

Caracterización hidrológica de la microcuenca del estero Hondo, cantón La Maná, Ecuador

Hydrological characterization of the micro-watershed of the Hondo stream, canton of La Maná, Ecuador

Marilyn Macas Cobeña¹, Maribis Bonilla Zambrano¹, Wellington Carriel Reyes¹, Juliana PARRALES Carriel¹, Joseph Riofrio Arrobo¹, Náyade Zambrano Flores¹

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

Autor de correspondencia: mmacasc@uteq.edu.ec

Recibido: 21/03/2023. Aceptado: 10/07/2023

Publicado el 20 de diciembre de 2023

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo caracterizar la red hidrológica de la microcuenca del estero “Hondo” mediante la utilización de parámetros morfométricos y biofísicos, con la finalidad de analizar y predecir su comportamiento hidrodinámico, de manera que permita contribuir a planes de manejo ambiental y ser un aporte a la conservación y protección de las condiciones óptimas para su desarrollo. Se analizaron, tres parámetros de forma, dos de relieve, su red de drenaje y la fisiografía. Mientras que en las variables biofísicas se las calculó mediante procesamiento de información geoespacial ArcGIS identificando su temperatura, precipitación, textura del suelo, uso y cobertura del suelo, pendiente y taxonomía. Con los resultados obtenidos, su morfometría, la microcuenca presentó una forma oblonga o rectangular, una red de drenaje moderada, donde se concluye que su sistema hídrico no está propenso a presentar picos de crecidas, debido a la estabilidad de regímenes para su escurrimiento superficial. Sin embargo, al ser una cuenca joven y presentar una forma hipsométrica cóncava, es probable que experimente altos procesos erosivos en el futuro. Finalmente, en el componente biofísico se identificó que la textura del suelo es en su mayoría franco arenoso, con pendientes fuertes y escarpadas y una predominancia de los alfisols cuya filtración de agua es baja, donde se concluye que la microcuenca podría presentar pérdida de la capa vegetativa por el arrastre de sedimentos.

Palabras clave: microcuenca hídrica, morfometría, parámetros biofísicos.

Abstract

The objective of this research is to characterize the hydrological network of the “Hondo” estuary micro-basin through the use of morphometric and biophysical parameters, in order to analyze and predict its hydrodynamic behavior, in order to contribute to environmental management plans and be a contribution to the conservation and protection of optimal conditions for their development. Three shape parameters, two of relief, its drainage network and physiography were analyzed. While in the biophysical variables they were calculated by means of ArcGIS geospatial information processing, identifying their temperature, precipitation, soil texture, land use and cover, slope and taxonomy. According to the results obtained, its morphometry the micro-basin presented an oblong or rectangular shape, a moderate drainage network, where it is concluded that its water system is not prone to present flood peaks, due to the stability of its runoff regimes. superficial. However, as it is a young basin and presents a concave hypsometric shape, it is likely that it will experience high erosive processes in the future. Finally, in the biophysical component it was identified that the texture of the soil was mostly sandy loam, with strong and steep slopes and a predominance of alfisols whose water filtration is low, where it is concluded that the micro-basin could present loss of the layer vegetative by dragging sediment.

Keywords: micro-watershed, morphometry, biophysical parameters.

Introducción

Las cuencas hidrográficas brindan servicios ambientales que integran el bienestar poblacional, como fuente de abastecimiento y la regulación del clima. Su morfología se encuentra relacionada con el comportamiento de los caudales que circulan por ella. Actualmente, se desarrollan caracterizaciones geoespaciales, es decir, herramientas que permiten obtener y modelar en este caso convenientemente su morfología, con el fin de definir las limitaciones de sus recursos, su comportamiento hidrológico, sus condiciones socioeconómicas, permitiendo contribuir a la toma de decisiones para su preservación y aprovechamiento de forma sostenible (Moreira *et al.*, 2020).

Según Rodríguez y Alarcón (2021), en Ecuador, las cuencas hidrográficas desempeñan un papel crucial en la distribución equitativa del agua, al establecer límites geográficos y ser fundamentales para la creación de riquezas, tanto en la agricultura como en la producción de bienes. Además, también son utilizadas como herramienta para la planificación y organización territorial.

En el presente trabajo investigativo tuvo como enfoque el estudio de la microcuenca estero “Hondo”, ubicado en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi. Dado que la microcuenca se encuentra en una zona de influencia agrícola, el uso de agroquímicos en plantaciones es constante, generando la degradación del suelo y el desplazamiento de sustancias en el cauce. Además, las actividades mineras que se realizan a cercanías del estero han provocado la pérdida de grandes extensiones de terreno, y daños al recurso hídrico por las cantidades de cianuro que no son tratados ni almacenados (González *et al.*, 2020). Es por ello, que el presente estudio se sintetiza en ejecutar el procesamiento de información geoespacial empleando el software ArcGIS 10.8 para obtener la caracterización morfológica y biofísica de la microcuenca que permitan conocer su comportamiento hidrológico.

Materiales y métodos

Localización del Área de Estudio

El estudio fue llevado a cabo en la microcuenca estero “Hondo”, situado en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, en el subtrópico del Ecuador, con una ubicación geográfica de Latitud: 0°59'42.5"S, Longitud:79°15'16.7"W (Figura 1).

Delimitación de la microcuenca

El estudio hidrológico permite predecir el comportamiento y los procesos que puede presentar el agua sobre una superficie.

Para lograr realizar las estimaciones se generan una serie de cálculos que permiten delimitar y conocer las funciones de distribución. Por ello, se utilizó el software ArcGIS 10.8, el cual cuenta con una variedad de herramientas hidrológicas que permiten delimitar, cartografiar, calcular y obtener datos enfocados a las características morfométricas de la microcuenca, considerando así sus parámetros físicos, de forma y relieve.

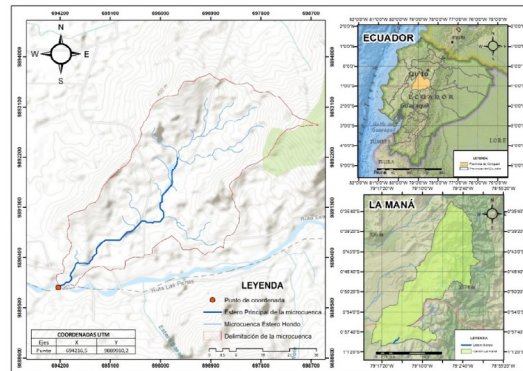


Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca del estero “Hondo”

En la Tabla 1 se muestra la descripción de los procedimientos que se llevaron a cabo para delimitar la microcuenca del estero “Hondo” empleando el ArcGIS 10.8:

La Tabla 1 muestra como son obtenidos los modelos de elevación digital (DEM) en la página ASF Data Search (ASF, 2023).

Parámetros físicos de la microcuenca

Área total de la cuenca (A): el área de una subcuenca se define como la superficie de proyección horizontal, delimitada por la divisoria de agua (Aparicio, 1992).

Perímetro de la cuenca (P): es la dimensión de la línea que limita la cuenca hidrográfica, a lo largo de la divisoria topográfica de aguas (Barrera y Presutti, 2012).

Longitud de la cuenca (L): es la distancia existente entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca. Es el mismo eje de la cuenca (Gaspari *et al.*, 2013).

