



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

LICENCIATURA EN MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES

---

---

**TÍTULO**

ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DE LAS CUENCAS FLUVIALES  
DE LA VERTIENTE DEL GOLFO DE MÉXICO,  
A ESCALA 1:50,000, HERRAMIENTA PARA LA DETERMINACIÓN  
DE HÁBITAT DEL GÉNERO *MACROBRACHIUM*

**TESIS**

**Que para optar por el título de Licenciado en Manejo  
de los Recursos Naturales**

Presenta

Alfredo Gamaliel Báez Melendres

Director de Tesis

Oscar Frausto Martínez

Cozumel, Q. Roo, octubre de 2018.



# UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

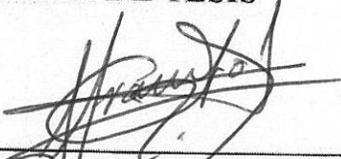
División de Desarrollo Sustentable

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité de Tesis del programa de Licenciatura y aprobada como requisito para obtener el grado de:

LICENCIADO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

## COMITÉ DE TESIS

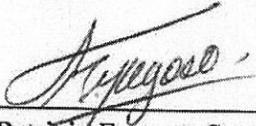
Director:

  
Dr. Oscar Frausto Martínez

Asesor:

  
Dr. Luis Manuel Mejía Ortiz

Asesor:

  
Dra. Patricia Fragoso Servón



Cozumel, octubre de 2018



## CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	7
ÍNDICE DE ANEXOS.....	8
RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN .....	11
1.    ANTECEDENTES.....	13
1.1.    Planteamiento del problema y propuesta.....	15
1.2.    Objetivo General.....	16
1.2.1.    Objetivos específicos.....	16
1.3.    Metodología.....	17
1.3.1.    Área de estudio .....	17
1.3.2.    Etapas de construcción del SIG y actividades específicas. ....	19
1.3.3.    Índices geomorfológicos de actividad tectónica.....	23
1.3.3.1.    Curva hipsométrica (H').....	23
1.3.3.2.    Factor de forma (B <sub>s</sub> ).....	24
1.3.3.3.    Perfil o gradiente del río principal (SL) .....	25
1.3.3.4.    Sinuosidad de frente montañoso (S <sub>mf</sub> ).....	26
1.3.3.5.    Relación anchura/altura del valle (V <sub>f</sub> ).....	27
2.    RESULTADOS.....	28
2.1.    Valores de la curva hipsométrica (H').....	29
2.2.    Valores del factor de forma de la cuenca (B <sub>s</sub> ).....	30
2.3.    Valores del perfil o gradiente del cauce principal (SL).....	31
2.4.    Valores de la sinuosidad de frente montañoso (S <sub>mf</sub> ) .....	32
2.5.    Valores del índice de la relación anchura/altura del valle (V <sub>f</sub> ).....	33
2.6.    Descripción fisiográfica de los sitios de colecta de Macrobrachium .....	34
3.    DISCUSIÓN.....	38
CONCLUSIONES .....	43
REFERENCIAS .....	44
SECCIÓN DE ANEXOS .....	51

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.- Mapa del área de estudio. Elementos naturales que modifican el relieve en la vertiente del Golfo de México (Cervantes-Zamora et al., 1990; Padilla y Sánchez, 2007; Cuervo-Robayo et al., 2013; Mejía-Ortiz et al., 2015).....	18
Ilustración 2.- Sitios de colecta de <i>Macrobrachium</i> y ubicación de las veintiocho cuencas vertientes al Golfo de México .....	20
Ilustración 3.- Etapas de construcción del sistema de información geográfica, procedimiento modificado de Ortiz (2011) y Trucios-Caciano et al. (2013).....	21
Ilustración 4.- Clasificación de las cuencas por tipo de curva hipsométrica. De acuerdo con este índice el área de estudio se encuentra en proceso de senectud, siendo las cuencas que se localizan en la Selva Lacandona las que presentan mayor renovación tectónica.....	29
Ilustración 5.-Clasificación de las cuencas por su forma. Este índice es afectado el control estructural y fallamiento dextral; las cuencas son alargadas a excepción de la cuenca del río Cachijapa que se localiza en la región del istmo de Tehuantepec.....	30
Ilustración 6.- Clasificación de cuencas por gradiente del río principal. Se observa control litológico en las cuencas contiguas a la Plataforma de Yucatán; nótese también la actividad de las fallas Chiapas-Akal-Reforma y Tamaulipas-Oaxaca.....	31
Ilustración 7.- Clasificación de la cuenca por el índice de sinuosidad de frente montañoso. Los frentes con mayor índice se encontraron en las cuencas de la selva Lacandona y en la cuenca del río Valle Nacional.....	32
Ilustración 8.- El encajamiento fuerte en las cabeceras de las cuencas afectó los valores de este índice; los valles de mayor encajamiento se localizan en la cuenca Valle Nacional su valor	

se encuentra muy por debajo de la unidad, mientras que contiguo a esta, la cuenca Papaloapan, presenta el valle más abierto con un valor de 9.74. .... 33

Ilustración 9.- A la izquierda, fallas transcurrentes (en azul) en la cuenca Cachijapa en el Istmo de Tehuantepec; a la derecha, fallas anticlinales (en rojo) en Chacamax, en la selva Lacandona. Nótese la ubicación de los langostinos en las laderas de las cuencas y el patrón de distribución solapado o asociado a las fallas tectónicas..... 41

Ilustración 10.- A la izquierda, la curva hipsométrica y el gradiente del río principal del río principal de la cuenca Cachijapa, un sistema sedimentada, cercano a la redondez, de valles abierto y con fallas de tipo transcurrentes. A la derecha, la curva hipsométrica y el gradiente del río principal de la cuenca Lacanjá, su estado es inestable, sus valles son encajados de ríos son erosivos y es atravesada por un sistema de fallas anticlinales. A partir de las cabeceras de las cuencas, los langostinos *spp.* en Cachijapa fueron colectados a los 27,700, mientras que en Lacanjá a los 25,100 y 49,888 metros respectivamente (nótese en negrilla las colectas sobre el gradiente del río principal)..... 42

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Se presenta el listado de los valores fisiográficos de los sitios de colecta y los valores geomorfológicos de las cuencas correspondientes. H'=Integral hipsométrica, Bs=Forma de la cuenca, Smf=Sinuosidad de frente montañoso, SL=Gradiente del río principal, Vf=Relación altura-anchura del valle, P=río principal, No Id= identificado.....	35
Tabla 2.- Cartas topográficas a escala 1:50,000 correspondientes al territorio vertiente al Golfo de México, de estas se extrajeron las curvas de nivel, insumo básico para el análisis territorial .....	80

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Gp R. Euseba.....	52
Anexo B.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Gi R. Azul.....	53
Anexo C.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Gg R. Perlas.....	54
Anexo D.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Gh R. Jataté .....	55
Anexo E.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Gd R. Lacanjá .....	56
Anexo F.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Ea P. Nezahualcóyotl.....	57
Anexo G.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Ds R. Bascan .....	58
Anexo H.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Dr R. Tulijá .....	59
Anexo I.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Dq R. Yashijá.....	60
Anexo J.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Do R. Macuspana .....	61
Anexo K.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30 Di R. De la Sierra .....	62
Anexo L.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Dh R. Pichucalco .....	63
Anexo M.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Df R. Platanar .....	64
Anexo N.-Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Dw R. Carrizal .....	65
Anexo O.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Af R. Chacaljah.....	66
Anexo P.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Ae R. Chacamax .....	67
Anexo Q.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Aa R. Usumacinta .....	68
Anexo R.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH29Bi R. Cachijapa.....	69
Anexo S.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH29BgR. Palo Grande .....	70
Anexo T.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Bd R. Jaltepec .....	71
Anexo U.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH29Ae R. Tancochapa Bajo.....	72

Anexo V.-Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH28Aw R. De las Pozas .....	73
Anexo W.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH28Ar Laguna Catemaco.....	74
Anexo X.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH28Ao R. Trinidad .....	75
Anexo Y.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH28An R. De la Lana.....	76
Anexo Z.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH28Ai R. Valle Nacional .....	77
Anexo AA.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH28Ac R. Presidente Alemán .....	78
Anexo BB.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH28Aa R. Papaloapan.....	79

## RESUMEN

A través de un sistema de información geográfica a escala 1:50,000 se aplicaron cinco índices geomorfológicos para analizar los elementos de las cuencas hidrológicas con el fin de reconocer el hábitat de los langostinos del género *Macrobrachium*; los índices empleados fueron: curva hipsométrica (H), forma de la cuenca (Bs), perfil o gradiente del río principal (SL); sinuosidad de frente montañoso ( $S_{mf}$ ), y relación del ancho y alto de la cuenca ( $V_f$ ). Los valores obtenidos permitieron describir los requerimientos fisiográficos a nivel especie; se encontró que *Macrobrachium* está asociado a los sistemas de control estructural, principalmente de cuencas en elevaciones entre 100 y 600 msnm con terrenos suaves y vertientes disecadas por ríos jóvenes. Clasificados por especie, *M. mazatecus*, *M. acherontium* y *M. spl* prefieren ambientes donde predomina la erosión, mientras *M. jacatepencensis*, *M. vicconi*, *M. cosolapaense*, *M. Oaxacae*, *M. totonacum*, *M. villalobosi*, *M. sbordonni*, *M. sp.*, y *M. spp.*, *M. jacatepencensis* y *M. tuxtlaense* habitan en territorios con control estructural, estas dos últimas, presentan también adaptabilidad a sistemas de cuencas equilibradas.

*Palabras clave:* análisis del relieve, índices morfométricos, hábitat, Golfo de México, cuencas.

## INTRODUCCIÓN

El sureste de México es el resultado de los movimientos de las placas de Cocos, Norteamericana y del Caribe, a éstas se suma la actividad tectónica y los procesos litológicos que ocurren desde la Sierra Madre Oriental hacia el Golfo de México (Eguiluz de Antuñano, 2000; Padilla y Sánchez, 2007); estos eventos dieron formación a barrancas profundas y cauces, conocidos también, como sistemas hidrográficos o cuencas fluviales estructurales. El escurrimiento de las cuencas depende de la interacción de los patrones estructurales, los pisos altitudinales, la geomorfología, la geología, edafología y el clima de la región (Bocco, 2004; Vidal-Zepeda, 2005; Ortiz-Pérez, 2009; Martínez y Díaz, 2011; De la Lanza et al., 2013).

Para analizar la complejidad territorial representada por los diferentes componentes del relieve se recomienda hacerlo a través de un Sistema Información Geográfica (SIG), éste es una estructura compleja, compuesta de personas y equipos organizados que, mediante una serie de procedimientos, recopilan, ingresan, almacenan, transmiten, analizan y comunican datos referenciados geográficamente; tales datos sirven a necesidades de información de usuarios que centran su actividad profesional en la gestión territorial (Borcosque, 1990; Moreira-Muñoz, 1996; Trucíos-Caciano et al., 2013).

El SIG integra instrumentos de medición de distancias y áreas, análisis de proximidad, operaciones de disolución y fusión de polígonos, análisis de superficies e hidrológicas y análisis de redes donde se genera información nueva representada en mapas y bases de datos georreferenciadas, (la información o productos obtenidos, en este caso, del análisis geomorfológico de las cuencas vertientes al Golfo de México y la superposición de datos o capas temáticas de información) que apoyan en análisis en conjunto de los componentes territoriales (Rodríguez, 2001).

En este trabajo, a través de un sistema de información geográfica, se aplican cinco índices geomorfológicos a veintiocho cuencas vertientes al Golfo de México, estos índices evidencian la fragmentación estructural del relieve y la deformación regional a través del tiempo y de los diferentes procesos involucrados (Carvajal y Sanz de Galdeano, 2008; Navarro-Lozano et al., 2012; Toural y Moreiras, 2018), la información aportada por éstos ayudará a identificar las condiciones o patrones selectivos del género *Macrobrachium* para seleccionar su hábitat (Lira, 2008; Mendoza et al., 2010).

## 1. ANTECEDENTES

El género *Macrobrachium* pertenece a la familia Palaemonidae, orden Decápoda, coloquialmente conocido como langostinos o camarones, se distribuye en la región tropical de todo el mundo y presentan mucha variación en cuanto a su longitud máxima, morfología y requerimientos de hábitat (Pileggi y Mantelatto 2010; Bauer, 2011; citado en: García-Guerrero et al., 2013). La importancia de este género se traduce en fuente de proteínas a escala comercial o de consumo local dependiendo la región donde se distribuye (Mejía-Ortiz et al., 2015).

Este trabajo forma parte del proyecto “Sistemática molecular de los langostinos del género *Macrobrachium* con desarrollo larval abreviado en México y su relación con Guatemala y Belice”, el cual es financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT); este proyecto refiere que el género *Macrobrachium*, en la vertiente del Golfo de México, fue recientemente registrado en ambientes epigeos, en hábitats cavernosos, en nacientes de los ríos, en arroyos primarios y en arroyos secundarios. En la cuenca del Papaloapan, se han identificado nuevas especies tanto de desarrollo larval extendido como desarrollo larval abreviado, además se reconoce la presencia de diversas poblaciones de este género en las cuencas de Tonalá, Coatzacoalcos, Grijalva y Usumacinta (Mejía-Ortiz et al., 2015).

Los elementos que han sido documentados en la selección de hábitat de *Macrobrachium* se mencionan a continuación: Arroyo y Magaña (2001) señalan que este género se distribuye generalmente desde el nivel del mar hasta los 1000 msnm y, Mejía-Ortiz et al. (2001), agregan que en *M. acanthurus*, *M. carcinus* y *M. heterochirus* la altitud, la época del año y la posición dentro del río son factores determinantes para el estado de fecundidad, la talla de hembras ovígeras y el tamaño de los huevos; Bauer et al. (2003) encontró que este género tiene la necesidad de ambiente salino durante la etapa larval y, posterior a ésta, migra hacia agua dulce (Mc Dowall, 2007); en

Tabasco, Barba et al. (2010) realizó el mayor registros de crustáceos (81%) en sistemas lénticos donde *M. acanthorus* resultó ser una de las especies más abundante con 12%; Tejeda-Mazariegos y Mejía Ortiz (2015) reportaron microdistribución para *M. cemai* y *M. vicconi* en arroyos de regiones con fisiografía montañosa y abundantes recursos hidrológicos, y Pérez-Tello et al. (2016) menciona que las especies de *Macrobrachium* son sensibles a periodos de lluvia y factores geomorfológicos como la pendiente y canales sin ramificaciones y en especial las conexiones entre las aguas del océano y el agua dulce.

Por lo anteriormente, el proyecto mencionado se plantea la hipótesis de la existencia de otras poblaciones, bien diferenciadas, en las cuencas desde el Centro de Veracruz hasta las cuencas de Belice y Guatemala, de ahí la importancia de la observación de los componentes naturales que integran las cuencas vertientes al Golfo de México, como son los pisos altitudinales (por los cambios en precipitación y temperatura) y la estructura de formas del relieve (cuencas). Estos componentes pueden ser inventariados, analizados y cartografiados a través de las herramientas y técnicas que componen un Sistema de Información Geográfica (SIG), todo ello a nivel de detalle, cuya aportación se centra en el manejo de datos a escala 1:50,000.

## 1.1. Planteamiento del problema y propuesta

El estudio del hábitat de géneros y especies requiere de amplios sistemas de muestreos puntuales y sistematizados. Actualmente, para el género *Macrobrachium* se han reconocido elementos específicos de distribución a lo largo de la cuenca del Golfo de México, sin embargo, la extensión territorial y las escalas de resolución se han centrado en la caracterización generalizada de su distribución en escalas 1:8,000,000 o 1:250,000 (Sotelo, et al., 2010). Para soportar la hipótesis de Mejía–Ortiz et al. (2015), se requieren herramientas de apoyo para comprender el hábitat de manera complementaria, tratando una cantidad significativa de datos a una escala hasta ahora no realizada para el proyecto (1:50,000), por lo que se propone un análisis de cuencas con esta resolución.

Así, con el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica para analizar los componentes naturales y morfológicos de las cuencas vertientes del Golfo de México, se logrará reconocer, con una resolución a detalle, aquellos parámetros individuales y por sectores donde predominan los componentes básicos del hábitat de este género. Su alcance radica en el uso potencial para propósitos específicos del proyecto “Sistemática molecular de los langostinos del género *Macrobrachium* con desarrollo larval abreviado en México y su relación con Guatemala y Belice” apoyado por el CONACYT – Ciencia básica que dirige Mejía-Ortiz, et al. (2015).

## **1.2. Objetivo General**

Analizar el relieve de las cuencas de la vertiente del Golfo de México a través de índices geomorfológicos de las cuencas fluviales, a escala de resolución 1:50,000, como insumo para la determinación del hábitat del género *Macrobrachium*.

### **1.2.1. Objetivos específicos**

-Construir un sistema de información geográfica a escala 1:5000 a nivel de sistemas de cuencas.

-Elaborar índices morfométricos de cuencas para la diferenciación del hábitat a escala 1:50,000, de aquellas cuencas donde se han colectado muestras del género *Macrobrachium*.

-Reconocer las diferencias espaciales y fisiográficas de las cuencas fluviales donde habita el género *Macrobrachium*.

### **1.3. Metodología**

En este apartado se define el área de estudio, y los insumos y procesos empleados en la construcción del sistema de información geográfica y se describen los índices geomorfológicos aplicados a las cuencas vertientes al Golfo de México.

#### **1.3.1. Área de estudio**

El Sureste de México se localiza entre las coordenadas 90° 00' a 97°00' de longitud oeste y 19° 00' a 16° 00' de latitud norte (ilustración 1); la precipitación presenta rangos de 3000 a 3500 mm anuales, la temperatura es cálida y la humedad. Los pisos altitudinales superan los 3000 msnm, el relieve es fuertemente escarpado en las montañas de Oaxaca y Chiapas y se suaviza al adentrarse a las planicies de Veracruz y Tabasco (Hernández-Santana, 2012); los suelos dominantes al Este son, Leptosols, Arenosols, Regosols, Cambisols Vertisols y Gleysol y al Oeste los Alisols y Cambisols (Sotelo et al., 2010), la vegetación original corresponde a bosques de coníferas y bosque mixto en las sierras, mientras que en las llanuras dominan los pastizales (Cervantes-Zamora et al., 1990; Padilla y Sánchez, 2007; Cuervo-Robayo et al, 2013).

En esta región convergen las Placa de Cocos, la de Norteamérica y la del Caribe, la geología corresponde al Cretácico Tardío y se encuentran mejor representadas por rocas sedimentarias marinas con menor presencia de rocas intrusivas, volcánicas y metamórficas (Espinassa-Pereña, 2007). El fallamiento tectónico en esta región se encuentra representado por las fallas de Tamaulipas-Oaxaca, Valle Nacional, Polochic Motagua y Chiapas-Akal-Reforma (Guzmán-Speziale, 2000; Andreani et al., 2008).

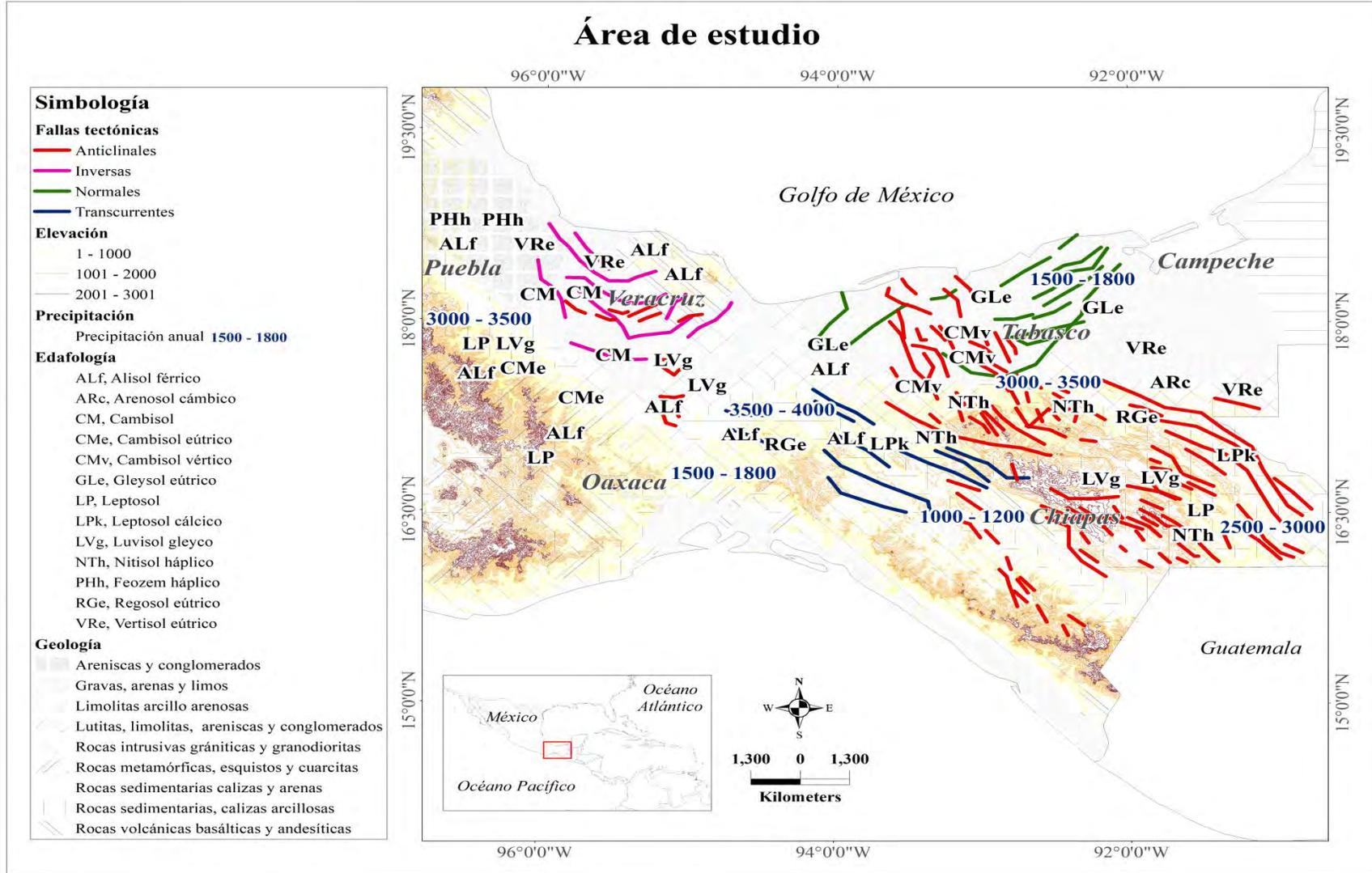


Ilustración 1.- Mapa del área de estudio. Elementos naturales que modifican el relieve en la vertiente del Golfo de México (Cervantes-Zamora et al., 1990; Padilla y Sánchez 2007; Cuervo-Robayo et al., 2013).

### **1.3.2. Etapas de construcción del SIG y actividades específicas.**

Para la construcción del sistema de información geográfica se siguieron las recomendaciones de Boco (2004) y los procedimientos aplicados por Ortiz (2011) y Trucios-Caciano et al., (2013) quienes basaron su desarrollo en tres etapas: i) recopilación de información, ii) tratado de los datos y iii) generación productos de salida. Las actividades realizadas para dar cumplimiento al primer objetivo específico en este trabajo se mencionan a continuación.

#### *Recopilación de información*

Los insumos de entrada corresponden al listado de langostinos del género *Macrobrachium* colectados en la vertiente del Golfo de México por Mejía-Ortiz (2015), esta base de datos se componen por sesenta individuos, diecisiete de ellos se reparten en once especies, el resto permanecen a nivel de *sp.* y *spp.*; los atributos espaciales y descriptivos de este listado fueron sistematizados y homologados; con su migración a ArcMap 10.3 se determinaron las veintiocho cuencas objeto de estudio (véase ilustración 2) cuyos polígonos fueron extraídos del Simulador de Flujos de Agua de Cuenca Hidrográficas (SIATL). Otro insumo de complemento fueron las cuervas de nivel del área de estudio, compiladas de 286 cartas topográficas a escala 1:50,000 (ver la Tabla 2 del Anexo), del repositorio del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la información geológica y climática fue compilada de la Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) y la información tectónica se editó de Padilla y Sánchez (2007). El esquema técnico de este proceso se observa en la ilustración 3.



Ilustración 2.- Sitios de colecta de *Macrobrachium* y ubicación de las veintiocho cuencas vertientes al Golfo de México.

