

Análisis geomorfológico de las subcuencas Usumacinta y Grijalva en el sureste de México

Geomorphological analysis of the Usumacinta and Grijalva sub-basins in southeastern Mexico

Zayra Guadalupe Castillo-Cruz¹; Ojilve Ramón Medrano-Pérez^{2*}

¹ División Académica de Ciencias Básicas (DACB), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Cunduacán, Tabasco, México.
<https://orcid.org/0000-0003-1585-6568>

² Cátedra CONACYT-Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A.C. (CCGS). Villahermosa, Tabasco, México.
<https://orcid.org/0000-0002-5445-1136>. ojilve.medrano@ccgs.mx

*Autor de correspondencia.

Resumen

Las cuencas hidrográficas integran una serie de procesos y características medioambientales que se expresan en la morfometría de las redes de drenaje. El análisis morfométrico resulta clave para la comprensión del funcionamiento del sistema hidrológico de una cuenca. Su uso resulta práctico en zonas con limitada información climatológica y falta de conocimiento sobre el funcionamiento del sistema hidrológico. Este trabajo tiene como objetivo principal caracterizar la geomorfología de las subcuencas Grijalva y Usumacinta en el sureste de México usando sistemas de información geográfica (SIG) y una serie de parámetros morfométricos asociados a características generales, al relieve, a la red de drenaje y a la forma de estas subcuencas a fin de analizar y comprender el comportamiento hidromorfológico. Los resultados obtenidos muestran cierto contraste entre ambas cuencas en torno al parámetro de número de escurrimientos, lo cual tiene implicaciones en lo relativo a la energía y a la capacidad y magnitud de la captación de agua de la subcuenca y de la red fluvial de ambas subcuencas. En este contexto, se busca contribuir al conocimiento local y al fortalecimiento de la toma de decisión en los ámbitos de ordenamiento territorial, protección civil, infraestructura y políticas públicas.

Palabras clave: Geomorfología; hidromorfología; inundaciones; río Grijalva, río Usumacinta.

Abstract

Watersheds integrate a series of processes and environmental characteristics that are expressed in the morphometry of drainage networks. Morphometric analysis is key to understanding the functioning of the hydrological system of a basin. Its use is practical in areas with limited climatological information and a lack of knowledge about the functioning of the hydrological system. The main objective of this work is to characterize the geomorphology of the Grijalva and Usumacinta sub-basins in southeastern Mexico using geographic information systems (GIS) and a series of morphometric parameters associated with general characteristics, relief, drainage network, and the form of these sub-basins to analyze and understand hydromorphological behavior. The results obtained show some contrast between both basins around the parameter of the number of runoffs, which has implications in terms of energy and the capacity and magnitude of water collection of the sub-basin and the river network of both sub-basins. In this context, it is expected to contribute to local knowledge and the strengthening of decision-making in the areas of territorial planning, civil protection, infrastructure, and public policies.

Keywords: Geomorphology; hydro-morphology; floods; Grijalva River, Usumacinta River.

Recibido: 24 de agosto de 2022

Aceptado: 01 de diciembre de 2022

Publicado: 08 de febrero de 2023

Cómo citar: Castillo-Cruz, Z. G., & Medrano-Pérez, O. R. (2023). Análisis geomorfológico de las subcuencas Usumacinta y Grijalva en el sureste de México. *Acta Universitaria* 33, e3684. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2023.3684>

Introducción

La cuenca hidrográfica puede ser definida como un geosistema que describe un espacio geográfico donde convergen diferentes subsistemas bióticos, abióticos y antrópicos que se interrelacionan entre sí y que le confieren características propias, siendo clave para abordar estudios de distinta naturaleza con fines de planificación y ordenación territorial (Ayala *et al.*, 2007). Las cuencas hidrográficas como unidad de análisis representan una serie de procesos y características medioambientales, los cuales se expresan en la morfometría de las redes de drenaje. El análisis de las cuencas hidrográficas es fundamental para conocer las características y la capacidad de almacenamiento de estas cavidades naturales, siendo relevante en la prevención ante la ocurrencia de eventos naturales y para la protección y conservación de los recursos naturales (Viramontes *et al.*, 2015). En este contexto, se espera un aumento de fenómenos meteorológicos extremos, amenazando el desarrollo socioeconómico sostenible y la biodiversidad en todo el mundo (Unesco & ONU-Agua, 2020). Por tanto, una mayor comprensión de las características de la cuenca y el sistema hidrológico en una cuenca es clave para la planificación, gestión y toma de decisión ante la ocurrencia de eventos naturales.

En los estudios hidrológicos, las características físicas hacen referencia a la cuenca, a la red de drenaje y al cauce principal (Viera-Briones *et al.*, 2012). De acuerdo con Mariscal-Romero *et al.* (2019), factores como relieve, forma y pendiente de una cuenca, entre otros, afectan el comportamiento del caudal punta y la intensidad de las crecidas en intersecciones de descargas, lagunas y desembocaduras. En este sentido, con la masificación y libre acceso a los modelos digitales de elevación (DEM, por sus siglas en inglés) y a los sistemas de información geográfica (SIG), la caracterización y el análisis morfométrico son cada vez más relevantes para el estudio sistemático del funcionamiento hidrológico y la descripción de una cuenca (Álvarez-Soberano & Medrano-Pérez, 2020; Cruz *et al.*, 2015).

De acuerdo con Del Águila & Mejía (2021), la caracterización morfométrica es clave para la descripción de procesos geomorfológicos e inferencia del comportamiento hidrológico de una cuenca determinada (por ejemplo, caudales máximos, erosión del suelo y recarga de agua subterránea). En particular, este tipo de estudios caracteriza la geomorfología mediante el uso de ecuaciones matemáticas que reducen la subjetividad de sus resultados (Cruz *et al.*, 2015), permitiendo de esta manera determinar propiedades morfométricas como: el tamaño, la forma, la densidad de drenaje y la pendiente. Por consiguiente, los parámetros morfométricos resultan claves para la comprensión del comportamiento del caudal y las crecidas en una cuenca determinada (Álvarez-Soberano & Medrano-Pérez, 2020), sobre todo en zonas donde se dispone de poca información. De tal modo, el estudio geomorfológico de cuencas puede contribuir a la toma de decisiones referentes al ordenamiento territorial, en la determinación de zonas propensas a inundaciones e incluso para la protección del agua.

En general, los parámetros morfométricos pueden agruparse en cuatro grupos: generales, de relieve, de la red de drenaje y de forma. Los parámetros generales agrupan los aspectos e información básica del área estudiada. En cambio, los parámetros de relieve permiten conocer la respuesta hidrológica que presenta la cuenca ante un mayor relieve o pendiente. Asimismo, los parámetros de la red de drenaje y forma son determinantes para el conocimiento del comportamiento hidrológico de las cuencas por medio de fórmulas matemáticas, índices o coeficientes (Instituto Nacional de Ecología [INE], 2004). En este sentido, con la llegada de los sistemas de información geográfica (SIG) se han potenciado los estudios morfométricos (Cruz *et al.*, 2015), reportándose el uso de los parámetros morfométricos para el análisis del funcionamiento y la respuesta hidrológica de diferentes cuencas del mundo.

Así, Matovelle & Heras (2020) realizan un análisis estadístico de las relaciones que forman las características morfométricas de 13 cuencas hidrográficas de la vertiente del Pacífico de Ecuador para conocer su comportamiento hidrológico, mientras Camino *et al.* (2018) analizan la morfometría de doce cuencas en Buenos Aires, Argentina, mediante el uso de modelos de elevación digital con el fin de inferir su comportamiento hidrodinámico. Asimismo, Del Águila & Mejía (2021) realizan un análisis morfométrico para evaluar y conocer las características de drenaje de las cuencas Anya y Mchique, en la región Junín, Perú. Por otra parte, en Venezuela, Ayala *et al.* (2007) estudian la morfometría de la microcuenca El Guayabal y explican su influencia en la concentración de escurrimientos y violentos picos de crecidas debido a precipitaciones extraordinarias.

En cuanto a México, Mariscal-Romero *et al.* (2019) realizan una caracterización física mediante distintos parámetros e índices hidrográficos del área de drenaje de la Bahía de Navidad, Jalisco, con la finalidad de identificar y definir con precisión el comportamiento hidrográfico de las subcuencas que conforman esta bahía. Por otro lado, Mora *et al.* (2016) delimitaron las principales unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello. En adición a ello, Triana-Acevedo *et al.* (2018) analizaron algunas de las características morfométricas e hidrográficas de la subcuenca del río Teapa en el sureste mexicano mediante el uso de SIG, para establecer el comportamiento de la red de drenaje y sus características físicas, mientras que Álvarez-Soberano & Medrano-Pérez (2020) caracterizaron la geomorfología de la subcuenca río Mezcalapa en la región hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH-30) mediante el uso de SIG y parámetros morfométricos para el conocimiento morfodinámico e hidrológico; en cambio, Medrano-Pérez *et al.* (2021) lo aplican en la Reserva de la Biosfera de Pantanos de Centla en el sureste de México.