Ancho de la cuenca (W o An): se define como la relación entre el área o superficie (A) y la longitud axial de la cuenca (La) (Gaspari *et al.*, 2013).

Para obtener los parámetros físicos de la microcuenca se implementó el software ArcGis 10.8. Por ello, en la Tabla 2, se muestra que parámetros se necesitaron, como fueron calculados y en que unidades se presentan:

Tabla 1. Procedimiento para delimitar una cuenca mediante ArcGIS 10.8

Herramientas	Función	Entrada	Archivo de salida
DEM	Ráster de partida se tendrán curvas de nivel o un modelo de elevación digital	Descargado de base datos o generado	DEM
Fill	Permite corregir el modelo digital de elevación	DEM	DEM corregido, con relleno a los pixeles
Flow direction	Se basa en calcular el ráster de dirección de flujo de agua que va a tener en base a la pendiente	MED corregido	Acumulación de flujo
Flow accumulation	Radica en calcular el flujo de acumulación de la celda	Dirección del flujo	Acumulación del flujo
Single Output	Calcula el ráster de corrientes	Acumulación del flujo	Red de drenaje
Stream link	Se encarga de dividir los drenajes	Red de drenaje Dirección del flujo	Drenaje segmento
Stream order	Elabora un ráster de orden corrientes	Red de drenaje Dirección del flujo	Orden de los drenajes
Stream feature	Crea un shape de drenaje, mediante la dirección de flujo y el ráster de corrientes – Se obtendrá la cuenca hidrográfica delimitada en un formato raster	Red de drenaje Dirección del flujo	Shape de drenaje
Feature Vertice to Point	Permite delimitar los puntos de la cuenca delimitada	Shape de drenaje	Vértices de los drenajes de la cuenca delimitada

Tabla 2. Parámetros físicos de la microcuenca

Parámetros	Fórmulas	Unidad
Área total de la cuenca (A)	Se obtuvo mediante el Software ArcGIS 10.8	km ²
Perímetro de la cuenca (P)		km
Longitud de la cuenca (L)		km
Centroides (Este x –Norte y)		m
Ancho de la cuenca (W o An)	$W = \frac{A}{L}$	km

Fuente: (Gaspari *et al.*, 2013)

Tabla 3. Unidades hidrográficas y rangos

Unidad hidrográfica	Área (Km ²)	Nº de orden del río
Microcuenca (pequeña)	10 – 100	1º, 2º o 6º
Subcuenca (mediana)	100 – 700	4º o 5º
Cuencas (grande)	700 – 6000	6º a más

Fuente: (Camino *et al.*, 2018)

Clasificación en función al área

El área es considerada una de las características morfométricas más importantes de una cuenca, ya que permite definir el tamaño que posee. En la Tabla 3 se presentan las unidades hidrográficas y rangos de la cuenca.

Parámetros de forma de la microcuenca

Índice de compacidad o coeficiente de Gravelius (Kc): Este parámetro adimensional permitió describir la geometría que

presentó la cuenca, siendo que siempre su valor será mayor a > 1, lo que indica que mientras más cercano a uno, tendrá mayor concentración de agua, es decir, indicó la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento. En la Tabla 4, se presentan las formas de la microcuenca dependiendo del rango que presente:

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

K_c = Coeficiente de Gravelius

P = Perímetro de la microcuenca (km)

A = Área de la microcuenca (km²)

Tabla 4. Características de la cuenca de acuerdo con el índice de compacidad

Rango	Forma
1.00 a 1.25	Redonda
1.25 a 1.50	Ovalada
1.50 a 1.75	Oblonga
>1.75	Casi rectangular

Fuente: (Camino *et al.*, 2018)

Factor de forma (KF): Este parámetro permitió medir que tan cuadrada puede ser la microcuenca por estudiar, ya que del valor que presente indicaría que tan sujeta estará a crecientes.

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

Donde:

K_f = Factor de forma

A = Área de la microcuenca (km²)

L = Longitud del río principal de la microcuenca (km)

En la tabla 5, se presentan las características de la microcuenca en función al factor de forma.

Tabla 5. Características de la cuenca de acuerdo con su factor de forma

Rango	Características según su forma
<1	Tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas
1	Cuadrada
>1	Tiende a ser achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas

Fuente: (Camino *et al.*, 2018)

Relación de Elongación (Re): Este parámetro permitió determinar qué tan retardado puede ser la concentración de la escorrentía de la microcuenca que se está estudiando. Siendo que si su valor es más alejado de 1 mayor será su elongación.

Parámetros de relieve

Los parámetros de relieve permitieron conocer la generación de escorrentía en lapsos de tiempo menor. En la Tabla 6, se muestran las ecuaciones utilizadas para los parámetros que se integran a la curva hipsométrica. Fue necesario emplear el software ArcGIS 10.8 para obtener los valores del área en porcentaje con respecto a su altura y con ello poder graficar la curva hipsométrica.

Tabla 6. Parámetros que se integran en la Curva hipsométrica

Parámetros	Fórmulas	Unidad
Altitud	ArcGIS 10.8	M.s.n.m
Área parcial (A _p)	ArcGIS 10.8	km ²
Área acumulada (A _a)	A _a = (inicial)+A _p	km ²
Área que quedan sobre las altitudes	A _q = A _a (final) – A _a (inicial)	km ²
Porcentaje del área total	% A total = (A _p / A _a) * 100	%
Porcentaje del total que queda sobre la altitud	% A total altitud = ((A _q * inicial) / A _q) * 100	%

Fuente: (Guerra & González, 2002).

Curva hipsométrica

La curva hipsométrica se empleó para conocer la frecuencia de altitudes en función a sus etapas de equilibrio, en especial a las altitudes centrales, que de acuerdo con (Guerra y González, 2002) presentan las siguientes condiciones: Altitud media: refleja una cuenca con un gran potencial erosivo (fase de juventud); Altitud mediana: es una cuenca en equilibrio (fase de madurez); Altitud modal: presenta una cuenca sedimentaria (fase de vejez).

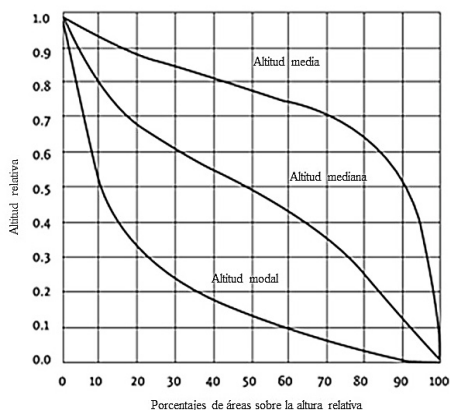


Figura 2. Curva Hipsométrica y Frecuencia de altitudes Fuente: (Guerra & González, 2002)

Elevación media: Para conocer la elevación media se consideraron; las altitudes de la microcuenca, el área y el promedio del área parcial. De esa forma se desarrolló la siguiente fórmula:

$$H_{med} = \frac{\sum A * \bar{A} \text{ rea promedio}}{\sum A} = \frac{m}{m.s.n.m}$$

Donde:

Hmed = Elevación media del cauce (m/ m.s.n.m)
 = Sumativa del área promedio de promedio del cauce (dada la relación entre área parcial y el área acumulativa) (km²)
 Área promedio = Área promedio del cauce (dada la relación entre área parcial (km²) y la altitud del cauce (m.s.n.m)).

