

ppi 201502ZU4659

Esta publicación científica en formato digital es
continuidad de la revista impresa

ISSN 0254 -0770 / e-ISSN 2477-9377 / Depósito legal pp 197802ZU38



REVISTA TÉCNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- REDALYC
- REDIB
- SCIELO
- DRJI
- INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL
- LATINDEX
- DOAJ
- REVENCYT
- CHEMICAL ABSTRACT
- MIAR
- AEROSPACE DATABASE
- CIVIL ENGINEERING ABTRACTS
- METADEX
- COMMUNICATION ABSTRACTS
- ZENTRALBLATT MATH, ZBMATH
- ACTUALIDAD IBEROAMERICANA
- BIBLAT
- PERIODICA

UNIVERSIDAD DEL ZULIA



REVISTA TÉCNICA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

VOLUMEN 46

EDICIÓN CONTINUA

AÑO 2023

Dr. Ignacio Rodríguez Iturbe - Zuliano ilustre
Ingeniero civil, hidrólogo profesor universitario,
doctor honoris causa de la Universidad del Zulia,
ciudadano ejemplar con numerosos premios nacionales e internacionales.

Aplicación de SIG para la Estimación de Tiempos de Concentración en la Cuenca Media del Río Sinú, Colombia

Hernán José Tapias Contreras¹ , Viviana Paola Caraballo Hernández^{2*} 

¹Docente del Programa de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, CP 230001, Córdoba, Colombia

²Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, CP 230001, Córdoba, Colombia

*Autor de correspondencia: hernan.tapia@upb.co

<https://doi.org/10.22209/rt.v46a05>

Recepción: 06 de junio 2022 | Aceptación: 30 de junio de 2022 | Publicación: 05 de julio de 2023

Resumen

El tiempo de concentración (T_c) es uno de los factores de mayor importancia al dimensionar obras de tipo hidráulico, debido a que es uno de los principales insumos en un análisis hidrológico. En tal sentido, el objetivo de esta investigación consistió en determinar parámetros fisicomorfométricos utilizando sistemas de información geográfica (SIG) y estimaciones manuales de T_c en la cuenca media del río Sinú, Colombia, para luego realizar un análisis de correlación lineal (r) y de variabilidad del modelo (r^2). Para ello, se buscó evidenciar de manera cuantitativa cómo varían los resultados de T_c al ser calculados mediante 16 ecuaciones empíricas y cómo influyen en estos cálculos las variables morfométricas calculadas con el programa ArcGIS 10,8. Se observó una falta de correspondencia entre los diferentes métodos empleados, lo que permite entrever la problemática de tener mal representados los datos de un análisis hidrológico y aplicarlos en un proyecto, además de la necesidad de diseñar un modelo que permita optimizar el uso de estas ecuaciones con los SIG.

Palabras clave: ArcGis; cuenca hidrográfica; morfometría; SIG; tiempos de concentración.

GIS Application for Estimation of Concentration Times in the Middle Basin of Sinu River, Colombia

Abstract

The time of concentration (T_c) is one of the most important factors when sizing hydraulic works, since it is one of the main inputs in a hydrological analysis. In this sense, the objective of this research was to determine the physicomorphometric parameters using geographic information systems (GIS) and manual estimations of T_c in the middle basin of the Sinú River, Colombia, and then perform a linear correlation analysis (r) and model variability (r^2). To this end, we sought to quantitatively demonstrate how T_c results vary when calculated by means of 16 empirical equations and how morphometric variables calculated with the ArcGIS 10.8 program influence these calculations. A lack of correspondence between the different methods used was observed, which allows us to glimpse the problem of having the data of a hydrological analysis poorly represented and applied in a project, in addition to the need to design a model that allows optimizing the use of these equations with GIS.

Keywords: ArcGis; GIS; morphometry; time of concentration; watershed.

Aplicação GIS para a estimativa de tempos de concentração na bacia média do rio Sinú, Colômbia

Resumo

O tempo de concentração (T_c) é um dos fatores mais importantes no dimensionamento de obras hidráulicas, pois é um dos principais insumos em uma análise hidrológica. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi determinar parâmetros físico-morfométricos usando sistemas de informação geográfica (GIS) e estimativas manuais de T_c na bacia média do rio Sinú, Colômbia, para então realizar uma correlação linear (r) e variabilidade do modelo (r^2). Para isso, buscou-se demonstrar quantitativamente como os resultados de T_c variam quando calculados por meio de 16 equações empíricas e como as variáveis morfométricas calculadas com o programa ArcGIS 10.8 influenciam nesses cálculos. Foi observada uma falta de correspondência entre os diferentes métodos utilizados, o que permite vislumbrar o problema de deturpar os dados de uma análise hidrológica e aplicá-los em um projeto, além da necessidade de desenhar um modelo que permita otimizar o uso desses equações com GIS.

Palavras chave: ArcGis; bacia hidrográfica; morfometria; SIG; tempos de concentração

Introducción

La cuenca media del río Sinú, en Colombia, es una zona caracterizada por sus bajas pendientes, lo que influye en el nivel de detalle con que se deben realizar los análisis característicos de una cuenca (Valbuena, 2017). Al respecto, el cálculo del tiempo de concentración (T_c) es una de las actividades que más definición necesita al momento de ser realizada, ya que esta variable relaciona parámetros topográficos, como: área, longitud del cauce, desnivel o pendiente (Veléz y Botero, 2011). Sin embargo, aunque se cuenta con diferentes y variadas expresiones empíricas que relacionan estos factores, los resultados que se obtienen de cada una de ellas poseen una dispersión considerablemente alta, lo que provoca que habitualmente se tenga que trabajar con la media de los valores de los T_c calculados (Veléz y Botero, 2011). Por ello, la presente investigación nace de la necesidad creciente de contar con metodologías prácticas que garanticen resultados confiables respecto a los cálculos del T_c de una cuenca, debido a que es un parámetro fundamental a la hora de tomar decisiones concluyentes respecto al dimensionamiento de infraestructuras, modelaciones, análisis de inundaciones, análisis hidrológicos, etc. (Veléz y Botero, 2011; Sandoval-Erazo *et al.*, 2018).

Los sistemas de información geográfica (SIG), por otra parte, son aquellos que permiten relacionar cualquier tipo de dato con una localización geográfica, creando un marco de trabajo para reunir, gestionar, analizar y representar estos datos, organizando capas de información para su visualización con herramientas informáticas (Alarcón y Díaz, 2018). Además, son una herramienta de gran utilidad en el procesamiento de datos hidrológicos de una cuenca (Rivas *et al.*, 2019). A su vez, el T_c se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de la cuenca transporten agua de escorrentía (corriente de agua que se mueve por el lecho de un cauce natural o artificial), de forma simultánea al punto de desagüe de la cuenca (Martínez, 2006; Barranco y Álvarez, 2009; Azizian, 2019; Bravo, 2019). Dicho de otra manera, corresponde al tiempo que demora una gota de lluvia en recorrer una cuenca desde la naciente hasta el punto de salida (Ferreira *et al.*, 2018), representando el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante y máximo a la vez (Ramón *et al.*, 2011).

