



Investigación y Ciencia

ISSN: 1665-4412

ISSN: 2521-9758

revistaiyc@correo.uaa.mx

Universidad Autónoma de Aguascalientes

México

Álvarez-Soberano, Abner; Medrano-Pérez, Ojilve Ramón
Caracterización geomorfológica de la subcuenca río Mezcalapa,
región hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH-30) en sureste de México
Investigación y Ciencia, vol. 28, núm. 80, 2020, pp. 32-44
Universidad Autónoma de Aguascalientes
México

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67464474004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org
UAEM

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Caracterización geomorfológica de la subcuenca río Mezcalapa, región hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH-30) en sureste de México

Geomorphological characterization of the Mezcalapa river sub-basin, Grijalva-Usumacinta hydrological region (RH-30) in southeastern Mexico

 Abner Álvarez-Soberano*, Ojilve Ramón Medrano-Pérez**[✉]

Álvarez-Soberano, A., & Medrano-Pérez, O. R. (2020). Caracterización geomorfológica de la subcuenca río Mezcalapa, región hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH-30) en sureste de México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 32-44.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo principal caracterizar la geomorfología de la subcuenca río Mezcalapa en la región hidrológica Grijalva-Usumacinta en el sureste de México usando sistemas de información geográfica (SIG) y una serie de parámetros morfométricos con la finalidad de analizar y comprender el comportamiento morfodinámico e hidrológico de esta subcuenca. Si bien los resultados obtenidos explican el comportamiento hidromorfométrico en la subcuenca, las características hidrológicas y sedimentológicas del río Mezcalapa están definidas por la política de operación de la presa Peñitas (nombre oficial: presa Ángel Albino Corzo). Con esta investigación se busca contribuir y fortalecer el conocimiento local, como también favorecer la toma de decisiones en los temas de ordenamiento territorial, protección civil, infraestructura y políticas públicas.

Palabras clave: región hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH-30); geomorfología; hidromorfología; inundaciones; río Mezcalapa; ordenamiento territorial.

Keywords: Grijalva-Usumacinta hydrological region (RH-30); geomorphology; hydromorphology; floods; Mezcalapa river; territorial planning.

Recibido: 11 de julio de 2019, aceptado: 23 de junio de 2020

* División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Carretera Cunduacán-Jalpa KM. 1, Col. La Esmeralda, C. P. 86690, Cunduacán, Tabasco, México. Correo electrónico: abner_0129@hotmail.es. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5025-9390>

** Cátedra Conacyt- Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A. C. Calle Centenario Instituto Juárez S/N, Col. Reforma, C. P. 86080, Villahermosa, Tabasco, México. Correo electrónico: ojilve.medrano@ccgs.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5445-1136>

[✉] Autor para correspondencia

ABSTRACT

The main objective of this work is to characterize the geomorphology of the Mezcalapa river sub-basin in the Grijalva Usumacinta hydrological region in southeastern Mexico using Geographic Information Systems (GIS) and morphometric parameters with the purpose of analyzing and understanding the morphodynamic and hydrological behavior of this sub-basin. Although the results obtained are explained the hydro-morphometric behavior in the sub-basin, the hydrological and sedimentological characteristics of the Mezcalapa river are defined by the operation policy of the Peñitas dam. This research seeks to contribute and strengthen local knowledge, as well as favor decision-making on issues of territorial planning, civil protection, infrastructure, and public policies.

INTRODUCCIÓN

El estudio de las cuencas hidrológicas ha tomado mayor relevancia en años recientes con la finalidad de proteger y conservar los recursos naturales (Viramontes Olivas, Pinedo Álvarez, Reyes Gómez, Muñoz Robles, & Núñez-López, 2015). El manejo de los mismos presenta cierto grado de dificultad, pues la problemática originada en zonas altas de una cuenca puede afectar a poblaciones, actividades productivas y ecosistemas de las zonas bajas, dependiendo de su posición en el territorio (Cotler & Care, 2009). La cuenca como unidad territorial de análisis y gestión representa la interrelación espacial de las sociedades rurales y urbanas con su ambiente (Menchaca-Dávila & Alvarado-Michi, 2011).

El análisis de los parámetros morfométricos es fundamental para la comprensión e interpretación del comportamiento morfodinámico e hidrológico

de una cuenca, así como para determinar indirecta y cualitativamente la estructura, características y formas de los hidrogramas resultantes de eventos de crecidas (Méndez & Marcucci, 2006). Por consiguiente, este tipo de análisis describe la geomorfología mediante parámetros matemáticos que disminuyen la subjetividad en las conclusiones resultantes (Cruz-Romero, Gaspari, Rodríguez Vagaría, Carrillo González, & Téllez López, 2015). Las propiedades morfométricas de las cuencas (tamaño, forma y pendiente) modifican el comportamiento del caudal y de las crecidas, y resultan claves en la respuesta del primero, pudiendo atenuar o intensificar las crecidas (González De Matauco, 2004). A su vez, el uso de SIG ha potenciado los estudios morfométricos (Cruz-Romero et al., 2015).

Los parámetros morfométricos se han utilizado en distintas zonas del mundo en el estudio de cuencas o microcuencas, siendo claves en el análisis del funcionamiento y la respuesta hidrológica de las cuencas. En particular, Gaspari et al. (2012) caracterizan la morfometría de la cuenca alta del río Sauce Grande, Argentina, mediante sistemas de información geográfica (SIG) y la interpretación de imágenes satelitales como base para el sistema de pago por servicios ambientales. En cambio, González De Matauco (2004) analiza la morfometría de la cuenca del río Zadorra, España, para determinar la influencia de factores en la intensificación o posible atenuación de las crecidas en esta cuenca. Igualmente, Guerra y González (2002) realizaron una caracterización morfométrica empleando mapas de la cuenca de la quebrada la Bermeja en San Cristóbal, Venezuela, para conocer el comportamiento de la red de drenaje y la evolución hipsométrica, y así identificar los sectores hidrográficos y proponer una subdivisión de la cuenca.