Pendiente media del estero principal: Es un indicador importante para describir la respuesta del cuerpo hídrico ante la torrencialidad de las lluvias (Guerra y González, 2002). La longitud utilizada para el cálculo corresponde a la del cauce máxima longitud, para el parámetro de pendiente media se aplica la siguiente fórmula detallada en la Tabla 7:

$$S_m = \frac{(HM - Hm)}{100 * L} * 100$$

Donde:

S_m = Pendiente media del cauce (m/m)
 L = Longitud del cauce (km)
 HM = Altura máxima del lecho (msnm)
 Hm = Altura mínimo del lecho (msnm)

Tabla 7. Clasificación para establecer el tipo de relieve

Pendiente media %	Tipo de relieve
0 a 3	Plano
3 a 7	Moderadamente inclinado
7 a 12	Medianamente accidentado
12 a 20	Accidentado
20 a 35	Fuertemente Accidentado
35 a 50	Muy Fuertemente accidentado
50 a 75	Escarpado
>75	Muy escarpado

Fuente: (Guerra y González, 2002)

Parámetros de red de drenaje

Tiempo de concentración: Este parámetro permitió conocer el tiempo necesario para que el agua fluya desde el curso inicial de la microcuenca hasta la salida de esta. Para ello, se aplicó la siguiente fórmula:

$$T_c = 0.0195 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (min)
 L = Longitud del curso principal (m)
 S = Pendiente media del curso principal (m/m)

Densidad de drenaje: Este parámetro permite cuantificar como se desarrolla el sistema hidrográfico de la cuenca. Es decir, si existe una mayor densidad de drenaje, el tiempo de escorrentía es menor (Tabla 8), lo que representaría a este factor como indicador de peligrosidad. A continuación, se detalla la formulación aplicada:

$$Dd = \frac{L_t}{A}$$

Donde:

Dd = Densidad de drenaje (km / km²)
 L_t = Longitud total de la cuenca (km)
 A = Área total de la cuenca (km²)

Tabla 8. Clasificación de la red de drenaje

Densidad de drenaje (Km/Km2)	Categoría
<1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
> 3	Muy Alta

Fuente: (Cruz *et al.*, 2015)

Resultados y discusión

Parámetros físicos

Delimitación de la microcuenca

En la Figura 3 se muestra la delimitación de la microcuenca del estero “Hondo”, que está definida por la divisoria de aguas, la cual limita entre las altitudes y su desembocadura con el río Calope, área en la cual las precipitaciones son drenadas hacia un mismo punto, que corresponde al mismo cauce del estero.

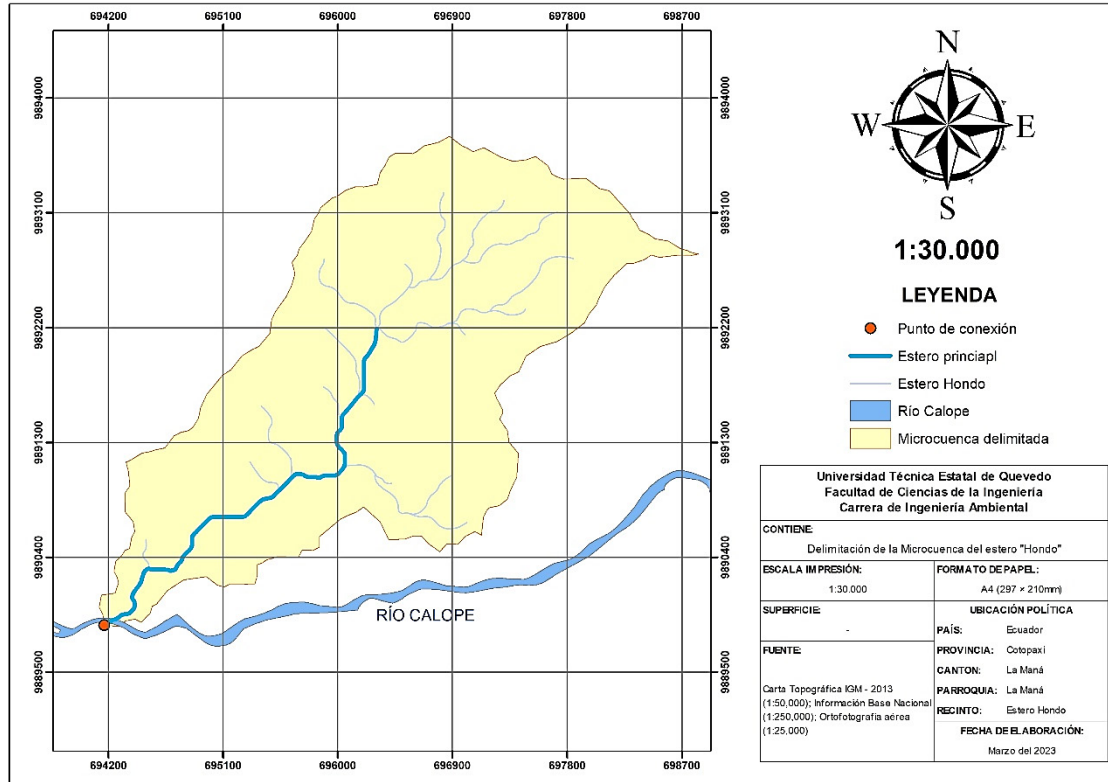


Figura 3. Delimitación de la microcuenca del estero “Hondo”

Tabla 9. Parámetros fisiográficos de la microcuenca del estero “Hondo”

Parámetro	Parámetros físicos de la microcuenca	
	Microcuenca hidrográfica	Unidad
Área total	7.96	km ²
Perímetro	14.92	km
Ancho promedio	2.06	km
Longitud del río principal	3.87	km
Longitud de la microcuenca	15.02	km

En la Tabla 9, se presentan los parámetros fisiográficos que se calculó en el software ArcGIS 10.8. Estos resultados coinciden con Montoya y Montoya (2009) quienes en su estudio de caracterización morfométrica de la microcuenca

de la quebrada los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia-Colombia su cauce representó 20 km², indicando que, una cuenca que esté en el rango de 5 a 250 km² se la puede clasificar como cuenca pequeña.

Parámetros de forma

En la Tabla 10 se muestran los parámetros asociados a la geometría que presenta la microcuenca con la finalidad de predecir su comportamiento ante los fenómenos erosivos.

Tabla 10. Parámetros de forma de la microcuenca del estero “Hondo”

Parámetros asociados a la forma de la microcuenca		
Kc	Kf	Re
1.49	0.53	0.82

Índice de Gravelius (Kc): Este parámetro adimensional se basa en la comparación entre la longitud del perímetro con la circunferencia de un círculo que presenta igual área de la cuenca. De acuerdo con Cruz *et al.*, (2015) esto indica que mientras los valores sean más próximos a 1 la forma de la cuenca será circulante, lo que implica una tendencia a presentar altos caudales de escurrimiento. Los resultados de esta investigación presentaron un Kc de 1.49, lo que indica que su forma es oblonga a rectangular. González (2004) en su estudio de análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicados a la peligrosidad de crecidas, mencionaron que la cuenca Zadorra obtuvo un Kc de 1.54, representándolas como una cuenca oblonga a rectangular, mostrando que están menos sujetas a avenidas, y que están propensas a presentar pérdida del suelo debido a que poseen un menor volumen, lo que permite el pase de la escorrentía.

