UEA Ambiental
PrePrint UEA

Sección Ambiental
Vol. AMB2324. ep29–185

| Recibido: 15/03/2024 |
| Aceptado: 15/04/2024 |
| Publicado: 22/10/2026 |

Morfometría e hidrología de la cuenca del río Puyo, Pastaza, Ecuador

Morphometry and hydrology of the Puyo river basin, Pastaza, Ecuador

Axel Roberto Freire Garcés[1], Edwin Marcelo Ochoa Valle[1] Rubén Darío Ledesma Acosta[1]

https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAMB2324ep29-185 Crossref

Resumen

La presente investigación aborda un análisis integral de la cuenca del río Puyo, destacando su importancia dentro de los ecosistemas fluviales por su rol en la regulación de los ciclos hidrológicos y en la provisión de servicios ecosistémicos. La investigación se centró en las características morfométricas de la cuenca, utilizando sistemas de información geográfica (SIG) para correlacionar estas características con la hidrología de la región. La investigación presentada aborda el análisis morfométrico e hidrológico de la cuenca del río Puyo, enfocándose en cómo su topografía y características geométricas influyen en los procesos de drenaje y la gestión de recursos hídricos. Se utilizó una metodología cualitativa con el soporte de sistemas de información geográfica y modelado numérico para evaluar diversos parámetros como el área y perímetro de la cuenca, índice de compacidad, factor de forma, y la densidad de drenaje. Los resultados evidenciaron que la cuenca tiene una forma oval-oblonga a rectangular-oblonga, con una alta compactación geométrica, lo que implica una respuesta rápida a precipitaciones, aumentando el riesgo de inundaciones. Además, mediante el modelamiento de inundaciones en formato TIN, se identificó que las zonas que presenta un alto riesgo a inundaciones son el malecón del Puyo, sector de Sacha Wasi y en la CONFENIAE, subrayando la necesidad de estrategias efectivas de mitigación y gestión de riesgos. Este análisis morfométrico proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas respecto a la gestión adecuada de este recurso y la prevención de eventos adversos como las inundaciones.

Palabras clave

morfometría, hidrología, SIG, microcuenca, río Puyo, recursos hídricos.

Abstract

This research addresses a comprehensive analysis of the Puyo River basin, highlighting its importance within river ecosystems for its role in regulating hydrological cycles and in providing ecosystem services. The research focused on the morphometric characteristics of the basin, using geographic information systems (GIS) to correlate these characteristics with the hydrology of the region. The presented research addresses the morphometric and hydrological analysis of the Puyo River basin, focusing on how its topography and geometric characteristics influence drainage processes and water resource management. A qualitative methodology was used with the support of geographic information systems and numerical modeling to evaluate various parameters such as the area and perimeter of the basin, compactness index, shape factor, and drainage density. The results showed that the basin has an oval-oblong to rectangular-oblong shape, with high geometric compaction, which implies a quick response to rainfall, increasing the risk of flooding. In addition, through flood modeling in TIN format, it was identified that the areas that present a high risk of flooding are the Puyo boardwalk, Sacha Wasi sector and at CONFENIAE, underlining the need for effective mitigation and risk management strategies. This morphometric analysis provides a solid basis for informed decision-making regarding the proper management of this resource and the prevention of adverse events such as floods.

Keywords

morphometry, hydrology, GIS, micro-watershed, Puyo river, water resources.

Direcciones

[1]Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: ar.freireg@uea.edu.ec, em.ochoav@uea.edu.ec, rledesma@uea.edu.ec

Autor para la correspondencia

Axel Roberto Freire Garcés. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: ar.freireg@uea.edu.ec

Cómo citar

FREIRE GARCÉS, Axel Roberto, OCHOA VALLE, Edwin Marcelo and LEDESMA ACOSTA, Rubén Darío 2026. Morfometría e hidrología de la cuenca del río Puyo, Pastaza, Ecuador. PrePrint UEA. Vol. AMB2324. p. ep29–185. https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAMB2324ep29-185

Editores Académicos Mario Javier Barrera Castro

Editorial Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA.
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.
Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas fluviales representan entornos dinámicos que desempeñan un papel clave en la regulación de los ciclos hidrológicos y la provisión de servicios ecosistémicos primordiales. En este marco la cuenca del río Puyo destaca como un espacio de notable interés, dada la compleja interacción entre sus características morfométricas y los patrones hidrológicos que determinan la funcionalidad y vitalidad de este ecosistema acuático. (Benemérito, 2023).

La morfometría de las cuencas fluviales es fundamental para comprender los procesos geomorfológicos y ecológicos que influyen en los sistemas acuáticos, para explorar la interacción entre la topografía del terreno y la red hidrográfica, y cómo esto influye en la dinámica fluvial y la distribución de la biodiversidad acuática y terrestre (Del Águila, 2021).

La investigación morfométrica ofrece herramientas clave para examinar la forma y las propiedades geométricas de

las cuencas, proporcionando una perspectiva completa de su comportamiento (Gutiérrez, et. al. 2019). Estos parámetros describen la configuración de la cuenca y son de gran utilidad para la gestión y planificación de los recursos hídricos (Martínez et al. 2020). La aplicación de estas medidas morfométricas, junto con datos hidrológicos mediante tecnologías de Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilita una comprensión más profunda de la relación entre la topografía y los procesos hidrogeológicos. Este método integrado se revela como una herramienta indispensable para la toma de decisiones fundamentadas, ofreciendo información crucial para la planificación y gestión sostenible de los recursos naturales, así como para la prevención de fenómenos adversos como las inundaciones. (Colín et al. (2023).

La cuenca del río Puyo, una región de singular importancia en términos de biodiversidad y servicios ecosistémicos (Santos, 2021). Además, es de vital importancia socioeconomía de la región de Pastaza, ya que este recurso es fundamental para la ejecución de actividades productivas que sostiene, incluidas la agricultura, la pesca y el turismo, que son pilares para la economía local (Racines, 2015). Económicamente, la cuenca es fundamental para actividades como la agricultura, la pesca y el turismo, que son pilares de la economía local. Físicamente, el río Puyo fluye a través de la Amazonía ecuatoriana, caracterizado por su biodiversidad y su paisaje de selva tropical. Ambientalmente, la cuenca del río Puyo es hogar de una rica biodiversidad, incluyendo numerosas especies de flora y fauna, algunas de las cuales son endémicas de la región. Socialmente, el río es un elemento central en la vida de las comunidades locales, proporcionando recursos vitales y siendo parte integral de su identidad cultural. La interacción entre estas dimensiones destaca la importancia de gestionar la cuenca de manera sostenible para asegurar su viabilidad a largo plazo (Villalva et al. 2021).

