

## Formas del terreno a escala detallada en planicies aluviales y lomeríos de llanura costera tropical utilizando el enfoque geopedológico (Huimanguillo, Tabasco)

### *Detailed morphology in alluvial plains and tropical coastal plain hillocks by using geopedologic procedures (Huimanguillo, Tabasco)*

Antonio López-Castañeda<sup>1</sup>, Joel Zavala-Cruz<sup>1,\*</sup>, David Jesús Palma-López<sup>1</sup>, Francisco Bautista-Zúñiga<sup>2</sup>, Joaquín Alberto Rincón-Ramírez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina S/N, 86500, H. Cárdenas, Tabasco, México.

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Geografía Ambiental (CIGA), Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro 8701, Col. Ex. Hacienda San José, 58190, Morelia, Michoacán, México.

\* Autor para correspondencia: (J. Zavala-Cruz) [zavala\\_cruz@colpos.mx](mailto:zavala_cruz@colpos.mx)

#### Cómo citar este artículo:

López-Castañeda, A., Zavala-Cruz, J., Palma-López, D.J., Bautista-Zúñiga, F., Rincón-Ramírez, J.A., 2022, Formas del terreno a escala detallada en planicies aluviales y lomeríos de llanura costera tropical utilizando el enfoque geopedológico (Huimanguillo, Tabasco): Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 74 (2), A100122. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2022v74n2a100122>

Manuscrito recibido: 19 de Abril de 2021  
Manuscrito corregido: 21 de Julio de 2021  
Manuscrito aceptado: 1 de Agosto de 2021

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia [CCBY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

## RESUMEN

El uso no sustentable de los recursos naturales ha contribuido al deterioro de los ecosistemas, a la pérdida de biodiversidad, y a la degradación de suelos en México. En Tabasco, el deterioro ambiental es evidente por la degradación química y física de suelos. En este contexto, la cartografía geomorfológica contribuye a mitigar la problemática al generar un marco geoespacial para la ordenación del territorio, y así orientar el uso y manejo de los recursos naturales. Sin embargo, esta información a nivel microrregional es escasa. El objetivo del trabajo fue generar cartografía detallada de las formas del terreno en planicies y lomeríos con uso agropecuario en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, en una superficie de 29 398 ha. Se aplicó la primera fase del enfoque geopedológico y se generó cartografía de paisajes geomorfológicos, relieve/modelados, litología/facies y formas de terreno, mediante el análisis de atributos morfológicos y morfométricos, que se complementa con la fotointerpretación de ortofotomapas y verificación de campo. El 49 % del área de estudio corresponde al paisaje geomorfológico de planicie, contiene relieves de llanura de inundación y depresiones sobre sedimentos aluviales, prevalecen las formas del terreno albardón del río, napa de desborde y cubeta de decantación; tienen buen drenaje superficial, excepto las cubetas que se inundan seis meses. El área restante corresponde al paisaje geomorfológico de lomerío, con relieves de loma y depresión sobre sedimentos detríticos; dominan las formas de ladera, cumbre, depresión interloma y pie de vertiente. Se zonificaron nuevas formas del terreno como depresión interloma, gota de lágrima, hombro y pozo petrolero; sobresalen las depresiones en posiciones topográficas elevadas, por contener humedales inundados hasta ocho meses. El estudio aporta información que puede contribuir al ordenamiento de los usos agropecuarios y forestales, para mitigar la degradación de los recursos naturales en planicies y lomeríos tropicales.

**Palabras clave:** enfoque geopedológico, paisaje geomorfológico, sedimentos aluviales, sedimentos detríticos, depresiones.

## ABSTRACT

*The unsustainable use of natural resources has contributed to the deterioration of ecosystems, loss of biodiversity, and degradation of soils in Mexico. In the state of Tabasco, environmental deterioration is evident in the chemical and physical degradation of soils. In this context, geomorphological mapping can contribute to mitigate this problem by generating a geospatial framework for land use planning, and to provide guidance for the use and management of natural resources. However, this information on a micro-regional level is scarce. The aim of this work was to generate a detailed mapping of landforms in plains and hills with agricultural use in the municipality of Huimanguillo, Tabasco, in an area of 29 398 ha. The first phase of the geopedological approach was applied and we generated maps of geomorphological landscapes, relief/modeling, lithology/facies, and landforms performing a morphographic and morphometric attributes analysis. The analysis was complemented with photointerpretation of orthophotomaps and field verification. Forty-nine percent of the study area corresponds to the geomorphologic landscape of plains, containing floodplain reliefs and depressions over alluvial sediments, with the prevalent landforms of river levee, overflow mantle, and decantation basin. These have good surface drainage, except for the basins that stay flooded for six months. The remaining area belongs to the geomorphological landscape of hills, with hillocks and depression reliefs over detritic sediments, with dominant landforms of backslope, summit, inter-hill depression, and foot slope. New landforms were zoned as inter-hill depression, teardrop, shoulder, and oil well. Depressions in elevated topographic positions stand out for having flooded wetlands for up to eight months. The study provides information that can contribute to the planning of agricultural and forestry land uses, in order to mitigate the degradation of natural resources in tropical plains and hills.*

**Keywords:** geopedological approach, geomorphological landscape, alluvial sediments, detritic sediments, depressions.

## 1. Introducción

En las últimas décadas, la aplicación del enfoque geopedológico ha acelerado la generación de cartografía de geoformas y suelos (Zinck, 2012; Michaud *et al.*, 2013) para contribuir al uso sustentable del territorio y atenuar la degradación de recursos naturales (Paladino *et al.*, 2017; Mwendwa *et al.*, 2020). En este enfoque, la geomorfología establece los linderos de las geoformas, mismas que la pedología transforma en unidades de suelos mediante una clasificación taxonómica (Zinck 2012; Frugoni *et al.*, 2016; Zinck *et al.*, 2016). El enfoque geopedológico es un sistema categórico para la clasificación de geoformas a distintas escalas, consta de seis niveles: geoestructura, ambiente morfogenético, paisaje geomorfológico, relieve/modelado, litología/facie y forma del terreno (Zinck, 2012); la selección del tipo de geoforma y la escala de mapeo dependerá del propósito del estudio. La forma del terreno es el tipo básico de geoforma, se caracteriza por una combinación única de geometría, historia y dinámica, y se aplica en estudios a escala detallada de un territorio (> 1:25 000) (Borujeni *et al.*, 2009; Zinck, 2012; Junqueira *et al.*, 2015).

Entre las aplicaciones del enfoque geopedológico sobresalen: a) ordenación ambiental, para el manejo de recursos naturales en el estado de Michoacán (Bocco *et al.*, 1999), la planeación integral de usos y servicios ambientales (González *et al.*, 2009), el análisis de geomorfología-vegetación (Michaud *et al.*, 2013), y la evaluación de la vulnerabilidad costera ante inundaciones por el aumento del nivel del mar en Tabasco y Campeche (Ramos-Reyes *et al.*, 2016); b) cartografía y clasificación de suelos, para explicar el efecto de las geoformas en la génesis y distribución geográfica de los suelos en los estados de Yucatán (Bautista *et al.*, 2015), Tabasco (Zavala-Cruz *et al.*, 2016a; Palma-López *et al.*, 2017a) y Campeche (Palma-López *et al.*, 2017b), y la incidencia de las geoformas en la clasificación de suelos en planicies y terrazas de Tabasco (Brindis-Santos *et al.* 2020); y c) evaluación de tierras, para determinar

el potencial forestal a nivel de cuenca (Frugoni *et al.*, 2016), y el mapeo de clases de capacidad de uso agropecuario en el estado de Campeche (Palma-López *et al.*, 2017b). Estos estudios generaron cartografía a nivel de paisajes geomorfológicos y relieve/modelados a escalas de reconocimiento y semidetallada.

El enfoque geopedológico también ha contribuido al uso y manejo sustentable de tierras mediante estudios de procesos de erosión y sedimentación, evaluación de superficies para riego y caracterización biofísica para el manejo integral de cuencas (Saint-Laurent *et al.*, 2008; Mousavi *et al.*, 2017; Reyna-Bowen *et al.*, 2017). Los mapas de geoformas y suelos, y la base de datos morfo-métricos, físicos y químicos, aportan información valiosa para la zonificación ecológica de cultivos, reservas ecológicas, áreas de protección y mejoramiento ambiental (Zinck, 2012). La clasificación y cartografía del relieve representa uno de los primeros pasos para la definición y delimitación de unidades de gestión ambiental, indispensables para el ordenamiento ecológico territorial (Hernández-Santana *et al.*, 2017).

El objetivo de esta investigación fue generar cartografía detallada de las formas del terreno en planicies y lomeríos con usos agropecuarios en el estado de Tabasco, México. Esta cartografía servirá de base para el mapeo detallado de suelos y para coadyuvar al manejo sustentable de usos agrícolas mediante evaluaciones de tierras.

