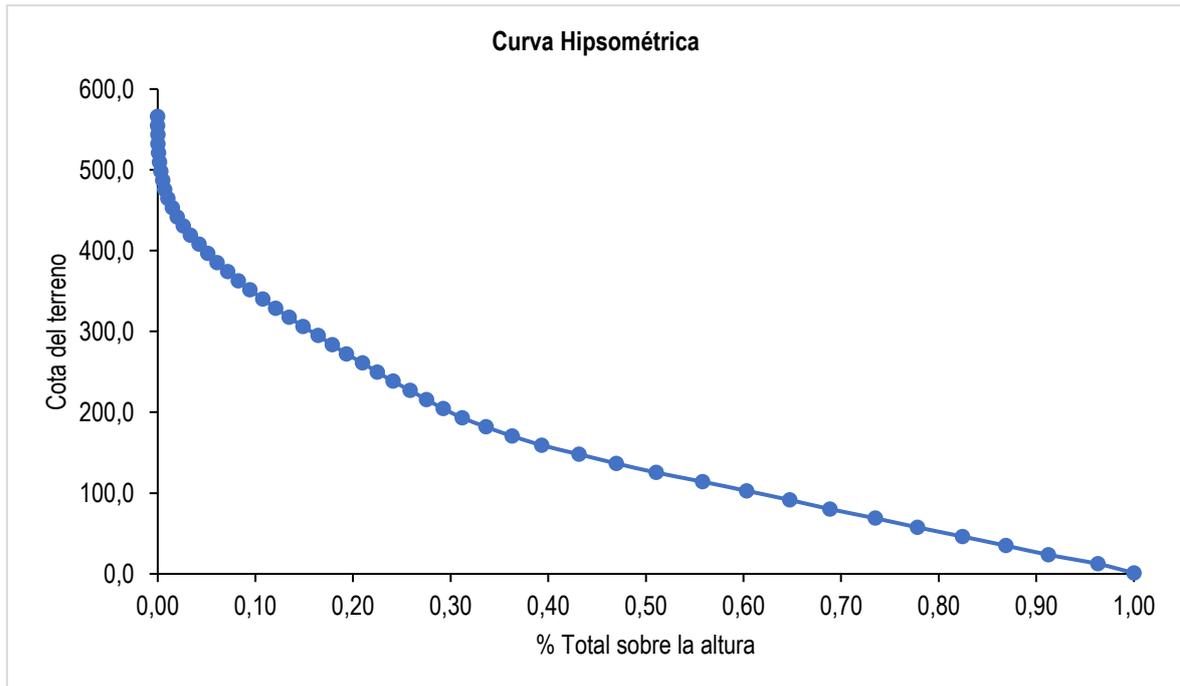


Figura 4.14. Curva hipsométrica de la subcuenca del río Carrizal

La curva hipsométrica es cóncava hacia arriba, lo cual indica que la subcuenca del Carrizal se categoriza como río viejo o cuenca sedimentaria, la cual ya ha atravesado un largo proceso erosivo (Rojas, 2015). Por su parte Farhan et ál. (2016) mencionan que las cuencas más pequeñas suelen presentar curvas más convexas, presentándose procesos de laderas, mientras que las cuencas más grandes suelen mostrar curvas cóncavas que representan mayores procesos fluviales.

Las variaciones de la altitud en una cuenca son datos importantes para poder analizar la temperatura y las precipitaciones en diferentes puntos de la superficie, ambas características son dependientes de la altitud (Guerra, 2002). Las cuencas sedimentarias poseen un valor de su integral más pequeño, es decir, el área bajo la curva es menor en estas cuencas comparado al área bajo la curva de las cuencas relativamente jóvenes, este indicador también es llamado la integral hipsométrica, el cual es más sensible ante cuencas de menor superficie ($\geq 400 \text{ km}^2$) (Duan et ál., 2022).

Tabla 4.3. Datos del estadístico ITB

Intervalo entre curvas de nivel (ITB)		Media (ITB)	Área (km ²)	%
4,7	5,7	5,2	13,8	1,04%
5,7	6,6	6,1	219,1	16,49%
6,6	7,5	7,0	344,7	25,94%
7,5	8,4	7,9	223,9	16,85%
8,4	9,3	8,8	174,0	13,09%
9,3	10,2	9,7	90,4	6,81%
10,2	11,1	10,7	60,4	4,55%
11,1	12,0	11,6	43,4	3,27%
12,0	12,9	12,5	39,2	2,95%
12,9	13,8	13,4	28,0	2,10%
13,8	14,7	14,3	21,8	1,64%
14,7	15,7	15,2	16,6	1,25%
15,7	16,6	16,1	12,9	0,97%
16,6	17,5	17,0	11,7	0,88%
17,5	18,4	17,9	10,1	0,76%
18,4	19,3	18,8	6,8	0,51%
19,3	20,2	19,7	4,2	0,32%
20,2	21,1	20,7	4,0	0,30%
21,1	22,0	21,6	1,9	0,15%
22,0	22,9	22,5	1,9	0,14%

