



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SEDE
ESMERALDAS

ESCUELA GESTION AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

MAPA DE LA CONECTIVIDAD HIDROLOGICA SUPERFICIAL DE LA PROVINCIA DE ESMERALDAS

PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE LICENCIADO EN GESTION
AMBIENTAL

AUTOR

CHILÁN ANCHUNDIA JORGE ISAAC

ASESOR

MGT. MÉRIDA ORTIZ CASTRO

ESMERALDAS, JULIO - 2022

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de grado de la PUCESE previo a la obtención del título de LICENCIADO EN GESTIÓN AMBIENTAL.

LECTOR 1

Mgt. Lita Peggy Verduga Vergara

LECTOR 2

Mgt. Eduardo Rebolledo Monsalve

DIRECTORA DE ESCUELA

Mgt. Karla Solís Charcopa

DIRECTOR DE TESIS

Mgt. Mérida Ortiz Castro

Esmeraldas, 2022

AUTORÍA

Yo, Jorge Isaac Chilán Anchundia, declaro que la presente investigación titulada: “**Mapa de la conectividad hidrológica superficial de la provincia de Esmeraldas**”. Es absolutamente original, autentica y personal.

En tal sentido, manifiesto la originalidad de a conceptualización del trabajo de investigación e interpretación de datos, dejando establecido que los aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

Jorge Isaac Chilán Anchundia

C.I 0850187261

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco en primer lugar a Dios, por haberme permitido culminar mis estudios, a mis padres **Ing. Vinicio Chilán y Mgt. Jenny Anchundia** quienes siempre me apoyaron incondicionalmente para seguir adelante y no desistir en el camino, a mis hermanos, a mi novia, y demás familiares.

De manera especial le agradezco al profesor **PhD. Jon Molinero**, a mi asesora de tesis **Mgt. Mérida Ortiz Castro**, a mis lectores **Mgt. Lita Verduga y Mgt. Eduardo Rebolledo Monsalve**, quienes con sus conocimientos me ayudaron con observaciones para la elaboración de este trabajo.

Agradezco a mis compañeros de aula y demás profesores quienes me impartieron sus conocimientos día a día.

DEDICATORIA

Dedico mi tesis de grado en primera instancia a Dios por haberme ayudado a cumplir uno de mis mayores objetivos, por haber sido mi guía durante estos años y poder salir adelante superando cada obstáculo que se me atravesaba en este tiempo de estudio.

A mis padres Vinicio Chilán y Jenny Anchundia por brindarme su apoyo incondicional, su sabiduría, conocimientos y experiencias que a lo largo de estos años han formado la persona que soy hoy en día.

A mis hermanos Emanuel y Doménica, a mi novia Melanie quienes estuvieron día a día apoyándome y dándome ánimos para no rendirme y lograr mis objetivos.

A mis abuelos, tíos, primos que de alguna manera durante todo este trayecto se involucraron, me ayudaron y me inspiraron a seguir adelante.

A mis asesores, lectores, demás profesores y compañeros que formaron parte de esta de esta travesía impartíendome sus conocimientos con paciencia y sabiduría.

ÍNDICE

RESUMEN	9
ABSTRACT.....	10
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	11
Presentación del tema de investigación.....	11
Planteamiento del problema	12
Justificación	13
Objetivos	14
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos	14
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	15
Bases Teóricas y Científicas.....	15
Componentes de la Cuenca hidrográfica.....	15
Antecedentes	19
Marco legal	20
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	22
Área de estudio.....	22
Generación del mapa de drenaje.....	24
Delimitación de las cuencas.....	25
Modelo digital de elevación.....	26
Análisis hidrológico	27
CAPITULO IV: RESULTADOS.....	31
Características físicas de las cuencas hidrográficas.....	31
Conectividad hidrológica.....	36

Modelo digital de elevación.....	37
Direcciones del flujo.....	37
CAPITULO V: DISCUSIÓN.....	41
CAPITULO VI: CONCLUSIONES.....	45
CAPITULO VII: RECOMENDACIONES	46
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de área de estudio.....	23
Figura 2 Herramienta Buffer en QGIS, elaboración propia.....	25
Figura 3 Herramienta Clip Grid with Polygon de SAGA, elaboración propia.	26
Figura 4 Herramienta Fill Sinks (Wang & Liu) en SAGA, elaboración propia.	27
Figura 5 Herramienta Channel Network and Drainage Basins en SAGA, elaboración propia.	28
Figura 6 Flow Accumulation (Recursive) de SAGA, elaboración propia.....	29
Figura 7 Herramienta Cortar ráster por capa de máscara en QGIS, elaboración propia.	30
Figura 8 Mapa de la conectividad hidrológica de la provincia.¡Error! Marcador no definido.	
Figura 9 Modelo digital de elevación de las cuencas hidrológicas de la provincia¡Error! Marcador no definido.	
Figura 10 Mapa de dirección de flujo de las cuencas hidrológicas de la provincia¡Error! Marcador no definido.	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Área de los principales ríos de la provincia.	34
Tabla 2 Parámetros físicos, de forma y características de relieve de los principales ríos de la provincia.	34
Tabla 3 Área de los principales esteros de la provincia.	35
Tabla 4 Parámetros físicos, de forma y características de relieve de los principales esteros de la provincia.	36

RESUMEN

El conocimiento de la escorrentía, que se va a determinar en el presente documento pretende ser útil en simulaciones en una cuenca de drenaje, por ejemplo, para la determinación de caudales máximos en el diseño de obras como medida de prevención de desastres o aplicaciones en cambio climático. Por ello se desarrolló un proceso en SAGA y QGIS ya que son softwares libres permitió generar un mapa de la conectividad hidrológica superficial de las cuencas hidrográficas de la provincia de Esmeraldas y se realizó un análisis de las áreas de drenaje obtenidas. En primera instancia se utilizó la herramienta "Fill sinks (Wang & Liu)". Seguido se utilizó la herramienta "Channel Network and Drainage Basins". Por último, la herramienta "Flow accumulation (recursive)" para las direcciones de flujo de la escorrentía. Analizando la conectividad hídrica de los ríos, esteros y drenajes existentes dió como resultado que la cuenca más importante de la provincia es la del Esmeraldas, con un área de 20.980 km², un total de 40 esteros en la provincia que poseen cuencas muy pequeñas con áreas que van desde los 2.5 hasta los 191 km², entre los más importantes están: Horquera y Vainilla. También se pudo determinar que existen un total de 1508 drenajes, estos alimentan ríos y esteros para formar cuencas hidrográficas. Se puede concluir que el mapa de la

conectividad hidrológica generado, con el de modelo de elevación digital y de dirección de flujo, son de utilidad para posteriores estudios relacionados al manejo y protección de cuencas hidrográficas.

Palabras clave: Cuenca, drenajes, escorrentía, esteros, ríos.

ABSTRACT

The knowledge of runoff, which will be determined in this document, is intended to be useful in simulations in a drainage basin, for example, for the determination of maximum flows in the design of works as a disaster prevention measure or applications in climate change. Therefore, a process was developed in SAGA and QGIS, since they are free software, which allowed generating a map of the surface hydrological connectivity of the hydrographic basins of the province of Esmeraldas and an analysis of the drainage areas obtained. First, the "Fill sinks (Wang & Liu)" tool was used. Then, the "Channel Network and Drainage Basins" tool was used. Finally, the "Flow accumulation (recursive)" tool was used for the runoff flow directions. Analyzing the water connectivity of existing rivers, estuaries and drainages resulted in the most important basin in the province being the Esmeraldas basin, with an area of 20,980 km², a total of 40 estuaries in the province that have very small basins with areas ranging from 2.5 to 191 km², among the most important are: Horquera and Vainilla. It was also determined that there are a total of 1508 drainages, which feed rivers and estuaries to form watersheds. It can be concluded that the hydrological connectivity map generated, together with the digital elevation

and flow direction model, are useful for further studies related to watershed management and protection.

Keywords: Basin, drainage, runoff, estuaries, rivers.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

Presentación del tema de investigación

La Escorrentía es la parte de la Precipitación que llega a alimentar a las corrientes superficiales, continuas o intermitentes, de una cuenca. Existen distintos tipos de escorrentías dependiendo de su procedencia: puede ser escorrentía superficial o directa, escorrentía hipodérmica o subsuperficial y escorrentía subterránea. La escorrentía se puede definir como la cantidad de agua de una tormenta que drena o escurre sobre la superficie del suelo. Cuando se produce, fluye a los cauces incrementando su volumen; a medida que llega agua de las partes más lejanas comienza suavemente a decrecer el caudal al poco tiempo de terminada la lluvia.

(1)

En lo que a continuación se detalla en el siguiente trabajo es sobre la escorrentía superficial, se puede considerar como el agua producto de las precipitaciones que fluye por la superficie como escorrentía directa y que no alcanza a evaporarse ni a infiltrarse en el suelo, llegando a los cauces después de cierto tiempo de la lluvia.

(2)

En los ríos y lagos no se encuentra la mayor parte del agua de una cuenca, sino en el suelo. Agua limpia y una tierra rica en nutrientes son signos de una cuenca saludable. Una buena vegetación, sobre todo los existentes en las partes altas de

la cuenca y en los bordes de los ríos, propician una mejor calidad y cantidad de agua subterránea. Al proteger y conservar el agua, la vegetación y la tierra, estamos protegiendo las cuencas hidrográficas. (3)

Según Hesperian (3), con frecuencia la protección de cuencas implica resolver conflictos sobre propiedad de tierras, delimitar las propiedades, planificar el flujo de aguas, establecer convenios entre vecinos sobre la utilización de tierras y agua, y recaudar y compartir los recursos necesarios para realizar las tareas necesarias.

El conocimiento de la escorrentía, que se va a determinar en el presente documento pretende ser útil en simulaciones en una cuenca de drenaje, por ejemplo, el factor en la simulación de tormentas para la determinación de caudales máximos, en el diseño de obras como medida de prevención de desastres o aplicaciones en cambio climático (base para futuras proyecciones de escenarios). (4)

Planteamiento del problema

A nivel nacional, en cuanto se refiere al recurso hídrico se está viendo severamente afectado por las actividades antrópicas, las que a su vez ponen en riesgo la disponibilidad, la calidad y su cantidad, al igual que las funciones ecológicas y servicios ambientales relacionados a los recursos hídricos, en ciertos casos se encuentran afectados de forma crítica. El origen de este problema tiene múltiples artistas; una de ellas es la creciente deforestación, aplicación desmedida de productos agroquímicos y el mal manejo del recurso suelo, vertido de sinnúmero de sustancias tóxicas a los ecosistemas, cambio de curso de caudales, incremento de urbanizaciones en zonas de producción hídrica, entre otros. (5)

La Escorrentía es la parte de la Precipitación que llega a alimentar a las corrientes superficiales, continuas o intermitentes, de una cuenca. Para lograr desarrollar planes de mitigación de estos impactos adversos es fundamental desarrollar evaluaciones hidráulicas del sistema de drenaje urbano, mediante el uso de modelos hidrodinámicos, mismos que para su implementación y ejecución utilizan gran cantidad de información de entrada. Los análisis de infiltración, escurrimiento,

tipos de usos de suelo son parámetros fundamentales en el desarrollo de los modelos hidrológicos-hidráulicos de los sistemas de alcantarillado. (6)

Justificación

La provincia de Esmeraldas está ubicada al noroccidente del Ecuador, está considerada como húmeda, con una pluviosidad anual en la estación seca comprendida entre 500 mm – 700 mm, en la estación húmeda se registra una pluviosidad por año de hasta alrededor de los 2000 mm; y superhúmeda con una pluviosidad por año de hasta los 7000 mm, todos estos datos son un promedio de los años 1981 hasta el 2010.