Factor de forma (Kf): En este factor se generó un valor de 0.53, lo que indica que tiende a ser alargada y que presenta una baja susceptibilidad de avenidas, ya que su rango fue < 1. García *et al.* (2021), en su estudio de los Parámetros morfométricos de la unidad Masaya, Nicaragua, determinaron que la cuenca estudiada obtuvo 0.36, siendo una forma alargada y no achatada, lo que implica que las probabilidades de crecidas son relativamente bajas en eventos precipitación extraordinarios.

Factor de elongación (Re): En este índice se obtuvo un resultado de 0.82, lo que indica que la forma de la microcuenca es alargada, dado que su rango es inferior a 1. Como se muestra en la (Tabla 6); tal como lo establecen Díaz *et al.* (2017) en su estudio de aspectos morfométricos de cuencas subtropicales del Noroeste de Argentina, donde su resultado fue de 0.82, determinándola como una cuenca alargada que no presenta fuertes picos de crecidas en el caudal, lo cual indica que presenta un alto grado para infiltrar la precipitación, lo que implica a que no se generen crecidas.

Parámetro de relieve

Curva hipsométrica: En la Tabla 11 se presenta los parámetros calculados para la obtención de la curva hipsométrica, en dependencia a un área acumulada de 7.96 Km² y sus altitudes en 294.39 msnm. A su vez, presentó ser convexa al relacionar el índice altitudinal con base en la forma que presentó la curva, por tanto, gran parte del área de la cuenca está en las altitudes medias y altas, cuyos procesos geomorfológicos presenta erosividad, deslizamientos, cárcavas, reptación y formas periglaciares.

Tabla 11. Parámetros altitudinales

Nº	Cota Mínima	Cota Máxima	Promedio “Ci”	Área Parcial (Km ²)”Ai”	Área Acumulada (Km ²)	Área que queda sobre la superficie (Km ²)	Porcentaje de área entre C.N.	Porcentaje de área sobre C.N.	Ci*Ai
1	238	257	247.5	0.077	0.077	7.11	1.08%	100	18.95
2	258	276	267	0.545	0.621	7.03	7.67%	98.9	145.52
3	277	296	286.5	1.345	1.967	6.49	18.92%	91.3	385.39
4	297	315	306	1.261	3.227	5.14	17.73%	72.3	385.75
5	316	335	325.5	1.014	4.241	3.88	14.27%	54.6	330.13
6	336	354	345	0.801	5.042	2.87	11.27%	40.3	276.38
7	355	374	364.5	0.711	5.753	2.07	10.00%	29.1	259.25
8	375	393	384	0.591	6.345	1.36	8.32%	19.1	227.10
9	394	412	403	0.433	6.778	0.76	6.10%	10.8	174.68
10	413	432	422.5	0.331	7.110	0.33	4.65%	4.7	139.82
			c	7.1097			100%	c	2,342.96

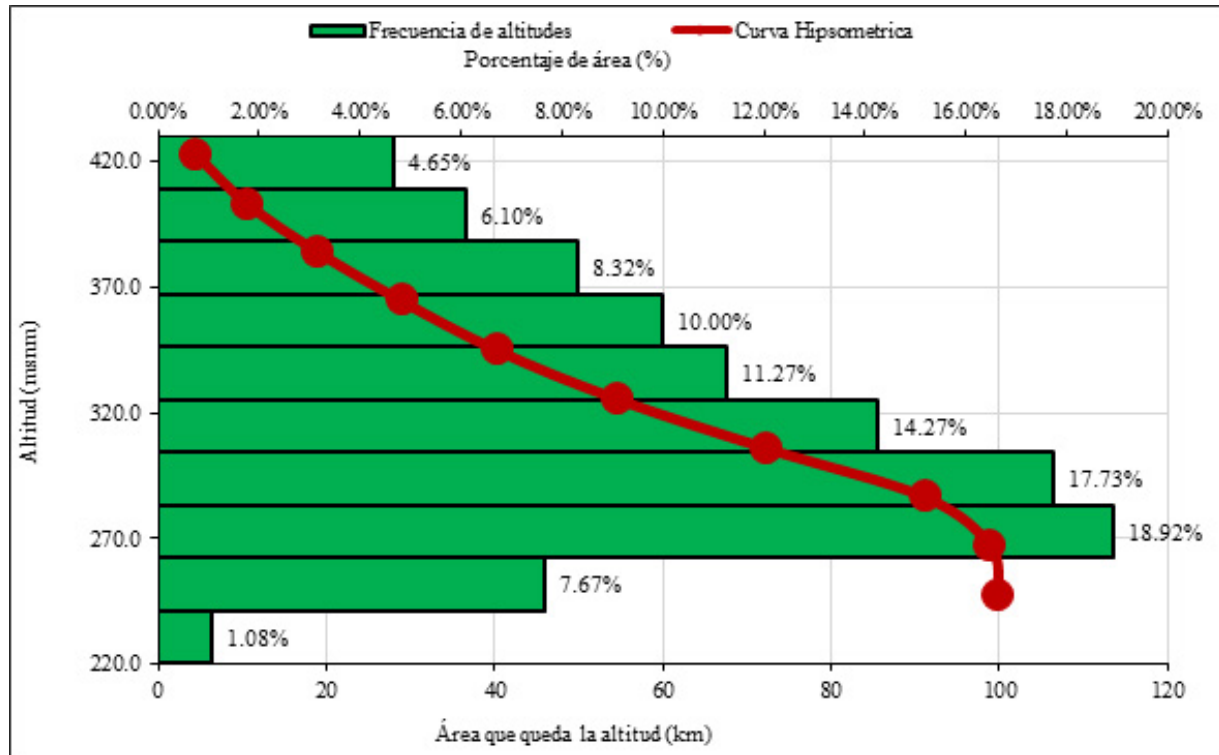


Figura 4. Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes

En la Figura 4, se muestra que la curva hipsométrica determinó que la microcuenca del estero “Hondo” es joven, con una altitud media de 294.39 msnm; esto coincide con lo descrito por Guevara (2019) en su trabajo investigativo con relación al análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México, donde se presenta una curva hipsométrica que describe que la cuenca atraviesa una etapa joven con tendencia a ser erosiva, dominada por vegetación perenne y en menor proporción por desmontes con fines pecuarios y pequeñas áreas de agricultura.

Pendiente promedio del estero principal: La microcuenca presentó una pendiente promedio de 5 % con valores de altura máxima y mínima de 432 m y 238 m respectivamente, con una elevación media de 308 m, lo que indica que presenta un relieve moderadamente inclinado. Según Cruz Romero *et al.* (2015), a mayor pendiente, menor será la duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje.

Parámetros de red de drenaje: La microcuenca estero “Hondo” presentó un tiempo de concentración de 0.59 horas, es decir, que este es el tiempo que lleva el agua en fluir desde el punto más alto hasta la desembocadura de la cuenca. De acuerdo con Romero *et al.* (2015) en su estudio de Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México, las subcuencas presentaron valores entre 0.83 h y las 1.13 h catalogándolos como un tiempo de concentración moderado, lo que implicaría que la cuenca presente un

orden de corriente media, lo cual indica que tiene una mayor posibilidad de tener procesos geomorfológicos erosivos, ya que se encuentra relacionada con los parámetros de relieve fuertes.