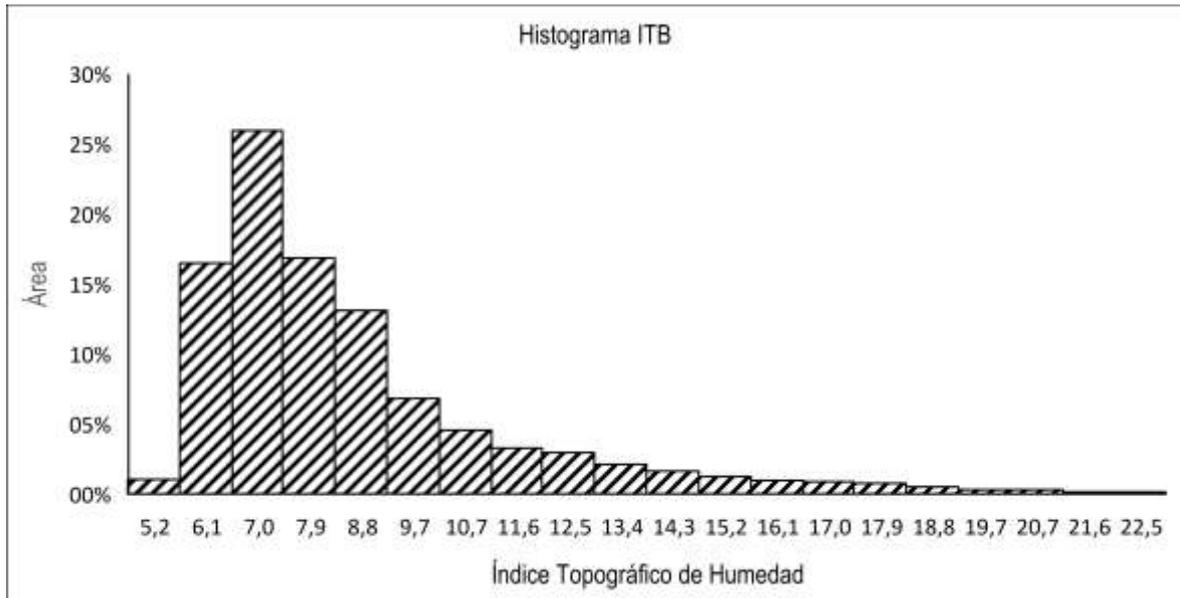


Figura 4.15. Gráfica de área vs ITB por intervalo

El gráfico de histograma muestra que existe un área mayor con índice topográfico de Beven de 7, mientras mayor sea el valor del índice la zona es más susceptible a inundación, así pues, se demuestra que las zonas saturadas están más asociadas a las zonas de mayor acumulación de flujos, mientras que, a mayor relieve, aumenta la escorrentía, y, por ende, se reduce el valor del ITB.

Sørensen et ál. (2006) mencionan que existe una correlación entre el ITB y el pH y humedad del suelo, que, a su vez, incide en la cobertura vegetal del mismo, de tal forma que el ITB puede resultar una herramienta útil para predecir la distribución espacial de la riqueza de distintas especies de plantas.

En cuanto a la relación de características morfométricas con la red drenaje, Duan et ál. (2022) demostraron que la integral hipsométrica no presenta mayor variación significativa con respecto a la resolución del DEM, por lo que la resolución de 90 x 90 m no debería de incidir en los resultados obtenidos en el presente estudio.

Factores de forma del cauce principal.

- Coef. Compacidad = 1,93
- Ratio de Circularidad = 0,26508082

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Las direcciones de flujo en la cuenca de estudio presentan una dominancia en el sentido noreste de acuerdo con el modelo D8, además las celdas drenantes acumuladas en el orden de 1 a 3100 se encuentran en un área de 1312 km² aproximadamente.
- La red de drenaje del área de estudio cuenta con una extensión de 671,92 km partiendo del principio que en promedio cada 0,2 km² de área acumulada en las cabeceras se empiezan a formar los cauces.
- La curva hipsométrica muestra una cuenca en estado de vejez lo cual implica que se deben aplicar procesos de remediación en los planes de gestión del área de estudio.