Las zonas más húmedas de la provincia se encuentran hacia el Sur en Muisne, Atacames, en el interior y Norte en Quinindé, Eloy Alfaro, San Lorenzo, sectores que con las fuertes lluvias corren un gran peligro de sufrir desastres naturales como son las inundaciones de las zonas urbanas o pobladas. (7).

Dicha humedad se refleja en su sistema hidrográfico, el mismo que según la División Hidrográfica del Ecuador (8), en el Ecuador existen vertientes hacia el pacífico, de las cuales, 7 se encuentran en nuestra provincia; Carchi, Mataje, Mira, Cayapas, Verde, Esmeraldas y Muisne, con un total de 23 cuencas hidrográficas en la provincia de Esmeraldas.

La investigación planteada permitirá obtener un mapa de escorrentías superficiales de la provincia de Esmeraldas, el cual servirá para cubrir en parte la poca información existente sobre el tema, además de constituirse en una herramienta practica para futuras investigaciones de problemas ambientales como tala indiscriminada, para poder evaluar y mejorar la sostenibilidad de la gestión de los recursos hídricos en la minería, para poder tomar medidas de prevención ante desastres naturales como son las inundaciones, los mismos que están relacionados

directamente con los recursos hídricos y sus consecuencias económicas, sociales y ambientales, además que permitirá conocer las características de sus factores geográficos, hidrogeológicos, permitiendo diseñar lineamientos dirigidos a su protección, sirviendo de base a las comunidades usuarias del recurso e instituciones encargadas de la planificación, para tomar en cuenta su uso y disponibilidad en estudios actuales y futuros.

Objetivos

Objetivo general

- ✓ Elaborar un mapa de la conectividad hidrológica superficial de la provincia de Esmeraldas a partir de un modelo digital del terreno para perfeccionar la información base existente que ayude a las futuras planificaciones de la provincia.

Objetivos específicos

- ✓ Estudiar las características físicas de las cuencas hidrográficas de la provincia de Esmeraldas.
- ✓ Desarrollar un proceso en SAGA y QGIS que permita generar un mapa de la conectividad hidrológica superficial de las cuencas hidrográficas de la provincia de Esmeraldas.
- ✓ Realizar un análisis de las áreas de drenaje obtenidas de los procesos de SAGA y QGIS.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Bases Teóricas y Científicas

Componentes de la Cuenca hidrográfica

El ciclo hidrológico es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación. Este involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento). (9)

Según la FAO (10), una cuenca hidrográfica hace referencia a una zona geográfica la cual es drenada por una corriente de agua. Este concepto que muestran se les da entendimiento a varias escalas, en las que van desde una microcuenca que puede ser una superficie agrícola por la cual pasa un arroyo, hasta las cuencas

lacustres que son cuencas fluviales muy grandes. En una cuenca fluvial por lo general se suele comprender como un complejo sistema de microcuencas y cuencas hidrográficas en las que son atravesadas por sus afluentes y su caudal principal, en su transcurso desde su fuente hasta llegar a su desembocadura.

Un río es un sistema de flujo de agua en el cual lleva gran cantidad de sedimentos que a su vez controlan la función biológica de la tierra. Los ríos son considerados como los corredores activos que tienen más importancia dentro de la naturaleza y de estos depende el equilibrio para que se desarrolle la vida. Dentro de la morfología fluvial, la vegetación presenta un papel indispensable ya que se considera como estabilizadora del terreno. (11)

Un lago es considerado como un cuerpo de agua natural que mantiene en equilibrio biológico el resto de la naturaleza. En los lagos se desarrollan diversos fenómenos complejos que requieren un grupo interdisciplinario para su estudio, en los que se incluyen la limnología, la hidrología, la biología, sedimentología, hidrología, etc. (11)

El Embalse obtiene características similares al lago, lo único que difiere es que presenta un volumen de agua artificial que es creado por el hombre y este presenta repercusiones medioambientales. Esta agua es utilizada por el hombre para su uso. Los usos más frecuentes de estos embalses son para: abastecimiento, energía hidroeléctrica, regadío. (11)

En una cuenca existe la superficie, en la que contiene los lagos y ríos que a su vez alimentan todos los acuíferos a través de la infiltración del agua. Así mismo, es la fuente de la que se obtienen los sedimentos que dan alimento a los lagos y ríos. Esta superficie es explotada y aprovechada por el ser humano por su gran cantidad de nutrientes para cultivo de vegetación. Es el principal contenedor y conductor del agua. (12)

Los esteros son zonas que tienen una profundidad relativamente pequeña, en su mayoría siempre por debajo de los 3 metros de profundidad en los que alberga una

gran biodiversidad, también se define estero a las zonas pantanosas o de manglar. (13)

Los drenajes son medios en los cuales el agua contenida de una zona fluye a través de las infiltraciones en el terreno y de los cursos fluviales, y se forma a partir del agua de lluvia. (14)

El índice de compacidad o índice de Gravelius es un parámetro adimensional que hace una relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo semejante y sirve para describir la geometría de la cuenca y su relación con el tiempo de concentración del sistema hidrológico. (18)

Duvelson (15) expresa que el Modelo de Conectividad Hidrológica Superficial está basado en el principio en el que el agua fluye en dirección de la parte más baja de una pendiente. Como principal dato para poder definir cuál es el patrón de continuidad de la red hidrográfica es el modelo de elevación. En la actualidad, este trabajo se lleva a cabo con más precisión gracias al desarrollo de algoritmos y a todos los avances realizados en la tecnología los que permiten realizar con mayor velocidad el proceso. El MED o también conocido como los modelos de elevación digital son los registros digitales que representan a las elevaciones del terreno para las posiciones terrestres en los intervalos horizontales regulares, estos se los consiguen normalmente en los mapas topográficos por medio de métodos fotogramétricos o por medio de datos hipsométricos.

Un SIG o Sistema de Información Geográfica “es una herramienta que permite la integración de bases de datos espaciales y la implementación de diversas técnicas de análisis de datos. Por tanto, cualquier actividad relacionada con el espacio, puede beneficiarse del trabajo con SIG.” (16)

En la Hidrología se pueden hacer proyecciones y estudios de aprovechamiento de los recursos hídricos, relacionando las cuencas hidrológicas y todos los elementos

integrantes, como es el caso de la red pluvial y fluvial, los cuerpos de agua y mantos acuíferos, zonas y tiempos de recarga, elementales para diseñar un proyecto de desarrollo sustentable que esté basado en el recurso agua. (12)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se definen como un conjunto de sistemas que son diseñados para recopilar información espacial que sirven para consultar, manipular y para la representación en la cartografía. (16)

Significados de Cartografía (16) expresa la cartografía digital utiliza a la tecnología informática para la demostración gráfica de los mapas. Se utilizan los (SIG), los que a su vez se encargan de codificar y gestionar las variables y datos geoespaciales por medio de diferentes recursos como son las bases de datos, las distintas aplicaciones de estadísticas, los programas de diseño que son asistidos por los ordenadores, entre otros.

El Modelo Digital del Terreno, es un modelo simbólico que apareció y se desarrolla basado en las nuevas tecnologías digitales. Se basa en estructuras numéricas de datos que representan la distribución en el espacio de una variable cuantitativa y continua. El tipo de MDT más conocido es el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) (17).

Antecedentes

En el año 2013 el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) publicó el Modelo de Regímenes de Inundación con el objetivo de registrar en cartografía de los ecosistemas en el Ecuador Continental íntimamente ligados al agua, se utiliza como un factor fundamental a la Inundabilidad general para la conclusión en la restricción de dichos ecosistemas. Este componente hace relación al drenaje del agua en función de las condiciones hidrogeológicas, las fluctuaciones durante las estaciones de la precipitación y unidades geomorfológicas, impermeabilidad, permeabilidad, la estructura y textura de los suelos. Sugieren la utilización de capas ráster de los sistemas de información geográficas para la generación de mapas de escurrimiento. (18)

En el año 2009, Lorena Rosas (19), diseño el Manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador, aplicando pautas técnicas de un sistema semiautomático con la metodología Pfafstetter que se basa en la topología de la superficie o área del terreno.

Por su parte, la Secretaría Nacional del Agua del Ecuador y la UICN Sur, en convenio de cooperación interinstitucional, elaboraron en el año 2009 el Mapa de

Delimitación y Codificación de unidades Hidrográficas del Ecuador con la metodología Pfafstetter a escala 1: 250.000 hasta el nivel 5

Marco legal

Referente al recurso agua, la actual constitución ecuatoriana consagra su protección en el artículo 12, donde establece que el ser humano tiene un derecho irrenunciable y fundamental al agua, mismo que es vital para la vida y sobre todo de uso público. En el artículo 318 reconoce al agua como un patrimonio nacional que es de uso público, de dominio imprescriptible e inalienable del Estado ecuatoriano, es parte vital para la naturaleza y sobre todo vital para la existencia de la humanidad. De ninguna manera y bajo ningún concepto se puede llegar a privatizar el agua. (20)

El Código Orgánico del Ambiente en su artículo 411 expresa que el estado está en la obligación de garantizar la seguridad, la preservación, el correcto uso y cuidado de los recursos hídricos, de los caudales ecológicos, y de las cuencas hidrográficas que estén relacionadas al ciclo hidrológico. También debe regular todo tipo de actividades que de una u otra manera afecten a la cantidad y a la calidad del agua, y la equidad de los ecosistemas, sobre todo en las zonas y fuentes de recarga de agua. (21)

El 6 de agosto del 2014 se promulgó la nueva Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y aprovechamiento del agua, donde en el artículo uno, establece la naturaleza jurídica de los recursos hídricos haciendo referencia que son parte del patrimonio

natural del Estado y de esta manera será competencia exclusiva del Gobierno Central con los Gobiernos Autónomos Descentralizados, según lo establezca la ley. A su vez menciona en el artículo 18 que las atribuciones y las competencias de la Autoridad Única del Agua son: en primer lugar, dar cumplimiento a las políticas públicas que estén dentro del margen de la gestión integral de los recursos hídricos; y también se debe de establecer la delimitación en la parte administrativa de las unidades hidrográficas. (22)

Dentro de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos también en su artículo ocho manifiesta que para lograr una correcta gestión y administración integrada de todos los recursos hídricos la responsabilidad total recae sobre La Autoridad Única del Agua, dándole un enfoque ecosistémico y por sistemas de cuencas o por cuenca hidrográfica, en la que se acordará los respectivos niveles de gobernanza en base de sus ámbitos de competencia. Se debe delimitar las cuencas hidrográficas para que la gestión integral e integrada de los recursos hídricos se convierta en el eje transversal del sistema nacional descentralizado para posteriormente tener una correcta planificación para el desarrollo. (22)

CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La provincia de Esmeraldas está ubicada al noroccidente del Ecuador, está considerada como húmeda, con una pluviosidad anual en la estación seca comprendida entre 500 mm – 700 mm, en la estación húmeda se registra una pluviosidad por año de hasta alrededor de los 2000 mm; y superhúmeda con una pluviosidad por año de hasta los 7000 mm, todos estos datos son un promedio de los años 1981 hasta el 2010.

Las zonas más húmedas de la provincia se encuentran hacia el Sur en Muisne, Atacames, en el interior y Norte en Quinindé, Eloy Alfaro, San Lorenzo, sectores que con las fuertes lluvias corren un gran peligro de sufrir desastres naturales como son las inundaciones de las zonas urbanas o pobladas. (7)

Según la División Hidrográfica del Ecuador (8), en la provincia de Esmeraldas se encuentran 7 vertientes hacia el Pacífico y son; Carchi, Mataje, Mira, Cayapas, Verde, Esmeraldas y Muisne, con un total de 23 subcuencas, las misma que son

compartidas con otras provincias como Carchi, Imbabura, Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas y Manabí. Estas subcuencas se toman como el área de estudio del presente trabajo de tesis .