Para realizar el cálculo del T_c de una cuenca existen variados métodos, como lo son; el uso de hidrogramas, hietogramas y pluviogramas, o la aplicación de modelos hidrológicos distribuidos (Materano, 2015). Sin embargo, en el presente trabajo se realizaron los cálculos de forma manual, por medio de ecuaciones empíricas existentes en la literatura, entre las que se encuentran las propuestas de: Témez, William, Kirpich, California Couverts, Giandotti, Ventura-Heron y Passini, entre otras (Ramón *et al.*, 2011; Batanero, 2015; Bravo, 2019). Paralelo a esto, se hizo uso de los SIG para determinar los parámetros morfométricos de las subcuencas, y así observar finalmente, mediante los cálculos del coeficiente de correlación lineal (r) y del coeficiente de determinación (r^2), cómo se comportan los resultados de T_c cuando se calculan manualmente y cuando se trabajan con ayuda de los SIG. La razón por la que se escogen estos dos métodos para analizar como varía el T_c de una cuenca, es debido a que se quiere corroborar la importancia de tener una buena fuente de parámetros fisicomorfométricos (Castillo *et al.*, 2021; Ghosh y Gope, 2021), los cuales explican las características de las diferentes subcuencas, y cómo por medio de ellas se puede

mejorar la planeación en cuanto a la construcción adecuada de estructuras hidráulicas y la organización del territorio; teniéndose como ventaja la posibilidad de disminuir errores al momento de utilizar los datos provenientes de una topografía en terreno de la cuenca (Fernández y Gonzalo, 2012; Castillo *et al.*, 2021; Zolghadr *et al.*, 2022).

El objetivo de esta investigación consistió en determinar los parámetros fiscomorfométricos de la cuenca del río Sinú a través de los SIG y, de forma manual, los Tc de las subcuencas. Con ello se buscó establecer el coeficiente de correlación lineal para determinar la correlación entre los datos obtenidos y realizar un análisis del coeficiente de determinación para comprobar la variabilidad que existe entre los diferentes Tc (Veléz y Botero, 2011). La importancia de esta investigación radica en analizar el coeficiente de determinación obtenido de los resultados de los Tc de la cuenca del Río Sinú y como esta variabilidad en los datos estudiados dan una idea de cuán importante es tener una buena base de ecuaciones de tiempo de concentración de una cuenca con la finalidad de poder ir discrepando qué tipo de ecuaciones pueden arrojar resultados más confiables respecto a las diferentes características fiscomorfométricas que pueda tener una cuenca (Zolghadr *et al.*, 2022).

Materiales y Métodos

La metodología utilizada fue de tipo cuantitativa porque se determinó el coeficiente de correlación lineal y se realizó un análisis gráfico del coeficiente de determinación, que permite conocer la variabilidad de los resultados de Tc calculados mediante ecuaciones establecidas en la literatura, en contraste a los parámetros fiscomorfométricos que arrojó el programa computacional aplicado. Para calcular los Tc de la cuenca, primero se desarrollaron los componentes del estudio morfométrico, dividiendo cada una de estas partes en tres aspectos: insumos, procesos y productos. Los insumos son los materiales que se necesitaron para llevar a cabalidad los procesos, y los procesos se refieren a todo el procedimiento que se aplicó para conseguir los valores necesarios para el análisis de esta investigación, siendo estos resultados los productos obtenidos.

Área de estudio

La zona media del río Sinú está localizada en la costa atlántica al noroeste de Colombia, entre los 8-9° de latitud norte y los 75° de longitud oeste, ocupando la parte occidental del departamento de Córdoba y una pequeña parte del norte de Antioquia, como se puede apreciar en la Figura 1. Según la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge (CVS, 2008), la cuenca del río Sinú puede dividirse en cuatro sectores de acuerdo con su dinámica: cuenca alta, cuenca media, cuenca baja y delta interior. La zona en la cual se enfoca esta investigación es el Sinú medio, que se encuentra localizada entre 8°41'47,50" latitud N y 75°56'54,91" longitud O en el municipio de Montería, hasta 9°2'43,96" latitud N y 75°50'34,30" longitud O en el corregimiento Sabana Nueva. La cuenca media tiene un área total de 1918,9 km² y una longitud de 277,31 km, con una altura máxima de 257 msnm y una mínima de 10 msnm (ASPROCIG, 2005).

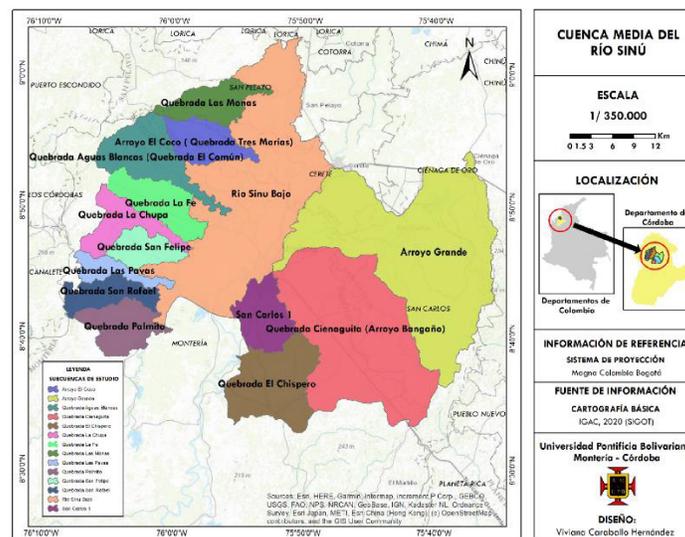


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio; cuenca media del río Sinú, Colombia.

La cuenca media está formada por 14 subcuencas (Figura 1), las cuales se encuentran conformadas por microcuencas. Para este estudio se realizó el análisis a nivel de subcuencas que, conforme a Fernández y Gonzalo (2012), es toda área que orienta su drenaje directamente al curso principal de la cuenca hidrográfica; lo que es una manera de conocer el comportamiento interno de la cuenca en cuanto a sus diferencias morfométricas.

Morfometría de la cuenca

Los insumos con los que se hicieron los cálculos de morfometría fueron: morfología, topografía, geología, cartografía e hidrología de la cuenca. Esta información se obtuvo de portales digitales nacionales, como: Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge (CVS, 2008), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, 2021) e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2021). Cada una de estas planchas de información se trabajó a una escala de 1:25.000.