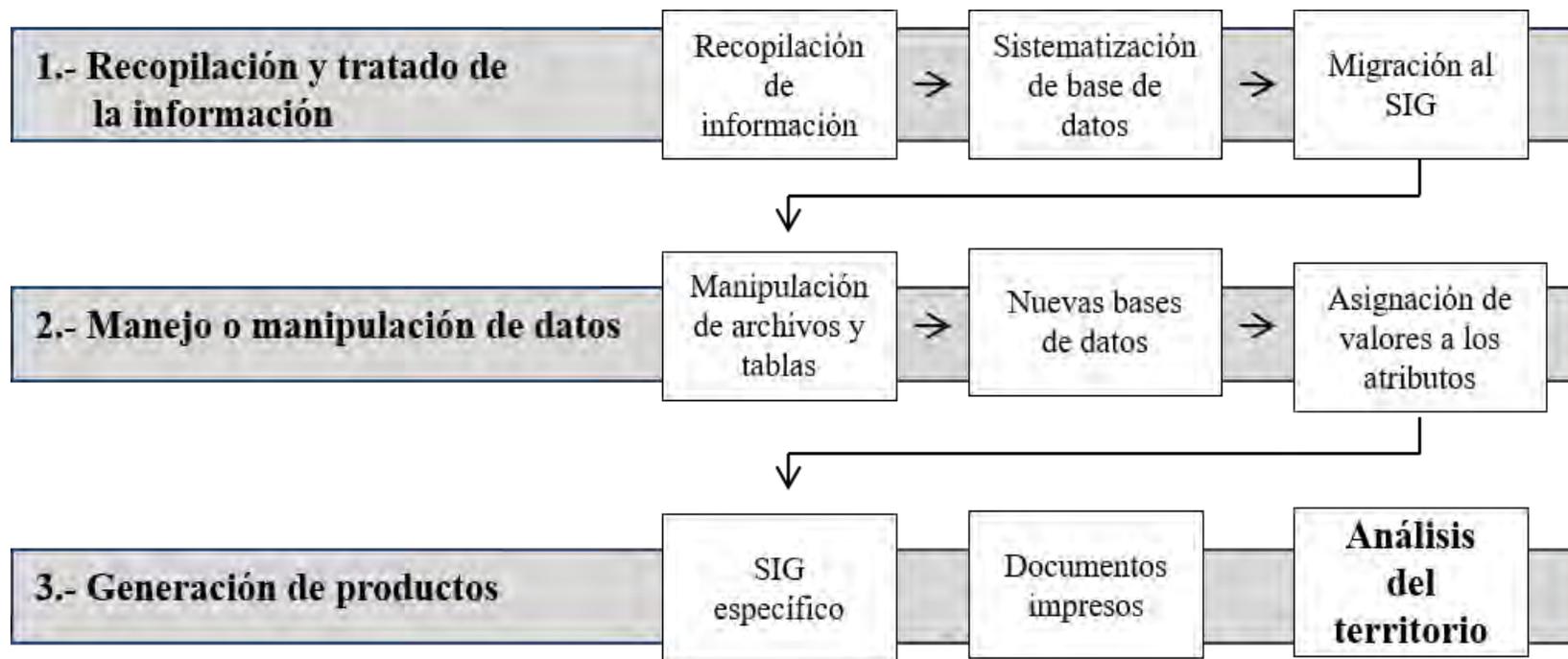


Ilustración 3.- Etapas de construcción del sistema de información geográfica, procedimiento modificado de Ortiz (2011) y Trucios-Caciano et al., (2013).

### *Tratado de los datos*

Para unificar y eficientar la información vectorial compilada del INEGI, se adicionaron y homogenizaron campos a las tablas de atributos espaciales y se normalizó la proyección de coordenadas geográficas al sistema Universal Transversal Mercator (UTM) Zona 15N, datum D\_WGS\_1984. A partir de las curvas de nivel, se generó la red de triángulos irregulares (TIN) y los modelos digitales de elevación (MDT) para cada cuenca, estos posibilitaron la generación de los siguientes productos: a) modelo de pendientes o inclinación del terreno, b) orientación de las vertientes, c) reclasificación hipsométrica, d) acumulación, dirección y clasificación de la red hídrica y e) interpolación de datos vectoriales.

### *Productos de salida*

El sistema de información geográfica cuenta con capacidad para observar y cuantificar de manera muy precisa los parámetros morfométricos de las cuencas objeto de estudio; además este se convierte en una plataforma de análisis del relieve y la geomorfología de la vertiente del Golfo de México, esto posibilita la impresión de documentos de contenido particular o en conjunto de los elementos fisiográficos favorables para el hábitat de *Macrobrachium* y otros aplicables a temas externos.

### 1.3.3. Índices geomorfológicos de actividad tectónica

Los índices geomorfológicos miden y expresan propiedades muy particulares de la topografía de una región tectónicamente activa. Los cuatro índices que proporcionan mejor información sobre el relieve son: *la sinuosidad del frente montañoso* ( $S_{mf}$ ), *el gradiente del río principal* (SL), *la forma de la cuenca* ( $B_s$ ) y *la relación de la altura y anchura del cauce* ( $V_f$ ), en este trabajo se agrega *la curva hipsométrica* ( $H'$ ).

#### 1.3.3.1. Curva hipsométrica ( $H'$ )

La curva hipsométrica (Strahler, 1952, citado en: Racca, 2007) permite conocer la configuración espacial de la cuenca, desde la parte alta hasta la parte baja de la cuenca. El eje de las ordenadas corresponde a las diferentes alturas que presenta el sistema, mientras que el eje de las abscisas corresponde al porcentaje de área de la cuenca. La curva hipsométrica es cóncava en la parte superior y convexa en la parte inferior y las variaciones en ella responde a procesos tectónicos o litológicos (Díaz et al., 2007).

El tipo de curva y las características que corresponde a la cuenca están definidas por la integral hipsométrica (IH): una curva hipsométrica de tipo A es aquella donde la IH es mayor al 0.6% y refiere a cuencas de ríos jóvenes y con gran potencial erosivo; una cuenca de tipo B es aquella donde la IH oscilan el 0.5%, esta refiere a cuencas de ríos maduros y en equilibrio entre los procesos tectónicos y erosivos; una cuenca de tipo C es aquella donde la IH es menor al 0.3%, esta refiere a cuencas en estado de senectud donde predominan procesos erosivos laterales o de sedimentación.

### 1.3.3.2. Factor de forma ( $B_s$ )

Este índice fue definido por Horton (1932, citado en: Navarro et al., 2012), el alargamiento de la unidad se relaciona con la edad de las cuencas y la actividad tectónica. Los elementos a relacionar son la longitud y la anchura de la cuenca, su fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$B_s = B_l / B_w$$

Donde:

$B_s$  Es el índice de la forma de la cuenca

$B_l$  y  $B_w$  son respectivamente la longitud y la anchura de la cuenca.

Los valores menores a 3 corresponden a cuencas de elongamiento bajo, los valores entre 3 y 3.9 se presentan en cuencas con elongamiento medio, y los valores mayores a 4 se relacionan con cuencas de elongamiento alto.

### 1.3.3.3. Perfil o gradiente del río principal (SL)

Este índice es propuesto por Hack (1973, citado en: Keller y Pinter, 1996 y 2002), detecta cambios en la pendiente causados por la resistencia de las rocas, la acción erosiva del agua y es también indicativo de la existencia de actividad tectónica reciente; se representa con la siguiente fórmula:

$$SL = (\Delta h / \Delta l) L$$

Donde:

SL o *Stream-length gradient*, es el índice del gradiente del perfil longitudinal del río.

$\Delta h$  Es el incremento de la altura.

$\Delta l$  Es la distancia en horizontal que corresponde en cada caso a  $\Delta h$ .

L Es la longitud acomodada desde el punto final.

Los valores mayores a 1.5 evidencian actividad tectónica reciente; los valores entre 1 y 1.5 representan equilibrio entre los diferentes procesos que ocurren en la cuenca (erosivos – acumulativos); los valores menores a 1 favorecen a los procesos de erosión (Ocaña, 2016).

#### 1.3.3.4. Sinuosidad de frente montañoso ( $S_{mf}$ )

El frente montañoso corresponde a un relieve formado por una o por varias montañas o sierras, su origen pudiera ser de tipo geológico y ligado a la presencia de fallas tectónicas; este índice refleja el balance entre los procesos erosivos que tienden a formar abanicos o flujos sobre un frente montañoso, lo que habla de la alta energía de estos ambientes, y los procesos tectónicos que tienden a formar frentes de montaña rectos coincidentes con bordes de fallas activos (Bull y Mc Fadden, 1977, citado en: Keller y Pinter, 2002). Estos autores definieron a este índice como la relación entre la longitud media del valle con la distancia más corta entre el inicio y el final del cauce; se expresa con la fórmula:

$$S_{mf} = L_{mf} / L_s$$

Donde:

$S_{mf}$  es el valor de la sinuosidad

$L_{mf}$  es la longitud total real del frente montañoso, y

$L_s$  es la longitud en línea recta medida desde los extremos del frente.

Rockwell et al. (1984) clasificó los valores de  $S_{mf}$  menor a 1.4, como tectónicamente activos, mientras que los valores de  $S_{mf}$  mayores a 1.4 representan actividad tectónica o nula.

### 1.3.3.5. Relación anchura/altura del valle ( $V_f$ )

Este índice es propuesto por Bull y Mc Fadden (1977, citado en: Carvajal y Sanz de Galdeano, 2008), mide la anchura del piso del valle y la altura media del valle para indicar la capacidad de incisión del cauce y la capacidad de erosionar los extremos del valle a través del río principal o los ríos tributarios. Este parámetro establece que cuanto más ancho sea el río y menos altas las divisorias de su cuenca de drenaje, mayor será el valor del índice obtenido. Su fórmula es representada de la siguiente manera:

$$V_f = 2V_{fw} / [(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})]$$

Donde:

$V_f$  Es el índice a obtener

$V_{fw}$  Es la anchura del cauce del río.

$(E_{ld} - E_{sc})$  Es la diferencia de cota máxima de la ladera derecha del valle, en la transversal realizada, menos la cota a la que allí está el cauce del río.

$(E_{rd} - E_{sc})$  Es lo mismo, pero en la ladera izquierda.

Los valores de este índice cambian en el río, por lo que Carvajal y Sanz de Galdeano (2008) recomiendan hacer varias mediciones transversales. Bull y Mc Fadden (1977, citado en: Carvajal y Sanz de Galdeano, 2008) establecen que los valores de  $V_f$  entre 0.05 y 0.5 corresponde a las cuencas con mayor potencial tectónico y menor capacidad de incisión del río, los valores entre 0.5 y 2 corresponde a cuencas en equilibrio y aquellos valores que oscilan entre 2 y 47 son cuencas de valle erosionados. En este trabajo se agrega la nomenclatura propuesta por Pardo-Pascual y Palomar (2002), la cual clasifica a los valles atendiendo su encajamiento y anchura del fondo.

## 2. RESULTADOS

En este apartado se exponen, de manera gráfica, la clasificación geomorfológica de las cuencas analizadas de acuerdo con las referencias de cada índice aplicado, y se describen también, los elementos fisiográficos relacionados con los sitios de colecta.

Los datos que a continuación se presentan, en conjunto con la información de los elementos orogénicos, edafológicos y climáticos, permite presentar una propuesta de hábitat por especie de *Macrobrachium*. Los parámetros morfométricos, estadísticos y los productos generados durante el desarrollo de este análisis pueden consultarse en la sección de anexos, los cuales se presentan a manera de ilustraciones por cada Región Hidrológica - cuenca.

## 2.1. Valores de la curva hipsométrica (H')

La distribución de la altura se asocia a los plegamientos geológicos causados por el empuje de la placa de Cocos hacia la de Norteamérica desde el Oligoceno Tardío (Padilla y Sánchez, 2007), a esta región se agregan también la compresión de la Plataforma de Yucatán en Chiapas (Charleston, et al 1985), la Depresión del Istmo de Tehuantepec, y a la existencia de grandes volcanes (Sierra Negra, Pico de Orizaba y Cofre de Perote) en la Sierras Orientales (Vidal-Zepeda et al., 2005). Los valores de inestabilidad o juventud los presentaron las cuencas Euseba ( $H'=1$ ) Perlas ( $H'=0.86$ ) y Yashijá ( $H'=0.81$ ), los valores de senectud fueron para Papaloapan ( $H'=0.02$ ), Carrizal ( $H'=0.03$ ), Pichucalco ( $H'=0.07$ ).

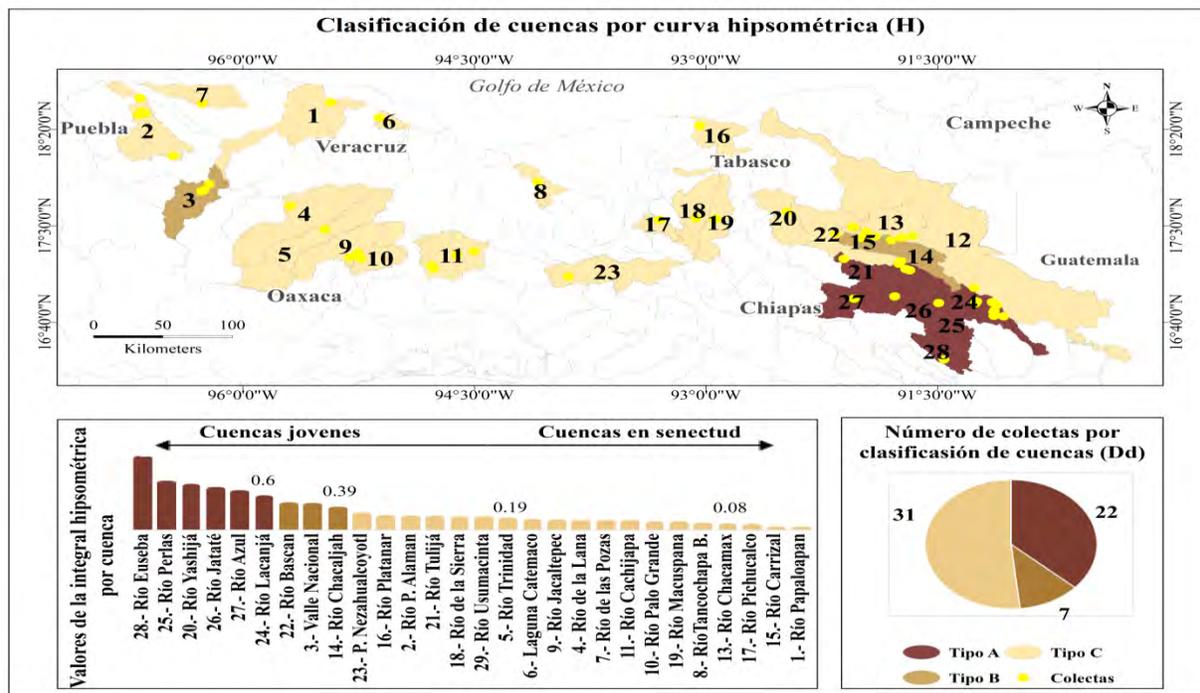


Ilustración 4.- Clasificación de las cuencas por tipo de curva hipsométrica. De acuerdo con este índice el área de estudio se encuentra en proceso de senectud, siendo las cuencas que se localizan en la Selva Lacandona las que presentan mayor renovación tectónica.

## 2.2. Valores del factor de forma de la cuenca (Bs)

La forma de las cuencas analizadas, en su mayoría se categorizan en muy alargadas, están condicionadas por los movimientos de las placas geológicas mencionadas previamente. Para esta región se agrega la existencia de fallas tectónicas con deslizamiento dextral (Dengo, 1996; Padilla y Sánchez, 2007) que modifica las cuencas altas, mientras que los valles inferiores han sido ampliados por los procesos derivados del régimen de precipitación abundante y la acumulación de materiales (López de Llergo, 2003). Las cuencas más alargadas son Lacanjá ( $B_s=9,59$ ), Jataté ( $B_s=8,53$ ) y Carrizal ( $B_s=8,49$ ), mientras que la cuenca del río Cachijapa ( $B_s=1,36$ ) en el istmo de Tehuantepec está próxima a la redondez.

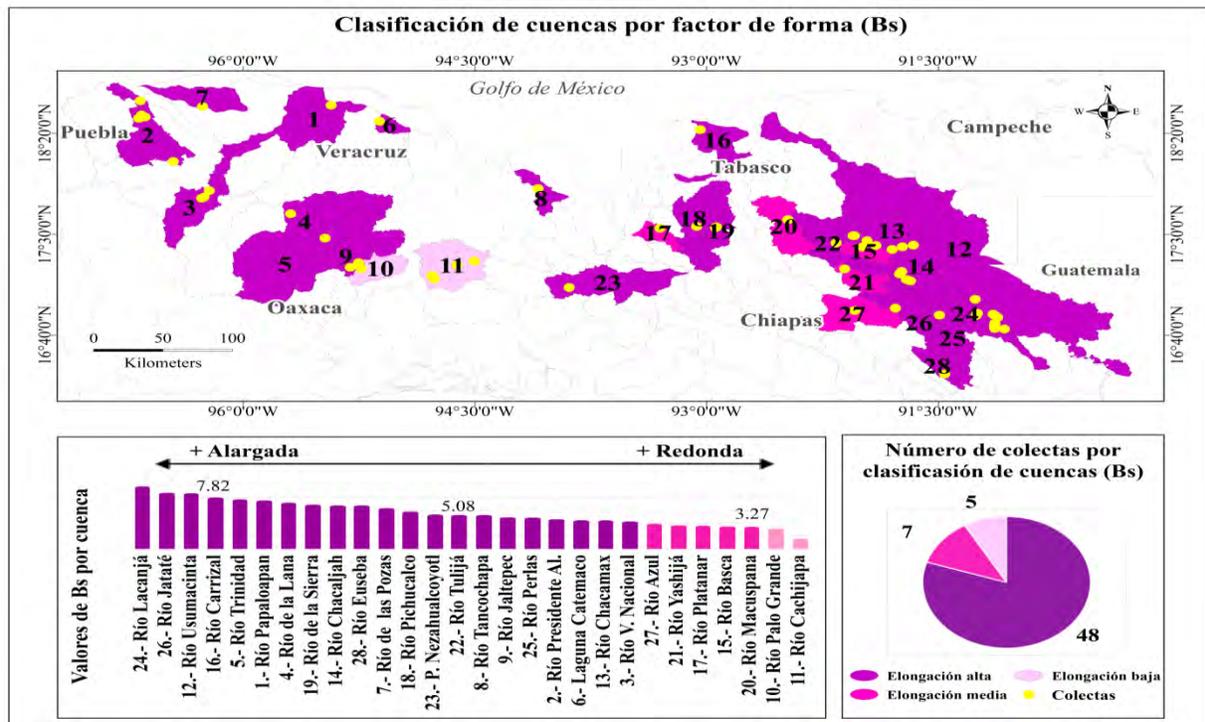


Ilustración 5.-Clasificación de las cuencas por su forma. Este índice es afectado el control estructural y fallamiento dextral; las cuencas son alargadas a excepción de la cuenca del río Cachijapa que se localiza en la región del istmo de Tehuantepec.

### 2.3. Valores del perfil o gradiente del cauce principal (SL)

El volumen de precipitación sobre la litología sedimentaria, principalmente de calizas, ha generado ambientes karstificados que denota el control erosivo en las cuencas de Chiapas; sin embargo, las cuencas y secciones bajas de origen acumulativo, localizadas en las llanuras y pantanos de Veracruz y Tabasco, obtuvieron los valores de procesos mixtos, estas cuencas son Carrizal (SL=0.03), Tancochapa Bajo (SL=0.03), Papaloapan (SL=0.12) y río de las Pozas (0.15). La evidencia de tectónica reciente se localizó en las cuencas Valle Nacional (2.52), Presidente Alemán (1.79) y de la Lana (1.70), estos valores podrían asociarse a la actividad de la falla Tamaulipas-Oaxaca y a la influencia altitudinal de los volcanes Pico de Orizaba y Cofre de Perote (López de Llergo, 2003), mientras que en Macuspana, Pichucalco y de la Sierra la actividad reciente se asociada a la falla Chiapas-Reforma-Akal (Eguiluz de Antuñano, 2000).

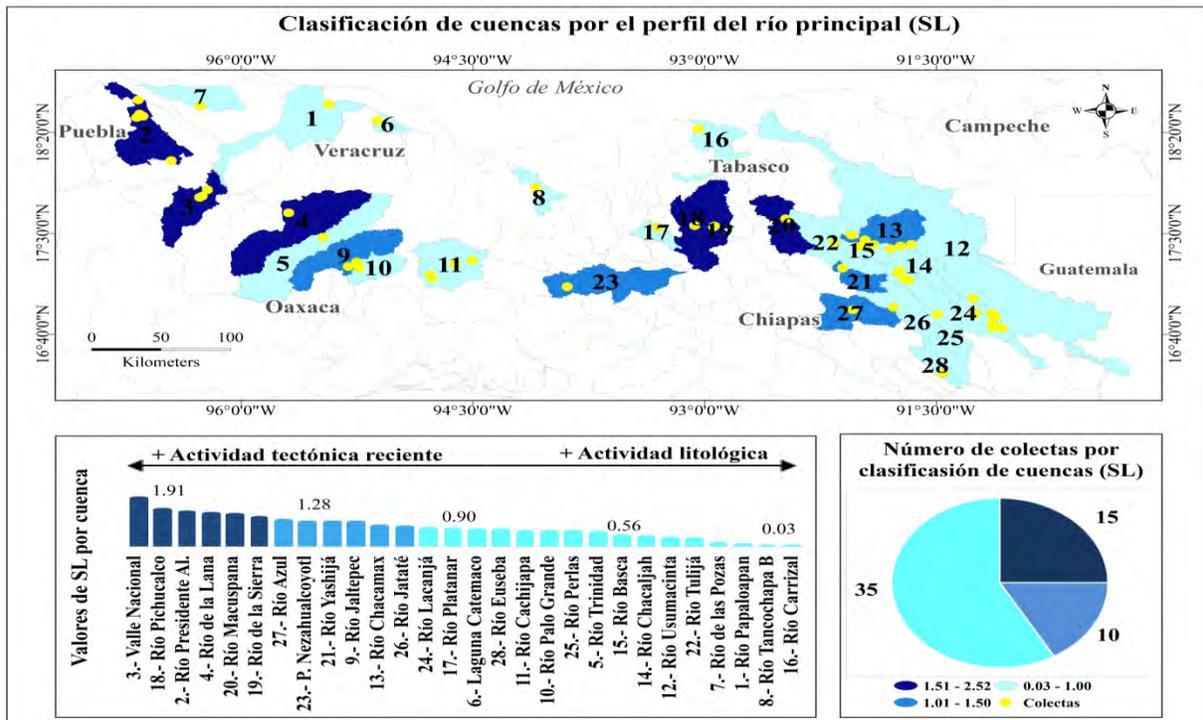


Ilustración 6.- Clasificación de cuencas por gradiente del río principal. Se observa control litológico en las cuencas contiguas a la Plataforma de Yucatán; nótese también la actividad de las fallas Chiapas-Akal-Reforma y Tamaulipas-Oaxaca.



## 2.5. Valores del índice de la relación anchura/altura del valle ( $V_f$ )

Los valores de mayor encajamiento los presentaron las cuencas de Valle Nacional, ( $V_f=0.07$ ), Presidente Alemán ( $V_f=0.08$ ) y Trinidad ( $V_f=0.08$ ) en las Sierras Orientales, y Jataté ( $V_f=0.07$ ), Tulijá ( $V_f=0.08$ ), Yashijá, ( $V_f=0.08$ ) en Chiapas. En estos sistemas la erosión intensa de los ríos causada por los escurrimiento, y el gradiente pronunciado de la pendiente en sus laderas, junto con la fracturación tectónica, son responsables la formación de valles estrechos y profundos (Lugo-Hubp 1990; López de Llergo 2003; Mora et al., 2016). En las cuencas bajas el  $V_f$  se asocia al arrastre de materiales de los ríos y la capacidad acumulativa de Veracruz y Tabasco (de la Lanza et al., 2012; Ramos-Reyes et al., 2016); las cuencas de valles abiertos son Carrizal ( $V_f=4.94$ ), río de las Pozas ( $V_f=7.58$ ) y Papaloapan ( $V_f=9.74$ ).

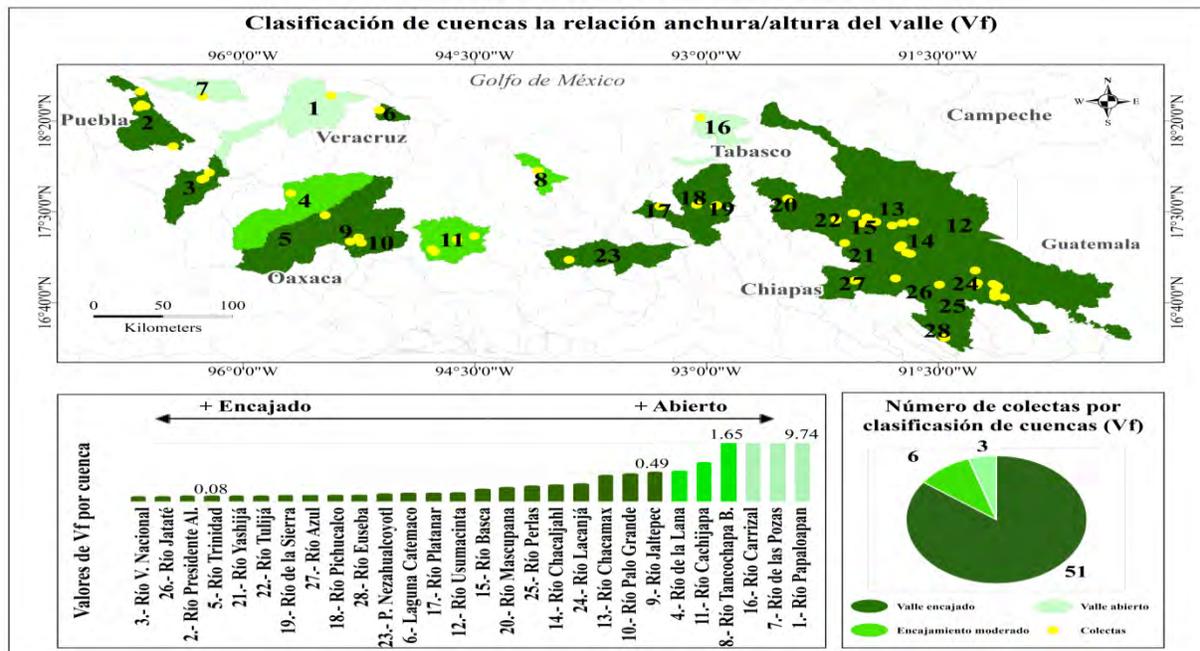


Ilustración 8.- El encajamiento fuerte en las cabeceras de las cuencas afectó los valores de este índice; los valles de mayor encajamiento se localizan en la cuenca Valle Nacional su valor se encuentra muy por debajo de la unidad, mientras que contiguo a esta, la cuenca Papaloapan, presenta el valle más abierto con un valor de 9.74.

## 2.6. Descripción fisiográfica de los sitios de colecta de *Macrobrachium*

A continuación, se presenta la descripción del ambiente de las cuencas de los sitios de colecta, esta permite clasificar el hábitat de las especies de *Macrobrachium* según su adaptabilidad fisiográfica (ver tabla 1).

*M. mazatecus* habita las cuencas De las Pozas y Papaloapan Valle Nacional, se caracteriza por la presencia de elevaciones menores a los 100 msnm, en relieve accidentado medio a suave, con intensidad tectónica media. Los valles son de muy encajados a abiertos y en ríos jóvenes a maduros; estas condiciones sugieren que esta especie se adapta bien a las condiciones acumulativas y de contrastes tectónicos.

