

# Caracterización Geomorfológica de la Microcuenca del Estero Mutile Utilizando Modelos Digitales de Elevación (MDE) en el Software QGIS 3.36.2

## Geomorphological characterization of the Mutile Estuary Microbasin Using Digital Elevation Models (DEM) in QGIS 3.36.2 Software

Jesmar Jandry Corozo Hurtado<sup>1</sup> & Patricio Alejandro Merino Córdova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Estación Experimental Mutile, Esmeraldas, Ecuador

Recibido 10 febrero 2024, recibido en forma revisada 10 abril 2024, aceptado 10 de mayo 2024, en línea 30 de junio 2024.

### Resumen

Esta investigación tiene como objetivo caracterizar los parámetros geomorfológicos de la microcuenca del estero Mutile, la que se encuentra ubicada en la provincia de Esmeraldas, Cantón Esmeraldas, Parroquia San Mateo, la investigación se realizó mediante los sistemas de información geográfica (SIG) junto con el software QGIS 3.36.2 donde se procesaron los modelos digitales de elevación (MDE) para obtener los parámetros geomorfológicos, este estudio busca conocer los parámetros de forma, relieve y red de drenaje con el objetivo de evaluar el comportamiento hidrológico de esta microcuenca y al mismo tiempo esta investigación desea compartir la información para fortalecer el conocimiento sobre las cuencas hidrográficas para una buena gestión de sus recursos, por estas razones se desea que la información obtenida en este proceso sea utilizada para la elaboración de planes de Gestión de Áreas naturales.

**Palabras clave:** Cuenca Hidrográfica, Geomorfología, Sistema de información geográfica, Modelo digital de elevación, QGIS

### Abstract

This research aims to characterize the geomorphological parameters of the Mutile estuary microbasin, which is located in the province of Esmeraldas, Esmeraldas Canton, San Mateo Parish, the research was carried out using geographic information systems (GIS) together with the QGIS 3.36.2 software where the digital elevation models (DEM) were processed to obtain the geomorphological parameters, this study seeks to know the parameters of shape, relief and drainage network with the objective of evaluating the hydrological behavior of this microbasin and at the same time research wants to share information to strengthen knowledge about hydrographic basins for good management of their resources, for this reason it is desired that the information obtained in this process be used to develop management plans for natural areas.

**Keywords:** Hydrographic Basin, Geomorphology, Geographic Information System, Digital Elevation Model, QGIS

### Introducción

Una cuenca hidrográfica es una unidad territorial o región por la que fluye toda el agua proveniente de las lluvias que, al caer sobre este territorio, escurre por un sistema de drenaje hasta el punto de desembocadura (Ibáñez et al., 2011). Por lo tanto, se puede concluir que el agua que se almacena en esta superficie drena hacia un efluente más amplio, como una laguna o el mar. Por otra parte, las cuencas hidrográficas se pueden clasificar por su superficie.

Tenemos que las cuencas hidrográficas son las unidades que tienen un territorio mayor a 500 km<sup>2</sup>; las subcuencas hidrográficas poseen una superficie que va desde 50 hasta 500 km<sup>2</sup>; y las microcuencas hidrográficas cuentan con territorios menores a 50 km<sup>2</sup> (Sánchez et al., 2003). La geomorfología de una cuenca hidrográfica permite obtener una idea amplia de las propiedades que tiene una cuenca hidrográfica, como los parámetros de forma, el parámetro de relieve y la red de drenaje (Loayza & Van den Berg, 2018).

\* Correspondencia del autor:

E-mail: jesmar.corozo@utelvt.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

Los problemas ambientales que se presentan en la microcuenca del Estero Mutile están derivados de las actividades agrícolas, la deforestación y la contaminación del agua. Una de las actividades que más generan recursos económicos para los habitantes de la cuenca son las actividades agrícolas, pero estas han llevado al uso excesivo de pesticidas y fertilizantes, generando grandes cantidades de residuos contaminantes. Estos residuos, al no ser gestionados de manera adecuada, terminan contaminando los cuerpos de agua y afectando su calidad. La contaminación, junto con la deforestación, no solo afecta a los ecosistemas locales, sino que también pone en riesgo la salud de los habitantes de la comunidad que dependen de estos recursos naturales.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) consisten en un grupo de hardware, software y datos creados para analizar, almacenar, convertir y presentar toda información geográfica que esté completamente georreferenciada y adaptada a un sistema de coordenadas, ya sea geográfico o espacial. Por lo tanto, se puede concluir que los SIG son parte de los avances de la tecnología, ya que permiten obtener información para resolver y responder varias interrogantes de manera inmediata (Geoenseñanza, 2006).

Los DEM son productos geomáticos que, con la ayuda de un software, se pueden utilizar para estudiar y modelar superficies terrestres. Además, se sabe que la información que contienen los MDE se refiere a las elevaciones de un terreno sin ninguna clase de infraestructura o cobertura vegetal, a diferencia de los Modelos Digitales de Superficie (MDS). Estos últimos son productos obtenidos de los SIG y representan las variables cualitativas y cuantitativas de una superficie terrestre, incluyendo edificios, tipo de suelo, el uso del suelo (agrícola, forestal, urbano) árboles y otras infraestructuras (Mesa y Ariza, 2019).