Seguidamente, con los insumos recopilados, el procedimiento se llevó a cabo con el uso del programa ArcGis 10,8; especializado para el estudio de información geográfica, elaboración de mapas y estudio morfométrico de cuencas hidrográficas (ArcGIS, 2014). Con este programa se elaboró el modelo digital de terreno de la cuenca (MDT) con una resolución espacial de 8 m, se realizó la delimitación de la cuenca media del Sinú para, finalmente, clasificar las subcuencas que conforman la cuenca de estudio, y luego desarrollar los cálculos de parámetros morfométricos. De la morfometría realizada con este programa, se obtuvieron los siguientes parámetros: área (A), medida en kilómetros cuadrados (km²); longitud (L), en kilómetros (km); perímetro (P), en kilómetros (km) y pendiente de la cuenca (S), en porcentaje (%), así como la longitud, altura máxima (H_{máx}), altura mínima (H_{mín}), elevación media y pendiente del cauce principal, medidas en metros (m), y factores como índice de compacidad, de alargamiento y de forma. Todas estas variables permitieron efectuar los cálculos de los T_c de la cuenca (Silva *et al.*, 2022; Zolghadr *et al.*, 2022).

Tiempos de concentración

Lo primero que se realizó fue una búsqueda bibliográfica de todas las ecuaciones existentes para calcular el T_c de una cuenca, las cuales se exponen en la Tabla 1. Estas ecuaciones se presentan dentro de la investigación con la finalidad de que se pueda entender la relación que existe entre las variables morfométricas de una cuenca con respecto al cálculo de los T_c, y por qué es determinante contar con los datos reales de la cuenca, a las escalas apropiadas, para obtener unos valores de tiempo próximos a los calculados con hidrogramas o hietogramas.

Para el cálculo de los T_c se hizo necesario contar previamente con los parámetros morfométricos de la cuenca. Una vez calculados, se reemplazaron los parámetros indicados en cada una de las ecuaciones para el cálculo del T_c; este proceso se desarrolló de forma manual y los datos obtenidos se tabularon en el programa Microsoft Excel versión 2211, para cada subcuenca. Seguidamente, se calculó la media del T_c acumulado para cada subcuenca con cada una de las ecuaciones y así obtener un aproximado de duración del flujo a al punto de desborde, cabe destacar que estas ecuaciones se presentan como alternativa para diferentes tipos de cuencas, por lo tanto, se toma una relación entre la proximidad de los datos.

Con la media aritmética calculada se procedió a escoger los T_c más próximos a la mediana de estos valores; esto debido a la discontinuidad que presentaron los valores entre sí. Una vez seleccionados los resultados, se tabularon y se elaboró una gráfica en donde se pudiera evidenciar el comportamiento de los datos estudiados. Así, se calculó el coeficiente de correlación lineal y el coeficiente de determinación, para conocer el tipo de relación y de variabilidad que hay entre los valores de los T_c, usados como variable dependiente, y el número de ecuaciones seleccionadas con los resultados cercanos entre sí, como variable independiente. Este análisis se realizó con ayuda de la herramienta Microsoft Excel versión 2211.

Tabla 1. Ecuaciones de tiempo de concentración usadas en el presente estudio, producto de la revisión bibliográfica (Wong y Chen, 1997; Wong, 2005; Almeida *et al.*, 2014).

Autor	Ecuación
Bransby-Williams	$T_c = 14,6 * L * A^{-0,1} * S^{-0,2}$
Kirpich	$T_c = 0,06628 \left(\frac{L}{\sqrt{S_0}} \right)^{0,77}$
Johstone y Cross	$T_c = 2,6 \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,5}$
Ventura-Heras	$T_c = 0,30 \left(\frac{L}{S_0^{0,25}} \right)^{0,76}$
Passini	$T_c = a \frac{(AL)^{1/3}}{S^{0,5}}$ siendo $0,04 \leq \alpha \leq 0,13$
Giandotti	$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H}}$
Dirección General de Carreteras	$T_c = 0,3 \left(\frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0,76}$
California Culverts	$T_c = \left(0,87 \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$
Témez	$T_c = 0,30 \left(\frac{L}{S_0^{0,25}} \right)^{0,76}$
Valencia y Zuluaga	$T_c = 1,7694A^{0,325}L^{-0,096}S^{-0,29}$
Clark	$T_c = 0,108 \frac{(AL)^{1/3}}{\sqrt{S_0}}$
SCS-Ranser	$T_c = 0,97 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$
Pilgrim y McDermott	$T_c = 0,76 * A^{0,38}$
TxDOT	$T_c = 0,702 \frac{(1,1 - C) * L^{0,5}}{S_0^{0,333}}$
Vente Chow	$T_c = 0,8773 \left(\frac{L^{1,5}}{\sqrt{CM_c - Cm_c}} \right)^{0,64}$
Pérez	$T_c = \frac{L}{72 * \left(\frac{H}{L} \right)^{0,6}}$

T_c: tiempo de concentración, L: longitud, A: área, S: pendiente.

Coefficientes de correlación lineal y de determinación

Para llevar a cabo la estimación del coeficiente de determinación primero se determinó el coeficiente de correlación lineal de los T_c estudiados, ya que esto permitió establecer qué tipo de relación tenían los datos y si esta relación era positiva directa (cuanto más cercano a 1 estuviera) o negativa inversa (cuanto más cercano a -1 fuera); el cálculo de este coeficiente se realizó por medio del programa Microsoft Excel versión 2211, con ayuda de la herramienta llamada: +COEF.DE.CORREL, la cual agrupa dentro de su base la matriz 1, que son los datos de la variable independiente y la matriz 2, que son los datos de la variable dependiente. Una vez establecido esto, se procedió a calcular el coeficiente de determinación, haciendo uso de la media de los 16 resultados obtenidos de los T_c de la cuenca del Río Sinú, y con ayuda de la herramienta de Microsoft Excel versión 2211 llamada: +COEFICIENTE.R2, el cual agrupa los datos conocidos en la variable Y, y los conocidos en la variable X, se obtuvo el porcentaje de variabilidad de los datos estudiados, que puede estar entre 0 y 100 %; donde, entre más

cercano a 100 % se encuentren los datos, el modelo explicará de mejor forma la variabilidad que tienen los valores seleccionados. Este análisis permitió observar que entre mayor fuese el porcentaje de determinación, mejor se ajustaría el modelo y; así mismo, los resultados obtenidos (Salimi *et al.*, 2017; Zolghadr *et al.*, 2022).

Resultados y Discusión

Morfometría de la cuenca

Los parámetros morfométricos calculados con el programa ArcGis 10,8 fueron de tres tipos: físicos, de forma y de relieve. A continuación, se describe cada uno de ellos.

