Abstract
Precise delimitation of hydrographic basins through geotechnologies constitutes a fundamental tool for water resource use planning. This study aimed to delimit the area of the Colorado River sub-basin, located in the Serranía del Turimiquire, southwest of Sucre State, Venezuela, using Geographic Information Systems (GIS). A 30 m spatial resolution SRTM Digital Elevation Model (DEM) was obtained from the USGS Earth Explorer platform and processed in QGIS 3.28 using the SAGA GIS plugin. The sub-basin delimitation was performed by automatically tracing watershed divides from the corrected DEM, complemented by Google Earth Pro as a cartographic visualization and verification tool. The results determined an area of 51.585 km² (5,158.5 ha), a perimeter of 34.68 km, a main channel length of 15.27 km, and elevations between 1,198.30 masl at the headwater and 237.84 masl at the closing point, with an altitudinal range of 960.46 m. The obtained morphometric parameters (mean basin slope of 0.3238 m/m, elongation ratio of 0.5308, and drainage density of 0.0366 km/km²) evidence a mountainous relief basin with potential for future hydrological studies. It is concluded that the application of GIS tools enables efficient preliminary delimitation and morphometric characterization studies, providing geometric and relief parameters essential for the hydrological characterization of the Colorado River sub-basin.
Keywords: hydrographic basin, sub-basin, geographic information system, digital elevation model, Serranía del Turimiquire.

Resumen
La delimitación precisa de cuencas hidrográficas mediante geotecnologías constituye una herramienta fundamental para la planificación del uso de recursos hídricos. El presente trabajo tuvo como objetivo delimitar el área de la subcuenca del río Colorado, ubicada en la Serranía del Turimiquire, suroeste del estado Sucre, Venezuela, empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se obtuvo el Modelo Digital de Elevación (DEM) SRTM de 30 m de resolución espacial de la plataforma USGS Earth Explorer y se procesó en QGIS 3.28 mediante el plugin SAGA GIS. La delimitación de la subcuenca se realizó trazando automáticamente las divisorias de aguas a partir del DEM corregido, complementando con Google Earth Pro como herramienta de visualización y verificación cartográfica. Los resultados determinaron un área de 51,585 km² (5.158,5 ha), un perímetro de 34,68 km, una longitud de cauce principal de 15,27 km y cotas entre 1.198,30 msnm en la cabecera y 237,84 msnm en el punto de cierre, con un desnivel altitudinal de 960,46 m. Los parámetros morfométricos obtenidos (pendiente media de la cuenca de 0,3238 m/m, relación de elongación de 0,5308 y densidad de drenaje de 0,0366 km/km²) evidencian una cuenca de relieve montañoso con potencialidad para futuros estudios hidrológicos. Se concluye que la aplicación de herramientas SIG permite realizar estudios preliminares de delimitación y caracterización morfométrica de manera eficiente, proporcionando parámetros geométricos y de relieve indispensables para la caracterización hidrológica de la subcuenca del río Colorado.
Palabras clave: cuenca hidrográfica, subcuenca, sistema de información geográfica, modelo digital de elevaciones, Serranía del Turimiquire.

Delimitación del área de la subcuenca del Río Colorado mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG)

(Delimitation of the Colorado River Sub-basin Area Using Geographic Information Systems (GIS))

Oscar Alvins

PNFA Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre “Clodosbaldo Russián”.

oskralvins@gmail.com

Recibido: 13/12/2025; Aceptado: 12/10/2026

INTRODUCCIÓN

El agua constituye un recurso indispensable para la vida y un elemento estratégico para el desarrollo sostenible de las sociedades. Su disponibilidad y variabilidad influyen directamente en los procesos ecológicos, económicos y sociales, por lo que el conocimiento de las unidades hidrográficas resulta fundamental para la gestión integrada de los recursos hídricos. Una cuenca hidrográfica puede definirse como una unidad geohidrológica natural en la que el agua superficial fluye por gravedad hacia un punto común de salida a través de una red de drenaje que desemboca en ríos, lagunas, embalses u otros cuerpos receptores (Datta et al., 2022).

Desde una perspectiva jerárquica, las cuencas hidrográficas se subdividen en unidades menores denominadas subcuencas, las cuales drenan sus escorrentías hacia un tributario o punto de salida específico de la red hidrográfica principal. Estas unidades constituyen elementos básicos de análisis para la planificación hidrológica y la gestión de los recursos naturales, debido a que permiten estudiar con mayor detalle las características fisiográficas, geomorfológicas e hidrológicas del territorio (Atoba et al., 2026; Martincu et al., 2023).

La hidrología, como disciplina científica que estudia la ocurrencia, circulación y distribución del agua en la Tierra, desempeña un papel fundamental en la evaluación de los procesos de infiltración, escorrentía, almacenamiento y transporte de sedimentos que ocurren dentro de una cuenca hidrográfica (Martincu et al., 2023). En consecuencia, el análisis de cuencas y subcuencas constituye una actividad esencial para la gestión sostenible de los recursos naturales y para la adecuada administración de las aguas superficiales y subterráneas (Ganie et al., 2024).