*M. vicconi*, en la cuenca del río Jataté, fue colectado a 580 msnm y se caracteriza por las pendientes suaves y río de orden 4; en la cuenca del río Perlas la colecta fue a los 1055 msnm con pendiente suave y río joven. Estas cuencas son de potencial tectónico elevado, sus valles son de muy a moderadamente encajados y de ríos erosivos; esta fisiografía es similar a la reportada por Tejeda-Mazariegos y Mejía-Ortiz (2015) en Santo Domingo de Castilla, Guatemala.

*M. acherontium* en las Grutas del Coconá fue colectado a menos de los 100 msnm, en una cuenca caracterizada por pendientes suaves y en río de orden 1; muestra adaptabilidad a ambientes de poca actividad tectónica y precipitación abundante.

*M. cosolapaense*, *M. oaxacae*, *M. totonacum*, *M. villalobosi* colectados en la cuenca Presidente Alemán, muestran preferencias por ambientes tectónicos localizados en alturas mayores a los 100 msnm con pendiente accidentada y de tipo lomeríos, ríos muy erosivos y suelos ricos en materia orgánica.

*M. sbordonii*, en la cuenca Nezahualcóyotl se colectó a 560 msnm en zonas de alta karsticidad, flujo hídrico joven y ubicado sobre una falla de tipo transcurrente; esta especie tiene preferencia por condiciones tectónicas de ríos jóvenes y precipitación abundante; Mejía-Ortiz et al., (2008) amplía el hábitat de esta especie hacia zonas superficiales de los ríos debido a una pigmentación en las corneas.

Tabla 1.- Se presenta el listado de los valores fisiográficos de los sitios de colecta y los valores geomorfológicos de las cuencas correspondientes. H'=Integral hipsométrica, Bs=Forma de la cuenca, Smf=Sinuosidad de frente montañoso, SL=Gradiente del río principal, Vf=Relación altura-anchura del valle, P=río principal, No Id= identificado

Especie	Cuenca	Elevación	Pendiente	Orden de río	Índices geomorfológicos				
					H'	Bs	Smf	SL	Vf
<i>M. acherontium</i>	Río de la Sierra	64	2.1	1	0.2	6.7	1.6	1.5	0.1
<i>M. cosolapaense</i>	Río Presidente Al	173	8.0	3	0.2	4.4	2.1	1.8	0.1
<i>M. jacatepecensis</i>	Río Valle Nacional	58	15.2	2	0.5	4.1	1.3	2.5	0.1
<i>M. mazatecus1</i>	Río Valle Nacional	68	13.6	6P	0.5	4.1	1.3	2.5	0.1
<i>M. mazatecus2</i>	Río de las Pozas	32	0.5	3	0.1	6.2	2.0	0.2	7.6
<i>M. mazatecus3</i>	Río Valle Nacional	60	2.3	2	0.5	4.1	1.3	2.5	0.1
<i>M. mazatecus4</i>	Río Papaloapan	20	0.3	2	0.0	7.3	No Id	0.1	9.7
<i>M. oaxacae1</i>	Río Presidente Al	130	8.0	1	0.2	4.4	2.1	1.8	0.1
<i>M. oaxacae2</i>	Río Presidente Al	177	10.3	1	0.2	4.4	2.1	1.8	0.1
<i>M. sbordonii</i>	Río Nezahualcoyotl	560	0.7	2	0.3	5.2	1.2	1.3	0.1
<i>M. sp1</i>	Río Cachijapa	124	3.5	3	0.1	1.4	1.3	0.8	0.7
<i>M. sp2</i>	Río de la Sierra	40	2.0	1	0.2	6.7	1.6	1.5	0.1
<i>M. sp3</i>	Río Mascupana	116	14.9	3	0.1	3.3	1.2	1.7	0.2
<i>M. sp4</i>	Río Basca	300	3.3	3	0.5	3.3	1.1	0.6	0.2
<i>M. sp5</i>	Río Pichucalco	40	1.6	2	0.1	5.6	1.1	1.9	0.1
<i>M. sp6</i>	Río Chacamax	200	1.5	3	0.1	4.3	1.3	1.1	0.4
<i>M. sp7</i>	Río Lacanjá	320	0.9	1	0.6	9.6	1.1	0.9	0.3
<i>M. sp8</i>	Río Chacaljah	352	7.5	1	0.4	6.6	1.2	0.5	0.3
<i>M. sp9</i>	Río Lacanjá	398	2.3	1	0.6	9.6	1.1	0.9	0.3
<i>M. sp10</i>	Río Lacanjá	382.6	2.2	1	0.6	9.6	1.1	0.9	0.3
<i>M. sp11</i>	Río Lacanjá	303	2.4	2	0.6	9.6	1.1	0.9	0.3
<i>M. sp12</i>	Río Tulijá	320	13.9	1	0.2	5.1	1.1	0.4	0.1
<i>M. sp13</i>	Río Tulijá	71	10.6	1	0.2	5.1	1.1	0.4	0.1
<i>M. sp14</i>	Río Mascupana	116	14.9	3	0.1	3.3	1.2	1.7	0.2
<i>M. spp1</i>	Río Jaltepec	108	1.3	3	0.2	4.7	1.4	1.3	0.5
<i>M. spp2</i>	Río Euseba	260	5.5	1	1.3	6.6	1.1	0.9	0.1
<i>M. spp3</i>	Río Lacanjá	373	4.6	2	0.6	9.6	1.1	0.9	0.3
<i>M. spp4</i>	Río Lacanjá	363	2.4	2	0.6	9.6	1.1	0.9	0.3
<i>M. spp5</i>	Río Lacanjá	434	3.7	1	0.6	9.6	1.1	0.9	0.3
<i>M. spp6</i>	Río Lacanjá	437	0.3	3	0.6	9.6	1.1	0.9	0.3
<i>M. spp7</i>	Río Usumacinta	293	1.2	2	0.2	12.2	1.1	0.4	0.1

Tabla 1.- Se presenta el listado de los valores fisiográficos de los sitios de colecta y los valores geomorfológicos de las cuencas correspondientes. H'=Integral hipsométrica, Bs=Forma de la cuenca, Smf=Sinuosidad de frente montañoso, SL=Gradiente del río principal, Vf=Relación altura-anchura del valle, P=río principal, No Id=identificado. (Continuación).

Especie	Cuenca	Elevación	Pendiente	Orden de río	Índices geomorfológicos				
					H'	Bs	Smf	SL	Vf
<i>M. spp8</i>	Río Cachijapa	120	0.0	1	0.1	1.4	1.3	0.8	0.7
<i>M. spp9</i>	Río Jaltepec	140	0.0	3	0.2	4.7	1.4	1.3	0.5
<i>M. spp10</i>	Río Trinidad	124	0.8	2	0.2	7.5	3.2	0.7	0.1
<i>M. spp11</i>	Río de la Lana	120	0.0	3	0.1	7.0	1.5	1.7	0.5
<i>M. spp12</i>	Río Tancochapa Bajo	10	0.5	1	0.1	5.1	No id	0.0	1.7
<i>M. spp13</i>	Río Lacanjá	640	0.5	5P	0.6	9.6	1.1	0.9	0.3
<i>M. spp14</i>	Río Lacanjá	528	3.9	3	0.6	9.6	1.1	0.9	0.3
<i>M. spp15</i>	Río Lacanjá	460	2.0	2	0.6	9.6	1.1	0.9	0.3
<i>M. spp16</i>	Río Usumacinta	124.5	0.1	1	0.2	12.2	1.1	0.4	0.1
<i>M. spp17</i>	Río Lacanjá	640	1.6	5P	0.6	9.6	1.1	0.9	0.3
<i>M. spp18</i>	Río Yashijá	354	0.0	5P	0.8	3.5	1.2	1.3	0.1
<i>M. spp19</i>	Río Presidente Al	108	3.5	2	0.2	4.4	2.1	1.8	0.1
<i>M. spp20</i>	Río Azul	840	5.8	5P	0.7	3.7	1.0	1.3	0.1
<i>M. spp21</i>	Río Lacanjá	343	1.7	5P	0.6	9.6	1.1	0.9	0.3
<i>M. spp22</i>	Río Lacanjá	338	1.6	1	0.6	9.6	1.1	0.9	0.3
<i>M. spp23</i>	Río Palo Grande	140	1.1	3	0.1	3.0	1.2	0.8	0.5
<i>M. spp24</i>	Río Platanar	60	1.7	2	0.2	3.4	1.2	0.9	0.1
<i>M. spp25</i>	Río Cachijapa	8	0.5	4	0.1	1.4	1.3	0.8	0.7
<i>M. spp26</i>	Río Cachijapa	60	0.0	1	0.1	1.4	1.3	0.8	0.7
<i>M. spp27</i>	Río Chacaljah	380	15.2	1	0.4	6.6	1.2	0.5	0.3
<i>M. spp28</i>	Río Jataté	580	4.0	5	0.8	8.6	1.1	1.0	0.1
<i>M. spp29</i>	Río Chacaljah	190	1.4	1	0.4	6.6	1.2	0.5	0.3
<i>M. spp30</i>	Río Tulijá	67	13.8	1	0.2	5.1	1.1	0.4	0.1
<i>M. totonacum</i>	Río Presidente Al	130	8.0	1	0.2	4.4	2.1	1.8	0.1
<i>M. tuxtlaense1</i>	Laguna Catemaco	414	2.7	1	0.2	4.3	1.2	0.9	0.1
<i>M. tuxtlaense2</i>	Río Carrizal	2	0.0	3	0.0	7.8	No id	0.0	4.9
<i>M. vicconi1</i>	Río Perlas	1055	2.4	2	0.9	4.6	1.3	0.8	0.3
<i>M. vicconi2</i>	Río Jataté	580	4.0	5	0.8	8.6	1.1	1.0	0.1
<i>M. villalobosi</i>	Río Presidente Al	123	9.4	1	0.2	4.4	2.1	1.8	0.1

*M. jacatepecensis* fue encontrado en la cuenca Valle Nacional, a menos de 100 msnm, en terreno accidentado y río joven. Los valores geomorfológicos obtenidos para esta cuenca permiten determinar que a esta especie le favorecen los ambientes tendientes al equilibrio.

*M. sp1*, en la cuenca Cachijapa se encontró en elevación mayor a los 100 msnm, pendiente suave y río de orden 3. Los valores geomorfológicos describen el ambiente como sedimentario, con actividad tectónica media, valles moderados a abierto y alta acumulación.

*M. tuxtlaense* fue la especie más próxima a la costa al Golfo de México, en la cuenca de la Laguna Catemaco esta especie se localizó a 400 msnm, en pendientes suaves y río joven, la Laguna presenta actividad asociada al Campo Volcánico de los Tuxtlas. En la cuenca Carrizal *M. tuxtlaense* se colectó a 2 msnm, en terreno plano de valle abierto y sistemas acumulativos con ríos maduros.

Los individuos *M. sp* y *M. spp*. Localizados en la Selva Lacandona, presentan rango de elevación heterogéneos, entre los 40 a los 398 msnm, habitan ambientes de precipitación abundante y sistemas de control estructural, en pendientes accidentadas y, principalmente, en ríos jóvenes.

Así, Los índices geomorfológicos y los valores fisiográficos de los sitios de colectas describen que *Macrobrachium* prefiere elevaciones entre los 100 y 600 msnm, en ríos jóvenes con vertientes de pendientes suaves, sin embargo, en este trabajo se encontró que su hábitat puede extenderse hasta los 1055 msnm, (*M. vicconi*), que se adaptan en menor medida a las pendientes accidentadas (*M. jacatepencensis* y *M. spp*) y que se distribuyen por toda la configuración hídrica. Las especies con preferencia a ambientes tectónicos-estructurales son *M. jacatepencensis*, *M. vicconi*, *M. cosolapaense*, *M. Oaxacae*, *M. totonacum*, *M. villalobosi.*, *M. sbordonni*, *M. sp.*, *M. spp.* y *M. tuxtlaense*; mientras que *M. acherontium*, *M. mazatecus* prefieren ambientes acumulativos. Las especies *M. jacatepencensis* y *M. tuxtlaense* presentaron potencial para adaptarse a ambos ambientes.

### 3. DISCUSIÓN

Los datos vectoriales compilados del INEGI presentaron disimilitudes en las características técnicas, esto causado por diferencias de origen en el tipo de datos. Tal eventualidad se corrigió adicionando campos y editando las tablas de atributos, logrando con esto una base de datos unificada, supervisada y con alto nivel de integración para con otros proyectos, lo que para Araya-Muñoz (2009) es el beneficio de la construcción de un SIG, cabe destacar que esta es la etapa que requiere mayor inversión de recursos.

La escala de resolución 1:50,000 favoreció la calidad de la información en los archivos raster y, según Bocco (2004) garantiza la precisión en la medición de parámetros morfométricos de las cuencas. La información de elevación del terreno contenida en esta plataforma fue reclasificada a 50 rangos, éstos fueron suficientes para observar las irregularidades y los puntos de inflexión en la curva hipsométrica, lo cual corrobora el principio de trabajo de Racca (2007). Así, de esta forma se fue obteniendo un panorama geomorfológico de las cuencas y facilitando la ubicación de posibles eventos tectónicos o erosivos; este índice reflejó el control de tipo estructural en la vertiente del Golfo de México, 21 cuencas se encuentran en estado de ambientes sedimentarios, debido a la extensión y origen acumulativos de las planicies de Veracruz y Tabasco.

Por otra parte, Strahler (citado en: Díaz et al., 2012) y Bull y Mc Fadden (1977, citado en: Carvajal y Sanz de Galdeano, 2008) relacionan la hipsometría y la inestabilidad geomorfológica con el grado de disección de los valles, refiriendo que, las cuencas con integral hipsométrica entre 0.72 y 0.82, o con potencial tectónico activo son representativos de superficies pobremente disectadas, esta condición no se cumplió para varias cuencas en el área de estudio, cuyas integrales hipsométricas oscilan en ese rango, pero sus valles presentan disecciones profundas y estrechas debido al volumen de precipitación, a la litología caliza ampliamente karstificada y al control

tectónico, esta condición es previamente mencionada por Lugo-Hubp (1990) quien señala disecciones verticales de hasta 800 metros de altitud en Chiapas.

Para el índice de gradiente vertical, SL, la interpolación de la red hidrográfica permitió el modelado en 3D y el graficado el gradiente de los cauces principales; en este modelado hídrico se visualiza de manera muy clara los cambios de pendiente en la base del cauce, reforzando la utilidad del índice propuesto por Díaz-Torres et al. (2012); la uniformidad que se presentan en estos gradientes corresponden a valles erosionados y abiertos, mientras que la inestabilidad del terreno se observó a través de escalonamientos del gradiente o de *knickpoints* que pueden ser asociados al forzamiento tectónico, o volcánico (Castillo y Lugo-Hubp, 2011; Senciales-González, 2017).

La identificación del frente montañosos activo resultó la parte más compleja, siendo un punto a considerar, ya que esta requiere amplio criterio (entendiendo los diversos factores que lo condicionan: tectónicos, litológicos y evolutivos) por parte del investigador y experiencia en las zona de estudio (Navarro et al., 2012); para esta tarea, a través del SIG, se revisaron los siguientes insumos generados previamente: i) las irregularidades en el gradiente de los ríos principales, ii) los puntos de inflexión en la curva hipsométrica y iii) la inclinación en el mapa de pendientes. En las cuencas que se ubican en el estado de Chiapas se detectaron índices que señalan la inestabilidad de la cuenca, que puede deberse a los levantamientos de bloques ascendentes y descendentes asociados a las fallas Polochic-Motagua y Chiapas-Reforma-Akal (Dengo, 1996; Guzmán Speciale, 2010), mientras que en las cuencas localizadas en la Sierra Oriental los movimientos dextrales de las fallas Tamaulipas-Oaxaca y Valle Nacional generan formaciones anticlinales y sinclinales (Eguiluz, 2000; Padilla y Sánchez, 2007).

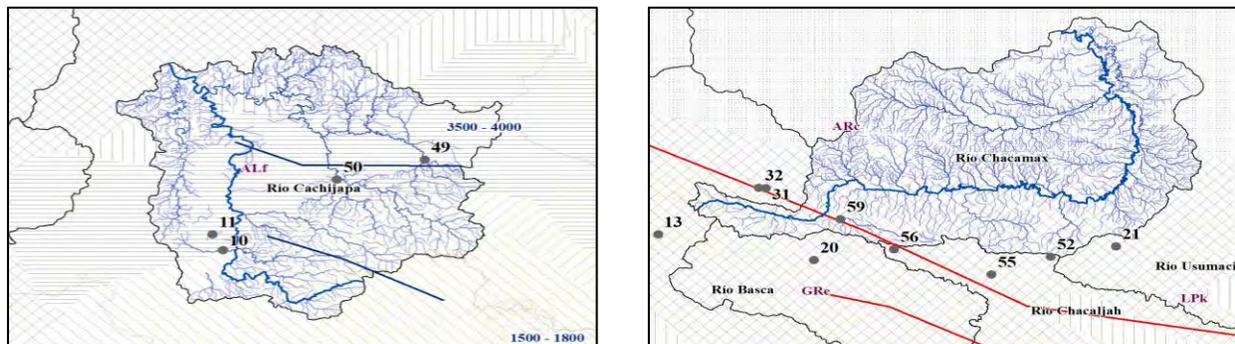
Para el índice de  $V_f$  (relación entre el ancho sobre el alto de los valles), se utilizó el TIN (redes irregulares de triángulos para determinar altitud tridimensional de las cuencas), en las

cuencas se trazaron 10 perfiles perpendiculares lo largo del cauce principal, en estos trazos se obtuvo la diferencias de cotas de cada ladera, para el ancho del fondo Navarro-Lozano et al. (2012) recomienda tomar una distancia de 50 metros. En las cabeceras de las cuencas este índice se incrementa, ya que son las zonas más dinámicas, resaltando en estas regiones por el régimen de precipitación, alterando el ciclo erosión-disolución mencionado por Mora et al. (2016) que, en conjunto con la fracturación tectónica, favorece a la disección de los valles. La erosión y el arrastre de materiales generan deposiciones en las cuencas bajas del cauce.

Los índices geomorfológicos obtenidos y los modelos del relieve generados, en conjunto con capas georreferenciadas de los elementos endógenos y exógenos del área de estudio, permitieron reconocer de manera gráfica e integrada la estructura y tipos de cuencas (Ortiz, 2011), siendo determinantes en los requerimientos fisiográfico y del hábitat donde se asientan las especies de *Macrobrachium*. La distribución de este género coincide con la descripción espacial, climática y geológica de López de Llergo (2003), Vidal-Zepeda et al. (2005) y de Espinasa-Pereña, (2007); los dos primeros mencionan que los vientos alisios cargados de humedad del Golfo de México chocan con las laderas de las Sierras Orientales y las Sierras Septentrionales de Chiapas, esta humedad se condensa y es descarga en forma de precipitaciones intensas entre los 100 y 1500 msnm; el tercer autor, describe para esta zona una geología kárstica de tipo tropical que favorece a la formación de cavernas. Los resultados obtenidos y descripciones realizadas en este trabajo sugieren que, en la vertiente del Golfo de México, *Macrobrachium* presenta mejor adaptabilidad a las laderas de inclinación suave en la cuenca media; Barba et al. (2010) también encontró preferencia de los crustáceos por los sistemas lénticos; sin embargo, y contrario a esto, Villalobos-Hiriart et al. (2010), señalan que en la vertiente del Pacífico, en Oaxaca, se determinó mayor

riqueza de crustáceos decápodos, incluidos *M. michoacanus*, *M. americanus* y *M. occidentale*, en la cuenca baja, y esta riqueza disminuyó hacia las cuencas media y alta.

En las cuencas Lacanjá, Chacaljah, Chacamax y Tulijá los sitios de colecta se enciman sobre sistemas de fallas normales y anticlinales, mientras que en Cachijapa, Tancochapa Bajo, Pichucalco y De la Sierra *Macrobrachium* se montan sobre fallas transcurrentes, esto permite asociar al hábitat de *Macrobrachium* con zonas tectónicamente activas, de alta dinámica y con pisos altitudinales significativos, y la localización de estos individuos podría predecirse a partir de los knickpoints (zonas de ruptura de pendiente) (Ilustración 8 y 9) en el gradiente del río principal, donde la energía de las corriente disminuye o es de menor intensidad (Castillo y Lugo-Hubp, 2011; Ocaña et al., 2016).



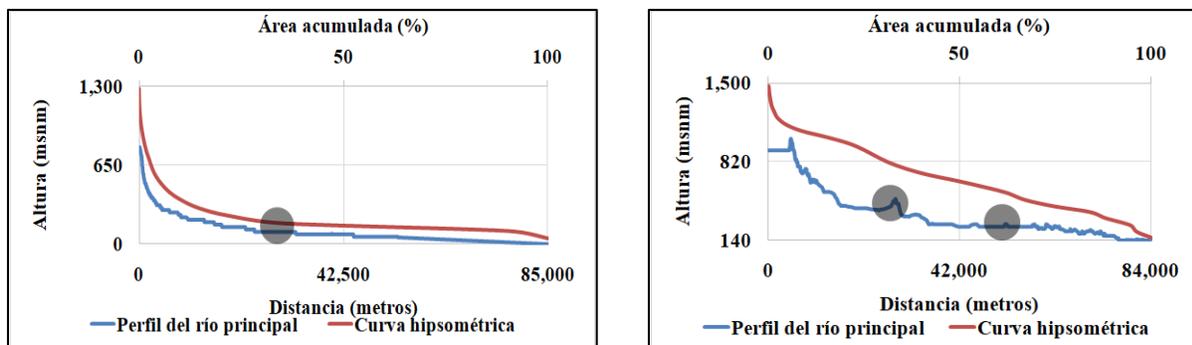


Ilustración 10.- A la izquierda, la curva hipsométrica y el gradiente del río principal de la cuenca Cachijapa, un sistema sedimentada, cercano a la redondez, de valles abierto y con fallas de tipo transcurrentes. A la derecha, la curva hipsométrica y el gradiente del río principal de la cuenca Lacanjá, su estado es inestable, sus valles son encajados de ríos son erosivos y es atravesada por un sistema de fallas anticlinales. A partir de las cabeceras de las cuencas, los langostinos *spp.* en Cachijapa fueron colectados a los 27,700, mientras que en Lacanjá a los 25,100 y 49,888 metros respectivamente (nótese en negrilla las colectas sobre el gradiente del río principal).

A partir de las líneas anteriores, como complemento en el conocimiento de este género, resulta necesario analizar la diferenciación fisicoquímica del recurso hídrico en las proximidades de las zonas para determinar la influencia tectónica o litológica, así como también analizar la distribución por estacionalidad climática y estadio del individuo. Finalmente, es necesario realizar estudios al interior de cada cuenca (subcuencas y cuencas menores) que permitan reforzar y describir detalladamente los componentes del hábitat a una escala detallada.

## CONCLUSIONES

El sistema de información geográfica a escala 1:50,000 resultó ser una herramienta eficiente y precisa para el análisis de las cuencas fluviales de la vertiente del Golfo de México, en específico para aquellas cuencas donde se tomaron las muestras.

La escala de resolución aplicada permitió diferenciar las formas en los pisos altitudinales y obtener valores de la fisiografía de la vertiente de 28 cuencas.

Los índices geomorfológicos, además de aportar información cuantitativa del relieve, podrían convertirse en una herramienta de muestreo sistemático de hábitat si los requerimientos fisiográficos de *Macrobrachium*, en su caso considerándolos como una constante (etapa de crecimiento, época del año, especie).

Los factores ambientales determinantes en la selección del hábitat de este género, desde el punto de vista fisiográfico, fueron la precipitación, la temperatura, la pendiente, el componente geológico y el fallamiento tectónico.

Las especies con preferencia a ambientes con influencia tectónica son: *M. vicconi*, *M. cosolapaense*, *M. Oaxacae*, *M. totonacum*, *M. villalobosi.*, *M. sbordonni*, *M. sp.*, *M. spp.*

Las especies *identificadas en cuencas con determinantes dinámicas (erosión y depositación)* son: *M. acherontium*, *M. mazatecus*.

Las especies *M. jacatepecensis* y *M. tuxtlaense* presentaron potencial para adaptarse a ambos ambientes.

## REFERENCIAS

- Andreani, L., Rangin, C., Martínez-Reyes, J., LeRoy, C., Aranda García, M., Le Pichon, X., Peterson-Rodriguez, R., 2008, The Neogene Veracruz fault: evidences for left-lateral slip along the southern Mexico block: *Bulletin de la Société géologique de France*, 179 (2), 195-208.
- Araya-Muñoz, D. 2008. Metodología para la georreferenciación de elementos emisores y su implementación a través de un SIG. *Tiempo y Espacio*, año 18, Vol 21, pag. 24-46. ISSN 0716-9671.
- Arroyo, R. G. y Magaña, R. L. (2001). Contribución al conocimiento de las especies de *Macrobrachium* con especial referencia a los langostinos en el cauce del río Baluarte. Tesis de Licenciatura en Biología Pesquera, Universidad Autónoma de Sinaloa, México.
- Barba, E., Juárez-Flores, J., Estrada-Loreto, F. (2010) Distribución y abundancia de crustáceos en humedales de Tabasco, México. *Revista Mexicana de la Biodiversidad*.8: S153-S163.
- Bauer, R. (2013). Amphidromy in shrimps: a life cycle between rivers and the sea. *Latin American Journal of Aquatic Research*, Vol.41, # 4. ISSN: 0718-560X.
- Bocco, G. (2004). Cartografía y sistemas de información geográfica en el manejo integrado de cuencas. En: H. C. (Compiladora), *El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental* (págs. 41-47). México D.F: INESEMARNAT.
- Borcosque, J. (1990). *Sistemas de Información Geográfica: Conceptos, estructuras y aplicaciones en la captación, procesos y análisis de datos sobre ambiente y recursos naturales*. Santiago de Chile.
- Bull, W., McFadden, L., (1977), Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California, en Doehring, D.O. (ed), *Arid regions: Publications in Geomorphology*, State University of New York at Binghamton, 115–139.
- Carvajal, R., & Sanz de Galdeano, C. (2008). Aplicación de índices geomorfológicos al estudio de la cuenca del río Adra (Almería). *Rev. C & G.*, 22, 17-31.