En este contexto, los estudios morfométricos han permitido conocer con mayor detalle la relación del agua con el medio físico, además de que han contribuido en la investigación y toma de decisión de diferentes temas vinculados al ordenamiento territorial, la infraestructura, la gestión de los recursos, la protección civil, la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos, así como la dinámica natural y antropogénica que coexisten en las cuencas hidrológicas. Asimismo, este tipo de estudios permiten abordar la falta de información en una región para comprender las formas, procesos y dinámicas de un sistema para diversas aplicaciones en ese ámbito (Mora *et al.*, 2016). Cabe mencionar que la atención insuficiente a la geomorfología, y especialmente a los procesos geomorfológicos, ha sido un desafío importante en las dificultades de construcción de infraestructuras y sigue representando una fuente importante de riesgo en muchos ámbitos (Hearn, 2021).

Desde esta perspectiva, históricamente el sureste mexicano ha estado afectado de manera recurrente por la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos, como ciclones tropicales, lluvias extremas e inundaciones, en lo cual el estado de Tabasco no ha sido la excepción (Andrade-Velázquez & Medrano-Pérez, 2020, 2021; Arreguín-Cortés *et al.*, 2014; Valdés-Manzanilla, 2016). En particular, Tabasco se ha visto afectado por inundaciones severas en el último siglo, dejando significativas pérdidas económicas y humanas. Tan solo en el 2007 se estima que entre el 60%-80% del territorio estatal se vio afectado, causando pérdidas del orden de los 3000 millones de dólares y dejando sin hogar alrededor de un millón de personas (Santos-Reyes *et al.*, 2010; Valdés-Manzanilla, 2016). Por tanto, no es de extrañar que las inundaciones sean consideradas como una de las problemáticas relevantes en esta zona (Andrade-Velázquez & Medrano-Pérez, 2020). Sin embargo, en el sureste de México las limitaciones en torno a la calidad de la información climática han sido reportadas por Andrade-Velázquez & Medrano-Pérez (2020, 2021). En las subcuencas Grijalva y Usumacinta, ubicadas administrativamente en la zona baja del estado de Tabasco y parte de Chiapas, convergen factores naturales y antropogénicos (condiciones climatológicas naturales, suelo y morfología a nivel de cuenca, cambios en el uso del suelo y el cambio climático) que exacerban los efectos adversos asociados a los eventos naturales.

Las subcuencas Usumacinta y Grijalva son parte de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH-30), la cual es responsable del 30% de los escurrimientos superficiales del país (Álvarez-Soberano & Medrano-Pérez, 2020), lo que representa un volumen anual de escurrimiento del orden de 102 800 millones de m³ (Conagua, 2014), formando así un sistema hidrológico dinámico y complejo configurado por dos de los ríos más caudalosos de México, como lo son los ríos Grijalva y Usumacinta. Estos ríos se unen 15 km previos a su desembocadura al Golfo de México (Muñoz-Salinas *et al.*, 2016), y conjuntamente alcanzan un caudal de 5400 metros cúbicos por segundo (Conagua, 2014).

En este sentido, el análisis geomorfológico, como técnica que permite describir el comportamiento del sistema hidrológico y analizar el drenaje en zonas con poca información climatológica, además de integrar técnicas vinculadas a los sistemas de información geográfica (SIG) y los modelos de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés), puede representar una herramienta clave para caracterizar el sistema hidrológico y analizar la problemática de las inundaciones en las subcuencas Grijalva y Usumacinta, subsanando en cierta medida las limitaciones en torno a información climatológica. De esta manera, en el presente estudio se realiza un análisis geomorfológico de las subcuencas Grijalva y Usumacinta mediante los parámetros morfométricos y el uso de SIG y fórmulas matemáticas, con la finalidad de inferir y analizar el funcionamiento morfodinámico e hidrológico de estas subcuencas. En tal sentido, se busca contribuir al conocimiento local, a la investigación en temas hidrogeomorfológicos y a la toma de decisión en torno a los temas relacionados.

Área de estudio

Las subcuencas Grijalva y Usumacinta se localizan en el sureste de México, la última comprende parte del noroeste de Guatemala (Figura 1a). Ambas subcuencas presentan un relieve de baja elevación o planicie, aunque destaca la parte alta de la subcuenca Usumacinta con 1276 metros sobre el nivel del mar (m. s. n. m.) (Figuras 1b y 1c).

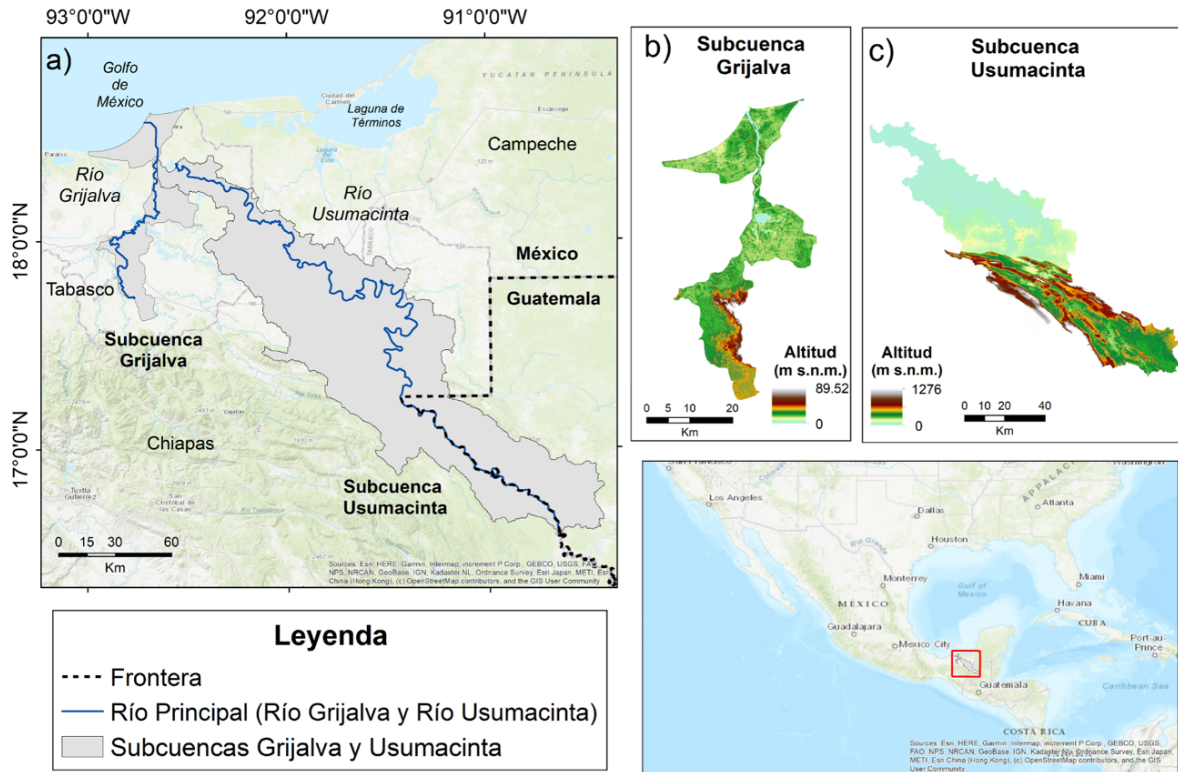


Figura 1. Área de estudio: a) Ubicación; b) altitud subcuenca Grijalva; c) Altitud subcuenca Usumacinta.
Fuente: Elaboración propia con datos espaciales de INEGI (2022), Conagua (2022) y ASF-DAAC (2010).

La subcuenca Usumacinta posee una superficie de 12 863.48 km² y comprende parcialmente los municipios tabasqueños de Centla, Jonuta, Emiliano Zapata, Tenosique y Balancán; los municipios chiapanecos de Ocosingo, Palizada, Palenque y Catazajá; y el municipio guatemalteco de La Libertad, fundamentalmente. De acuerdo con el Censo 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la población estimada en esta subcuenca es de 983 728 habitantes, distribuida en 1688 localidades, lo cual no incluye a los habitantes en el área de Guatemala. Por su parte, la subcuenca Grijalva cuenta con una extensión de 1838.14 km² y abarca parcialmente los municipios tabasqueños de Centro, Macuspana, Tacotalpa, Jalapa y Centla, donde habitan 1 035 593 habitantes en 689 localidades (INEGI, 2021). Por tanto, la subcuenca Grijalva, en comparación con Usumacinta, concentra mayores áreas urbanas.