En el caso de México, Mariscal-Romero, Chávez-González y Arciniega-Flores (2019) caracterizan físicamente mediante diferentes parámetros e índices hidrográficos el área de drenaje de la Bahía de Navidad, Jalisco, para identificar y definir con mayor precisión el comportamiento hidrográfico de las subcuencas de esta zona. A su vez, Ramírez-García, Cruz-León, Sánchez-García y Monterroso-Rivas (2015) caracterizaron la morfometría de la subcuenca del río Moctezuma, Sonora, mediante SIG con la finalidad de formular estrategias de desarrollo sustentable. En cambio, Salas-Aguilar, Pinedo-Álvarez, Varamontes-Olivas, Báez-González y Quintana-Martínez (2011) caracterizaron la morfometría de la cuenca de río Nazas-Rodeo, Durango, como apoyo para la planeación y gestión de recursos naturales y preven-

ción de desastres. De igual manera, Cruz-Romero et al. (2015) utilizan las cartas topográficas del INEGI y el software Idrisi Taiga® para realizar el análisis morfométrico de la cuenca del río Cuale, en Jalisco, como base para la planeación territorial. En definitiva, estos estudios muestran la relación del agua con el medio físico, siendo este aspecto clave para la toma de decisión en temas como el ordenamiento territorial, la planeación y la gestión de los recursos naturales, así como la mitigación y la adaptación ante fenómenos naturales, donde las cuencas representan el espacio de interrelación entre la dinámica natural y las actividades antrópicas.

El sureste de México es reconocido, entre otras cosas, por su alta vulnerabilidad ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos (Valdés-Manzanilla, 2016), donde históricamente territorios como Tabasco han estado expuestos a los efectos adversos de estos fenómenos (Arreguín-Cortés, Rubio-Gutiérrez, Domínguez-Mora, Luna-Cruz, 2014). Tan solo entre 2007 y 2011 se han producido cinco inundaciones consecutivas, con pérdidas significativas en infraestructura en Tabasco y Chiapas. Un ejemplo de la magnitud de estas pérdidas se tiene en la inundación de 2007 en Tabasco, la cual causó pérdidas del orden de los 3,000 millones de dólares, al resultar afectada 80% del área estatal y alrededor de 1 millón de personas quedar sin hogar (Santos-Reyes, Alvarado-Corona, & Olmos-Peña, 2010; Valdés-Manzanilla, 2016). Consecuentemente, la abundancia y dinámica hídrica de esta región contribuye en parte a agravar los efectos adversos relacionados, pues dos de los ríos más caudalosos del país configuran los estados de Chiapas y Tabasco, como lo establece la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2010).

La cuenca Grijalva es la más poblada de la frontera sur, estimándose en 3,635,377 habitantes en la zona, la cual se concentra en 15,000 núcleos de población, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Asimismo, de acuerdo con García-García (2011) es la cuenca más intervenida por programas gubernamentales de la frontera sur de México y donde se produce cerca de 40% de la energía hidroeléctrica del país. Dentro de ella, en su parte baja, se encuentra ubicada la subcuenca río Mezcalapa, la cual posee un área de 1,281.8 km² y una longitud del curso principal de 168.2 km (figura 1).

Respecto a su morfología, el río Mezcalapa, aguas abajo de la Presa Ángel Albino Corzo (Peñitas), está configurado sobre la base de las crecientes que escurren en él, y sus condiciones hidrológicas y sedimentológicas se ajustan continuamente a las

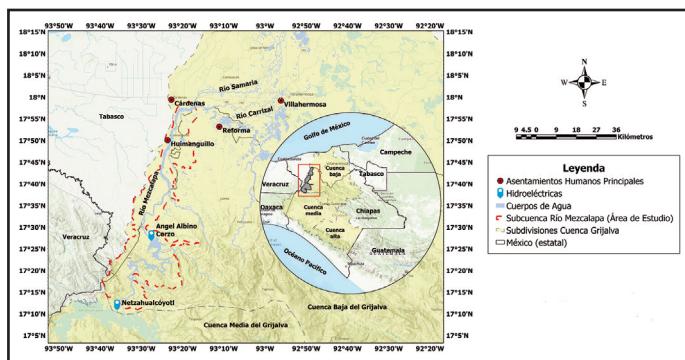


Figura 1. Ubicación de la subcuenca río Mezcalapa.

Elaboración propia con información espacial de Airbus DS (s. f.), CGIAR (s. f.), Esri (s. f.), FAO (s. f.), FEMA (s. f.), Garmin (s. f.), Geodatasyrelsen (s. f.), Geoland (s. f.), GISUser Community (s. f.), Gobierno de México (s. f.), GSA (s. f.), HERE (s. f.), INEGI (s. f.), Inter-map (s. f.), NASA (s. f.), NCEAS (s. f.), NGA (s. f.), NLS (s. f.), NMA (s. f.), NOAA (s. f.), N Robinson (s. f.), Open StreetMap Contributors (s. f.), OS Geo (s. f.), Rijkswaterstaat (s. f.), USGS (s. f.).

crecientes y a la operación de esta presa. El sistema del río Mezcalapa ha tenido diversas modificaciones por causa de las bifurcaciones del cauce, las cuales producen nuevos conductos en épocas de grandes avenidas y fuerza erosiva. Tal es el caso de la bifurcación de Nueva Zelandia en 1675, la Pigua en 1904, el Samaria en 1932 y en Boca de Zavala en el río Samaria en 1955 (Tudela, 1989). Esta zona se encuentra afectada por un proceso acelerado de sedimentación y cambios morfológicos asociado a intervenciones antrópicas, como el sistema de presas del Grívalva y otras obras de control en la zona, siendo esto un aspecto clave en la dinámica morfológica del río Mezcalapa. Por tanto, se considera que el actual río Mezcalapa es el resultado de continuos aluviones que formaron la bifurcación Mezcalapa - Samaria - Carrizal (Mendoza, Soto-Cortés, Priego-Hernández, & Rivera-Trejo, 2019).

Desde esa perspectiva, el objetivo de esta investigación es caracterizar la geomorfología de la subcuenca río Mezcalapa a través de sus parámetros morfométricos con la finalidad de analizar y comprender el comportamiento morfodinámico e hidrológico de esta subcuenca. Dado el alto grado de exposición a eventos de inundación de la zona, las conclusiones de este estudio pueden favorecer la investigación y la toma de decisión en torno al ordenamiento territorial, inundaciones, protección civil, infraestructura y políticas públicas.

Área de estudio

La subcuenca del río Mezcalapa se localiza al sureste de México entre los estados de Tabasco y Chiapas,

y tiene una superficie de 1,281.8 km² (figura 1). Su principal afluente es el río Mezcalapa y aporta su caudal a las subcuencas El Carrizal y Samaria (figura 2a). Este río atraviesa el municipio de Huimanguillo, Tabasco, siguiendo su curso hasta la bifurcación en los ríos Samaria por su margen izquierda y el río Carrizal por su margen derecha. Según el INEGI, a 2010 la población de la subcuenca se estimó en 80,000 habitantes distribuidos en los municipios chiapanecos de Francisco León, Ostuacán, Tecpatán y Reforma, además del municipio de Huimanguillo, Tabasco (figura 2b).