- Castillo, M., Lugo Hubp, J. (2011). Estado actual del conocimiento, clasificación y propuesta de inclusión del término knickpoint en el léxico geológico-geomorfológico del español. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63 (2), 353-364.
- Cervantes Zamora, Y. et al. (1990), Clasificación de regiones naturales de México 1. (11 mapas de la República Mexicana de diversos autores, en escala 1:12 000 000 cada uno), Hoja IV.10.1, Atlas Nacional de México, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Charleston, S., Hernández, A., Taul, J., Martínez, I. y Najera A. (1985). Modelo tectónico de la placa chiapaneca. Sociedad Geológica Mexicana, Convencion de Geografía Nacional, 7, México, D. F., Resúmenes, p. 31-32.
- Córdoba-Montiel, F., Iglesias-Mendoza, A., Singh, S. K., Spica, Z., Legrand, D. (2014). Tomografía de velocidad de grupo de ondas de Rayleigh para el oriente de México y el Istmo de Tehuantepec. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Volumen 66, num. 3, p. 441-457.
- Cuervo-Robayo, A. P., Téllez-Valdés, O., Gómez, M., Venegas-Barrera, C., Manjarrez, J. & Martínez-Meyer, E. 2013. An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology*.
- De la Lanza Espino, G., Ortiz Perez, M. A., & Carbajal Pérez, J. L. (2013). Diferenciación hidrogeomorfológica de los ambientes costeros del Pacífico, del Golfo de México, y del Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas*, num. 81, 33-50.
- Dengo, C y Dengo, G. (1990). Posible unión de las fallas Polochic y Motagua en el occidente de Guatemala. Diagnóstico de la prevención de desastres en Guatemala. Colegio de Ingenieros de Guatemala.
- Díaz-Torres, J. J., Fletcher, J. M., Spelz-Madero, R.M., Martín-Barajas A., Suárez-Vidal, F. (2012). Geomorfometría del Escarpe Principal del Golfo de California. Análisis comparativo entre dos segmentos del rift: Sierra San Pedro Mártir y Sierra Juárez, Baja California, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 29, núm. 3, pp590-610.
- Eguiluz de Antuñano, S., Aranda-García, M., Marret, R. (2000). Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Vol. LIII, pp 1-26.

- Espinasa-Pereña, R., 2007, El Karst de México. Mapa NA III 3, en Coll-Hurtado, A. (coord.), Nuevo Atlas Nacional de México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Guerrero et al., M. U., Becerril-Morales, F. V., Vega-Villasante, F., Espinosa-Chaurand, L. D. (2013). Los langostinos del género *Macrobrachium* con importancia económica y pesquera en América Latina: conocimiento actual, rol ecológico y conservación. *Latino American Journal of Aquatic Resources*, Vol. 41(4): 651-675.
- Guzmán-Speziale, M., Meneses-Rocha J. J. (2000). The North América-Caribbean plate boundary west of the Motagua-Polochic fault system: a fault jog in Southern México. *Journal of South American Earth Science*, Vol. 13 pp 459-468.
- Guzmán-Speziale, M. (2010). Beyond the Motagua and Polochic faults: Active strikes-slips faulting along the Western North America-Caribbean plate boundary zone. *Tectonophysics* 496: 17-27.
- Hack, J.T. (1973), Stream-profile analysis and stream gradient index: U.S. Geological Survey Journal of Research, v. 1, 421–429.
- Hernández-Santana, J. R., Méndez-Linares, A. P., Bollo-Manent, M. (2012). Análisis morfoestructural del relieve noroccidental del estado de Chiapas. *Revista Geográfica Venezolana*, Vol. 53(1).
- Horacio J., Ollero A. (2011). Clasificación geomorfológica de cursos fluviales a partir de información geográfica (S. I. G.). *Boletín de la Asociación de Geógrafos españoles* No. 56, 373-396.
- Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions American Geophysical Union*. Washington, USA: 13: 350-361.
- Keller, E. A., Pinter, N. (1996) *Active Tectonics, Earthquake Uplift and Landscape*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 338 pp.
- Keller, E. A., Pinter, N. (2002). *Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape*. 2nd Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, 362 pp.

- Liria, J. (2008). Sistemas de información geográfica y análisis espaciales: un método combinado para realizarestudios panbiogeográficos. *Revista Mexicana para la biodiversidad* 79:, 281-284.
- López de Llergo, Rita. (2003). Principales rasgos geográficos de la República Mexicana. *Investigaciones geográficas*, (50), 26-41.
- Lugo-Hubp, J. (1990). El relieve de la Replública Mexicana. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 82-111.
- McDowall, R. (2007). On amphidromy, a distinct form of diadromy in aquatic organisms. *Fish Fish.*, 8: 1-13.
- Martínez, G., & Díaz, J. (2011). Morfometría en la cuenca hidrológica de San José del CAbo, Baja California, México. *Rev. Geol. Amér. Central* 44, 83-100.
- Mejía-Ortiz, L., Álvarez, F., Román, R., & Viccon-Pale, J. (2001). Fecundity and distribution os freshwater prawns af the genus *Macrobrachium* in the Huitzilapan river, Veracruz, México. *Crustacean* 74(1):, 69-77.
- Mejía-Ortiz, L., Baldari, F., López-Mejía, M. (2008). *Macrobrachium sbordinii* (Decapoda: Palaemonidae), a new stygobiotic species for fresh water prawn from Chiapas, México. *Zootaxa* 1814:49-57.
- Mejía-Ortiz LM & López-Mejía M. (2010) Freshwater prawns of the genus *Macrobrachium* (Decapoda, Palaemonidae) with abbreviated development from the Papaloapan River Basin, Veracruz, México: distribution and new species. *Crustaceana*. 2011; 84(8): 949–973.
- Mejía-Ortiz, L., López-Mejía, M., Chale-Chim, A., Perera-Pech, Y., Crandall, K., Frausto-Martínez, O. Santander-Botello, L. (2015). Fresh water prawns, (Palaemonidae: *Macrobrachium*) with abbreviated larval development in rivers of México: uses, management and conservation oportunities. En: *River basin management*, chapter 14: 295-303.
- Mendoza, M., Plascencia, H., Rosete, F., & Bocco, G. (2010). *Análisis de la aptitud territorial. Una perspectiva biofísica*. México D.F.: Centr de Investifgaciones en Geografía Ambiental.

- Mora, L., Bonifaz, R., López-Martínez, R. (2006). Unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán, Lagos de Montebello, Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 68, núm. 3, p. 377-394.
- Moreira-Muñoz, A. (1996). Los sistemas de información geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la biodiversidad. *Ambiente y Desarrollo. Vol XII-No 2*, 80-86.
- Navarro, L. J., Nava, S. E., Troyo, D. E., & Cadena, Z. J. (2012). Tasa de erosión e índices geomorfológicos en tres cuencas costeras del sur de la península de Baja California, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 299-241.
- Ocaña, R. E., Suvires, G. M., Flores, D. G. (2016). Evolución del relieve de un frente montañoso y respuesta del sistema fluvial ante el forzamiento causado por la actividad tectónica (Andes centrales, provincia de San Juan Argentina) *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 33, num. 3, p. 329-341.
- Ortiz, M. (2011) Generación de un sistema de información geográfica como instrumento para la gestión del agua en la ciudad de San Luis Potosí. *Revista geográfica de América Central, Número Especial EGAL*, Costa Rica II semestre, pp1-15.
- Ortiz Pérez, M. A. (2009). *Clasificación oceanográfica de las cuencas hidrográficas de México*. Obtenido de [<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/639/clasificación.pdf>].
- Padilla y Sánchez. (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*, Tomo LIX, num. 1, p.19-42.
- Pardo Pascual, J. E., Palomar, J. (2002). Metodología para la caracterización geomorfológica de los barrancos del sur de Menorca mediante perfiles transversales. En *X Congreso de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*, Valladolid.
- Pérez-Tello, M. G., Gallo-Reynoso, J. P., Villalobos-Hiriart, J. L., Mondragón-Mota, J. G. (2016) Registro de *Macrobrachium olfersii* en un arroyo temporal de San Carlos, Guaymas, Sonora, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87 pp1379-1382.
- Pileggi, L. G., Mantelatto, F. L. (2010). Molecular phylogeny of the freshwater prawn genus *Macrobrachium* (Decapoda, Palaemonidae), with emphasis on the relationships among selected American species. *Invertebrata Systems*. 24(2): 194-208.

- Racca, J. M., (2007). Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* 77(1-2) p. 31-38.
- 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 por ascenso del nivel del mar debido al cambio climático en la costa de Tabasco y Campeche, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Vol. 68 num. 3 p581-698.
- Rockwell, T. K., Keller, E. A., Johnson, D. L., (1984), Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California, *en* Morisava, M. y Hack, T.J. (eds), *Tectonic Geomorphology: Publ. in Geomorphology*, State University of New York at Binghamton, 183-204.
- Rodríguez, M. J. (2001). Los sistemas de información geográfica: una herramienta de análisis en los estudios de impacto ambiental. En A. A. (directores), *Sociología ambiental*. Granada: Grupo Editorial Universitario.
- Senciales-González, J. M., Comino, J. R., Martínez-Murillo, J. F., Ruiz-Sinoga, J. D. (2017). Análisis de perfiles longitudinales de ríos para la detección de anomalías geomorfológicas. Aplicación a un sector de la costa septentrional del Mar de Alborán (España). *Anales de la Geografía de la Universidad Complutense*, 38(1) 2018: 161-194.
- Sotelo, R. E. D.; González, A. H.; Cruz, G. B.; Moreno, F. S. S. y Ochoa, E. 2010. La clasificación FAO-WRB y los suelos del Estado de México. Libro técnico Núm. 14. INIFAP. Zinacantepec, Estado de México. 159 p.
- Strahler, A. N. (1952) *Dinamic Basis of Geomorphology*. Geological Society of America Bulletin, 63, 923-938.
- Strahler, A. N. (1956). *Quantitative Slope Analysis*. Geological Society of America Bulletin, 67, 571-596.
- Tejeda- Mazariegos, J., & Mejía-Ortíz, L. (2015). A new fresh water prawn of the genus *Macrobrachium*(Decapoda, Palaemonidae) from Guatemala. *Crustaceana* 88(5), 541-550.
- Toural-Dapoza, R., Moreiras, S. (2018). Aplicación de índices geomorfológicos en el piedmonte neotectónicamente activo de Mendoza. *Geogaceta* 42(2): 45-63.

Trucíos, C. R., Estrada, Á. J., Delgado, R. G., Rivera, G. M., & Cerano, P. J. (2013). SIG para Manejo de Recursos Naturales. *Agorfaz. Número 2*, 133-146.

Vidal Zepeda, R. (2005). *Las regiones climáticas de México*. México D. F. : Instituto de Geografía de la UNAM. Colección de Temas Selectos de Geografía de México ( I.2.2), 213 p., ISBN 970-32-2394-X.

Villalobos-Hiriart, J. L., Álvarez, F., Hernández, C., de la Lanza-Espino, G., González-Mora, I. M. (2010). Crustáceos decápodos de las cuencas Copalita, Zimatán y Coyula, en Oaxaca, México. *Revista Mexicana de la Biodiversidad* 881: S99-S111

Plataformas en línea:

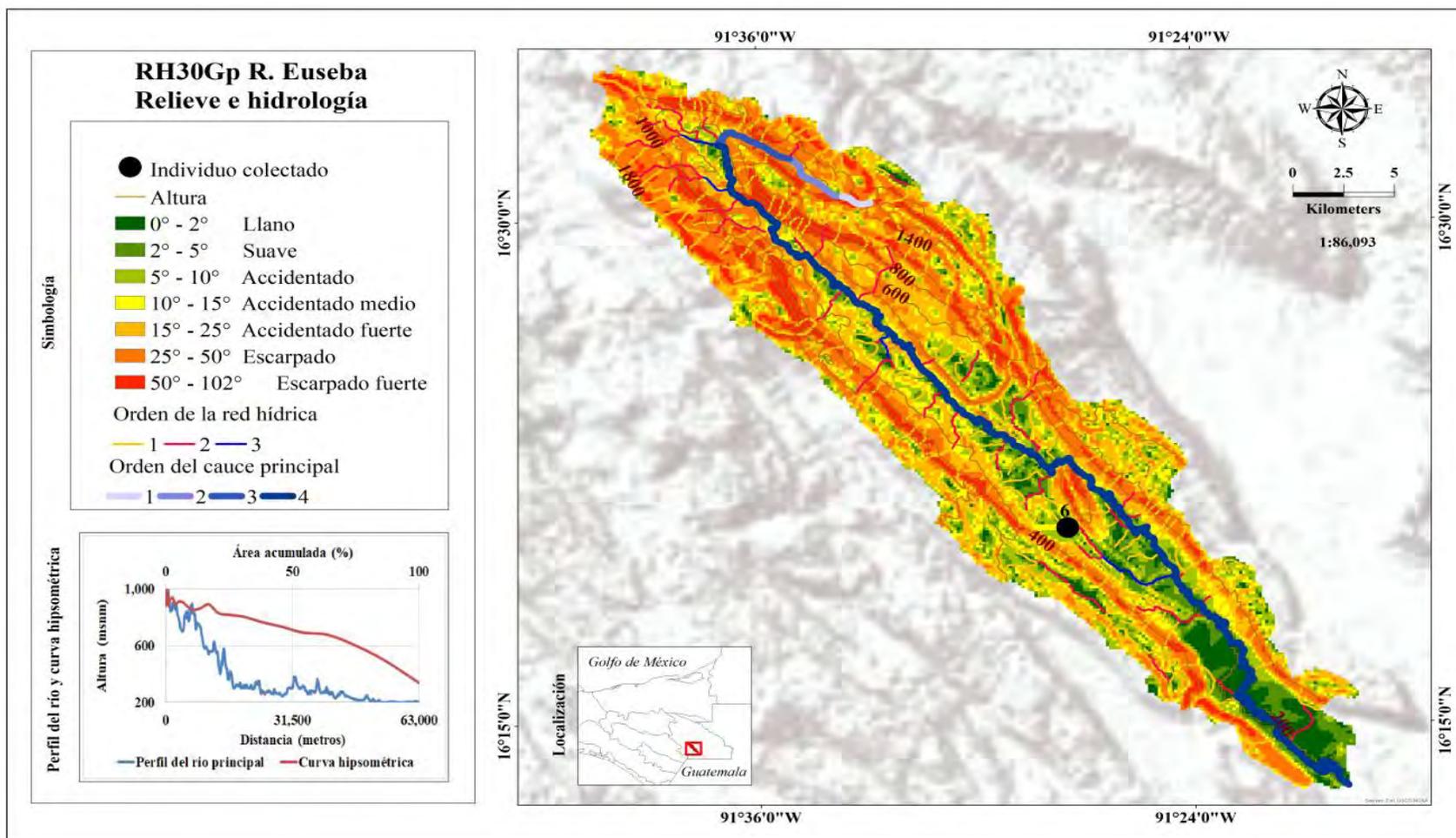
[http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/siatl/](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/)

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/carta50000.aspx>

<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

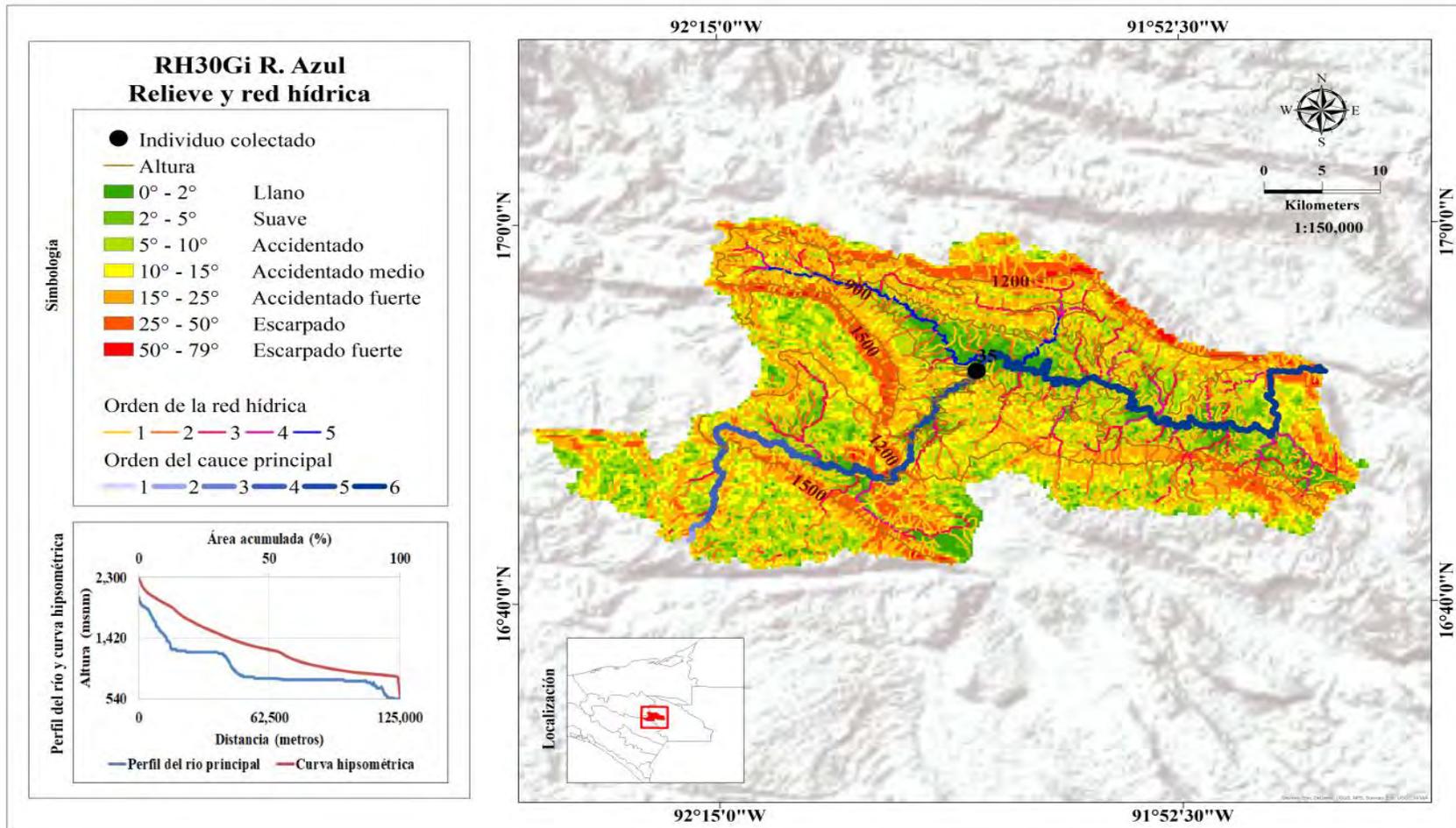
## **SECCIÓN DE ANEXOS**

Anexo A.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Gp R. Euseba



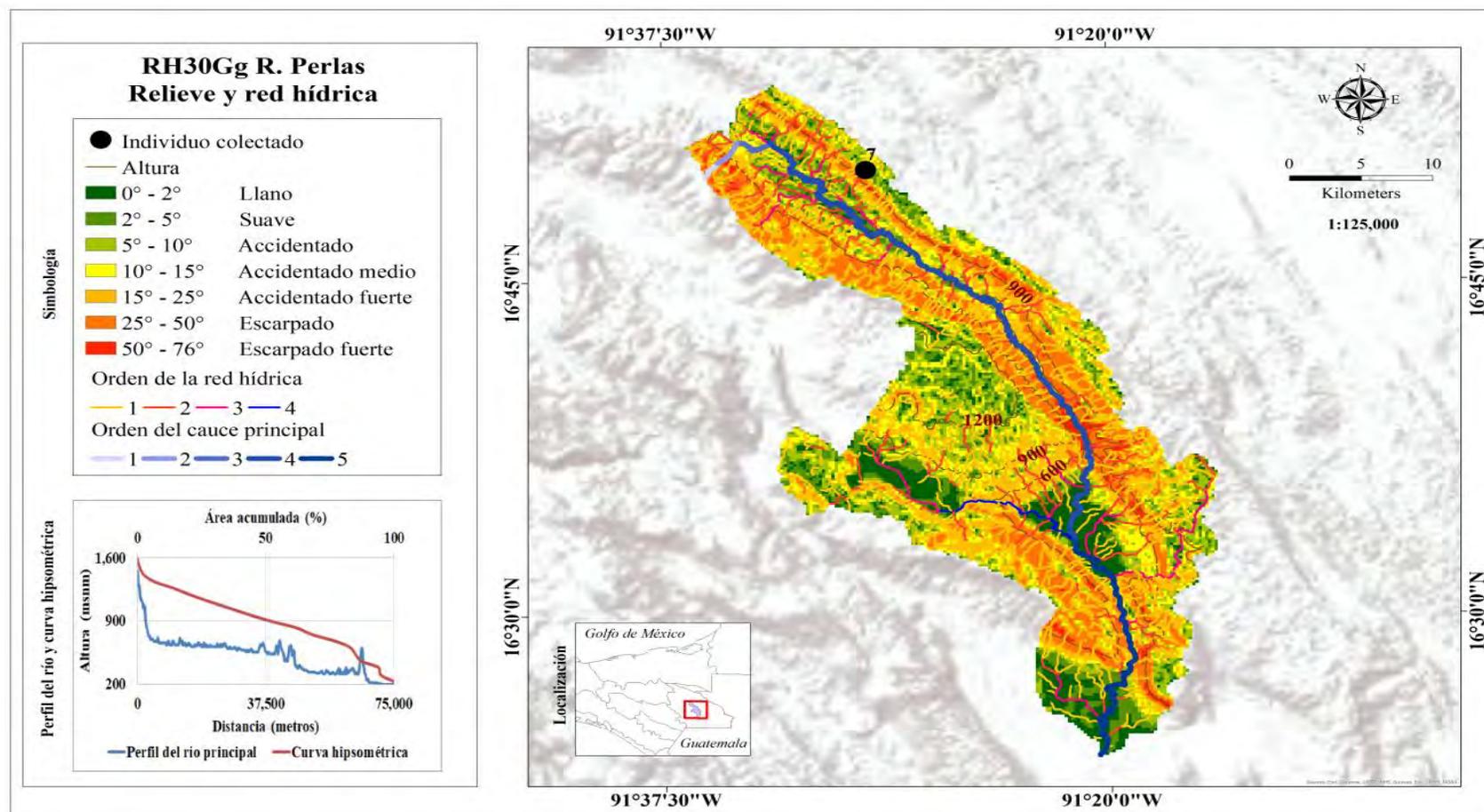
Este es un sistema de orden 4, los índices geomorfológicos la clasifican como una cuenca alargada ( $B_s=6.56$ ), en desequilibrio ( $H'=1$ ), sus valles son muy encajados en la cuenca alta y abiertos en la cuenca baja y con potencial tectónico fuerte ( $V_f=0.1$ ), ríos con capacidad erosiva muy fuerte ( $SL=0.85$ ) y frentes montañosos con potencial tectónico elevado ( $Smf=1.1$ ). Aquí se colectó a *spp*.