## 2. Área de estudio

Se localiza al suroeste del estado de Tabasco, en el municipio de Huimanguillo, entre las coordenadas 17°49'00" y 18°01'00" de latitud norte, y 93°31'30" y 93°44'30" de longitud oeste, en una superficie de 29 398 ha (Figura 1). Forma parte de la región fisiográfica Llanura Costera del Golfo Sur, al norte y oeste presenta planicies con sedimentos aluviales del Cuaternario (Holoceno), y al sur dominan lomeríos sobre arena, limo, arenisca y conglomerado del Plioceno-Pleistoceno (SGM,



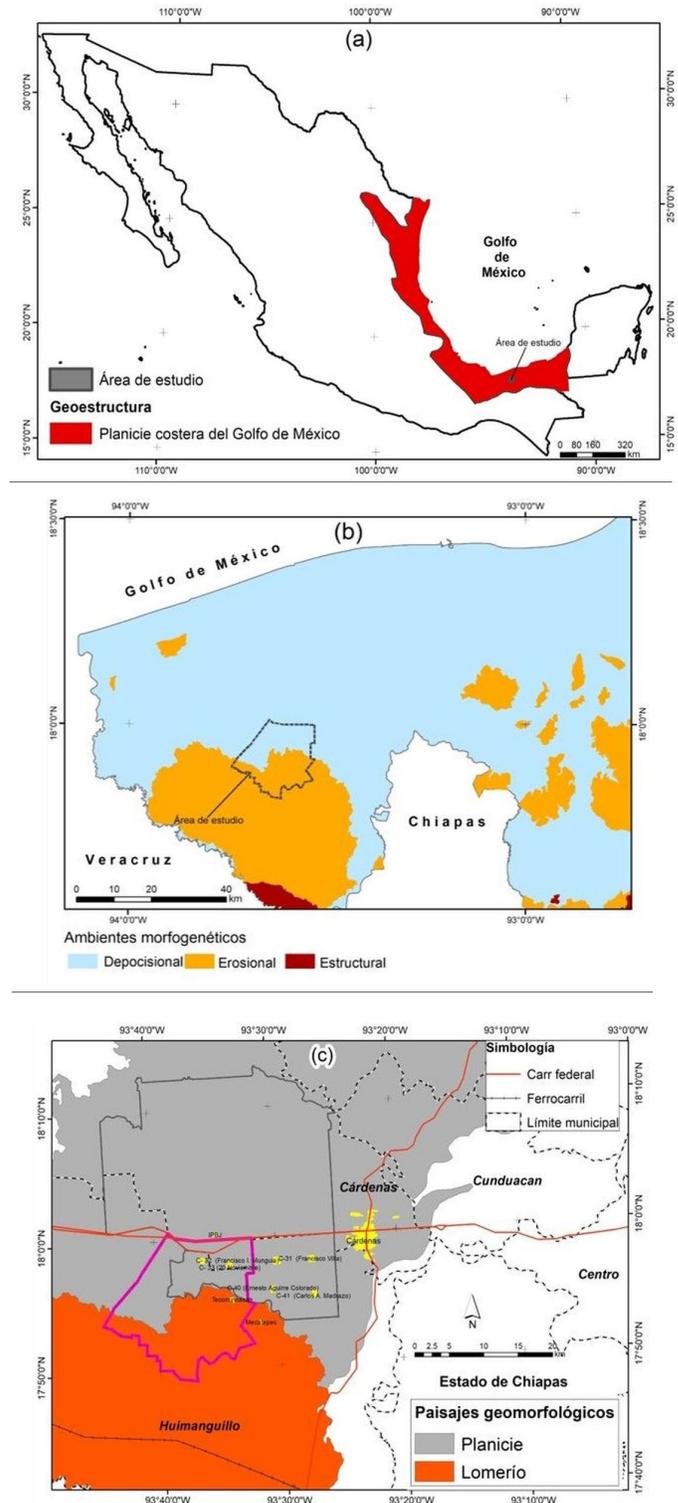
2012). La geoestructura se identificó mediante revisión de literatura (García y Lugo, 2003). Los ambientes morfogenéticos y paisajes geomorfológicos se delineararon con base en Zavala-Cruz *et al.* (2016a), los linderos se corrigieron mediante el análisis del modelo digital de elevación (MDE) LiDAR (INEGI, 2011b).

### 3.2. MAPAS DE RELIEVE/MODELADO Y LITOLOGÍA/FACIES

Los relieves/modelados se delimitaron mediante el análisis de atributos morfográficos (configuración, diseño de contornos, arreglo de las curvas de nivel y patrón de drenaje) en el MDE, y su asociación con procesos morfoclimáticos (Zinck, 2012; Zavala-Cruz *et al.*, 2016a). Las litologías/facies se adaptaron del SGM (2005), y los linderos entre las rocas detríticas y aluviales se basaron en el mapa de relieve/modelado y verificación de campo.

### 3.3. MAPA DE FORMAS DEL TERRENO

A partir del MDE, se generó un mosaico de 5 x 5 m de tamaño de píxel, y se elaboraron mapas (escala 1:20 000) de curvas de nivel con intervalos de 1 metro, de pendientes (Priego *et al.*, 2010) e hipsométrico. La sobreposición de esta cartografía con el sombreado de la superficie del modelo LiDAR, facilitó la identificación de las formas del terreno mediante el análisis de atributos de las geoformas: a) morfográficos: perfil topográfico, forma topográfica, configuración y diseño de los contornos; b) morfométricos: altura relativa y pendiente (Priego *et al.*, 2010; Zinck, 2012; Schoeneberger *et al.*, 2012). La clasificación de las formas de la planicie se hizo mediante revisión de literatura (Zinck 2012; Solís-Castillo *et al.* 2014; Zavala-Cruz *et al.*, 2016a; Brindis-Santos *et al.*, 2020), y la de lomerío se basó en el modelo de facetas de vertiente de Rhue (Zinck 2012; Schoeneberger *et al.*, 2012). La zonificación de las formas del terreno en áreas topográficas bajas y cóncavas se complementa con la fotointerpretación del tono, uso del suelo y vegetación (Palma-López *et al.*, 2017b; Wilcox y



**Figura 2** Geoformas mayores en planicies y lomeríos del municipio de Huimanguillo, Tabasco. a) Geoestructura, b) ambientes morfogenéticos y c) paisajes geomorfológicos.

Bateman, 2018), ortofotomapas a escala 1:10 000 (INEGI, 2011a). El mapa de formas del terreno se complementa con tres transectos topográficos basados en el modelo LiDAR, para evidenciar la diversidad de geoformas en sentido longitudinal y altitudinal, de zonas topográficas bajas a altas: a) en planicie aluvial, b) en lomerío con arena y limo, y c) en lomerío con arenisca y conglomerado. En el campo, se colectó información de atributos de las geoformas, procesos morfoclimáticos y uso del suelo, en tres sitios de cada forma del terreno. Se entrevistó a campesinos para conocer el tiempo y altura de las inundaciones y encharcamientos en las formas negativas del terreno.

## 4. Resultados

### 4.1. GEOESTRUCTURA, AMBIENTES MORFOGENÉTICOS Y PAISAJES GEOMORFOLÓGICOS

El área de estudio forma parte de la geoestructura Llanura Costera del Golfo de México (LLCGM),

en la zona situada entre el Golfo de México y la Sierra de Chiapas y Guatemala. Presenta relieves ondulados y planos sobre rocas sedimentarias del Terciario y Cuaternario. En Tabasco su anchura varía de 65 a 140 km y su altura es inferior a 100 msnm (Figura 2a).

El ambiente morfogenético deposicional prevalece al norte y noroeste del área de estudio (Figura 2b), su origen se debe a la acumulación de sedimentos aluviales del río Mezcalapa; coincide con el paisaje geomorfológico de planicie (Figura 2c) cuya pendiente general es menor al 2 % y su altura varía de 0 a 15 msnm; la planicie aluvial actual es inactiva debido a la regulación del caudal en la cuenca alta del río Grijalva, a través de cuatro presas en el estado de Chiapas y a la construcción de bordos contra inundaciones en ambas márgenes del curso bajo. El ambiente erosional se ubica al sur, sobre sedimentos detríticos (Figura 2b), concuerda con el paisaje geomorfológico de lomerío, cuyas geoformas onduladas han sido modeladas por erosión hídrica, generando alturas de 1 a 28 msnm y pendientes de 1 al 30 % (Figura 2c).