QGIS es un software de código abierto que forma parte de los sistemas de información geográfica (SIG). Fue creado en mayo de 2002 y tiene como objetivo ser fácil de usar mientras proporciona funciones y características comunes en el ámbito de los SIG. Inicialmente, el proyecto QGIS se centró en ser un visor de datos SIG, pero ha evolucionado hasta convertirse en una herramienta integral utilizada para diversas necesidades en el ámbito de la geoinformática. En la actualidad QGIS se utiliza ampliamente para la visualización diaria de datos GIS, la captura de datos, el análisis avanzado de GIS y la generación de mapas, atlas e informes sofisticados desde cualquier parte del mundo, todo desde un entorno de escritorio.

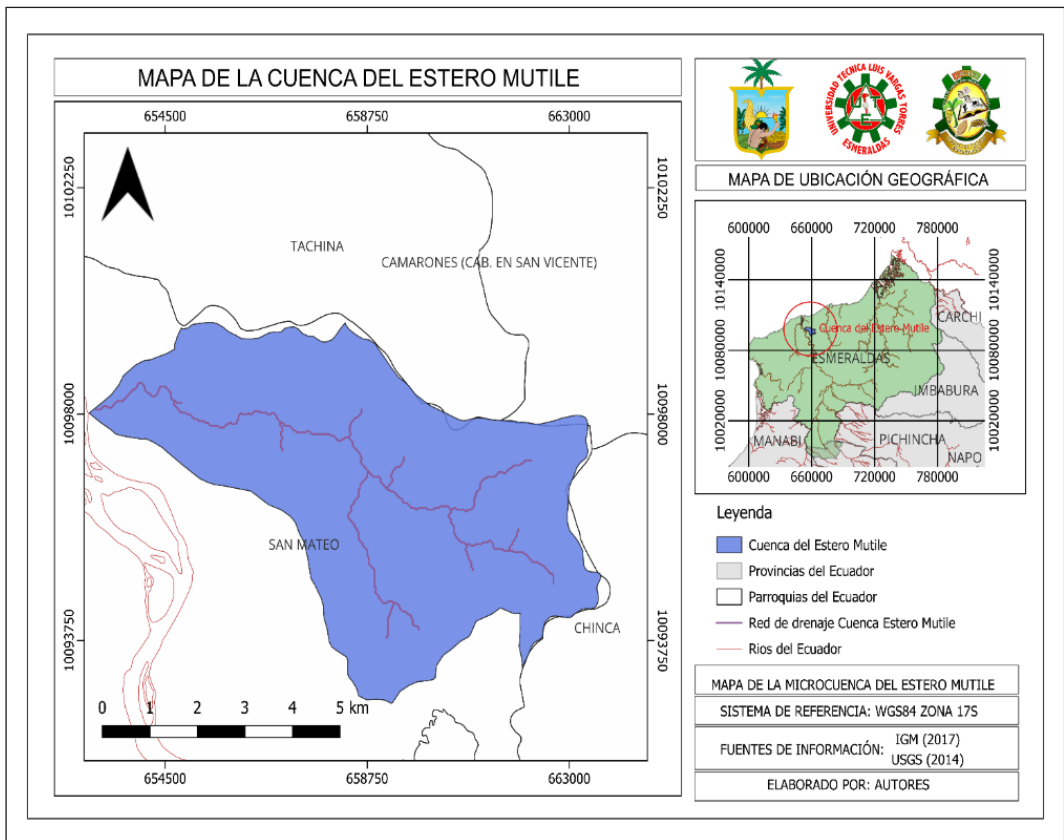


Figura 1. Ubicación del área de Estudio. Fuente: (Corozo & Merino, 2024)

Su capacidad para trabajar con modelos digitales de elevación (MDE), realizar análisis espaciales detallados y su compatibilidad con una amplia gama de formatos de datos geoespaciales lo convierten en una herramienta muy valorada por profesionales de la cartografía y la geomática (QGIS Project, 2024).

El presente trabajo tiene como objetivo realizar una caracterización geomorfológica detallada de la microcuenca del Estero Mutile, utilizando para ello modelos digitales de elevación (MDE) y aprovechando las funcionalidades avanzadas del software QGIS en su versión 3.36.2.

## Materiales y Método

El estudio geomorfológico se realizó con Modelos Digitales de Elevación (MDE) de la microcuenca del estero Mutile, donde se analizaron cada uno de los parámetros morfométricos, como la forma, el relieve y la red de drenaje. En la metodología de parametrización se utilizaron los MDE con una resolución de 30m que se obtuvieron del portal del United States Geological Survey (USGS), procediendo a descargarlos de Earth Explorer (Servicio Geológico de EE. UU,2020).

### Área de estudio

La microcuenca del Estero Mutile está ubicada en la cuenca del río Esmeraldas, en la provincia de Esmeraldas, Cantón Esmeraldas Parroquia San Mateo, específicamente en el Recinto Mutile, La microcuenca tiene una superficie total de 38,503 km<sup>2</sup>.

Limita al norte con la parroquia Tachina, al Sur con la parroquia San Mateo, al este con las parroquias Camarones y Chica, y al oeste con el río Esmeraldas (Figura 1).