Anexo B.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Gi R. Azul



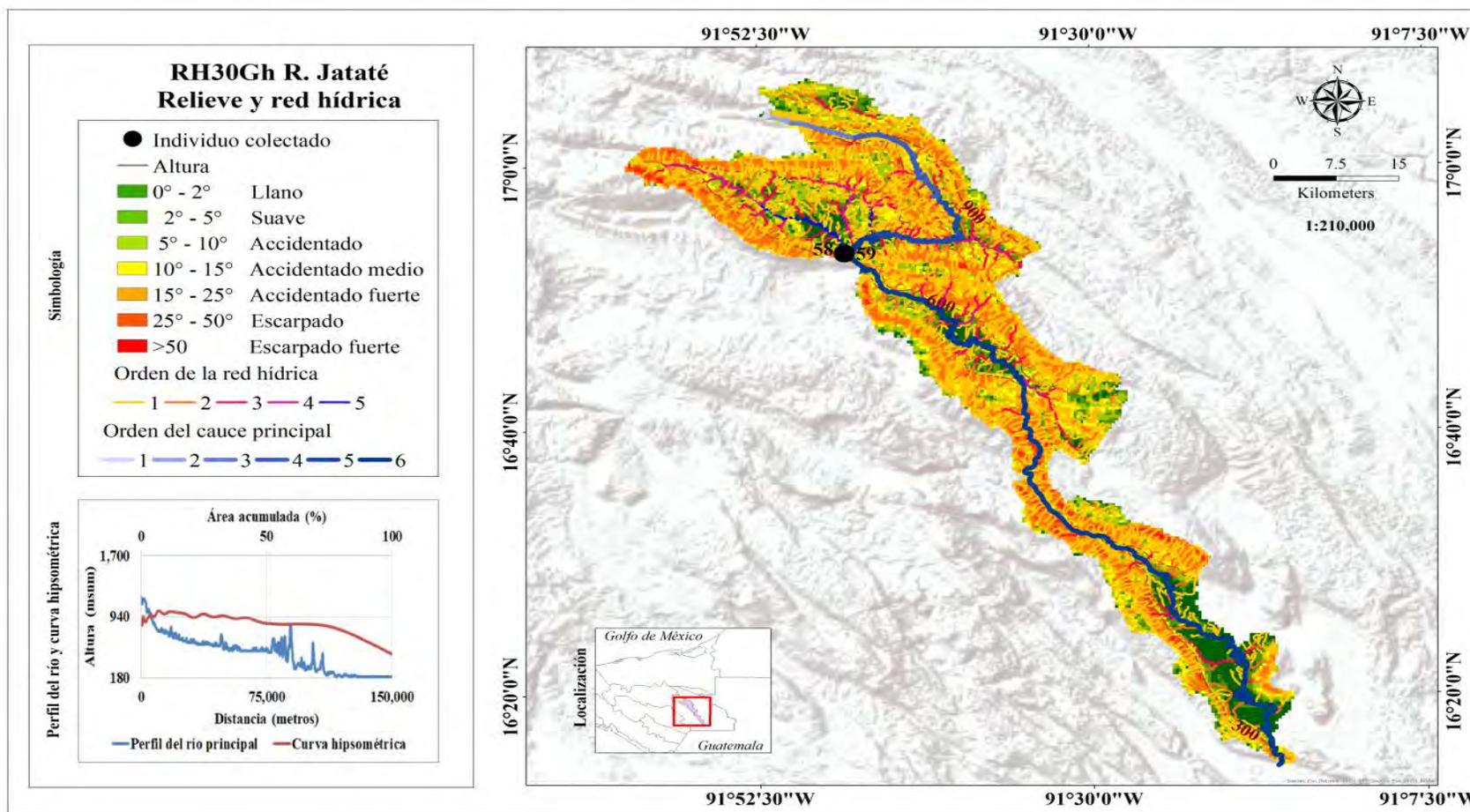
Este es un sistema de orden, 6, los índices geomorfológicos la clasifican como una cuenca alargada ( $B_s=3.72$ ), en desequilibrio ( $H'=0.69$ ), sus valles son suaves en la cuenca alta a abiertos en la cuenca baja con potencial tectónico fuerte ( $V_f=0.09$ ), ríos equilibrados ( $SL=1.34$ ) y frentes montañosos con potencial tectónico elevado ( $S_{mf}=1$ ). Aquí se colectó a *spp.*

Anexo C.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Gg R. Perlas



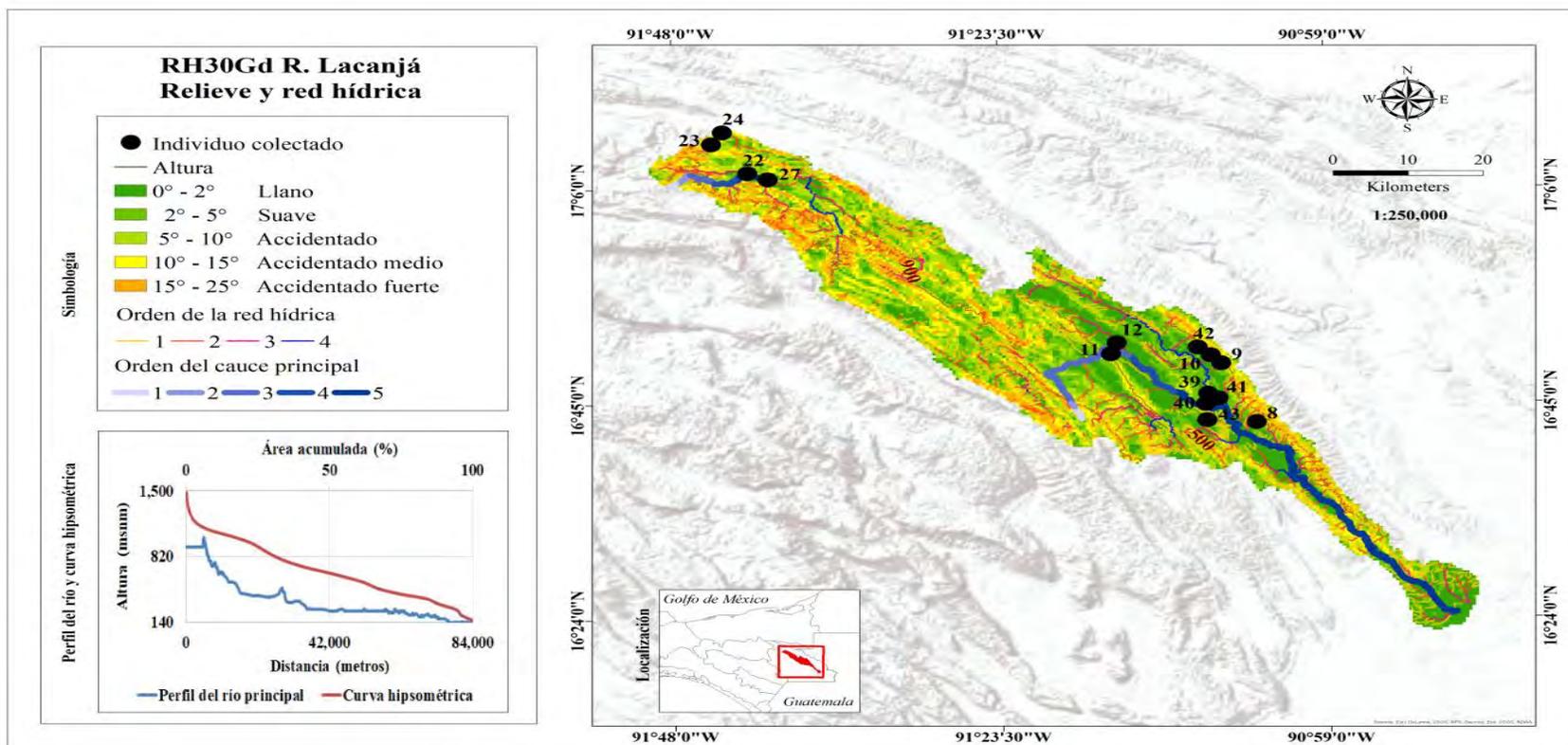
Este es un sistema de orden, 5, los índices geomorfológicos la clasifican como una cuenca alargada ( $B_s=4.65$ ), en desequilibrio ( $H'=0.86$ ), sus valles son muy encajados en la cuenca alta y moderados en la cuenca media y baja con potencial tectónico fuerte ( $V_t=0.25$ ), ríos con capacidad erosiva muy fuerte ( $SL=0.78$ ) y frentes montañosos con potencial tectónico elevado ( $S_{mf}=1.25$ ). Aquí se colectó a *M. vicconi*.

Anexo D.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Gh R. Jataté



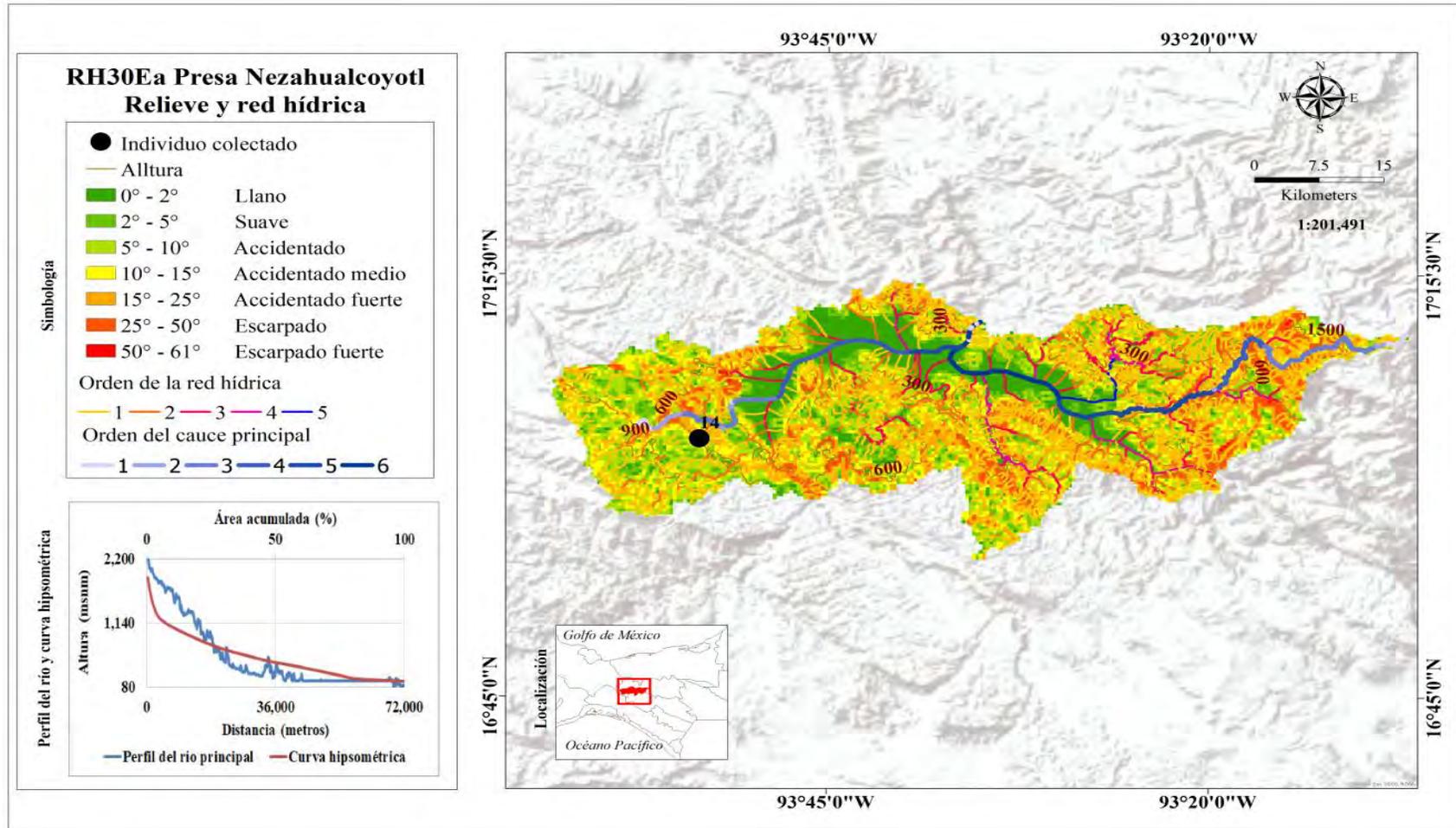
Este es un sistema de orden, 6, los índices geomorfológicos la clasifican como una cuenca muy alargada ( $B_s=8.57$ ), en desequilibrio ( $H'=0.75$ ), sus valles son muy encajados en la cuenca alta y moderados en la cuenca media y baja con potencial tectónico fuerte ( $V_f=0.07$ ), ríos con capacidad erosiva fuerte ( $SL=1$ ) y frentes montañosos con potencial tectónico elevado ( $S_{mf}=1.1$ ). Aquí se colectó a *M. vicconi*.

## Anexo E.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Gd R. Lacanjá



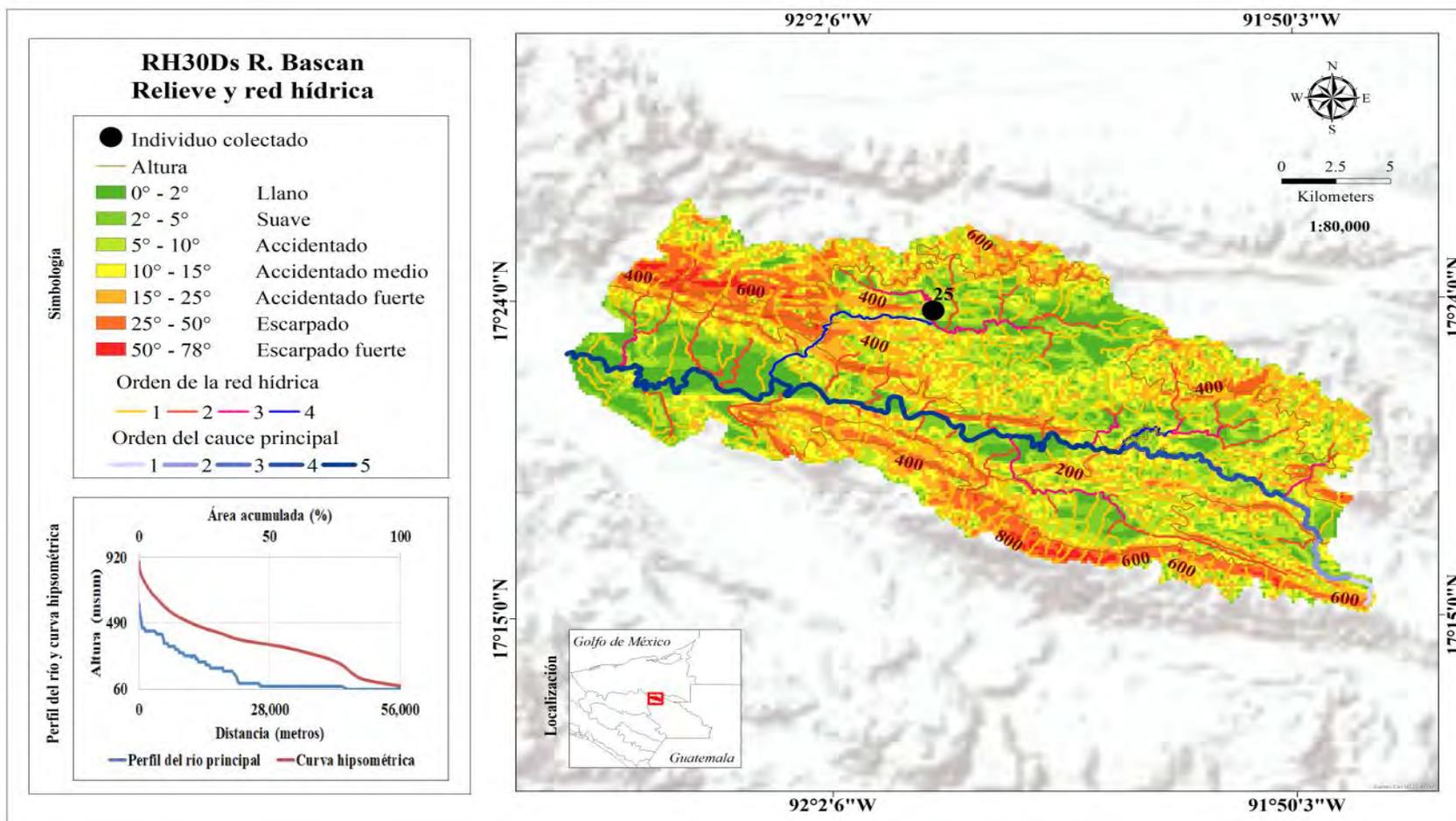
Este es un sistema de orden, 5, los índices geomorfológicos la clasifican como una cuenca muy alargada ( $B_s=9.59$ ), en desequilibrio ( $H'=0.6$ ), sus valles son abiertos con potencial tectónico fuerte ( $V_f=0.29$ ), ríos con capacidad erosiva fuerte ( $SL=0.93$ ) y frentes montañosos con potencial tectónico elevado ( $S_{mf}=1.1$ ). Aquí se colectó a *sp*, y *spp*.

Anexo F.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Ea P. Nezahualcóyotl



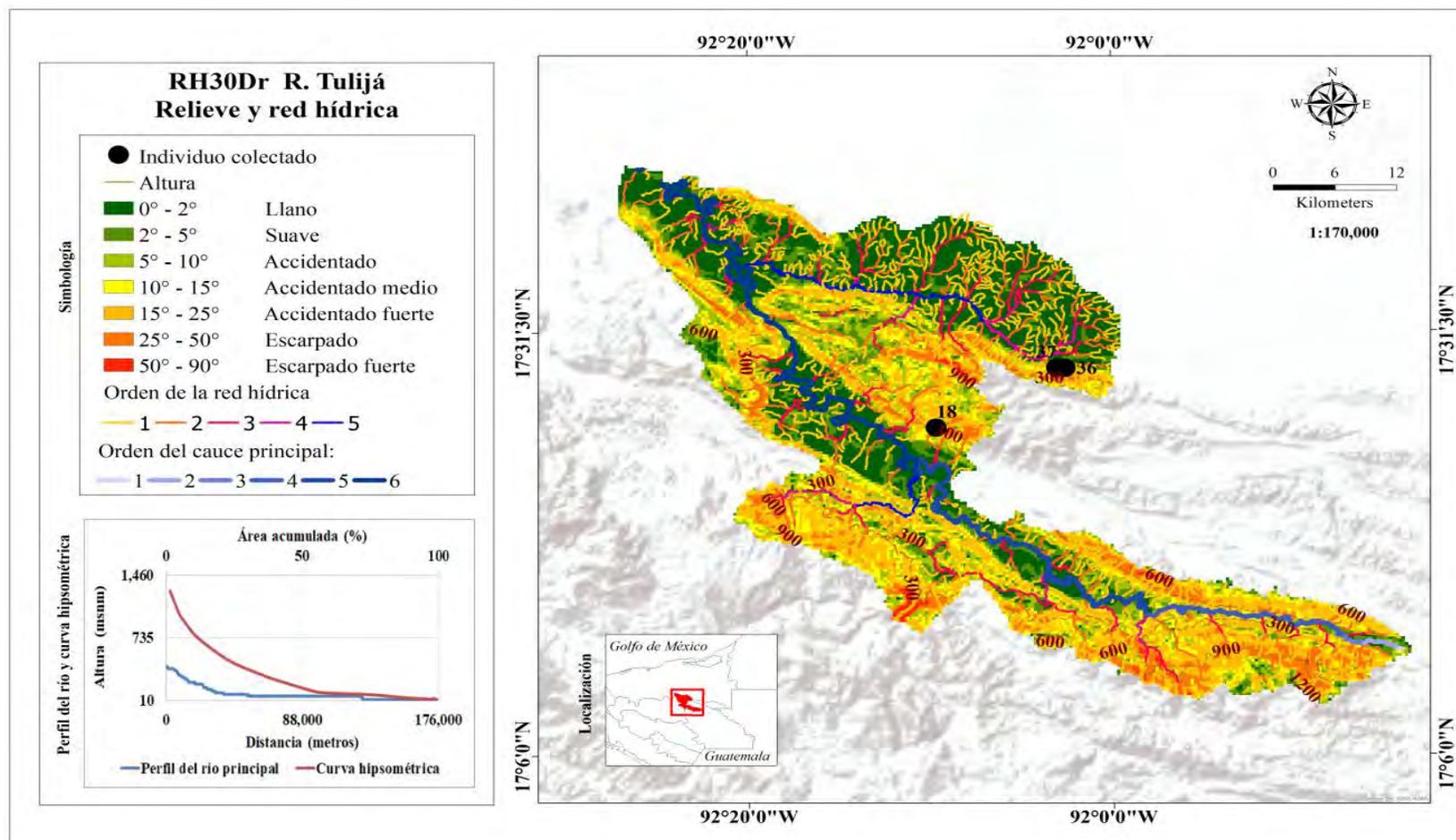
Este es un sistema de orden,6, los índices geomorfológicos obtenidos la clasifican como una cuenca muy alargada ( $B_s=5.16$ ), en estado de senectud ( $H'=0.28$ ), sus valles tectónico ( $V_f=0.12$ ), suaves en la cuenca alta y abiertos en la cuenca baja, sus ríos tienen capacidad moderada ( $SL=1.2$ ) y frentes montañosos activos ( $S_{mf}=1.2$ ). Aquí se colectó a *M. sbordonii*.

## Anexo G.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Ds R. Bascan



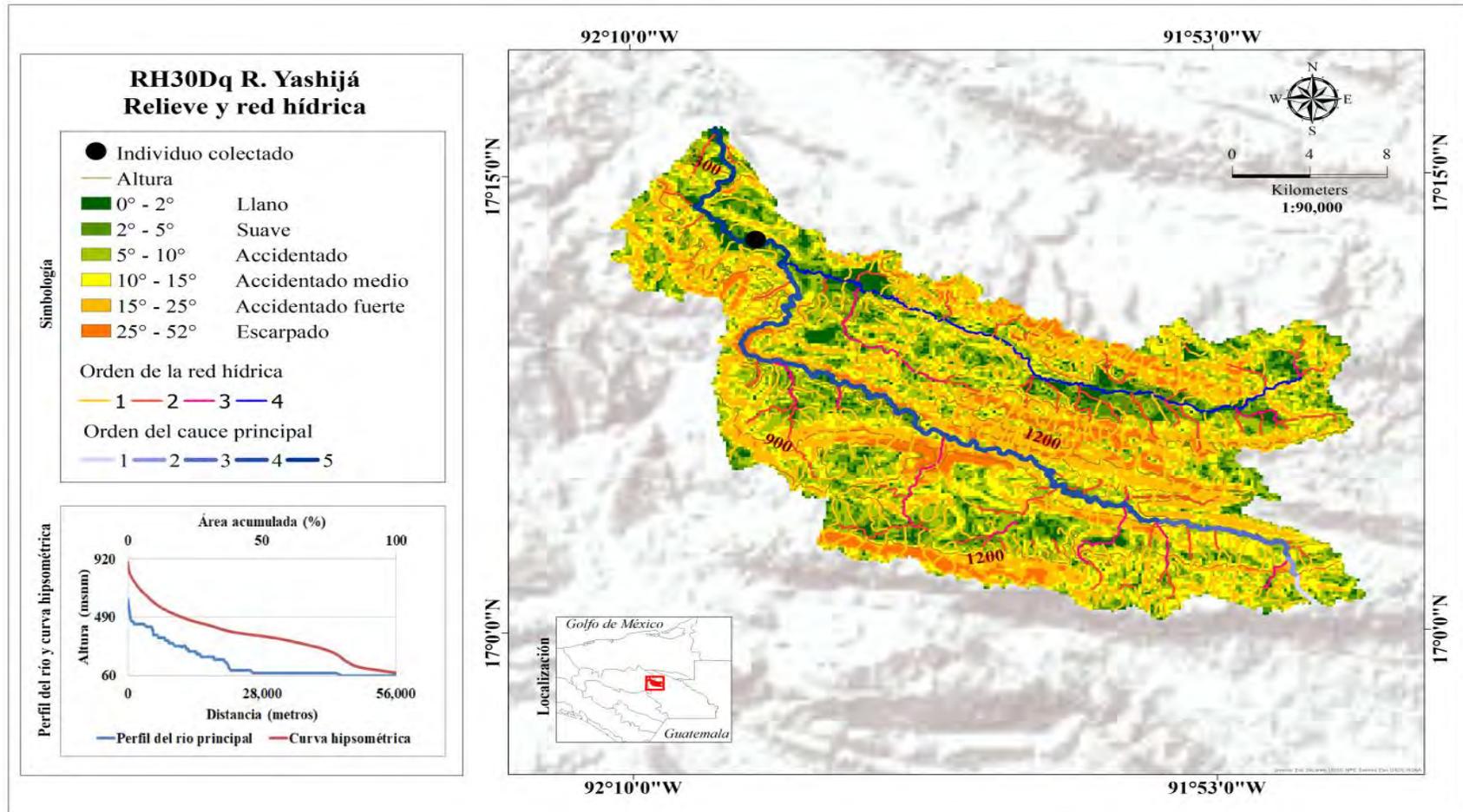
Este es un sistema de orden, 5, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento medio ( $B_s=3.29$ ), en estado de madurez ( $H'=0.47$ ), sus valles son tectónicos ( $V_t=0.2$ ), moderados en la cuenca alta y abiertos en la cuenca baja, los ríos tienen capacidad erosiva muy fuerte ( $SL=0.56$ ) y sus frentes montañosos son muy activos ( $S_{mf}=1.1$ ). Aquí se colectó a *sp*.