Por lo cual se propone como objetivo la identificación de las características morfométricas mediante sistemas de información geográfica correlacionadas con la hidrología de la cuenca del río Puyo. Para el cumplimiento de la investigación se plantea tres objetivos específicos que son: a) Caracterización morfológica de la cuenca del río Puyo, b) caracterización hidrológica, d) Determinación de zonas de riesgos mediante un modelo de inundaciones.

2. Metodología

2.1. Localización de la zona de estudio

La investigación se realizó a lo largo de la cuenca del río Puyo **(Figura 1)**. El río Puyo nace en los bosques adyacentes a la cordillera de los Llanganates, específicamente en la colonia 24 de mayo, ubicada dentro del Cantón Mera. Su recorrido atraviesa terrenos elevados del mismo cantón y las alturas de la parroquia Fátima, cruzando diversos asentamientos poblacionales, incluida la ciudad de Puyo. En este trayecto, el río incorpora varios afluentes importantes antes de su confluencia con el río Pastaza en la zona de Indichuris (Gobierno autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, 2019).

A continuación, la **Tabla 1** presenta la georreferenciación de las coordenadas correspondientes al cauce del río Puyo. Este río se extiende a lo largo de 44 kilómetros, fluyendo desde la cuenca alta hasta la cuenca baja **(Figura 1)**.

Tabla 1 | Georreferenciación de las coordenadas del cauce del río Puyo

Puntos de control			
Cuenca alta			
Puntos	**Zona**	**Coord. X**	**Coord. Y**
1	17	828394	9841556
2	17	828828	9841396
Cuenca media			
Puntos	**Zona**	**Coord. X**	**Coord. Y**
3	18	169640	9831172
4	18	169433	9830887
Cuenca baja			
Puntos	**Zona**	**Coord. X**	**Coord. Y**
5	18	175115	9841556
6	18	175335	9817746

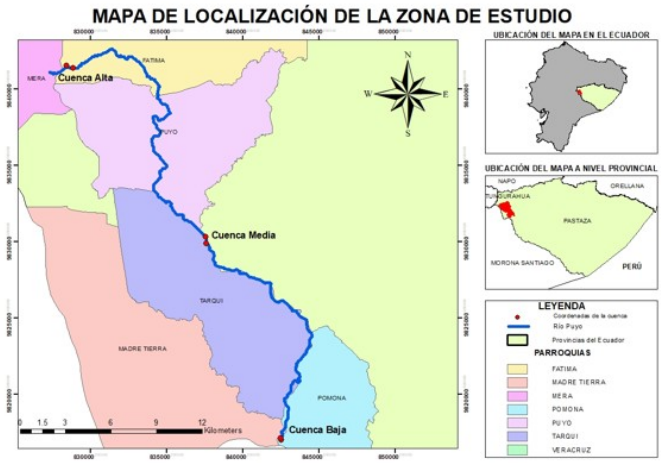


Figura 1 | Mapa de localización de la zona de estudio

2.1.1. Clima

Las zonas adyacentes a la cuenca hidrográfica del río Puyo, se encuentran dominadas por un clima Tropical Húmedo, con precipitaciones anuales fluctuando entre 2000 mm y 4000 mm. Esto constata que la variabilidad climática depende de la altitud y los distintos niveles climáticos dentro de la provincia. Además, se identificó que la mayoría de la población, junto con la infraestructura y los servicios, se localizan en áreas de clima Sub Tropical Muy Húmedo. A medida que se avanzaba hacia regiones más alejadas de los centros urbanos y desarrollados, el clima se transformaba en Sub Tropical Lluvioso, donde las precipitaciones anuales se incrementaban a entre 4000 mm a 5000 mm. En las zonas más altas de la provincia, prevaleció un clima Tropical Muy Húmedo Templado Cálido. (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, 2019).

2.1.2. Relieve

La cuenca hidrográfica del río Puyo se sitúa en las faldas de la Cordillera Real de los Andes, iniciando a 1480 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y descendiendo hasta los

800 m.s.n.m. donde se une al río Pastaza. Este rango altitudinal alberga cuatro zonas biofísicas distintas: la primera, una región montañosa que va de 1480 a 1120 m.s.n.m.; la segunda, compuesta por colinas de elevación moderada entre 1120 y 1000 m.s.n.m.; la tercera, que incluye los principales asentamientos humanos y áreas de actividad agropecuaria entre 1000 y 900 m.s.n.m.; y la cuarta, que se extiende de 900 a 800 m.s.n.m., donde se encuentra la confluencia con el río Pastaza, como indica Vallejo en su estudio de 2019 (Vallejo, 2019).

2.2. Metodología

La presente investigación presenta un enfoque cualitativo ya que se fundamenta en la explotación documental para la recopilación de información bibliográfica donde se identificaron diversas variables morfométricas empleando el software ArcGIS 10.3 y aprovechando el uso de modelos digitales de elevación con una resolución de 1:5000 obtenidos de Earth-Data, El proceso semiautomático de delimitación de cuencas hidrográficas se fundamenta en el análisis SIG y DEM, comenzando con la determinación de la dirección y acumulación de flujo para identificar la red de drenaje. A través de un umbral de acumulación, se reclasifican estos flujos, generando redes de drenaje relevantes dentro de las cuencas hidrográficas (Duarte & Sierra, 2022).

2.2.1. Caracterización de la cuenca

2.2.1.1. Parámetros de relieve de la cuenca

Área de la cuenca

La determinación del área de la cuenca hidrográfica se efectuó utilizando el software ArcGIS. Se empleó una metodología de análisis hidrográfico, que requiere un Modelo Digital de Elevación (DEM) y un punto específico de desembocadura para generar la delimitación de la cuenca. Este enfoque proporciona una caracterización precisa, permite análisis a múltiples escalas y facilita la integración con otros datos geoespaciales. La metodología es fundamental para la planificación de recursos hídricos, la prevención de inundaciones, el control de la erosión, la restauración de cuencas y las evaluaciones ambientales. En esencia, habilita un análisis exhaustivo y automatizado, indispensable para la investigación y la toma de decisiones informadas en la gestión de recursos hídricos (Gomes et al. 2021).

La herramienta Watershed (Divisoria de Aguas) en ArcGIS permite la delimitación de la cuenca hidrográfica, y en combinación con la herramienta Calculate Geometry (Calculadora Geométrica), se calcula el área de la misma. A partir de los datos obtenidos, se procedió a clasificar la cuenca según los criterios establecidos en la **(Tabla 2)**. Esta metodología asegura una evaluación precisa del terreno, facilitando la gestión y planificación de recursos hídricos.

