

Caracterización y modelación hidrológica de la cuenca Mungarrá a partir de sistemas de información geográfico

Characterization and hydrological modeling of the Mungarrá basin using geographical information systems

Jovanny Mosquera-Pino¹ , Carlos Andrés Capachero Martínez²

Resumen

El Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP) identificó la necesidad de realizar una caracterización morfológica de la cuenca Mungarrá, ubicada en el municipio de Tadó, en el departamento del Chocó, Colombia. Para esto, se aplicó una metodología ampliamente conocida para la generación automatizada y asistida de áreas y redes de drenaje, con un nivel de detalle superior al establecido en la cartografía oficial del país. Se emplearon modelos digitales de elevación y técnicas Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el entorno de Environmental Systems Research Institute (ESRI), utilizando diferentes umbrales y técnicas de ajuste. Como resultado, se identificaron 25 áreas de drenaje que suman 7.120,99 Has, presentando un promedio de extensión de 284 Has. El perímetro de la cuenca es de 10 km en promedio, con un índice de compacidad de 1,7. Esto representa áreas de drenaje de oval oblonga a rectangular oblonga, con pendiente media de 67% y un gradiente muy pronunciado. Estos resultados están correlacionados con las tasas de infiltración, la velocidad de escurrimiento, la humedad del suelo y la descarga de los acuíferos. Mungarrá tiene una elevación media de 383 msnm, con una altura mínima y máxima de 64 y 255 msnm, respectivamente. Además, la densidad de drenaje se categoriza como alta (1,3), y 76% de las subcuencas identificadas se encuentran en esta clasificación. Estos datos ofrecen información importante para futuras investigaciones de modelado de la dinámica espacio temporal en la cuenca. Este estudio forma parte del proyecto “Caracterización hidrológica y socio-productiva de las cuencas Mungarrá en el municipio de Tadó y Opogodó en Condoto”, desarrollado por el IIAP en el marco del Plan Institucional Cuatrianual de Investigación (PICIA), 2016-2019.

Palabras clave: Cuenca, Hidrología, Modelación, Morfometría, Mungarrá.

- ¹ Investigador Asociado II, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP), Quibdó, Chocó, Colombia.
- ² Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Bogotá, DC, Colombia.

Autor correspondencia:
jmosquera@iiap.org.co

Recepción: Agosto 6, 2019
Aprobación: Noviembre 27, 2019

Editora Asociada: Vargas-Porras L



Abstract

The IIAP identified the need to carry out a morphometric characterization of the Mungarrá watershed located in the municipality of Tadó, in the department of Chocó, Colombia. To achieve this, a widely known methodology was applied for the automated and assisted generation of drainage areas and networks, with a level of detail superior to that established in the official cartography of the country. Digital elevation models and GIS techniques were used in the ESRI environment, using different thresholds and adjustment techniques. As a result, 25 drainage areas were identified, totaling 7,120.99 hectares, and presenting an average extension of 284 hectares. The perimeter of the watershed is on average 10 km, with a compactness index of 1.7. This represents drainage areas from oblong oval to oblong rectangular, with a mean slope of 67% and a very pronounced gradient. These results are correlated with infiltration rates, runoff velocity, soil moisture, and aquifer discharge. Mungarrá has an average elevation of 383 meters above sea level, with a minimum and maximum height of 64 and 255 meters above sea level, respectively. In addition, the drainage density is categorized as high (1.3), and 76% of the identified sub-basins are in this classification. These data provide important information for future studies of the spatiotemporal dynamics modeling in the watershed. This study is part of the project “Hydrological and Socio-productive Characterization of the Mungarrá watersheds in the municipalities of Tadó and Opogodó in Condoto”, developed by the IIAP under the Institutional Quadrennial Research Plan (PICIA), 2016-2019.

Keywords: Basin, Hydrology, Modeling, Mungarrá, Morphometry.

Introducción

Aumassane *et al.* (2018, p. 15) expresa que la caracterización morfométrica de una cuenca es, por lo general, la base de investigaciones para generar una idea global sobre el funcionamiento del sistema ambiental (Felicísimo 1994, Wise 2000, Selvi y Bildirici 2008, Sharma *et al.* 2009), teniendo en cuenta las áreas de interfase agua-aire y agua-sedimento (Montoya Moreno y Montoya Moreno 2009), porque la configuración del relieve constituye un factor de control clave para varios procesos naturales. El análisis de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica se realiza a través de parámetros de forma, relieve y red de drenaje e índices. Estos parámetros son indicadores destinados a determinar la influencia de la forma de la cuenca en el movimiento y captación del agua de lluvia (Cruz Romero *et al.* 2015).

Por otra parte, el análisis morfométrico es una medición cuantitativa, basada en el análisis matemático de las características físicas de una cuenca hidrográfica. Los estudios morfométricos constituyen el inicio del análisis de las características hidrológicas de una cuenca (Altin y Altin 2011) y también tienen aplicación en la conservación de suelos y aguas (Asfaw y Workineh 2019), la geomorfología tectónica (Bahrami *et al.* 2020) y la composición y diversidad de la vegetación (Al-Rowaily *et al.* 2012).