### Proceso de delimitación de cuenca hidrográfica en el software QGIS 3.36.2 (Figura 2).

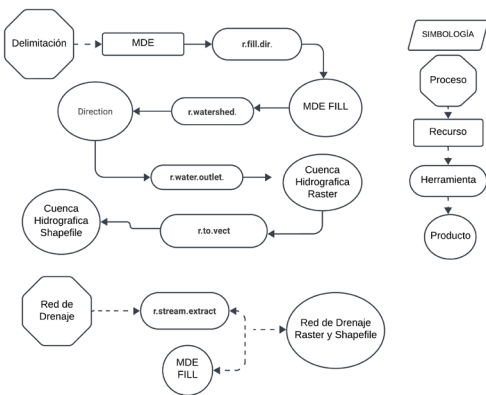


Figura 2. Diagrama de proceso de delimitación de la microcuenca del estero Mutile en QGIS 3.36.2. Fuente: (Corozo & Merino, 2024).

### Importación de datos:

Importación del modelo digital de elevación  
Cargar shapefiles relevantes, como límites administrativos

### Reproyección:

Asegurarse de que todos los datos estén en la misma proyección cartográfica.  
Preprocesamiento del MDE

### Procesamiento del MDE:

Utilizar la herramienta r.fill.dir de GRASS para rellenar los sumideros en el MDE y crear un DEM corregido.

### Generación de direcciones de flujo:

Usar la herramienta r.watershed de GRASS para calcular la dirección de flujo a partir del MDE corregido  
Generación de acumulación de flujo:

Usar la herramienta r.watershed de GRASS para calcular la acumulación de flujo.

### Delimitación de la cuenca:

Identificar y marcar el punto de salida del Estero Mutile en el mapa.

Usar la herramienta r.water.outlet de GRASS para generar la cuenca hidrográfica basada en el punto de salida.

### Post-procesamiento y análisis:

Vectorización de la cuenca  
Convertir la cuenca raster a un shapefile vectorial usando la herramienta Polygonize (Raster to Vector).

### Análisis y cálculo de atributos:

Calcular atributos importantes de la cuenca, como área, perímetro, pendiente media, longitud del cauce principal, etc.

Parámetros Morfométricos de la cuenca del estero Mutile.

### Parámetros Generales

Los parámetros generales de una cuenca hidrográfica son características clave que describen su tamaño, forma, relieve y otros aspectos que influyen en su comportamiento hidrológico.

### Área de la cuenca (A)

Es el tamaño de la superficie de la cuenca en km<sup>2</sup>.

### Perímetro de la cuenca (P)

La longitud total de los límites de la cuenca o divisoria de aguas.

**Ancho de la cuenca (An)**

El ancho de la cuenca se refiere a la distancia horizontal entre los puntos más distantes a lo largo de un valle o una cuenca hidrográfica.

**Longitud Axial (La)**

Describe la longitud total de un río o corriente principal desde su origen hasta su desembocadura o punto de salida de la cuenca hidrográfica.

**Longitud de la cuenca (D)**

Es la distancia que hay desde la parte alta de una cuenca hasta su desembocadura.

**Parámetros asociados al factor forma**

Describe la forma y características morfológicas de una cuenca hidrográfica.

**Coefficiente de compacidad (Gravelius) (Kc)**

Este parámetro describe el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca. (Tabla 1) (Gravelius, 1914)

$$Kc = \frac{0.282 * (P)}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad (mm).

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

P: Perímetro de la cuenca (km).

**Coefficiente de circularidad (Miller) (CC)**

Compara el área de la cuenca con el área de un círculo cuya circunferencia es igual al perímetro (Tabla 2) (Miller, 1953).

$$Cc = 4\pi \frac{A}{P^2}$$

Donde:

Cc: Factor forma (mm).

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

P: Perímetro de la cuenca (km).

**Coefficiente o factor forma (Horton) (kf)**

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

Tabla 1. Rangos del Coeficiente de Gravelius

Rango	Descripción
1 < Kc < 1,25	Forma casi redonda a oval-redonda
1,25 < Kc < 1,5	Forma oval-oblonga
Kc > 1,5	Forma oval-oblonga a rectangular-oblonga

Fuente: Gaspari (2010).

de la longitud de la cuenca (Tabla 3) (Horton, 1932).

$$Ff = \frac{A}{La^2}$$

Donde:

Kf: Factor Forma (mm).

A: Área de la Cuenca (Km<sup>2</sup>).

La: Longitud Axial de la cuenca (km).

**Índice de alargamiento (Horton) (Ia)**

Relaciona la longitud del cauce y el ancho máximo de ella, por medio de este parámetro se puede determinar si la forma de la cuenca es alargada o achatada (Tabla 4) (Horton, 1932).

$$Ia = \frac{L}{An}$$

Donde:

Ia: Índice de alargamiento (Horton) (mm).

L: Longitud de la cuenca (km).

An: Ancho Máximo (km).

**Parámetros asociados al Relieve**

El parámetro relieve describe las características topográficas y las variaciones en la elevación en una cuenca hidrográfica.

**Altitud Máxima de la cuenca (Cmax)**

Representa la altura máxima de la cuenca hidrográfica.

**Altitud Mínima de la cuenca (Cmin)**

Representa la altura mínima de la cuenca hidrográfica.

**Desnivel altitudinal (DA)**

Es la diferencia entre la cota más alta y la cota más baja de la cuenca.

$$DA = Hmax - Hmin$$

Donde:

DA: Desnivel altitudinal (m s.n.m).

Amax: Altitud máxima (m s.n.m).

Amin: Altitud mínima (m s.n.m).