En las últimas décadas, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los Modelos Digitales de Elevación (MDE) y las técnicas de análisis espacial han transformado significativamente los estudios hidrológicos. Estas tecnologías permiten automatizar la delimitación de cuencas y subcuencas mediante algoritmos que determinan direcciones de flujo, acumulación de escorrentía, divisorias de aguas y redes de drenaje, proporcionando resultados más precisos y reproducibles que los métodos cartográficos tradicionales (Abbas, 2023; Datta et al., 2022; Mani et al., 2022; Memon et al., 2025). Actualmente, la delimitación hidrológica basada en geotecnologías constituye una metodología ampliamente utilizada en estudios de gestión de recursos hídricos, evaluación ambiental y planificación territorial (Atoba et al., 2026; Chan Ping et al., 2024; Mohamed et al., 2024; Singh et al., 2023).

La precisión de los resultados en la delimitación digital depende en gran medida de la resolución y calidad de los datos altimétricos empleados, ya que estos condicionan la representación de las pendientes, la red de drenaje y los límites de las áreas contribuyentes (Chan Ping et al., 2024; Datta et al., 2022). Asimismo, la disponibilidad de imágenes satelitales de alta resolución y los entornos SIG de código abierto facilitan el monitoreo continuo de las condiciones del territorio y la evaluación de los cambios en la cobertura y uso del suelo. El análisis espacial de estas variables permite comprender los procesos hidrológicos y ecológicos que ocurren dentro de una cuenca, aportando información esencial para la conservación de los recursos hídricos y la planificación del desarrollo territorial (Mishra y Pandey, 2023; Singh et al., 2023).

Las cuencas hidrográficas más importantes de la región oriental venezolana son la de Neverí, Manzanares, Guarapiche, Casanay, Carinicuao, golfo de Cariaco, Caribe norte, Bajos de Guaraúnos y del golfo de Paria; soportan una importante densidad poblacional, así como el desarrollo de

actividades industriales, comerciales y de navegación. Estas unidades hidrográficas constituyen fuentes fundamentales para el abastecimiento de agua potable, el desarrollo agrícola, industrial y turístico, además de albergar ecosistemas de alto valor ecológico y áreas protegidas de relevancia nacional. En ellas se encuentran los parques nacionales Península de Paria y Turuépano, así como las infraestructuras hidráulicas de los embalses Turimiquire, Clavellinos y El Guamo, diseñados para el abastecimiento de las necesidades de los centros urbanos regionales la protección y conservación de la diversidad biológica (Rodríguez-Olarte, 2020).

La cuenca del río Neverí, ubicada entre los estados Sucre y Anzoátegui (Figura 1), cuenta con una superficie de 4.271 km^2; se destaca por la presencia del macizo del Turimiquire (2.592 msnm), formación montañosa que es continuación del sistema montañoso de la cordillera del interior. El curso de agua primario es el río Neverí, con una longitud de 120 km y entre sus afluentes representativos por su margen derecha están los ríos Orégano y Colorado. (Rodríguez-Olarte, 2020). El comportamiento hidrológico de esta zona se encuentra condicionado por el macizo de Turimiquire, principal formación montañosa del nororiente venezolano, cuyas características topográficas controlan los procesos de drenaje superficial y generación de escorrentía (Rodríguez-Olarte, 2020).

En los últimos años, los problemas asociados a la disponibilidad de agua potable en los estados Sucre y Nueva Esparta, junto con las afectaciones ocasionadas por procesos de inestabilidad y derrumbes que han comprometido infraestructuras vinculadas al sistema de trasvase proveniente del sistema Turimiquire (EnOriente, 2026), han incrementado la necesidad de desarrollar estudios detallados sobre las unidades hidrográficas de la región. No obstante, los estudios hidrológicos regionales existentes se centran en la cuenca del río Neverí como unidad de análisis, sin desagregar la contribución morfométrica de sus subcuencas tributarias, lo cual constituye una brecha en la información cartográfica de línea base necesaria para la planificación territorial y la gestión del recurso hídrico.

Por consiguiente, el objetivo de la presente investigación es delimitar digitalmente la subcuenca del río Colorado mediante la aplicación de SIG, con el fin de caracterizar sus parámetros geométricos y de relieve, contribuyendo así a la generación de información básica para futuros estudios de aprovechamiento y gestión de los recursos hídricos de la región.

METODOLOGÍA

Tipo y enfoque de la investigación

El presente estudio corresponde a una investigación de tipo descriptiva y de enfoque aplicado, orientada a la delimitación espacial y caracterización morfométrica de la subcuenca del río Colorado mediante el empleo de SIG y teledetección. La investigación se sustentó en el procesamiento de datos altimétricos de acceso libre e información cartográfica secundaria con el propósito de generar una línea base geomorfológica que sirva de insumo para futuros estudios hidrológicos.