En la actualidad existe una creciente demanda por el recurso hídrico en contextos urbanos y rurales a nivel global. El desarrollo económico amenaza constantemente la conservación de los recursos naturales, provocando su deterioro, esencialmente el agua, lo que pone en riesgo a las poblaciones que de él dependen. El agua es un recurso vital que se encuentra bajo competencia entre usuarios, por lo que es importante

mejorar el conocimiento de la cantidad y distribución del agua en microcuencas para planificar y hacer uso sostenible del mismo. La mayor parte del agua que se utiliza es captada y distribuida por cuencas hidrográficas, siendo una cuenca hidrográfica un área topográficamente delimitada y delineada con un sistema de ríos o tributarios, a través de los cuales todo el escurrimiento generado en la cuenca es drenado en una misma salida, en el punto más bajo (Huezo 2011).

Además de lo anterior, se consideran como una unidad geográfica que por su sensibilidad ambiental requiere de manejo especial donde adquiere su identidad y estructura funcional a través del análisis del ciclo hidrológico y el estudio de su funcionamiento morfométricos que constituye una tarea a enfrentar con la colaboración de las diversas disciplinas (Proaño Cadena 2009).

Recientemente, frente a la problemática ambiental que padece la cuenca del río Mungarrá, acrecentada enorme y principalmente a causa de la minería mecanizada con retroexcavadora, se viene considerando la necesidad de buscar soluciones que queden enmarcadas en las iniciativas (proyectos y acciones estratégicas) a formular e implementarse como parte del componente ambiental, teniendo en cuenta, entre muchos otros asuntos importantes, que el acueducto de la cabecera municipal de Tadó se surte de esta fuente de agua.

El objetivo del presente trabajo consiste en analizar la morfometría de la cuenca Mungarrá en el municipio de Tadó, con el fin de comprender y predecir el comportamiento hidrodinámico de ella, y que podría constituir un aporte

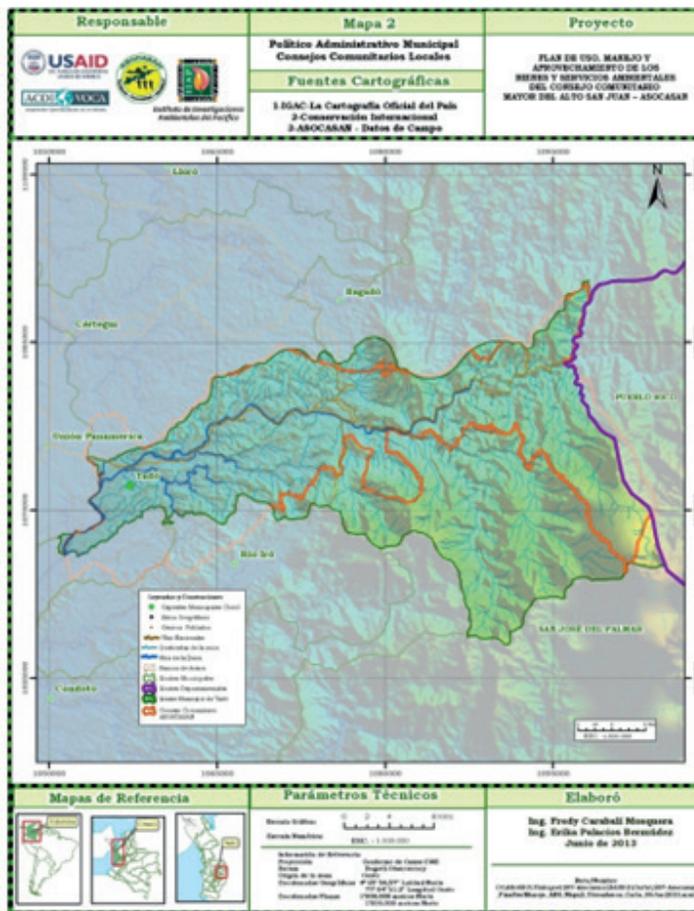


Figura 1. Límites localización geográfica del municipio de Tadó.

para la planificación ambiental y la adecuada gestión del recurso hídrico superficial.

Materiales y método

Área de estudio. De acuerdo con la Alcaldía Municipal de Tadó (2016), Tadó está ubicado en el sur del departamento del Chocó, siendo una de las puertas de entrada desde el interior del país hacia el Chocó; su localización es una red geoespacial que articula las cuencas del río Atrato, Baudó, San Juan, Alto Andágueda y el mar Pacífico; limita por el oriente con el departamento de Risaralda, por el occidente con el municipio de Unión Panamericana, por el norte con los municipios de Cértogui y Bagadó, y por el sur con el municipio de Río Iró (Figura 1).