5.2 RECOMENDACIONES

- A partir de los resultados de este estudio empezar a obtener datos para la calibración y posterior validación de modelos hidrológicos distribuidos para el estudio de su aplicabilidad, en campos como el desarrollo de estrategias de riego, el análisis de riesgo de inundabilidad y estudios geotécnicos para usos suelos.
- Se recomienda el estudio de la teoría fractal a partir de la obtención de diferentes redes de drenaje tomando distintas áreas umbrales.
- En base a este estudio se recomienda realizar un análisis espaciotemporal para determinar los cambios en las características espaciales de la cuenca con el paso de los años, y así identificar las afectaciones que generan las actividades antrópicas en estas características
- Generar planes de gestión en la cuenca de estudio que propicien su remediación, así como desarrollar estrategias de gestión en uso de suelos, tomando en cuenta aquellas zonas más vulnerables ante inundaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Albarracin, F., Alvarenga, F., Sanclement, E. y Pauluzek, A. (2020). Aspectos morfológicos de la cuenca del arroyo Nagel (Misiones, Argentina). *Revista de Ciencia Tecnología e innovación*, 2(2), 81-89. <https://doi.org/10.36995/j.masingenio.2021.02.02.007>
- Álvarez, S., y Medrano, O. (2020). Caracterización geomorfológica de la subcuenca río Mezcalapa, región hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH-30) en sureste de México. *Investigación y ciencia*, 28 (80), 32-44. <https://www.redalyc.org/journal/674/67464474004/html/>
- Allauca, M. (2011). *Inventario del recurso hídrico existente en el páramo de la comunidad San Isidro, Cantón Pujilí, Provincia Cotopaxi* [Tesis previa obtención del título de Ingeniería ambiental, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional UTC. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/768/1/T-UTC-1141.pdf>
- Amendaño, E. (2018). *Propuesta de gestión del recurso hídrico de la vertiente La Merced para el desarrollo sostenible, provincia de Pichincha, cantón Mejía, parroquia Cutuglagua* [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional PUCE. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15286>
- Arango, A. (2019). Revisión bibliográfica del marketing y marketing deportivo.
- Araya, Á. (2018). *Modelación 3D de evolución de relieve y meteorización química en la cordillera de la Costa de Chile* [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/165713>
- Azules, E., Chiliquina, V., Segura, D., y Zabala, C. (2020). *Análisis morfométrico y controles geológicas que determinan la forma de las cuencas hidrográficas* [Tesis de Maestría, Universidad de Guayaquil]. Universidad de Guayaquil. https://www.researchgate.net/publication/345862377_ANALISIS_MORFOM

ETRICO_Y_CONTROLES_GEOLOGICAS_QUE_DETERMINAN_LA_FORMA_DE_LAS_CUENCAS_HIDROGRAFICAS

- Barbosa, E. (2011). Desarrollo de herramientas de ArcGIS para el cálculo de indicadores físicos y socioeconómicos de cuencas hidrográficas [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional UAQ. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/759>
- Baroja, D., Mejia, D., Cevallo, A., y Puetate, Galo. (2020). *Sistema de información geográfica, aplicaciones y ejercicios con ArcGis*. PUCE-Sede Ibarra. <https://www.pucesi.edu.ec/webs2/wp-content/uploads/2021/02/Sistemas-de-Informaci%C3%B3n-Geogr%C3%A1fica-ARCGIS-2020-final.pdf>
- Braz, A., Mirandola, P., Pinto, A., Salinas, E., y de Oliveira, I. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), 69–85. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232>
- Brieva, C. (2018). Caracterización de cuencas. *Revista Inta*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/caracterizacion_de_cuencas_0.pdf
- Burgos, J. (2022). *Infraestructura para la gestión sustentable de los recursos hídricos en Chile, columna de Julio Burgos, ingeniero de la Comisión de Infraestructura Pública*. Colegio de Ingenieros de Chile A.G. <https://www.ingenieros.cl/infraestructura-para-la-gestion-sustentable-de-los-recursos-hidricos-en-chile-columna-de-julio-burgos-ingeniero-de-la-comision-de-infraestructura-publica/>
- Burgos, J., y Carpio, M. (2016). Caracterización fisiográfica y morfométrica de la cuenca hidrográfica del río chone como aporte a la gestión integral de los recursos hídricos [Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Manabí]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/501>
- Busnelli, J., y Horta, L. (2016). Morfometría de cuencas montañas y metamorfosis fluvial, Tucumán. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 11-20.

- Bustos, M., y Georgieff, S. (2020). Análisis morfométrico de los principales tributarios del río Salí en la cuenca de Tapia-Trancas a partir del procesamiento en SIG y sensoramiento remoto. *Acta Geológica Lilloana*, 27-46.
- Cadena, P., Rendón, R., Aguilar, J., Salinas, E., Cruz, F., y Sangerman, D. (2017). Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(7), 1603-1617. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342017000701603&script=sci_abstract&tlng=pt
- Caicedo, M., Cabrera, E., Zambrano, X., Rodríguez, M. e Intriago, P. (2021). Estudio de características morfológicas de la cuenca “Cañitas” y su relación con el riesgo de inundaciones repentinas. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 8(spe2), 00022. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2605>
- Camargo, C., Pacheco, C., y López, R. (2017). Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica. *Revista Gestión y Ambiente*, 20(2), 265-285. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/63917/66463>
- Camino, M., Bó, M., Cionchi, J., López de Armentia, A., Del Río, J., y De Marco, S. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1), 73-97. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652018000100005&lng=es&tlng=es.
- Cañibano, A., y Gandini, M. (2018). El concepto de Rectángulo Equivalente para la caracterización de la forma de una cuenca. *Eco matemático*, 9(1), 7-14.