En relación con la geología de la subcuenca Usumacinta, está conformada en su totalidad por rocas sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico principalmente (Figura 2a). En cuanto a la precipitación de la subcuenca, basados en fichas informativas obtenidas de Geofolio (2019), la precipitación promedio corresponde a 2301.73 mm/año, concentrándose valores mayores al suroeste y sur de la subcuenca, límite entre México y Guatemala (Figura 2b). Respecto a la edafología de Usumacinta, según la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, s.f.), predominan los cambisoles y luvisoles, abarcando conjuntamente más del 50% de la superficie de la subcuenca, dejando con valores alrededor del 10% la presencia de fluvisoles, gleysoles y rendzinas (Figura 2c). En lo que respecta a la textura del suelo de la subcuenca, está compuesta de suelos franco-arcillosos y franco arcilloso arenosos, comprendiendo más del 70% de su extensión, complementándose con arcillas y margas arenosas cubriendo porcentajes menores del 20% (Figura 2d).

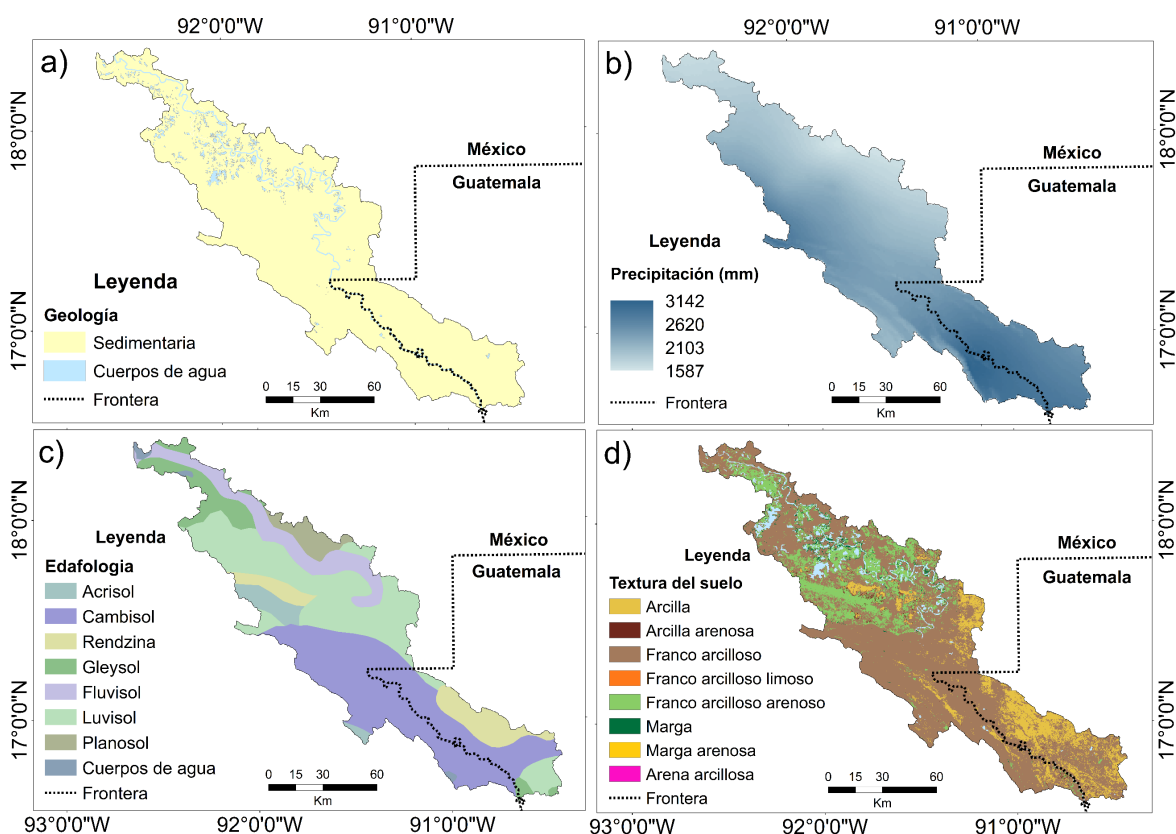


Figura 2. Características del área de estudio subcuenca Usumacinta: a) Geología; b) Precipitación; c) Edafología; d) Textura del suelo.
Fuente: Elaboración propia basada en información espacial de SGM (2020), Geofolio (2019), Conabio (2022) y FAO (s.f.).

Referente a la geología de la subcuenca Grijalva, esta se encuentra constituida por rocas sedimentarias del Cenozoico (Figura 3a). Respecto a la precipitación en Grijalva, en comparación con Usumacinta, encontramos valores mínimamente más bajos de concentración en la parte sur de la subcuenca, teniendo esta un promedio de 1938.72 mm al año (Figura 3b). En cuanto a la edafología, se encuentran mayores porcentajes de gleysoles (38%) y luvisoles (26%), cubriendo porcentajes menores al 20% de fluvisoles y cambisoles (Figura 3c). La textura de suelo preponderante en la subcuenca es por suelo franco arcilloso por más del 66% y franco arcilloso limos con menos del 30%, complementándose con arcillas y valores despreciables de margas (Figura 3d).

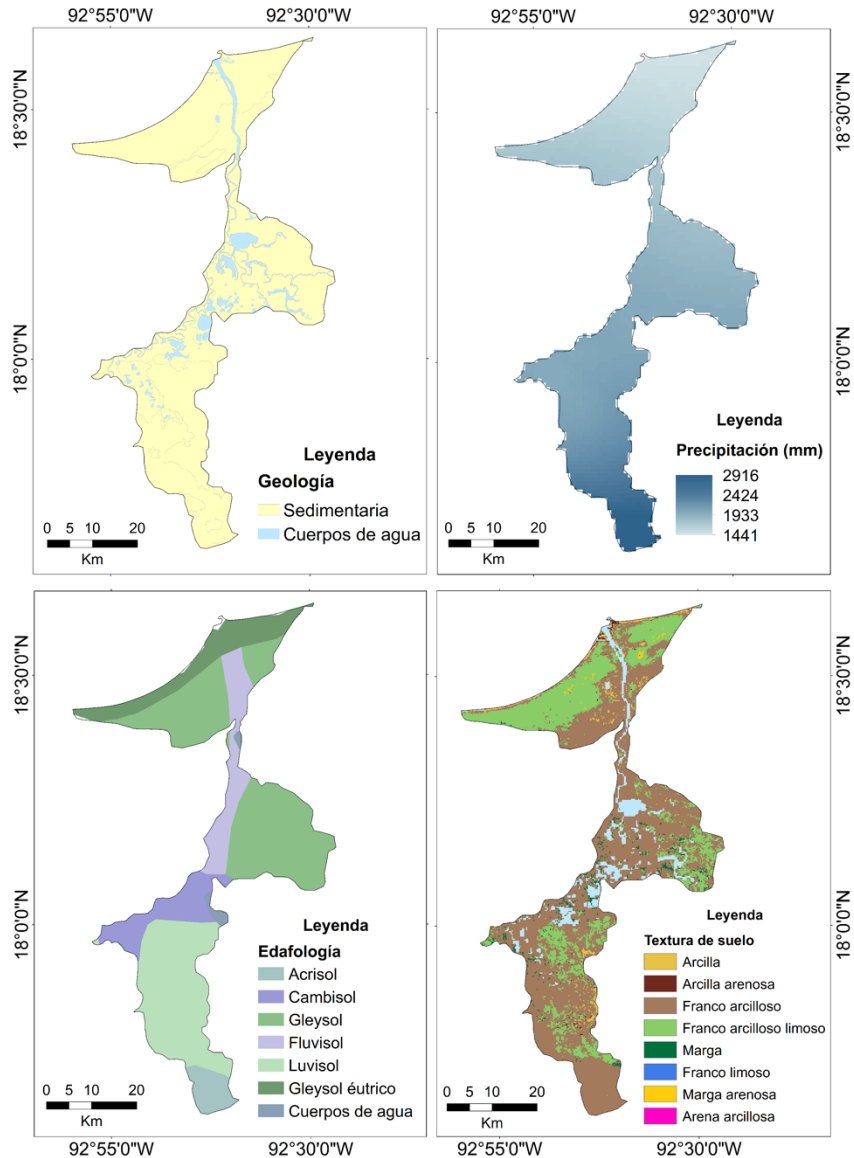


Figura 3. Características del área de estudio subcuenca Grijalva: a) Geología; b) Precipitación; c) Edafología; d) Textura del suelo.
Fuente: Elaboración propia basada en información espacial de SGM (2020), Geofolio (2019), Conabio (2022) y FAO (s.f.).