La cabecera municipal se encuentra a 66 km del mu-

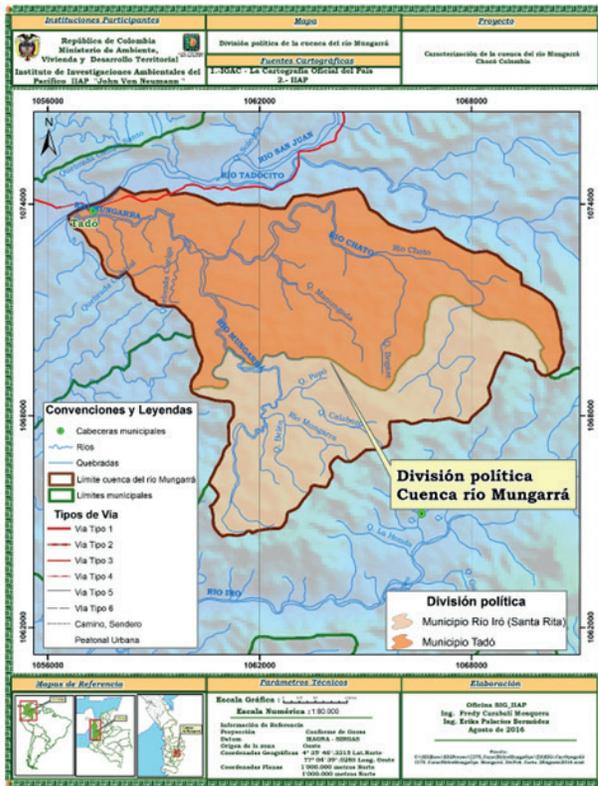


Figura 2. Geoposicionamiento de la cuenca del río Mungarrá en el municipio de Tadó.

municipio de Quibdó, capital del departamento del Chocó y a 549 km de Bogotá; su cabecera municipal está ubicada a los 05° 15' 52,9" N y a 076° 33' 37,7" W, a 90 msnm. En relación con la superficie territorial, esta es de 878 km² con una temperatura promedio de 28°C, las lluvias son abundantes y alcanzan un promedio anual entre los 6.800 y 7.600 mm; se presenta la mayor cantidad de lluvias durante los meses de abril-junio y septiembre-noviembre.

En relación con la cuenca hidrográfica del río Mungarrá, esta comprende las aguas superficiales y subterráneas que vierten a su cauce desde sus afluentes naturales, mediante un caudal continuo o intermitente, y cuyos principales tributarios son: río Chato con las quebradas Marcos Días, Infiernito, Mandiga, Agualegia, Rota, Puerta el Golpe, La Rosina, Puequera, Aguacate, El Jorge, Cañadusal, Micalea, Saduga, Mercedes, Nica, El Bugio y El Tarro dentro del Consejo Comunitario

(CC) Campo Alegre, además del CC de Alto Chato y Manungará. En el río Mungarrá dentro del CC de Betania las quebradas Quintero, La Chorrera, Aguas Claras, Aguaclara, Pepo, El Tranco, La Brea, Salaito, Morenito, Calabozo, Sabaletica, Charco viejo, Belén, Belencito y Juan Calí; y dentro del CC Chacuante las quebradas: Las Pavas, Brazos, San Pedro, La Chorrera, Chacuante, Bajo Hondo, Santa Rosa, Limpia, Calabozo, Cuelga y Peñas Blancas. Además de las de Santa Catalina, Campo Santo, frente al casco urbano del municipio de Tadó.

En la Figura 2 se detallan los límites político-administrativos de la cuenca del río Mungarrá: por el norte con los CC La Esperanza y El Tapón (cuenca del río Tadocito), por el sur con cabecera municipal de Tadó, por el este con el municipio de Santa Rita de Iró (cuenca del río Iró) y por el oeste con el CC de El Tapón (cuenca del río Tadocito), la cuenca del río San Juan y la cabecera municipal de Tadó.

Los límites político-administrativos de la cuenca del río Mungarrá son: por el norte con los CC La Esperanza y El Tapón (cuenca del río Tadocito), por el sur con cabecera municipal de Tadó, por el este con el municipio de Santa Rita de Iró (cuenca del río Iró) y por el Oeste con el CC de El Tapón (cuenca del río Tadocito), la cuenca del río San Juan y la cabecera municipal de Tadó.

De acuerdo con la zonificación de la reserva forestal del Pacífico, la cuenca del río Mungarrá en su parte alta, se categoriza como zona de preservación abarcando los ríos Chato, quebrada Bogare y la quebrada Popó; la cuenca en su parte media, se concentra la zona de uso múltiple integrada por directos río Chato, río Manungará, quebradas Cuelga y Carrizal; la zona de desarrollo urbano la compone la cabecera municipal de Tadó, siendo esta la zona de confluencia entre el río Mungarrá y el río San Juan (Figura 3).