Tabla 2. Valores Coeficiente de circularidad Senisterra et al (2014)

Coeficiente de circularidad de Miller	
Si Cc tiende a 1	Cuenca forma redonda
Si C_c tiende a 0	Cuenca forma alargadas.

Senisterra et al (2014)

**Tabla 3.** Valores de factor forma

Kf (valores aproximados)	Kf (valores aproximados)
< 0,22	Muy alargada
0,22 a 0,3	Alargada
0,3 a 0,37	Ligeramente alargada
0,37 a 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 a 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 a 0,80	ensanchada
0,80 a 1,20	Muy ensanchada
> 1,20	Rondando el desagüe

Fuente: Pérez (1979)

**Altitud Máxima del cauce principal (Cmax CP)**

Representa la altura mínima del cauce principal de una cuenca hidrográfica.

**Altitud Mínima del cauce principal (Cmin CP)**

Representa la altura mínima del cauce principal de una cuenca hidrográfica.

**Altitud media de la cuenca (Amedc)**

Es la relación entre la diferencia de altitudes del cauce de una cuenca.

Tabla 5. Representa la altura máxima de la cuenca hidrográfica.

Pendiente media (%)	Tipo de relieve
0 a 2	Llano
2 a 5	Suave
5 a 10	Accidentado medio
10 a 15	Accidentado
15 a 25	Fuertemente accidentado
25 a 50	Escarpado
> 50	Muy escarpado

Fuente: Pérez (1979)

**Tabla 4.** Valores de Índice de alargamiento

LI	Característica
0.0 - 1.40	Poco alargada
1.50 - 2.80	Moderadamente alargada
2.90 - 6.50	Muy alargada

Fuente: Cañibano et al (2016)

$$Amedc = \frac{\sum Hi * Si}{A}$$

Donde:

Amedc: Altitud media de la cuenca (m s.n.m)

Hi: Altitud media de cada tramo del área contenida entre en las curvas de nivel (m s.n.m)

Si: Área contenida entre las curvas de nivel

A: Área de la cuenca (Km2)

**Pendiente promedio de la cuenca (Smed)**

Es el valor que controla la velocidad con la que se dará la escorrentía superficial en la cuenca (Tabla 5).

$$J = 100 * \frac{\sum Li * E}{A}$$

Donde:

J(Smed): Pendiente media de la cuenca (%).

Li: Longitud de cada una de las curvas de nivel (km).

E: Equidistancia de las curvas de nivel (km).

A: Área de la cuenca (Km2).

**Pendiente media del cauce (Sc):** Es la relación existente entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud (Tabla 6).

$$Sc = \frac{Hmax - Hmin}{Lcp}$$

Donde:

Sc: Pendiente media del cauce principal (%).

Hmax: Altura máxima del cauce (m s.n.m).

Hmin: Altura mínima del cauce (m s.n.m).

Lcp: Longitud del cauce principal (km).

Tabla 6. Valores Pendiente media del cauce

Pendiente media del cauce principal (%)	Clases
1 a 5	Suave
6 a 11	Moderado
12 a 17	Fuerte

Fuente: IBAL (2009)

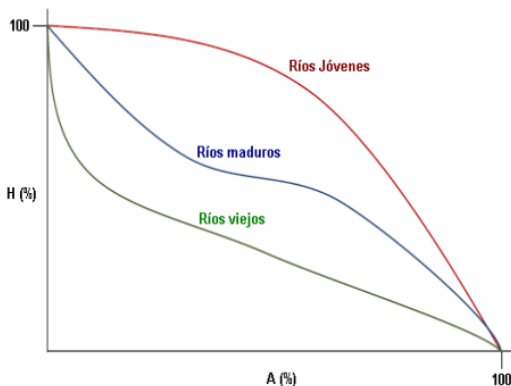


Figura 3. Clasificación de curva Hipsométrica. Fuente: Ibáñez et al (2011)

### Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación de la elevación de una cuenca, en la cual puede observarse la distribución de las zonas altas, medias y bajas (Figura 3)

### Perfil Longitudinal del cauce principal

Una representación gráfica detallada que muestra las líneas trazadas a lo largo de un cauce, desde el punto exacto donde se origina hasta el lugar donde finalmente desemboca en otro cuerpo de agua, como un lago, un río grande o directamente al mar (Figura 4).

### Parámetro Red de Drenaje

El parámetro de la red de drenaje de una cuenca hidrográfica describe cómo están distribuidas las corrientes de agua dentro de una cuenca hidrográfica.

### Longitud del cauce principal (LCP)

Es la longitud del cauce principal desde el punto que nace el cauce hasta el punto sumidero.

### Densidad de drenaje (Dd)

Este parámetro determina la longitud de los cauces que participan en la cuenca hidrográfica (Tabla 7) (Horton, 1945).

Tabla 7. Valores de densidad de drenaje

Densidad de drenaje (km/km)	Categoría
0.1 a 1.8	Baja
1.9 a 3.6	Moderada
3.7 a 5.6	Alta

Fuente: IBAL (2009)

$$Dd = \frac{\sum Ltc}{A}$$

Donde:

Dd: Densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>).

Ltc: Longitud total del todos los cauces (km).

A: Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>).