Materiales y métodos

La presente metodología propuesta por Álvarez-Soberano & Medrano-Pérez (2020) se aplica a la caracterización morfométrica para las subcuencas Usumacinta y Grijalva. Por un lado, se utilizaron modelos digitales de elevación (DEM, por sus siglas en inglés) con una resolución de 12.5 m x 12.5 m, obtenidos del satélite *Alos Palsar* (ASF-DAAC, 2010). Asimismo, se utilizaron los *shapefiles* de las subcuencas Grijalva y Usumacinta disponibles en el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) de la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2022) y en *HydroBASINS* de *Hydrosheds* (Lehner & Grill, 2013), respectivamente.

Posteriormente, teniendo los datos del DEM y los *shapefiles* del área de estudio, se utilizó el sistema de información geográfica (SIG) ArcMap 10.5 © para su procesamiento (ESRI, 2019); además, mediante la herramienta *ArcHydro* de ArcMap 10.5 © se determinaron algunos parámetros generales de las subcuencas, como el área, perímetro, longitud del cauce, pendiente, cota máxima y mínima y orden de los ríos; y los parámetros geomorfológicos restantes mostrados en la Tabla 1 se determinaron mediante fórmulas matemáticas específicas para cada parámetro en Microsoft Excel.

Tabla 1. Ecuaciones de parámetros geomorfológicos.

Parámetros Asociados a la Forma		
Coeficiente y/o Factor de Forma (Kf)	$Kf = \frac{A}{L^2}$	Kf: Factor de forma A: Área de la cuenca L: Longitud de la cuenca
Coeficiente de Compacidad de Gravelius (Kc)	$Kc = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$	Kc: Coeficiente de compacidad P: Perímetro de la cuenca A: Área de la cuenca
Coeficiente de Circularidad (Cc)	$Cc = 4\pi \frac{A}{P^2}$	Cc: Coeficiente de circularidad P: Perímetro de la cuenca A: Área de la cuenca
Índice de Alargamiento de Horton (Ia)	$Ia = \frac{Lm}{I}$	Ia: Índice de alargamiento Lm: Longitud máxima de la cuenca I: Ancho máximo de la cuenca
Parámetros Asociados a la Forma del Relieve		
Altitud media de la cuenca (Am)	$Am = \frac{\sum(hi * Si)}{A}$	Am: Altitud media de la cuenca hi: Altitud media de cada área parcial comprendida entre las curvas de nivel Si: Área parcial entre las curvas de nivel A: Área total de la cuenca
Altitud Media del Cauce Principal (Amedc)	$Amedc = \frac{Amax - Amin}{2}$	Amedc: Altitud media del cauce principal Amax: Altitud máxima del cauce principal Amin: Altitud mínima del cauce principal
Pendiente Promedio del Cauce Principal (Sc)	$Sc = \frac{Amax - Amin}{1000 * L}$	Sc: Pendiente promedio del cauce principal Amax: Altitud máxima del cauce principal, referido a m. s. n. m.* Amin: Altitud mínima del cauce principal, referido a m. s. n. m. L: Longitud del cauce principal
Parámetros Asociados a la Red de Drenaje		
Densidad de Drenaje (Dd)	$Dd = \frac{L}{A}$	Dd: Densidad de drenaje L: Longitud total de los ríos de la cuenca A: Área de la cuenca
Frecuencia de los Ríos (Fr)	$Fr = \frac{N^{\circ} \text{ ríos}}{A}$	N° de ríos: Número de los ríos en la cuenca A: Área de la cuenca
Tiempo de Concentración (Tc)	Pizarro: $Tc = 13.548 \left(\frac{L^2}{H}\right)^{0.77}$	Tc: Tiempo de concentración L: Longitud del cauce principal Sc: Pendiente media del cauce principal A: Área de la cuenca H: Diferencia de alturas del cauce principal
	Kirpich: $Tc = 0.06626 \left(\frac{L^2}{S}\right)^{0.385}$	
	Termez: $Tc = 0.126 \left(\frac{L}{S^{0.35}}\right)^{0.75}$	
	Pasini: $Tc = 0.023 \left(A \frac{L}{S}\right)^{0.5}$	

Nota: * m. s. n. m. = metros sobre el nivel del mar.

Fuente: Álvarez-Soberano & Medrano-Pérez (2020).

Resultados y discusión

Los resultados se muestran en la Tabla 2 y abarcan los siguientes aspectos morfométricos: a) generales, b) forma del relieve, c) red de drenaje y d) forma de la cuenca.

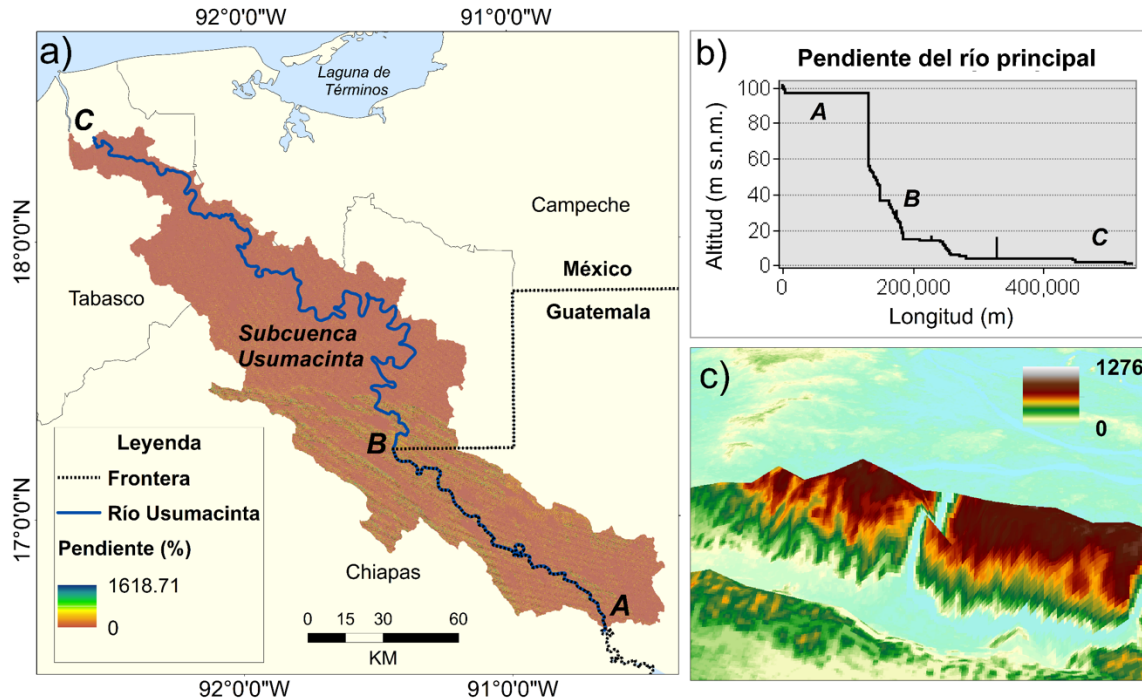
Tabla 2. Parámetros morfométricos de las subcuencas Usumacinta y Grijalva