Características biofísicas

Textura del suelo de la microcuenca

La microcuenca del estero “Hondo” presenta dos clases de textura de suelo en la zona norte, con una extensión de 572.7 ha, predominan suelos moderadamente gruesos compuestos de arena y limo en un 70% y 20%, respectivamente, tal como se muestra en la Figura 5, los cuales representan el 71.96% del área total de color amarillo claro. Mientras que de color verde claro con 223.17 ha se muestran los suelos de textura media con un 50% de arena y 28% de limo, representando al 28.04% del área restante de la microcuenca.

En un estudio realizado por Lozano *et al.* (2020) sobre infiltración y escurrimiento del agua en suelos de una cuenca al sur de México, obtuvieron como resultado una textura de suelos franco arenoso con pendientes mayores al 20%, indicando que su capacidad de infiltración y retención de las precipitaciones es mayor, por ende, es poco probable a que se produzcan inundaciones.

Uso y cobertura del suelo de la microcuenca

En la Figura 6 se muestran tres tipos de cobertura del suelo que presentó la microcuenca del estero “Hondo”, las que se describen a continuación:

- Cuerpo de agua – con un área del 1.16 ha (0.15%);
- Bosque nativo – tienen un área de 1.8 ha (0.23%);
- Tierra de cultivo – que ocupa un área de 792,89 ha (99.63%);

Esto evidencia que, un gran porcentaje se obtuvo en tierras de cultivo; con ello, Martínez de la Cruz et al. (2018), mencionan en su estudio del diagnóstico de la microcuenca Río Yuqueza, que los terrenos de cultivo que se ubican a orillas del río principal y afluentes secundarios conllevan a una disminución a la vegetación y al recurso hídrico.

En la Figura 7 se detallan los usos de suelo existentes en la microcuenca. Mismos que están representados de la siguiente manera:

- Bosques nativos – cubre un área del 1.8 ha (0.03%);
- Cultivos anuales – tienen un área de 205.61 ha (25.84%);
- Cultivos permanentes – con un área de 29.02 ha (3.65%);
- Cultivos-semipermanentes – ocupando un área de 47.41 ha (5.96%);
- Suelos agropecuarios – con un área de 186.74 ha (23.47%);
- Cultivos misceláneos – correspondiente a un área de 1.16 ha (0.15%);
- Tierras de uso agrícola – cubre un área de 95.70 ha (12.03 %);
- Pastizales – que posee un área de 228.40 ha (28.7%)– que posee un área de 228.40 ha (28.7%).