### Extensión media del Escurrimiento superficial (Es)

Expresa la distancia promedio, en la cual el agua producto de la lluvia recorre el área de la cuenca superficialmente hasta incorporarse al cauce de mayor proximidad.

$$Es = \frac{A}{4 + Ltc}$$

Es: Extensión media del Escurrimiento superficial (km)

A: Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

Ltc: Longitud total del todos los cauces (km)

### Tiempo de concentración (Tc)

Representa el tiempo que tarda una gota de agua que proviene de la precipitación en escurrir desde el punto más lejano y alto de la divisoria hasta la salida de la cuenca (Tabla 8).

$$\text{Kirpich (1940): } Tc = 0,06628 \left( \frac{Lcp}{m/s} \right)^{0,77}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (Horas).

Lcp: Longitud del cauce principal (km).

Sc: Pendiente media del cauce principal (m/m).

$$\text{Témez (1991): } Tc = 0,30 \left( \frac{Lcp}{m/s} \right)^{0,76}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (horas).

Lcp: Longitud del cauce principal (km).

Sc: Pendiente media del cauce principal (%)

$$\text{Giandotti (1934): } Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1,5Lcp}{0,8\sqrt{H}}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (horas).

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

Lcp: Longitud del cauce principal (km).

H (Amedc): Elevación media de la cuenca (m s.n.m).

Tabla 8. clases de tiempo de concentración (min)

Rangos de Tc	Clases
< 40	Rápido
40-80	Moderado
>80	Lento

Fuente: Baldeon (2016)

## Resultados

El proceso de caracterización de la microcuenca del Estero Mutile se realizó con los modelos digitales de elevación procesados en QGIS. Mediante este software, se obtuvieron tablas y gráficos que permitieron la caracterización geomorfológica de la microcuenca del Estero Mutile. Como resultado de todo el proceso de caracterización, se obtuvieron los parámetros geomorfológicos (Tabla 9).

### Área de la cuenca

La cuenca del Estero Mutile abarca una superficie de 38.50 km<sup>2</sup>, lo que la clasifica como una microcuenca según la categorización basada en la extensión de las cuencas hidrográficas, ya que su área es menor a 50 km<sup>2</sup>. Esta cuenca forma parte de la gran cuenca hidrográfica del río Esmeraldas, la cual está dentro de la vertiente del Pacífico de las cuencas hidrográficas de Ecuador.

### Longitud del cauce principal

El cauce principal de la microcuenca está compuesto por varios tributarios, pero el cauce principal tiene una longitud de 13.15 km. Con esta longitud, el cauce en línea recta representa aproximadamente el 95% de la cuenca, sin contar los tributarios. Por esta razón, esta longitud del cauce principal es necesaria para que se puedan efectuar procesos de erosión y sedimentación en el estero Mutile.

### Coefficiente de compacidad (Gravelius)

La microcuenca del estero tiene un coeficiente de compacidad de 1.46 m/m. Según la clasificación en la (Tabla 1), este valor determina que la cuenca tiene una forma oval-oblonga.

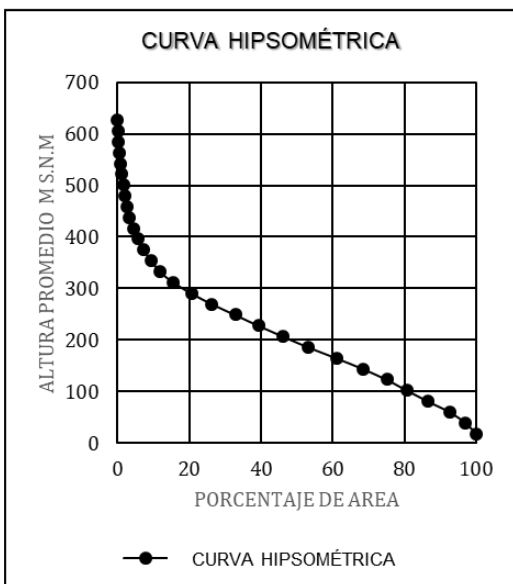


Gráfico 1. Curva Hipsométrica. Fuente: (Corozo & Merino, 2024)

### Coefficiente de circularidad (Miller)

El coeficiente de circularidad dio como resultado 0.46 m/m, valor que, comparado con la (Tabla 2), indica que la microcuenca tiene una forma aproximadamente alargada.

### Coefficiente o factor forma

El factor de forma de la microcuenca es de 0.30 m/m. Según la clasificación en la (Tabla 3), se puede determinar que la microcuenca del Estero Mutile tiene una forma ligeramente alargada.

### Índice de alargamiento (Horton)

Este parámetro dio como resultado 3.30 km/km. Comparado con los valores de la (Tabla 4), se puede determinar que la microcuenca es muy alargada.

### Pendiente promedio de la cuenca

Para definir en qué clasificación está la pendiente media de la microcuenca del estero Mutile, se realizó una comparación con base en la clasificación de pendiente (Tabla 5). La microcuenca del estero Mutile, al tener una pendiente de 26.92%, se clasifica como una pendiente escarpada. Este proceso de comparación es fundamental para entender mejor las características geomorfológicas de la cuenca, ya que permite identificar cómo la inclinación del terreno influye en diversos aspectos hidrológicos y ambientales.

### Pendiente promedio del cauce

Para definir en qué clasificación está la pendiente media del cauce principal de la microcuenca del Estero Mutile la comparación se realizó con base a la clasificación de pendiente (Tabla 6) el cauce principal tiene una pendiente promedio de 18.94 % la pendiente del cauce principal de la microcuenca es fuerte.