Perímetro de la cuenca

El perímetro de la cuenca, también conocido como la longitud de la línea que la delimita, desempeña un papel crucial al proporcionar información valiosa sobre la configuración. Aunque el perímetro en sí mismo carece de significado aislado, se convierte en un elemento esencial para calcular los parámetros que describen la forma de la cuenca. El cálculo del perímetro se realizó mediante la herramienta de Calculate Geometry en ArcGIS.

Tabla 2 | Clasificación de tamaños de cuencas. Adaptada de Campos, 1992; Camino et al. 2018.

Rangos de Área [km^2]	Clasificación
< 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia - Pequeña
500 a 2500	Intermedia – Grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Ancho de la cuenca

Es la relación existente entre el área de drenaje de la cuenca y la longitud total de dicha cuenca. Estos elementos están intrínsecamente interrelacionados, desempeñando un papel crucial en la definición de la estructura y disposición de la cuenca (Hernández & Manzo, 2022).

2.2.1.2. Parámetros de forma de la cuenca

Índice de compacidad o índice de Gravelius

Dipardo et al. (2022) indican que el índice de Gravelius es un método para determinar la compacidad de una cuenca hidrográfica. Este índice compara el contorno de la cuenca con la circunferencia de un círculo de área equivalente. La ecuación para calcular el índice de Gravelius ayuda a entender mejor la forma de la cuenca y su eficiencia en el drenaje de aguas. Este parámetro es crucial para la planificación y gestión de recursos hídricos, ya que una cuenca más compacta puede indicar un tiempo de concentración menor y una respuesta más rápida a eventos de precipitación **(Tabla 3)**.

$$Kc = 0{,}28\left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right) \quad (1)$$

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad

P: Perímetro de la cuenca (km) A: Área de la cuenca (km^2)

El Coeficiente de compacidad Kc brinda información de las fuerzas y ondas de crecidas. El valor que tome este coeficiente dependerá la forma de la cuenca siguiendo tres clases:

Clase I (casi redonda a oval-redonda) cuando Kc = 1,00 a 1,25,

Clase II (oval redonda a oval oblonga) cuando Kc = 1,26 a 1,5

Clase III (oval-oblonga a rectangular-oblonga) cuando Kc se encuentra entre 1,5 a más de 2 (Ortuño et al. 2023).

Tabla 3 | Índice de Gravelius

Clase	Rango	Descripción
Clase I	Kc = 1,00 a 1,25	casi redonda a oval-redonda
Clase II	Kc = 1,26 a 1,5	oval redonda a oval oblonga
Clase III	Kc = > 1,5	oval-oblonga a rectangular-oblonga

Factor de forma

El factor de forma de “Horton” es una medida que busca cuantificar la eficiencia de una cuenca hidrográfica para convertir la precipitación en escorrentía. Se relaciona con la forma de la cuenca, es decir, su elongación o compacidad, y tiene implicaciones en cómo el agua fluye a través de la cuenca, la velocidad de ese flujo y, por ende, en el tiempo de concentración de la cuenca (el tiempo que tarda el agua en recorrer la distancia desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto de salida). Para su cálculo se realiza con la siguiente ecuación.

$$Rf = \frac{A}{Lb^2} \tag{2}$$

Donde:

Rf: Factor de forma según Horton

A: Área de la cuenca [km^2]

Lb: Longitud de la cuenca, determinada midiendo desde el punto de desembocadura hasta el límite próximo a la fuente del cauce principal, siguiendo una trayectoria lineal [km].

Razón de circularidad de Miller

El "índice de circularidad de Miller.[es] un parámetro utilizado para evaluar la forma de una cuenca hidrográfica y su susceptibilidad a ciertos procesos hidrológicos, como las inundaciones. Este índice ayuda a determinar la eficiencia del drenaje de una cuenca y se basa en la relación entre el área de la cuenca y el perímetro de la misma. Cuanto más se acerca el valor del índice a 1, más circular y compacta es la cuenca, lo que suele asociarse con mayor capacidad de drenaje y menor riesgo de inundaciones. Por otro lado, un valor más bajo indica una cuenca menos circular y potencialmente más propensa a retener agua y, por lo tanto, a sufrir inundaciones. Para determinar el índice, se realiza con la siguiente ecuación (Caicedo et al. 2021).

$$Cc = 4\pi\left(\frac{A}{P^2}\right) \tag{3}$$

Donde:

A: Área de la cuenca en [km^2].

P: Perímetro de la cuenca en [km]

2.2.1.3. Características del drenaje

Longitud del cauce

La medida que abarca la extensión del curso principal, calculada desde el punto de convergencia hasta la sección de mayor longitud, constituye la longitud del cauce. Este parámetro se relaciona con los caudales medios, máximos y mínimos, que tienden a incrementarse proporcionalmente con la longitud de los cauces. Una longitud mayor implica mayores tiempos de desplazamiento de las crecidas, lo que conlleva a una mayor atenuación de estas (Monreal et al. 2011).

Perfil del cauce

El perfil del cauce de una cuenca hidrográfica se refiere a la representación gráfica de la elevación del terreno a lo largo del curso del río, desde su nacimiento hasta su desembocadura. (Rubio, 2011).

Este perfil puede variar en función de diversos factores, como la topografía del terreno, la geología, la erosión y la actividad humana.

Cota de nacimiento

Se refiere a la elevación o altitud del punto donde un río tiene su origen o nace. Esta cota es la altura sobre el nivel del mar en la que el agua comienza a fluir y se inicia el curso del río.

Cota en la confluencia del río Pastaza

Se refiere a la elevación o altitud del punto donde dos o más cuerpos de agua, como ríos o arroyos, se unen.

Desnivel altitudinal

Según Arribasplata (2023) señala que la diferencia en altura entre dos puntos del terreno es un factor importante en estudios geográficos, geológicos y de manejo de recursos hídricos, entre otros.

Densidad de drenaje

Se refiere a una variable geomorfométrica que mide la cantidad total de canales de drenaje por unidad de área en una región determinada. Esta métrica es fundamental para entender la capacidad de drenaje de un terreno, la cual está influenciada por factores como la geología, la topografía, la vegetación y el uso del suelo. La densidad de drenaje se calcula dividiendo la longitud total de los cursos de agua por el área total de la cuenca de drenaje (Jarrín, 2020).

Densidad de corriente

Según Ramírez et. al (2021). La Densidad de Corrientes (Dc), está definida como la relación del número total de corrientes a la cuenca de drenaje, es decir representa el número de corrientes por la unidad de área.

2.2.2. Características hidrológicas

2.2.2.1. Validación del mapa de unidades morfológicas

Por la abundante vegetación, los puntos de observación y validación de los puntos utilizados en la zona de estudio estaban en lugares de fácil acceso **(Tabla 1)**.