Área de estudio

La subcuenca del río Colorado, forma parte del sistema hídrico asociado a la cuenca del río Neverí, ubicada entre los estados Sucre y Anzoátegui en la región nororiental de Venezuela (Figura 1). El territorio corresponde a una zona de montaña con cobertura vegetal predominante de selva nublada, localizada dentro de los límites del Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) Macizo Montañoso Turimiquire, decretada como zona protectora por el Estado venezolano mediante el Decreto Nº105 del 26 de mayo de 1974 (Cova y Prieto, 2023).

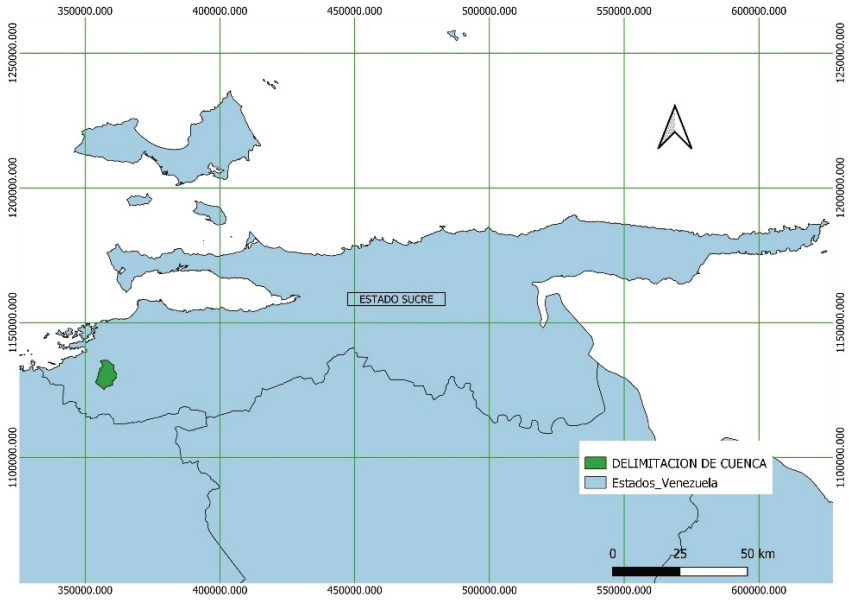


Figura 1. Mapa del área de estudio. *Nota:* Datos SRTM 30 m (NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) y U.S. Geological Survey, 2023). Procesado en QGIS 3.28, plugin SAGA GIS.

Fuentes de información y datos

Se recopiló información secundaria de los entes competentes en materia hidrometeorológica e hidrográfica, tales como el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo e HidroCaribe. Como fuente altimétrica primaria se empleó el Modelo Digital de Elevación (DEM) SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) de 30 m de resolución espacial, disponible en la plataforma USGS Earth Explorer (NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) y U.S. Geological Survey, 2023). Los modelos de elevación SRTM se utilizan ampliamente en SIG y son accesibles para descargar, reforzados por el soporte de diversas plataformas de software, lo que los convierte en una opción preferida para el análisis y cartografía de elevaciones tanto en contextos académicos como profesionales (Mohamed et al., 2024).

El sistema de coordenadas geográficas utilizado fue el WGS 84 (EPSG: 4326), proyectado posteriormente al sistema UTM Zona 20N (EPSG: 32620). Toda la información espacial fue procesada en el software QGIS 3.28.

Procedimiento de delimitación de la subcuenca

La delimitación de la subcuenca se realizó mediante un flujo de trabajo hidrológico automatizado en QGIS, siguiendo la metodología de determinación de cuencas vertientes a partir de modelos digitales de elevación (Abbas, 2023). El procedimiento se estructuró en las siguientes fases:

a. **Preparación del DEM.** El modelo SRTM fue importado a QGIS y recortado a la extensión del área de estudio. Se aplicó el algoritmo de relleno de depresiones (*Fill Sinks*) mediante las herramientas de SAGA GIS integradas en QGIS, con el fin de eliminar sumideros espurios que pudieran interrumpir la continuidad del flujo superficial.
b. **Cálculo de dirección y acumulación de flujo.** A partir del DEM corregido, se calculó la dirección de flujo (*Flow Direction*), el cual asigna a cada celda una de las ocho posibles direcciones de descenso hacia la celda adyacente de menor elevación. Posteriormente, se determinó la acumulación de flujo (*Flow Accumulation*), cuantificando el número de celdas ascendentes que drenan hacia cada celda individual.
c. **Definición de la red de drenaje y punto de exutorio.** Se estableció un umbral de área para la extracción de la red de drenaje, considerando la escala del relieve local. El punto de exutorio se fijó en la desembocadura del río Colorado (10°10'38" N, 64°18'11" O), definido como la intersección del cauce principal con el límite inferior del área de estudio.
d. **Delimitación automática de la subcuenca.** Utilizando la función de determinación de áreas de contribución (*Watershed Basins*), se delimitó automáticamente el polígono de la subcuenca

aguas arriba del punto de exutorio. El límite de la cuenca corresponde a la línea de divisoria de aguas, definida como el conjunto de celdas desde las cuales el flujo superficial converge hacia el punto de cierre.