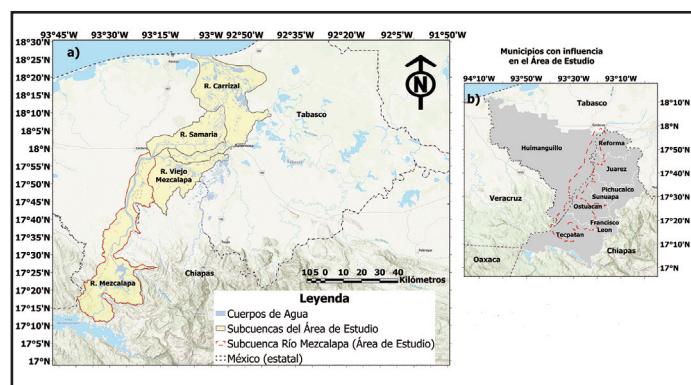


Figura 2. a) Área de estudio y subcuencas receptoras; b) municipios con influencia en el área de estudio.

Elaboración propia con información espacial de Airbus DS (s. f.), CGIAR (s. f.), Esri (s. f.), FAO (s. f.), FEMA (s. f.), Garmin (s. f.), Geodatasyrelsen (s. f.), Geoland (s. f.), GISUser Community (s. f.), Gobierno de México (s. f.), GSA (s. f.), HERE (s. f.), INEGI (s. f.), Inter-map (s. f.), NASA (s. f.), NCEAS (s. f.), NGA (s. f.), NLS (s. f.), NMA (s. f.), NOAA (s. f.), N Robinson (s. f.), Open StreetMap Contributors (s. f.), OS Geo (s. f.), Rijkswaterstaat (s. f.), USGS (s. f.).

La vegetación característica es tular-popal, propia de zonas de pantanos, además de vegetación de sabana, y en menor grado selva baja perennifolia (figura 3a). En cuanto a los suelos, se asocia principalmente a los gleysoles, vertisoles y fluvisoles, relativamente profundos (figura 3b). Asimismo, el área de estudio se caracteriza por valores de elevación de entre 13 y 1,028 m s. n. m., aunque gran parte de la zona puede considerarse de baja elevación (figura 3c).

Desde la perspectiva geológica y litológica (figura 4a y 4b, respectivamente) la subcuenca en la parte alta en territorio chiapaneco está constituida por rocas y sedimentos de origen Terciario y Cuaternario, predominando en superficie las lutitas y areniscas del Terciario. A su vez, la parte baja de la subcuenca en la planicie del estado de Tabasco está conformada por rocas sedimentarias como calizas, areniscas y depósitos evaporíticos, y aluviones.

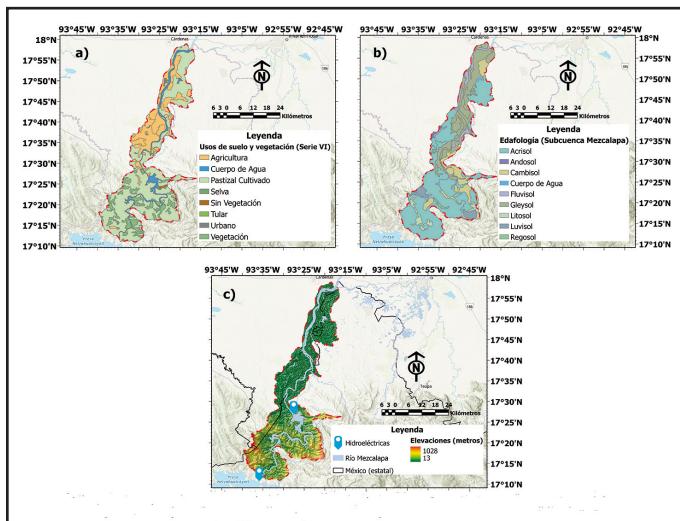


Figura 3. Características del área de estudio: a) Uso de suelo y vegetación; b) edafología; c) elevación.

Elaboración propia con información espacial de Airbus DS (s. f.), CGIAR (s. f.), CONABIO (s. f.), Esri (s. f.), FAO (s. f.), FEMA (s. f.), Garmin (s. f.), Geodatasyrelsen (s. f.), Geoland (s. f.), GISUser Community (s. f.), Gobierno de México (s. f.), GSA (s. f.), HERE (s. f.), INEGI (s. f.), Intermap (s. f.), NASA (s. f.), NCEAS (s. f.), NGA (s. f.), NLS (s. f.), NMA (s. f.), NOAA (s. f.), N Robinson (s. f.), Open StreetMap Contributors (s. f.), OS Geo (s. f.), Rijkswaterstaat (s. f.), USGS (s. f.).

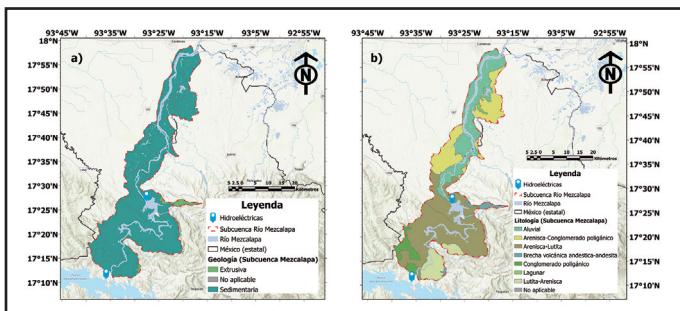


Figura 4. a) Características geológicas y b) litológicas del área de estudio.

Elaboración propia con información espacial de Airbus DS (s. f.), CGIAR (s. f.), Esri (s. f.), FAO (s. f.), FEMA (s. f.), Garmin (s. f.), Geodatasyrelsen (s. f.), Geoland (s. f.), GISUser Community (s. f.), Gobierno de México (s. f.), GSA (s. f.), HERE (s. f.), INEGI (s. f.), Intermap (s. f.), NASA (s. f.), NCEAS (s. f.), NGA (s. f.), NLS (s. f.), NMA (s. f.), NOAA (s. f.), N Robinson (s. f.), Open StreetMap Contributors (s. f.), OS Geo (s. f.), Rijkswaterstaat (s. f.), USGS (s. f.).

MATERIALES Y MÉTODOS

"Las características físicas en hidrología son las concernientes a la cuenca, red de drenaje y cauce principal" (Viera-Briones, López-Santos, González-

Barrios, & Trucios-Caciano, 2012, p. 23). El estudio se desarrolló con datos de la subcuenca río Mezcalapa. Se realizó el análisis de cada uno de los parámetros morfométricos con el fin de comprender las relaciones existentes entre ellos y su significado para posterior análisis.

La metodología de parametrización se derivó de modelos digitales de elevación a escala 1:50,000, igual que la capa vectorial del área de la subcuenca en estudio, obtenidos del portal del INEGI. De manera complementaria, algunos valores de parámetros morfométricos se determinaron mediante las expresiones matemáticas mostradas en la tabla 1.