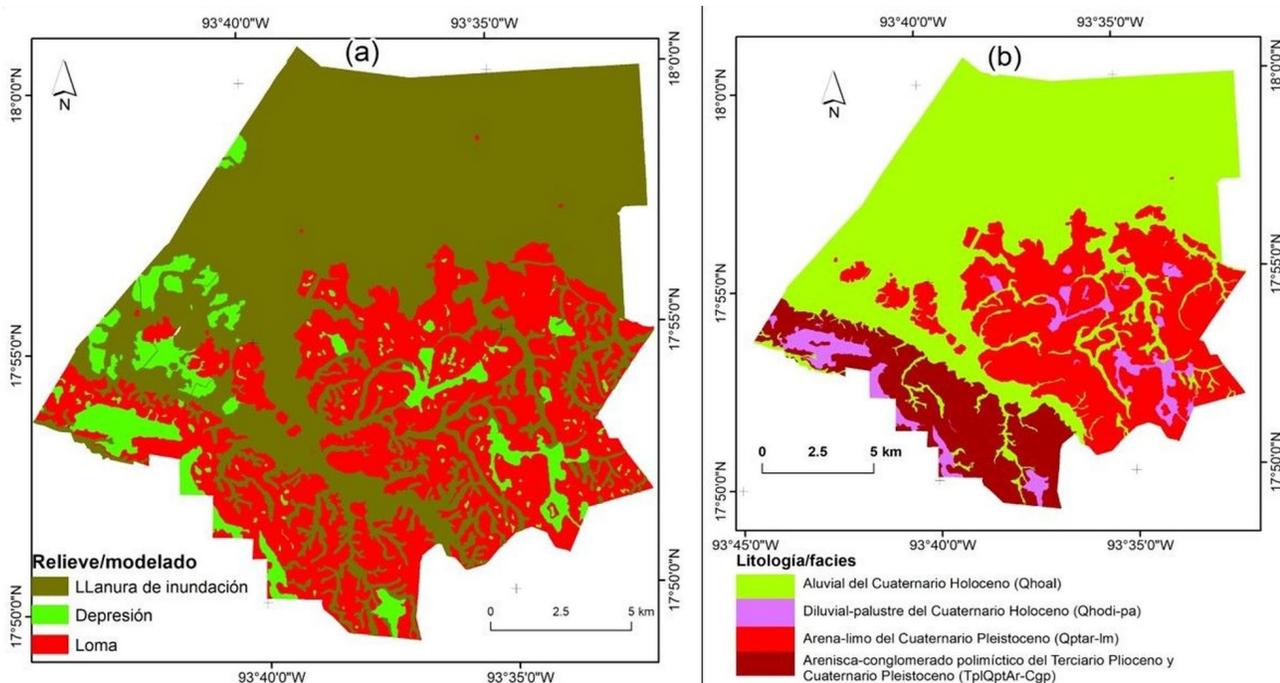


Figura 3 Relieve/modelados (a) y litología/facies (b) en planicies y lomeríos del municipio de Huimanguillo, Tabasco.

#### 4.2. RELIEVE Y LITOLOGÍA

En el paisaje geomorfológico de la planicie sobresale la llanura de inundación (50.6 %), seguida de depresiones (3.8 %). La primera se sitúa en las zonas más elevadas de la planicie y presenta buen drenaje superficial por efecto de drenes primarios y secundarios, excepto en áreas adyacentes al río Zanapa y depresiones donde sufre inundaciones temporales y encharcamientos en la época de lluvias (Figura 3a). La facie es de sedimentos aluviales arenosos en los cauces inactivos y, limosos y arcillosos en la llanura de inundación (Figura 3b). Las depresiones ocupan zonas de topografía baja, al suroeste, su forma cóncava y los sedimentos arcillosos favorecen las inundaciones entre septiembre y febrero (Figura 3a).

En el paisaje geomorfológico de lomerío destaca la geoforma de loma (39.3 %) originada por

erosión hídrica, las pendientes varían de ligeras a moderadas y tienen buen drenaje superficial (Figura 3a). Este paisaje presenta rocas sedimentarias detríticas de arenas y limos en la porción central, este y sureste, y de conglomerados y areniscas, al sur y suroeste (Figura 3b). Las lomas disectadas por arroyos intermitentes presentan llanuras de inundación (Figura 3a), donde se acumulan aluviones (Figura 3b). Entre las lomas abundan depresiones (5.4 %) receptoras de sedimentos diluviales y palustres que se inundan en la época de lluvias (Figuras 3b).

#### 4.3. FORMAS DE TERRENO

En el paisaje geomorfológico de planicie, desde la zona norte hasta el río Zanapa, al suroeste del área de estudio, en un desnivel de 12 a 0 msnm, se identificaron siete formas del terreno cuya altura

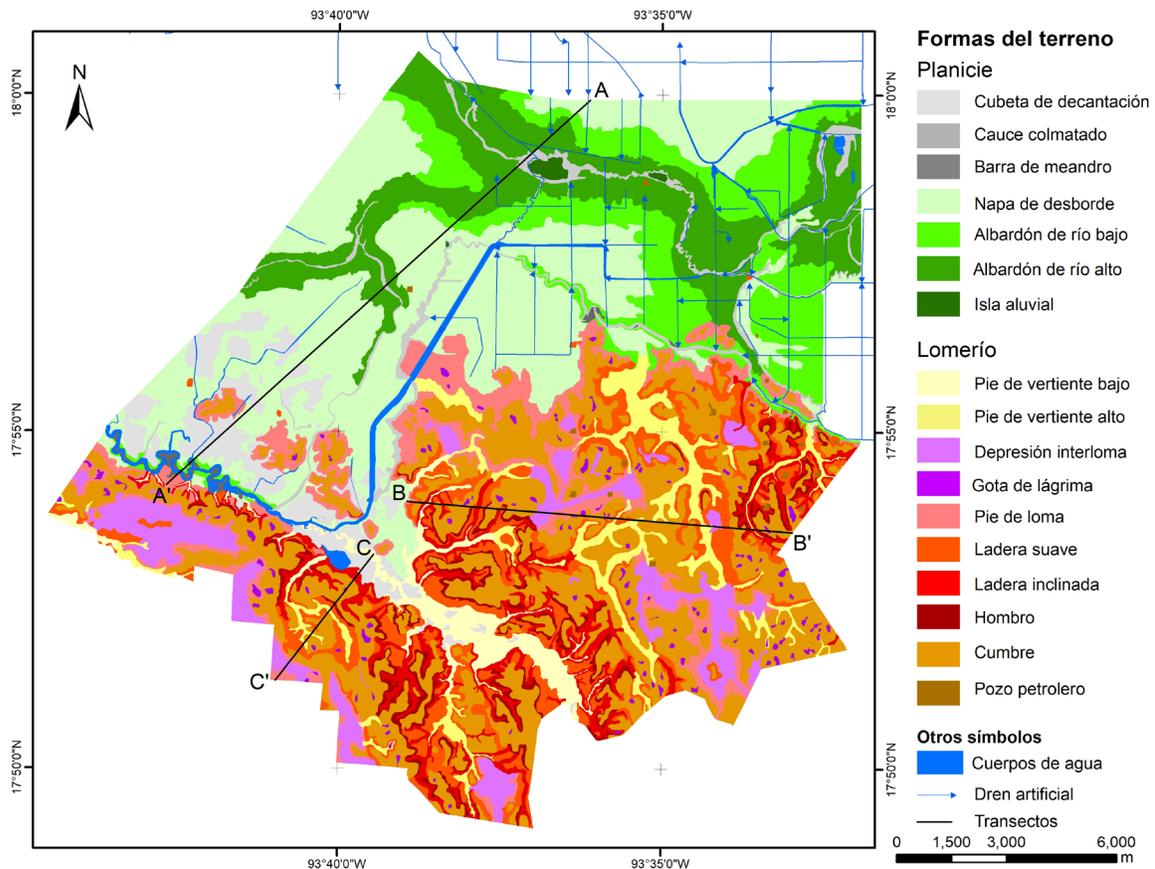


Figura 4 Formas de terreno en planicies y lomeríos del municipio de Huimanguillo, Tabasco.

Tabla 1. Características morfométricas de las formas del terreno en planicies y lomeríos del municipio de Huimanguillo, Tabasco.

Paisaje geomorfológico	Relieve/modelado	Litología/facie	Forma del terreno	Atributos					Inundación																
				Pendiente (%)	Altura		Superficie		Tiempo (Días)	Frecuencia En un año	Lámina de agua (m)														
					(msnm)	Relativa (m)	(ha)	(%)																	
Planicie	Depresión	Qhoal	Cubeta de decantación	< 1	0-4	1-2	1128.1	3.8	120-210	2-4															
	Llanura de inundación	Qhoal	Cauce colmatado	1-5	2-14	1-2	695.1	2.4	150-180	1-2															
											Barra de meandro	1-6	0-10	2-4	55.0	0.2									
																	Napa de desborde	< 2	2-14	2	6289.2	21.4	5-8	2	0.5-1
Albardón de río alto	1-3	6-15	2	3023.5	10.3																				
Isla fluvial	1-2	10-12	2	58.5	0.2																				
Lomerío	Llanura de inundación	Qhoal	Pie de vertiente bajo	1-6	1-10	2-4	692.8	2.4	2-8	2-3	1-1.5														
												Pie de vertiente alto	1-5	4-24	2-4	1129.4	3.8	2-3	2-3	1-2					
Depresión	Qhodi-pa	Depresión Interlomas	1-4	4-24	1-4	1335.3	4.5	180-240	1.5-2																
Gota de lágrima	Qhodi-pa	< 2	4-26	1-2	199.2	0.7	150-210	1-1.5																	
Loma	Qptar-lm	Pie de loma	1-6	3-26	2-5	1539.4	5.2	1-1.5																	
TplQptAr-Cgp	1-6	3-22	2-4	407.6	1.4																				
Ladera suave	Qptar-lm	4-14	4-26	4-14	1474.9	5.0																			
TplQptAr-Cgp	5-14	4-28	4-8	756.7	2.6																				
Ladera inclinada	Qptar-lm	7-27	4-24	4-12	719.3	2.4																			
TplQptAr-Cgp	6-30	2-24	4-14	590.3	2.0																				
Hombro	Qptar-lm	3-6	6-26	2-4	324.0	1.1																			
TplQptAr-Cgp	5-9	6-26	2-4	287.1	1.0																				
Cumbre	Qptar-lm	1-3	6-28	2-6	3793.7	12.9																			
TplQptAr-Cgp	1-3	6-28	2-6	1660.2	5.6																				
Pozo petrolero	Qhoal	< 2	6-12	1	5.3	0.0																			
Qptar-lm	< 2	10-24	1-4	34.1	0.1																				