e. **Verificación cartográfica.** La delimitación automática obtenida fue superpuesta e inspeccionada en Google Earth Pro (Figura 2) como herramienta de visualización y verificación cartográfica, contrastando las divisorias de aguas generadas por el DEM con la morfología real del terreno visible en imágenes de satélite de alta resolución. Las imágenes satelitales descargadas de Google Earth se utilizaron como referencia guía para la comparación debido a su precisión y alta resolución (Fathy et al., 2019). Los desajustes identificados fueron corregidos manualmente en QGIS mediante edición vectorial, priorizando la coincidencia con los accidentes geomorfológicos observables.

Análisis morfométrico

Se calcularon los parámetros morfométricos generales y de relieve mediante funciones de análisis de terreno de QGIS: área, perímetro, longitud del cauce principal, cota máxima y mínima, desnivel relativo, pendiente media, relación de elongación, relación de relieve y densidad de drenaje. Los resultados fueron compilados en la tabla 1.

Generación de productos cartográficos

La información espacial procesada (límites de la subcuenca, red de drenaje, curvas de nivel y perfil topográfico) fue exportada desde QGIS para su documentación cartográfica. Los planos fueron elaborados con la simbología cartográfica convencional, incluyendo: líneas de divisoria de aguas, cauce principal, curvas de nivel, ubicación de la cabecera y punto de cierre, y cuadrícula de coordenadas UTM. Todos los productos cartográficos incluyeron los elementos técnicos obligatorios: flecha norte, escala gráfica, coordenadas geográficas y leyenda.

RESULTADOS

La subcuenca del río Colorado (Figura 2) se localiza en la Serranía del Turimiquire, suroeste del estado Sucre, Venezuela, con coordenadas de referencia 10°10'38" N y 64°18'11" O (UTM WGS 84, Zona 20N: E = 357.266 m, N = 1.125.280 m) como se muestra en la Figura 2. La delimitación espacial a partir del DEM SRTM 30 m procesado en QGIS 3.28 determinó una superficie de 51,585 km² (5.158,5 ha), un perímetro de 34,68 km y una longitud de cauce principal de 15,27 km. La subcuenca del río colorado se presenta en la Figura 3.

.

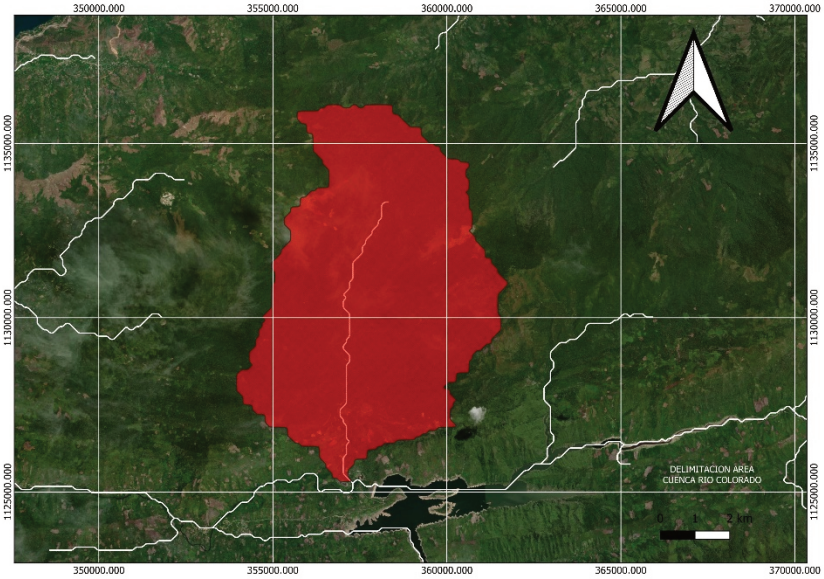


Figura 2. Ubicación geográfica de la subcuenca del río Colorado.