En el caso de los parámetros de relieve, se calcularon la pendiente media del cauce principal y de la cuenca, y la altitud media de la cuenca. Para los de drenaje, se calcularon la densidad de drenaje, número de escurrimiento, frecuencia de ríos, extensión media del escurrimiento superficial y tiempo de concentración. En cuanto a la forma se calcularon el índice de compacidad, factor de forma, coeficiente de circularidad e índice de alargamiento de Horton.

RESULTADOS

Se ha realizado una caracterización geomorfológica de la subcuenca del río Mezcalapa mediante SIG junto a expresiones matemáticas para los parámetros morfométricos. Los resultados se presentan en la tabla 2 y abarcan los siguientes aspectos morfométricos: a) generales, b) forma del relieve, c) red de drenaje, d) forma de la cuenca.

En primer lugar, desde la perspectiva de los parámetros morfométricos generales, la subcuenca posee un área de 1,281.88 km², un perímetro de 352.88 km, una longitud del cauce principal es de 168.2 km, y un desnivel altitudinal de 1,000 m s. n. m. En segundo término, los resultados obtenidos para los parámetros asociados a la forma del relieve muestran que el valor obtenido de la pendiente media del cauce principal ha sido de 8.51% y de 6.4% para la pendiente media de la subcuenca río Mezcalapa.

Además, la subcuenca posee una altitud media entre baja a moderada (110 m s. n. m.), influenciada por la cota máxima de su cabecera en la presa de Malpaso (nombre oficial: presa Nezahualcóyotl). Adicionalmente, cerca de 50% de la altitud del cauce principal en su parte media-alta se encuentra entre 60 y 190 m (tramo A-B en la figura 5), en cam-

Tabla 1
Parámetros morfométricos

| Parámetros de forma | |
|---|--|
| Índice de compacidad (Gravelius) | $Kc = \frac{(.282)(Pc)}{\sqrt{A}}$ |
| Factor de forma | $Ff = \frac{A}{L^2}$ |
| Coeficiente de circularidad de Miller | $Cc = 4\pi \frac{A}{p^2}$ |
| Índice de alargamiento (Horton) | $Ia = \frac{La}{a}$ |
| Parámetros de relieve | |
| Pendiente media de la cuenca | $J = 100 * \frac{(\sum Li)(E)}{A}$ |
| Altitud media de la cuenca | $Hmed = \frac{(\sum hi . Si)}{A}$ |
| Pendiente media del cauce principal | $Sm = \frac{Hmáx - Hmín}{Lc}$ |
| Parámetros relativos a la red drenaje | |
| Densidad de drenaje | $D = \frac{\sum L}{A}$ |
| Frecuencia de ríos | $Fr = \frac{Nc}{A}$ |
| Extensión media del Escurrimiento Superficial | $Es = \frac{A}{4Li}$ |
| Tiempo de concentración | $\text{Kirpich: } Tc = 0.06626 * \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0.385}$ $\text{California: } Tc = \left(\frac{0.87L^3}{H} \right)^{0.385}$ $\text{Pizarro: } Tc = 13.548 \left(\frac{L^2}{H} \right)^{.77}$ |

Nota: Elaboración propia con datos de Córdoba (30 de abril de 2006), IBAL (2009), INE (2004), Viramontes Olivas et al. (2015).

Tabla 2
Parámetros morfométricos de la subcuenca río Mezcalapa

| PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES | | | |
|---|-----------------|----------------|---|
| Parámetro | Unidad | Símbolo | Valor |
| Perímetro | km | P | 352.88 |
| Área | km ² | A | 1 281.88 |
| Longitud cauce principal | km | LCP | 168.2 |
| Desnivel altitudinal | m s. n. m. | DA | 1 000 |
| ASOCIADOS A LA FORMA DEL RELIEVE | | | |
| Cota máxima | m s. n. m. | Cmax | 1 020 |
| Cota mínima | m s. n. m. | Cmin | 20 |
| Altitud media de la cuenca | m s. n. m. | Am | 110 |
| Pendiente promedio de la cuenca | % | Smed | 6.4 |
| Altitud máxima del cauce | m s. n. m. | Amxc | 185 |
| Altitud mínima del cauce | m s. n. m. | Aminc | 24 |
| Altitud media del cauce | m s. n. m. | Amedc | 104.7 |
| Pendiente promedio del cauce | % | Sc | 8.51 |
| ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJES | | | |
| Densidad de drenaje | | D _d | 1.8 |
| Frecuencia de ríos | | Fr | 0.027 |
| Número de escorrentías | | N _e | 139 |
| Extensión media del Escurrimiento Superficial | | Es | 0.530 |
| | Horas | | 1.67 (Kirpich) |
| Tiempo de concentración | Horas | T _c | 24.951 (California) |
| | Minutos | | 177.35 (Pizarro) |
| ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA | | | |
| Longitud de la cuenca | km | D | 92.5 |
| Coeficiente y/o Factor de forma | m/m | Kf | 0.15--> Alargada |
| Coeficiente de compacidad | m/m | Kc | 2.78--> De oval redonda a rectangular oblonga |
| Coeficiente de circularidad (redondez) | m/m | CC | 0.13--> Escasa circularidad |
| Índice de alargamiento (Horton) | km/km | Li | 6.3 Muy alargada |

Nota: Elaboración propia.

bio en la parte baja los valores se mantienen por debajo de 60 m (tramo B-C en la figura 5), propios de la cuenca baja del Grijalva y la planicie del estado de Tabasco.

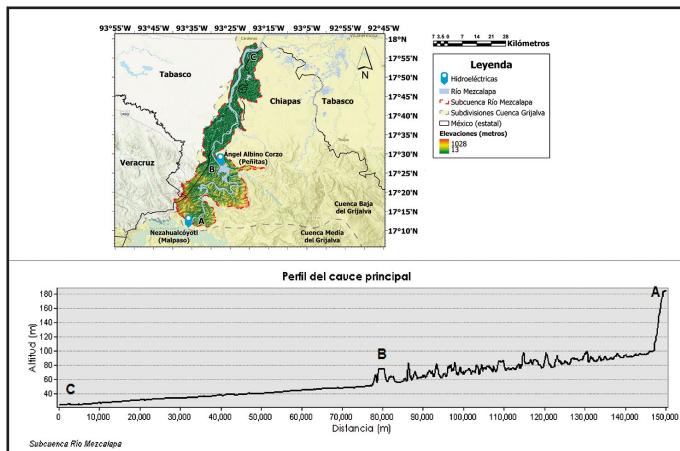


Figura 5. Espacialidad y perfil longitudinal del cauce principal. Elaboración propia con información espacial de Airbus DS (s. f.), CGIAR (s. f.), Esri (s. f.), FAO (s. f.), FEMA (s. f.), Garmin (s. f.), Geodatasyrelsen (s. f.), Geoland (s. f.), GISUser Community (s. f.), GSA (s. f.), HERE (s. f.), Intermap (s. f.), NASA (s. f.), NCEAS (s. f.), NGA (s. f.), NLS (s. f.), NMA (s. f.), NOAA (s. f.), N Robinson (s. f.), Open StreetMap Contributors (s. f.), OS Geo (s. f.), Rijkswaterstaat (s. f.), USGS (s. f.).