2.2.2.2. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el período necesario para que el agua de lluvia recolectada en distintos puntos de una cuenca llegue simultáneamente al punto de desagüe. Este cálculo se fundamenta en la longitud total del cauce principal y la variación vertical total de la cuenca. Esto demuestra cómo las propiedades físicas de la cuenca afectan la velocidad a la cual el agua se junta y avanza hacia su punto de salida (Márquez, 2023).

El estudio realizado por Ortuño et al. (2023) revela que el tiempo de concentración es un indicador clave de la respuesta de una cuenca hidrográfica ante eventos de precipitación. Un intervalo de tiempo más breve indica que la cuenca tiene una mayor capacidad para acumular y canalizar el agua hacia su punto de salida de manera rápida, lo cual puede

elevar el riesgo de inundaciones. Estos hallazgos resaltan la necesidad crítica de implementar estrategias de gestión hídrica efectivas, particularmente en aquellas cuencas propensas a experimentar crecidas rápidas, con el fin de reducir los impactos adversos potenciales.

La estimación de los Tiempos de Concentración para la cuenca hidrográfica del río Puyo se llevó a cabo utilizando tres métodos distintos: California, Kirpich y Témez. A continuación, se presentan las ecuaciones.

Kirpich

$$Tc = 0,066\left(\frac{L}{\sqrt{S0}}\right)^{0,77} \quad (4)$$

Donde:

Tc: represente al tiempo de concentración expresado en horas.

L: representa a la longitud de recorrido del cauce principal expresado en kilómetros.

S0: representa a la pendiente media del cauce principal y es adimensional.

California

$$Tc = \left(0,87\frac{Lc^3}{H}\right)^{0,385} \quad (5)$$

Donde: Tc: representa al tiempo de concentración expresado en horas

H: representa al máximo desnivel expresado en la unidad de metro

Lc: representa a la longitud de recorrido del cauce principal expresado en kilómetros

Témez

$$Tc = 0,3\left(\frac{Lc}{S0^{0,25}}\right)^{0,76} \quad (6)$$

Donde:

Tc: represente al tiempo de concentración expresado en horas.

Lc: representa a la longitud de recorrido del cauce principal expresado en kilómetro.

S0: representa a la pendiente media del cauce principal en porcentaje.

2.2.2.3. Período de Retorno

El período de retorno en una cuenca hidrográfica se refiere al tiempo promedio entre eventos hidrológicos (como crecidas o avenidas) de una magnitud específica o mayor. Es un concepto estadístico utilizado en hidrología para estimar la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos, basado en registros históricos de eventos pasados (Campos, D. (2024).

2.2.3. Determinación de zonas de riesgo

2.2.3.1. Mapa de pendientes

Modelamiento de inundación

Para el estudio de las áreas propensas a inundaciones, se utilizaron modelos digitales con una resolución de 1:5000 obtenidos de EarthData; para examinar el territorio más allá de la zona de recarga. Mediante el uso de ArcMap, se transformó el modelo digital de terreno (MDT) en un formato de Red Irregular de Triángulos (TIN), definiendo así las características principales del río (como la línea central del curso de agua, las líneas de orilla, las líneas centrales de la trayectoria del flujo, las líneas de corte transversal, River3D, XSCutlines3D) utilizando la herramienta Hec-GeoRAS. Posteriormente, se exportó un archivo para realizar la modelación hidráulica con HEC-RAS versión 6.2, donde se incluyeron variables adicionales como el caudal observado, el caudal pico, el coeficiente de rugosidad y la inclinación del terreno. Estos datos se reintegraron en ArcMap para proyectar las áreas susceptibles a inundaciones mediante Hec-GeoRAS (Chilito, 2018).

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización de la cuenca

La delimitación de la cuenca y zona de recarga se presenta en la **(Tabla 4)**. La cuenca río Puyo se caracteriza por un área como una cuenca pequeña, de forma oval oblonga a rectangular oblonga y con presencia de fuertes relieves y pendientes pronunciadas (Camino et al. 2018).

La **Figura 2** ilustra la delimitación de la cuenca hidrográfica del río Puyo, la cual abarca un área de 375,50 km^2. Esta superficie se ha determinado mediante el análisis del flujo de acumulación y la dirección del flujo de los diversos afluentes que componen la totalidad del río Puyo. La cuenca presenta un perímetro de 137,760 km y se caracteriza por una elevación que varía desde un mínimo de 800 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) hasta un máximo de 1250 m.s.n.m., lo que resulta en un desnivel altitudinal de 450 metros. Además, el ancho promedio de la cuenca hidrográfica es de 2,95 km.



Figura 2 | Delimitación de la cuenca del río Puyo

La interpretación de los resultados relativos al índice de Gravelius, que fue de 1,99, indica que la zona pertenece a la Clase III, caracterizada por una forma oval-oblonga a rectangular-oblonga. Esta clasificación es significativa ya que sugiere un movimiento más lento del agua a través del

área, lo que podría resultar en un retraso en la llegada de crecidas o incrementos del nivel del agua en comparación con áreas de formas más redondeadas. Este aspecto es de vital importancia para los encargados de la gestión del riesgo de inundaciones, puesto que comprender la morfología de la cuenca hidrográfica les permite una mejor preparación y la implementación de estrategias preventivas ante episodios de precipitaciones intensas.

El factor de forma de Horton arroja un indicador de 12,76 en este caso, sugiriendo una configuración geométrica relativamente compacta de la cuenca. Esta característica geométrica sugiere que la cuenca tiene una mayor eficiencia en concentrar flujos de agua, lo que conlleva a una respuesta más ágil y pronunciada ante eventos de precipitación, resultando en crecidas rápidas y potencialmente más altas.

Tabla 4 | Parámetros morfológicos de la cuenca del río Puyo

Métodos	Valor	Unidad
Área de la cuenca	375,50	[km²]
Perímetro	137,760	[Km]
Ancho de la cuenca	12,95	[Km]
Índice de Gravelius	1,99	
Factor de forma Horton	12,77	
Razón de circularidad Miller	0,25	
Cota mayor	1250	[m.s.n.m]
Cota menor	800	[m.s.n.m]
Nivel altitudinal	450	[m.s.n.m]
Densidad de drenaje	0,77	[m.s.n.m]
Densidad de corriente	0,011	
Longitud del curso principal	45,40	[m]
Longitud de cauces	287,80	[km]

La **Figura 3**, se representa de forma visual la variación de elevación y longitud mientras transcurre el río Puyo.