- Castelltort, S., y Yamato, P. (2013). The influence of surface slope on the shape of river basins: Comparison between nature and numerical landscape simulations. *Geomorphology*, 192, 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.03.022>
- Cedeño, J. y Zambrano, V. (2017). *Curvas guías de operación en el control eficiente del embalse Sixto Durán Ballén para gestionar sustentablemente el patrimonio hídrico*. Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López". <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/617>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, N. U. (2013). *Guía análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial*. CEPAL. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). <https://hdl.handle.net/11362/36817>
- Chamorro, K. (2016). *Identificación y caracterización de las zonas de recarga hídrica mediante herramientas Sig de los acuíferos la carbonería, Guaraczapas, Yuyucocha y Santa Clara para la protección de las fuentes de aprovisionamiento de agua en la zona urbana de Ibarra [Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniera en Recursos Naturales Renovables, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital UTN*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6920>
- Chancay, A., y Ureta, J. (2019). *Relación entre las actividades antropogénicas y la calidad de agua del río carrizal, sitio El Limón, utilizando bivalvos como bioindicadores*. Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López". <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1211>
- Chávez, J., y Litardo, O. (2019). *Ictiofauna como bioindicador de calidad del agua en el río carrizal*. Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López". <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1209>

- Colotti, E. (1999). La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida. *Terra. Nueva Etapa*, XV(24), 99-116.
- Colque, C. (2021). *Determinación de la pérdida de suelo y nutrientes por erosión hídrica mediante parcelas de escorrentía y microparcels de varillas de erosión* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio UNAP. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3220379>
- Cotler, H. (2010). Las Cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización. *Agua Simple*. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2011/02/CuencasHidrogra%CC%81ficas-1.pdf>
- Cotler, H., Garrido, A., Mondragón, R., y Díaz, A. (2007). Delimitación de cuencas hidrográficas de México a escala 1:250000. INEGI-INE-CONAGUA. <https://core.ac.uk/download/pdf/48030589.pdf>
- Consortio Pomca Quindio. (2018). *Caracterización de la cuenca del río La Vieja*. CVC. https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/La%20Vieja%20%20PO MCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7_CapituloI_Diagnostico_Morfometria.pdf
- Cook, T., y Reichardt, CH. (1979). Qualitative and quantitative methods in evaluation research. Beverly Hills, California, USA. Sage. 3-6 pp.
- Cruz, B., Gaspari, F., Rodríguez, A., Carrillo, F., y Téllez, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia*, 23(64), 26-34. <https://www.redalyc.org/pdf/674/67441039004.pdf>
- Cruz, H., y Cheng, L. (2019). Análisis de riesgo hidrográfico por crecidas en la desembocadura de la Quebrada Cay [Tesis de pregrado, Universidad de Ibagué]. Repositorio Institucional Universidad de Ibagué. <https://hdl.handle.net/20.500.12313/1819>

- Cure, L. (2012). *Determinación de la influencia del cambio de uso de suelo en la calidad ambiental en la cuenca del río Déleg* [Tesis previa obtención del título de Ingeniería ambiental, Universidad de Politécnica Salesiana – Sede Cuenca]. Repositorio UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2003>
- Da Costa, A., Dos Santos, E., y Da Silva, S. (2020). Análisis morfométrico de la cuenca Paraguay/Jauquara, Mato Grosso - Brasil. *Geosul*, 35(74), pp. 483-500. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n74p483>
- Dahri, H., Ludwig, F., Moors, E., Ahmad, B., Khan, A., y Kabat, P. (2016). An appraisal of precipitation distribution in the high-altitude catchments of the Indus basin. *Science of The Total Environment*, 548-549, 289-306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.001>
- De La Cruz, S., Mendoza, C., Pezo, P., Ascoy, K., Gonzales, T., y Mejía, H. (2022). Hidrología. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), 546-561. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.1906
- Diaz, A. (2018). Determinacion de la oferta hidrica superficial mediante aplicacion de software arcgis y hec-hms, y del indice de calidad de agua (ica) en epocas de más lluvia, en la parte media y baja de la microcuenca quebrada la cristalina en el costado oriental del parque nacional natural el cocuy, como insumo para valoración de sus servicios eco-sistémicos (doctoral DISSERTATION).
- Diéguez, A. (2020). ¿Existe el método científico? Filosofía y ciencia en siglo XXI. *Revista Tiempo y Clima*, 5(70). <https://pub.ame-web.org/index.php/TyC/article/view/2402>
- Dingman, L. (1981). Elevation: A major influence on the hydrology of New Hampshire and Vermont, USA / L'altitude exerce une influence importante sur l'hydrologie du New Hampshire et du Vermont, Etats-Unis. *Hydrological Sciences Bulletin*, 26(4), 399-413. <https://doi.org/10.1080/02626668109490904>

- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., y Chávez, G. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. CEPAL. División de Recursos Naturales e Infraestructura No.47. <https://hdl.handle.net/11362/6407>
- Duan, Y., Pei, X., y Zhang, X. (2022). The Hypsometric Integral Based on Digital Elevation Model for the Area West of Lvliang Mountains in Loess Plateau, Shanxi, China. *Frontiers in Earth Science*, 10. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2022.827836>
- E. Quesada. (2022). PROGRAMA CURSO: SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. https://repositorio.so.ucr.ac.cr/programas_ciencias_naturales/Gestion%20Integral%20del%20Recurso%20Hidrico/2022/I%20CICLO%202022/GH0023_I%20CICLO%202022.pdf
- Escenarios Hídricos. (2021). *¿Qué entendemos por cuenca hidrográfica y por qué es la unidad territorial óptima para gestionar los recursos hídricos?* Escenarios Hídricos. <https://escenarioshidricos.cl/noticia/cuenca-hidrografica-la-unidad-territorial-optima-para-gestionar-recursos-hidricos/>
- Escobar, L. (2019). *Origen y características de los flujos torrenciales, del río Mulato del municipio de Mocoa. Departamento del Putumayo CO2* [Tesis de Maestría, Universidad del Tolima]. Repositorio Institucional Universidad del Tolima. <https://repository.ut.edu.co/handle/001/2944>
- Esper, M., Espejo, K., Lara, G., Perucca, L., y Rothis, M. (2016). Morfometría de cuencas como base en la evaluación de la susceptibilidad/peligrosidad por aluviones, caso de estudio: cuenca del río del Agua, San Juan, Argentina. *Revista De La Asociación Geológica Argentina*, 73(4), 513 - 519. <https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/277>
- ESRI. (2019). Explorar modelos digitales de elevación. Documentación. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.7/tools/spatial-analyst-toolbox/exploring-digital-elevation-models.htm>