1. Parámetros físicos de la cuenca: se tiene lo que es el área de la cuenca, que indica toda la proyección horizontal de la superficie de los drenajes del sistema de escorrentía; el perímetro, el cual depende de la superficie y forma de la cuenca, así mismo la longitud, que se define por el cauce principal de la cuenca, siendo este desde el punto más alto hasta el punto de desembocadura del río, mientras que el ancho de la cuenca se obtuvo de la relación entre el área y la longitud de las subcuencas (Ghosh y Gope, 2021). En la Tabla 2 se encuentran los resultados obtenidos. Estos parámetros de forma son fundamentales en la hidrología porque permiten caracterizar a las diferentes microcuencas de estudio, facilitando la interpretación del escurrimiento de las aguas en el caso del presente estudio, siendo que, en una subcuenca grande como la del río Sinú bajo, el agua tardará en escurrir más tiempo; en una subcuenca como la quebrada Las Pavas, relativamente más pequeña, el agua se moverá rápidamente (Veléz y Botero, 2011).

Tabla 2. Parámetros físicos de la cuenca del río Sinú, Colombia.

Subcuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud de la subcuenca (km)	Ancho de la subcuenca (km)
Quebrada Las Monas	55,47	51,28	6,47	16,78
Arroyo El Coco	55,01	42,27	6,55	14,89
Quebrada Aguas Blancas	89,97	68,57	9,17	20,54
Quebrada La Fe	63,73	48,27	14,41	5,52
Quebrada La Chupa	54,45	56,26	15,21	8,71
Quebrada San Felipe	40,91	34,27	11,77	5,79
Quebrada Las Pavas	30,60	45,39	13,18	3,57
Quebrada San Rafael	45,96	47,00	13,21	5,94
Quebrada Palmito	60,98	47,11	13,85	8,81
Río Sinú Bajo	436,41	217,24	85,02	18,91
San Carlos 1	62,19	40,38	11,07	6,93
Quebrada El Chispero	116,86	101,39	15,42	13,46
Quebrada Cienagueta	349,82	98,04	28,69	17,09
Arroyo Grande	456,53	142,79	33,29	28,07

2. Parámetros de forma de la cuenca: dentro de los parámetros de forma mostrados en la Tabla 3, se encuentra el índice de compacidad, el cual permite establecer la relación entre el perímetro de una cuenca y el de la circunferencia equivalente a esta, representando la forma de la superficie de la cuenca; también se encuentra el factor de forma, que indica la elongación de la cuenca con relación al área y la longitud; por último, se define el índice de alargamiento, donde se relaciona la longitud máxima de la cuenca (Salimi *et al.*, 2017). De estos parámetros se obtiene lo que es el índice de compacidad; un factor adimensional que define la geometría de la cuenca con base en su perímetro, y, el factor forma, que establece una relación entre el área de la cuenca y el cuadrado de la máxima longitud (Zolghadr *et al.*, 2022). Con estos resultados se puede observar la correspondencia que llevan los parámetros entre sí, siendo que la cuenca del río Sinú bajo tiene un índice de alargamiento que la clasifica en una cuenca muy alargada y grande, interpretando con esto que el agua de escorrentía tendrá mayores puntos para moverse, mientras que la cuenca quebrada Las Pavas, aunque presenta un área pequeña, su factor forma también es alargado, lo que quiere decir que la cuenca escurrirá mucho más rápido cada gota de agua de escorrentía.

Tabla 3. Parámetros de forma de la cuenca del río Sinú, Colombia.

Subcuenca	Índice de compacidad (Kc)	Factor de forma (Kf)	Índice de alargamiento	Descripción índice de compacidad	Descripción factor forma
Quebrada Las Monas	1,93	1,33	0,39	Rectangular oblonga	Rodeando el desagüe
Arroyo El Coco	1,60	1,28	0,44	De oval oblonga a rectangular oblonga	Rodeando el desagüe
Quebrada Aguas Blancas	2,02	1,07	0,45	Rectangular oblonga	Muy ensanchada
Quebrada La Fe	1,69	0,31	2,61	De oval oblonga a rectangular oblonga	Ligeramente alargada
Quebrada La Chupa	2,13	0,24	1,75	Rectangular oblonga	Alargada
Quebrada San Felipe	1,50	0,30	2,03	De oval redonda a oval oblonga	Alargada
Quebrada Las Pavas	2,30	0,18	3,69	Rectangular oblonga	Muy alargada
Quebrada San Rafael	1,94	0,26	2,22	Rectangular oblonga	Alargada
Quebrada Palmito	1,69	0,32	1,57	De oval oblonga a rectangular oblonga	Ligeramente alargada
Río Sinú Bajo	2,91	0,06	4,50	Rectangular oblonga	Muy alargada
San Carlos 1	1,43	0,51	1,60	De oval redonda a oval oblonga	Ligeramente ensanchada
Quebrada El Chispero	2,63	0,49	1,15	Rectangular oblonga	Ligeramente ensanchada
Quebrada Cienaguita	1,47	0,42	1,68	De oval redonda a oval oblonga	Ni alargada ni ensanchada
Arroyo Grande	1,87	0,41	1,19	Rectangular oblonga	Ni alargada ni ensanchada

Kc: índice compacidad, Kf: índice de forma.

3. Características del relieve de la cuenca: dentro de estas se encuentra la longitud del cauce principal de la cuenca; aquella que va desde el punto más alto del río hasta su punto de desembocadura; la altura máxima, que es el punto de mayor elevación dentro de la cuenca; igualmente, la altura mínima, que será la cota donde la cuenca entrega sus aguas a un cauce de mayor capacidad; la pendiente, que corresponde al valor medio del declive del terreno y la inclinación sobre la cual se ubica la cuenca o el cauce; por último, se define la elevación media, que se entiende como el desnivel entre la cota más alta y la cota más baja que tendrá la cuenca (Fernández y Gonzalo, 2012; Sandoval y Aguilera, 2015; IDEAM, 2021). Estos parámetros permiten en definitiva tener idea de la velocidad de desagüe que tendrá una cuenca; teniendo presente que ya se conocen los parámetros de relieve, se observa que la cuenca del Sinú bajo tiene una pendiente del 0,05; lo que implica, de acuerdo con el área de la cuenca, que las aguas de precipitación que pasen por allí se moverán lentamente, mientras que una cuenca como la Quebrada Palmito (Tabla 4), al presentar una pendiente del 1,81; significa que las aguas de precipitación se moverán dentro de la cuenca mucho más rápido (Batenero, 2015). De allí la importancia de que los procesos y la determinación de variables deban estar ligados a un buen levantamiento de información primaria y a escalas detalladas para cuencas de baja pendiente, entre 0-7 % de pendiente media (Fang *et al.*, 2008; Fernández y Gonzalo, 2012). En la Tabla 4 se muestran los parámetros del relieve de la cuenca del río Sinú.

Tabla 4. Parámetros del relieve de la cuenca del río Sinú, Colombia.