En tercer lugar, de los resultados obtenidos para los parámetros asociados a la red de drenaje destaca el valor obtenido para la densidad de drenaje en la subcuenca es de 1.8, se puede clasificar como moderado a bajo, siendo un valor característico de áreas de drenaje bajo. En cuanto al número de escurrimientos, el valor obtenido para la subcuenca ha sido de 139. Con respecto al tiempo de concentración, el valor determinado ha sido de aproximadamente 177 minutos (Pizarro), el cual ha sido calculado mediante tres fórmulas empíricas (Kirpich, California y Pizarro), pero para fines de análisis se ha decidido usar el resultado obtenido por la expresión de Pizarro, al ser considerada más eficiente y práctica, como lo indica el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2004).

Respecto a los parámetros asociados a la forma de la cuenca los valores obtenidos para el factor de forma (0.15) y el índice de alargamiento de Horton (6.3) indican una morfología alargada de la subcuenca; mientras que el coeficiente de circularidad de 0.13 indica un nivel escaso de la misma. Respecto al coeficiente de compacidad de 2.78, señala una tendencia menor a concentrar volúmenes de agua de escurrimientos.

En relación con la curva hipsométrica, los resultados se muestran en la figura 6, y para el caso del orden de las corrientes de la subcuenca se obtuvo un valor de 4 con clasificación media (INE, 2004) (figura 7).

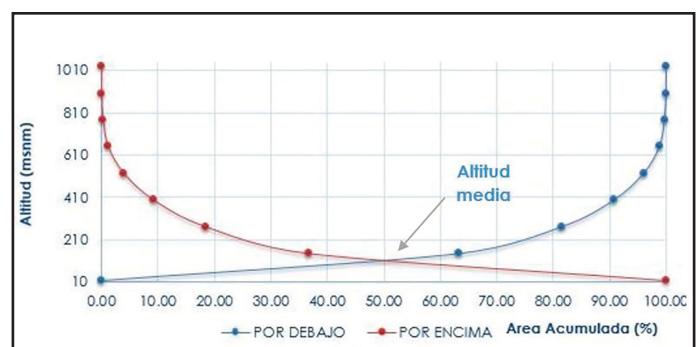


Figura 6. Curva hipsométrica de la subcuenca río Mezcalapa. Elaboración propia.

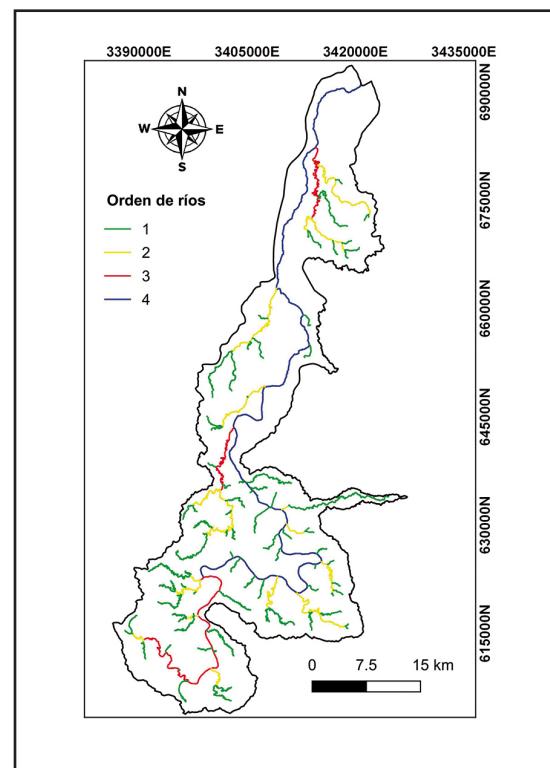


Figura 7. Orden de las corrientes de la subcuenca río Mezcalapa usando el método de Strahler. Elaboración propia.

Como resumen, en la tabla 3 se muestra la clasificación de las características geomorfológicas relevantes de la subcuenca en estudio.

Tabla 3

Resumen de la clasificación de las características morfométricas principales de la subcuenca río Mezcalapa

| Morfometría | Subcuenca Mezcalapa | Clasificación |
|--|---------------------|---------------------------------------|
| Perímetro (km): | 352.88 | - |
| Longitud cauce principal (km): | 168.2 | Largo |
| Ancho cuenca (km): | 14.3 | - |
| Elevación media (m s. n. m.): | 170.9 | Baja |
| Área (km ²): | 1 281.88 | Intermedia-Grande |
| Cota mínima (m s. n. m.) | 20 | - |
| Cota máxima (m s. n. m.) | 1 020 | - |
| Desnivel altitudinal (m s. n. m.): | 1 000 | Bajo |
| Kf ¹ : | 0.15 | Muy poco achatada |
| Kc ² : | 2.78 | De oval redonda a rectangular oblonga |
| Lj ³ : | 6.2 | Muy alargada |
| Orden | 4 | Medio |
| Densidad de drenaje (km/km ²): | 1.8 | Baja |
| Número de escurrimientos: | 139 | Bajo |
| Pendiente del cauce principal (%): | 8.51 | Moderada |
| T _c (min) ⁴ : | 177.35 (Pizarro) | Lento |

Nota: ¹Coeficiente de forma; ²coeficiente de compacidad; ³índice de alargamiento; ⁴tiempo de concentración (Pizarro).

DISCUSIÓN

El uso, procesamiento y obtención de información mediante SIG a partir de un modelo digital de elevación es cada vez más relevante para el estudio, el cálculo de parámetros morfométricos y el análisis de ambientes geomorfológicos, son clave para evaluar de manera sistematizada el funcionamiento hidrológico y la descripción de una cuenca (Cruz-Romero et al., 2015).