- Esteven, J., Berenguer, I., y Sánchez, A. (2018). Método didáctico para reforzar el razonamiento inductivo-deductivo en la resolución de problemas matemáticos de demostración. *REFCaIE: Revista Electrónica Formación y Calidad Educativa*. ISSN 1390-9010, 6(2), 17-32.
- Farhan, Y., Elgaziri, A., Elmaji, I., y Ali, I. (2016). Hypsometric Analysis of Wadi Mujib-Wala Watershed (Southern Jordan) Using Remote Sensing and GIS Techniques. *International Journal of Geosciences*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.4236/ijg.2016.72013>
- Felicísimo, A. (2003). Bonham-Carter, G. F. (1996): Geographic information systems for geoscientists. Modelling with GIS. *GeoFocus*, (3), 9–12. <https://geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/36/203>
- Fernández, E., y Peña, F. (2016). Aplicación de un modelo hidrológico espacialmente distribuido en dos cuencas costeras de la Región de La Araucanía (Chile). *Estudios Geográficos*, 77(280), 35–56. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201602>
- Fernández, G., Vázquez, L., Palacio, J. L., Peralta, A., y García, A. (2018). Geomorfometría y cálculo de erosión hídrica en diferentes litologías a través de fotogrametría digital. *Revista Investigaciones Geográficas UNAM*, 1(96), 23-25. <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n96/2448-7279-igeo-96-00003.pdf>
- Galárraga, R. (2000). *Informe nacional sobre la gestión del agua en el Ecuador*. DGA. <https://snia.mop.gob.cl/repositorioldga/handle/20.500.13000/3494>
- Garay, D., y Agüero, J. (2018). Delimitación Hidrográfica y Caracterización Morfométrica de la Cuenca del Río Anzulón. *INTA*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_delimitacion_y_caracterizacion_de_la_cuenca_del_rio_anzulon
- García, P. (2021). ¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica? *Geoinnova*; Asociación Geoinnova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/>

- García, Y. (2017). Índice de vulnerabilidad del recurso hídrico con fines de riego en la cuenca hidrográfica del río Naranjo, Cuba. *Revista geográfica de américa central*, 1(58), 315-330. <https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.13>
- Gaspari, F., Rodríguez, A., y Montealegre, F. (2019). *Manejo de cuencas hidrográficas*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/87641>
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, M., y Besteiro, S. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/27877>
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Denegri, G., Besteiro, S., y Delgado, M. (2018). *Caracterización Morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina*. La Plata Argentina: Séptimo Congreso de Medio Ambiente. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26441>
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Denegri, G., Delgado, M., y Besteiro, S. (2013). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGM DOMUS*, 4, 143–158. <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/476>
- Geraldi, A., Piccolo, M., y Perillo, G. (2010). Delimitación y estudio de cuencas hidrográficas con modelos hidrológicos. *Investigaciones geográficas*, 52, 215. <https://doi.org/10.14198/ingeo2010.52.08>
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Bolívar. (2020). Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial del Cantón Bolívar. <https://gadbolivar.gob.ec/pdot/>
- González, F. (2015). *Manual introductorio ArcGis 10.2*. Universidad Nacional de Colombia-Departamento de Ingeniería Civil. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55428>

- González, G. (2018). El cambio climático y la dinámica de procesos hidrológicos en la cuenca Lerma-Chapala [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional UAQ. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/553>
- González de Matauco, A. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje Del Río Zadorra y sus afluentes aplicados a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la Asociación Geológica Española*, (38), 311-329. <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/495>
- Greenidge, S., Rodríguez, A. y Díaz, I. (2020). Geomorfología tectónica del sureste del municipio de Mayarí, provincia de Holguín. *Minería y Geología*. 36 (2). 155-171. http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art3_No2_2020/1503
- Guarín, D. (2017). *Influencia del patrón climático regional y la tectónica en la conformación del sistema de drenaje de la Serranía de San Lucas, Colombia: Análisis a partir del uso de la integral hipsométrica* [Tesis de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional-Uniandes. <http://hdl.handle.net/1992/40094>
- Guerra, F., y González, J. (2002). Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada La Bermeja, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela. *Geoenseñanza*, 7(1-2), 88-108. <https://www.redalyc.org/pdf/360/36070208.pdf>
- Guevara, R., Olguín, J., Mancilla, Ó., y Barreto, Ó. (2019). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, (24), 141–158. <https://doi.org/10.21138/GF.622>
- Guzmán, A., Antueno, L., y Gaspari, F. (2021). Análisis de la variabilidad geoespacial de la fragilidad morfométrica en la cuenca alta del Río Sauce