Subcuenca	Cauce principal			Pendiente (%)	Elevación media (msnm)	Pendiente de la cuenca (%)
	Longitud (km)	Hmín (msnm)	Hmáx (msnm)			
Quebrada Las Monas	15,35	10	178	2,5	84	0,70
Arroyo El Coco	12,09	11	159	2,0	74	0,59
Quebrada Aguas Blancas	24,96	16	177	3,0	81	0,53
Quebrada La Fe	16,41	17	150	2,0	67	0,45
Quebrada La Chupa	16,28	17	221	2,5	102	0,62
Quebrada San Felipe	11,63	16	120	3,0	52	0,66
Quebrada Las Pavas	18,15	17	132	3,3	58	0,57
Quebrada San Rafael	17,03	20	145	3,3	63	0,59
Quebrada Palmito	12,67	19	259	2,0	120	1,81
Río Sinú Bajo	132,15	1	102	1,0	51	0,05
San Carlos 1	8,21	10	87	3,2	39	0,59
Quebrada El Chispero	17,30	19	112	1,5	47	0,35
Quebrada Cienaguita	30,22	8	218	2,8	105	0,53
Arroyo Grande	56,53	5	177	4,0	86	0,30

Hmín: altura mínima, Hmáx: altura máxima.

Todos estos parámetros permiten aseverar que las subcuencas del río Sinú son en su mayoría de áreas medianas a pequeñas, con formas mayormente alargadas y pendientes relativamente pequeñas; lo que es indicio de que los suelos donde se encuentran ubicadas son, en su mayoría, suelos planos (Dobre *et al.*, 2021). De esta manera, con ayuda del programa ArcGis 10,8; se diseñó el mapa de drenajes (Figura 2), facilitando la observación de la distribución dentro de la cuenca del drenaje doble que hace referencia principalmente al río Sinú, al arroyo Caño Viejo y a los drenajes sencillos distribuidos dentro de la subcuenca, los cuales van a drenar sus aguas al drenaje principal, el río Sinú.

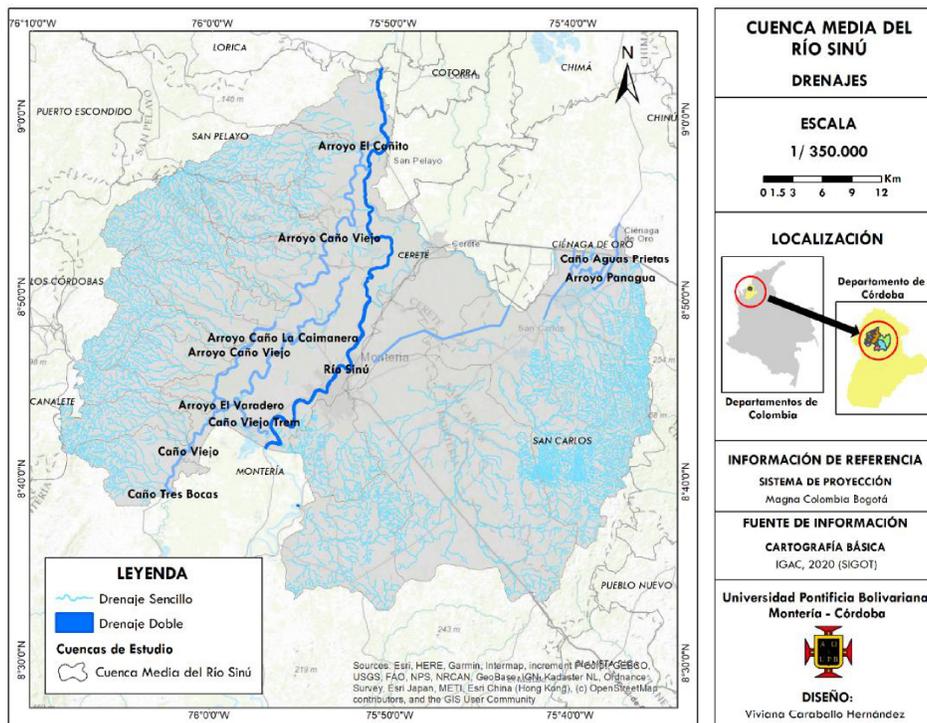


Figura 2. Mapa de drenajes para la cuenca media del río Sinú, Colombia, diseñado con el programa ArcGis 10,8.

En la Tabla 5 se encuentran detallados los tipos de caudales de cada subcuenca y la densidad de su drenaje en km/km^2 , que es la relación entre la longitud total de los cauces la cuenca y su área. Con ello, se calculó el caudal máximo ($Q_{\text{máx}}$), que es la máxima cantidad de agua que fluye por la subcuenca; el caudal mínimo ($Q_{\text{mín}}$), que es la mínima cantidad de agua que fluye; y el caudal total (Q_{total}), que es la totalidad de agua que fluye por la subcuenca (Burgos, 2005; Sandoval y Aguilera, 2015; Salimi *et al.*, 2017). Con esto se observa que la subcuenca río Sinú bajo es la que mayor caudal maneja, siendo su Q_{total} de $643,31 \text{ m}^3/\text{h}$, con una longitud del cauce principal de $132,15 \text{ km}$. Esta subcuenca es una de las que más abastece a las poblaciones urbanas aledañas a la cuenca media, como lo es la ciudad de Montería, y la que menor densidad de drenaje tiene, lo que indica que será mayor el tiempo que tomará una gota de agua en recorrerla hasta llegar al río de disposición (Batanero, 2015).

Tabla 5. Caudales de las subcuencas del río Sinú, Colombia.

Subcuencas	Caudales				Densidad de drenaje (km/km^2)
	$Q_{\text{máx}}$	$Q_{\text{mín}}$	Q_{total}	$Q_{\text{ambiental}}$	
Quebrada Las Monas	18,96	0,01	3,04	0,53	2,55
Arroyo El Coco	22,12	0,70	3,72	0,64	1,94
Quebrada Aguas Blancas	25,25	1,35	5,90	1,16	3,29
Quebrada La Fe	20,03	0	2,60	0,48	2,01
Quebrada La Chupa	18,20	1,00	3,24	0,66	3,16
Quebrada San Felipe	13,45	0,60	2,26	0,46	2,02
Quebrada Las Pavas	7,52	0	1,27	0,23	2,84
Quebrada San Rafael	15,22	0,60	2,53	0,40	2,98
Quebrada Palmito	19,27	0,01	2,53	0,40	2,31
Río Sinú Bajo	1603,42	295,45	643,31	139,67	0,98
San Carlos 1	13,19	0,02	2,25	0,17	2,14
Quebrada El Chispero	28,76	0,30	4,99	0,97	2,11
Quebrada Cienaguaita	70,95	0,39	14,46	3,03	1,38
Arroyo Grande	176,12	3,09	40,83	8,11	2,71

Tiempos de concentración

Los valores de T_c obtenidos se presentan en la Tabla 6. Al respecto, se evidenció que los valores medios de tiempo por cada subcuenca son muy diferentes entre sí, lo que habla de la influencia que tienen los diferentes parámetros que se relacionan en cada ecuación, siendo las ecuaciones de Bransby-Williams y Pérez (Tabla 1) las que mayores dispersiones exhibieron con respecto a los demás resultados. Sin embargo, hay una excepción en aquellas subcuencas que tienen características similares, en lo referente a su forma y relieve. Para esta investigación lo necesario era obtener T_c , medidos en horas, que más cercanos a la realidad morfométrica de la cuenca estuvieran; ello con la finalidad de poder analizar las ecuaciones seleccionadas y determinar qué tan variables son los resultados entre las mismas (Fang *et al.*, 2008; Dobre *et al.*, 2021; Zolghadr *et al.*, 2022).