Metodología. Inicialmente se hizo una delimitación preliminar a partir de los drenajes de la red 1:100.000 del IGAC para identificar la extensión

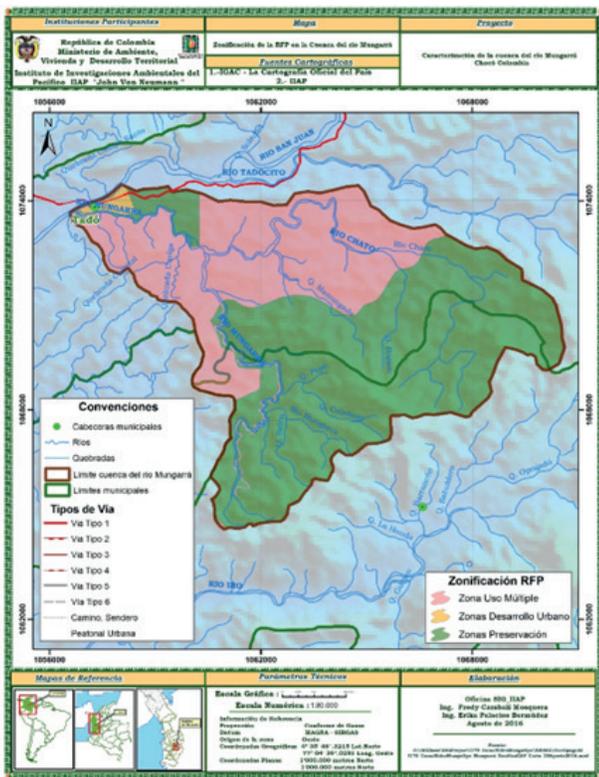


Figura 3. Zonificación ambiental de la cuenca del río Mungarrá.

del análisis. Luego se corrieron los algoritmos de ArcSwat y ArcHydro con el propósito de identificar el mejor adaptado a las condiciones del terreno. Ambos procesos resultaron ser adecuados para la representación de la red de drenaje y las divisorias de agua, sin embargo, se optó por emplear el Algoritmo D8 por las condiciones topográficas y el predominio de gradientes de terreno que facilitan la aplicación de esta metodología.

Aunque se observan buenos resultados en la representación de las redes modeladas en contraste con las oficiales, se procedió con el ajuste o reacondicionamiento del modelo, lo que implicó forzar que los gradientes sean mucho más pronunciados en la red de drenajes dobles, garantizando de esta forma la adecuada representación de los mismos y la no ocurrencia de drenajes rectilíneos o redes caóticas, ocasionadas por superficies planas o con bajos gradientes que generan ruido en la aplicación del proceso. En este estudio, se generaron áreas

de drenaje con extensión variada dependiendo de la toponimia oficial del IGAC.

Con respecto a los drenajes se estableció un umbral de 10 Has para la generación de los mismos, esto con el propósito de densificar la red actual y lograr una escala más detallada a la establecida en la cartografía oficial del IGAC.

Tratamiento y análisis de la información. Los parámetros morfométricos calculados para estas cuencas corresponden a:

- **ID de la cuenca.** El identificador de la cuenca corresponde a un número único generado del proceso automatizado de generación de las cuencas a partir del ArcHydro. Este código no necesariamente es consecutivo porque, en el proceso de depuración de las cuencas generadas, se eliminan o se unen polígonos errados característicos de este tipo de procesos, sobre todo cuando se emplean modelos de elevación detallados y en zonas planas o con pendiente monótona.
- **Área de la cuenca (Has y km²).** A la medida de la superficie de una cuenca de drenaje se la denomina área, y es la variable más utilizada para el cálculo de otras que, consecuentemente, serán dependientes de ella (Jardí 1985). El cálculo de este parámetro se realizó con el programa ArcGIS 10.3 que permite en la tabla de atributos de la capa de cuencas realizar este proceso de manera automática.
- **Perímetro de la cuenca (km).** Al igual que en el caso de la superficie y de todas las medidas lineales que se puedan medir sobre la representación en un mapa topográfico, al calcular la longitud de la línea del perímetro lo que realmente se estará midiendo será la correspondiente a la proyección en el plano horizontal, medida que diferirá de la real, dependiendo del relieve o inclinación de esa línea. De todas formas, el error que se comete es de una



magnitud muy inferior a la de la medida en sí y, por tanto, totalmente despreciable. Las unidades de esta variable son las que corresponden a una longitud, y debido a las dimensiones de las cuencas de drenaje, suele utilizarse el kilómetro (Jardí 1985). El cálculo de este parámetro se realizó con el programa ArcGIS 10.3 que permite en la tabla de atributos de la capa de cuencas realizar este proceso de manera automática.

- **Índice de compacidad-Gravelius (adimensional).** Es la relación entre el perímetro de la subcuenca y el de un círculo que tenga igual área que esta; en la medida que el índice se acerque más a la unidad, la forma tiende a ser más redondeada y con mayor peligro de que se produzcan avenidas máximas (Suárez y Bravo sf). El cálculo de este parámetro se realiza a partir de la siguiente fórmula y su interpretación se detalla en la Tabla 1.