Parámetros Morfométricos Generales					
Parámetro	Unidad	Símbolo	Usumacinta	Grijalva	
Perímetro	km	P	1028.49	423.54	
Área	km ²	A	12 863.48	1838.14	
Longitud cauce principal	km	LCP	640.66	169.51	
Desnivel altitudinal	m. s. n. m.	DA	1276	89.51	
Asociados a la Forma del Relieve					
Cota máxima de la subcuenca	m. s. n. m.	Cmax	1276	89.04	
Cota mínima de la subcuenca	m. s. n. m.	Cmin	0	0	
Altitud media de la subcuenca	m. s. n. m.	Am	143.28	13	
Pendiente promedio de la subcuenca	%	Smed	15.41	1.67	
Altitud máxima del cauce	m. s. n. m.	Amax	102	19.39	
Altitud min del cauce	m. s. n. m.	Amin	0	0	
Altitud media del cauce	m. s. n. m.	Armedc	51	9.7	
Pendiente promedio del cauce	%	Sc	0.02	0.01	
Asociados a la Red de Drenaje					
Densidad de drenaje	-	Dd	0.54	0.62	
Orden de los ríos (método de Strahler)	-	O	6	6	
Frecuencia de ríos	-	Fr	0.23	0.25	
Número de escurrimientos	-	Ne	2997	451	
	Pizarro		13 779.78	6388.03	
	Kirpich	Minutos	Tc	278.36	113.56
Tiempo de concentración	Temez		159.34	64.11	
	Pasini		5232.94	1200.33	
Asociados a la Forma					
Longitud de la subcuenca	km	D	301.89	109.53	
			0.313	0.153	
Coefficiente y/o Factor de forma	m/m	Kf	Muy poco achatada	Muy poco achatada	
Coefficiente de compacidad			2.56	2.77	
(Gravelious)	m/m	Kc	Casi rectangular (alargada)	Casi rectangular (alargada)	
Coefficiente de			0.153	0.13	
circularidad (redondez)	m/m	CC	Rectangular	Rectangular	
			3.02	1.48	
Índice de alargamiento (Horton)	km/km	I _a	Muy alargada	Moderadamente Alargada	

Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, en lo relativo a los parámetros morfométricos generales, la subcuenca Usumacinta posee un área de 12 863.48 km², un perímetro de 1028.49 km, una longitud del cauce principal de 640.66 km y un desnivel altitudinal en la subcuenca de 1276 m. s. n. m. En cambio, la subcuenca Grijalva presenta un área de 1838.15 km², un perímetro de 423.54 km, una longitud del cauce principal de 169.51 km, y un desnivel altitudinal en la subcuenca de 89.51 m. s. n. m. En este sentido, si bien la subcuenca Usumacinta destaca por su área y otras características físicas frente a la subcuenca Grijalva, estas presentan un relieve característico de una planicie, particularmente en la parte media-baja de la subcuenca Usumacinta. A su vez, se observa que, de acuerdo con la clasificación propuesta por Campos-Aranda (1992), la subcuenca Usumacinta se considera de tamaño muy grande, mientras que la subcuenca Grijalva se clasifica como de tamaño intermedia-grande. En consecuencia, Ayala *et al.* (2007) consideran que una cuenca de poca superficie es frágil, vulnerable y sensible a precipitaciones de alta intensidad y de corta o larga duración. Asimismo, ambas subcuencas poseen una longitud de cauce principal clasificada como larga, lo cual incide en el tiempo de concentración y en otros índices morfométricos, como la pendiente del cauce (Álvarez-Soberano & Medrano-Pérez, 2020; INE, 2004) y la densidad de drenaje (Del Águila & Mejía, 2021).

En segundo término, los resultados obtenidos para los parámetros asociados a la forma del relieve muestran, para el caso de la subcuenca Usumacinta, un valor de la pendiente media del cauce principal de 0.02% y de 15.41% para la pendiente media de la subcuenca (Figuras 4a y 4b). En cambio, para el caso de la subcuenca Grijalva, se muestra un valor de la pendiente media del cauce principal de 0.01% y de 1.67% para la pendiente media de la subcuenca (Figura 5a y 5b). En particular, para ambas subcuencas se tiene una pendiente de cauce principal similar, aunque se tienen zonas con relieve variable (Figuras 4c y 5c). En este sentido, cabe mencionar que la subcuenca Usumacinta posee una altitud media entre baja a moderada de 143.28 m. s. n. m., la cual está influenciada por la cota máxima en la parte alta de la subcuenca. Sin embargo, la altitud de la subcuenca Grijalva registra valores bajos en torno a los 13 m. s. n. m., propios de la planicie que caracteriza el estado de Tabasco. Asimismo, cerca del 30% de la altitud del cauce principal de la subcuenca Usumacinta en su parte alta-media transcurre entre 40 m. s. n. m. y 100 m. s. n. m., y el restante en valores menores a 40 m. s. n. m. (tramo A-B en las Figuras 4a y 4b). En cambio, alrededor del 70% de la altitud del cauce principal de la subcuenca Grijalva en su parte alta-media se mantiene entre 20 m. s. n. m. y 8 m. s. n. m., estando el tramo restante en valores por debajo de los 8 m. s. n. m. (tramo A-B en las Figuras 5a y 5b). Los resultados asociados a la forma del relieve para ambos casos corresponden a una mayor concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal de la cuenca (Cruz *et al.*, 2015) y, a su vez, se considera que no afecta al flujo de sedimentos en el cauce (Álvarez-Soberano & Medrano-Pérez, 2020).



Nota: El punto B marcado en las Figuras 4a y 4b se ubica en la zona de encuentro de los límites fronterizos entre los estados de Chiapas, Tabasco y el departamento de Petén (Guatemala).

Figura 4. a) Pendiente de la subcuenca Usumacinta; b) Pendiente del río principal Usumacinta; c) Panorámica del relieve en el punto B del río Usumacinta.

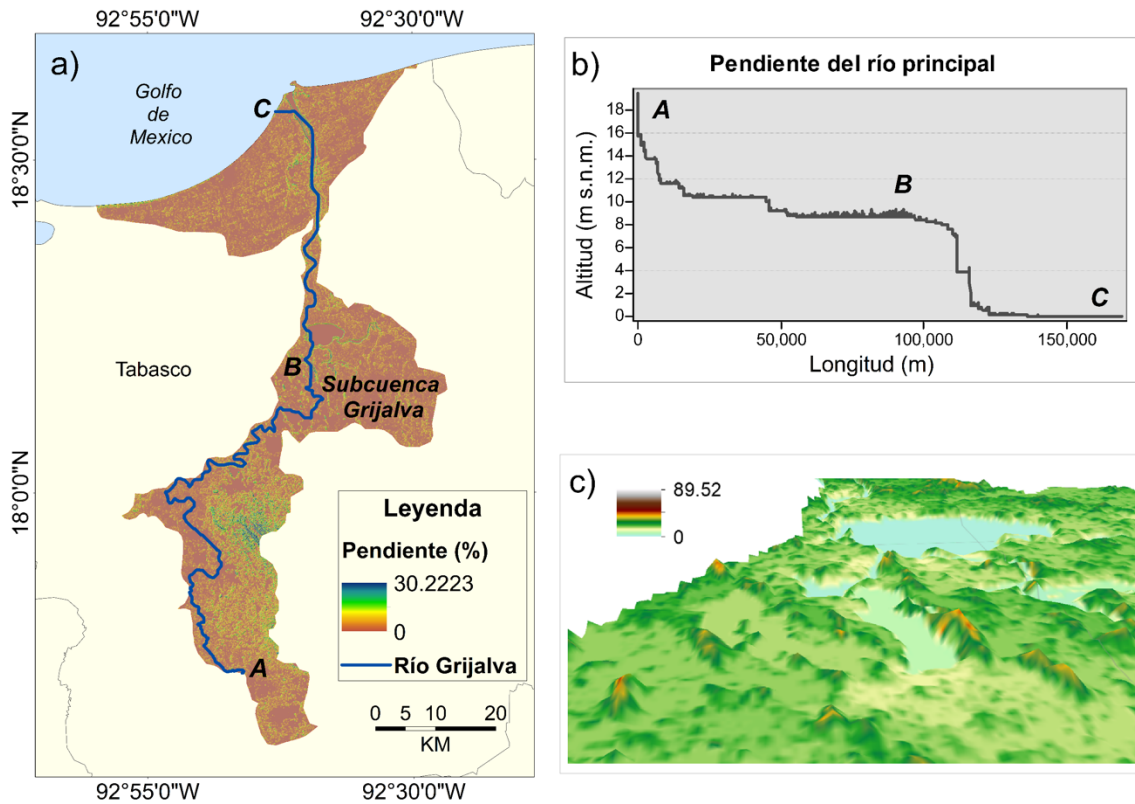
Fuente: Elaboración propia.

En tercer orden, en los parámetros asociados a la red de drenaje de las subcuencas Usumacinta y Grijalva se presentan como relevantes los parámetros de densidad de drenaje y el tiempo de concentración. En particular, hay que destacar el valor obtenido para la densidad de drenaje de 0.54 en la subcuenca Usumacinta y de 0.62 en la subcuenca Grijalva, los cuales se pueden clasificar como bajo, siendo un valor particular de zonas con baja capacidad de drenaje, donde inciden aspectos topográficos, litológicos, pedológicos y de vegetación. De acuerdo con Del Águila & Mejía (2021), este parámetro representa un indicador de la eficiencia de drenaje de las cuencas, siendo considerados valores en torno a los 0.5 km/km² para cuencas con drenaje pobre y > 3.5 km/km² para cuencas bien drenadas. Por tanto, entre ambas subcuencas no existen diferencias significativas al respecto.