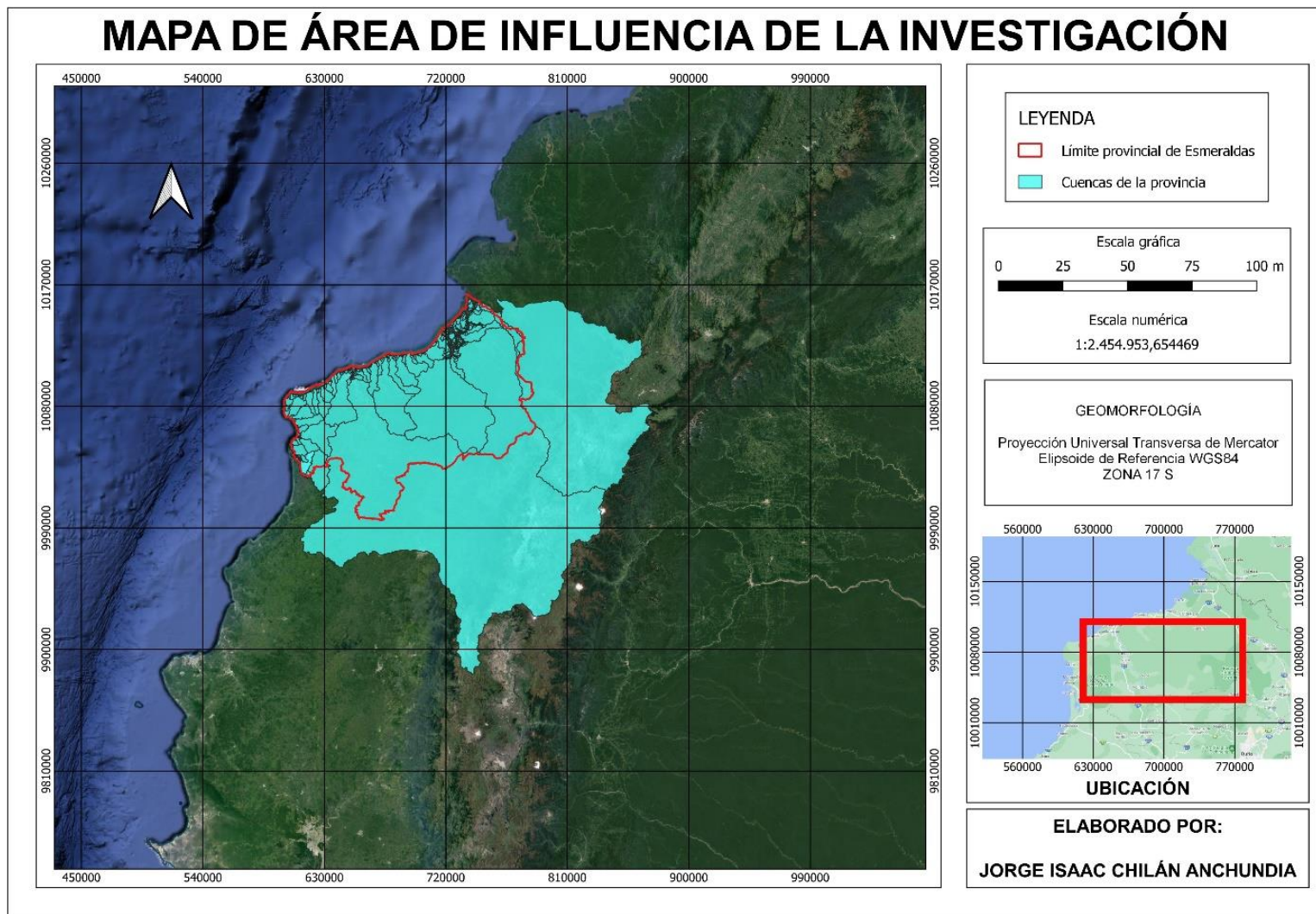


Figura 1 Mapa de área de estudio.

Generación del mapa de drenaje

Para este trabajo se utilizó un algoritmo propuesto por Wang & Liu para identificar y rellenar depresiones superficiales en modelos digitales de elevación. Los cuales permiten la creación de modelos de elevación de sonido hidrológico, es decir, no solo para llenar las depresiones sino también para preservar una pendiente descendente a lo largo de la trayectoria del flujo.

También se utilizó un procesamiento ascendente recursivo de celdas para el cálculo de la acumulación de flujo y parámetros relacionados, con el algoritmo Flow Accumulation (Recursive). Este conjunto de algoritmos procesa recursivamente todas las celdas conectadas hacia arriba hasta que se haya procesado cada celda del DEM.

Delimitación de las cuencas

Para la respectiva delimitación de las cuencas existentes en la provincia de Esmeraldas, se utilizó la clasificación ya establecida de cuencas del INHAMI en la que se dividió al país en un total de 79 cuencas hidrográficas, siendo para la provincia de Esmeraldas designadas un total de 23 cuencas hidrográficas. (23)

A estos datos obtenidos se le realizó un buffer de 5k mediante la herramienta “**Buffer**” en el programa QGIS para englobar el área de estudio y que de esta manera no existan errores posteriores.

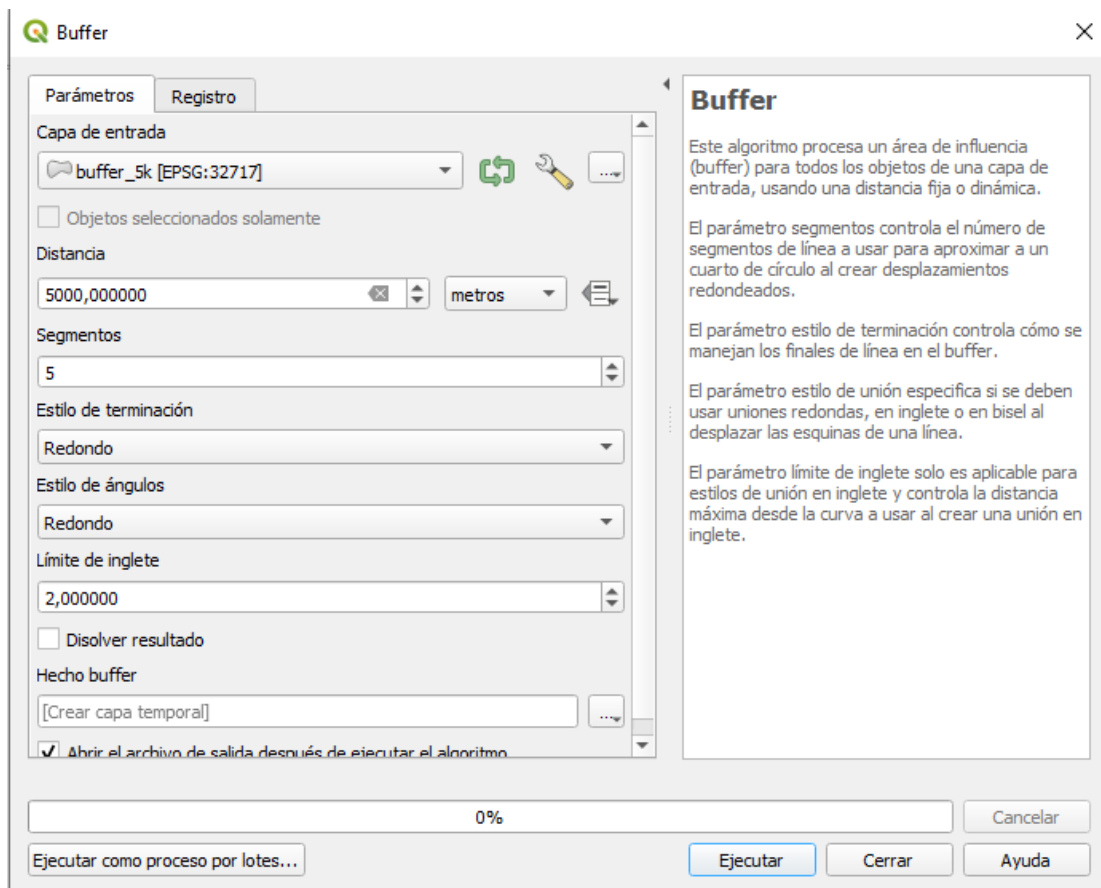


Figura 2 Herramienta Buffer en QGIS, elaboración propia.

Modelo digital de elevación

Seguido de delimitar todas las cuencas existentes de la provincia de Esmeraldas, se tomó el modelo digital de elevación (MDE) del terreno, teniendo como referencia los datos de una misión de radar (TanDEM-X) de observación de la Tierra, la cual se obtuvo de la página oficial del Centro Aeroespacial Alemán (DLR), cuenta con un espaciado de píxeles reducido de 3 segundos de arco, lo que concierne a 90 m en el Ecuador y en cobertura vegetal hasta 30 m. (24)

Posteriormente se llevó a cabo el respectivo corte con base en la delimitación de cuencas propuesta por el INHAMI para así obtener las cuencas de estudio de la provincia de Esmeraldas, mediante la herramienta “**Clip Grid with polygon**” del programa SAGA.

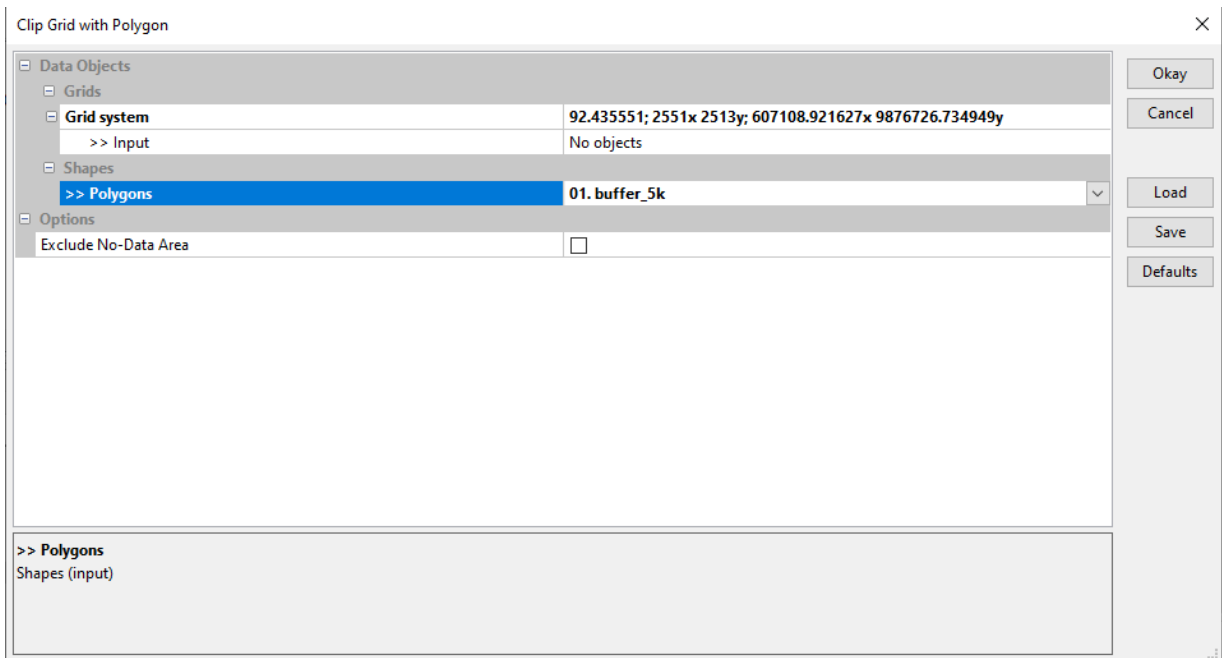


Figura 3 Herramienta Clip Grid with Polygon de SAGA, elaboración propia.