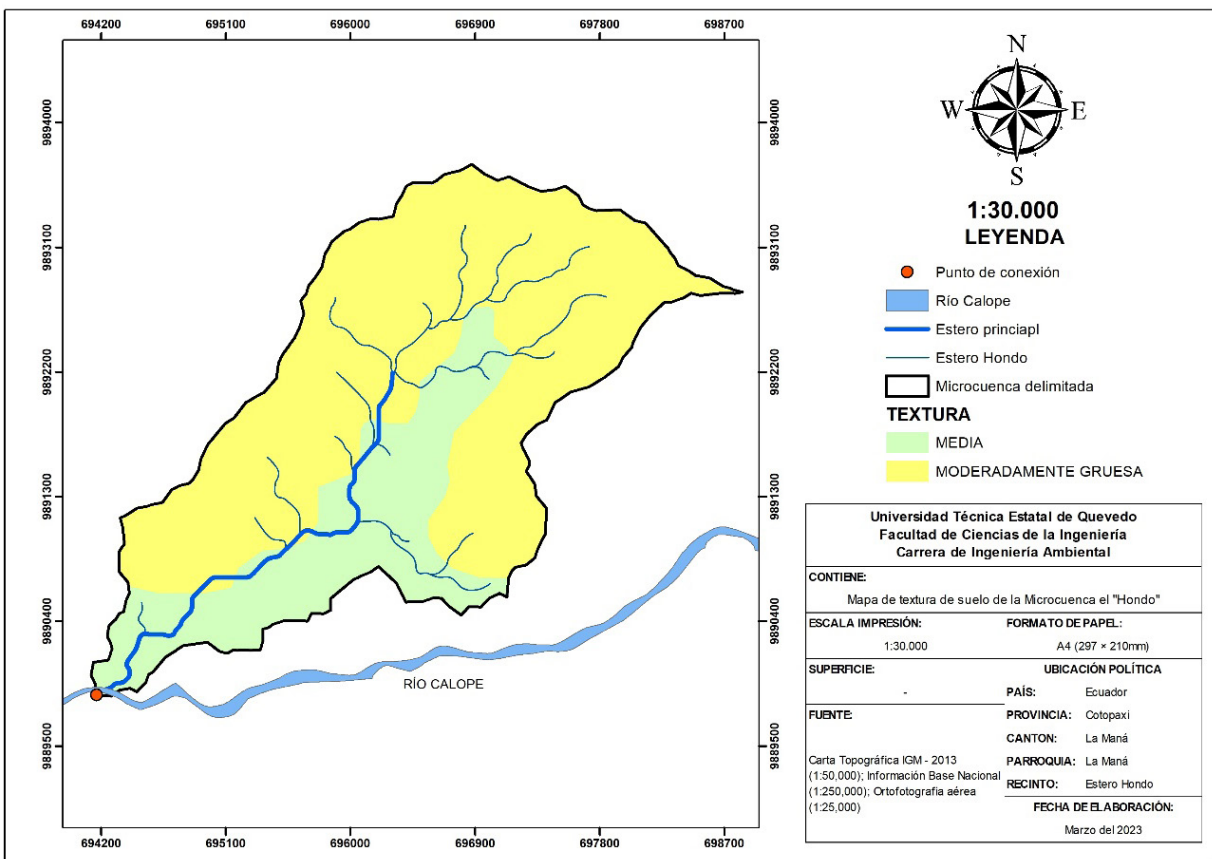


Figura 5. Mapa de la textura del suelo de la microcuenca

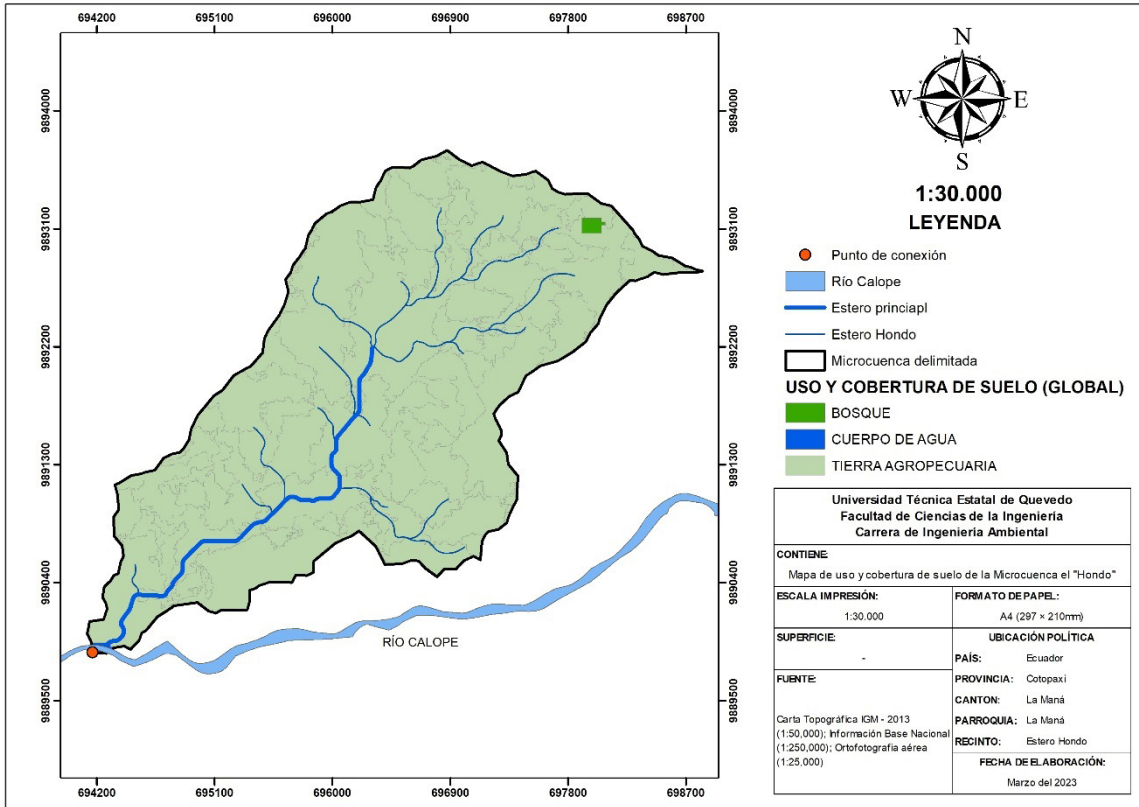


Figura 6. Mapa general del uso y cobertura del suelo de la microcuenca

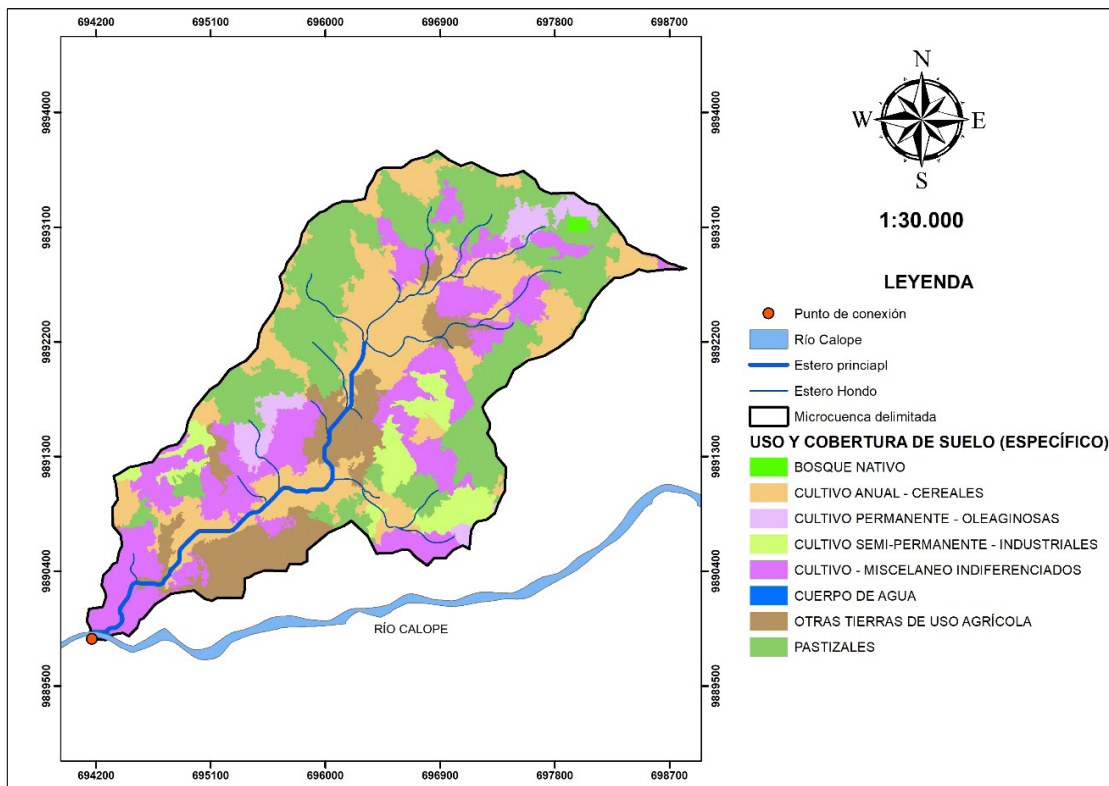


Figura 7. Mapa específico del uso y cobertura del suelo de la microcuenca

De los seis tipos de uso y cobertura de suelo, los bosques nativos ocuparon una menor extensión del terreno de la microcuenca con 1.8 ha (0.03%), mientras que los pastizales tuvieron una mayor representatividad en la ocupación de 228.40 ha (2870%). Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Volonté *et al.* (2018) de su estudio en cuencas serranas de Argentina, donde los pastizales demuestran tener una adaptación a temporadas húmedas y secas, debido a que la extensión de sus raíces le proporciona una mayor resistencia al escurrimiento, siendo una de las razones por las que se encuentran con una mayor proporción dentro de la microcuenca.

Pendientes de la microcuenca

La microcuenca del estero “Hondo” presentó cinco tipos de pendientes, como se observa en la Figura 8, donde el área total de la microcuenca es de 795.87 ha, obteniendo de esta manera las siguientes categorías:

- Pendiente escarpada – montañoso (> 70%) ocupa un área del 7.27 ha;
- Pendiente plana – débil (0 – 5%) con un área del 0.13 ha;
- Pendiente fuerte – colinado (25 – 50%) con un área de 70.88 ha;

- Pendiente irregular – ondulación moderada (12 – 25%) con un área de 152.16 ha;
- Pendiente muy fuerte – escarpados (50 – 70%) con un área de 565.42 ha.

La pendiente predominante en la microcuenca del estero “Hondo” es muy fuerte, ya que abarca entre el 50% y el 70% de la superficie total de 565.42 ha. Según los autores Guzmán *et al.* (2021), las áreas con pendientes superiores al 12% son extremadamente frágiles y requieren medidas de conservación para preservar el paisaje, fomentar su regeneración y protegerlo contra la erosión hídrica superficial. Por lo que, estas acciones son necesarias para evitar la degradación del valor paisajístico y la pérdida de suelo.

Taxonomía de la microcuenca

La taxonomía de la microcuenca del estero “Hondo” se ilustra en la Figura 9, contemplando tres categorías taxonómicas, que se muestran a continuación:

- Entisoles con un área de 7.26 ha (0.91%);
- Inseptisoles con 223.16 ha (28.04%); y
- Alfisoles con 565.42 ha (71.04%).