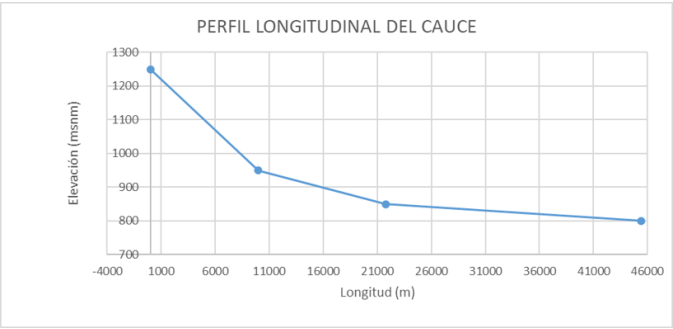


Figura 3 | Perfil longitudinal del cauce de la cuenca del río Puyo

La razón de circularidad de Miller, que oscila entre 0 y 1, proporciona una indicación de la morfología de una cuenca. Valores próximos a 1 sugieren una forma más ensanchada, mientras que valores cercanos a 0 implican una cuenca alargada. En el caso presente, se ha determinado un coeficiente de circularidad (Cc) de 0,25, lo cual indica que la configuración de la cuenca tiende a ser más alargada que circular.

El perfil longitudinal de la cuenca del río Puyo presenta su nacimiento en la cota 1250 m.s.n.m, y a lo largo de él se aprecian las diferentes competencias del flujo **(Tabla 5)**.

Tabla 5 | Cota de nacimiento de la cuenca del río Puyo

Cuenca	Cota de nacimiento [m.s.n.m]
río Puyo	1250

La cota de nacimiento del río Puyo se refiere a la altitud o elevación del punto donde nace el curso de agua principal que define los límites de la cuenca. Esta cota alta de la cuenca fluye hacia abajo, formando arroyos y ríos que eventualmente se unen para formar el cauce principal **(Tabla 6)**.

Tabla 6 | Desnivel altitudinal de la cuenca del río Puyo

Cuenca	Desnivel Altitudinal (m)
río Puyo	450

El desnivel altitudinal de la cuenca del río Puyo se refiere a la diferencia de altitud entre su punto más alto (cota de nacimiento) y su punto más bajo (donde el agua sale de la cuenca, como la desembocadura en el río Pastaza). Esta medida es importante para comprender la pendiente y la capacidad de drenaje de la cuenca, lo que afecta la velocidad y el volumen de flujo de agua a lo largo de su curso. Un mayor desnivel altitudinal generalmente implica una mayor energía potencial del agua y, por lo tanto, un mayor potencial para la generación de energía hidroeléctrica y la erosión del paisaje **(Tabla 7)**.

Tabla 7 | Densidad de drenaje de la cuenca del río Puyo

Cuenca	Densidad de Drenaje
río Puyo	0,77

La densidad de drenaje de la cuenca del río Puyo se refiere a la medida que indica la cantidad de arroyos y ríos dentro de la unidad de área de la cuenca. Una alta densidad de drenaje indica que hay muchos arroyos y ríos dentro de una pequeña área, lo que generalmente se asocia con una topografía accidentada y una mayor capacidad de drenaje. Por otro lado, una baja densidad de drenaje sugiere que hay menos cursos de agua en relación con el área de la cuenca, lo que puede indicar una topografía más plana y un menor potencial de drenaje. La densidad de drenaje es importante para comprender la capacidad de la cuenca para transportar y drenar el agua de lluvia de manera eficiente **(Tabla 8)**.

Tabla 8 | Densidad de corriente de la cuenca del río Puyo

Cuenca	Densidad de Corriente
río Puyo	0,011

3.2. Caracterización hidrológica

3.2.1. Período de retorno

En el siguiente gráfico muestra cómo la intensidad de la precipitación [mm/h] disminuye a medida que aumenta el número de horas para diferentes períodos de retorno, que

van desde 2 hasta 100 años. Con períodos de retorno más cortos, las intensidades son mayores, sugiriendo eventos de lluvia más intensos, pero menos frecuentes. A medida que el período de retorno se alarga, la intensidad de los eventos decrece, indicando que las precipitaciones extremas son menos comunes. Esto es crucial para el diseño de infraestructuras hidrológicas, asegurando su resiliencia frente a variadas magnitudes de lluvia **(Figura 4)**.

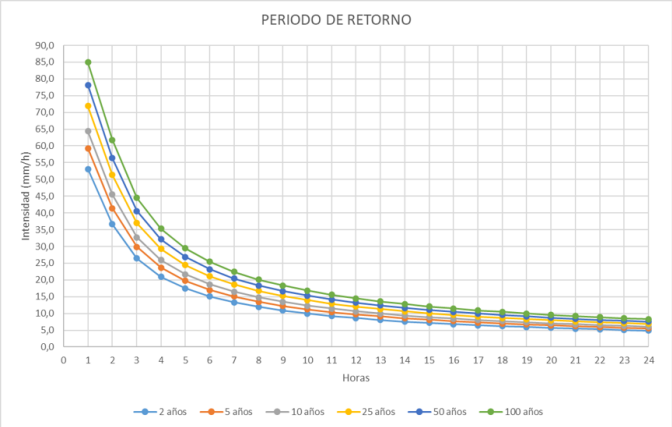


Figura 4 | Período de retorno de lluvia en la cuenca del río Puyo.

3.2.2. Determinación de zonas de riesgo

Los mapas de pendientes son herramientas clave para identificar áreas en riesgo de inundaciones. El siguiente mapa de pendientes reclasificado del MAGAP, permitió evaluar la inclinación en la cuenca del río Puyo. Además, esto permitió identificar que las zonas que presentan un mayor riesgo de inundaciones están próximas a las riberas del río en el cantón Puyo, así como en las áreas sur de los cantones Fátima, Pomona y Tarqui. Estas áreas presentan pendientes menores al 12%, lo que indica una topografía más plana que resulta en una capacidad de drenaje reducida y, por ende, una mayor vulnerabilidad ante crecidas del río **(Figura 5)**.

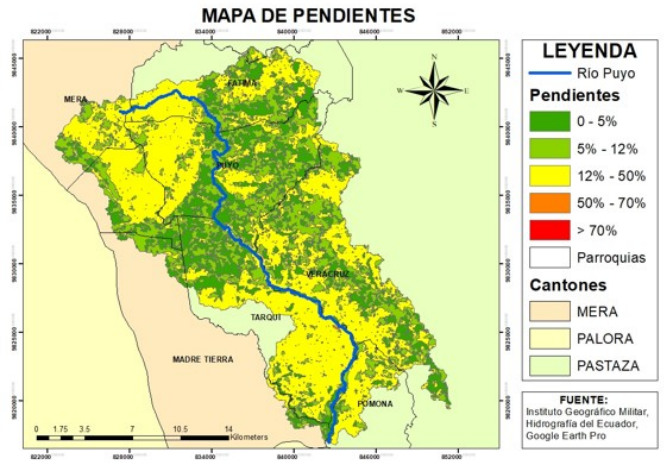


Figura 5 | Mapa de pendientes reclasificado según la clasificación del MAGAP

3.2.3. Modelo de inundaciones

La **Figura 6** ilustra la geometría del río Puyo, la cual fue obtenida a través de las herramientas Hec-GeoRAS. Esta representación detalla el curso principal del río, los límites de las riberas y la superficie de interpolación, proporcionando una visión integral de la morfología fluvial.