## Anexo H.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Dr R. Tulijá



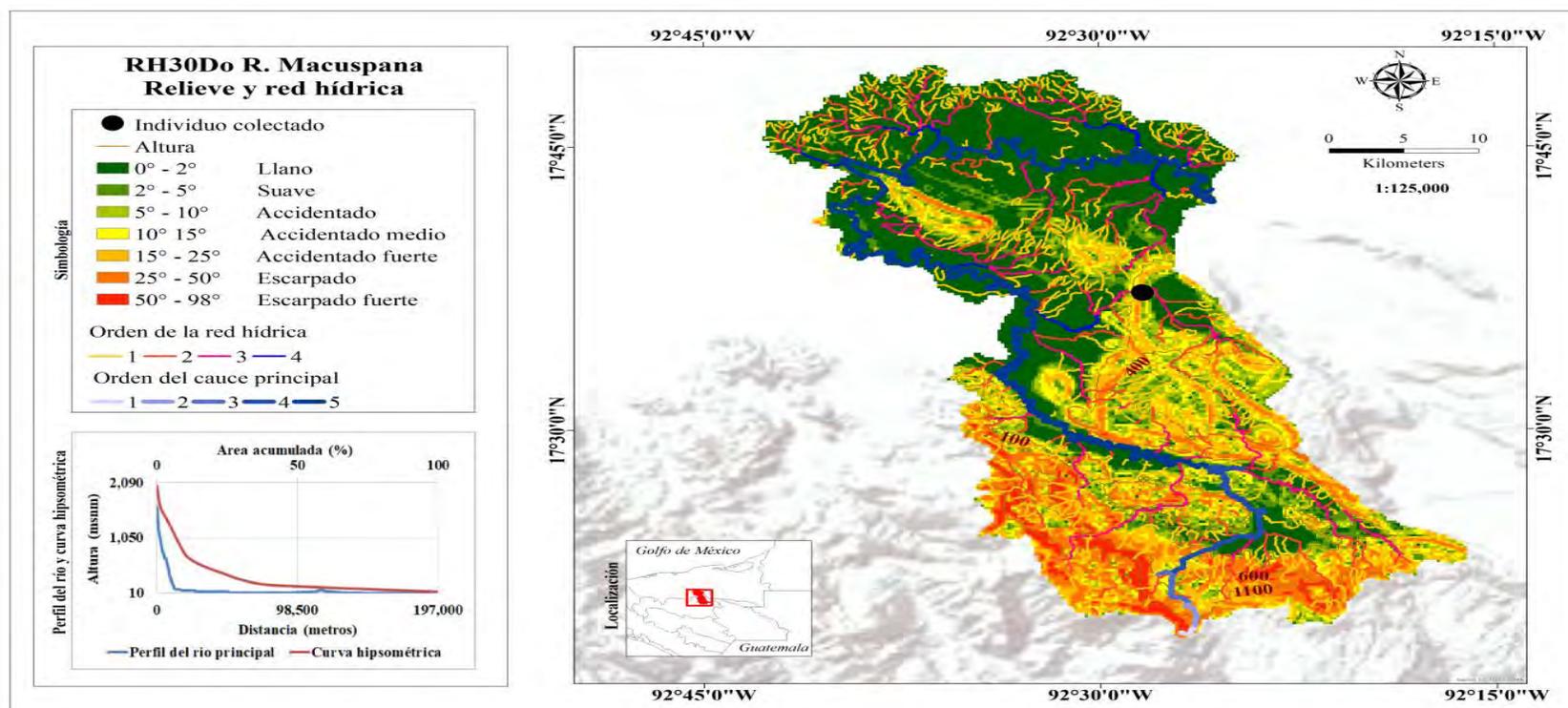
Este es un sistema de orden, 6, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento fuerte ( $B_s=5.09$ ), en estado sedimentario ( $H^i=0.22$ ), sus valles son muy tectónicos ( $V_f=0.08$ ), moderados en la cuenca alta y suaves en la cuenca baja, los ríos tienen capacidad erosiva muy fuerte ( $SL=0.40$ ) y sus frentes montañosos son muy activos ( $S_{mf}=1.07$ ). Aquí se colectó a *sp.*

Anexo I.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Dq R. Yashijá



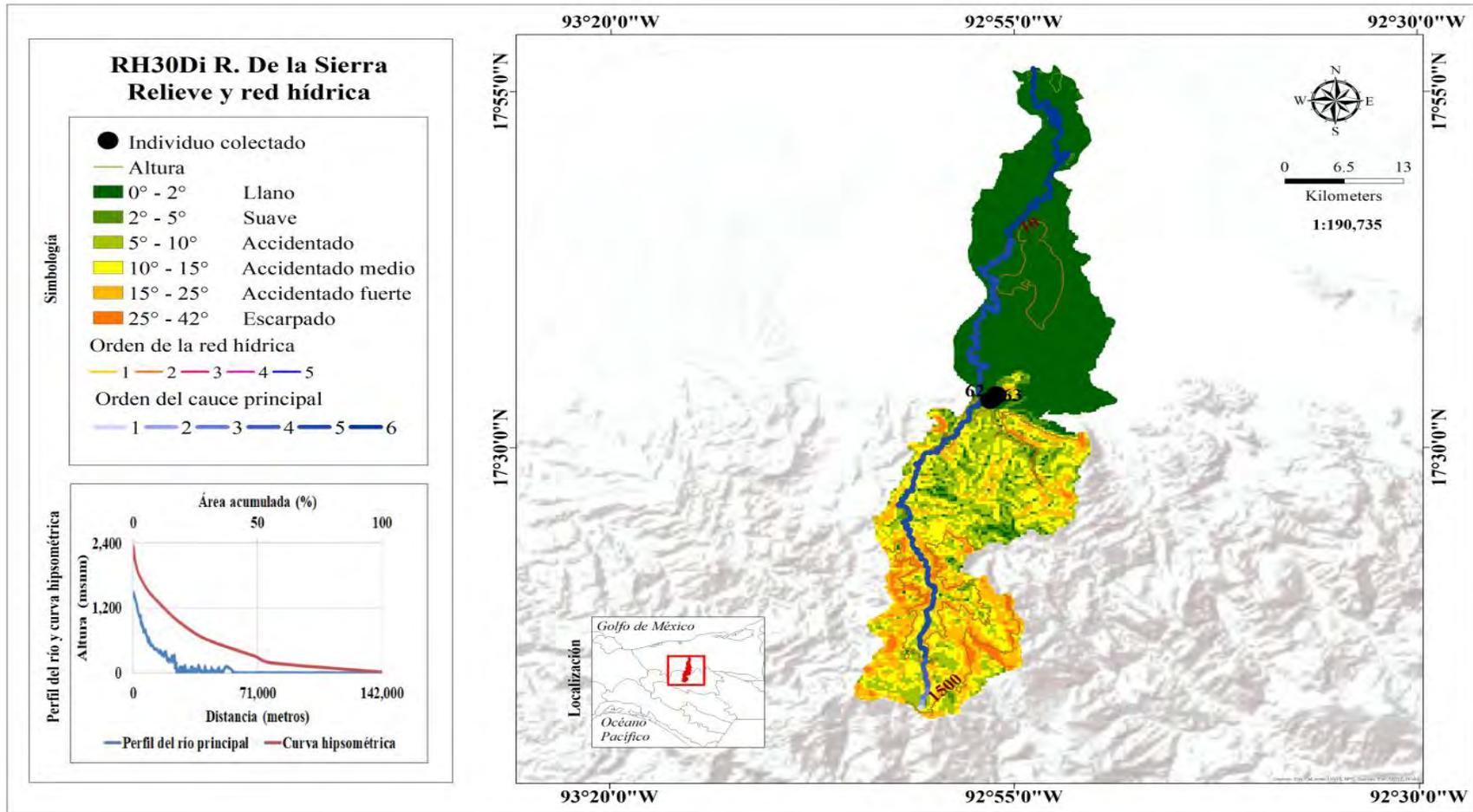
Este es un sistema de orden, 5, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento medio ( $B_s=3.45$ ), en estado de desequilibrio ( $H'=0.81$ ), sus valles son muy tectónicos ( $V_f=0.08$ ), muy encajados en la cuenca alta y moderados en la cuenca baja, los ríos son equilibrados ( $SL=1.26$ ) y sus frentes montañosos son activos ( $S_{m1}=1.2$ ). Aquí se colectó a *spp*.

## Anexo J.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Do R. Macuspana



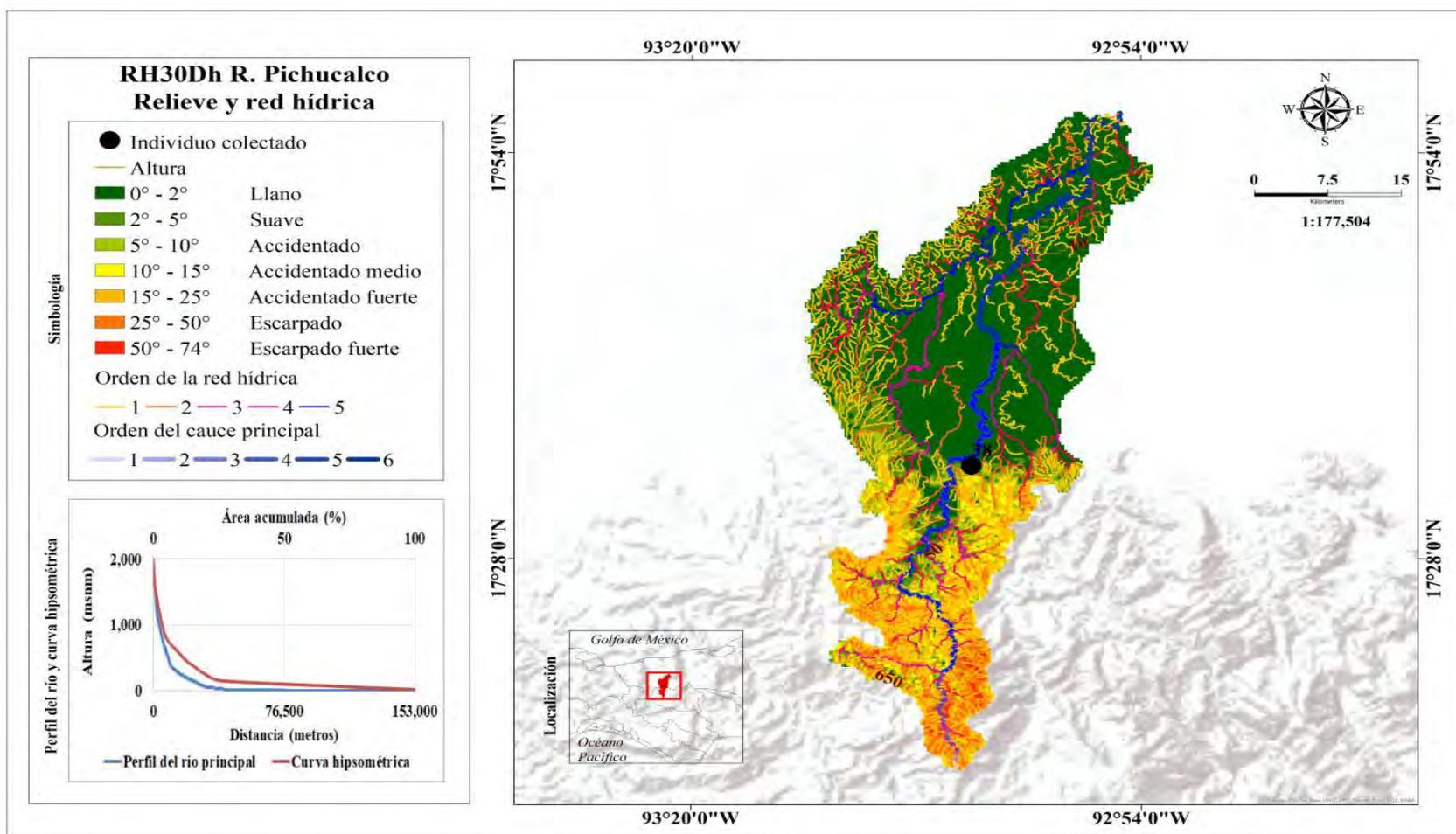
Este es un sistema de orden, 5, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento medio ( $B_s=3.27$ ), en estado sedimentario ( $H^*=0.12$ ), sus valles son tectónicos ( $V_f=0.23$ ), moderados en cuenca la alta y abiertos en la cuenca baja, el cauce principal evidencia actividad tectónica reciente ( $SL=1.66$ ) y sus frentes montañosos son activos ( $S_{mf}=1.2$ ). Aquí se colectó a *sp*.

Anexo K.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30 Di R. De la Sierra



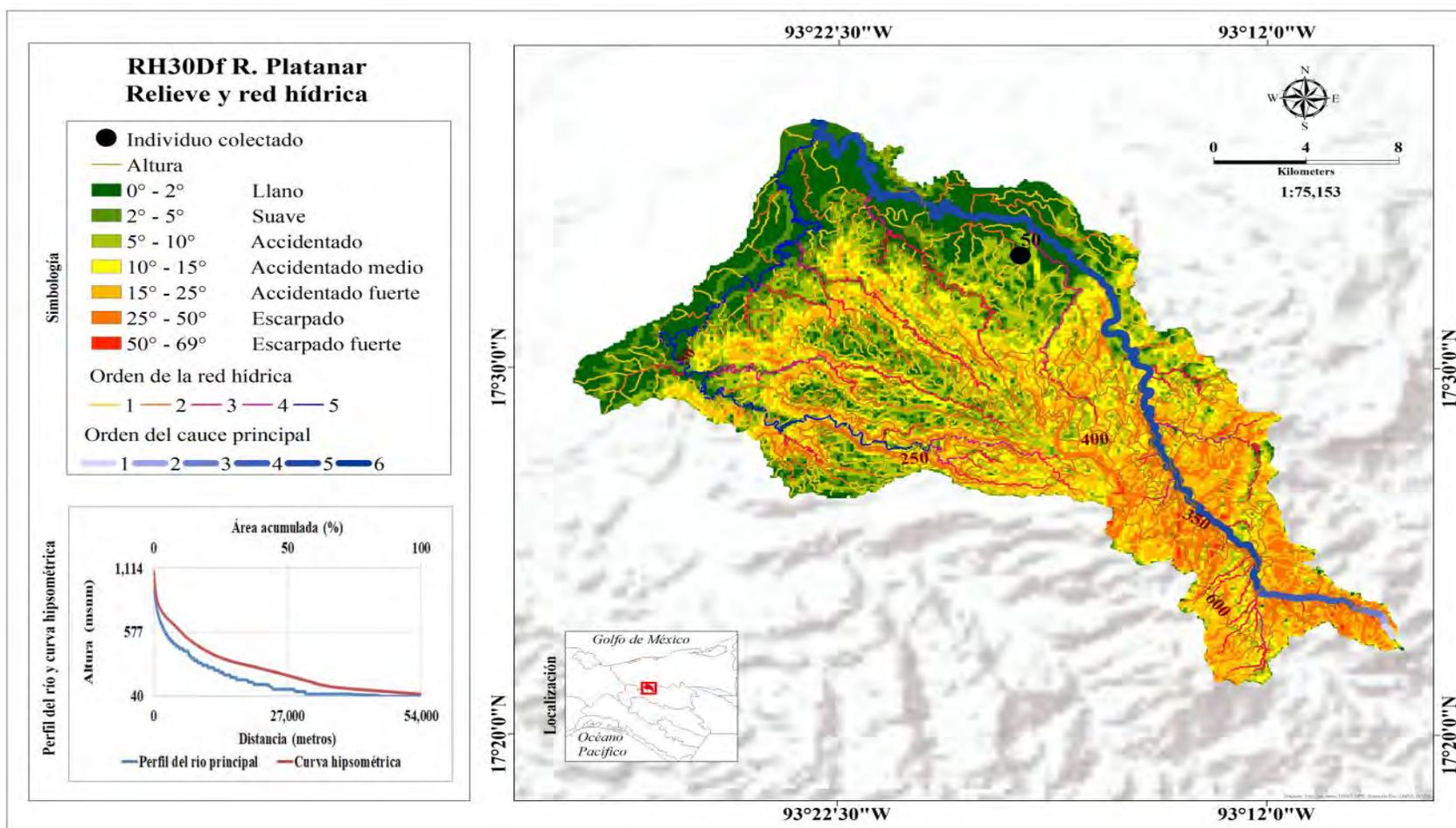
Este es un sistema de orden, 6, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento fuerte ( $B_s=6.73$ ), en estado sedimentario ( $H'=0.21$ ), sus valles son muy tectónicos ( $V_f=0.09$ ), muy encajados en la cuenca alta y abiertos en la cuenca baja, el cauce principal evidencia actividad tectónica reciente ( $SL=1.50$ ) y sus frentes montañosos presentan poca actividad ( $S_{mf}=1.60$ ). Aquí se colectó a *M. acherontium* y *sp.*

Anexo L.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Dh R. Pichualco



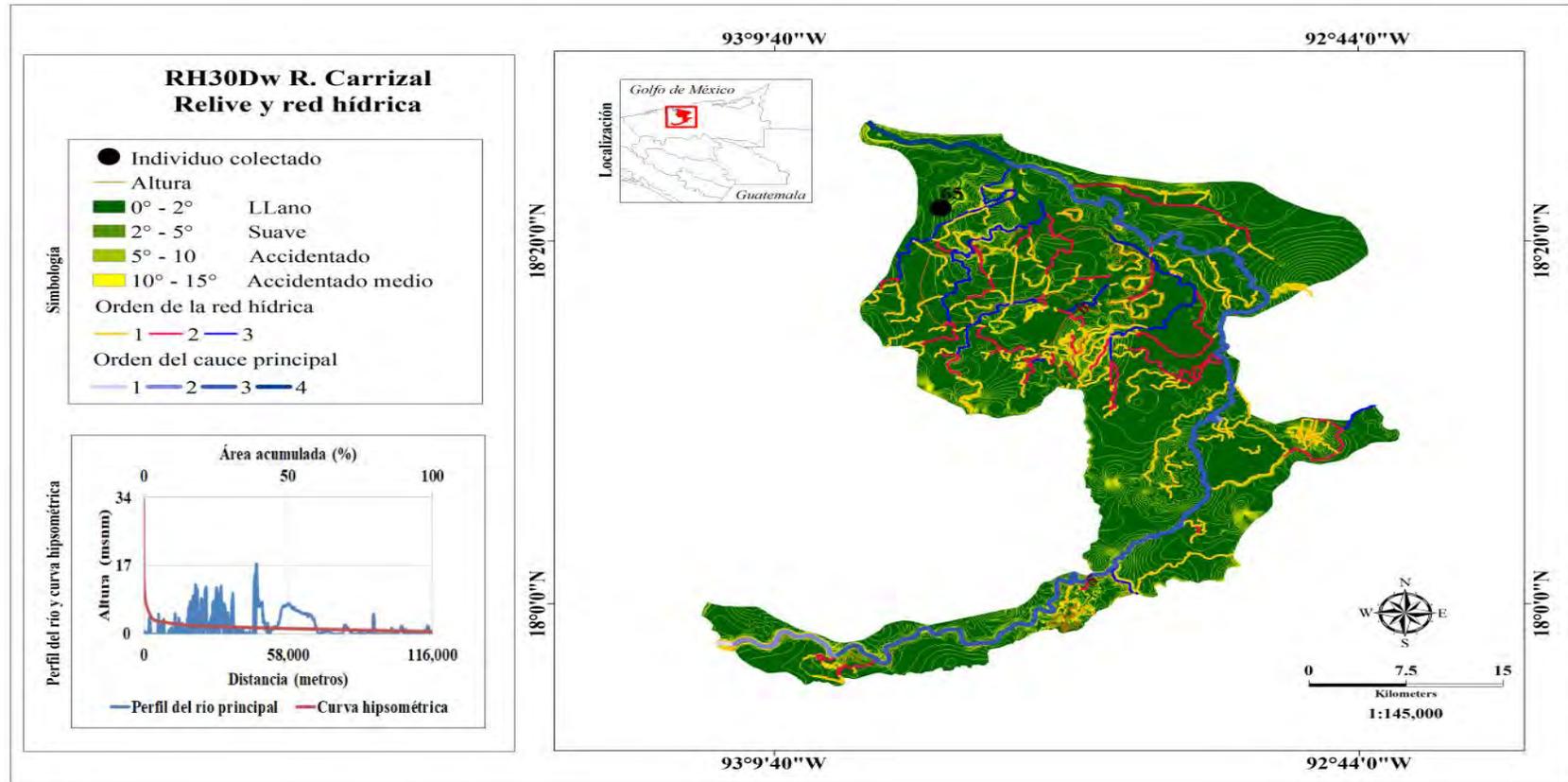
Este es un sistema de orden, 6, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento alto ( $B_s=5.63$ ), en estado sedimentario ( $H'=0.07$ ), sus valles son tectónicos ( $V_f=0.10$ ), muy encajados en la cuenca alta y suaves en la cuenca baja, el cauce principal evidencia actividad tectónica reciente ( $SL=1.91$ ) y sus frentes montañosos son muy activos ( $S_{mf}=1.1$ ). Aquí se colectó a *sp*.

## Anexo M.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Df R. Platanar



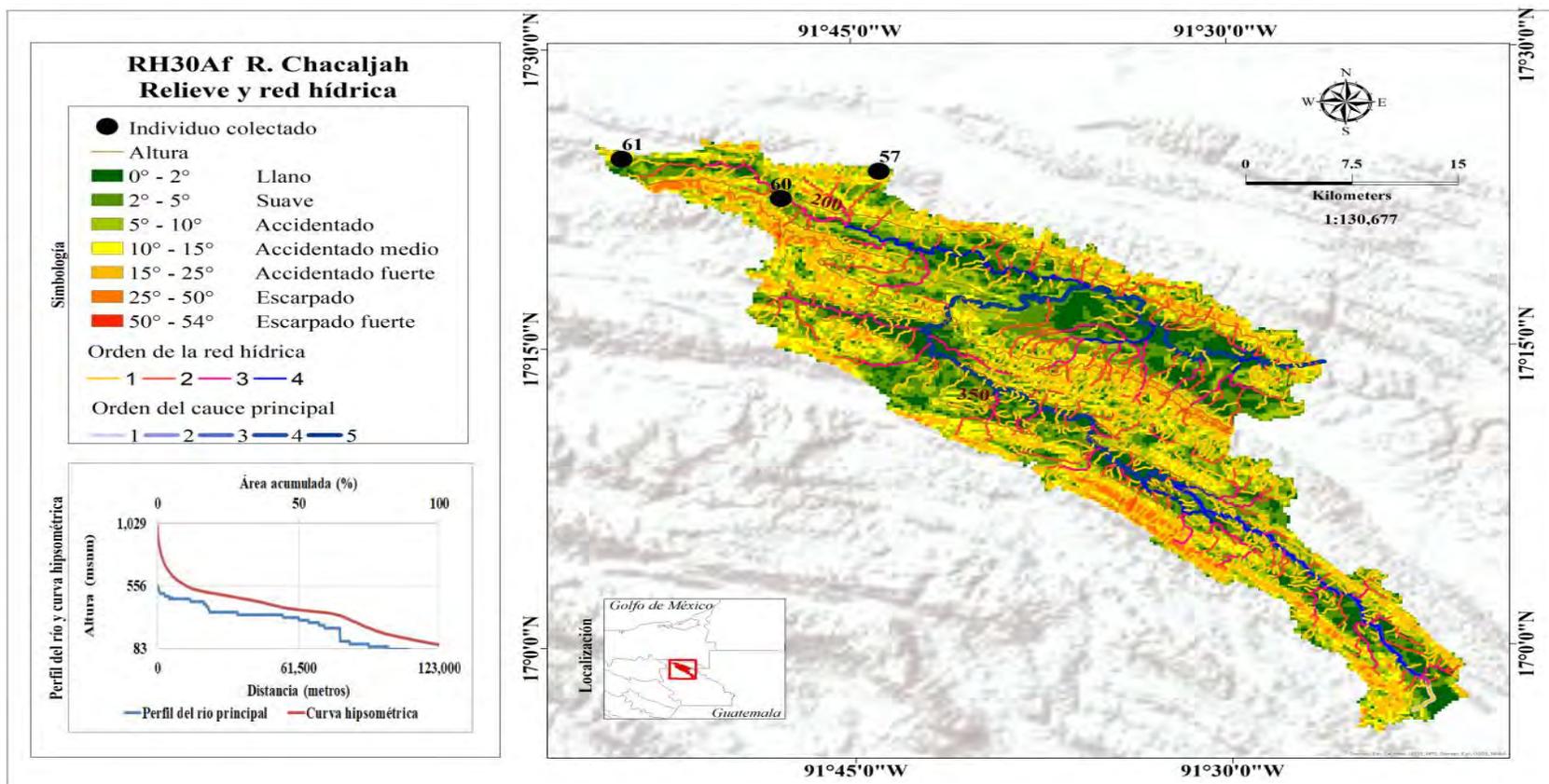
Este es un sistema de orden, 6, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento medio ( $B_s=3.42$ ), en estado sedimentario ( $H^i=0.23$ ), sus valles son tectónicos ( $V_f=0.13$ ), muy encajados en la cuenca alta y abiertos en la cuenca baja, sus ríos son erosivos ( $SL=0.90$ ) y sus frentes montañosos son activos ( $S_{mf}=1.2$ ). Aquí se colectó a *spp.*

Anexo N.-Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Dw R. Carrizal



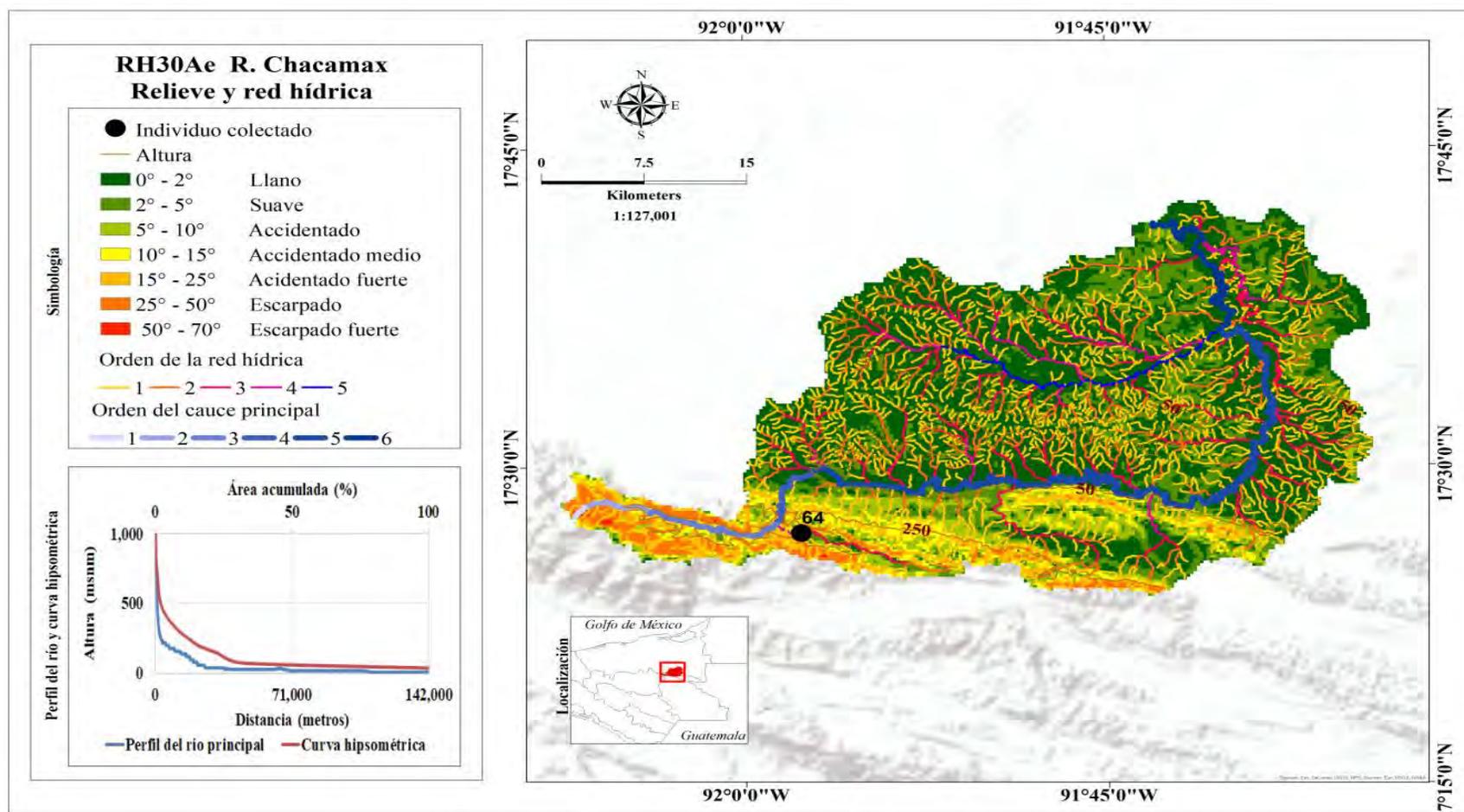
Este es un sistema de orden, 4, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento fuerte ( $B_s=3.27$ ), en estado sedimentario ( $H'=0.3$ ), sus valles son erosionados ( $V=4.94$ ) y son abiertos en desde la cuenca alta a la cuenca baja, el cauce principal evidencia erosividad muy alta ( $SL=0.03$ ) y no fueron identificados frentes montañosos son activos Aquí se colectó a *M. tuxlaense*.