Análisis hidrológico

En cuanto al procedimiento que se siguió para la elaboración del mapa:

1. Corregir las imperfecciones que presente el MDT (modelo digital del terreno).
Para obtener un modelo de la escorrentía o flujo de agua superficial se necesita generar un MDT que no tenga sumideros.
Para esto se utilizó la herramienta **“Fill sinks (Wang Liu)”**, cuya función es de rellenar los sumideros existentes y permite generar un modelo de flujo que es continuo en toda la superficie.

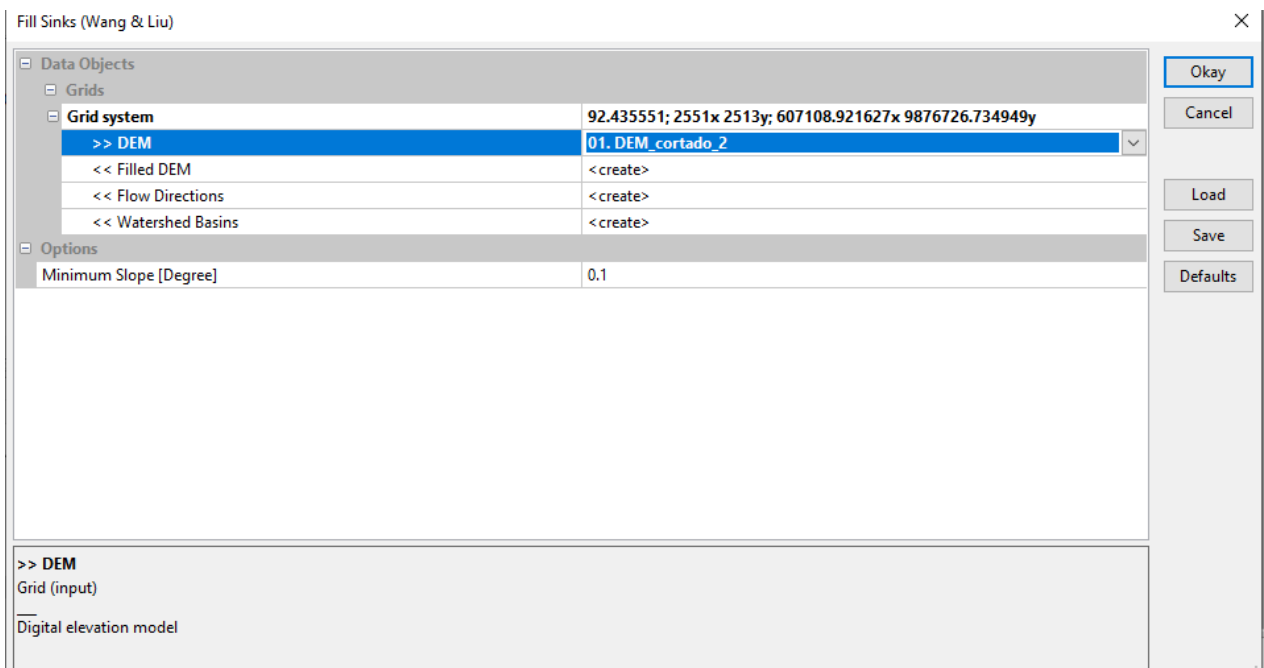


Figura 4 Herramienta Fill Sinks (Wang & Liu) en SAGA, elaboración propia.

Una vez generado nuestro DEM sin sumideros se procedió a la obtención de las cuencas y de la red hídrica.

2. Para este paso, se utilizó la herramienta “**Channel Network and Drainage Basins**” en la que se necesitaron datos ya procesados como es el DEM sin sumideros, en las opciones se colocó un nivel 5 de Threshold que corresponde al nivel de detalle del drenaje que se deseaba.

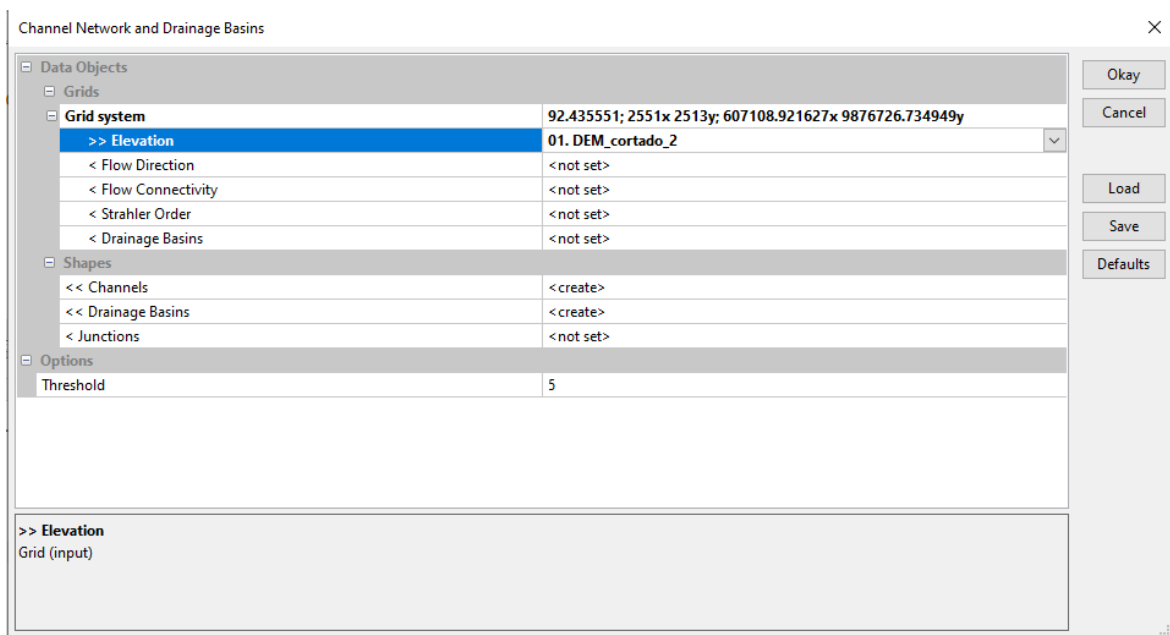


Figura 5 Herramienta Channel Network and Drainage Basins en SAGA, elaboración propia.

Para el análisis hidrológico de las cuencas de la provincia de Esmeraldas se tomó en cuenta el modelo digital del terreno y los algoritmos de QGIS y SAGA,

3. Para ver la red de drenaje se utilizó el programa de SAGA, ocupando la herramienta “**Flow accumulation (recursive)**”

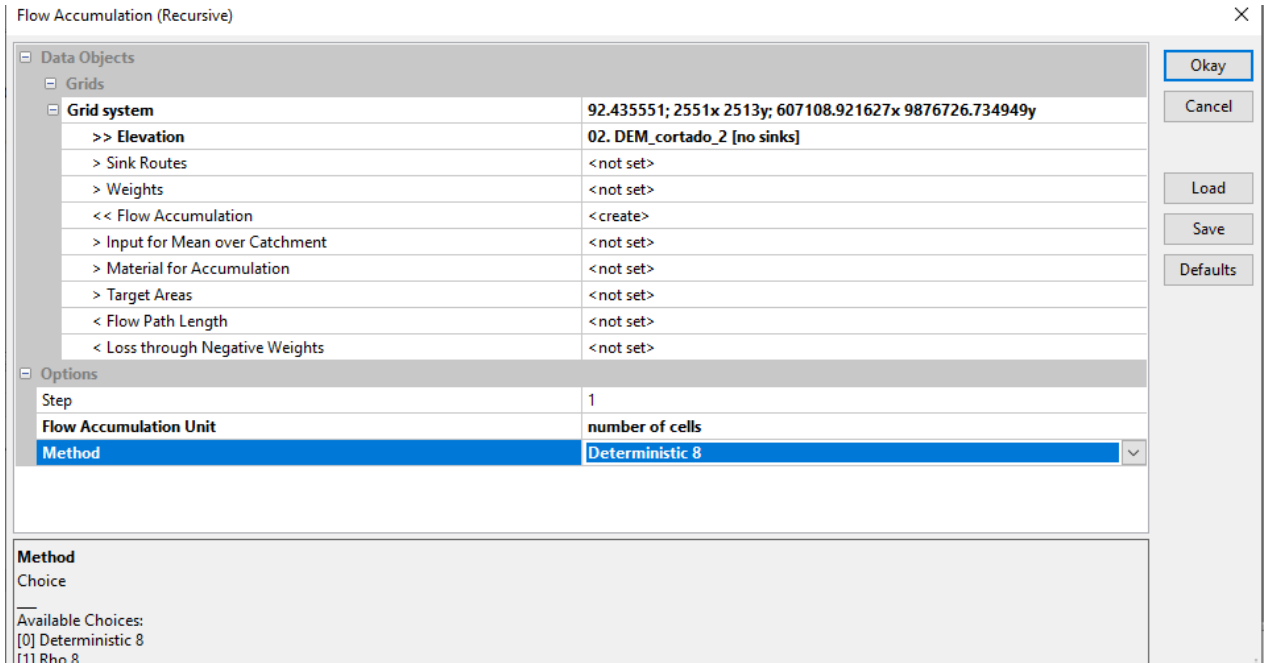


Figura 6 Flow Accumulation (Recursive) de SAGA, elaboración propia.

Solo se necesitó 4 parámetros:

Elevation: se colocó el DEM no sinks (sin sumideros)

Flow accumulation: se colocó <create> para que se creara un nuevo mapa

Flow accumulation unit: se eligió “number of cells”

Method: se eligió “Deterministic 8”

El flow accumulation se abre en QGIS y al aplicarle el estilo “Red de drenaje” aparece la red de ríos. Esta se crea suponiendo que para que exista un río tiene que haber al menos 1 km² de área de drenaje. Si el área es menor solo hay escorrentía superficial, sin que se llegue a formar un cauce.

4. Delimitar la forma de la cuenca.

Para este paso se utilizó la herramienta “**Cortar ráster por capa de máscara**” en la cual se recortó los shapes finales de cada cuenca con las formas de cada cuenca hidrográfica que ya fueron definidas por el INHAMI.

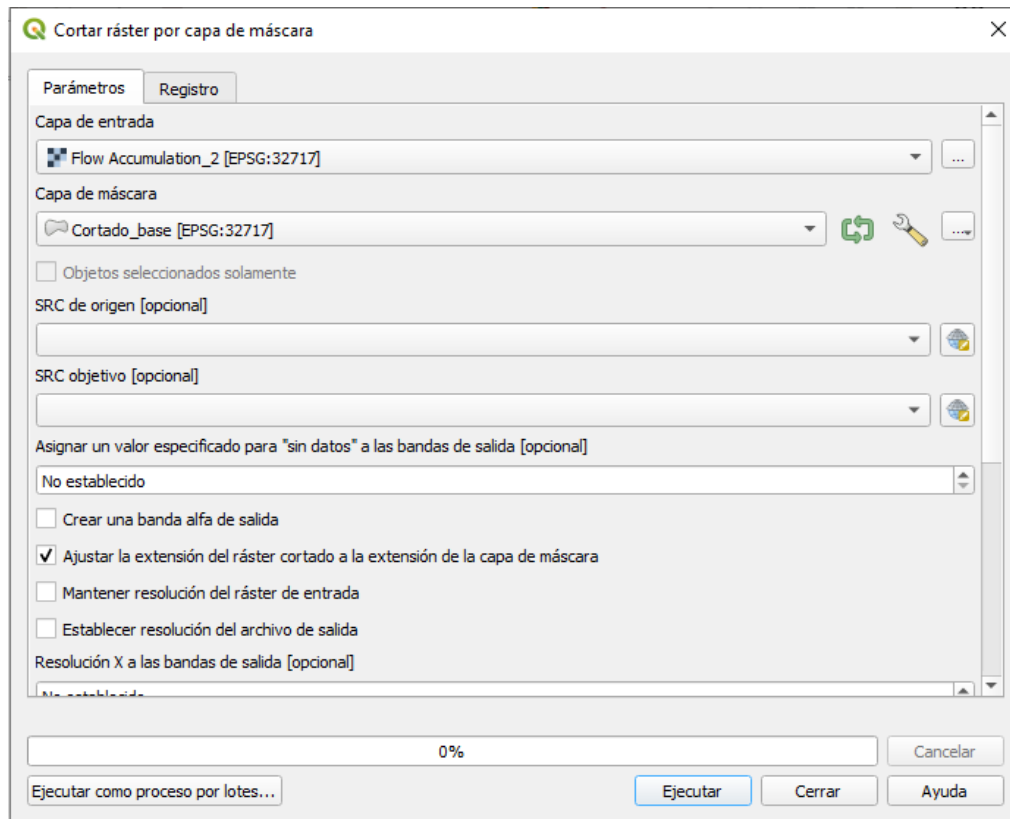


Figura 7 Herramienta Cortar ráster por capa de máscara en QGIS, elaboración propia.