- Chico, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 120(1), 069.
<https://doi.org/10.24215/16699513e069>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 4, pp. 310-386). México: McGraw-Hill Interamericana.
- Horton, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, 56(3), 275 - 370.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- Huerta, P, y Loli, O. (2014). Erosion hídrica en la cuenca alta del río Moche. *Ecología Aplicada*, 13(1), 15-22.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162014000100002&lng=es&tlng=es.
- Ibáñez, S., Moreno, H., y Gisbert, J. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Universidad Politécnica de Valencia.
<http://hdl.handle.net/10251/10782>
- Illescas, J. (2016). Aplicaciones de los sistemas de información geográfica y determinación de los parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- Jaya, J. (2023). Altos niveles de erosión hídrica en una microcuenca tropical calculado mediante el modelo USLE. *FIGEMPA: Investigación Y Desarrollo*, 15(1), 26–39. <https://doi.org/10.29166/revfig.v15i1.4269>
- Jardí, M. (2015). Forma de una cuenca de drenaje. Analisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, 19(1), 41-68, <https://www.raco.cat/index.php/RevistaGeografia/article/view/45789>
- Lizárraga, L., Alzati, C., y García, F. (2019). Uso de tecnologías de bajo impacto como alternativa para la restauración del ciclo hidrológico en zonas urbanas:

- Campus universitario de la UAEH como caso de estudio. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, (5), 23-32. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i5.59>
- Loaiza, M. (2016). *¿Que son los Sistemas de información Geográfica? Riego y SIG (Sistemas de riego de precisión)*. <https://riegoySIG.wordpress.com/2016/10/20/primer-entrada-del-blog/>
- Mancero, H., Toctaguano, D., Tacuri, C., Kirby, E., y Tierra, A. (2015). Evaluación de Modelos Digitales de Elevación obtenidos por diferentes sensores remotos. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, 10(1). <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/cienciaytecnologia/article/view/33>
- Martínez, Y., y Villalejo, V. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Revista Riha*, 39(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S16800338201800010005.
- Meléndez de la Cruz, J. (2019). La identificación de las cabeceras de cuencas hidrográficas: métodos y aplicaciones. *Investigaciones Sociales*, 22(40), 111–120. <https://doi.org/10.15381/is.v22i40.15890>
- Méndez, A., Corral, S., Nájera, J., Cruz, F. y Pompa, M. (2021). Análisis morfométrico de la cuenca El Salto, Durango, México. *Tierra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.641>
- Méndez, W. (2016). Análisis cuantitativo del relieve en cuencas de drenaje de la vertiente norte del macizo “El Ávila” (estado Vargas, Venezuela) y su significado hidrogeomorfológico. *Investigaciones Geográficas*, (91). <https://doi.org/10.14350/rig.47722>
- Mendoza, H., Chavarría, J., Giler, A., Mendoza, H., Chavarría, J., y Giler, A. (2021). Evaluación de cambios en uso y cobertura de la tierra a escala de cuenca hidrográfica del río Chone. Dilemas contemporáneos: educación, política y valores, 8(SPE2). <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2602>

- Mirassou, S. (2009). *La gestión integral de los recursos hídricos : aportes a un desarrollo conceptual para la gobernabilidad del agua* [Tesis de Doctorado, FLACSO Andes]. Repositorio FLACSO. Sede Académica Argentina, Buenos Aires. <http://hdl.handle.net/10469/1365>
- Moreno, V. (2018). *Radiación solar y vapor de agua: implicancias en el ciclo hidrológico y atmósfera terrestre bajo forzamiento radiactivo por CO₂* [Tesis de Maestría, Universidad de Chile]. Repositorio Académico UCHILE. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168697>
- Nájera, O., Bojórquez, J., Flores, F., Murray, R., y González, A. (2016). Riesgo de erosión hídrica y estimación de pérdida de suelo en paisajes geomorfológicos volcánicos en México. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 45-55.
- Ochoa, B., Cuadros, J., Arapa, E., Aste, N., Ochoa, E y Bonnesoeur, V. (2022). *Guía de modelación hidrológica para la infraestructura natural*. Forest Trends. <https://www.forest-trends.org/publications/guia-de-modelacion-hidrologica-para-la-infraestructura-natural/>
- Ordoñez, J. (2011). *Ciclo del agua: cartilla técnica* (S. G. de Lima, 1 ed.). Global Foro Peruano para el Agua-Water Partnership South America https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf
- Ortiz, A., Noles, P., Cruz, A., Peñarrieta, F., y Alcantara, F. (2019). Variaciones físico-químicas de la calidad del agua del río Carrizal en Manabí. *Enfoque UTE*, 10(3), 30-41. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n3.423>
- Ortiz, M. (2017). Caracterización de cuencas. *Revista INECC México*. <https://micrositios.inecc.gob.mx/cuenca/diagnostico/06-clasificacion-ecogeografica.pdf>
- Palacios, T., Valdes, J., Jódar, A., y Alulema, R. (2020, septiembre 11). *Análisis del cambio de uso del suelo y su impacto en la respuesta hidrológica en la cuenca del embalse Guadalest. Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes.*

https://www.researchgate.net/publication/344227481_Analisis_del_cambio_de_uso_del_suelo_y_su_impacto_en_la_respuesta_hidrologica_en_la_cuenca_del_embalse_Guadalest?enrichId=rgreq-97239e20152e0b87282763c960fa7eae-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzM0NDIyNzQ4MTtBUzo5MzUyOTQ1MDUzMjQ1NDVAMTYwMDAwMjk5NTU2MA%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf