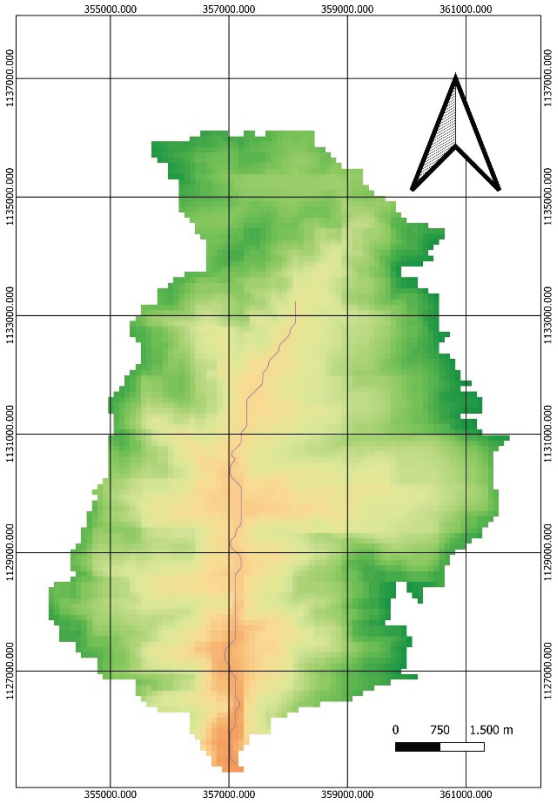


Figura 3. Subcuenca del río Colorado

El Modelo Digital de Elevación indicó que las cotas en la subcuenca oscilan entre 1.198,30 msnm en la cabecera principal y 237,84 msnm en el punto de cierre, con un desnivel relativo de 960,46 m. Las curvas de nivel generadas evidenciaron una distribución altitudinal con pendientes más pronunciadas en la zona alta de la subcuenca y pendientes moderadas a suaves en los sectores medio y bajo (Figura 4).

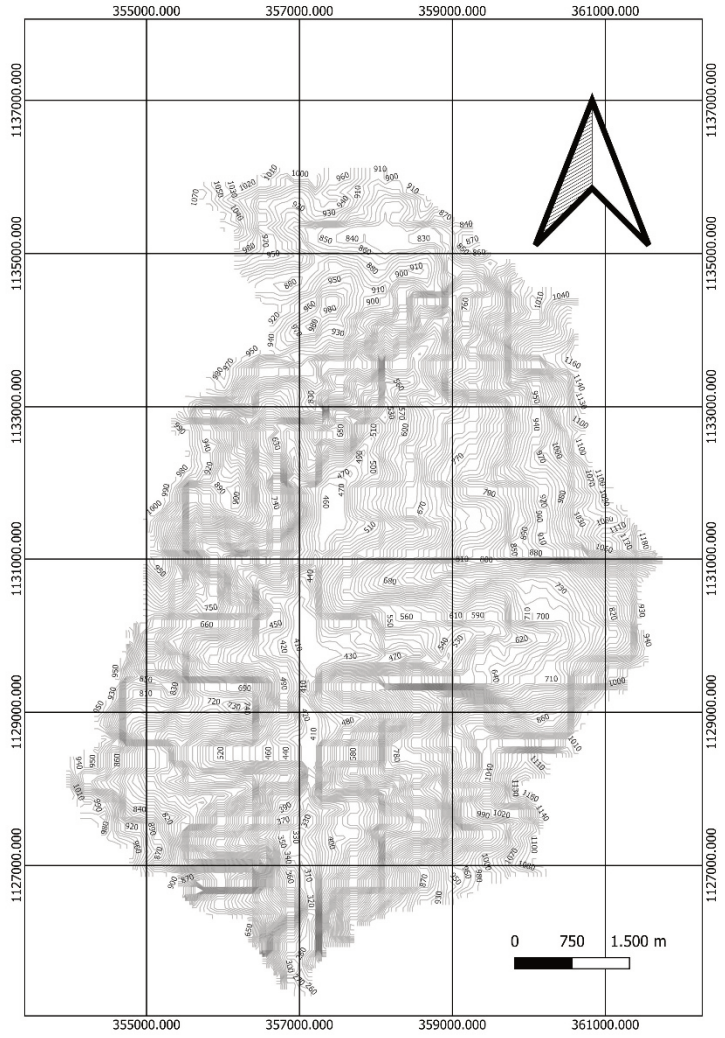


Figura 4. Curvas de nivel de la subcuenca del río Colorado

A partir de la delimitación espacial definitiva se determinaron los principales parámetros morfométricos de la subcuenca del río Colorado, los cuales se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros morfométricos de la subcuenca del río Colorado

Parámetro	**Valor**	**Unidad**
Área de la subcuenca	51,585	km²
Perímetro de la subcuenca	34,68	km
Longitud del cauce principal	15,27	km
Pendiente del cauce principal	0,0535	m/m
Longitud del cauce hasta el centroide	6,17	km
Pendiente del cauce hasta el centroide	0,0344	m/m
Longitud del cauce (10–85%)	11,45	km
Pendiente del cauce (10–85%)	0,0466	m/m
Pendiente de la cuenca	0,3238	m/m
Relieve de la cuenca	948	m
Relación de relieve	0,0621	—
Relación de elongación	0,5308	—
Densidad de drenaje	0,0366	km/km^2