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

Donde:

Kc= Coeficiente de compacidad

P = Perímetro

A = área

Tabla 1. Categorización del índice de Gravelius (Aliaga et al. 2014)

Rango de Kc	Clase de compacidad
1-1,25	Redonda a oval redonda
1,25-1,50	De oval redonda a oval oblonga
1,50-1,75	De oval oblonga a rectangular oblonga

- **Pendiente media (%).** La pendiente es una forma de medir el grado de inclinación del terreno. A mayor inclinación mayor valor de pendiente. Este parámetro se calculó a partir del modelo de elevación digital y la herramienta Slope y Zonal Statistics de ArcGis10.3. Conceptualmente, la herramienta ajusta un plano a los valores z de

una vecindad de celdas de 3 x 3 alrededor de la celda de procesamiento o central. El valor de pendiente de este plano se calcula mediante la técnica de promedio máximo. La dirección a la que apunta el plano es la orientación para la celda de procesamiento. Mientras menor sea el valor de la pendiente, más plano será el terreno; mientras más alto sea el valor de la pendiente, más empinado será el terreno (ESRI 2016).

- **Elevación media (m).** La altura o elevación media tiene importancia principalmente en zonas montañosas donde influye en el escurrimiento y en otros elementos que también afectan el régimen hidrológico, como el tipo de precipitación, la temperatura, etc. Este parámetro se estima a partir de la información del modelo digital de elevaciones y haciendo uso de la herramienta de estadística zonal de ArcGIS.
- **Densidad de drenaje (km/km²).** Es la longitud de todos los cauces presentes en la cuenca por unidad de área de esta. Caracteriza la red fluvial y es una expresión de la textura fluvial o grado de disección de las cuencas en un territorio (SINCHI 2016) (Tabla 2).

Tabla 2. Clase y rangos para la variable densidad de drenaje en km/km² (SINCHI 2016)

Rangos		
Clasificación	Unidad	Calificación
>0,44	km/km²	Baja
0,44-0,84	km/km²	Media
>0,84	km/km²	Alta

- **Densidad de corrientes (corrientes/km²).** Es la relación entre el número de corrientes y el área drenada. Para el análisis se consideran corrientes perennes e intermitentes y el cauce principal cuenta como una corriente y luego los tributarios a este cauce desde su nacimiento hasta su unión con el principal. Este proceso de cálculo de este

parámetro al igual que el anterior se realizó a partir de una intersección entre la red oficial del IGAC con las áreas de drenaje generadas del proceso de delimitación. Se realizó un conteo por subcuenca y con la información del área se pudo establecer esta variable morfométrica.

Para los drenajes principales se calcularon los siguientes parámetros:

- **ID del drenaje.** El identificador de la cuenca corresponde a un número único generado del proceso automatizado de generación de las cuencas a partir del ArcHydro. Este código no necesariamente es consecutivo porque en el proceso de depuración de las cuencas generadas, se eliminan o se unen polígonos errados característicos de este tipo de procesos, sobre todo cuando se emplean modelos de elevación detallados y en zonas planas o con pendiente monótona.
- **Longitud del drenaje (km).** Este parámetro corresponde a la longitud del cauce principal la cual se generó por medio del aplicativo ArcHydro y se calculó con la herramienta de geometría en la tabla de atributos de la capa de los drenajes.
- **Pendiente media del drenaje (%).** La pendiente media del cauce se calculó a partir de la estadística zonal de ArcGIS y empleando el ráster de pendientes, calculado a partir del modelo de elevación digital. Esta variable se encuentra asociada por drenaje, aunque es posible calcularla por cada uno de las corrientes hídricas generadas por el modelo.
- **Desnivel del drenaje (m).** El desnivel del drenaje corresponde a la diferencia de elevaciones entre la parte más alta o nacimiento y la desembocadura o parte más baja del mismo. Este parámetro se

calcula haciendo uso del modelo de elevación digital y la herramienta de estadística zonal de ArcGIS.

Resultados y discusión

La cuenca Manungará, presenta una diferencia de altura de 137,39 metros de elevación entre su nacimiento y desembocadura en una distancia de 10,21 km, con orientación predominante norte-sur. En la cabecera y parte media de la cuenca, es decir, en las quebradas Calabozo, Quebrada Popó y Quebrada Belén, la altura está por encima de los 420 msnm, siendo esta un área de bosque denso de tierra firme, con fuertes pendientes que se encuentran entre 40,8% y 95,7% con un promedio de 77,4% de pendiente media. En cambio, en la parte baja o inferior de la cuenca, específicamente en la quebrada Mungarrá, la pendiente media presenta un mínimo de 20,78 en la desembocadura al río San Juan y un máximo de 76,66 en la confluencia de la quebrada Mungarrá con el río Chato (Figura 4). Los resultados obtenidos en lo que respecta a delimitación de las Cuencas se presentan en la Figura 4.