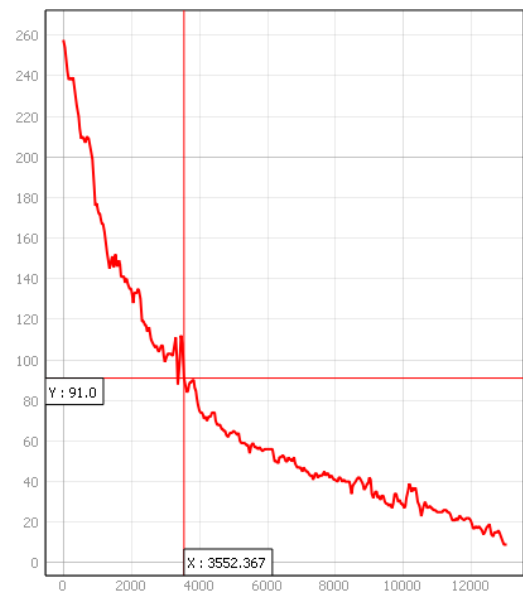


Figura 4. Perfil longitudinal del cauce principal. Fuente: (Corozo & Merino, 2024)

Tabla 9 Parámetros morfométricos de la microcuenca del Estero Mutile.

Parámetros Morfométricos Generales			
Parámetros	Unidad	Símbolo	Valor
Perímetro	km	P	32.39
Área	km <sup>2</sup>	A	38.50
Longitud del cauce principal	km	LCP	13.15
Desnivel altitudinal	m s.n.m	DA	621
ASOCIADOS PARAMETRO FORMA			
Longitud de la cuenca	km	D	11.27
Ancho de la cuenca	Km <sup>2</sup>	An	3.42
Coficiente y/o factor forma	m/m	kf	0.30
Coficiente de compacidad (Gravelius)	m/m	kc	1.46
Coficiente de circularidad (Miller)	m/m	CC	0.46
Índice de alargamiento (Horton)	km/km	la	3.30
ASOCIADOS PARAMETRO RELIEVE			
Altitud máxima	m s.n.m	Amax	629
Altitud mínima	m s.n.m	Amin	8
Altitud media de la cuenca	m s.n.m	Am	195
Pendiente media de la cuenca	%	J (Smed)	26.92
Altitud máxima del cauce	m s.n.m	Amaxc	257
Altitud mínima del cauce	m s.n.m	Aminc	8
Desnivel altitudinal del cauce	m s.n.m	DA	249
Pendiente media del cauce	%	Sc	18.94
ASOCIADOS PARAMETRO RED DE DRENAJE			
Longitud total del drenaje	km	Ltd	24.23
Densidad de drenaje	km/km <sup>2</sup>	Dd	0.63
Frecuencia de los ríos	río/km <sup>2</sup>	Fr	0.29
Número de escurrimiento	-	Ne	11
Extensión media del Escurrimiento superficial	km	Es	0.40
	Horas		Kirpich Tc: 0.91 Hrs
	Horas		Temz Tc: 1.22 Hrs
Tiempo de concentración	Horas	Tc	Giandotti Tc: 2.22 Hrs

Fuente: (Corozo & Merino,2024)

### Curva Hipsométrica

En el parámetro de la curva hipsométrica de la microcuenca del estero mutile (Grafico 1) se demostró con base en la clasificación general de la curva hipsométrica (Figura 3) que el estero de la microcuenca mutile se lo puede clasificar como un río viejo por lo tanto es una microcuenca sedimentaria.

### Densidad de drenaje

Se determinó, según la clasificación de densidad

de drenaje (Tabla 7), que la microcuenca posee un drenaje baja debido a que la densidad de drenaje es de 0.63 km/km<sup>2</sup>. La cuenca tiene dificultades para evacuar el agua de manera eficiente, lo que puede hacerla vulnerable a inundaciones.

### Frecuencia de los ríos

La frecuencia de los ríos de la microcuenca del Estero Mutile muestra que hay 0.29 ríos por cada kilómetro cuadrado de la microcuenca.