relativa varía de 1 a 4 m (Figuras 4 y 5, y Tabla 1). El cauce colmatado de fondo arenoso y arcilloso, se ubica al norte, tiene una dirección sureste-noroeste, se inunda hasta seis meses en la época de lluvias; en medio del cauce existen islas de aluvión con material arenoso y limoso. A los lados del cauce colmatado se localizan albardones de río (19.6 %), altos y bajos, ocupan la posición topográfica más alta en la planicie, entre 7 y 12 msnm; los sedimentos limosos y arcillosos y su forma ligeramente convexa, favorecen el drenaje superficial del agua. Posterior a los albardones se ubica la napa de desborde (21.8 %), en una posición topográfica intermedia (3 a 9 msnm), la pendiente casi plana y la textura arcillosa de los aluviones propician encharcamientos de agua unos días al año. La cubeta de decantación converge con depresiones situadas en las zonas topográficas más bajas de la planicie, entre 0 y 4 msnm, sobre sedimentos

arcillosos, y se inunda cuatro a siete meses al año, durante los desbordamientos del río Zanapa. En las cubetas y napas adyacentes, se han construido drenes artificiales para evacuar el agua superficial y ampliar la superficie agropecuaria, mayormente para el cultivo de caña de azúcar y pastizales (Figura 4). En el río Zanapa, se identifican barras de meandro con aluviones activos que se inundan en la época de lluvias (Figuras 4 y 5).

En el paisaje geomorfológico de lomerío, en las dos litologías, de la base a la cima, se identifica nueve formas del terreno naturales y una artificial, con una altura relativa de 1 a 14 m (Tabla 1 y Figuras 4, 6 y 7). El pie de vertiente ocupa superficies de topografía baja entre laderas, de configuración estrecha y contornos digitados, y fondo plano a cóncavo con sedimentos aluviales y diluviales acumulados por arroyos; presenta dos variantes: a) pie de vertiente bajo, ocupa la posición topográfica

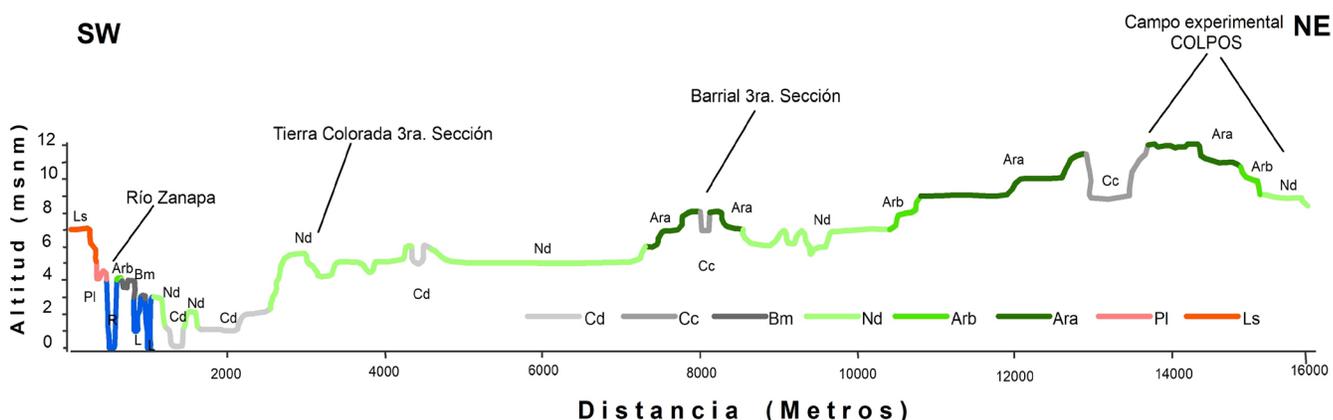
más baja, colinda con el paisaje de planicie, recibe agua y sedimentos de zonas altas, se inunda hasta tres veces al año en periodos menores a ocho días, y b) pie de vertiente alto, se ubica en posiciones topográficas intermedias, tiene buen drenaje superficial, se inunda dos a tres veces al año en periodos menores a tres días. El pie de loma se sitúa en áreas de transición entre lomas y planicies; se reconoce como franjas estrechas que rodean las laderas, su pendiente suave, topografía baja, plana y cóncava, facilitan la recepción de flujos de agua y materiales provenientes de laderas y cumbres. Las laderas se localizan en posiciones intermedias de las lomas, son franjas estrechas que circundan los hombros y cumbres, donan materiales removidos por la erosión hídrica y tienen buen drenaje superficial; existen dos clases: a) ladera suave de inclinación ligera a media, modelada por erosión hídrica laminar, y b) ladera inclinada con pendiente media a fuerte, disectada por ríos y arroyos, lo que ha originado alturas relativas de 4 a 14 m. El hombro se ubica en una franja de transición entre laderas y cumbres, tiene forma estrecha, alargada, convexa y buen drenaje superficial, ha sido modelada por erosión hídrica. La cumbre (18.5 %) ocupa la zona topográfica más elevada del lomerío, tiene configuración ovalada a masiva, contornos sinuosos, pendiente suave y ligeramente convexa, ha sido modelada por intemperización, y posee buen drenaje superficial. La depresión interloma se localiza

en zonas de topografía elevada, ligeramente inferior a las cumbres, al sureste y suroeste del lomerío; su forma plana a cóncava contribuye a la recepción de agua y sedimentos diluviales y palustres, se inunda hasta ocho meses al año. La gota de lágrima es una depresión pequeña de configuración redondeada y linderos sinuosos, se localiza entre cumbres, se inunda cinco a siete meses en la época de lluvias, y sostiene las especies *Paspalum plicatulum* y *Acoelorrhapha wrightii*, con selvas inundables en su entorno; varias son de tipo endorreico. Las depresiones interloma y gotas de lágrima exorreicas vierten sus aguas a arroyos y éstos a los ríos Arenal y Rosario (Figura 4); su drenaje superficial se está modificando mediante drenes parcelarios en zonas cultivadas con caña de azúcar y de pastizales para la ganadería. El pozo petrolero es una geoforma antrópica rectangular, plana, con material pétreo *ex situ* compactado sobre los sedimentos detríticos, contiene equipo y tuberías para extraer y conducir petróleo.

## 5. Discusión

### 5.1. GEOESTRUCTURA, AMBIENTES MORFOGENÉTICOS Y PAISAJES GEOMORFOLÓGICOS

La geoestructura LLCGM, donde se ubica el área de estudio, coincide con rocas sedimentarias terciarias dispuestas en estructura plana a subhorizontal con



**Figura 5** Transecto de formas del terreno en el paisaje geomorfológico de planicie. Claves: Cd = Cubeta de decantación, Cc = Cauce colmatado, Bm = Barra de meandro, Nd = Napa de desborde, Arb = Albardón de río bajo, Ara = Albardón de río alto, PI = Pie de loma, Ls = Ladera suave.



zonas de plegamientos sobre sedimentos meso-ce-nozoicos de hasta 10 km de espesor que descansan sobre un basamento Paleozoico (Padilla y Sánchez, 2007; Hernández-Santana *et al.*, 2007). El ambiente morfogénico deposicional forma parte de la porción occidental del delta del río Mezcalapa y del paisaje geomorfológico planicie fluvio-deltaica inactiva, pero el proceso acumulativo modelador a través de las inundaciones fue desactivado por un sistema de presas en Chiapas, y bordos y drenes en Tabasco (Ortiz-Pérez *et al.*, 2005; Zavala-Cruz *et al.*, 2016a). Solo la planicie fluvial del río Zanapa es activa. Ambientes deposicionales similares se reportan en los ríos Usumacinta, Grijalva, Tacotalpa, Iguape y Tocantins (Solís-Castillo *et al.*, 2014; Zavala-Cruz *et al.*, 2016a; Veneziani *et al.*, 2019; Brindis-Santos *et al.*, 2020; De Jesús *et al.*, 2020), con la diferencia que éstos permanecen activos.