Parámetros e índices de forma. En la Figura 5, área de las subcuencas Mungarrá, se identificaron 25 áreas de drenaje que suman 7.120,99 Has, presentando un promedio de extensión de 284 Has, con un perímetro de 10 km hasta confluir con el

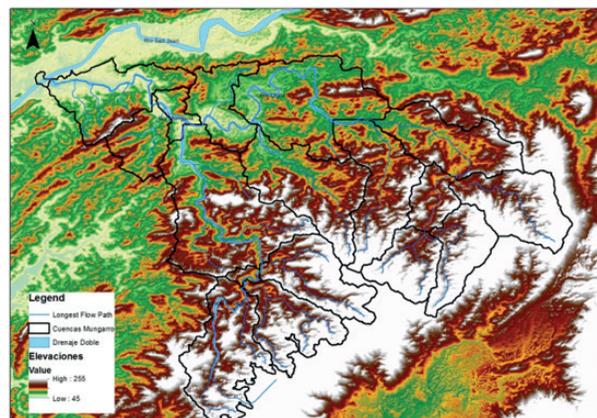


Figura 4. Cuenca río Mungarrá.

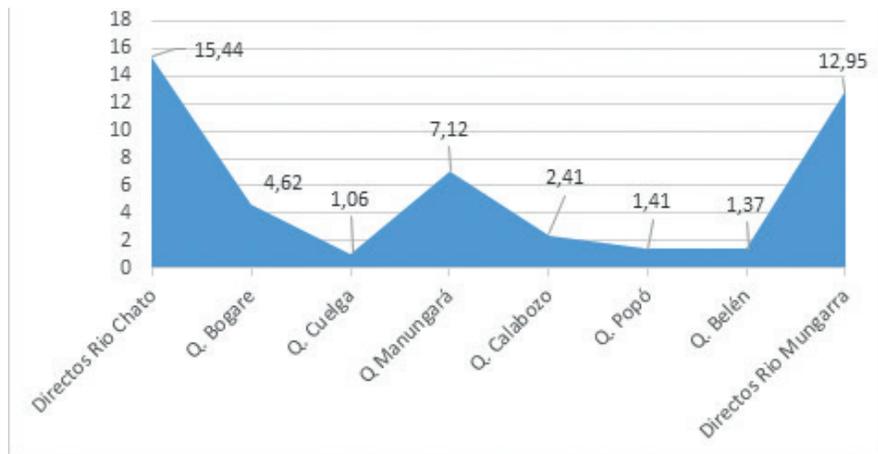


Figura 5. Área de las subcuencas Mungarrá.

río San Juan; sin embargo, la información base permite generar cuencas con umbrales mucho más detallados, es decir cuencas incluso de 5 o 10 Has.

Índice de compacidad-Gravelius (adimensional). El promedio de este parámetro es de 1,72 lo que representa áreas de drenaje de oval oblonga a rectangular oblonga (Figura 6). En la medida que el índice se acerque más a la unidad, la forma tiende a ser más redondeada y con mayor peligro que se produzcan avenidas máximas (Suárez y Bravo sf), como son algunos afluentes de la quebrada Mungarrá; caso contrario ocurre en más del 95% de las fuentes hídricas de la cuenca en donde el índice se aleja de la unidad lo que representa menos susceptibilidad a las crecidas, debido al retardo en la contribución de la escorrentía hacia el cauce principal.

En lo relacionado con la elevación media, la Figura 7 muestra que la cuenca Mungarrá presenta una elevación media de 383 msnm con

una altura mínima y máxima de 64 y 255 msnm respectivamente.

Parámetros de los índices de drenaje. La red de drenaje corresponde a un sistema dendrítico compuesto en su mayoría con gran densidad de cursos de agua de orden 1 y 2 con disposición rectilínea hacia el cauce principal. Los resultados en la cuenca Mungarrá presentan, de acuerdo con la clasificación, una alta densidad de drenaje, de 1,3 km/km², lo que representa que 76% de las subcuencas identificadas en la cuenca Mungarrá muestran densidades de drenaje altas. En relación con la pendiente media, el promedio de este parámetro es de 68,1% lo que representa un gradiente más pronunciado en su superficie, detallando los valores en la Tabla 3. Este parámetro tiene una amplia relación con las tasas de infiltración, la velocidad de escurrimiento, la humedad del suelo, y la descarga de los acuíferos. En contraste con otras variables permite predecir la erodabilidad de una



Figura 6. Índice de compacidad subcuencas Mungarrá.