DISCUSIÓN

Los parámetros morfométricos obtenidos para la subcuenca del río Colorado permiten caracterizarla como una unidad hidrográfica de relieve montañoso pronunciado, con un desnivel altitudinal de 960,46 m y una pendiente media de 0,3238 m/m. Estas características geomorfológicas condicionan directamente su comportamiento hidrológico, ya que la pendiente del cauce principal (0,0535 m/m) y la del tramo 10-85 % (0,0466 m/m) favorecen velocidades de flujo elevadas y tiempos de concentración relativamente cortos. Nam et al. (2024) demostraron que el tiempo de concentración presenta una correlación negativa significativa con la pendiente del cauce en cuencas forestales montañosas, mientras que Duque et al. (2019) reportaron respuestas hidrológicas rápidas en la microcuenca del río Chaquilcay, caracterizada por pendientes cercanas al 8 %. En este sentido, los resultados obtenidos sugieren que la subcuenca del río Colorado posee una alta capacidad de generación de escorrentía superficial y una respuesta hidrológica acelerada ante eventos de precipitación intensa.

La relación de relieve obtenida (0,0621) evidencia una cuenca geomorfológicamente joven y con elevada energía de relieve, que potencia procesos erosivos y el transporte de sedimentos hacia el cauce principal. Este resultado coincide con lo señalado por Ganie et al. (2024), quienes encontraron que valores superiores a 0,05 se asocian con una mayor susceptibilidad a la erosión y una respuesta

hidrológica más rápida; hallazgo que concuerda con la configuración morfométrica de la subcuenca objeto de estudio. Desde el punto de vista de la gestión de recursos hídricos, esta característica sugiere la necesidad de considerar medidas de control de sedimentos en futuras obras de captación o almacenamiento.

Por otra parte, la relación de elongación (0,5308) indica una forma ovalada-alargada. Este valor es comparable con los reportados por Mani et al. (2022) para la cuenca del río Suswa (0,46) y por Krupavathi et al. (2024) para la cuenca del río Mogamureru (0,55); donde concluyeron que este tipo de configuración geométrica favorece hidrogramas con picos menos pronunciados y una descarga más distribuida en el tiempo. La subcuenca del río Colorado presenta una condición intermedia entre ambos casos, por lo que se espera cierta atenuación de los caudales máximos; sin embargo, este efecto puede verse parcialmente reducido por las elevadas pendientes presentes en la cuenca**.**

La densidad de drenaje calculada (0,0366 km/km²) resulta particularmente baja, incluso inferior a los valores típicos reportados para cuencas tropicales bien drenadas. Mani et al. (2022), por ejemplo, reportaron una densidad de 2,84 km/km² para la cuenca del río Suswa, valor que evidencia una red de drenaje bien desarrollada. En contraste, la baja densidad de la subcuenca del río Colorado sugiere una red hidrográfica poco ramificada, concentrada en cauces principales con escasos tributarios de primer orden. Esta condición puede atribuirse a la combinación de substrato de baja permeabilidad y alta pendiente lateral, donde el agua se concentra rápidamente en el cauce principal sin desarrollar una red dendrítica extensa. En este sentido, Atoba et al. (2026) señalaron que los DEM de resolución media pueden subestimar la presencia de cauces menores en áreas boscosas densas, situación que podría estar ocurriendo en sectores de la Serranía del Turimiquire.

Desde una perspectiva metodológica, la elección del DEM SRTM de 30 m para la delimitación de la subcuenca se sustenta en evaluaciones de precisión recientes. Memon et al. (2025), en su evaluación estadística de DEM de código abierto para la cuenca del río Panam en India, determinaron que el SRTM 30 m presentó el menor error cuadrático medio (RMSE: 24,45 m) y el mayor coeficiente de correlación (R^2 = 0,929) respecto a datos topográficos de referencia. De manera complementaria, Fathy et al. (2019) reportaron previamente una precisión del 95% en la delimitación de cuencas al comparar el SRTM con imágenes satelitales de alta resolución. Estos resultados respaldan la confiabilidad del modelo empleado para la delimitación y caracterización preliminar de la subcuenca del río Colorado.

Sin embargo, es ampliamente reconocido que, en áreas tropicales con cobertura boscosa densa, el SRTM puede registrar la elevación del dosel vegetal en lugar de la superficie real del terreno, generando posibles sesgos en la estimación de cotas, pendientes y redes de drenaje (Atoba et al., 2026). Por ello, aunque los resultados obtenidos constituyen una base técnica confiable para la

caracterización morfométrica de la subcuenca, estos deben interpretarse como una aproximación inicial susceptible de ser refinada mediante validaciones de campo o mediante la utilización de modelos altimétricos de mayor resolución, como ALOS PALSAR, NASADEM o LiDAR, especialmente cuando se requieran aplicaciones de diseño hidráulico o estudios hidrológicos de detalle.