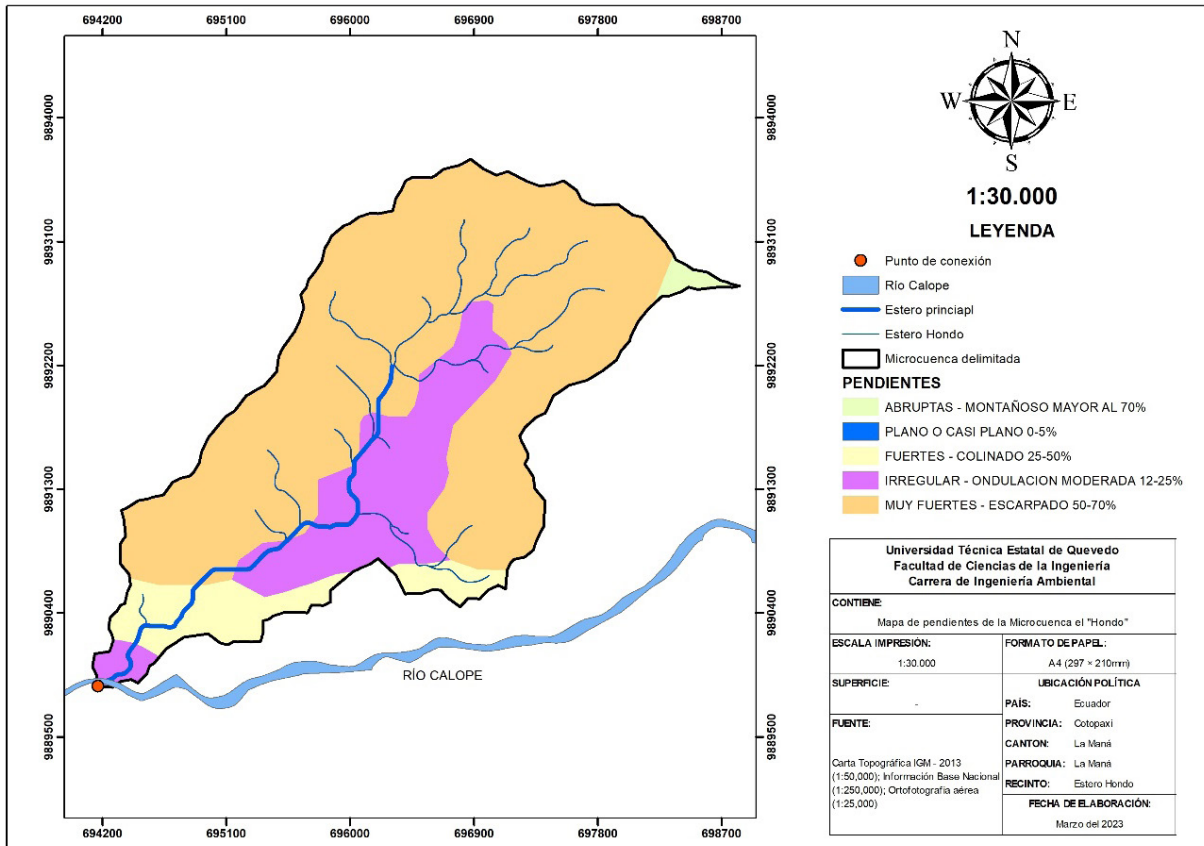


Figura 8. Mapa de las pendientes de la microcuenca

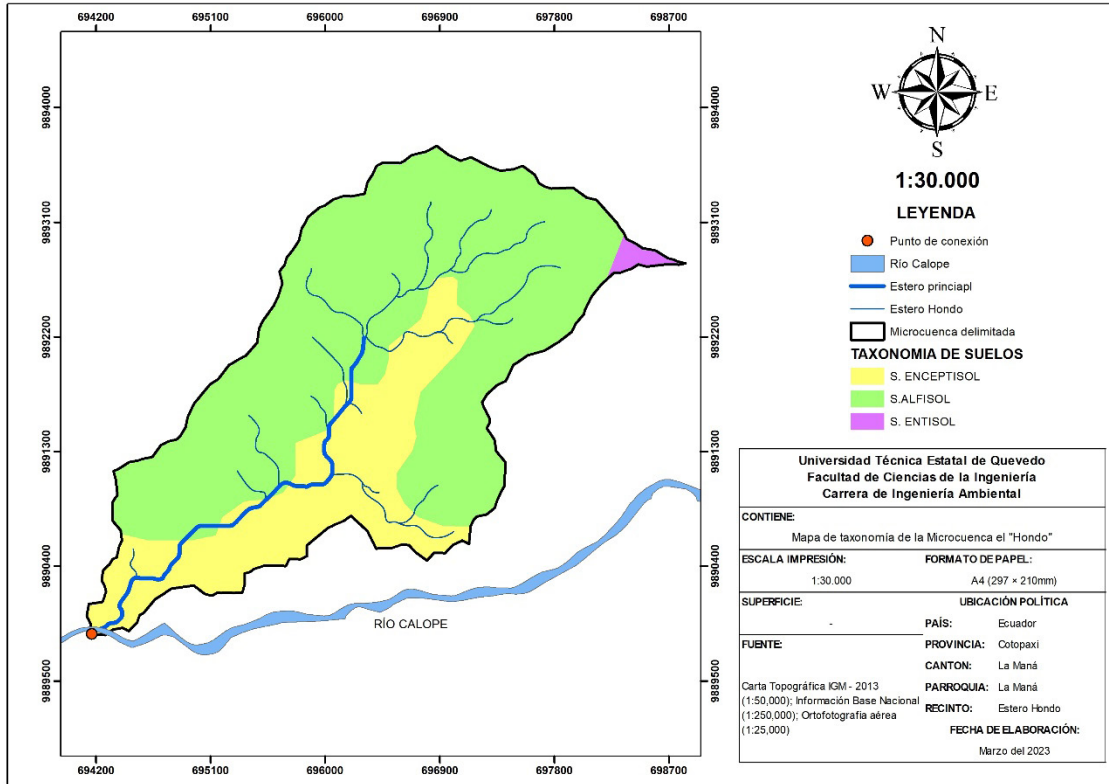


Figura 9. Mapa de la taxonomía de la microcuenca

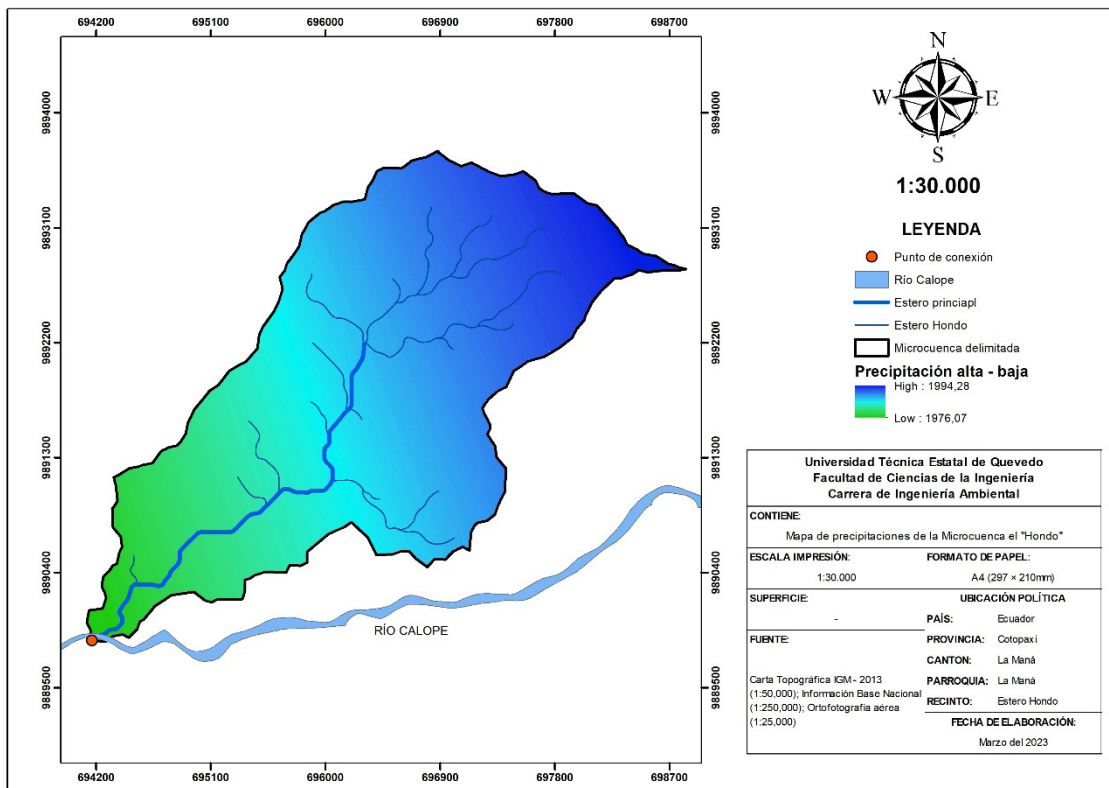


Figura 10. Mapa de la precipitación de la microcuenca

De las 3 taxonomías, los alfisoles presentan una mayor predominancia con un 71.04% del área de la microcuenca; estos resultados concuerdan con lo establecido por Jaimes *et al.* (2005), en su estudio de Homogeneidad pedogeomorfológica y pedogénesis en la cuenca del río Motatán, Trujillo, Venezuela, en donde lograron identificar 16 parcelas con suelos evolucionados (alfisoles), lo que indica que presentan lixiviación, por otro lado, señalan que este suelo cuenta con una importante cantidad de minerales gracias a un proceso de desarrollo edafogenético que se manifiesta en la presencia de una capa superficial.

Precipitación de la microcuenca

La microcuenca presenta distintas precipitaciones a lo largo de un año, donde se identificó que dicha área cuenta con una precipitación de 1,994.28 mm como la más alta, 1,985 mm como la precipitación media y la precipitación más baja de 1,976.78 mm, como se lo muestra en la Figura 10.

Estos datos se asemejan con lo obtenido por Duque *et al.* (2019) donde menciona que, dentro de su estudio sobre la estimación del balance hídrico de una cuenca andina tropical, la precipitación anual en la microcuenca del río Chaquilcayen ubicada en el cantón Gualaceo fue de 843.4 milímetros; esta precipitación disminuye hacia la parte del este de la cuenca.

Conclusiones

Las propiedades morfométricas de los sistemas fluviales de una cuenca contribuyen a un marco referencial para la aplicación de estudios morfológicos y geomorfológicos a escala espacial, permitiendo conocer los rasgos propios de la cuenca y su comportamiento hidrológico. En este sentido, la aplicación de tecnologías geoespaciales se revela como una herramienta indispensable para la toma de decisiones orientadas a la preservación y aprovechamiento sostenible para las comunidades y su entorno.

Los parámetros estudiados en la microcuenca Estero “Hondo” mediante el software ArcGIS 10.8 proporcionaron información sobre la dinámica espacio temporal del caudal de drenaje de la microcuenca, la cual presenta un equilibrio, lo que implica una estabilidad de regímenes de caudales debido al escurrimiento superficial. Sin embargo, debido a que se trata de una cuenca joven con una forma hipsométrica convexa, es probable que experimente altos procesos erosivos en el futuro. En general, se puede concluir que la microcuenca no presenta riesgos significativos en cuanto a inundaciones, pero es importante considerar y tomar medidas para prevenir la erosión en la zona.

Referencias bibliográficas

Barrera, D., y Presutti, M. (2012). El perímetro de una cuenca hídrica: su tratamiento objetivo en la definición de índices geomorfológicos. *CUADERNOS Del CURIHAM*, 18(1),

1–13. <https://cuadernosdelcuriham.unr.edu.ar/index.php/CURIHAM/article/view/44/33>

- Cruz, B., Gaspari, F., Rodríguez, A., Carrillo, F., y Téllez, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 23(64), 26–34. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2015643592>