CAPITULO IV: RESULTADOS

Características físicas de las cuencas hidrográficas

En Esmeraldas encontramos 7 sistemas hidrográficos de los 24 existentes en la vertiente pacífico, los mismos que según el Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNR) cubren un área total de 37.078 km², es decir, un 29.74 % del territorio nacional.

Para el presente estudio se tomó como base en el archivo shape de Cuencas hidrográficas del Ecuador escala 250.000 del INAMHI en el que se puede observar la delimitación de cuencas ya establecidas en la figura 8. Como podemos observar en la tabla 1, la cuenca más importante de la provincia es la del Río Esmeraldas, con un área de 20.980 km² siendo superior al resto de cuencas, según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del Gobierno provincial de Esmeraldas (25), establece que posee una longitud de 235.8 km, un caudal promedio de 972.21 m³/ datos obtenidos en el período 1973-1990, convirtiéndolo en uno de los ríos más caudalosos del Ecuador, y un desnivel de 2.000 m, esta cuenca es alimentada por los ríos Blanco, Guayllabamba, Canandé, Viche y Teaone.

La cuenca es de forma alargada y en su parte alta receipta aguas de los flancos de la cordillera occidental de las provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi y Santo Domingo de los Tsáchilas con las cuales comparte límites administrativos. La parte media de la cuenca comprende las zonas de Santo Domingo, La Concordia y Quinindé, las mismas que son relativamente planas, la parte baja de la cuenca se angosta considerablemente y pasa por un estrecho callejon rodeado de montañas de baja altura, en su recorrido final forma meandros, antes de llegar al océano pacífico forma un estuario con canales de diferente ancho e islotes con manglares.

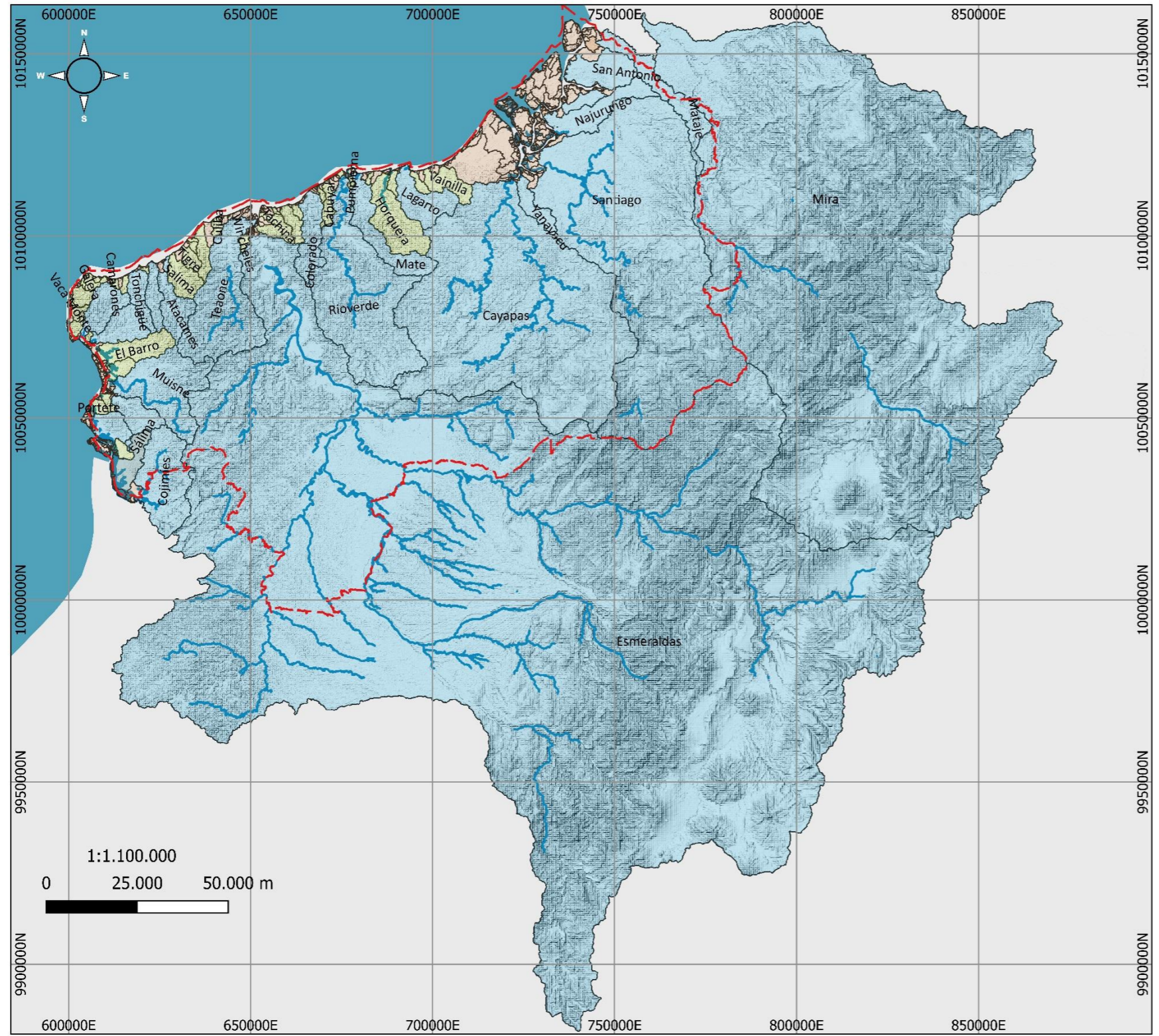
La cuenca del río Cayapas posee un área de 6.173 km², una longitud de 150 km, es la segunda en importancia por su tamaño, es de forma redondeada y esta constituida por las subcuencas del río Ónzole y Santiago, los mismos que se unen

a la altura de la población de Borbón. La parte alta de la cuenca se encuentra en las estribaciones de la cordillera occidental por lo cual su desnivel según el Plan de Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Eloy Alfaro (PDOT GADME) es de 3.400 m. En la parte baja de la cuenca, forma un amplio estuario conjuntamente con las aguas de la cuenca del río Mataje con una superficie de 41.800 ha, área donde se estableció la Reserva Ecológica Manglares Cayapas-Mataje.

En la provincia existen dos cuencas binacionales, Mira y Mataje, la primera nace en los Andes, tiene un área total de 9.704 Km², su mayor parte se encuentra entre la provincia de Imbabura y el departamento de Nariño en Colombia. El área correspondiente a la provincia de Esmeraldas es muy poco representativa y se encuentra específicamente en el cantón San Lorenzo, el río Mira sirve como límite provincial con Imbabura y sus aguas discurren hacia el vecino país donde desemboca en el Pacífico. La cuenca del río Mataje es mucho más pequeña, nace en el cantón San Lorenzo, es de forma alargada y cuenta con 245 km² de área, tiene un desnivel de 500 metros y en su recorrido hacia el Océano Pacífico en una parte de su trayecto sirve de frontera natural con Colombia.

Existen otros ríos, muchos de los cuales drenan sus aguas directamente al Océano Pacífico, como podemos observar en la figura 5, en la provincia, de norte a sur, se encuentran los ríos: Lagarto, Mate, Rioverde, Atacames, Súa, Tonchigue, Muisne y Sálma cuyas cuencas poseen áreas relativamente pequeñas comprendidas entre los 35 a 900 Km². A pesar de su pequeño tamaño son de gran importancia debido a que abastecen de agua a importantes poblaciones, al sector acuícola, agrícola y pecuario que se desarrolla alrededor de estos ríos.

MAPA DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS Y RÍOS PRINCIPALES



LEYENDA

- Límite provincial de Esmeraldas
- Ríos principales

Unidades hidrográficas

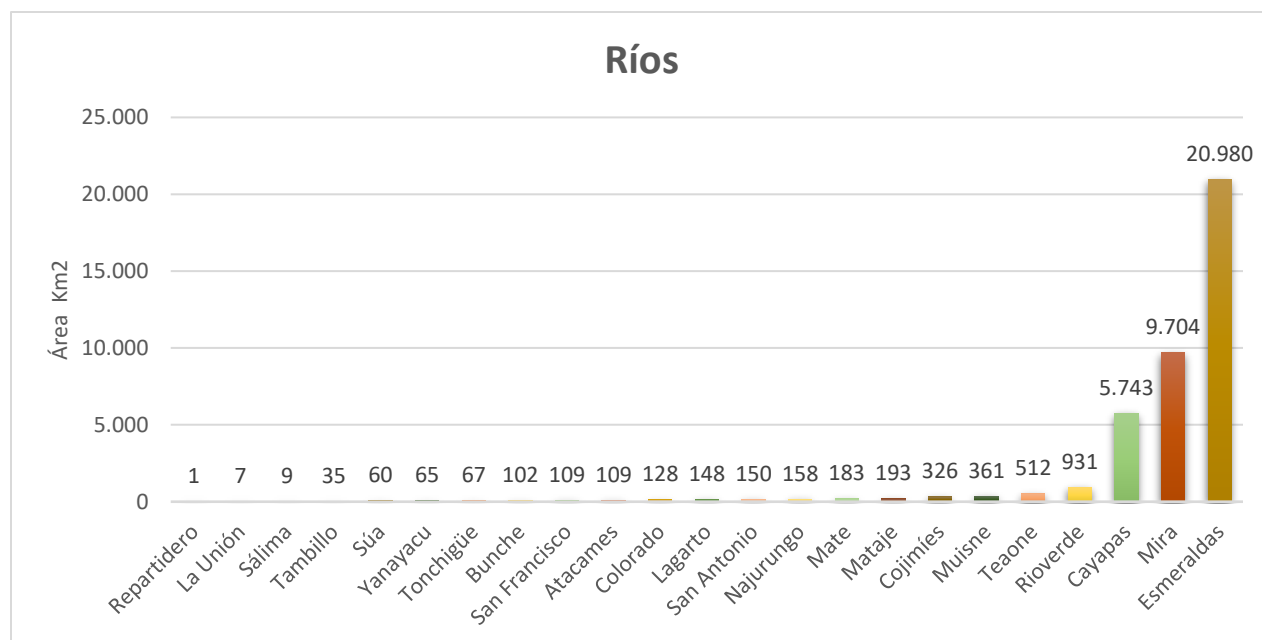
- Drenaje
- Estero
- Río



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE ESMERALDAS	
MAPA DE LA CONECTIVIDAD HIDROLOGICA SUPERFICIAL DE LA PROVINCIA DE ESMERALDAS	
REALIZADO POR:	Chilán Anchundia Jorge Isaac
Escala de trabajo: 1:1.100.000	FECHA ELABORACIÓN: Julio 2022
SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO MUNDIAL WGS84 COORDENADAS PROYECTADAS EN UNIDAD TRANSVERSA DE MERCATOR UTM ZONA 17 HEMISFERIO SUR	
FUENTES: DEM: Centro Aeroespacial Alemán (DLR) CONALI	

Figura 8 Mapa de unidades hidrográficas

Tabla 1 Área de los principales ríos de la provincia.