## Anexo O.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Af R. Chacaljah



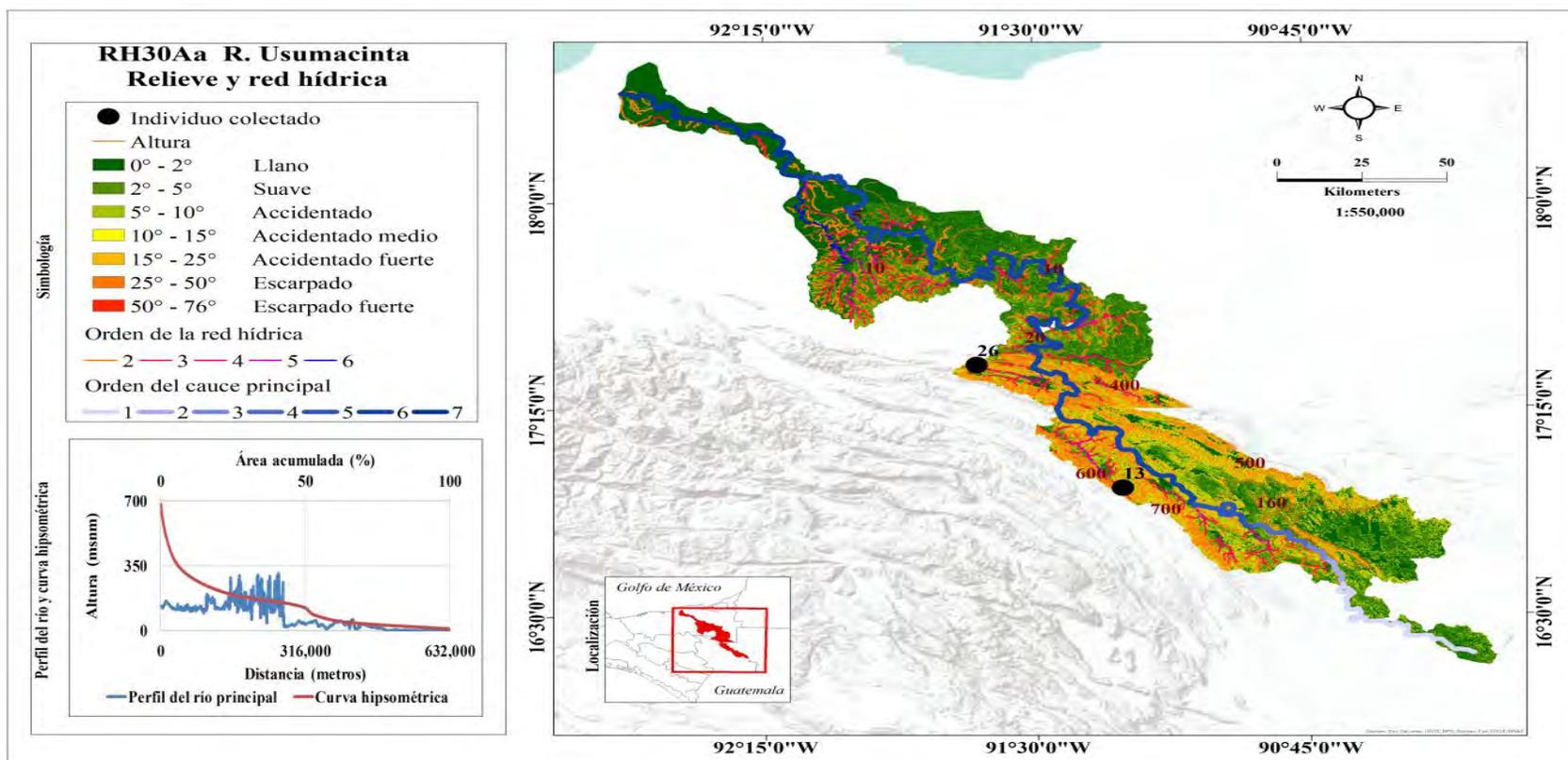
Este es un sistema de orden, 4, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento alto ( $B_s=6.58$ ), en estado equilibrado ( $H'=0.39$ ), sus valles son tectónicos ( $V_f=0.27$ ), abiertos desde la cuenca alta hasta la cuenca baja, el cauce principal evidencia erosividad fuerte ( $SL=0.52$ ) y sus frentes montañosos son activos ( $S_m=1.2$ ). Aquí se colectó a *sp* y *spp*.

Anexo P.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Ae R. Chacamax



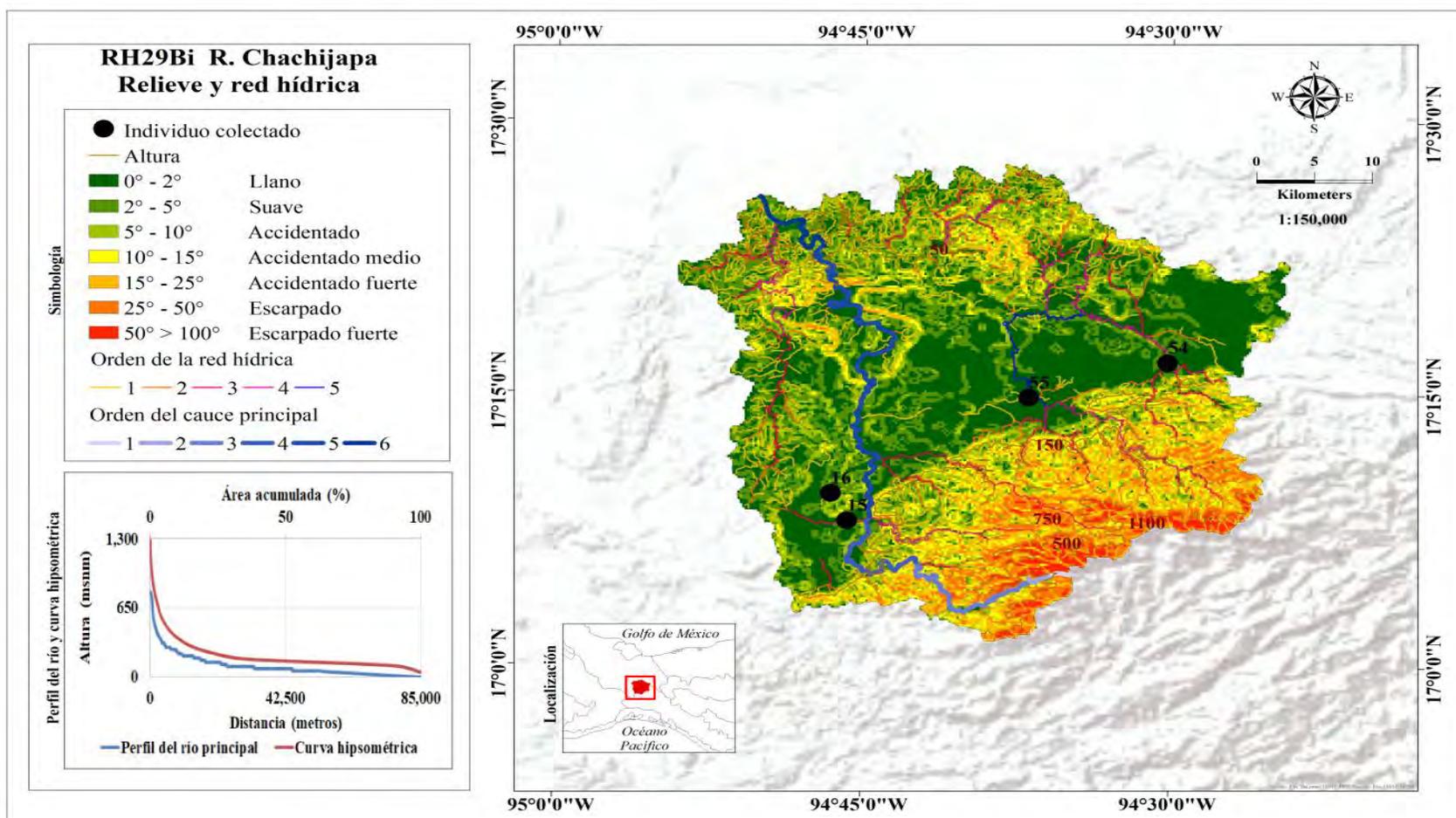
Este es un sistema de orden, 6, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento alto ( $B_s=4.26$ ), en estado sedimentario ( $H'=0.08$ ), sus valles son tectónicos ( $V_f=0.44$ ), abiertos desde la cuenca hasta la cuenca baja, los ríos son equilibrados ( $SL=1.34$ ) y sus frentes montañosos son activos ( $S_{mf}=1.34$ ). Aquí se colectó a *sp*.

## Anexo Q.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Aa R. Usumacinta



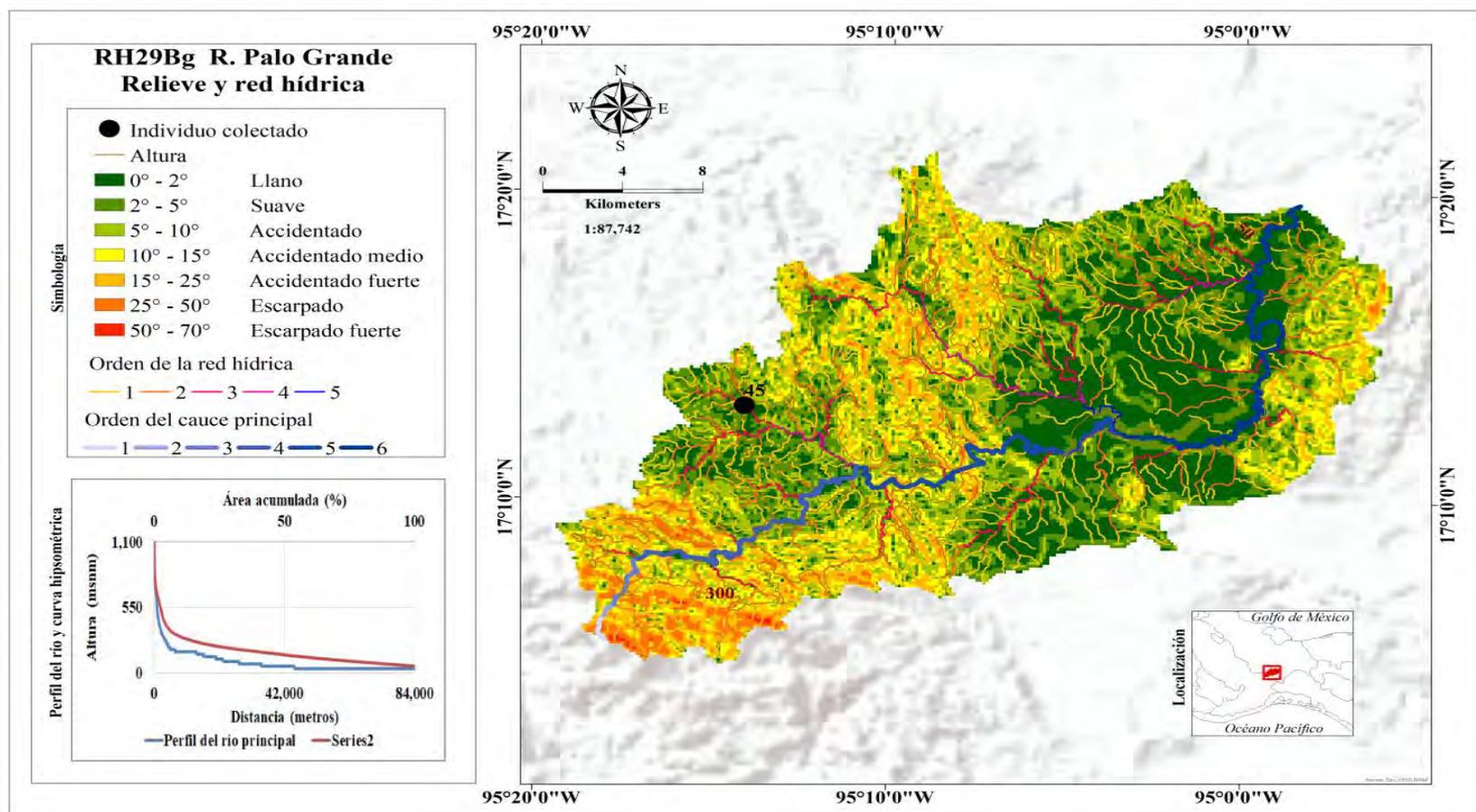
Este es un sistema de orden, 7, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento muy fuerte ( $B_s=8.49$ ), en estado sedimentario ( $H'=0.21$ ), sus valles son tectónicos ( $V=0.14$ ), abiertos desde la cuenca alta hasta la cuenca baja, el cauce principal evidencia erosividad moderada ( $SL=0.41$ ) y sus frentes montañosos son activos ( $S_{mf}=1.09$ ). Aquí se colectó a *spp*.

Anexo R.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH29Bi R. Cachijapa



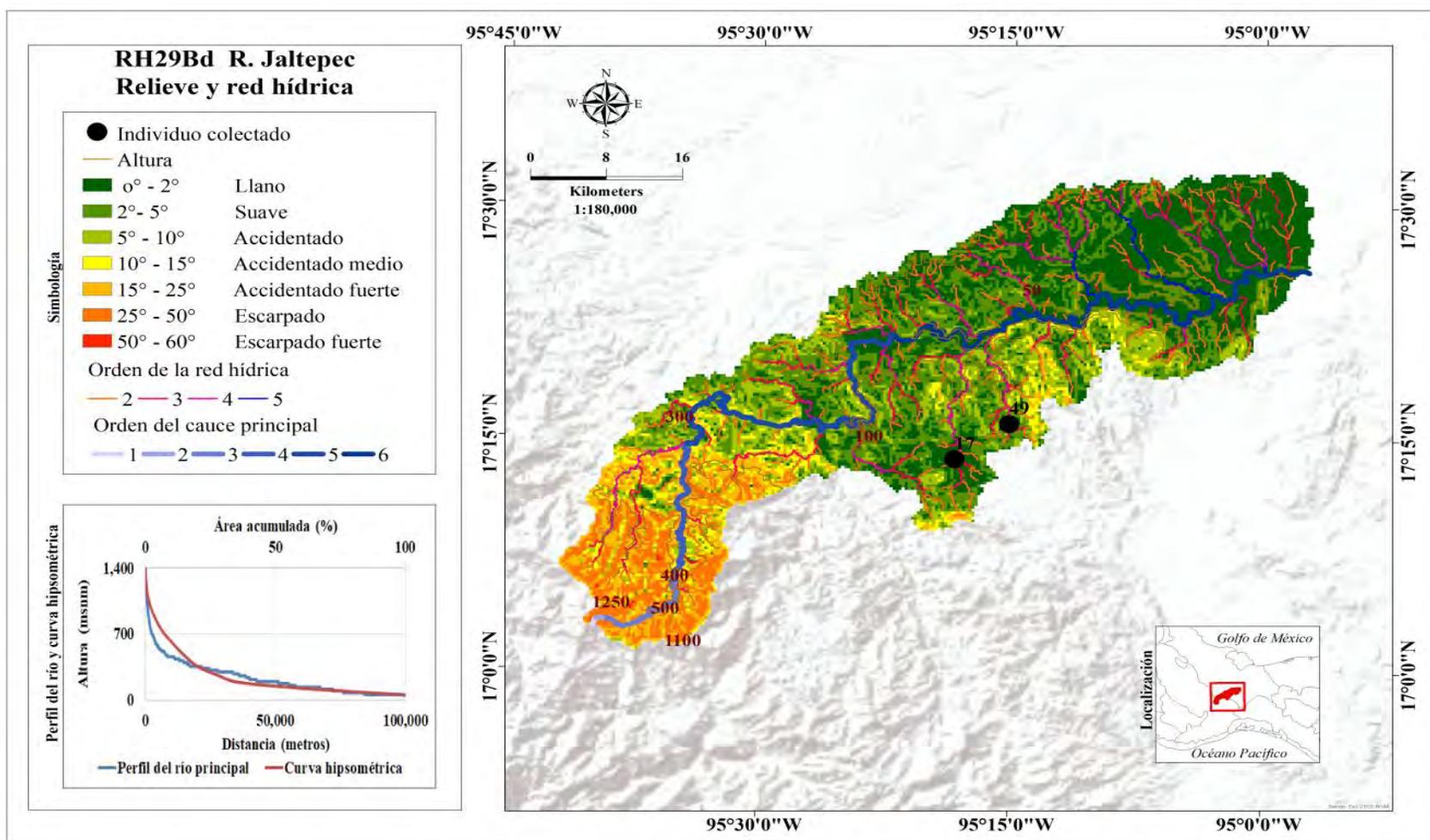
Este es un sistema de orden, 6, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un estado cercano a la redondez ( $B_s=1.36$ ), sedimentaria ( $H'=0.12$ ), la actividad de sus valles es moderada ( $V_f=0.66$ ), son muy encajados en la cuenca alta y abiertos en la cuenca baja, el cauce principal evidencia erosividad fuerte ( $SL=0.79$ ) y sus frentes montañosos son activos ( $S_m=1.3$ ). Aquí se colectó a *M. biinguini* y *spp.*

## Anexo S.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH29BgR. Palo Grande



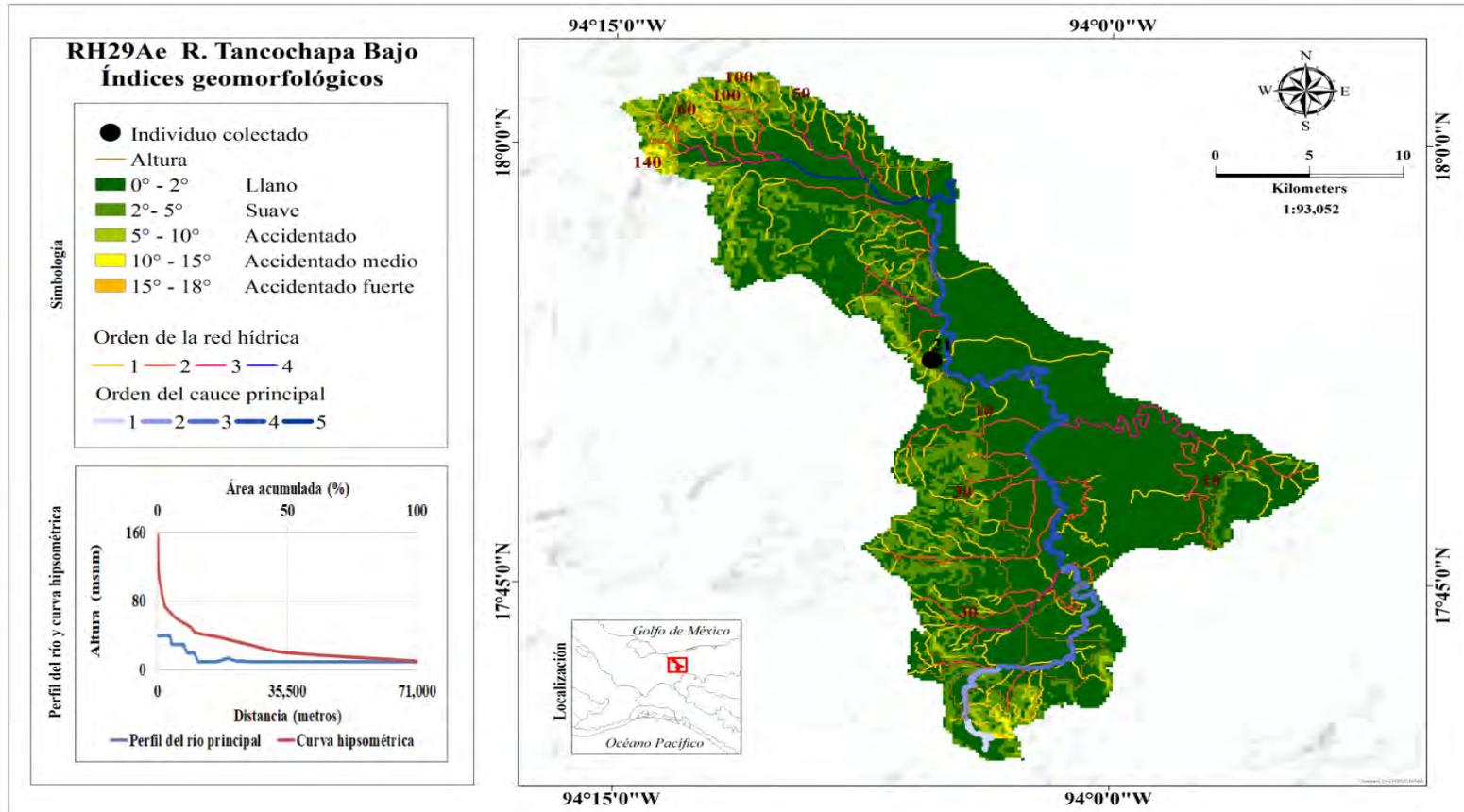
Este es un sistema de orden, 6, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento bajo ( $B_s=2.99$ ), en estado sedimentario ( $H^i=0.12$ ), sus valles son tectónicos ( $V_t=0.46$ ), moderados en cuenca alta y abiertos en la cuenca baja, el cauce principal señala erosividad fuerte ( $SL=0.79$ ) y sus frentes montañosos son activos ( $S_{mf}=1.15$ ). Aquí se colectó a *spp*.

## Anexo T.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH30Bd R. Jaltepec



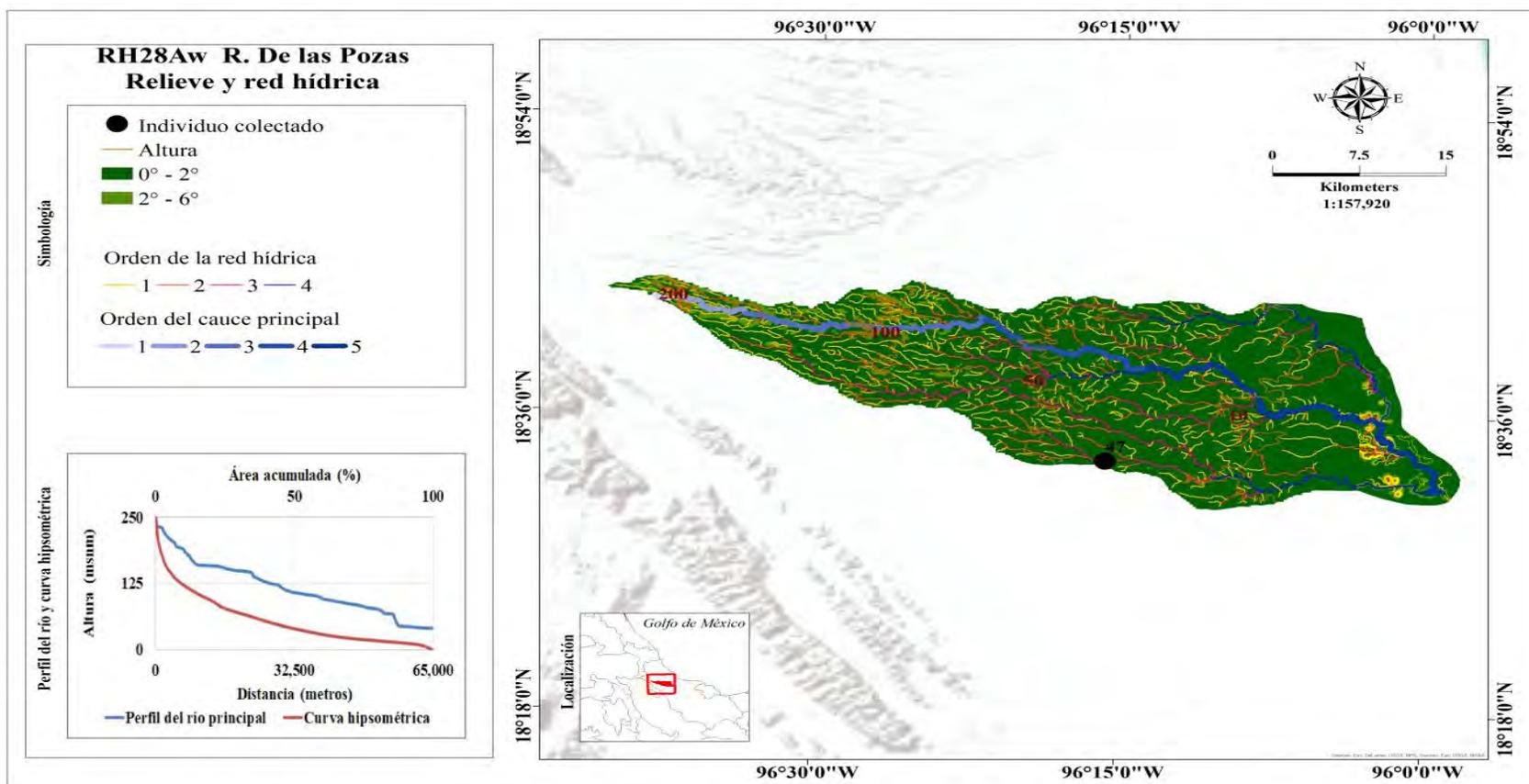
Este es un sistema de orden, 6, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento alto ( $B_s=4.72$ ), en estado sedimentario ( $H'=0.15$ ), sus valles son tectónicos a equilibrados ( $V_f=0.23$ ), moderados en la cuenca alta y abiertos en la cuenca baja, los ríos son moderados ( $SL=1.26$ ) y sus frentes montañosos presentan actividad baja ( $S_m=1.2$ ). Aquí se colectó a *spp.*

Anexo U.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH29Ae R. Tancochapa Bajo



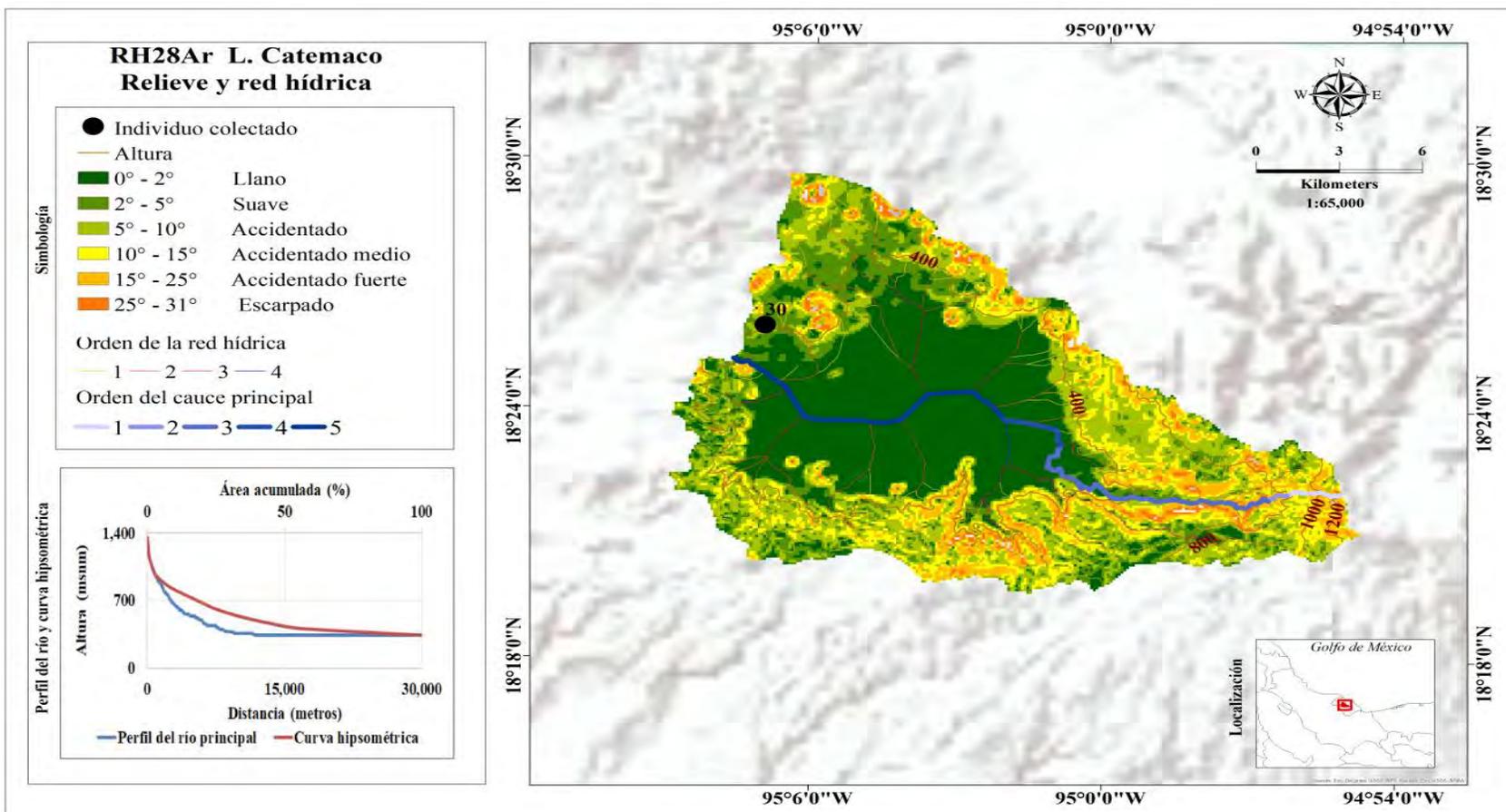
Este es un sistema de orden, 5, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento alto ( $B_s=5.07$ ), en estado sedimentario ( $H'=0.1$ ), sus valles presentan actividad moderada ( $V_f=1.65$ ), y son abiertos desde la cuenca alta hasta la cuenca baja, los ríos presentan potencial erosivo muy alto ( $SL=0.03$ ) y no se identificaron frentes montañosos. Aquí se colectó a *spp*.