- Peña, H. (2004). Gestión integrada de los recursos hídricos: marco conceptual. *CEPAL/Global Water Partnership*. <https://hdl.handle.net/11362/20281>
- Pérez, C., Pérez, J., Hernández, L., Gustabello, R., y Becerra, E. (2019). *Sistema de Información Geográfica para la agricultura cañera en la provincia de Villa Clara*. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 13(2), 30-46.
- Peri, V., y Rossello, E. (2010). Anomalías morfoestructurales del drenaje del río Salado sobre las Lomadas de Otumpa (Santiago del Estero y Chaco) detectadas por procesamiento digital. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 66(4), 634-645.
- Pimiento, D., y Galvez, J. (2015). *Cálculo Del Caudal Máximo De Creciente De La Quebrada La Artesa Que Desemboca En La Quebrada De Ortega, En El Municipio De Güican (Boyacá), Con El Método Racional*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <http://hdl.handle.net/11349/4979>.
- Pucha, F., Fries, A., Cánovas, F., Oñate, F., González, V., y Pucha, D. (2017). *Fundamentos de SIG: aplicaciones con ArcGIS*. Franz Pucha Cofrep.
- QGIS. (2002). *Análisis hidrológico. La guía de procesamiento de QGIS. Manual de Aprendizaje QGIS. QGIS Documentation*. https://docs.qgis.org/3.28/es/docs/training_manual/processing/hydro.html
- Quiñónez, P. (2022). Evaluación de riesgos por erosión hídrica en el suelo de la microcuenca de la quebrada Quitumbe, Provincia de Imbabura.

Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte,
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12305>

- Rafael, W., Vilcherres, P., Muñoz, S., Tuesta, V., y Mejía, H. (2022). Modelado de procesos hidrológicos aplicando técnicas de inteligencia artificial: una revisión sistemática de la literatura. *ITECKNE*, 19 (1), 46-60. <https://doi.org/https://doi.org/10.15332/iteckne.v19i1.2645>
- Ramírez, J. (2015). *Alternativas de manejo sustentable de la subcuenca del río Pitura, provincia de Imbabura, Ecuador* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de La Plata]. Repositorio Institucional UNLP. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/49801>
- Ramírez, J. (2002). Extracción automática de redes de drenaje a partir de modelos digitales de terreno [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Colombia]. http://aqua.upc.es/crahi/ftp_homes/corral/crahi/docus/Extraccion%20Automatica%20de%20Redes%20de%20Drenaje.pdf
- Ramírez, P., Alfaro, K., Álvarez, M., Solís, L., y Solís, J.(2021). Morfometría de la subcuenca hidrográfica del río Páez, Cartago, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(67), 147 - 168. <https://doi.org/10.15359/rgac.67-2.5>
- Reglamento Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua. Art.25. 6 agosto del 2014 (Ecuador).
- Ríos, J. (2018). *Erosión hídrica y evolución del relieve en las cuencas de los ríos Grande y San Andrés, Antioquia–Colombia*. Universidad Nacional de Colombia [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64234>
- Rivas, D., y Moreno, M. (2019). *Delimitación hidrográfica y caracterización morfométrico de la cuenca del río Metica*. Repositorio UCC.

<https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/47895d51-26f8-4bdd-af24-336e2989eece/content>

Roa, J., y Kamp, U. (2012). *Uso del índice topográfico de humedad (ith) para el diagnóstico de la amenaza por desborde fluvial, Trujillo-Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, 53(1), 109-126.*

Rojas, P. (2015, febrero 9). ¿Qué es una curva hipsométrica? Ingeciv. <https://ingeciv.com/que-es-una-curva-hipsometrica/>

Romero, A., y López, F. (1987). Morfometría de Redes Fluviales: Revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al Alto Guadalquivir. *Papeles de Geografía (Física), (12), 47-62.*

Rosero, M. (2019). Metodología para el cálculo de los parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica por medio de Sistemas de Información Geográfica. Caso de estudio—Río Mulaló (Yumbo—Colombia) [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Luján]. <https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/755/Villota%20Teledetecci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez, L. (2017). *Desarrollo de habilidades de pensamiento crítico a través del aprendizaje basado en juegos para la Educación ambiental en estudiantes del grado 5 de primaria* [Tesis de Maestría, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. Repositorio Institucional UDCA. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/890>

Sánchez, L., y Reyes, O. (2015). Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe: Una revisión general. *CEPAL*. <https://hdl.handle.net/11362/39781>

Sandoval, R., Luévanos, A., López, S., y Medina, M. (2019). Modelado para trabes de sección transversal rectangular con cartelas parabólicas: Parte 2. *Computación y Sistemas, 23(3), 1115-1124.* <https://doi.org/10.13053/cys-23-3-2873>