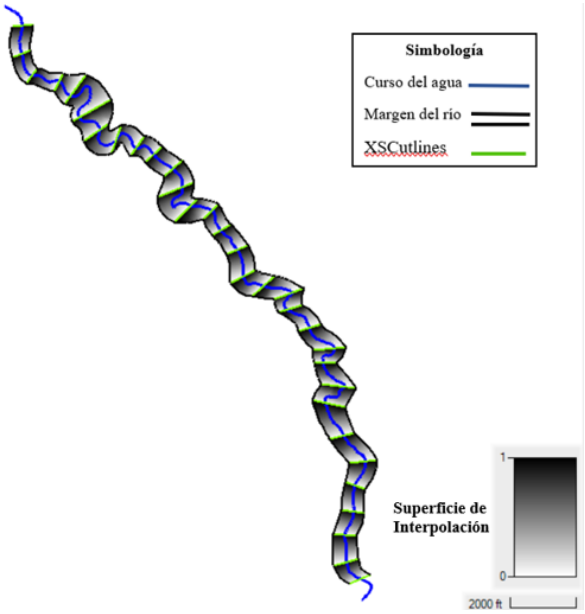


Figura 6 | Geometría del Hec-GeoRAS

La **Figura 7** ilustra el perfil de elevación del río, revelando que hay una elevación promedio del 2,7%. Estos datos conjuntamente con el coeficiente de Manning (0,04) son esenciales para el modelado de inundaciones, ya que proporciona una referencia clave para entender cómo las variaciones en la elevación pueden influir en el comportamiento del agua durante eventos de crecida.

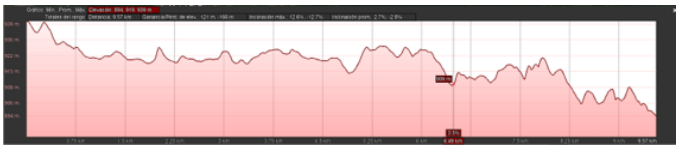


Figura 7 | Perfil de elevación

La siguiente figura muestra el polígono de inundación modelado en formato TIN, mediante el cual se determinó un área de inundación de 16,49 [km^2]. Este método de representación tridimensional es crucial para comprender la extensión y el impacto potencial de eventos de inundación, permitiendo así una planificación y respuesta más efectivas ante tales desastres naturales **(Figura 8)** El estudio de modelización hidrológica realizado en el tramo del Malecón del Puyo hasta el sector de la CONFENAIE ha identificado que las áreas con mayor riesgo de inundación se localizan en el Malecón del Puyo, en el sector de Sacha Wasi y en la CONFENIAE **(Figura 9)**. Este modelo de inundación está corroborado por el análisis del mapa de pendientes, que muestra una susceptibilidad a las inundaciones en las riberas del río Puyo, específicamente en lugares donde las riberas del río son bajas ocasionando desbordamientos. Es crucial que estos hallazgos se tomen en cuenta para la planificación urbana y la gestión de riesgos, con el fin de mitigar los impactos negativos de posibles eventos de inundación.