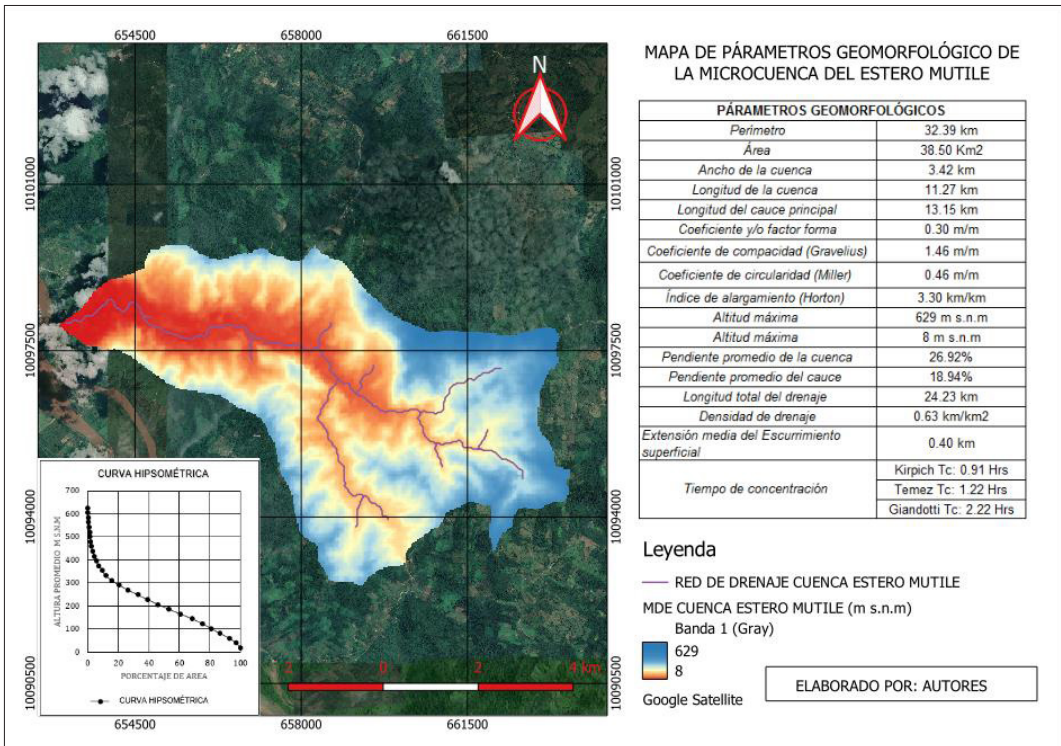


Figura 5. Mapa de resultados de Caracterización Geomorfológica de la microcuenca del estero Mutile. Fuente: (Corozo & Merino,2024)

### Extensión media del Escurrimiento superficial

La distancia promedio que el agua de la precipitación que cae sobre la microcuenca del estero mutile tendrá que transportarse una distancia de 0.40 km hasta un cauce de agua cercano.

### Tiempo de concentración

El período de tiempo que tarda en drenar el agua proveniente de la precipitación, desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto de salida o desembocadura. Fue calculado con diferentes métodos, dando los siguientes resultados: Kirpich 0.91 horas, método de Temez 1.22 horas y método de Giandotti 2.22 horas. Teniendo como base los valores de la (Tabla 8), que corresponden a los valores del tiempo de concentración en minutos, se puede determinar que el tiempo que tarda en recorrer el agua en la microcuenca del estero Mutile es lento. Al convertir a minutos los resultados del tiempo de concentración, se obtiene lo siguiente: Kirpich 54.6 min, Temez 73.2 min y Giandotti 133.2 min, al promediar estos valores, se obtiene una media de 87 minutos, lo que indica que el tiempo de concentración es lento.

### Discusión

Sánchez et al. (2003) clasifican las cuencas hidrográficas en unidades que tienen un territorio

mayor a 500 km<sup>2</sup>, subcuencas hidrográficas con una superficie que va desde 50 hasta 500 km<sup>2</sup>, y microcuencas hidrográficas con territorios menores a 50 km<sup>2</sup>. Según esta clasificación, la unidad territorial del Estero Mutile entra en la categoría de microcuenca al tener una superficie de 38.50 km<sup>2</sup>.

En lo que concierne a la forma de la cuenca, los parámetros del factor forma, Los coeficientes (factor de forma, coeficiente de compacidad y coeficiente de circularidad) muestran que la cuenca del Estero Mutile tiene forma ligeramente alargada, oval-oblonga y aproximadamente alargada. Según Benavides et al. (2019). La densidad de drenaje influye en el comportamiento hidrológico y litológico de cada unidad territorial. En áreas donde la infiltración es difícil, se produce un mayor escurrimiento superficial, lo que aumenta la formación de la red de drenaje y resulta en una densidad de drenaje más elevada.

Campos A (1992) afirma que un incremento en la pendiente resulta en un aumento en la velocidad del flujo y una reducción en la infiltración, lo que conduce inevitablemente a un mayor riesgo de inundaciones y un aumento en la turbidez del agua. La pendiente media de la microcuenca del Estero Mutile es del 26.92%, lo que la clasifica como escarpada y le confiere una velocidad de flujo adecuada.

En relación con la curva hipsométrica, según Strahler (1952) afirma que cuenca en fase de vejez, corresponde en su mayoría a un tipo de cuenca erosionada o sedimentaria, la curva hipsométrica la de la microcuenca del Estero Mutile está asociada a la forma de un río viejo, lo que la clasifica como cuenca en estado de vejez.

El tiempo de concentración de una cuenca hidrográfica está principalmente influenciada por la morfología de la cuenca. (López & Mintegui, 1987). En la microcuenca del estero Mutile el TC varían desde 0.91 horas según el método de Kirpich, 1.22 horas con el método de Temez y 2.22 horas según el método de Giandotti.

## Conclusión

La caracterización geomorfológica de la microcuenca del estero Mutile se realizó utilizando sistemas de información geográfica (SIG) a través del software QGIS 3.36.2. Con este software se llevaron a cabo los procedimientos para delimitar la microcuenca hidrográfica y, posteriormente, obtener los parámetros geomorfológicos mediante ecuaciones matemáticas. Como resultado de este procedimiento, se obtuvieron los parámetros de forma, relieve y red de drenaje. (Figura 5).

La altitud de la cuenca varía desde 8 m sobre el nivel del mar hasta 629 m sobre el nivel del mar. Por lo tanto, la cuenca hidrográfica presenta una pendiente promedio de 26.92%, clasificada como escarpada, mientras que el cauce tiene una pendiente de 18.94%, considerada como fuerte.