- Santos, J. (2015). La enseñanza virtual de los sistemas de información geográfica (SIG) en la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Acomodación al marco del espacio europeo de educación superior (EEES). *Espacio Tiempo y Forma. Serie VI, Geografía*, (4-5), 83–100. <https://doi.org/10.5944/etfvi.4-5.2011.13724>
- Sayama, T., McDonnell, J., Dhakal, A., y Sullivan, K. (2011). How much water can a watershed store? *Hydrological Processes*, 25(25), 3899-3908. <https://doi.org/10.1002/hyp.8288>
- Sistemas de Información Geográfica. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid-España.
- Schumm, S. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy. *Geological Society American Bulletin*, 597-646.
- Sequeira, N., Vázquez, P., y Sacido, M. (2019). Erosión hídrica y su relación con el avance de la agricultura en el sudeste bonaerense, Argentina. El caso del partido de Benito Juárez durante las campañas 1989/90, 2002/03 y 2014/15. *Papeles de Geografía*, (65), 106–120. <https://doi.org/10.6018/geografia.395691>
- Servicio Geológico Mexicano. (2017). *Sistemas de información geográfica*. Gobierno de México. <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/SIG/Introduccion-SIG.html>
- SIGSA. (2021). *¿Qué es ArcGIS?* SIGSA. <https://www.sigsa.info/es-mx/arcgis/about-arcgis/overview>
- Sørensen, R., Zinko, U., y Seibert, J. (2006). On the calculation of the topographic wetness index: Evaluation of different methods based on field observations. *Hydrology and Earth System Sciences*.
- Southard, J. (2022, octubre 30). Redes de Drenaje. LibreTexts Español. [https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Geograf%C3%ADa_\(F%C3%AD](https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Geograf%C3%ADa_(F%C3%AD)

sica)/El_ambiente_de_la_superficie_terrestre_(Southard)/05%3A_R%C3%ADos/5.10%3A_Redde_de_Drenaje

- Sukristiyanti, S., María, R., y Lestiana, H. (2018). Watershed-based Morphometric Analysis: A Review. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 118, 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012028>
- Torres, E., Becerra, J., Uresti, J., Torres, L., y Rivera, P. (2020). Predicción de la erosión hídrica en la cuenca del Cañón del Sumidero, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8). <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2747>
- Touya, G., Boulze, H., Schleich, A., y Quinquenel, H. (2019). Contour Lines Generation in Karstic Plateaus for Topographic Maps. Proceedings of the ICA, 2, 1-8. <https://doi.org/10.5194/ica-proc-2-133-2019>
- Uribe, E., Montes, M., y García, E. (2010). Mapa Nacional de Índice de Inundación. *Tecnología y ciencias del agua*, 1(2), 73-85.
- Van, N., Galizzi, F., Sasal, M., Gagnetten, A., Wilson, M., Gabioud, E., y Seehaus, M. (2018). *Caracterización de áreas de aporte en una cuenca hidrográfica para el monitoreo de plaguicidas en agua superficial*. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. https://www.researchgate.net/publication/353288702_CHARACTERIZACION_DE_AREAS_DE_APORTE_EN_UNA_CUENCA_HIDROGRAFICA_PARA_EL_MONITOREO_DE_PLAGUICIDAS_EN_AGUA_SUPERFICIAL
- Varela., M. (2022). *Identificación del régimen de drenajes en la cuenca del “Alto Atoyac” y sus alteraciones por el cambio en el uso del suelo desde el nacimiento del río hasta San Martín Texmelucan Puebla, México* [Tesis de grado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio Institucional BUAP. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/16238>
- Vázquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz, J., Vásquez, C., Castro, A., Tapia, M., y Alcántara, J. (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas*. Lima: Fondo Editorial-UNALM.

<https://www.fondoeditorialunalm.com/wpcontent/uploads/2020/09/CUENCA-S-HIDROGRAFICAS.pdf>

- Velázquez, F., Luévanos, A., López, S., y Medina, M. (2019). Modelado para trabes de sección transversal rectangular con cartelas parabólicas: Parte 1. *Computación y Sistemas*, 23(2), 547–556. <https://doi.org/10.13053/cys-23-2-2872>
- Vera, F. (2015). Grundrifi der gesamten Gewcisserkunde. Band I: Flufikunde (Compendium ofHydrology Vol. I. Rivers, in German). *Scientific Research*, 50-58.
- Zhicay, J. (2020). *Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, cantón Gualaceo* [Tesis previa obtención del título de Ingeniería ambiental, Universidad de Politécnica Salesiana – Sede Cuenca]. Repositorio UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18364>
- Zuleica, L., Vázquez, P., y Daga, D. (2020). Transformaciones territoriales en el periurbano hortícola de Mar del Plata (Argentina) y su incidencia en los procesos de erosión hídrica. *Revista de Geografía Norte Grande*, 75. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022020000100179>
- Zúñiga, R., Muñoz, E., y Arumí, J. (2012). Estudio de los procesos hidrológicos de la cuenca del Río Diguillín. *Revista Obras y Proyectos*, 11, 69-78. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071828132012000100007