Anexo V.-Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH28Aw R. De las Pozas



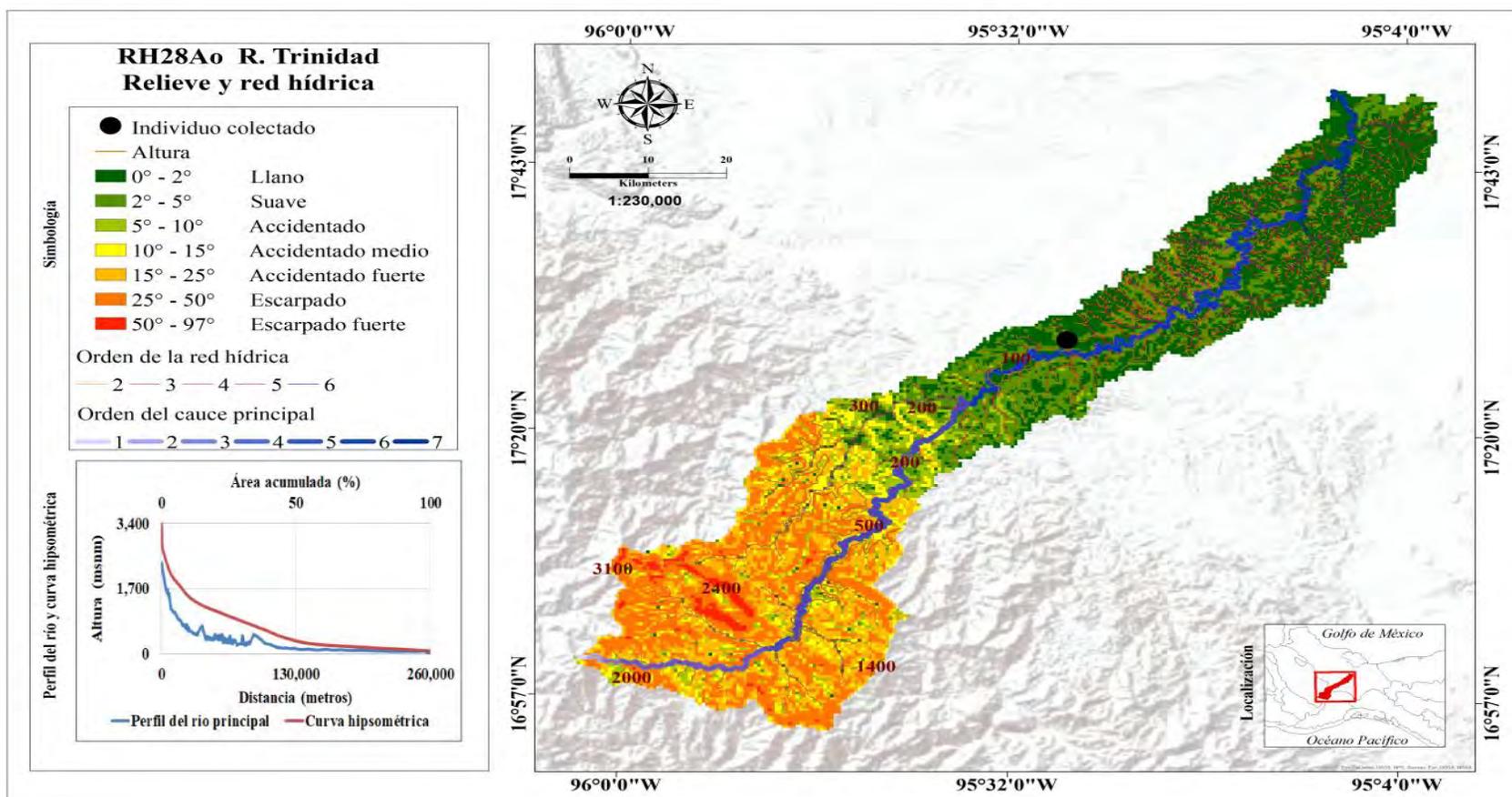
Este es un sistema de orden, 5, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento alto ( $B_s=6.18$ ), en estado sedimentario ( $H'=0.14$ ), sus valles son erosionados ( $V_f=7.58$ ) y abiertos desde la cuenca alta hasta la cuenca baja, los ríos presentan potencial erosivo muy alto ( $SL=0.15$ ) y los frentes montañosos presentan actividad baja ( $S_{mf}=2.00$ ). Aquí se colectó a *M. mazatecus*.

Anexo W.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH28Ar Laguna Catemaco



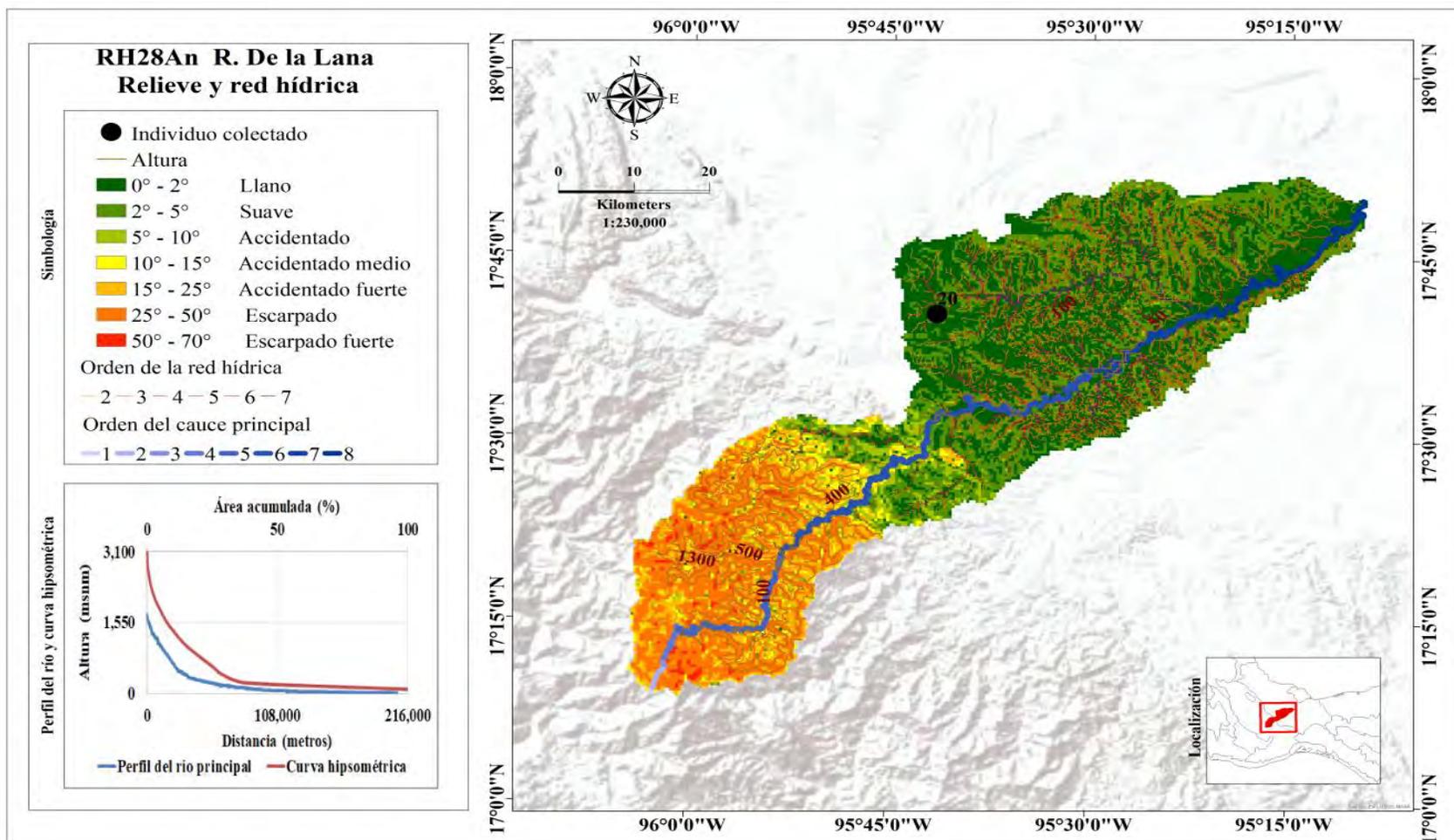
Este es un sistema de orden, 5, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento alto ( $B_s=4.26$ ), en estado sedimentario ( $H'=0.17$ ), sus valles son equilibrados ( $V_f=1.65$ ), moderados en la cuenca alta y abiertos la cuenca baja, los ríos presentan potencial erosivo alto ( $SL=0.86$ ) y los frentes montañosos presentan actividad moderada. Aquí se colectó a *M. tuxtlaense*.

## Anexo X.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH28Ao R. Trinidad



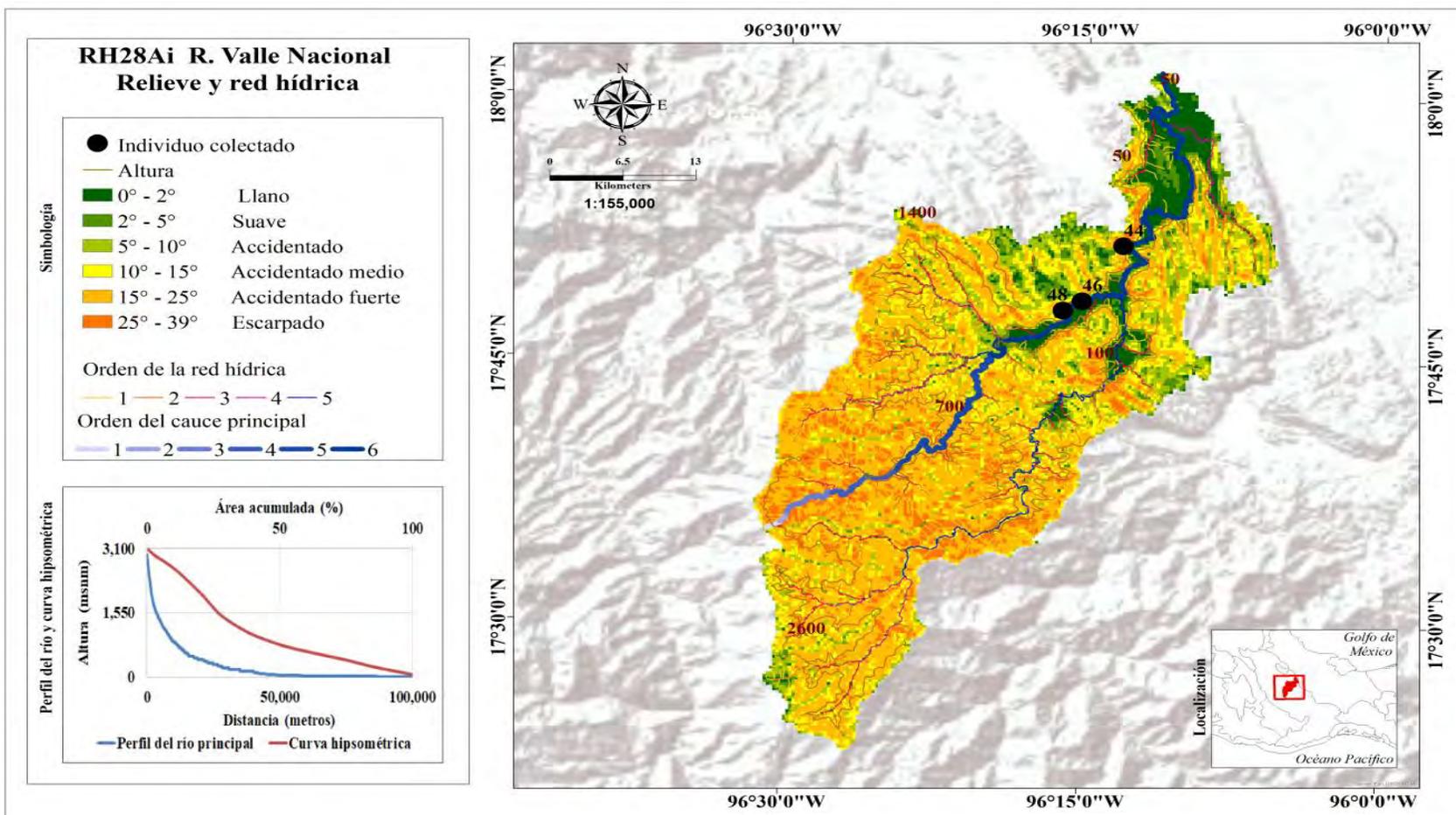
Este es un sistema de orden, 7, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento alto ( $B_s=7.52$ ), en estado sedimentario ( $H'=0.19$ ), sus valles son muy tectónicos ( $V_f=0.08$ ), muy encajados en la cuenca alta y abiertos la cuenca baja, los ríos presentan potencial erosivo alto ( $SL=0.72$ ) y los frentes montañosos presentan actividad moderada. Aquí se colectó a *spp.*.

Anexo Y.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH28An R. De la Lana



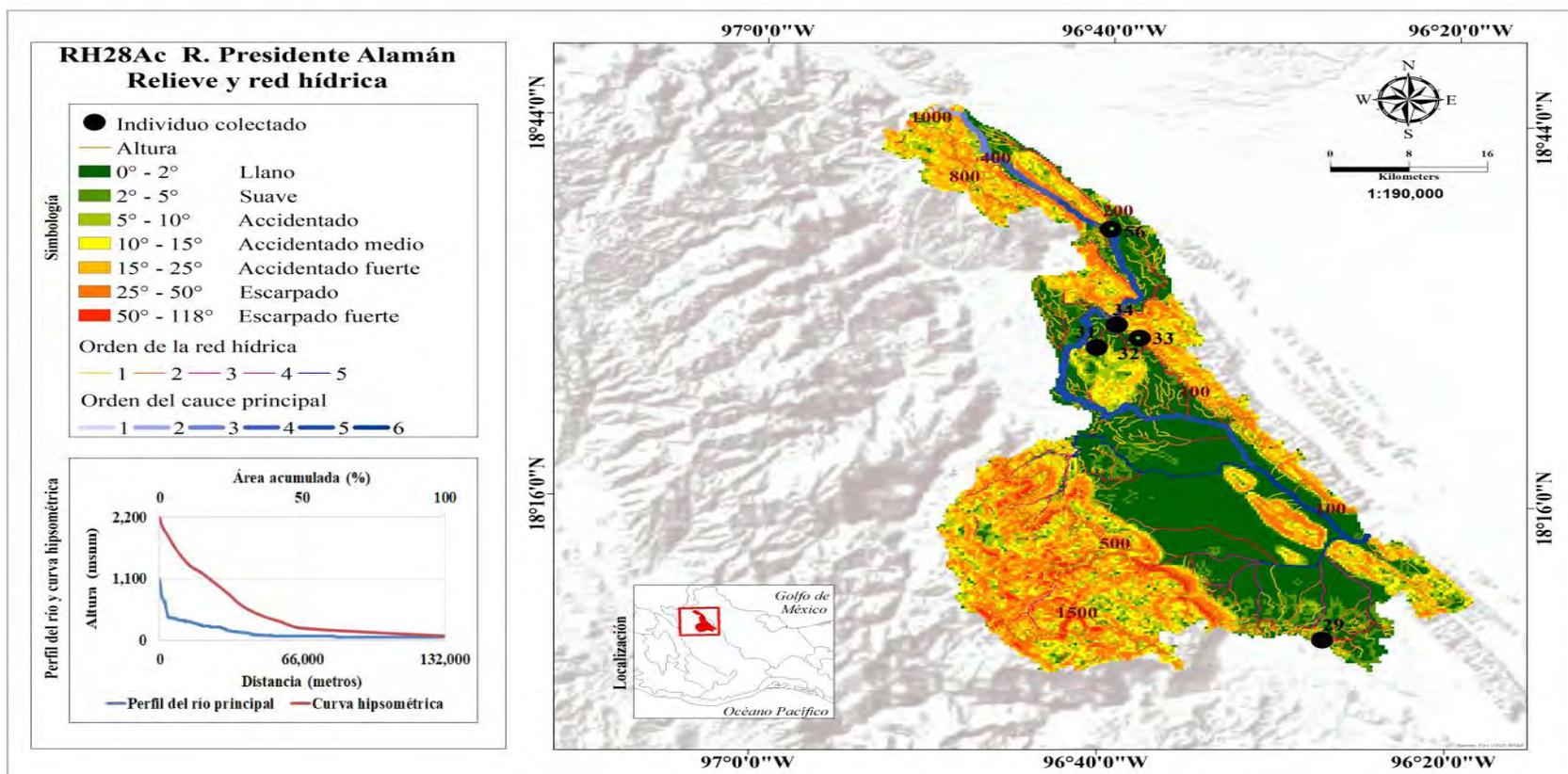
Este es un sistema de orden, 8, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento alto ( $B_s=46.98$ ), en estado sedimentario ( $H'=0.14$ ), sus valles son tectónicos ( $V=0.51$ ), moderados en la cuenca alta y abiertos la cuenca baja, el gradiente del río principal evidencia actividad tectónica reciente ( $SL=1.70$ ) y los frentes montañosos presentan actividad moderada. Aquí se colectó a *sp.*

Anexo Z.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH28Ai R. Valle Nacional



Este es un sistema de orden, 6, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento alto ( $B_s=4.10$ ), en estado equilibrado ( $H'=0.46$ ), sus valles son tectónicos ( $V_f=0.07$ ), muy encajados en la cuenca alta y moderados en la cuenca baja, el cauce principal evidencia actividad tectónica reciente ( $SL=2.52$ ) y los frentes montañosos presentan actividad moderada ( $S_{mf}=1.25$ ). Aquí se colectó a *M. jacatepecensis* y *M. mazatecus*.

## Anexo AA.- Relieve y configuración hídrica de la cuenca RH28Ac R. Presidente Alemán



Este es un sistema de orden, 6, los índices geomorfológicos obtenidos definen para esta cuenca un alargamiento alto ( $B_s=4.44$ ), en estado erosionado ( $H'=0.22$ ), sus valles son tectónicos ( $V_f=0.08$ ), moderados en la cuenca alta y suaves en la cuenca baja, el cauce principal evidencia actividad tectónica reciente ( $SL=1.79$ ) y los frentes montañosos presentan actividad baja ( $S_m=2.10$ ). Aquí se colectó a *M. villalobosi*, *M. totonacum*, *M. oaxacaense*, *M. Cosolapaense* y *spp.*



Tabla 2.- Cartas topográficas a escala 1:50,000 correspondientes al territorio vertiente al Golfo de México, de estas se extrajeron las curvas de nivel, insumo básico para el análisis territorial

F14B84	F14D83	E14B58	E15B71	E15B71	E15A81	E15D25	E15C32	E15C59	E15D72
F14D15	E14B18	E14B57	E15A79	E15A79	E14B89	E15D24	E15C31	E15C58	E15D71
F14D14	E14B17	E14B56	E15A78	E15A78	E14B88	E15D23	E14D39	E15C57	E15C79
F14D25	E14B16	E14B55	E15A77	E15A77	E14B87	E15D22	E14D38	E15C56	E15C78
F14D24	E14B15	E14B54	E15A74	E15A74	E14B86	E15D21	E14D37	E15C55	E15C77
F14D36	E14B14	E15B68	E15A73	E15A73	E14B85	E15C29	E14D36	E15C54	E15C76
F14D35	E14B13	E15B67	E15A72	E15A72	E16C12	E15C28	E15D46	E15C53	E15D88
F14D34	E14B28	E15B66	E15A71	E15A71	E16C11	E15C27	E15D45	E15C52	E15D87
F14D46	E14B27	E15B65	E14B79	E14B79	E15D19	E15C26	E15D44	E15C51	E15D86
F14D45	E14B26	E15B64	E14B78	E14B78	E15D18	E15C25	E15D43	E14D59	E15D85
F14D44	E14B25	E15B63	E14B77	E14B77	E15D17	E15C24	E15D42	E14D58	E15D84
F14D43	E14B24	E15B62	E14B76	E14B76	E15D16	E15C23	E15D41	E15D68	E15D83
F14D56	E14B23	E15B61	E14B75	E14B75	E15D15	E15C22	E15C49	E15D67	E15D82
F14D55	E14B39	E15A64	E16A82	E16A82	E15D14	E15C21	E15C48	E15D66	E15D81
F14D54	E14B38	E15A63	E16A81	E16A81	E15D13	E14D29	E15C47	E15D65	E15C89
F14D53	E14B37	E15A62	E15B89	E15B89	E15D12	E14D28	E15C46	E15D64	E15C88
F14D66	E14B36	E15A61	E15B88	E15B88	E15D11	E14D27	E15C45	E15D63	E15C87
F14D65	E14B34	E14B69	E15B87	E15B87	E15C19	E14D26	E15C44	E15D62	D15B14
F14D64	E15B47	E14B68	E15B86	E15B86	E15C18	E14D25	E15C43	E15D61	D15B13
F14D63	E15B46	E14B67	E15B85	E15B85	E15C17	E15D36	E15C42	E15C69	D15B12
F14D62	E15A41	E14B66	E15B84	E15B84	E15C16	E15D35	E15C41	E15C68	D15B11
F14D77	E14B49	E14B65	E15B83	E15B83	E15C15	E15D34	E14D49	E15C67	D15A19
F14D76	E14B48	E14B64	E15B82	E15B82	E15C14	E15D33	E14D48	E15C66	D15A18
F14D75	E14B47	E16A71	E15B81	E15B81	E15C13	E15D32	E14D47	E15C64	D15B24
F14D74	E14B46	E15B79	E15A89	E15A89	E15C12	E15D31	E14D46	E15C63	D15B23
F14D73	E14B45	E15B78	E15A88	E15A88	E15C11	E15C39	E15D57	E15C62	D15B22
F14D72	E15B58	E15B77	E15A87	E15A87	E14D19	E15C38	E15D56	E15D78	D15B21
F14D88	E15B57	E15B76	E15A86	E15A86	E14D18	E15C37	E15D55	E15D77	D15A29
F14D87	E15B56	E15B75	E15A85	E15A85	E14D17	E15C36	E15D54	E15D76	D15B33
F14D86	E15B55	E15B74	E15A84	E15A84	E14D16	E15C35	E15D53	E15D75	D15B32
F14D85	E15A51	E15B73	E15A83	E15A83	E14D15	E15C34	E15D52	E15D74	
F14D84	E14B59	E15B72	E15A82	E15A82	E15D26	E15C33	E15D51	E15D73	