Otro aspecto para analizar la DD es la pendiente del cauce, cabe mencionar que los cauces de las subcuencas presentan pendientes suaves, lo cual condiciona los valores obtenidos de la densidad de drenaje. Asimismo, de acuerdo con Del Águila & Mejía (2021), para cuencas de mayor tamaño la baja DD está asociada a una textura de drenaje gruesa, mientras que la alta DD conduce a una textura de drenaje fina, un alto escurrimiento y un potencial de erosión del área de la cuenca. Además, para autores como Gil *et al.* (2009), la densidad de drenaje es un factor controlado por la litología que está vinculado a zonas de gran masividad litológica, de materiales muy permeables y con alta infiltración, siendo estas características un aspecto latente en las subcuencas Usumacinta y Grijalva. En particular, como se ha mostrado previamente, tanto la subcuenca Usumacinta como la Grijalva se caracterizan por tener en su parte alta una litología propia de materiales muy permeables y con alta infiltración (Usumacinta: caliza y arenisca; Grijalva: aluvial y arenisca), no así en su parte baja, donde predominan los ambientes lacustres y de pantano (palustre y litoral-costero). Por tanto, ambas subcuencas en su parte alta presentan materiales considerados muy permeables y con alta infiltración, no así en su parte baja.

En cuanto al número de escurrimientos, el valor obtenido para las subcuencas Usumacinta y Grijalva ha sido de 2997 y 451, respectivamente. En particular, este parámetro hace referencia al marcado contraste entre ambas subcuencas en lo relativo a la energía, así como capacidad y magnitud de la captación de agua de la subcuenca y de la red fluvial (Álvarez-Soberano & Medrano-Pérez, 2020).

En cuanto al tiempo de concentración, el valor de referencia para este estudio ha sido de 13 779.7 minutos (Usumacinta) y 6388 minutos (Grijalva) obtenido mediante la expresión de Pizarro, aunque también fue calculado con tres fórmulas empíricas adicionales (Kirpich, Temez y Pasini). A grandes rasgos, este parámetro es considerado fundamental para la comprensión del comportamiento y la respuesta hidrológica de una cuenca a un evento de precipitación (Amiri *et al.*, 2019) y, por ende, en la simulación lluvia-escorrentía (Salimi *et al.*, 2017). En particular, los métodos para la estimación del TC se agrupan en dos categorías: 1) el método hidrograma o hietograma para la toma de datos de lluvias y caudales, que expresan el TC en función del tiempo de rezago, y 2) los métodos empíricos basados en fórmulas matemáticas (Álvarez-Soberano & Medrano-Pérez, 2020). No obstante, en el presente trabajo se optó por usar la expresión de Pizarro, la cual fue reportada por INE (2004) en estudios en México como la fórmula más eficiente y práctica. En ambas subcuencas el TC obtenido se clasifica como lento, teniendo un significado morfométrico proporcional de: a mayor TC mayor volumen o escorrentía. Sin embargo, cabe señalar que los valores del TC obtenidos mediante las cuatro expresiones matemáticas (Kirpich, Temez, Pizarro y Pasini) presentan variaciones significativas, lo cual es atribuido por Sánchez-San Román (2017) a que las diferentes expresiones han sido obtenidas para caracterizar cuencas específicas. Consecuentemente, en torno a este parámetro, se ha reportado una evidente confusión no solo por las múltiples definiciones, sino también por la cantidad de expresiones matemáticas para la estimación del TC (Beven, 2020). Por tanto, este parámetro debe manejarse con precaución, pues se requiere profundizar en su análisis y estimación.



Nota: El punto B marcado en las figuras 4a y 4b se ubica en Boca de Chilapa, Centla, Tabasco.

Figura 5. a) Pendiente de la subcuenca Grijalva; b) Pendiente del río principal Grijalva; c) Panorámica del relieve en el punto B del río Grijalva.

Fuente: Elaboración propia.

En relación con los parámetros asociados a la forma, para la subcuenca Usumacinta se obtuvieron valores para el factor de forma (0.31) y el índice de alargamiento de Horton (3.02), indicando una morfología muy poco achatada y muy alargada, respectivamente. Asimismo, se obtuvieron los coeficientes de compacidad y de circularidad de 2.56 y 0.15, mostrando una forma casi rectangular (alargada) y rectangular para esta subcuenca. En cuanto a la subcuenca Grijalva, el valor del factor de forma fue 0.15 y el índice de alargamiento de Horton fue de 1.48, siendo característico de una subcuenca muy poco achatada y moderadamente alargada, respectivamente, mientras que los coeficientes de compacidad y de circularidad fueron de 2.77 y 0.13, lo cual apunta a una subcuenca con morfología casi rectangular (alargada) y rectangular. Por lo tanto, los parámetros obtenidos para ambas subcuencas presentan características de forma similares.

En este contexto, los resultados asociados a la forma de la cuenca muestran características que sitúan a ambas subcuencas como de morfología alargada, lo que se traduce en ríos de largo recorrido y en tiempos de viaje más largos (INE, 2004), así como en un TC variable en cada punto de las subcuencas (Álvarez-Soberano & Medrano-Pérez, 2020). En términos del coeficiente de circularidad, los valores obtenidos hacen referencia a una escasa circularidad en ambas subcuencas, lo cual no intensifica las crecidas del río y una mayor vigorosidad de los afluentes del cauce principal en su punto de confluencia (Álvarez-Soberano & Medrano-Pérez, 2020). Finalmente, en cuanto al coeficiente de compacidad, el significado morfométrico planteado por INE (2004) indica que la subcuenca Usumacinta presenta una tendencia menor a concentrar volúmenes de agua de escurrimientos respecto a la subcuenca Grijalva.

En cuanto a la curva hipsométrica, los resultados para las subcuencas Usumacinta y Grijalva se muestran en las Figuras 6a y 6b, respectivamente, donde se observa en el comportamiento de la curva la característica de cuencas sedimentarias con ríos fase de madurez, generalmente, de baja erosionabilidad (Álvarez-Soberano & Medrano-Pérez, 2020). Asimismo, para el caso del orden de las corrientes, obtenido mediante el método de *Strahler*, el orden de las corrientes para las subcuencas registra un valor de 6 (Figura 7), clasificándose como de orden alto (INE, 2004). Lo anterior sitúa a estas subcuencas con una estructura definida y una red de drenaje grande, implicando mayor energía en la red y mayor probabilidad de erosión, indicando que efectivamente corresponden a subcuencas en etapa de madurez. Por tanto, ambas cuencas poseen una capacidad alta de drenaje o respuesta a una tormenta y puede desalojar el agua con cierta rapidez (Aparicio-Mijares, 2016; Álvarez-Soberano & Medrano-Pérez, 2020).