Asimismo, la ubicación de la subcuenca dentro del Macizo del Turimiquire, declarado Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), confiere una relevancia ambiental particular al área de estudio. Esta condición de zona protectora impone restricciones técnico-ambientales de carácter obligatorio para cualquier proyecto de infraestructura hidráulica, incluyendo obras de captación, embalses o aducciones. En consecuencia, los resultados de la presente delimitación y caracterización morfométrica deben entenderse como un insumo preliminar de planificación, sujeto a la obtención de los permisos ambientales correspondientes y a la compatibilidad con el Plan de Ordenamiento y Regulación del ABRAE.

Finalmente, debe señalarse que la ausencia de registros hidrometeorológicos específicos para la subcuenca del río Colorado limita la validación de los parámetros obtenidos mediante modelos hidrológicos tradicionales. No obstante, la delimitación espacial y la caracterización morfométrica desarrolladas constituyen una línea base fundamental para futuras investigaciones.

En conjunto, los parámetros morfométricos de la subcuenca del río Colorado indican una unidad hidrográfica con alta capacidad de respuesta ante eventos de precipitación extrema, riesgo potencial de crecidas rápidas y un régimen de base que depende críticamente de la recarga subterránea en el tramo inferior de pendiente más suave. La forma alargada de la subcuenca puede atenuar los picos de caudal, pero la baja densidad de drenaje y las pendientes elevadas implican una concentración rápida del flujo que debe considerarse en el diseño de futuras estructuras de almacenamiento y regulación.

Por otra parte, es importante señalar que la presente investigación se limita a la delimitación espacial y caracterización morfométrica de la subcuenca, por lo que los parámetros obtenidos constituyen una base técnica fundamental para la comprensión de su funcionamiento hidrogeomorfológico, pero no son suficientes por sí solos para el diseño de obras de captación de agua cruda o de infraestructura hidráulica de mayor complejidad. La estimación confiable de caudales de diseño, la modelación hidrológica de eventos extremos y la evaluación integral del potencial hídrico requieren información complementaria, incluyendo registros pluviométricos e hidrométricos de largo plazo, análisis de frecuencia de precipitaciones, estudios de cobertura y uso del suelo, caracterización de la calidad del agua y evaluaciones de impacto ambiental.

En este contexto, los resultados obtenidos deben interpretarse como una etapa inicial dentro de un estudio hidrológico integral de la subcuenca del río Colorado, proporcionando la delimitación cartográfica y los parámetros morfométricos de referencia sobre los cuales podrán desarrollarse futuras investigaciones orientadas a la modelación hidrológica, la estimación de disponibilidad hídrica y el diseño técnicamente sustentado de obras para el aprovechamiento y gestión de los recursos hídricos de la zona

CONCLUSIONES

La delimitación espacial de la subcuenca del río Colorado mediante el procesamiento del DEM SRTM de 30 m en el software QGIS 3.28, complementado con verificación cartográfica en Google Earth Pro, permitió obtener un polígono de cuenca bien definido por divisorias de aguas naturales, con una extensión de 51,585 km² (5.158,5 ha), un perímetro de 34,68 km y una longitud de cauce principal de 15,27 km, constituyendo una línea base geométrica confiable para estudios hidrológicos posteriores.

Los parámetros morfométricos obtenidos caracterizan a la subcuenca como un sistema hidrográfico de relieve montañoso pronunciado, con desnivel altitudinal de 960,46 m (cotas entre 1.198,30 msnm y 237,84 msnm), pendiente media de 0,3238 m/m y relación de elongación de 0,5308, lo cual indica una forma alargada que favorece una respuesta hidrológica gradual ante eventos de precipitación, aunque la elevada pendiente del cauce principal (0,0535 m/m) sugiere tiempos de concentración cortos en la zona alta.

La baja densidad de drenaje calculada (0,0366 km/km²) constituye una limitación metodológica asociada a la resolución espacial del DEM SRTM de 30 m en zonas de selva densa, por lo que se recomienda el uso de modelos altimétricos de mayor resolución (ALOS PALSAR, NASADEM o LiDAR) para futuros estudios que requieran una caracterización más detallada de la red de drenaje de primer orden.

La ubicación de la subcuenca dentro del Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) "Macizo del Turimiquire" impone restricciones técnico-ambientales y normativas obligatorias que deben considerarse en cualquier etapa posterior de factibilidad de obras de captación, por lo que los resultados de la presente investigación deben integrarse al marco de planificación territorial y de gestión del ABRAE.

La metodología empleada demuestra que el uso de Sistemas de Información Geográfica de código abierto (QGIS/SAGA GIS) constituye una alternativa reproducible y accesible para la generación de información cartográfica de línea base en cuencas no aforadas del oriente venezolano,

aunque su aplicación debe complementarse necesariamente con registros pluviométricos, análisis de caudal y estudios de impacto ambiental para sustentar la proyección de infraestructura hidráulica.