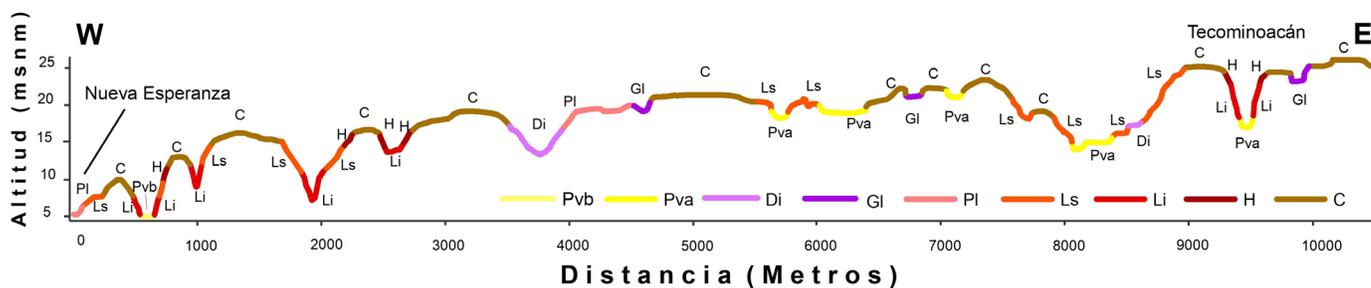
El ambiente morfogénico erosional converge con el paisaje geomorfológico de terrazas detríticas (Zavala-Cruz *et al.*, 2014; Zavala-Cruz *et al.*, 2016a; Brindis-Santos *et al.*, 2020). Geoformas análogas se reportan como terraza estructural, ambiente de denudación y lomerío (Ortiz-Pérez *et al.*, 2005; Hernández-Santana *et al.*, 2009; Geissert y Enríquez, 2011; Solís-Castillo *et al.*, 2014; De Jesús *et al.*, 2020).

### 5.2. RELIEVE Y LITOLOGÍA

Los relieves/modelados de llanura de inundación y depresiones son típicas de planicies aluviales,

concuerdan con geoformas reportadas en otros ríos (Zamora-Saud *et al.*, 2019; Brindis-Santos *et al.*, 2020); De Jesús *et al.* (2020) las clasifica como planicies fluviales proximales y distales. En el área de estudio sobresalen llanuras de inundación extensas (91.9 %) y depresiones reducidas (8.1 %), en comparación con las mismas geoformas de los ríos Usumacinta, Tacotalpa y Grijalva, en particular las depresiones en estos ríos son dos a tres veces más extensas (Salgado-García *et al.*, 2015; Zavala-Cruz *et al.*, 2016b; Brindis-Santos *et al.*, 2020). En el paisaje de lomerío prevalece el relieve de loma, presenta buen drenaje superficial asociado a las pendientes dominantes de 3 al 30 % y la topografía rectilínea-inclinada y convexa. Geoformas comparables se clasifican como terraza inferior, meso y cumbral, terraza baja y alta, y lomerío bajo y alto; su función característica es la transferencia de materiales (Barbosa *et al.*, 2005; Solís-Castillo *et al.*, 2014; Zavala-Cruz *et al.*, 2016a; Zamora-Saud *et al.*, 2019; De Jesús *et al.*, 2020; Brindis-Santos *et al.*, 2020). Entre las lomas se localizan depresiones y llanuras de inundación con drenaje superficial deficiente, equiparables a valles acumulativos, depresiones y vallecitos coluvio-aluviales (Barbosa *et al.*, 2005; Zavala-Cruz *et al.* 2014).

La mayor superficie de las litologías/facies del área de estudio concuerda con rocas y edades reportadas por otros autores (SGM, 2005), pero los linderos de las unidades de sedimentos aluviales encontradas en este estudio (Figura 3) no coinciden



**Figura 6** Transecto de formas del terreno en el paisaje geomorfológico de lomerío sobre arena y limo. Claves: Pva = Pie de vertiente alto, Di = Depresión interloma, PI = Pie de loma, Ls = Ladera suave, Li = Ladera inclinada, H = Hombro, C = Cumbre.

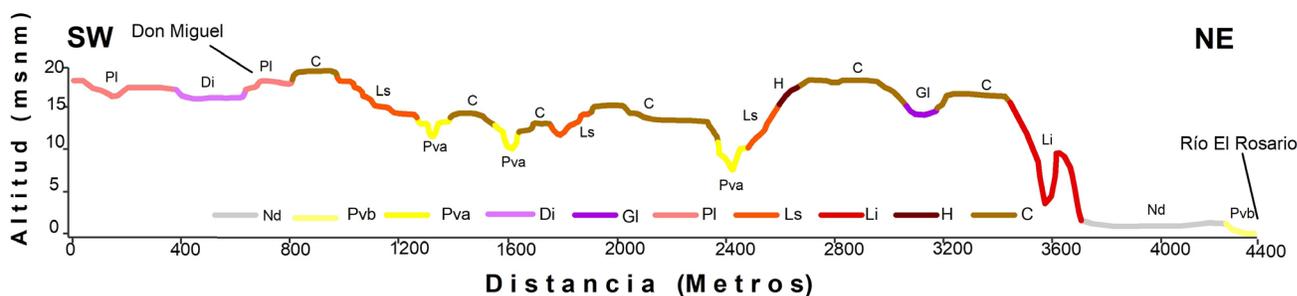
con los del autor citado. La corrección del mapa de litología a partir de la zonificación de relieve/modelados, permitió precisar los linderos de los sedimentos aluviales del Holoceno, lo que significó una reducción del 21 % del área con sedimentos detríticos del Plioceno-Pleistoceno. Además, en áreas de la planicie próximas al lomerío, se identificaron lomas aisladas de sedimentos detríticos, similares a otras zonas de transición entre planicies y lomeríos en Tabasco (Zavala-Cruz *et al.*, 2016a; Zavala-Cruz *et al.*, 2016b; Brindis-Santos *et al.*, 2020). En el paisaje de lomerío, los sedimentos aluviales en llanuras de inundación y diluvial-palustre en las depresiones no se habían reportado en mapas geológicos (SGM, 2005), pero hay evidencia de aluviones y coluvio-aluviones en valles acumulativos ubicados entre lomeríos (Barbosa *et al.*, 2005; Zavala-Cruz *et al.* 2014; Zavala-Cruz *et al.*, 2016b).

### 5.3. FORMAS DE TERRENO DEL PAISAJE GEOMORFOLÓGICO DE PLANICIE

Las 17 formas de terreno zonificadas en el área de estudio, siete en el paisaje de la planicie y diez en el paisaje de lomerío, superan en 54 % a las registradas en paisajes geomorfológicos similares en ríos de Tabasco (Solis-Castillo *et al.*, 2014; Zavala-Cruz *et al.*, 2016b; Brindis-Santos *et al.*, 2020), en la llanura costera de Michoacán (Métyay *et al.*, 2017) y en una cuenca en el río Amazonas en Perú (Soria-Díaz *et al.*, 2015).

En la planicie, las formas del terreno varían en sentido transversal a los cauces colmatados, desde los albardones sobre topografía elevada, hasta las cubetas de decantación sobre topografía muy baja (Figuras 4 y 5). Una secuencia similar es reportada por Barbosa *et al.* (2005), Solis-Castillo *et al.* (2014), Zavala-Cruz *et al.* (2016b) y Brindis-Santos *et al.* (2020). Los dos últimos autores mencionan desniveles topográficos de 4 a 5.5 m, en tanto que en el área de estudio el desnivel fue de 12 m (Figura 5), lo que revela diferencias importantes en el volumen de acumulación de aluviones en las diferentes planicies. En el mismo sentido, la distribución de los sedimentos aluviales varía desde texturas arenosas en el cauce, limo-arcillosas en los albardones, hasta arcillas en la napa y la cubeta, lo cual es similar a lo reportado en otras planicies fluviales (Zinck, 2012; Brindis-Santos *et al.*, 2020; Furlan *et al.*, 2021).

Los cauces colmatados ubicados entre albardones, de topografía cóncava e inundable hasta seis meses del año, son comparables a formas cartografiadas como lecho fluvial abandonado, cauce inactivo, cauce antiguo y paleo-canal (Solis-Castillo *et al.*, 2014; Zavala-Cruz *et al.*, 2016b; Brindis-Santos *et al.*, 2020; De Jesús *et al.*, 2020). En el área de estudio, estos cauces han sido modificados por drenes, carreteras y rellenos de materiales, lo que ha desviado u obstruido el flujo natural del agua (Sánchez, 2007). Las islas aluviales, situadas entre los cauces colmatados, son semejantes a las reportadas en ríos inactivos y activos (Zavala-Cruz



**Figura 7** Transecto de formas del terreno en el paisaje geomorfológico de lomerío sobre arenisca y conglomerado. Claves: Pvb = Pie de vertiente bajo, Pva = Pie de vertiente alto, Di = Depresión interloma, Gl = Gota de lágrima, Ls = Ladera suave, Li = Ladera inclinada, H = Hombro, C = Cumbre.

*et al.*, 2009; Veneziani *et al.*, 2019). Los albardones altos y bajos presentan similitudes a las formas descritas como diques naturales, terrazas medias y vegas, caracterizadas por su posición topográfica alta y buen drenaje superficial (Serrato, 2009; Solís-Castillo *et al.*, 2014; Zavala-Cruz *et al.*, 2016b; Veneziani *et al.*, 2019; De Jesús *et al.*, 2020; Brindis-Santos *et al.*, 2020).

La napa de desborde cubre la mayor superficie de la planicie. Es compatible con geoformas reportadas como llanura de inundación, cuenca pobremente drenada y planicie fluvial distal, expuestas a inundaciones recurrentes (Barbosa *et al.*, 2005; Zavala-Cruz *et al.*, 2016b; Veneziani *et al.*, 2019; Brindis-Santos *et al.*, 2020; Brandolini y Carrer, 2020; De Jesús *et al.*, 2020). En el área de estudio, la napa se encharca en la época de lluvias y solo la superficie adyacente al río Zanapa continúa activa.