En la tabla 2, podemos observar los parámetros físicos como área y perímetro, además de parámetros de forma como el índice de compacidad y características de relieve como el desnivel y la pendiente media de algunos de los principales ríos.

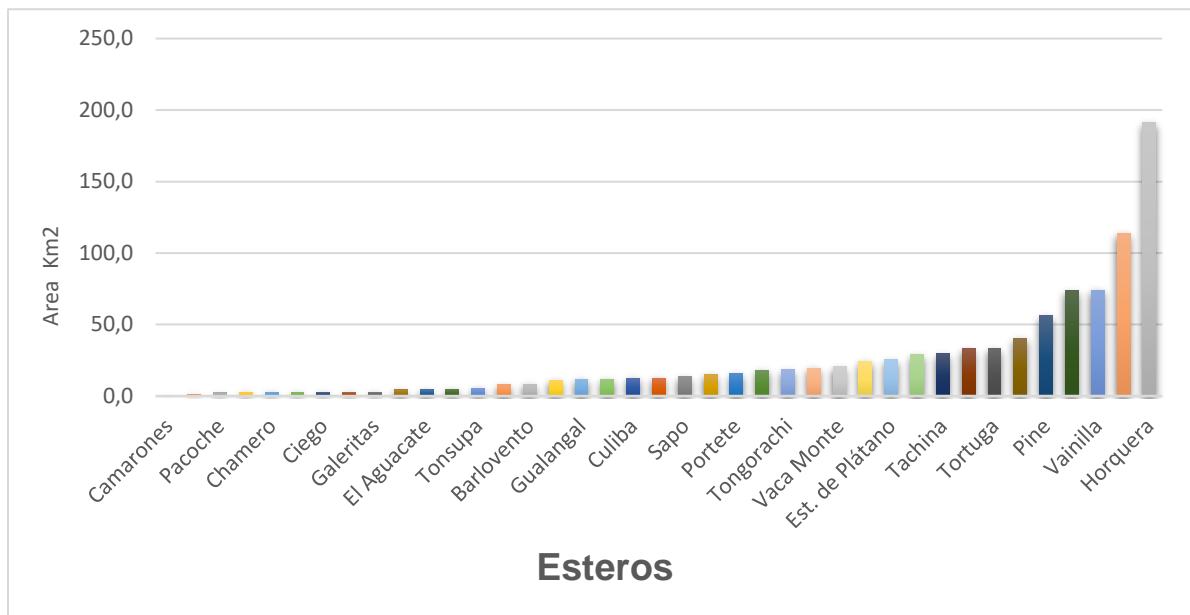
Tabla 2 Parámetros físicos, de forma y características de relieve de los principales ríos de la provincia.

Río	Área (km ²)	Perímetro (km)	Índice de compacidad	Desnivel (m)	Pendiente media (%)
Río Santiago	3.265,41	345,67	1,69	3.400	2,24
Río Ónzole	852,94	158,30	1,52	300	0,45
Río Ostiones	216,54	76,67	1,46	200	0,64
Río Mate	189,18	105,76	2,15	300	0,61
Río Río Verde	956,37	195,47	1,77	400	0,46
Río Colope	142,64	73,08	1,71	600	1,87
Río Cole	86,74	56,81	1,71	100	0,40
Río Canandé	856,72	163,50	1,56	1.900	2,74
Río Sade	48,51	33,54	1,35	300	2,30
Río Viche	816,21	152,60	1,50	550	0,87
Río Teaone	504,89	131,99	1,64	400	0,7
Río Atacames	312,24	99,24	1,57	400	0,95
Río Súa	69,20	58,83	1,98	200	0,75
Río Tonchigüe	85,29	53,87	1,63	200	0,86
Río San Francisco	99,09	56,72	1,60	200	0,82
Río Bunche	114,73	53,90	1,41	200	0,92
Río Muisne	596,15	146,25	1,68	400	0,63

Fuente: PDOT GAD Esmeraldas (26)

También existen los llamados esteros, de los cuales existen 40 en la provincia, los mismos que desembocan directamente al mar. Como se observa en la tabla 3. poseen cuencas muy pequeñas con áreas que van desde los 2.5 hasta los 191 km², entre los más importantes encontramos los esteros Horquera, el Barro y Vainilla, existen otros de menor área como: Camarones, Cabuyal, Tachina, Tortuga, Chévele y Estero de Plátano.

Tabla 3 Área de los principales esteros de la provincia.



En la tabla 4, podemos observar los parámetros físicos como área y perímetro, además de parámetros de forma como el índice de compacidad y características de relieve como el desnivel y la pendiente media de algunos esteros de la provincia.

Tabla 4 Parámetros físicos, de forma y características de relieve de los principales esteros de la provincia.

Estero	Área (km²)	Perímetro (km)	Índice de compacidad	Desnivel (m)	Pendiente media (%)
Estero Vainilla	250,43	88,25	1,56	100	0,27
Estero Lagarto	100,66	54,72	1,53	100	0,44
Estero Camarones	60,24	45,16	1,63	600	3,08
Estero Galera	126,31	75,32	1,88	200	0,59

Fuente: PDOT GAD Esmeraldas (26)

Se pudo determinar que existen un total de 1508 drenajes, los mismos que alimentan ríos y esteros para formar cuencas hidrográficas, algunos drenan directamente hacia el mar.

Conectividad hidrológica

Mediante la utilización del software de información geográfica SAGA-QGIS se logró generar el mapa de la conectividad hidrológica superficial de la provincia de Esmeraldas en formato shapefile, el mismo que muestra la forma en que se unen

los diferentes cauces de agua para formar cuencas que llevan sus aguas hacia el océano. Figura 9.

Modelo digital de elevación

Además, se obtuvo el modelo digital de elevación de la zona aplicando la herramienta de llenado para tener una superficie, con información continua y con el cual se logró obtener la cuenca en QGIS como se aprecia en la figura 10, en el que nos indica valores de elevación del terrenos en la unidad de metros (m).

Direcciones del flujo

Adicional, se realizó el cálculo y representación de la dirección del flujo mediante la herramienta “flow accumulation (recursive)” la imagen generada por el software como se evidencia en la figura 11, la misma que nos indica los valores de la dirección de flujo graficándonos como la esorrentía fluye desde la parte más empinada hasta la parte más baja del terreno, entre mayor es el número de flujo mayor probabilidad tendrá de escurrir hacia la parte baja, formando así los cuerpos hídricos.

MAPA DE MODELO DIGITAL DEL TERRENO CORREGIDO

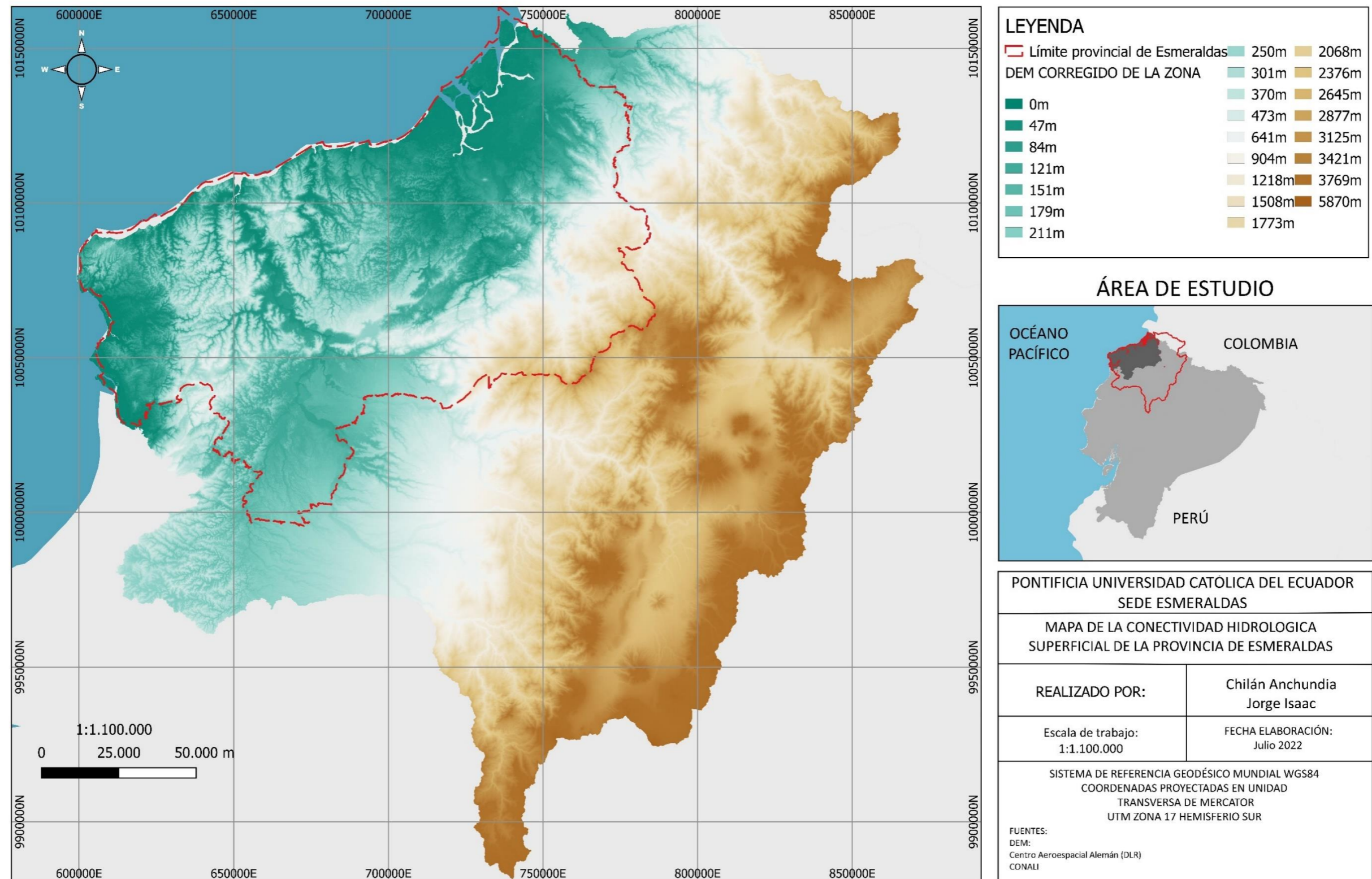


Figura 10 Modelo digital de elevación de las cuencas hidrológicas de la provincia

MAPA DE DIRECCIONES DE FLUJO (FLOW DIRECTIONS)