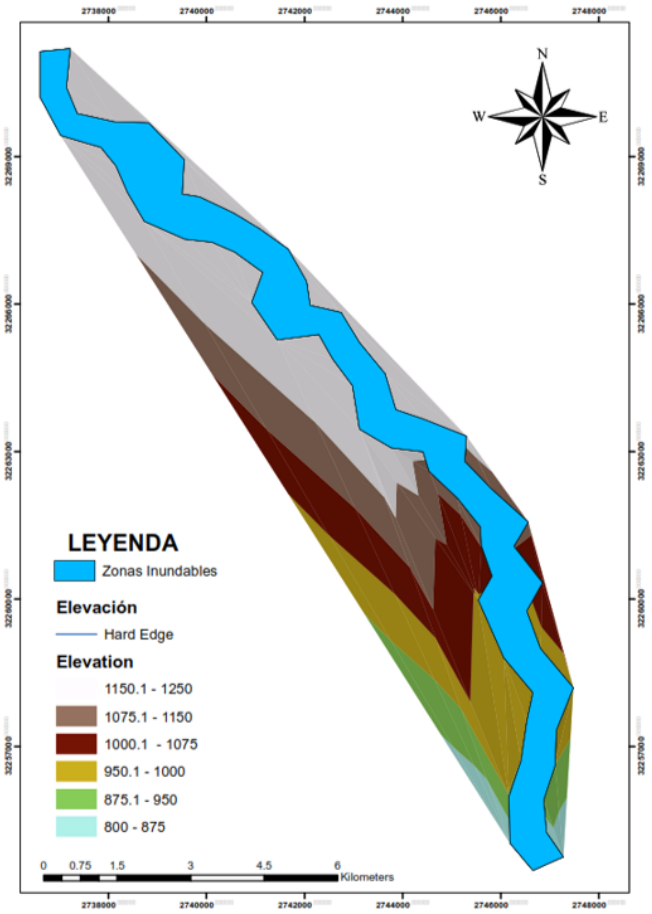


Figura 8 | Zona de inundación formato del río Puyo

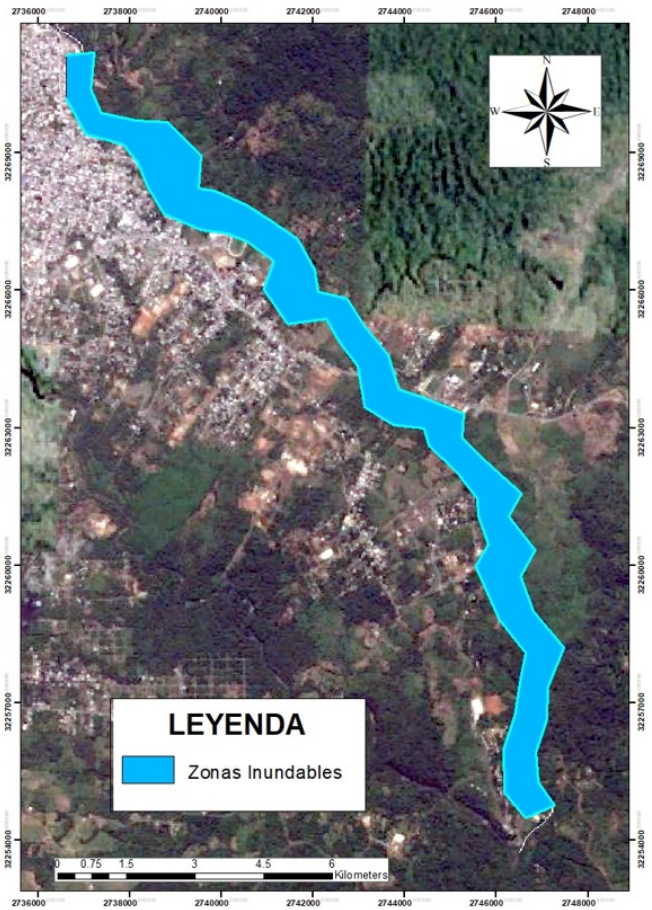


Figura 9 | Zona de inundación

3.3. Discusión

Los resultados obtenidos en la investigación de la cuenca del río Puyo proporcionan una comprensión detallada de su morfometría e hidrología, elementos cruciales para la gestión de recursos hídricos y la mitigación de riesgos de inundaciones. La cuenca, con un área de 375,50 km^2 y un perímetro de 137,760 km, presenta una forma que varía de oval-oblonga a rectangular-oblonga, lo que implica una alta compactación geométrica y una respuesta rápida a las precipitaciones. Este estudio se suma a la literatura existente que subraya la relevancia de examinar la morfometría fluvial para entender las dinámicas hidrológicas. Investigaciones previas en la cuenca del Amazonas indican que las cuencas más compactas son propensas a sufrir inundaciones de manera más acelerada, debido a su limitada capacidad de retención de agua y a una mayor velocidad de flujo superficial, lo cual resalta la importancia de considerar la forma de la cuenca en las estrategias de manejo de riesgos .

El índice de Gravelius de 1,99 implica una forma casi circular, lo que generalmente conduce a una rápida concentración de aguas pluviales y un mayor potencial de inundaciones repentinas. Por otro lado, un factor de forma de Horton elevado, como 12,77, sugiere una cuenca más alargada, lo que puede resultar en un drenaje menos eficiente y una distribución desigual del flujo de agua. La razón de circularidad de Miller de 0,25 refuerza esta observación, indicando una cuenca alargada que podría experimentar flujos más lentos y acumulación de sedimentos, disminuyendo su capacidad para manejar volúmenes de agua elevados. Según Anderson (2021), las cuencas más alargadas pueden experimentar flujos de agua más lentos y una mayor acumulación de sedimentos, lo que a su vez afecta la capacidad de la cuenca para manejar el exceso de agua. La investigación de Burgos y colaboradores (2019) en la región andina de Colombia apoya esta interpretación, mostrando que las cuencas alargadas son particularmente susceptibles a inundaciones debido a su rápida respuesta hidrológica. Es crucial integrar estos datos en la planificación y diseño de infraestructuras hidráulicas para mitigar los riesgos asociados con estas características geomorfológicas.

La densidad de drenaje de 0,77 y la longitud total de cauces de 287,80 km reflejan una red hidrográfica compleja, capaz de manejar flujos de agua significativos, pero también susceptible a inundaciones en áreas de baja pendiente. Las zonas identificadas con alto riesgo de inundación, como el malecón del Puyo y el sector de Sacha Wasi, requieren atención prioritaria en términos de planificación urbana y estrategias de mitigación. Además, Lalangui et al. 2020, en su investigación corroboran estos hallazgos y señalan la urgencia de implementar estrategias efectivas de mitigación en dichas localidades para prevenir posibles desastres naturales. Por lo cual es imperativo que las autoridades pertinentes consideren estos estudios para el desarrollo de un plan integral que no solo atienda la emergencia actual, sino que también promueva una infraestructura resiliente ante futuros eventos hidrológicos.

4. Conclusiones

La morfometría de la cuenca, reveló que la misma presenta un área de 375,50 km^2 y un perímetro de 137,760 km, con una forma que varía de oval-oblonga a rectangular-oblonga, indicada por un índice de Gravelius de 1,99 y un factor de forma de Horton de 12,771. Esta configuración sugiere una alta compactación geométrica, lo que implica una respuesta rápida a las precipitaciones y un aumento del riesgo de inundaciones. Además, la hidrografía de la cuenca muestra una densidad de drenaje de 0,77, lo que indica una red hidrográfica extensa y compleja con una longitud total de cauces de 287,80 km. El estudio detallado del tiempo de concentración es crucial para comprender la respuesta de la cuenca ante eventos pluviales. Dicha condición resalta la importancia crítica de implementar estrategias de mitigación y planes de gestión de riesgos bien estructurados y proactivos, que no solo aborden las consecuencias potenciales, sino que también fortalezcan la resiliencia de la cuenca ante futuros eventos hidrológicos adversos.

Los SIG son herramientas esenciales para la aplicación de modelos digitales avanzados, se ha identificado que las áreas de mayor riesgo de inundación se localizan en las proximidades de las riberas del río en el cantón Puyo, así como en las zonas sur de los cantones Fátima, Pomona y Tarqui. Estas regiones, caracterizadas por tener pendientes inferiores al 12%, presentan una topografía relativamente plana que las hace particularmente susceptibles a las inundaciones durante episodios de crecidas fluviales. La presente investigación destaca la imperiosa necesidad de implementar estrategias de mitigación y gestión de riesgos efectivas y adaptadas a las condiciones locales para salvaguardar estas áreas críticas. Además, se han delimitado zonas de alto riesgo como el malecón del Puyo y el sector de Sacha Wasi, enfatizando la urgencia de desarrollar e implementar medidas preventivas y planes de contingencia que respondan a estos desafíos específicos.

Contribuciones de los autores

Axel Roberto Freire Garcés: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Edwin Marcelo Ochoa Valle: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Rubén Darío Ledesma Acosta: Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editad

Todos los autores aporbaron la version enviada y editada.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

ANDERSON, Laura. 2021. Cuencas hidrográficas: tipos e importancia explicados. [En línea] 2021. https://eco360.info/medio-ambiente-y-conservacion/cuencas-hidrograficas-tipos-e-importancia-explicados/.

ARRIBASPLATA ZAMORA, Alexander. Comportamiento Geoestructural y Geohidrológico de la subcuenca Tioyacu–el Negro. Distrito Elías Soplin Vargas–Región San Martín. 2023.

BENEMERITO, Ríos, et al. Aportes para el análisis de ecosistemas fluviales: relación entre los patrones de vegetación y propiedades morfométricas en la cuenca del río Seco de la Ciénaga, precordillera de San Juan. 2023.