De los resultados obtenidos en los parámetros generales y de formas del relieve, si se considera la clasificación de Campos Aranda (1992), se muestra que la subcuenca es de tamaño intermedia-grande. Respecto a la longitud del cauce obtenida (168.2 km), de acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2004) esta tiene influencia en la mayoría de los parámetros y se considera que una mayor longitud del cauce se puede traducir en un mayor tiempo de concentración de las crecidas en una cuenca particular. Factores como la pendiente son condicionantes claves en el tiempo de desplazamiento de las crecidas en una cuenca determinada. En este sentido, el valor obtenido de la pendiente media del cauce principal, interpretado por la Empresa Iba-

guereña de Acueducto y Alcantarillado (IBAL, 2009) en otros estudios, refleja un valor moderado clasificado como pendiente suave que no afecta al flujo de sedimentos, mientras que la pendiente media de la subcuenca Mezcalapa corresponde a un relieve accidentado medio donde la escorrentía puede pasar de moderada a rápida dependiendo de la magnitud de las precipitaciones.

Respecto a los parámetros asociados a la red de drenaje de la subcuenca se tienen dos aspectos claves: a) la densidad de drenaje, y, b) el tiempo de concentración. Por un lado, la subcuenca Mezcalapa posee una densidad de drenaje considerada dentro de un rango moderado-bajo, el cual puede indicar una moderada-baja capacidad de drenaje y una lenta respuesta hidrológica (INE, 2004). Adicionalmente, Cruz-Romero et al. (2015) consideran que los valores bajos de la densidad de drenaje pueden estar asociados a bajos volúmenes de escurrimiento y bajas velocidades de desplazamiento del agua, pudiendo generar moderados ascensos en las corrientes. Sin embargo, al tenerse una pendiente media del cauce principal moderada con valor de 8.51%, los efectos de la densidad de drenaje en la subcuenca del río Mezcalapa pueden verse condicionados por la pendiente media del cauce.

De acuerdo con Gil, Gentili y Ocampo (2009) la densidad de drenaje es un factor controlado por la litología, donde los valores bajos de este factor se asocian a zonas de gran masividad litológica, de materiales muy permeables y con alta infiltración, características que se encuentran presentes en la subcuenca del río Mezcalapa. En particular, respecto a la litología previamente descrita para la subcuenca predominan la arenisca-lutita en la parte alta de la zona chiapaneca y una llanura de materiales aluviales en la parte baja de la planicie tabasqueña correspondiente al área estudiada. Por tanto, la subcuenca del río Mezcalapa presenta materiales considerados muy permeables y con alta infiltración.

En cuanto al número de escurrimiento obtenido de 139, puede ser un indicador de energía de la subcuenca, de la capacidad y magnitud de la captación de agua y de la red fluvial, según reporta el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2004). El tiempo de concentración de la subcuenca fue de 177 min, considerado lento (INE, 2004). De acuerdo con los datos de IBAL (2009) un distintivo en las cuencas alargadas es que para cada punto este parámetro es distinto. Sin embargo, cabe mencionar que al tratarse la subcuenca río Mezcalapa de una cuenca alargada y que los valores obtenidos han sido mediante fórmulas empíricas (Kirkpich, California y Pizarro), estos muestran variaciones significativas entre uno y otro valor obtenido. Asimismo, Sánchez-San Román (2017) señala que la variabilidad en torno al tiempo de concentración se debe a que las expresiones matemáticas fueron obtenidas para describir cuencas específicas, por lo que estos valores deben manejarse con precaución.

En la práctica existe una confusión evidente ante las múltiples definiciones y métodos de estimación del tiempo de concentración reportados en la literatura (Beven, 2020). En particular, este parámetro representa un indicador clave para la comprensión del comportamiento y la respuesta hidrológica de una cuenca a la precipitación, pues implica cuán rápida o lenta es su respuesta a un evento de precipitación en términos del tiempo necesario para que el agua fluya desde el punto hidrológico más distante hasta el punto de salida (Amiri, Gao, Fohrer, & Adamowski, 2019). En igual sentido, Salimi, Nohegar, Malekian, Hoseini y Holisaz (2017) consideran este parámetro clave para predecir la respuesta de una cuenca hidrográfica a un evento de lluvia específico, jugando un papel fundamental en la simulación lluvia-escorrentía. Por tanto, un mayor conocimiento del comportamiento de este parámetro es fundamental para la planificación territorial en zonas con

alta exposición a las inundaciones mediante modelos de respuesta hidrológica.

En cuanto a los métodos de cálculo del tiempo de concentración se tienen el hidrograma o hietograma para la toma de datos de lluvias y caudales; si se toma en cuenta que el tiempo de concentración se puede expresar en función del tiempo de rezago (Vélez-Upegui & Botero-Gutiérrez, 2011), y los llamados métodos empíricos compuestos por un sinúmero de fórmulas matemáticas, que se han usado como estimación en el presente estudio. No obstante, se reitera la variabilidad existente entre los resultados obtenidos mediante las diferentes expresiones matemáticas del método empírico, manifestada en la literatura (Sánchez-San Román, 2017). En particular, se recomienda profundizar en el análisis y las estimaciones en este sentido.

En lo que concierne a la forma de la cuenca, de acuerdo con Mariscal-Romero et al. (2019), factores como relieve, forma y pendiente, entre otros, influencian el comportamiento del caudal punta y la intensidad de las crecidas en intersecciones de descargas, lagunas y desembocaduras. En particular, los valores obtenidos para el factor de forma y el índice de alargamiento (Horton) de la subcuenca del río Mezcalapa indican una morfología alargada de la subcuenca, lo que corresponde con tiempos de viaje más largos, como lo estableció el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2004); mientras que el coeficiente de circularidad obtenido de 0.13 corresponde a una subcuenca de escasa circularidad, lo cual de acuerdo con González De Matauco (2004) no intensifica las crecidas del río y una mayor vigorosidad de los afluentes del cauce principal en su punto de confluencia. Respecto al coeficiente de compacidad, el valor obtenido de 2.78 para la subcuenca indica una tendencia menor a concentrar volúmenes de agua de escurrimientos (INE, 2004).

En relación con la curva hipsométrica, los resultados mostrados indican un grado importante de desarrollo de esta subcuenca, que reflejan una cuenca madura, estando asociada la forma de la curva a ríos viejos que en su mayoría corresponden a un tipo sedimentario de baja erosibilidad (Gaspari et al., 2012). En referencia al orden de las corrientes, calculado por el método de Strahler, se obtuvo un valor de 4, lo que indica que esta subcuenca tiene capacidad media de drenaje o respuesta a una tormenta y puede desalojar con cierta rapidez el agua, también refleja el grado de erosión y antigüedad de la subcuenca del río Mezcalapa (Aparicio Mijares, 2016; INE, 2004).