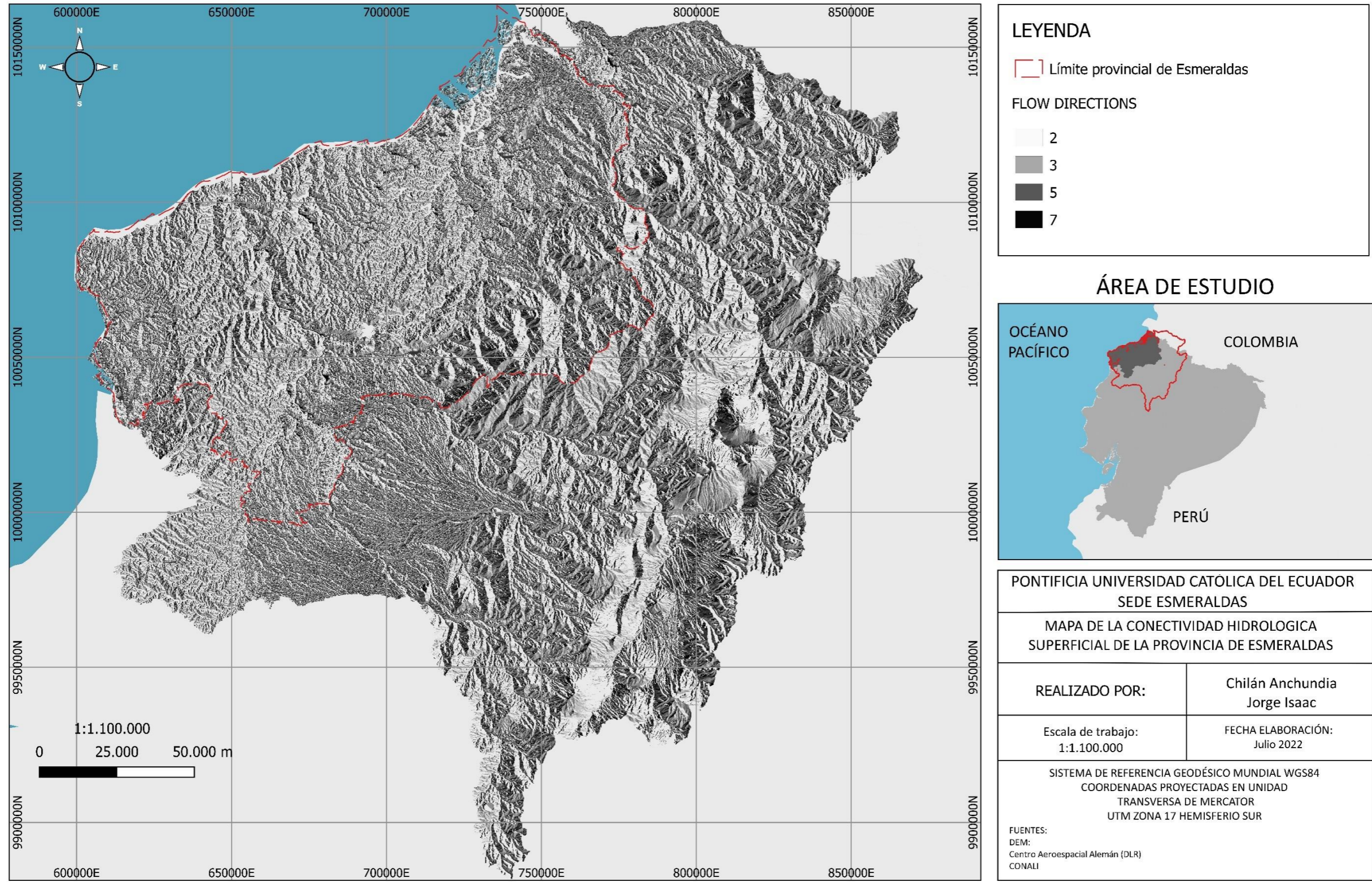


Figura 11 Mapa de dirección de flujo de las cuencas hidrológicas de la provincia

CAPITULO V: DISCUSIÓN

Las actividades antrópicas como la construcción de presas, carreteras, expansión agrícola, ganadería, minería, impactan negativamente sobre el ciclo hidrológico, uno de los componentes afectados de dicho ciclo es el flujo superficial del agua sobre el terreno o escorrentía que luego pasa a los cursos de agua y forma parte de los ecosistemas de agua dulce, viéndose afectado en su integridad. Estos ecosistemas dependen de la conectividad hidrológica o transporte de materia, energía y organismos como lo recalca Macedo y Castello (27).

La importancia del estudio y diseño de mapas de conectividad hidrológica superficial radica en que permite conocer los efectos y la interrelación de procesos que forman la escorrentía y flujos de agua, Pascual et al. (28), respecto a este tema, recalca sobre la importancia de la comprensión de los efectos de la escala e interrelación de procesos que influyen en la formación de escorrentía y de la continuidad que tienen a lo largo del área de drenaje o cuenca hidrográfica. Básicamente, un mapa de conectividad hidrológica detalla espacialmente los cursos de los ríos y las superficies con agua, modelando de forma lineal el drenaje de cada cuenca desde la cabecera hasta su desembocadura.

El análisis espacial de la cuenca hidrográfica nos permite visualizar que sus límites dados por la naturaleza y que corresponden a las crestas de las montañas y sus áreas que drenan hacia el cauce principal, no tienen relación con los límites políticos administrativos, generando muchas veces problemas en su manejo, pues se recomienda que el manejo de cuencas debe ser integral con acciones dirigidas a la conservación, protección y aprovechamiento racional de los recursos naturales, además de la mitigación de los efectos naturales y antrópicos. Lo anteriormente expresado, concuerda con el criterio de Moreira et al. (29), quienes establecen que la cuenca hidrográfica debe ser entendida como una unidad básica para el análisis ambiental, dado que facilita conocer y evaluar todos sus partes, procesos, además de las interacciones que suceden en ella.

Existen diferentes métodos y criterios para la delimitación de cuencas hidrográficas, para el presente trabajo de investigación se utilizó el basado en ríos, esteros y drenajes, previamente establecido en el archivo shape de Cuencas hidrográficas del Ecuador escala 250.000 del INAMHI, el mismo que consta de 25 ríos, 40 esteros y 1508 drenajes, este sistema difiere del utilizado por Lorena Rosas (19), quien aplicó el Sistema de delimitación y codificación de Pfafstetter, el cual considera cuatro términos esenciales: niveles, cuencas, inter cuencas y cuencas internas. Por otra parte, existe la propuesta de división hidrográfica del Ecuador del Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) (8), en donde dividen en sistemas hidrográficos, cuencas y subcuencas hidrográficas, las mismas que constituyen unidades hidrológicas que permiten una gestión integral del recurso agua, además consideran la homogeneidad climática y espacial. Para esta propuesta fue utilizada como fuente de datos la división hidrográfica de Sudamérica en niveles 1, 2, y 3 en escala 1: 250.000 (UICN, 2008) y la cartografía regional de HydroSHEDS, además de la cartografía base del Ecuador del IGM.

También existe el mapa de delimitación y la codificación de las unidades hidrográficas del Ecuador a escala 1 : 250 000 de la Secretaría Nacional del Agua (30) en donde se realizan divisiones enumeradas del 1 hasta el nivel 5, con el método de Pfafstetter, según este método, en el nivel 1 el Ecuador posee dos regiones hidrográficas; Pacífico y Amazonas. En el nivel 2 hay 4 unidades hidrográficas; 3 en la pacífica y 1 en la Amazónica. En el nivel 3 existen 18 unidades hidrográficas, 16 en la Pacífica y 2 en la Amazónica. El nivel 4 está conformado por 123 unidades hidrográficas; 117 en la pacífica y 6 en la Amazónica. El nivel 5 consta de 734 unidades hidrográficas; 711 en la pacífica y 23 en la Amazónica.

En la generación del mapa de la conectividad hidrológica superficial de las cuencas hidrográficas de la provincia de Esmeraldas, se utilizó el software SAGA-QGIS, realizando varias tareas como el Modelo Digital de Elevación (MDE), para lo cual se delimitó todas las cuencas existentes de la provincia de Esmeraldas, teniendo como referencia los datos de la misión de radar (TanDEM-X) de observación de la Tierra, con un espaciado de píxeles de 3 segundos de arco, mientras que para esta

actividad, SENAGUA (30), utilizó las imágenes del radar topográfico del proyecto HydroSHEDS – USGS, igualmente con 3 segundos de arco de resolución espacial.

Con el DEM generado sin sumideros, se procedió a la obtención de las cuencas y de la red hídrica, utilizando la herramienta “**Channel Network and Drainage Basins**” en la que se necesitaron datos ya procesados y se seleccionó el nivel 5 de Threshold que corresponde al nivel de detalle del drenaje a obtener, SENAGUA (30) por su parte, utilizó los subprocesos: generación de flujos, generación de la red de drenaje y unidades de drenaje en la que la distinción entre río principal y río tributario se da en función del área drenada utilizando una codificación jerarquizada de dígitos decimales.

La dirección del flujo en una cuenca nos permite conocer la dirección en que discurren las aguas y clasificarlas en tres tipos: exorreica o abierta cuando las aguas van directo al mar, endorreica o cerrada cuando las aguas de un río desembocan en un lago y cuenca arreica cuando el agua de una cuenca se evapora o se filtra en el suelo antes de llegar a un drenaje. Para el cálculo y representación de la dirección del flujo se utilizó la herramienta “flow direction del Software QGIS, la cual utiliza como base el modelo digital de elevación del terreno y determina la dirección en que fluirá el agua basándose en la dirección de descenso de las celdas y la pendiente, metodología similar manifiesta el Manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas: caso Ecuador de Lorena Rosas (31), quien especifica que la dirección del flujo está determinada por la dirección más empinada de caída de cada pixel o celda y es calculado como: $\text{cambio de valor } z / \text{distancia} \times 100$.

Al establecer las áreas de las diferentes cuencas de la provincia, se pudo evidenciar diferencias sustanciales en la cuenca del río Mira, la misma que según la tabla de atributos de dicha capa, expresaba un área de 9.704 Km², muy por arriba de los 6.555 Km² detallados en la tabla de división hidrográfica del CNRH (8), dicha discrepancia se debe a que la capa del archivo shape del inamhi considera el total

de la cuenca incluida el área compartida con la provincia de Imbabura y con el vecino país de Colombia.

En la categoría drenajes, están incluidas las áreas de islotes y estuarios, los mismos que en el mapa de delimitación y la codificación de las unidades hidrográficas del Ecuador de SENAGUA están categorizados como áreas insulares. El Consejo Nacional de Recursos Hídricos CNRH (7), define a la Cuenca hidrográfica como unidad fisiográfica compuesta por la unión de varios cursos de agua definidos por el relieve, difiere al presente trabajo en que, en esta categoría se agrupa a ríos y esteros. En la tabla de atributos del archivo shape de Cuencas hidrográficas del Ecuador escala 250.000 del INAMHI, la categoría drenajes no consta con los respectivos nombres de cada afluente, solamente un código numérico con el área correspondiente.

La cuenca hidrográfica debe ser la unidad de estudio, manejo, protección y conservación del recurso agua y sus estructuras ecosistémicas debido a que su manejo debe ser integral sin tomar en cuenta los límites políticos-administrativos ya que lo que suceda en cualquier parte de la cuenca afectará indistintamente al resto de la cuenca.

Los resultados del presente estudio pueden cubrir ciertos vacíos existentes en esta área de la ciencia, además sirven de idea, hipótesis o base para otros estudios ligados al área ambiental, con un carácter más profundos o relacionados a la conectividad hidrológica de la provincia, como por ejemplo evaluar efectos de la actividad antrópica sobre los sistemas fluviales, estudio de la concentración de contaminantes generados por la minería en una cuenca, manejo integrado de cuencas o subcuencas, como es el caso del Estudio de planificación de las cuencas de los ríos Santiago y Mira, en el apartado de actividades de grupos de trabajo proponen la recopilación de mapas y datos de estudios existentes referentes a hidrología. (32)

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del presente trabajo se observó que la información base del archivo shape contiene varios errores topológicos y que difiere de otras metodologías de delimitación y codificación de unidades hidrográficas, a pesar de aquello, se puede concluir que el mapa de la conectividad hidrológica generado, conjuntamente con el mapa de modelo de elevación digital y mapa de dirección de flujo, son de gran utilidad para posteriores estudios relacionados al manejo y protección de cuencas hidrográficas, por medio de prácticas como la reforestación en donde se incrementaría la infiltración, reduciendo la escorrentía superficial y, así, la erosión. Con menos erosión, menos sedimentos llegarán a los ríos, mejorando la calidad del agua río abajo.