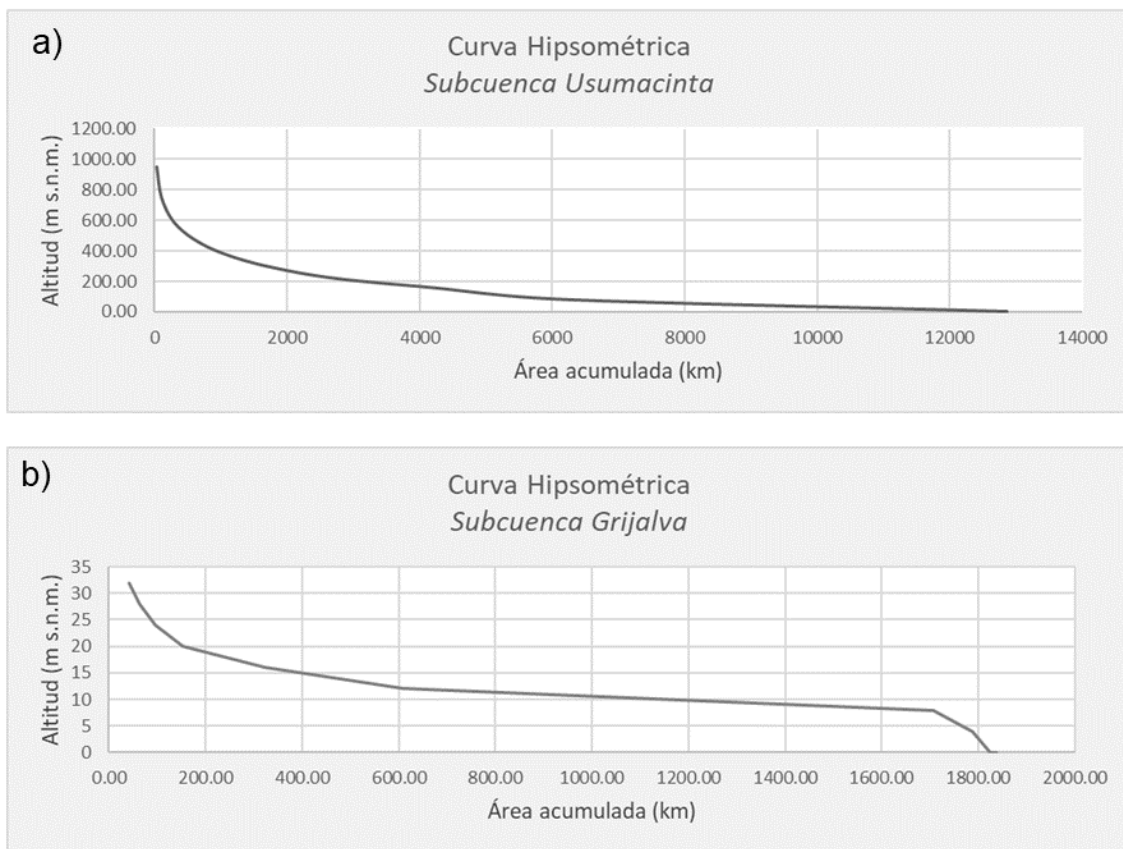


Figura 6. Curva hipsométrica: a) Subcuenca Usumacinta, b) Subcuenca Grijalva.
Fuente: Elaboración propia.

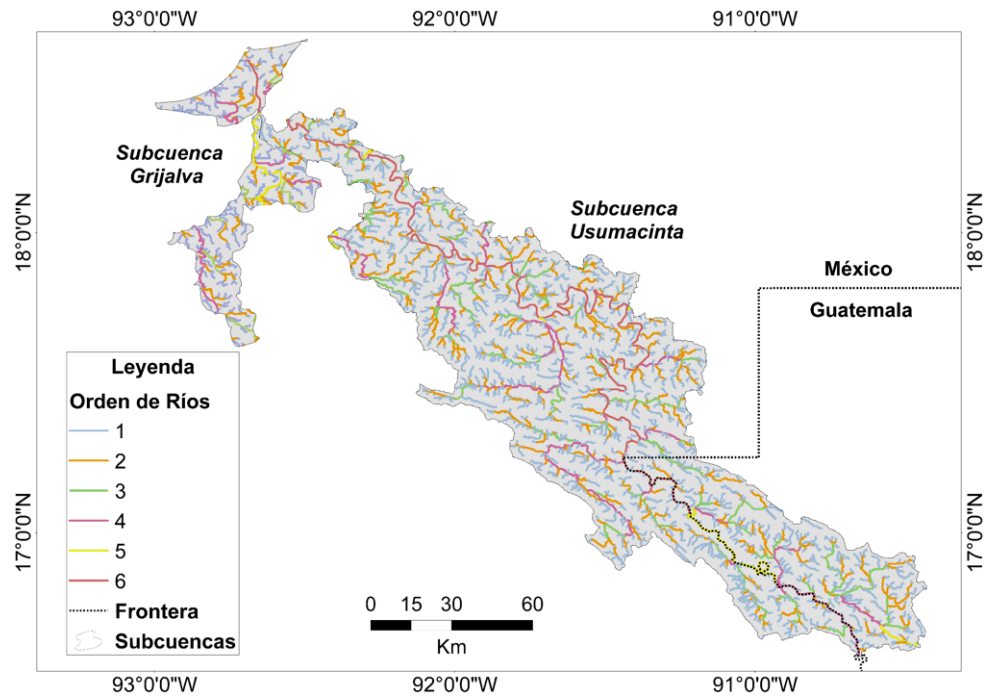


Figura 7. Mapa de orden de ríos de la subcuenca Usumacinta-Grijalva.
Fuente: Elaboración propia.

A modo de resumen, en la Tabla 3 se muestra la clasificación de las características geomorfológicas relevantes de las subcuencas Usumacinta y Grijalva.

Tabla 3. Resumen de la clasificación de las características morfométricas principales de las subcuencas Usumacinta y Grijalva.

Morfometría	Subcuencas		Clasificación	
	Usumacinta	Grijalva	Usumacinta	Grijalva
Perímetro (km):	1028.49	423.54	-	-
Longitud del cauce principal (km):	640.66	169.51	Largo	Largo
Ancho cuenca (km):	84.40	16.78	-	-
Elevación media (m. s. n. m.):	143.28	13	Baja	Baja
Área (km ²):	12 863.48	1838.14	Muy Grande	Intermedia-Grande
Cota mínima (m. s. n. m.):	0	0	-	-
Cota máxima (m. s. n. m.):	1276	89.04	-	-
Desnivel altitudinal (m. s. n. m.):	1276	89.04	Bajo	Bajo
Kf ¹ :	0.313	0.153	Muy poco achatada	Muy poco achatada
Kc ² :	2.56	2.77	Casi rectangular (alargada)	Casi rectangular (alargada)
Li ³ :	3.02	1.48	Muy alargada	Moderadamente Alargada
Orden	6	6	Alto	Alto
Densidad de drenaje (km/km ²):	0.54	0.62	Baja	Baja
Número de escurrimientos:	2997	451	Alto	Alto
Pendiente del cauce principal (%):	0.016	0.011	Suave	Suave
Tc (min) ⁴ : (Pizarro)	13 779.78	6388.03	Lento	Lento

Nota: ¹Coeficiente y/o factor de forma; ² Coeficiente de compacidad; ³ Índice de alargamiento; ⁴ Tiempo de concentración de Pizarro.
Fuente: Elaboración propia.

Desde una perspectiva geológica, estas subcuencas están constituidas por sedimentos no consolidados del Cuaternario Holoceno (Zamora *et al.*, 2019), transportados por los caudalosos ríos Grijalva y Usumacinta mostrados en la Figura 8, formando así parte de la Planicie Costera del Golfo Sur. Asimismo, estas resultan condicionadas por los efectos hidrogeológicos de la zona de descarga de las cuencas Grijalva y Usumacinta. Los paisajes geomorfológicos de estas subcuencas corresponden a planicies palustres, planicies fluviales, terrazas costeras y montañas kársticas propias de zonas con mayor nivel altitud (Zavala-Cruz *et al.*, 2016). De acuerdo con Sánchez *et al.* (2015), los ciclos de inundación naturales en la cuenca baja de los ríos Grijalva-Usumacinta están influenciados, por un lado, por las características geomorfológicas de esta zona y, por otro lado, por la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos, los cuales ocasionan cambios en la red de drenaje natural y la biota de esta zona. Ante ello, el análisis de las características físicas de la cuenca hidrográfica y la comprensión del funcionamiento del sistema hidrológico resultan claves para abordar los desafíos ante la ocurrencia de eventos de inundación.



Figura 8. Panorámica del río Grijalva (izquierda) a su paso por el municipio de Centla, Tabasco (Puente Frontera) y del río Usumacinta (derecha) a su paso por el municipio de Tenosique, Tabasco (Puente Boca del Cerro, Tenosique).

Nota: Fotografía izquierda tomada por Zayra Guadalupe Castillo Cruz en fecha 27 de octubre de 2019 y la de la derecha proporcionada por Fordecyt-Usumacinta no. 273646 del año 2017.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Las subcuencas Usumacinta y Grijalva se encuentran ubicadas en una de las regiones de México con mayor riqueza hidrológica, siendo receptoras de caudalosos ríos (Grijalva y Usumacinta) antes de su desembocadura en el Golfo de México. Ambas subcuencas presentan abundantes escurrimientos superficiales y escaso relieve. En tal sentido, como consecuencia de la caracterización y el análisis de los parámetros morfométricos, se concluye que el comportamiento morfodinámico e hidrológico de las subcuencas Usumacinta y Grijalva muestran cierta similitud geomorfológica, a excepción del parámetro de número de escurrimientos. En consecuencia, se concluye que entre ambas subcuencas existe un marcado contraste en lo relativo a la energía y a la capacidad y magnitud de la captación de agua de las subcuencas y de la red fluvial; por lo tanto, su comportamiento hidrológico y morfodinámico es parcialmente distinto.