Desde una perspectiva geológica, de acuerdo con Mendoza et al. (2019), la subcuenca del río Mezcalapa se caracteriza por ser una cuenca en formación, donde la dinámica morfológica está condicionada por procesos acelerados de sedimentación y cambios morfológicos influenciados por intervenciones antrópicas, como presas y otras obras de control. En adición a ello, el río Mezcalapa recibe las descargas de la cuenca alta del río Grijalva (figura 8), la zona se afectó por la problemática de las inundaciones recurrentes que históricamente han impactado al sureste de México (Arreguín-Cortés et al., 2014). Cabe enfatizar que en la parte alta de la subcuenca estudiada se tiene la presa Malpaso (Nezahualcóyotl) y a continuación del cauce la presa Peñitas (Ángel Albino Corzo) para generación de electricidad y control de inundaciones.



Figura 8. Panorámica del río Mezcalapa a su paso por el municipio de Huimanguillo, Tabasco (puente Solidaridad).
Fotografía proporcionada por Abner Álvarez-Soberano.

En este sentido, la morfología del río en estudio se ha ido definiendo por las crecientes que escurren en él desde la cuenca alta del Grijalva. A su vez, el cauce ha tenido que ajustar de manera continua sus características hidrológicas y sedimentológicas a la política de operación de la presa Peñitas (CEPAL, 2008). En particular, la publicación del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el Instituto de Ingeniería de la UNAM, el Instituto Politécnico Nacional, el Colegio de Posgraduados de Chapingo y el Instituto Mexicano del Petróleo (2008), la de Mendoza et al. (2019) y la de Tudela (1989) han reportado las modificaciones en la morfometría del cauce como consecuencia de avenidas y las intervenciones antrópicas en la cuenca del río Mezcalapa.

Asimismo, estimaciones recientes sobre sedimentos en el sistema de ríos Mezcalapa-Samaria-Carrizal muestran no solo que el sistema aún no llega a su equilibrio en cuanto a la dinámica de los sedimentos (CEPAL, 2008), sino también que el incremento de la sedimentación ha disminuido la capacidad hidráulica de los cauces (Rubio & Triana, 2006). Consecuentemente, esta disminución de la capacidad hidráulica puede representar un mayor impacto de los efectos adversos de las inundaciones en la dinámica socioeconómica, más aun, frente al alto grado de exposición ante eventos hidrometeorológicos extremos que caracterizan la región sureste de México (Valdés-Manzanilla, 2016).

CONCLUSIONES

La subcuenca del río Mezcalapa presenta un desnivel altitudinal alto, lo que facilita la presencia de crecidas en temporada de lluvias, sobre todo, hacia las zonas bajas. El sistema de presas en la zona alta y media Malpaso-Peñitas condicionan la dinámica hidromorfológica en esta subcuenca. Además, es una subcuenca con forma alargada y angosta, sus parámetros morfométricos indican baja tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento. Así, derivado de los resultados obtenidos, el comportamiento morfodinámico e hidrológico de la subcuenca río Mezcalapa se refleja en los siguientes parámetros geomorfológicos relevantes mostrados a continuación:

- El cauce principal presenta un rango altitudinal de entre 60 y 190 metros en la zona media alta de la subcuenca.
- El desnivel altitudinal de 1,000 m entre la cabecera y la salida de la subcuenca.
- El orden 4 de las corrientes sitúa a esta subcuenca en una clasificación media, por tanto, posee capacidad de respuesta a una tormenta y de erosión de categoría media.
- La morfología alargada indica tiempos de recorridos más largos y los picos de crecidas menos severos y violentos en esta subcuenca.
- El número de escurrimientos de 139 se clasifica como bajo.
- La densidad de drenaje es de clasificación baja, lo que es congruente con el número de escurrimientos que se tienen y las características litológicas de los materiales de la subcuenca (muy permeables y de alta infiltración).
- El tiempo de concentración obtenido a partir de la expresión de Pizarro es de 177 min,

considerado dentro de un rango lento. Al tratarse de una cuenca alargada y el sinnúmero de expresiones para determinar este parámetro, se recomienda un estudio específico con mayor detalle.

Se sugiere impulsar la investigación sobre la dinámica hidrológica y geomorfológica, así como sobre la gestión y operación de las presas en esta región. Además, dados los altos registros pluviométricos, se presenta como impostergable disponer de red de monitoreo hidrométrica e hidrometeorológica operativa en tiempo y espacio que permita generar datos en tiempo real en zonas estratégicas en esta región. La presente investigación se enmarca como una contribución al conocimiento local para que tomadores de decisión en los temas de ordenamiento territorial,

inundaciones, protección civil, infraestructura y políticas públicas incorporen a sus agendas los temas y preocupaciones político-institucionales y sociales, con el fin de trabajar conjuntamente en el fortalecimiento de las capacidades locales e institucionales.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A.C. (CCGS) por las facilidades durante la realización de esta investigación, además de expresar su agradecimiento a los revisores anónimos por sus comentarios y recomendaciones en la mejora de esta investigación. ORMP también desea agradecer al programa Cátedra-CONACYT y al proyecto Cátedras-CCGS no. 963 titulado “Hacia un manejo sustentable del agua en el sureste de México y áreas adyacentes de Centroamérica”.

REFERENCIAS

- Airbus DS. (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.airbus.com/space.html>
- Amiri, B. J., Gao, J., Fohrer, N., & Adamowski, J. (2019). Regionalizing time of concentration using landscape structural patterns of catchments. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 67(2), 135-142. doi: 10.2478/johh-2018-0041
- Aparicio Mijares, F. J. (2016). *Fundamentos de hidrología de superficie* (304 pp.). México: Limusa.
- Arreguín-Cortés, F., Rubio-Gutiérrez, H., Domínguez-Mora, R., & de Luna-Cruz, F. (2014). Análisis de las inundaciones en la planicie tabasqueña en el periodo 1995-2010. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(3), 5-32.
- Beven, K. J. (2020). A history of the concept of time of concentration. *Hydrology and Earth System Sciences (Discussions)*, in review. doi: 10.5194/hess-2019-588
- Campos Aranda, D. F. (1992). *Proceso del ciclo hidrológico* (2^a ed.). México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí. .
- CGIAR (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.cgiar.org/>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2008). Tabasco: Características e impacto socioeconómico de las inundaciones provocadas a finales de octubre y a comienzos de noviembre de 2007 por el frente frío número 4. México, D. F.: Autor. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/25881>
- Comisión Nacional del Agua. (2010). *Estadísticas del agua en México*, edición 2010. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2010-16Junio2010.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (s. f.). Portal de Geoinformación 2020. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad [Base de datos]. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Córdova, M. (30 de abril de 2006). Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas [Artículo en página web]. Recuperado de http://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26
- Cotler, H., & Care, G. (2009). *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México* (pp. 15-16). México: Instituto Nacional de Ecología.
- Cruz-Romero, B., Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Carrillo González, F. M., & Téllez López, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 23(64), 26-34.
- Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado [IBAL]. (2009). Plan de ordenación y manejo ambiental de la microcuenca de las quebradas Las Panelas y La Balsa [Documento en pdf]. Recuperado de http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS_BIOFISICOS.pdf