La cuenca del Río Esmeraldas presentó un área de 20.980 km² convirtiéndose así en la cuenca con el mayor área de la provincia, en conjunto con los datos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno provincial de Esmeraldas indica que dicho río mantiene un caudal promedio de 972.21 m³/s lo cuál lo convierte en uno de los más caudalosos e importantes de nuestro país.

El desnivel del terreno desciende gradualmente de manera vertical, desde la cuenca del Río Santiago la cual presentó 3.400m de desnivel hasta llegar a una gran cantidad de planicies e islotes que tienen su recorrido hasta el nivel del mar.

El análisis de las características físicas de las cuencas hidrográficas obtenidas con el software SAGA y QGIS, permitió recopilar datos de áreas de los 23 ríos existentes en la provincia de Esmeraldas, los mismos que oscilan desde los 7 km² hasta los 20.980 km² correspondientes al Río Esmeraldas, también alrededor de 40 esteros que tienen distintas áreas que van desde los 2.5 km² hasta los 191 km² como es el caso del estero Horquera, de 1508 drenajes existentes en la provincia, los mismos que no poseen nombres alguno ya que su área es menor siendo correspondientes a los islotes y zonas pantanosas.

CAPITULO VII: RECOMENDACIONES

1. Para el tratamiento de información geográfica se recomienda utilizar las herramientas del software Saga, ya que en muchas ocasiones el programa de QGis da error en los algoritmos.
2. Es necesario realizar una actualización de la información base en referencia a la tabla de atributos, estableciendo nombre a los drenajes.
3. A nivel nacional debe existir mayor facilidad para la obtención de metadatos por parte de estudiantes e investigadores de diferentes campos de la ciencia.
4. Se deben realizar más estudios referentes al manejo de cuencas hidrográficas en nuestra provincia, la misma que se caracteriza por ser la más húmeda de la costa y debe protegerse los recursos hídricos de la misma.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1 Gaspari F, Senisterra G, Marlats R. Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo.. [Online].; 2007. Acceso 30 de Julio de 2022. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837653003.pdf>.
- 2 Guachamin W. Cuenca río Mira: Mapa de escurrimiento. Quito; 2015..
- 3 Hesperian. Hesperian.org. [Online].Acceso 02 de 123 de 2020. Disponible en: <https://www.slideshare.net/dilberzhito/agroforesteria-en-proteccion-de-cuencas-hidrograficas>.
- 4 Cueva S. Repositorio Universidad Católica de Colombia. [Online].; 2014. Acceso . 02 de 12 de 2020. Disponible en: https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2093/1/DETERMINACI%C3%93N%20DE%20LA%20ESCORRENTIA_DRENAJE%20SN%20.pdf.
- 5 QUIÑONEZ PN. PROPUESTA PARA LA CONSERVACION DE LA MICROCUENCA DEL ESTERO MALIMPIA, CANTON QUININDÉ, PROVINCIA DE ESMERALDAS. [Online].; 2016. Acceso 7 de Febrero de 2021. Disponible en: <https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/897/1/NAZARENO%20QUINONEZ%20%20PAUL.pdf>.

6 Córdova D, Paredes D, Alulema R. Determinación del parámetro hidrológico . número de curva en la cuenca de la quebrada El Batán, usando sistemas de información geográfica y percepción remota. [Online].; 2017. Acceso 7 de Febrero de 2021. Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/view/53/69>.

7 Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas (GADPE). . PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA POVINCIA DE ESMERALDAS. [Online].; 2015. Acceso 29 de Julio de 2022. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/086000016000_1_PDOT%20ACTUALIZACI%C3%93N%202015_18-08-2015_12-32-18.pdf.

8 CNRH. División Hidrográfica del Ecuador. Quito.

9 SENHAMI. CICLO HIDROLÓGICO. [Online].; 2011. Acceso 3 de Agosto de . 2022. Disponible en: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf.

1 FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 0 [Online].; 2014. Acceso 19 de enero de 2021. Disponible en: <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/watershed-management/basic-knowledge/es/>.

1 Acaro M. UPC. [Online].; 2007. Acceso 21 de diciembre de 2020. Disponible en: [1 Submitted to Universitat Politècnica de València on 2020-07-06](#).

1 Alvarado Rodríguez ES. Repositorio Institucional Pirhua. [Online].; 2004. Acceso
2 23 de diciembre de 2020. Disponible en:
. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1186/ICI_110.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

1 Acosta B. Ecología Verde. [Online]; 2019. Acceso 29 de Juniode 2022.
3 Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-un-estero-2269.html>.

1 Escorza M. Las redes de drenaje de los rios Alberche y Guadarrama como
4 indicadores estructurales del sistema central Español. [Online].; 2003. Acceso 29
. de Junio de 2022. Disponible en:
<https://digital.csic.es/bitstream/10261/2333/1/Redes%20de%20drenaje.pdf>.

1 Duvelson F. centrogeo.repositorioinstitucional.mx. [Online].; 2011. Acceso 04 de
5 02 de 2021. Disponible en:
. <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/25/1/31-2011-Tesis-Duvelson%2C%20Felix-Maestro%20en%20Geom%C3%A1tica.pdf>.

1 Alonso Sarría F. Cartografía. [Online].; 2014. Acceso 07 de 01 de 2021.
6 Disponible en: <https://www.significados.com/cartografia/>.

1 Felicísimo A. Libros de MDT. [Online].; 2012. Acceso 28 de enero de 2021.
7 Disponible en: www.etsimo.uniovi.es/.

1 MAE. SNI.GOB.EC. [Online].; 2013. Acceso 20 de diciembre de 2020. Disponible en: <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL%20NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Inundabilidad.pdf>.

1 Rosas Mena L. Repositorio institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. [Online]; 2011. Acceso 14 de mayo de 2022. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4536>.

2 Constituyente A. educacion.gob.ec/. [Online].; 2008. Acceso 20 de diciembre de 2020. Disponible en: <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/Constitucion.pdf>.

2 Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE. [Online].; 2017. Acceso 4 de Julio de 2022. Disponible en: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf.

2 Registro Oficial. Agua.gob.ec. [Online].; 2014. Acceso 20 de diciembre de 2020. Disponible en: <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/LEYD-E-RECURSOS-HIDRICOS-II-SUPLEMENTO-RO-305-6-08-204.pdf>.

2 MINISTERIO DEL AMBIENTE. DIVISIÓN HIDROGRAFICA DEL. [Online].; 2002. Acceso 7 de Febrero de 2021. Disponible en: http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Reuniones/DTrabajo/SG_REG_EMAB_IX_dt%203_Ax2.pdf.

2 Earth Observation Center. TanDEM-X - Modelo de elevación digital (DEM) -
4 Global, 90 m. [Online]; 2016. Acceso 29 de Juniode 2022. Disponible en:
. <https://geoservice.dlr.de/data-assets/ju28hc7pui09.html>.

2 GADPE. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del G.A.D.P. Esmeraldas.
5 Esmeraldas.

2 GADPE. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del GAD Esmeraldas
6 GADPE Dyp, editor. Esmeraldas; 2011.

2 Macedo M, Castello L. El estado de la Amazonía: conectividad de agua dulce y
7 salud de los ecosistemas Oliveira D, editor. Brasilia; 2016.

2 Pascual J, Rubio J, Andreu V, Campos J, Gonzalez O, Gimeno E. Tamaño de
8 área de drenaje y conectividad hidrològica en la formaciòn de escorrentía en
. cuencas semi áridas mediterraneas. Pirineos. revista ecológica de montaña.
2010; 165(179-192).

2 Moreira A, Mirandola P, André L, Salinas E, Oliveira I. Manejo integrado de
9 cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura
. de la tierra. Revista Colombiana de Geografía. 2020; 29(69-85).

3 SENAGUA. Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador
0 escala 1 - 250.000 Nivel 5 Quito; 2009.

3 Rosas L. Dokumen.tips. [Online].; 2009. Acceso 15 de junio de 2022. Disponible
1 en: [https://dokumen.tips/documents/manual-de-procedimientos-gob-2016-11-
.09-en-la-actualidad-es-posible-caracterizar.html?page=1](https://dokumen.tips/documents/manual-de-procedimientos-gob-2016-11-09-en-la-actualidad-es-posible-caracterizar.html?page=1).

3 AGENCIA DE LOS EE.UU. PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL.
2 Planificación del Desarrollo Regional Integrado: Directrices y Estudios de Casos
. Extraídos de la Experiencia de la OEA. [Online]; 1984. Acceso 6 de Juliode 2022.
Disponible en:
<https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea72s/begin.htm#Contents>.

3 FAO. Noticias ONU. [Online].; 2009. Acceso 03 de 12 de 2020. Disponible en:
3 <https://news.un.org/es/story/2009/12/1181611>.

3 Forero D. [Online].; 2015. Acceso 25 de 11 de 2020. Disponible en:
4 [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/TRABAJO%20DE%20GRADO%20-
. %20ESP.%20REC.%20HIDRICOS%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/TRABAJO%20DE%20GRADO%20-%20ESP.%20REC.%20HIDRICOS%20(1).pdf).

3 Ordoñez Galvez JJ. gwp.org/. [Online].; 2011. Acceso 21 de diciembre de 2020.
5 Disponible en: [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-
. sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf).

3 Díaz Secum L, Alarcón Africano JG. Repositorio Universidad Católica de
6 Colombia. [Online].; 2018. Acceso 20 de diciembre de 2020. Disponible en:
. [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15989/1/Proyecto%20Final.
pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15989/1/Proyecto%20Final.pdf).

3 Snachez San Román FJ. Hidrología USAL. [Online].; 2012. Acceso 19 de 7 diciembre de 2020. Disponible en: [. https://hidrologia.usal.es/temas/Hid_sup_2.pdf](https://hidrologia.usal.es/temas/Hid_sup_2.pdf).

3 Gaspari F, Seniestierra G, Marlats R. Biblioteca digital.uncu.edu.ar. [Online].; 8 2006. Acceso 19 de diciembre de 2020. Disponible en: [. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/1521/gaspariagrarias39-1.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/1521/gaspariagrarias39-1.pdf).

3 Herms I, Arnó G. Igme.es. [Online].; 2016. Acceso 18 de enero de 2021. 9 Disponible en: [. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/\(6\)%20Herms,%20I%3B%20Arnó,%20G.%20%20Tema%205%20-%20Información%20hidrogeológica%20y%20base%20cartográfica%20co](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/(6)%20Herms,%20I%3B%20Arnó,%20G.%20%20Tema%205%20-%20Información%20hidrogeológica%20y%20base%20cartográfica%20co).

4 Maldonado C. Imois.blog. [Online].; 2008. Acceso 25 de enero de 2021. 0 Disponible en: <http://wwwimois15.blogspot.com/2008/05/metodo-de-las-curvas-isoyetas.html>.

4 NASA. SUR AMERICA BRILLA- LA NASA PUBLICA SUS MAS RECIENTES 1 MAPAS TOPOGRAFICOS CON TECNOLOGIA DE RADAR ESPACIAL. [Online].; 2003. Acceso 7 de Febrerode 2021. Disponible en: https://www3.jpl.nasa.gov/srtm/media_06_19_2003_sp.htm.

4 Chilán Anchundia J. QGIS..

2

.

4 Chilán Anchundia J. SAGA..

3

.