La cubeta de decantación denota zonas de topografía muy baja y expuestas a inundaciones prolongadas, concuerda con geoformas similares en planicies de los ríos Usumacinta, Grijalva y Tacotalpa (Solís-Castillo *et al.*, 2014; Zavala-Cruz *et al.*, 2016b; Brindis-Santos *et al.*, 2020). Su extensión se ha reducido a consecuencia de la desactivación del río Mezcalapa (Ortiz-Pérez *et al.*, 2005; Zavala-Cruz *et al.*, 2016a) y la desecación provocada por obras de drenaje (Mendoza *et al.*, 2003); similar a lo ocurrido en otras zonas de humedales (Sánchez, 2007; Martín *et al.*, 2012). Las barras de meandro de los ríos Rosario y Arenal son equivalentes a las reportadas en otros ríos (Veneziani *et al.*, 2019; Stevaux *et al.*, 2020; De Jesús *et al.*, 2020; Brindis-Santos *et al.*, 2020) y evidencian inestabilidad del cauce por migración en la planicie del río (De Mello *et al.*, 2018).

#### 5.4. FORMAS DE TERRENO DEL PAISAJE GEOMORFOLÓGICO DE LOMERÍO

En el paisaje de lomerío dominan las formas del terreno positivas (77.5 %) sobre las formas negativas (22.5 %). Las formas negativas se identifican como depresión interloma, pie de vertiente y gota

de lágrima, su topografía baja, plana y cóncava, es receptora de agua y sedimentos erosionados en las formas positivas pie de loma, ladera, hombro y cumbre (Figura 4). Las primeras concuerdan con formas acumulativas (Cajuste-Botemps y Gutiérrez-Castorena, 2011; Zavala-Cruz *et al.*, 2014; Mwendwa *et al.*, 2020), y las segundas resultan de procesos de erosión e intemperización (Solís-Castillo *et al.*, 2014; Zavala-Cruz *et al.*, 2016a; Brindis-Santos *et al.*, 2020; Mwendwa *et al.*, 2020).

El pie de vertiente, con aluviones expuestos a inundaciones de pocos días al año, es comparable con unidades cartográficas de valle acumulativo y valle erosivo-acumulativo de otras terrazas (Zavala-Cruz *et al.*, 2014; Zavala-Cruz *et al.*, 2016a; Brindis-Santos *et al.*, 2020) que sostienen vegetación de humedales de tipo riparia y secundaria (Palma-López *et al.*, 2011).

La depresión interloma revela zonas inundables en el 8.9 % del lomerío, coincide con vegetación típica de humedales de Tabasco (Castillo-Acosta y Zavala-Cruz, 2019), y es equiparable a depresiones, humedales y rellanos rodeados por terrazas, tierras altas y laderas (Nilsson *et al.*, 2013; Salgado-García *et al.*, 2015; Frugoni *et al.*, 2016). La gota de lágrima es una forma particular, desde su identificación en fotografías aéreas (West *et al.*, 1985) no se había cartografiado debido a su escasa dimensión (<0.5 ha) y distribución espacial (1.4 %); concuerda con humedales aislados (Castillo-Acosta y Zavala-Cruz, 2019; Furlan *et al.*, 2021). Los humedales de la depresión interloma y la gota de lágrima están en proceso de cambio a usos agropecuarios mediante obras de drenaje que contribuyen a la extinción de estos ecosistemas.

El pie de loma, situado en la base de las lomas, es similar a geoformas receptoras de flujos de agua y materiales clasificadas como terraza inferior, lomerío bajo plano a ligeramente convexo y pie de colina (Solís-Castillo *et al.*, 2014; Brindis-Santos *et al.*, 2020; Goy *et al.*, 2020). Las laderas suaves a inclinadas y los hombros conjuntan la mayor superficie (27.8 %) del paisaje de lomerío, están vinculadas a procesos de erosión y transferencia de materiales (Cajuste-Botemps y Gutiérrez-Castorena, 2011; Zavala-Cruz *et al.*, 2014; Brantley *et*

al., 2017; Schoeneberger *et al.*, 2017; Vanacker *et al.*, 2019; Goy *et al.*, 2020). La cumbre sobresale en el lomerío por su posición topográfica elevada y extensión (18.5 %), concuerda con geoformas indicadoras de erosión e intemperización como terrazas cumbrales y cumbres (Solís-Castillo *et al.*, 2014; Frugoni *et al.*, 2016). El pozo petrolero es una microforma antrópica, típica de campos de extracción de petróleo (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2011; Pinkus-Rendón y Contreras-Sánchez, 2012), el material *ex situ* compactado modifica el relieve original y su función natural (López-Hernández *et al.*, 2020).

Cabe hacer notar que las formas de pie de loma, hombro y pozo petrolero han sido omitidas en la cartografía geomorfológica de lomeríos, posiblemente por su escasa superficie, y generalmente se incluyen en las laderas. Además, las formas del lomerío en Tabasco, incluyendo el área de estudio, por su pendiente dominante plana a moderada (1 al 14 %) y drenaje superficial eficiente, han sido deforestadas para incrementar los usos agropecuarios y forestales, cuyo manejo no sustentable ha provocado pérdida de suelo por erosión hídrica (Palma-López *et al.*, 2008; Geissen *et al.*, 2008; Zavala-Cruz *et al.* 2011; Ortiz-Solorio *et al.*, 2011; Palma-López *et al.*, 2011).

## 6. Conclusiones

La aplicación del enfoque geopedológico en planicies y lomeríos del municipio de Huimanguillo, Tabasco, permitió detectar dos paisajes geomorfológicos, tres relieves/modelados, cuatro litologías/facies y 17 formas del terreno. Las formas del terreno indican una alta riqueza de geoformas en poca extensión territorial. El 49 % de la superficie corresponde al paisaje geomorfológico de planicie, caracterizado por relieves de llanura de inundación y depresiones sobre sedimentos aluviales, donde prevalecen las formas del terreno albardón de río alto y bajo, napa de desborde y cubeta de decantación; presentan buen drenaje superficial, excepto las cubetas que están expuestas

a inundaciones prolongadas. En el mismo sentido varían los aluviones de textura gruesa, y de media a fina.

En el paisaje geomorfológico de lomerío, con el 51 % de la superficie, se identificó la mayor diversidad de geoformas, con formas del terreno dominantes de laderas y cumbres (77.5 %) formadas por sedimentos detríticos y expuestas a la erosión. Sobresalen formas negativas en el 22.5 % del lomerío, como depresión interloma, gota de lágrima y pie de vertiente, sobre depósitos aluviales y diluviales-palustres, expuestas a inundaciones; coinciden con ecosistemas de humedales aislados. La cartografía detallada de las geoformas permitió la detección de nuevas formas del terreno en paisajes de planicie y lomerío, como depresiones interloma, gotas de lágrima y hombro, y la corrección de linderos entre sedimentos aluviales del Holoceno y detríticos del Plioceno-Pleistoceno. Las formas del terreno evidencian procesos geomorfológicos que se traducen en limitaciones para los usos agropecuarios, como erosión de las geoformas positivas, e inundación y encharcamiento en las geoformas negativas, las cuales deben ser consideradas en el manejo sustentable de usos del suelo actuales y futuros para mitigar la degradación de los recursos naturales. Es evidente la presión sobre las depresiones contenedoras de humedales mediante drenes artificiales que modifican el drenaje superficial para la conversión a usos agropecuarios, lo que coadyuva a la extinción progresiva de estos ecosistemas.

## Contribuciones de los autores

*Conceptualización:* López-Castañeda, Zavala-Cruz;  
*Análisis o adquisición de datos:* López-Castañeda;  
*Desarrollo metodológico/técnico:* Zavala-Cruz; *Redacción del manuscrito original:* López-Castañeda; *Redacción del manuscrito corregido y editado:* Zavala-Cruz, Palma-López, Bautista-Zúñiga, Rincón-Ramírez;  
*Diseño gráfico:* López-Castañeda, Zavala-Cruz;  
*Trabajo de campo:* López-Castañeda, Zavala-Cruz;  
*Interpretación:* López-Castañeda, Zavala-Cruz.

## Financiamiento

Colegio de Postgraduados (COLPOS), Campus Tabasco.

## Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca 207738 otorgada al primer autor para la realización de estudios doctorales. Al Ing. Edgar D. Shirma Torres por su apoyo en el trabajo de campo. Al laboratorio LASPA del Campus Tabasco por los análisis de textura de los sedimentos. Al Campus Tabasco por el apoyo logístico durante el estudio.

## Conflicto de intereses

Los autores manifiestan que no existe conflicto de intereses.

## Referencias

Aceves-Navarro, L.A., Rivera-Hernández, B., 2019, Clima, en Mata-Zayas, E.E., Palma-López D.J. (eds.) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Tabasco. La Biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado: Vol. I: México, CONABIO, 61-68.