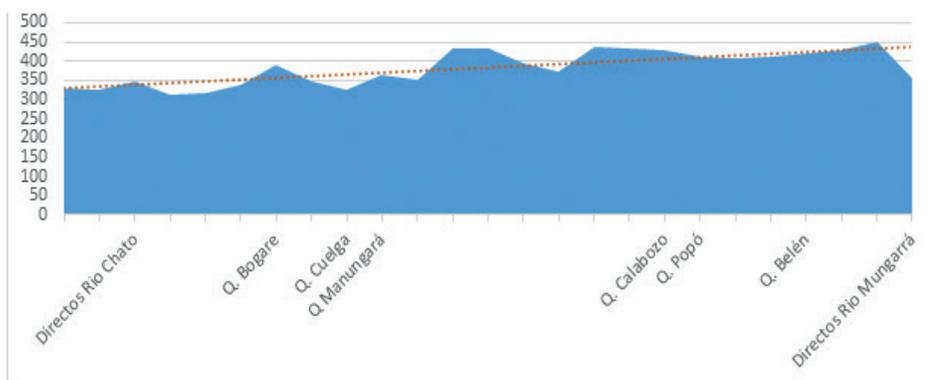


Figura 7. Elevación media de la cuenca Mungarrá.

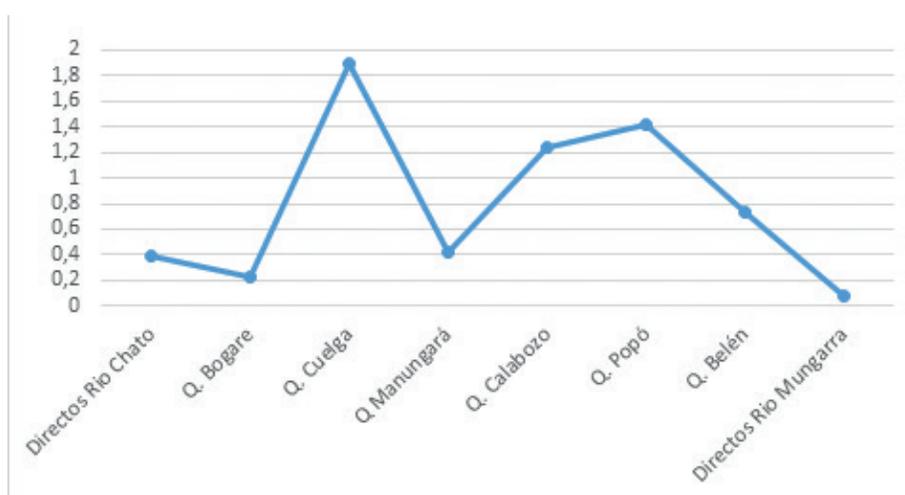


Figura 8. Densidad de corrientes.

cuenca y la carga de sedimentos transportables.

Densidad de corrientes (corrientes/km²). Para la cuenca Mungarrá se tiene un valor medio de 0,99 corrientes/km² detallando los valores de la densidad de corrientes en la Figura 8, análisis congruentes con la red de drenaje, siendo este, uno de los parámetros morfométricos que mejor pueden describir el comportamiento hidrogeológico de una cuenca, entre los cuáles se destacan la infiltración (Kumar y Joshi 2015) y el comportamiento del flujo de agua vertical y horizontal en la superficie del terreno.

Tabla 3. Pendiente media de las subcuencas Mungarrá

Nombre	Pendiente media
Directos río Chato	56,41
Q. Bogare	56,75
Q. Cuelga	71,07
Q. Manungarrá	57,99
Q. Calabozo	77,21
Q. Popó	73,37
Q. Belén	84,33
Directos río Mungarrá	67,55
Promedio	68,085



Conclusión

Con estos resultados se concluye que la cuenca Mungarrá en el municipio de Tadó, es una fuente de abastecimiento de agua para varias poblaciones como son las comunidades de Betania, Papagallo, Chacuante, Manungará y la cabecera municipal de Tadó. Este abastecimiento se traduce en agua para consumo humano, sistemas productivos tradicionales como huertas caseras mixtas, actividad minera artesanal, y por otra parte, es una red vial fluvial de las comunidades asentadas en la cuenca que hacen de esta al igual que muchas en las regiones de Colombia, ejes dinamizadoras del desarrollo y estructurantes al momento de la planeación y ordenación del territorio.

En consonancia con lo anterior, y tras el análisis expuesto, vale la pena resaltar que la cuenca Mungarrá presenta menor riesgos de crecientes súbitas en las aguas denominadas directos río Chato y directos río Mungarrá, los cuales, presentan índice de compacidad entre 2,7 y 3,5 y su densidad de drenaje está por debajo de 0,5 km/km² lo que significa que estas dos fuentes hídricas poseen menor grado de peligrosidad, porque el tiempo de escorrentía es mayor, caso contrario a las quebradas Cuelgas, Calabozo y Popó las cuales poseen densidad superiores a 1,5, y se infiere que, a mayor densidad de drenaje, el tiempo de escorrentía es menor, por lo cual se considera como otro indicador de peligrosidad.