Tabla 6. Tiempos de concentración de las subcuencas de la cuenca media del río Sinú, Colombia.

Tiempo de concentración (h)	Quebrada Las Monas	Arroyo El Coco	Quebrada Aguas Blancas	Quebrada La Fe	Quebrada La Chupa	Quebrada San Felipe	Quebrada Las Pavas
Bransby-Williams	124,87	102,97	186,52	137,68	132,67	94,07	148,24
Kirpich	2,25	2,04	3,04	2,58	2,35	1,69	2,30
Johstone y Cross	8,10	7,60	9,87	8,86	8,34	6,74	8,22
Ventura-Heras	14,90	18,54	15,81	19,96	14,76	10,66	8,38
Passini	0,65	0,67	0,82	0,78	0,66	0,49	0,49
Giandotti	7,20	6,95	10,50	8,67	6,68	7,46	8,14
Dirección General de Carreteras	1,03	0,88	1,50	1,13	1,04	0,91	1,26
California Culverts	3,70	2,95	6,60	4,38	3,68	3,23	5,20
Témez	1,96	1,71	2,73	2,15	2,05	1,54	2,11
Valencia y Zuluaga	3,85	4,19	4,08	4,27	3,80	3,40	2,88
Clark	6,47	6,67	8,17	7,75	6,56	4,87	4,89
SCS-Ranser	4,13	3,29	7,36	4,88	4,10	3,61	5,80
Pilgrim y McDermott	3,50	3,48	4,20	3,69	3,47	3,11	2,79
TxDOT	7,32	7,29	9,61	9,24	8,69	6,85	8,37
Ven te Chow	2,34	1,94	3,79	2,69	2,33	2,09	3,11
Pérez	0,08	0,06	0,17	0,10	0,08	0,07	0,13

Tabla 6. Continuación.

Tiempo de concentración (h)	Quebrada San Rafael	Quebrada Palmito	Río Sinu Bajo	San Carlos 1	Quebrada El Chispero	Quebrada Cienaguaita	Arroyo Grande	Media (h)
Bransby-Williams	133,52	106,72	1050,58	62,82	144,70	199,93	339,06	211,74
Kirpich	2,19	2,11	16,77	1,26	3,00	3,62	5,11	3,59
Johstone y Cross	7,96	7,78	29,89	5,57	9,77	11,05	13,82	10,26
Ventura-Heras	10,27	19,52	104,45	12,32	36,03	33,40	26,71	24,69
Passini	0,55	0,70	4,17	0,48	1,12	1,42	1,60	1,04
Giandotti	8,33	5,73	49,57	8,83	12,68	14,66	22,95	12,74
Dirección General de Carreteras	1,18	0,83	5,83	0,74	1,26	1,65	2,76	1,57
California Culverts	4,68	2,59	54,15	2,43	5,34	7,43	16,54	8,78
Témez	2,01	1,77	11,69	1,17	2,36	3,19	4,77	2,94
Valencia y Zuluaga	3,31	4,31	7,98	3,95	5,62	6,35	5,88	4,56
Clark	5,48	7,01	41,73	4,82	11,15	14,17	15,96	10,41
SCS-Ranser	5,22	2,88	60,37	2,71	5,95	8,29	18,44	9,79
Pilgrim y McDermott	3,25	3,62	7,66	3,65	4,64	7,04	7,79	4,42
TxDOT	8,12	8,25	32,45	5,21	9,34	9,02	10,72	10,03
Ven te Chow	2,84	1,74	21,78	1,65	3,18	4,18	8,13	4,41
Pérez	0,11	0,05	3,27	0,05	0,13	0,20	0,61	0,36

Una vez calculada la media de los valores de los T_c obtenidos para la cuenca Media del Sinú con cada una de las ecuaciones; se procedió a calcular la media total de los valores por ecuación la cual aportó un valor de 20,08 h. A partir de este dato se tomaron seis resultados de la Tabla 6 que estuviesen por debajo de la media general (20,08 h) de todos los valores de T_c ; esto para corresponder con el principio del coeficiente de correlación lineal (r), para el cual es necesario incluir en la gráfica de análisis datos con un rango de tiempos cercanos entre sí, que permitan tener una idea de que tan fuerte es la relación lineal entre las variables (Salimi *et al.*, 2017). Los tiempos escogidos se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Tiempos de concentración (T_c) escogidos para el análisis de correlación lineal.

Ecuación	T_c (h)
California Culverts	8,78
SCS-Ranser	9,79
TxDOT	10,03
Johstone y Cross	10,26
Clark	10,41
Giandotti	12,74

Según lo considerado para el análisis de correlación lineal, se incluyen los resultados obtenidos en la gráfica de tipo lineal (Figura 3); donde el eje Y representa los T_c y el eje X las ecuaciones presentadas en la Tabla 7. De esta gráfica se obtuvo una correlación lineal de las variables de 0,8915; cuya interpretación afirma que existe una alta correlación lineal directa positiva entre las variables de T_c de concentración escogidas. Una vez determinada esta correlación entre las variables, se realizó la gráfica lineal de T_c , con el fin de ver representado el comportamiento de los resultados y proceder a calcular el coeficiente de determinación, el cual fue de 0,7948. Este valor siempre se representa en porcentaje, lo que quiere decir que el r^2 de los datos es igual al 79,48 %; demostrando que los mismos siguen una función estrecha y acercada a la línea de regresión, indicando que la varianza de la variable dependiente se logra explicar con el modelo, en este caso, el gráfico. Con esto se puede afirmar que el proceso realizado permite obtener valores de T_c de una cuenca acercados a su realidad morfométrica; y en cuanto más se logró obtener valores cercanos al 100 % de la varianza o que estén por encima de la línea de regresión, los resultados serán satisfactorios (Salimi *et al.*, 2017; González *et al.*, 2020; Dobre *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022).