Barbosa, O.A., Bertani, L.A., Fernández, F.R., Mendoza, R.P., 2005, Análisis fisiográfico para el levantamiento pedológico semidetallado: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 9, 191-198. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662005000200007>

Bautista, F., Frausto, O., Ihl, T., Aguilar, Y., 2015, Actualización del mapa de suelos del estado de Yucatán México: Enfoque geomorfopedológico y WRB: Ecosistemas

y Recursos Agropecuarios, 2, 303-315. <https://doi.org/10.19136/era.a2n6.110>

Brantley, S.L., Lebedeva, M.I., Balashov, V.N., Singha, K., Sullivan, P.L., Stinchcomb, G., 2017, Toward a conceptual model relating chemical reaction fronts to water flow paths in hills: *Geomorphology*, 277, 100-117. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.09.027>

Brandolini, F., Carrer, F., 2020, Terra, Silva et Paludes. Assessing the role of alluvial geomorphology for Late-Holocene settlement strategies (Po Plain–N Italy) through point pattern analysis: *Environmental Archaeology*, 26(5), 511-525. <https://doi.org/10.1080/14614103.2020.1740866>

Brindis-Santos, A.I., Palma-López, D.J., Zavala-Cruz, J., Mata-Zayas, E.E., López-Bustamante, Y.I., 2020, Paisajes geomorfológicos relacionados con la clasificación de los suelos en planicies y terrazas de Tabasco, México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 72(1), A090919. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2020v72n1a090919>

Bocco, G., Mendoza, M.E., Velázquez, A., Torres, A., 1999, La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México. El caso de Michoacán de Ocampo: *Investigaciones Geográficas*, 40, 7-22. <https://doi.org/10.14350/rig.59091>

Borujeni, E., Salehi, M.H., Toomanian, N., Mohammadi, J., Poch, R.M., 2009, The effect of survey density on the results of geopedological approach in soil mapping: A case study in the Borujen region, Central Iran: *Catena*, 79, 18-26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2009.05.003>

Cajuste-Botemps, L., Gutiérrez, C.M.C., 2011, El factor relieve en la distribución de los suelos en México, en Krasilnikov, P., Jiménez-Nava, F.J., Reyna-Trujillo, T., García-Calderón, N.E. (eds.), *Geografía de suelos de México: México*, UNAM, 73-86.

Castillo-Acosta, O., Zavala-Cruz, J., 2019, Tipos de vegetación, en Mata-Zayas, E.E., Palma-López D.J. (eds.), *La biodiversidad en*

- Tabasco. Estudio de Estado: Vol. I.: México, CONABIO, 69-76.
- De Jesús, J.S., Pupim, F.D.N., Sawakuchi, A. O., Felipe, L.B., 2020, Geomorphology of fluvial deposits in the middle Tocantins River, eastern Amazon: *Journal of Maps*, 16, 710-723. <https://doi.org/10.1080/17445647.2020.1822938>
- De Mello, Y.R., de Sousa, M.S., Gomes, I.A., de Oliveira, F.A., 2018, Análise da evolução do trecho de planície do rio três barras (sc) a partir do mapeamento de feições fluviais: *Caminhos de Geografia*, 19, 19-34. <http://dx.doi.org/10.14393/RCG196602>
- Domínguez-Domínguez, M., Zavala-Cruz, J., Martínez-Zurimendi, P., 2011, Manejo forestal sustentable de los manglares de Tabasco: Villahermosa, Tabasco, México, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental, Colegio de Postgraduados, 137 p.
- Frugoni, M.C., González, M.R., Falbo, G., Zapiola, D., 2016, La geopedología como base para zonificar la aptitud forestal en una cuenca del noroeste de la Patagonia Argentina: *Boletín Geográfico*, 38, 29-48.
- Furlan, L.M., Rosolen, V., Moreira, C.A., Bueno, G.T., Ferreira, M.E., 2021, The interactive pedological-hydrological processes and environmental sensitivity of a tropical isolated wetland in the Brazilian Cerrado: *SN Applied Sciences*, 3, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04174-7>
- García, A.M.T., Lugo-Hubp, J., 2003, El relieve mexicano, en mapas topográficos: Instituto de Geografía: México, UNAM, 149 p.
- Geissen, V., López de Llergo-Juárez, J.G., Galindo-Alcántara, A., Ramos-Reyes, R., 2008, Erosión superficial y carstificación en Macuspana, Tabasco, Sureste de México: *Agrociencia*, 42, 605-614.
- Geissert, K.D., Enríquez, F.E., 2011, Geomorfología, en Cruz, A.A. (ed.), *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, AC. México*, 52-69.
- González, G.S.A., Bojórquez, S.J.I., Nájera, G.O., García, P.J.D., Madueño, M.A., Flores, V.F., 2009, Regionalización ecológica de la llanura costera norte de Nayarit, México: *Investigaciones Geográficas*, 69, 21-32. <https://doi.org/10.14350/rig.18002>
- Goy, J.L., Cruz, R., Martínez-Graña, A., Valdés, V., Yenes, M., 2020, Geomorphological map and quaternary landscape evolution of the Monfragüe Park (Cáceres, Spain): *Sustainability*, 12, 10099. <https://doi.org/10.3390/su122310099>.
- Hernández-Santana, J.R., Lugo-Hubp, J., Ortiz-Perez, M., 2007, Morfoestructuras regionales, en Coll-Hurtado, A., (eds.), *Nuevo atlas nacional de México: México, UNAM, Instituto de Geografía*.
- Hernández-Santana, J.R., Bollo-Manent, M., Méndez-Linares, A.P., Figueroa-Mah Eng, J.M., 2009, Formación y morfogénesis del relieve del extremo noroccidental del estado de Chiapas, México: *Investigaciones Geográficas*, 68, 25-40. <https://doi.org/10.14350/rig.17996>
- Hernández-Santana, J.R., Pérez-Damián, J.L., Rosete-Vergés, F., Villalobos-Delgado, M., Méndez-Linares, A.P., Navarro-Salas, E., 2017, Clasificación geomorfométrica del relieve mexicano: una aproximación morfográfica por densidad de curvas de nivel y la energía del relieve: *Investigaciones Geográficas*, 94, 1-15. <https://doi.org/10.14350/rig.57019>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2011a, Ortofotos: E15C17C, E15C17F, E15C18A, E15C18B, E15C18D, E15C18E escala 1: 10 000: Aguascalientes, México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2011b, Modelo digital de elevación E15C17C, E15C17F, E15C18A, E15C18B, E15C18D, E15C18E: Aguascalientes, México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

- Junqueira, V.F.N., Sanches, R.J.L., Manfredini, S., 2015, Análise Geomorfopedológica na Borda Leste da Bacia Sedimentar do Paraná, Sudeste do Brasil: Revista Brasileira de Geomorfologia, 16, 669-682. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v16i4.608>
- López-Hernández, D., Hernández, C., Liendo, F., Urich, J., Vallejo-Torres, O., 2020, Efectos de las aguas residuales de pozos petroleros sobre los suelos de Sabanas ubicadas cerca del Furrial, estado Monagas, Venezuela: Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 36, 835-845. <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.53600>
- Martin, G.I., Kirkman, L.K., Hepinstall-Cymerman, J., 2012, Mapping geographically isolated wetlands in the Dougherty Plain, Georgia, USA: Wetlands, 32, 149-160. <http://dx.doi.org/10.1007/s13157-011-0263-7>
- Mendoza P.J.D., Nikolskii, G.I., Palacios V.O.L., Landeros, S.C., Palma-López, D.J., Carrillo, A.E., Estrada B.M.A., 2003, Análisis del funcionamiento hidráulico de diferentes tipos de drenaje agrícola en Tabasco, México: Ingeniería Hidráulica en México, 18, 107-119.
- Métay, I.G.S., Bocco, G., Velázquez, A., Gajewski, K., 2017, On the relationship between landforms and land use in tropical dry developing countries. A GIS and multivariate statistical approach: Investigaciones Geográficas, 93, 1-17. <https://doi.org/10.14350/rig.56438>
- Michaud, G.A., Monger, H.C., Anderson, D.L., 2013, Geomorphic-vegetation relationships using a geopedological classification system, northern Chihuahuan Desert, USA: Journal of Arid Environments, 90, 45-54. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.10.001>
- Mousavi, S., Sarmadian, F., Alijani, Z., Taati, A., 2017, Land suitability evaluation for irrigating wheat by geopedological approach and geographic information system: A case study of Qazvin plain, Iran: Eurasian Journal of Soil Science, 6(3), 275-284. <https://doi.org/10.18393/ejss.297251>
- Mwendwa, S.M., Mbuvi, J.P., Kironchi, G., Gachene, C.K.K., 2020, A Geopedological approach to soil classification to characterize soils of upper kabete campus field, University of Nairobi, Kenya: Tropical and Subtropical Agroecosystems, 23(2), 54.
- Nilsson, K.A., Rains, M.C., Lewis, D.B., Trout, K.E., 2013, Hydrologic characterization of 56 geographically isolated wetlands in west-central Florida using a probabilistic method: Wetlands Ecology and Management, 21, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11273-012-9275-1>
- Ortiz-Solorio, C.A., Gutiérrez, C.M.C., Sánchez-Guzmán, P., Gutiérrez-Castorena, E.V., 2011, Cartografía de la degradación de suelos en la República Mexicana: evolución y perspectivas, en Krasilnikov, P., Jiménez-Nava, F.J., Reyna-Trujillo, T., García-Calderón, N.E. (eds.), Geografía de suelos de México: México, UNAM, 173-210.
- Ortiz-Pérez, M.A., Siebe, C., Cram, S., 2005, Diferenciación ecogeográfica de Tabasco, en Bueno, J., Álvarez, F., Santiago, S. (eds.), Biodiversidad del Estado de Tabasco: México, CONABIO, Instituto de Biología de la UNAM, 305-322.
- Padilla y Sánchez, R.J., 2007, Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 59, 19-42. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2007v59n1a3>
- Paladino, I.R., Irigoin, J., Moretti, L.M., Civeira, G., 2017, Geopedological relations and multivariate analysis of associated edaphic attributes to the longitudinal dunes of the northwest of Buenos Aires province, Argentina: Asociación Geológica Argentina, 3, 373-383.
- Palma-López, D.J., Moreno C.E., Rincón-Ramírez J.A., Shirma T.E., 2008, Degradación y conservación de los suelos del estado de Tabasco: Villahermosa, Tabasco, México, Colegio de Postgraduados, CONACYT, CCYTET, 74 p.
- Palma-López, D.J., Vázquez, N.C.J., Mata, Z.E.E., López, C.A., Morales, G.M.A., Chablé, P.R.,