La necesidad y oportunidad de aplicar este tipo de investigaciones en otras áreas podría repercutir en un mayor entendimiento de los procesos geomorfológicos de la zona estudiada, por lo que se sugiere impulsar la investigación sobre la hidrogeomorfología de la planicie tabasqueña. Además, dados los altos niveles pluviométricos de la zona, es fundamental que la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH-30) cuente con una infraestructura de medición y monitoreo hidrometeorológica e hidrométrica que opere en tiempo y espacio, permitiendo la generación de datos en tiempo real y de libre acceso. En este contexto, esta investigación representa un aporte al conocimiento local y una contribución para la toma de decisión en los ámbitos de ordenamiento territorial, inundaciones, protección civil, infraestructura y políticas públicas.

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".

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún tipo de conflicto de interés.

Referencias

- 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*, (80), 32-44. doi: <https://doi.org/10.33064/iycuaa2020803002>
- 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: <https://doi.org/10.2478/johh-2018-0041>
- Andrade-Velázquez, M., & Medrano-Pérez, O. R. (2020). Precipitation pattern in Usumacinta and Grijalva basins (southern Mexico) under a changing climate. *Revista Bio Ciencias*, 7, e905. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e905>
- Andrade-Velázquez, M., & Medrano-Pérez, O. R. (2021). Historical precipitation patterns in the South-Southeast region of Mexico and future projections. *Earth Sciences Research Journal*, 25(1), 69-84. doi: <https://doi.org/10.15446/esrj.v25n1.87255>
- Aparicio-Mijares, F. J. (2016). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa.
- Arreguín-Cortés, F. I., Rubio-Gutiérrez, H., Domínguez-Mora, R., & Luna-Cruz, F. de. (2014). Análisis de las inundaciones en la planicie tabasqueña en el periodo 1995-2010. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(3), 05-32. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000300001
- Ayala, R., Páez, G., & Araque, F. (2007) Análisis geomorfológico de la microcuenca El Guayabal, a propósito de la ocurrencia de las lluvias excepcionales de febrero de 2005. Cuenca del río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 48(1), 59-82. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347730365004>
- Beven, K. J. (2020). A history of the concept of time of concentration. *Hydrology and Earth System Sciences (Discussions)*, in review. doi: <https://doi.org/10.5194/hess-2019-588>

- Camino, M. A., Bó, M. J., Cionchi, J. L., De Armentia, A. L., Del Río, J. L., & De Marco S. G. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1).
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-42652018000100005&script=sci_arttext&tlng=en
- Campos-Aranda, D. F. (1992). *Proceso del ciclo hidrológico* (2ª ed.). Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2014). *Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía (PMPMS) por el Consejo de Cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta*. Gobierno de México.
<https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programas-de-medidas-preventivas-y-de-mitigacion-a-la-sequia-pmpms-por-consejo-de-cuenca>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2022). *Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Subdirección General de Administración del Agua, Gerencia de Planificación Hídrica*. Gobierno de México.
<http://sina.conagua.gob.mx/sina/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2022). *Portal de Geoinformación (2020)*. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad [Base de datos].
<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- ASF-DAAC (2010). Conjunto de datos: ALOS PALSAR Radiometric Terrain Corrected Hi_res; Incluye material © JAXA / METI 2010. doi: <https://doi.org/10.5067/JBYK3J6HFSVF>
- Cruz, B., Gaspari, F.J., Rodríguez, A. M., Carrillo, F. M., & Téllez, J. (2015). Análisis morfométrico de la Cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (64), 26-34. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/66784>
- Del Águila, S., & Mejía, A. (2021). Caracterización morfométrica de dos cuencas altoandinas del Perú utilizando sistemas de información geográfica. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(2), 538-562. doi: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-02-12>
- ESRI. (2019). *ArcGIS and ArcMap (ArcMap 10.5). Software Esri* [Software de computación]. www.esri.com
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (s. f.). *Biblioteca digital de mapas* [Repositorio digital de mapas].
<https://data.apps.fao.org/map/catalog/srv/eng/catalog.search#/metadata/446ed430-8383-11db-b9b2-000d939bc5d8>
- Geofolio (2019). [Conjunto de datos]. <https://geofolio.org/>.
- 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.
<https://revistas.um.es/geografia/article/view/92381>
- Hearn, G. J. (2021). Getting the basic ground model right in engineering practice. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 54(2). doi: <https://doi.org/10.1144/qjehg2020-055>
- Instituto Nacional de Ecología (INE). (2004). *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro, México*. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas, INE.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). *Censo de Población y Vivienda 2020. Subsistema de Información Demográfica y Social*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). *Biblioteca digital de mapas* [Repositorio digital de mapas]. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/default.html>
- Lehner, B., & Grill, G. (2013). Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems. *Hydrological Processes*, 27(15), 2171-2186.
doi: <https://doi.org/10.1002/hyp.9740>
- 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*, (77), 38-46. doi: <https://doi.org/10.33064/iycuaa2019772120>
- Matovelle, C., & Heras, D. (2020). Análisis comparativo de las características morfométricas de sistemas hidrográficos de la vertiente del Pacífico, Ecuador. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (80), 22-31. doi: <https://doi.org/10.33064/iycuaa2020803000>

- Medrano-Pérez, O. R., Payano-Almánzar, R., & López-Jiménez, L. N. (2021). Caracterización geomorfológica e hidroclimatológica de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, México. *Acta Universitaria*, 31, e2846. doi: <https://doi.org/10.15174/au.2021.2846>
- Mora, L., Bonifaz, R., & López-Martínez, R. (2016). Unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán, Lagos de Montebello, Chiapas-México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 377-394. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222016000300377
- Muñoz-Salinas, E., Castillo, M., Sanderson, D., Kinnaird, T., & Cruz-Zaragoza, E. (2016). Using three different approaches of OSL for the study of young fluvial sediments at the coastal plain of the Usumacinta-Grijalva River Basin, southern Mexico. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(6), 823-834. doi: <https://doi.org/10.1002/esp.3880>
- 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: <https://doi.org/10.1007/s10333-016-0534-2>
- 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: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.05.008>
- Sánchez-San Román, J. (2017). Relación precipitación-escorrentía. En F. Javier Sánchez San Román (ed.), *Hidrología superficial y subterránea* (pp. 97-136). Createspace Independent Publishing Platform.
- Sánchez, A. J., Salcedo, M. A., Florido, R., Mendoza, J. D., Ruiz-Carrera, V., & Álvarez-Pliego, N. (2015). Ciclos de inundación y conservación de servicios ambientales en la cuenca baja de los ríos Grijalva-Usumacinta. *ContactoS*, 97, 5-14. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/revista/97/pdfs/inundacion.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2020). [*GeoInfoMex en 3D*]. <https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMex3D/>
- Triana-Acevedo, L. H., Galindo-Alcántara, A., & Ruiz-Acosta, S.C. (2018). Caracterización morfométrica e hidrológica de una subcuenca en la cuenca baja del Grijalva. En J. Martínez-Herrera, M. Á., Ramírez-Guillermo & J. Cámara-Córdova (eds.), *Investigaciones científicas y agrotecnológicas para la seguridad alimentaria* (pp. 628-634). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Herrera13/publication/330401807_Investigaciones_Cientificas_y_Agrotecnologicas_para_la_Seguridad_Alimentaria/links/5d105e45299bf1547c79547c/Investigaciones-Cientificas-y-Agrotecnologicas-para-la-Seguridad-Alimentaria.pdf
- UNESCO & ONU-Agua. (2020). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2020: agua y cambio climático*. UNESCO.
- Valdés-Manzanilla, A. (2016). Historical floods in Tabasco and Chiapas during sixteenth-twentieth centuries. *Natural Hazards*, 80(3), 1563-1577. doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2039-5>
- 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. <https://www.redalyc.org/pdf/4555/455545058004.pdf>
- Viramontes, O. A., Pinedo, C., Reyes, V. M., Muñoz, C. A., & Núñez, D. (2015). Caracterización geomorfológica e hidrodinámica de la subcuenca San Pedro dentro del complejo hidrológico del río Conchos. https://www.researchgate.net/profile/Daniel_Nunez6/publication/266297853
- Zamora, N., Pérez, E., Carballo, V. R., & Galindo, A. (2019). Dinámica de las terrazas fluviales en la subcuenca Grijalva-Villahermosa, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 71(3), 805-817. doi: <https://doi.org/10.18268/bsgm2019v71n3a10>
- Zavala-Cruz, J., Jiménez, R., Palma-López, D., Bautista, F., & Gavi, F. (2016). Paisajes geomorfológicos: base para el levantamiento de suelos en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(8), 161-171. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282016000200161&lng=es&tlng=es