- Díaz, R., Gaspari, F., y Georgieff, S. (2017). Aspectos Morfométricos de Cuencas Subtropicales del Noroeste de Argentina. *Acta Geológica Lilloana*, 29(1), 3–19. <http://www.scielo.org.ar/pdf/agli/v29n1/v29n1a01.pdf>
- Duque, P., Cajamarca, R., Wemple, B., y Delgado, M. (2019). Estimación del balance hídrico de una cuenca andina tropical. *La Granja*, 29(1), 56–73. <https://www.redalyc.org/journal/4760/476058342005/476058342005.pdf>
- García, N., Salinas, N., y Blandón, L. (2021). Parámetros morfométricos de la unidad hidrológica 69-95259905 Masaya, Nicaragua; como primera etapa en la caracterización hidrológica. *Revista Científica de FAREM-Esteli*, (38), 230–244. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i38.11954>
- Gaspari, F., Rodríguez, A., y Senisterra, G. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas Libros de Cátedra*. <https://digital.cic.gba.gov.ar/handle/11746/5798>
- González, A. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicados a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de La A.G.E.N.*, 38, 311–329. <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/495>
- Guerra, F., y Gonzales, J. (2002). Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada La Bermeja, Venezuela. *Geoenseñanza*, 7(1–2), 88–108. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/20840>
- Guzmán, A., De Antueno, L., y Gaspari, F. (2021). Análisis de la variabilidad geoespacial de la fragilidad morfométrica en la cuenca alta del Río Sauce Chico, Argentina. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 120(1), 069. <https://doi.org/10.24215/16699513e069>
- Jaimes, E., Mendoza, J., Pineda, N., y Rodríguez, H. (2005). Homogeneidad pedogeomorfológica y pedogénesis en la cuenca del río Motatán, Trujillo, Venezuela. *Interciencia*, 30(2), 73–80. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33910104.pdf>
- Lozano-Trejo, S., Olazo Aquino, J., Pérez-León, M. I., Castañeda-Hidalgo, E., Díaz-Zorrilla, G. O., y Santiago-Martínez, G. M. (2020). Infiltración y escurrimiento de agua en suelos de una cuenca en el sur de México. *Terra Latinoamericana: organo científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.*, 38(1), 57. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.443>
- Martínez de la Cruz J., Díaz Zorrilla G. O., Lozano Trejo, S., Pérez León M. I., y Vásquez V. (2018). Diagnóstico de la microcuenca Río Yuqueza en la comunidad de

- San Lorenzo Albarradas, Oaxaca. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, (6), 1211–1220. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.1284>
- Moreira, A., Mirandola, P., Pinto, A., Salinas, E., y de Oliveira, I. (2020). Integrated management of river basins: Possibilities and advances in the analysis of land use and land cover. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), 69–85. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232>
- Rodríguez, C., y Alarcón, J. (2021). Estudio hidromorfológico de la cuenca La Mona, El Cady y el riesgo de inundaciones imprevistas. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.*, <https://www.scielo.org.mx/pdf/dilemas/v8nspe2/2007-7890-dilemas-8-spe2-00015.pdf>
- Volonté, A., Gil, V., y Campo, A. M. (2018). Study of the vegetation and its effects on the fluvial dynamics in mountain basins, Argentina. *Redalyc.Org*, 59, 366–380. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347760473009>