- Palma-Cancino, D.Y., 2011, Zonificación de ecosistemas y agroecosistemas susceptibles de recibir pagos por servicios ambientales en la Chontalpa, Tabasco: Villahermosa, Tabasco, México, Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental, 128 p.
- Palma-López, D.J., Jiménez-Ramírez, R., Zavala-Cruz, J., Bautista-Zúñiga, F., Gavi-Reyes, F., Palma-Cancino, D.Y., 2017a, Actualización de la clasificación de los suelos del estado de Tabasco: *Agroproductividad*, 10, 29-35.
- Palma-López, D.J., Jiménez-Ramírez, R., Zavala-Cruz, J., Bautista-Zúñiga, F., Morales-Garduza, M.A., López-Castañeda, A., Shirma-Torres, E.D., Sánchez-Hernández, R., Peña-Peña, A.J., Tinal-Ortiz, S., 2017b, Clasificación y cartografía de suelos del estado de Campeche, México: *Agroproductividad*, 10, 71-78.
- Pinkus-Rendón, M.J., Contreras-Sánchez, A., 2012, Impacto socioambiental de la industria petrolera en Tabasco: el caso de la Chontalpa: *Liminar*, 10, 122-144.
- Priego, A., Boceo, G., Mendoza, M., Garrido, A., 2010, Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisajes: Fundamentos y método: México, Distrito Federal, INE, SEMARNAT, UNAM, 104 p.
- Ramos-Reyes, R., Zavala-Cruz, J., Gama-Campillo, L.M., Pech-Pool, D., Ortiz-Pérez, M.A., 2016, Indicadores geomorfológicos para evaluar la vulnerabilidad por inundación ante el ascenso del nivel del mar debido al cambio climático en la costa de Tabasco y Campeche, México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 581-598. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2016v68n3a12>
- Reyna-Bowen, L., Reyna-Bowen, M., Reina-Castro, J., Hurtado, E., 2017, Zonificación de unidades de paisaje en la cuenca del río Khora Tiquipaya (Quillacollo, Bolivia) sustentada en el enfoque de ecología del paisaje. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, 2, 69-80.
- Saint-Laurent, D., St-Laurent, J., Lavoie, L., Ghaleb, B., 2008, Use geopedological methods for the evaluation of sedimentation rates on river floodplains, southern Québec, Canada: *Catena*, 73, 321-337.
- Salgado-García, S., Palma-López, D.J., Zavala-Cruz, J., Lagunes-Espinoza, L.C., Córdova-Sánchez, S., Castelán-Estrada, M., Ortiz-García, C.F., Rincón-Ramírez, J.A., 2015, Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en Palma de aceite (SIRDF): Región Ríos de Tabasco: Cárdenas, Tabasco, Grupo SIRDF PA-LPi: AESS, Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, 118 p.
- Sánchez, J.M.P., 2007, El manejo de los recursos naturales bajo el modelo Agrícola de camellones chontales en Tabasco: *Iberofórum: Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana*, 2, 1-9.
- Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., 2012, Field book for describing and sampling soils: Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. 300 p.
- Schoeneberger, P., Wysocki, D., Busskohl, C., Libohova, Z., 2017, Landscapes, geomorphology, and site description. In Ditzler, K., Scheffe., Monger, H.C. (eds.), *Soil survey manual*. USDA Handbook, 18. Government Printing Office, Washington, D.C. 21.82.
- Serrato, A.P.K., 2009, Clasificación fisiográfica del terreno a partir de la inclusión de nuevos elementos conceptuales: *Perspectiva Geográfica*, 14, 181-218.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2005, Carta geológico-minera Villahermosa E15-Tabasco, Veracruz, Chiapas y Oaxaca. Servicio Geológico Mexicano, Pachuca Hidalgo, México.
- Solís-Castillo, B., Ortiz-Pérez, M.A., Solleiro-Rebolledo, E., 2014, Unidades geomorfológico-ambientales de las tierras bajas mayas de Tabasco-Chiapas en el río Usumacinta: un registro de los procesos aluviales y pedológicos durante



- el Cuaternario: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 66, 279-290. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2014v66n2a5>
- Soria-Díaz, H.F., Camarasa-Belmonte, A.M., Carmona-González, P., 2015, Riesgo de inundación de la ciudad de Iquitos, Perú: Ciencia Amazónica (Iquitos), 5, 11-24. <http://dx.doi.org/10.22386/ca.v5i1.86>
- Stevaux, J.C., de Azevedo Macedo, H., Assine, M.L., Silva, A., 2020, Changing fluvial styles and backwater flooding along the Upper Paraguay River plains in the Brazilian Pantanal wetland: Geomorphology, 350, 106906. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106906>
- Vanacker, V., Ameijeiras-Mariño, Y., Schoonejans, J., Cornélis, J.T., Minella, J.P., Lamouline, F., Opfergelt, S., 2019, Land use impacts on soil erosion and rejuvenation in Southern Brazil: Catena, 178, 256-266. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.03.024>
- Veneziani, Y., Rodrigues, C., da Costa-Mantovani, J., 2019, Geomorfologia fluvial do baixo ribeira de iguape, são paulo, Brasil: Revista Brasileira de Geomorfologia, 20, 541-562. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i3.1545>
- West, R.C., Psuty N.P., Thom B.G., 1985, Las tierras bajas de Tabasco en el sureste de México: México, Biblioteca básica Tabasqueña, 412 p.
- Wilcox, D.A., Bateman, J.A., 2018, Photointerpretation analysis of plant communities in Lake Ontario wetlands following 65 years of lake-level regulation: Journal of Great Lakes Research, 44, 1137-1412. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2018.08.007>
- Zamora-Saud, N., Pérez Sánchez, E., Carballo Cruz, V.R., Galindo Alcántara, A., 2019, Dinámica de las terrazas fluviales en la subcuenca Grijalva-Villahermosa, México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 71, 805-817. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2019v71n3a10>
- Zavala-Cruz, J., Castillo, A.O., Ortiz, C.A.I., Palma-López, D.J., Juárez, L.J.F., Salgado-García, S., Rincón-Ramírez, J.A., Moreno, C.E., Ramos, R.R., 2009, Capacidad de uso del suelo urbano en Tabasco, con base en el suelo, uso actual y vegetación: Tabasco, Colegio de Postgraduados, Secretaría de Asentamientos y Obras Públicas, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental, 204 p.
- Zavala-Cruz, J., Palma-López, D.J., Fernández-Cabrera, C.R., López-Castañeda, A., Shirma-Tórres, E., 2011, Degradación y conservación de suelos en la cuenca del río Grijalva, Tabasco: Villahermosa, Tabasco, México, Colegio de Postgraduados, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental y PEMEX, 106 p.
- Zavala-Cruz, J., Salgado-García, S., Marín-Aguilar, A., Castelán-Estrada, M., Ramos, R.R., 2014, Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco: Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 1, 123-137.
- Zavala-Cruz, J., Jiménez-Ramírez, R., Palma-López, D.J., Bautista-Zúñiga, F., Gavi-Reyes, F., 2016a, Paisajes geomorfológicos: base para el levantamiento de suelos en Tabasco, México: Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 3, 161-171.
- Zavala-Cruz, J., Morales-Garduza, M.A., Vargas-Villamil, L.M., Palma-López, D.J., Ortiz-Solorio, C.A., 2016b, Capacidad de uso del suelo urbano en planicies fluviales costeras: el caso de Villahermosa, Tabasco, México: Interciencia, 41, 296-304.
- Zinck, A.J., 2012, Geopedología: elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgo naturales: The Netherlands, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, 123 p.
- Zinck, J.A., Metternicht, G., Bocco, G., Del Valle, H., 2016, Geopedology. An integration of geomorphology and pedology for soils and landscape studies: Springer International Publishing Switzerland, 556p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19159-1>