BURGOS, Bryan, CARTAYA, Scarlet and MERO, David. 2019. Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia Santa Ana de Vuelta Larga, provincia de Manabí, Ecuador. [Online] 2019. https://www.researchgate.net/publication/332211479_Analisis_de_la_vulnerabilidad_a_inundaciones_de_la_parroquia_Santa_Ana_de_Vuelta_Larga_provincia_de_Manabi_Ecuador.

CAICEDO TORO, Micheal David, et al. Estudio de características morfológicas de la cuenca “Cañitas” y su relación con el riesgo de inundaciones repentinas. Dilemas contemporáneos: educación, política y valores, 2021, vol. 8, no SPE2.

CAMINO, Mariana A., et al. Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Revista Universitaria de Geografía, 2018, vol. 27, no 1, p. 73-97.

CAMPOS-ARANDA, Daniel Francisco. Contraste de análisis de frecuencias entre las distribuciones beta-kappa y beta-Pareto con tres de aplicación generalizada. Tecnología y ciencias del agua, 2024, vol. 15, no 2, p. 398-433.

CHILITO RINCÓN, Edier Andrés. Definición de zonas de inundación mediante el uso del modelo de simulación hecras en un tramo de caño grande, barrio el Rubí–Villavicencio. 2018. Tesis Doctoral. Universidad Santo Tomás.

COLÍN-GARCÍA, Gerardo, et al. Modelación hidrológica con el modelo SWAT empleando diferentes distribuciones espaciales del tipo suelo en la cuenca del Río Mixteco. Terra Latinoamericana, 2023, vol. 41

DEL AGUILA, Sandra; MEJÍA, Abel. Caracterización morfométrica de dos cuencas altoandinas del Perú utilizando sistemas de información geográfica. Tecnología y ciencias del agua, 2021, vol. 12, no 2, p. 538-562.

DIPARDO, Bruno, et al. Caracterización morfométrica de la cuenca del arroyo Chapaleofú, sistema de Tandilia.

DUARTE ANGARITA, David Julián, et al. "Morfocuencas"Plugin para QGIS que permite obtener la delimitación y caracterización morfométrica de una cuenca hidrográfica. Tesis de Licenciatura.

EVELIO, José. 2020. Diagnóstico Ambiental Integrado CHS Puyo Ecuador-FINAL-111020. [En línea]

2020. https://www.researchgate.net/publication/359827739_Diagnostico_Ambiental_Integrado_CHS_Puyo_Ecuador-FINAL-111020.

Gobierno autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial del cantón Pastaza, 2019.

GOMES, Raul Carneiro; BIANCHI, Christina; DE OLIVEIRA, Vládia Pinto Vidal. Análise da multidimensionalidade dos conceitos de bacia hidrográfica. GEOgraphia, 2021, vol. 23, no 51.

GUTIÉRREZ, Rubén Darío Guevara, et al. Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México. Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, 2019, no 24, p. 9.

HERNÁNDEZ, Griselda Tomé; MANZO, Luis Alberto Villarreal. Caracterización morfométrica de la cuenca del río Huitzilac, Puebla, México. Boletín Geográfico, 2022, vol. 44, no 1, p. 41-58.

JARRÍN CAMPAÑA, Alex Javier. Análisis de modelos digitales de terreno para la obtención de un mapa de densidad de drenaje mediante softwares fotogramétricos y sistemas de información geográfica para imágenes obtenidas con UAV, resultados aplicados a estudios morfométricos en laderas. 2020. Tesis de Licenciatura. Quito, 2020.

LALANGUI, Luis and MÉNDEZ, Diana. 2020. onas de vulnerabilidad a inundación del Río Puyo. [Online] 2020. https://www.researchgate.net/publication/338989196_Zonas_de_vulnerabilidad_a_inundacion_del_Rio_Puyo.

MÁRQUEZ MERA, Pamela Selena. Evaluación del riesgo de inundación utilizando análisis hidrográfico en San Juan de Las Cucarachas, Manabí. 2023. Tesis de Licenciatura. Guayaquil: ULVR, 2023.

MARTÍNEZ VALDÉS, Yaset; VILLALEJO GARCÍA, Víctor Michel. Caudal ambiental: herramienta ecohidrológica en la gestión de los recursos hídricos. Ingeniería hidráulica y ambiental, 2020, vol. 41, no 1, p. 56-70.

MONREAL, Rogelio, et al. Metodología para la definición de unidades hidroestratigráficas: caso del acuífero del valle del río Yaqui, Sonora, México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 2011, vol. 63, no 1, p. 119-135.

ORTUÑO CANO, María de Los Ángeles; GENTILI, Jorge Osvaldo. Análisis morfométrico de la cuenca alta del arroyo Cura Malal Grande (Argentina) aplicado a la susceptibilidad de generar crecidas fluviales. 2023.

RACINES SILVA, Diego G. Caracterización de las Activas Socioeconómicas de la Microcuenca Media del Río Puyo y su Influencia Negativa en la Calidad del Agua. 2015. Tesis de Licenciatura.

RAMÍREZ-GRANADOS, Pablo, et al. Morfometría de la subcuenca hidrográfica del río Páez, Cartago, Costa Rica. Revista geográfica de américa central, 2021, no 67, p. 121-143.

RODRÍGUEZ MARTÍNEZ, Omar A. Evaluación de escenarios de intervención para la implementación de buenas prácticas de manejo en la cuenca del río Pacora, Panamá. 2019.

RUBIO, Tomás Ochoa. Hidráulica de ríos y procesos morfológicos. Ecoe ediciones, 2011.

SANTOS HERNÁNDEZ, Antonio Fidel. Áreas prioritarias para la conservación de selva alta perennifolia en México. 2021. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma Chapingo.

SENCIALES, José. 1998. El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico. [En línea] 1998. https://www.researchgate.net/publication/28296533_El_analisis_morfologico_de_las_cuencas_fluviales_aplicado_al_estudio_hidrografico.

VALLEJO-TAMAYO, C. La Vulnerabilidad física Frente a Inundaciones del río Puyo en el Sector La Isla. Cantón Pastaza. Provincia de Pastaza. Jurnal Kajian Pendidikan Ekonomi Dan Ilmu Ekonomi, 2019, vol. 2, no 1, p. 1-19.

VILLALVA, Darwin Javier Sucoshañay; HERNÁNDEZ, José Evelio Gutiérrez; RIVERO, Alberto Enrique García. Diagnóstico ambiental integrado de la cuenca del río Puyo, Ecuador. Revista geográfica venezolana, 2021, vol. 62, no 2, p. 348-366.