Los resultados obtenidos indican que las propiedades hidrológicas de la cuenca Mungarrá están condicionadas por su morfometría, sobre todo por las variaciones en las pendientes entre el desnivel y la dinámica de la red de drenaje. De la misma manera, Mungarrá por ser una cuenca ensanchada posee mayor susceptibilidad a generar crecidas, ya que el tiempo de recorrido del agua a través de la cuenca es mucho más corto que en cuencas alargadas, en otras palabras, como lo manifiesta Cardona (2019), las cuencas ensanchadas tendrían menor tiempo de concentración

y por ende mayor rapidez para la concentración de los flujos de aguas superficiales, generando mayor violencia en sus crecidas.

La morfometría de las subcuencas influye en la mayor o menor capacidad de almacenamiento y velocidad de fusión del agua, entre otros, originando diferencias en los tiempos en que los ríos alcanzan su máximo caudal. En este sentido Aumassane *et al.* (2018) cita que “el efecto del alta pendiente hace que la velocidad de flujo de agua sea alta, por lo tanto, se necesita menos tiempo de escurrimiento para llegar al cauce principal. A su vez, conocer la orientación de las laderas es importante porque se relaciona con las horas en las que incide el sol sobre la ladera de la cuenca, dirección de los vientos predominantes, flujos de humedad, vegetación, entre otros. Por lo tanto, conocer la morfometría de estas subcuencas es la base para el estudio de la dinámica de los recursos hídricos superficiales, de cambios en el uso y cobertura del suelo y de disponibilidad de agua”.

Literatura citada

- Alcaldía Municipal de Tadó. 2005. Esquema de Ordenamiento Territorial. Tadó, Chocó, Colombia.
- Al-Rowaily SL, El-Bana MI, Al-Dujain FAR. 2012. Changes in vegetation composition and diversity in relation to morphometry, soil and grazing on a hyper-arid watershed in the central Saudi Arabia. *Catena*. 97: 41-9. <https://n9.cl/buz79>
- Aliaga MM, Rodríguez A, Covacho O, Tapia A. 2014. Análisis morfométrico de microcuencas afectadas por flujos de detritos bajo precipitación intensa en la quebrada de Camiña, norte grande de Chile. *Diálogo Andino*. 44: 15-24. <https://bit.ly/3tWbQU1>
- Altin TB, Altin BN. 2011. Development and morphometry of drainage network in volcanic terrain, Central Anatolia, Turkey. *Geomorphology*. 125: 485-503. <https://bit.ly/48MSnUK>
- Asfaw D, Workineh G. 2019. Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water conservation. *International Soil and Water Conservation Research*. 7(2): 150-7. <https://bit.ly/3UdDfeL>
- Aumassane C, Gaspari FJ, Beget ME, Sartor PD, Oricchio P, Di Bella CM. 2018. Morfometría de la cuenca alta

- del río Colorado, Argentina. Boletín geográfico. 40 (1): 13-29. <https://bit.ly/400wbCl>
- Cardona BL. 2019. Conceptos básicos de morfometría de cuencas hidrográficas. Cursante de Maestría en Energía y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. <https://bit.ly/42e69gA>
- Cruz Romero B, Gaspari FJ, Rodríguez Vagaría AM, Carrillo González FM, Téllez López J. 2015. Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. Investigación y Ciencia. 23 (64): 26-34. <https://bit.ly/3Uf60Yq>
- ESRI. 2016. Resources for ArcMap. Helping you create maps, perform spatial analysis, and manage geographic data. <http://desktop.arcgis.com/>
- Felicísimo AM. 1994. Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales. 122 pp. <https://bit.ly/3SxqB9j>
- Huezo LA. 2011. Caracterización hidrológica y balance hídrico de la microcuenca Santa Inés. Honduras. Proyecto especial para optar al título de Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Honduras: Zamorano. 25 pp. <https://bit.ly/3LA8E6G>
- Jardí M. 1985. Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. Revista de Geografía. XIX: 41-68. <http://bit.ly/3LB7vfa>
- Kumar P, Joshi V. 2015. Characterization of hydro geological behavior of the upper watershed of River Subarnarekha through morphometric analysis using remote sensing and GIS approach. International Journal of Environmental Sciences. 6: 429-47. <https://bit.ly/497rZEO>
- Montoya Moreno Y, Montoya Moreno B. 2009. Caracterización morfométrica de la microcuenca de la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia. Rev Ing Univ Medellín:8 (15): 31-8. <https://n9.cl/ux9es>
- Proaño Cadena GN. 2009. Análisis cuantitativo de los sistemas de la cuenca de drenaje del río Tatalá. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/5883>
- Suárez Sarria JT, Bravo Iglesias JA (sf). Cálculo de parámetros morfométricos y propuesta de ordenación agroforestal en la subcuenca El Cacao, provincia ciudad de la Habana, Cuba. Habana: Instituto de Investigaciones Forestales.
- SINCHI. 2016. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. <https://www.sinchi.org.co/>