BIBLIOGRAFIA

Abbas, A. S. (2023). Watershed Delineation from DEM by Model Builder in ArcGIS. *Civil Engineering Journal*, *9*(11), 2796-2805. https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-11-011

Atoba, A., Takem, G. E., Nguemhe, S. C., Nnomo, B. N., Adjia, G. M., Ngah, M. N., Socpa, J. G. M., Ngoupayou, J. R. N., y Takounjou, A. L. F. (2026). Erosion susceptibility assessment through morphometric analysis and sub-watershed prioritization in the nyong watershed, Southern Cameroon. *Environmental Earth Sciences*, *85*(2), 60. https://doi.org/10.1007/s12665-025-12715-1

Chan Ping, S. W., Abdul Maulud, K. N., Syed Abdul Rahman, S. A. F., Anak Kemarau, R., Hassan, M. I., y Mohd, F. A. (2024). Optimizing Hydrological Research: Comparative Analysis of DEMs for Enhanced Catchment Area Delineation. *Jurnal Kejuruteraan*, *36*(5), 1805-1812. https://doi.org/10.17576/jkukm-2024-36(5)-02

Cova, M., y Prieto, A. (2023). Uso local de la fauna silvestre en dos comunidades del Macizo Montañoso del Turimiquire, estado Sucre, Venezuela. *Ciencia en Revolución*, *9*(25), 283-304.

Datta, S., Karmakar, S., Mezbahuddin, S., Hossain, M. M., Chaudhary, B. S., Hoque, Md. E., Abdullah Al Mamun, M. M., y Baul, T. K. (2022). The limits of watershed delineation: Implications of different DEMs, DEM resolutions, and area threshold values. *Hydrology Research*, *53*(8), 1047-1062. https://doi.org/10.2166/nh.2022.126

Duque, P., Patiño, D., y López, X. (2019). Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical. *Información tecnológica*, *30*(6), 351-362. https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600351

EnOriente. (2026, marzo 10). *Declaran emergencia hídrica en Cumaná tras falla en el sistema del Turimiquire*. EnOriente. https://en-oriente.com/2026/03/10/declaran-emergencia-hidrica-en-cumana-tras-falla-en-el-sistema-del-turimiquire/

Fathy, I., Abd-Elhamid, H., Zelenakova, M., y Kaposztasova, D. (2019). Effect of Topographic Data Accuracy on Watershed Management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(21), 4245. https://doi.org/10.3390/ijerph16214245

Ganie, P., Posti, R., Garima, Kunal, K., Pandey, N., y Kumar, P. (2024). Morphometric analysis and hydrological implications of the Himalayan River Basin, Goriganga, India, using Remote Sensing and GIS techniques. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, *12*(4), 360-386. https://doi.org/10.26599/JGSE.2024.9280028

Krupavathi, C., Gowd, S. S., Rajasekhar, M., y Ravikumar, P. (2024). Morphometric analysis of Mogamureru river basin at the YSR Kadapa District, Andhra Pradesh, India using GIS and remote sensing. *Geomatica*, *76*(1), 100005. https://doi.org/10.1016/j.geomat.2024.100005

Mani, A., Kumari, M., y Badola, R. (2022). Morphometric Analysis of Suswa River Basin Using Geospatial Techniques. *Engineering Proceedings*, *27*(1). https://doi.org/10.3390/ecsa-9-13225

Martincu, I., Zaborilă, A., y Giurma-Handley. (2023). Watershed Delineation in Flat Urban Areas Using GIS Techniques. *Bul. Inst. Polit. Iaşi*, *69*(73), 117-125. https://doi.org/10.5281/ZENODO.8162981

Memon, A., Shah, N., Thakkar, D., y Patel, Y. (2025). Statistical evaluation of open source DEMs for accurate watershed delineation in sustainable river basin management. *Discover Geoscience*, *3*(151). https://doi.org/10.1007/s44288-025-00276-6

Mishra, A. K., y Pandey, D. R. J. (2023). Remote sensing and GIS technical approach in watershed shed delineation. *International Journal of Applied Research*, *9*(12), 37-45.

Mohamed, A. H., Keskes, M. I., y Nita, M. D. (2024). Analyzing the Accuracy of Satellite-Derived DEMs Using High-Resolution Terrestrial LiDAR. *Land*, *13*(12), 2171. https://doi.org/10.3390/land13122171

Nam, S., Lim, H., Choi, B., Li, Q., Moon, H., y Choi, H. T. (2024). Characteristics and Estimation of the Time of Concentration for Small Forested Catchments in Steep Mountainous Terrain. *Forests*, *15*(1), 186. https://doi.org/10.3390/f15010186

NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) y U.S. Geological Survey. (2023). *SRTM 1 Arc-Second Global* (Versión 3.0) [Dataset]. Digital. https://earthexplorer.usgs.gov

Rodríguez-Olarte, D. (2020). *Ríos en riesgo de Venezuela: Volumen 3* (Primera edición). Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado.

Singh, M. C., Satpute, S., y Prasad, V. (2023). Remote sensing and GIS-based watershed prioritization for land and water conservation planning and management. *Water Science and Technology*, *88*(1), 233-265. https://doi.org/10.2166/wst.2023.207