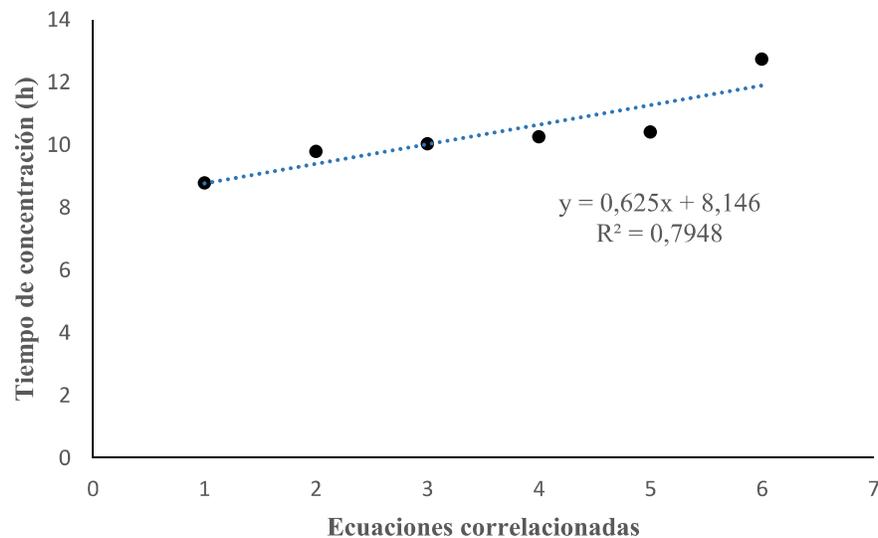


Figura 3. Coeficiente de determinación para los tiempos de concentración de la cuenca del río Sinú, Colombia, según los resultados de la Tabla 7.

En ese mismo orden de ideas, se procedió a calcular el Tc con la ecuación de Temez en el programa ArcGIS 10,8 directamente, con la finalidad de comparar los resultados que se obtienen de la cuenca cuando se calcula el Tc con los parámetros morfométricos basados en los datos espaciales. Al respecto, en la Tabla 8 se observan los Tc obtenidos, donde se evidencia que los resultados tienen una gran dispersión en correspondencia a los Tc presentados en la Tabla 6. Estos resultados no correspondientes se pueden deber a que existen muchos errores a la hora de determinar los parámetros morfométricos de una cuenca con base en la información cartográfica disponible (Salimi *et al.*, 2017), en el sentido que pueden presentarse errores de detalle en las escalas, de tiempo y espacio o una mala topografía de la zona, que hagan variar poco pero significativamente los parámetros morfométricos del lugar de estudio (Burgos, 2005; González *et al.*, 2020).

Tabla 8. Tiempos de concentración para la cuenca del río Sinú, Colombia, calculada con SIG, de acuerdo con la ecuación de Temez.

Subcuenca	Témez (h)
Quebrada Las Monas	3,35
Arroyo El Coco	3,56
Quebrada Aguas Blancas	4,31
Quebrada La Fe	3,45
Quebrada La Chupa	3,46
Quebrada San Felipe	2,45
Quebrada Las Pavas	3,06
Quebrada San Rafael	3,06
Quebrada Palmito	1,85
Río Sinú Bajo	20,88
San Carlos 1	1,83
Quebrada El Chispero	3,78
Quebrada Cienagueta	5,03
Arroyo Grande	7,76
Cuenca media del Sinú	4,84

Por lo anterior, teniendo presente el tipo de cuenca donde se está trabajando, los insumos con los que se cuenta, los niveles de detalle que se tienen para el correcto análisis de la cuenca y la disposición de los parámetros necesarios para calcular estos tiempos, se deberían realizar los cálculos de los Tc de varias maneras, ya sea por medio de los hidrogramas o hietogramas, de forma manual por las ecuaciones empíricas ya establecidas o por medio de los SIG (Fang *et al.*, 2008; Veléz y Botero, 2011), para así contar con un espectro más amplio que permita tener en cuenta todos los posibles casos o varianzas que podrían ocurrir, ya que por ejemplo, en la construcción de obras hidráulicas y de infraestructura deben contarse con valores cercanos a las condiciones reales de la cuenca (morfométricamente hablando), en pro de mejores modelos y resultados (Dobre *et al.*, 2021).

Conclusiones

De acuerdo con los valores determinados la cuenca media del Sinú presenta un Tc que, dependiendo los rasgos físicos de las diferentes subcuencas, oscila entre 8,78 y 12,74 h de transporte, pudiendo aumentar o disminuir dependiendo de la cantidad de variables fisicomorfométricas que se tengan presentes; de igual manera, cuando se estima esta variable por medio de la ecuación de Temez, se obtiene un tiempo muchísimo menor, solo de 4,84 h, lo que permite determinar una falta de correspondencia que representa el 79,48 % de correlación entre los resultados, lo cual debe tenerse presente en cualquier estimación que se quiera realizar con los Tc calculados. Tras el análisis realizado se puede deducir que llevar a cabo un estudio morfométrico de la cuenca facilitó comprender el comportamiento del Tc de cada subcuenca, además de observar cómo todas las variables se ven afectadas por cualquier cambio en su proceder o disposición. Por su parte, los modelos digitales de elevación y resolución espacial del mismo, son indispensable para obtener un resultado óptimo y eficiente de todas las ecuaciones establecidas.

De los parámetros morfométricos calculados se puede concluir que la cuenca del río Sinú es una cuenca con características muy variadas, que hablan de la diversidad en cuanto a formas y relieves que se presentan en la cuenca;

además, permiten vislumbrar la importancia a nivel social y ambiental de tener una buena caracterización de la cuenca, para las estimaciones hidrológicas e hidráulicas que se necesiten realizar. Es así como la estimación del coeficiente de correlación permite entrever la necesidad de analizar de manera detallada cada una de las variables que entran en función cuando se estima el Tc de una cuenca, ya que de ellas va a depender la variabilidad de los modelos que se estén estudiando; y junto con ello, la garantía de que se estén involucrando las variables fundamentales.

Finalmente, se propone buscar una forma de aplicar el método manual por medio del análisis de los resultados con las expresiones empíricas, haciendo uso de los programas existentes para estos trabajos hidrológicos, así como de los datos de hidrogramas o hietogramas, ya que se evidencia una mejor productividad al trabajar con SIG, debido a que el cálculo de variables como el Tc es un análisis determinante en el proceso de construcción de obras civiles y también de planificación del recurso hídrico.

Referencias Bibliográficas

Alarcón, A. J. G., Díaz, S. L. L. (2018). *Estudio hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y la demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para un acueducto interveredal en Nunchía, Casanare*. Trabajo de grado. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Almeida, K. I., Almeida, K. A., Anache, A. J., Steffen, L. J., Sobrinho, A. T. (2014). Estimation on time of concentration of overland flow in watersheds: a review. *UNESP Sao Paulo*, 33, 661-671.