- Esri (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.esri.com/es-es/home>
- FAO (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <http://www.fao.org/home/en/>
- FEMA (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.fema.gov/es>
- García-García, A. (2011). La cuenca hidrográfica transfronteriza Grijalva: La danza de politics-policy y el mapeo institucional en México y Guatemala. *Aqua-Lac: Revista del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe*, 3(2), 127-140.
- Garmin (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.garmin.com/en-US/>
- Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Denegri, G. A., Besteiro, S. I., & Delgado, M. I. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*, 4, 143-158.
- Geodatasyrelsen (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://gst.dk/>
- Geoland (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.geoland.es/presentaci%C3%B3n.html>
- Gil, V., Gentili, J. O., & Campo, A. M. (2009). Influencia de la litología en la variación de los parámetros morfométricos. Sistema de Ventania, Argentina. *Papeles de Geografía*, 49-50, 55-68.
- Gisuser Community (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://gisuser.com/>
- Gobierno de México. (s. f.). Descubre Datos Abiertos de tu gobierno [Portal de búsqueda de datos]. Recuperado de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/cartografia-geologica-de-la-republica-mexicana-escala-1-250000>
- González De Matauco, A. I. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 38, 311-330.
- GSA (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.gsa.gov/>
- Guerra, F., & González, J. (2002). Caracterización morfométrica de la cuenca de la Quebrada La Bermeja, San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela. *Geoenseñanza*, 7(1-2), 88-108.
- HERE (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.here.com/>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Instituto de Ingeniería de la UNAM, Instituto Politécnico Nacional, Colegio de Posgraduados de Chapingo, & Instituto Mexicano del Petróleo. (2008). Informe de las inundaciones de 2007 en el estado de Tabasco. Diagnóstico preliminar [Informe en pdf]. Recuperado de <https://www.imta.gob.mx/gaceta/antiguos/g12-04-2008/informe-tabasco.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro (Estudio contratado a: José De Jesús Alfonso Fuentes Junco). México: Autor.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s. f.). Biblioteca digital de mapas [Repositorio digital de mapas]. Recuperada de <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/default.html>
- Intermap (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.intermap.com/>
- Mariscal-Romero, J., Chávez-González, T. R., & Arciniega-Flores, J. (2019). Caracterización hidrográfica de las cuencas de la Bahía de Navidad, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 38-46. Recuperado de <https://revistas.uaa.mx/index.php/investycien/article/view/2120>
- Menchaca-Dávila, M. S., & Alvarado-Michi, E. L. (2011). Efectos antropogénicos provocados por los usuarios del agua en la microcuenca del Río Pixquiac. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(Esp. 1), 85-96. Recuperado el 18 de junio de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000700007&lng=es&tlng=es.
- Méndez, W., & Marcucci, E. (2006). Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 47(1), 29-55.
- Mendoza, A., Soto-Cortés, G., Priego-Hernández, G., & Rivera-Trejo, F. (2019). Historical description of the morphology and hydraulic behavior of a bifurcation in the lowlands of the Grijalva River Basin, Mexico. *Catena*, 176, 343-351. doi: 10.1016/j.catena.2019.01.033
- NASA (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.nasa.gov/>
- NCEAS (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.nceas.ucsb.edu/>
- NGA (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.nga.mil/Pages/Default.aspx>
- NLS (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.oracle.com/index.html>
- NMA (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://geohive.ie/nma.html>

- NOAA (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.noaa.gov/>
- N Robinson (s. f.). [Dato colocado por el programa computacional ArcGis como colaborador en la elaboración del mapa base].
- Open StreetMap Contributors (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.openstreetmap.org/>
- OS Geo (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.osgeo.org/>
- Ramírez-García, A. G., Cruz-León, A., Sánchez-García, P., & Monterroso-Rivas, A. I. (2015). La caracterización morfométrica de la subcuenca del Río Moctezuma, Sonora: Ejemplo de aplicación de los sistemas de información geográfica. *Revista de Geografía Agrícola*, 27-43.
- Rijkswaterstaat (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.rijkswaterstaat.nl/>
- Rubio, H., & Triana, C. (2006). Gestión integrada de crecientes, estudio del caso Grijalva [Documento en pdf]. Recuperado de https://www.floodmanagement.info/publications/casestudies/cs_mexico_full.pdf
- Salas-Aguilar, V. M., Pinedo-Álvarez, C., Viramontes-Olivas, O. A., Báez-González, A. D., & Quintana-Martínez, R. M. (2011). Morfometría de la cuenca del río Nazas-Rofeo en Durango, México, aplicando tecnología geoespacial. *Tecnociencia Chihuahua*, 5(1), 34-42.
- Salimi, E. T., Nohegar, A., Malekian, A., Hoseini, M., & Holisaz, A. (2017). Estimating time of concentration in large watersheds. *Paddy and Water Environment*, 15, 123-132. doi: 10.1007/s10333-016-0534-2
- Sánchez-San Román, J. (2017). Relación precipitación-escorrentía. En *Hidrología superficial y subterránea* (Capítulo 7). Salamanca, España: Createspace Independent Publishing Platform.
- Santos-Reyes, J., Alvarado-Corona, R., & Olmos-Peña, S. (2010). Learning from Tabasco's floods by applying MORT. *Safety Science*, 48(10), 1351-1360. doi: 10.1016/j.ssci.2010.05.008
- Tudela, F. (Coord.). (1989). La modernización forzada del trópico: *El caso de Tabasco, proyecto integrado del Golfo*. México: El Colegio de México.
- USGS (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.usgs.gov/>
- Valdés-Manzanilla, A. (2016). Historical floods in Tabasco and Chiapas during sixteenth-twentieth centuries. *Natural Hazards*, 80, 1563-1577. doi: 10.1007/s11069-015-2039-5
- Vélez-Upegui, J. J., & Botero-Gutiérrez, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de La Quebrada San Luis, Manizales. *DYNA*, 78(165), 58-71. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640/39138>
- Viera-Briones, A., López-Santos, A., González-Barrios, J. L., & Trucios-Caciano, R. (2012). Caracterización de la cuenca ALIP con la ayuda de un sistema de información geográfica. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 11(1), 23-34
- Viramontes Olivas, O. A., Pinedo Álvarez, C., Reyes Gómez, V. M., Muñoz Robles, C. A., & Núñez López, D. (2015). Caracterización geomorfológica e hidrodinámica de la subcuenca San Pedro dentro del complejo hidrológico del río Conchos [Documento en pdf]. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Daniel_Nunez6/publication/266297853