El perfil longitudinal son las líneas que trazan el curso de un cauce desde su nacimiento hasta su desembocadura. Este análisis se realizó en QGIS 3.36.2 utilizando la red de drenaje para obtener el perfil longitudinal.

A través del análisis realizado con la curva hipsométrica, se determinó que el estero Mutile se clasifica como un río antiguo, lo que indica que es una cuenca sedimentaria.

La red de drenaje de la microcuenca del Estero Mutile cuenta con 11 escurrimientos y una frecuencia de ríos de 0.29. Los tiempos de concentración varían desde 0.91 horas según el método de Kirpich, 1.22 horas con el método de Temez y 2.22 horas según el método de Giandotti.

## Recomendaciones

Promover el uso de sistemas de información geográfica (SIG) como herramientas indispensables para estudios topográficos.

Gestionar planes de desarrollo para los habitantes de zonas geográficas mediante la implementación de SIG.

Integrar los sistemas de información geográfica (SIG) como herramientas principales en los procesos educativos. permitan. En esta sección se suelen mencionar también los trabajos futuros que se pueden realizar en el tema.

Impulsar un mayor estudio de las cuencas hidrográficas para obtener información detallada sobre estas importantes zonas naturales.

## Referencias

- Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2011). Morfología de las cuencas hidrológicas. <http://hdl.handle.net/10251/10782>
- Sánchez, A., García, R., & Palma, A. (2003). La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales. México D.F: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/cuenca\\_hidrografica.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/cuenca_hidrografica.pdf)
- Loayza, J., & Berg, B. (2017). Delimitación y obtención de parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Jubones, El Oro, Ecuador. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15338.16324>
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (2006). Los Sistemas de Información Geográfica. *Geoenseñanza*, 11, 107-116.
- Mesa, J., & Ariza, F. (2019). Evaluación de la calidad en modelos digitales de elevaciones. *Bibliografía comentada. Grupo de Investigación Ingeniería Cartográfica, Universidad de Jaén, Jaén, España.* [https://coello.ujaen.es/investigacion/web\\_giic/quality4dem/documentos/Bibliografia\\_Comendada\\_def.pdf](https://coello.ujaen.es/investigacion/web_giic/quality4dem/documentos/Bibliografia_Comendada_def.pdf)
- QGIS Project. (2024). QGIS Desktop 3.28 User Guide. <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://docs.qgis.org/3.28/pdf/es/QGIS-3.28-DesktopUserGuide-es.pdf>
- Servicio Geológico de EE. UU. (2020). Listas, mapas y estadísticas de terremotos. Consultado el 18 de marzo de 2020 en <https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/lists-maps-and-statistics>
- Gravelius, H. (1914). *Flusskunde*. Goschen Verlagshandlung, Berlin. En Zavoianu, I. (1985). *Morphometry of Drainage Basins*. Amsterdam: Elsevier.
- Gaspari, F., Delgado, M., Rodríguez, A., & Besteiro, S. (2010). *Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas*. La Plata, Argentina: Grupo de Manejo de Cuencas.
- Miller, V.C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Office of Naval Research, Geography Branch, Project NR 389-042, Technical Report, 3, Columbia University.
- Senisterra, G., Rodríguez, A., Gaspari, F., & Mazzucchelli, M. (2014). Aspectos morfométricos de la cuenca alta del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 55(2), 287-303. <https://www.redalyc.org/pdf/3477/347733745004.pdf>
- Horton, (1932). Drainage basin characteristics. *Transactions of the American Geophysical Union*, 13, 350-361.
- Perez, J. (1979). *Fundamentos del ciclo hidrológico*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería,

Departamento de Meteorología e Hidrología, Caracas,  
Venezuela.

Cañibano, A., Sastre, P., & D'Andrea, R. (2016). Área y  
perímetro para la caracterización de formas. *Suma*, 83,  
25-32. [https://revistasuma.fespm.es/sites/revistasuma.fespm.es/IMG/pdf/s83-25-area\\_y\\_perimetro.pdf](https://revistasuma.fespm.es/sites/revistasuma.fespm.es/IMG/pdf/s83-25-area_y_perimetro.pdf)

IBAL S.A. (2009). Plan de ordenación y manejo ambiental  
de la microcuenca de las Quebradas Las Panelas y La  
Balsa. Recuperado de: [http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documentos/estudios/cuenca\\_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS\\_BIOFISICOS.pdf](http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS_BIOFISICOS.pdf)

Kirpich, Z.P. (1940). Time of concentration of small agricultural  
watersheds. *Journal of Civil Engineering*, 10(6), 362.

Témez, J.R. (1991). Extended and improved Rational Method.  
Proc. XXIV Congress, Madrid, España. Vol. A, 33-40.

Giandotti, M. (1934). Previsione delle piene e delle magre  
dei corsi d'acqua. *Memorie e Studi Idrografici*, Servizio  
Idrografico Italiano, Report No. 2.

Campos Aranda, D. F. (1992). Proceso del ciclo hidrológico (2ª  
ed.). México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Benavides et al. (2009). Caracterización y clasificación de la  
red hidrográfica de la cuenca del río Bobo, departamento  
de Nariño, Colombia. *Ingeniería e Investigación*, 29(3), 97-  
101.

Strahler, A.N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of  
erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of  
America*, 63, 1117-1142.

López., & Mintegui. (1987). Hidrología de superficie. Editorial  
Salazar, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes,  
Madrid, España.