ArcGIS (2014). *ArcGIS resource center* [en línea] disponible en: <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm> [consulta: 17 enero 2021].

ASPROCIG. (2005). El plan maestro de desarrollo integral de la cuenca hidrográfica del río Sinú, Córdoba. *Semillas*, 24, 2-5.

Azizian, A. (2019). Comparison of salt experiments and empirical time of concentration equations. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 172(3), 109-122.

Barranco, L. M., Álvarez, J. (2009). *Cálculo del tiempo de concentración en hidrología con GRASS* [en línea] disponible en: <https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/1378/C12.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [consulta: 17 enero 2021].

Batanero, A. P. (2015). *Utilización de modelos hidráulicos bidimensionales en la determinación del tiempo de concentración*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Bravo, B. F. X. (2019). *Determinación de un tiempo de concentración teórico a partir de la morfometría de la cuenca hidrográfica del río Jubones*. Trabajo de titulación. Cuenca: Universidad Católica de Cuenca.

Burgos, V. H. (2005). *Modelación hidrológica de cuencas piedemontanas uso de sistemas de información geográfica en hidrología superficial*. XX Congreso nacional del agua (CONAGUA 2005). Mendoza: Instituto Nacional de Aguas, 2-15.

Castillo, G. C. L., Abreu, F. D. E., Álvarez, G. M. (2021). Evaluación de distintas fórmulas empíricas para el cálculo del tiempo de concentración en la cuenca urbana del río Bélico y Cubanicy ciudad de Santa Clara. *Enfoque UTE*, 12(3), 51-64.

CVS. (2008). *Plan de gestión ambiental regional – PGAR. Actualización 2008-2019*. Montería: Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge.

Dobre, B., Kovács, I. P., Bugya, T. (2021). Comparison of digital elevation models through the analysis of geomorphic surface remnants in the Desatoya Mountains, Nevada. *Transactions in GIS*, 25(5), 2262-2282.

Fang, X., Thompson, D. B., Cleveland, T. G., Pradhan, P., Malla, R. (2008). Time of concentration estimated using watershed Parameters Determined by Automated and Manual Methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(2), 202-211.

Fernández, A., Gonzalo, O. (2012). *Caracterización morfológica de la cuenca hidrográfica Chinchao, distrito de Chinchao*. Trabajo de grado. Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Ferreira, P., Allasia, D., Tassi, I., Fensterseifer, P. (2018). *Correcao da estimativa do tempo de concentracao através do método de Kirpich para algumas bacias urbanas brasileira*. XXII simpósio brasileiro de recursos hídricos (XXII SBRH). Florianópolis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2-5.

Ghosh, M., Gope, D. (2021). Hydro-morphometric characterization and prioritization of sub-watersheds for land and water resource management using fuzzy analytical hierarchical process (FAHP): a case study of upper Rihand watershed of Chhattisgarh State, India. *Applied Water Science*, 11(2), 1-20.

González, Á. Á., Molina, P. J., Meza, Z. B., Vilorio, M. O. M., Tesfagiorgis, K., Mouthón, B. J. A. (2020). Assessing the performance of different time of concentration equations in urban ungauged watersheds: case study of Cartagena de Indias, Colombia. *Hydrology*, 7(3), 47.

IDEAM. (2021). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales de Colombia* [en línea] disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/aguas-superficiales> [consulta: 18 febrero 2021].

IGAC. (2021). *Instituto Geográfico Agustín Codazzi* [en línea] disponible en: <https://www.igac.gov.co/> [consulta: 25 febrero 2021].

Materano S. L. (2015). Caracterización morfológica de una cuenca hidrográfica en los Andes venezolanos a través de teledetección y SIG. *Revista Academia*, 14(34), 43-54.

Martínez, Á. V. (2006). Determinación del tiempo de concentración con sistemas de información geográfica. *Ingeniería del Agua*, 13(4), 303-306.

Ramón, M. H., Ibáñez, A. S., Blanquer, G. J. M. (2011). *Métodos para la determinación del tiempo de concentración (Tc) de una cuenca hidrográfica* [en línea] disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10779/Tiempo%20de%20concentraci%C3%B3n.pdf> [consultado: 12 enero 2021].

Rivas, R. D. C., Ángel, M., Rivas, M. (2019). *Delimitación hidrográfica y caracterización morfológica de la cuenca del río Metica A*. Trabajo de grado. Villavicencio: Universidad Cooperativa de Colombia.

Salimi, E. T., Nohegar, A., Malekian, A., Hoseini, M., Holisaz, A. (2017). Estimating time of concentration in large watersheds. *Paddy Water Environ*, 15(1), 123-132.

Sandoval, E. W. R., Aguilera, O. E. P. (2015). Determinación de caudales en cuencas con poca información Hidrológica. *Ciencia UNEMI*, 7(12), 100-110.

Sandoval-Eraza, W., Toulkeridis, T., Rodriguez, E. F., Mora, M. J. M. (2018). Velocity and time of concentration of a basin - A renewed approach applied in the Rio Grande Basin, Ecuador. *The 4th International conference on water resource and environment (WRE 2018), IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 191, 2-8.

Silva, J. R. I., Montenegro, A. A., Farias, C. W. L., Jardim, A. M., Silva, T. G. F., Montenegro, S. M. G. L. (2022). Morphometric characterization and land use of the Pajeú river basin in the Brazilian semi-arid region. *Journal of South American Earth Sciences*, 118, 103939.

Valbuena, G. D. L. (2017). *Geomorfología y condiciones hidráulicas del sistema fluvial del río Sinú, integración multiescalar 1945-1999-2016*. Tesis maestría. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Vélez, U. J. J., Botero, G. A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. *Dyna*, 165, 58-71.

Wong, T. S. (2005). Assessment of time of concentration formulas for overland flow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(4), 383-387.

Wong, T. S. W., Chen, C. N. (1997). Time of concentration formula for sheet flow of varying flow regime. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2(3), 136-139.

Zolghadr, M., Rafiee, M. R., Esmailmanesh, F., Fathi, A., Tripathi, R. P., Rathnayake, U., Gunakala, S. R., Azamathulla, H. M. (2022). Computation of time of concentration based on two-dimensional hydraulic simulation. *Water*, 14(19), 3155.

Editor Asociado: *Gustavo Adolfo Morillo Díaz* 
Centro de Investigación del Agua, Facultad de Ingeniería,
Universidad del Zulia, Maracaibo, 4001, Venezuela.
gmorillo@fing.luz.edu.ve



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Volumen 46. Año 2023, Edición continua _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada
en julio 2023, por el **Fondo Editorial Serbiluz,**
Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
www.produccioncientificaluz.org