El Colegio de la Frontera Sur

Influencia de la geomorfología en la distribución del pez *Tlaloc hildebrandi* (Miller, 1950) en Los Altos de Chiapas, México

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural
Con orientación en Conservación de la Biodiversidad

Por

Carmela Xochitla Castrejón

2021

El Colegio de la Frontera Sur

ECOSUR

San Cristóbal de Las Casas, Chiapas a 19 de Marzo 2021

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador de Carmela Xochitla Castrejón, hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada **Influencia de la geomorfología en la distribución del pez *Tlaloc hildebrandi* (Miller, 1950) en los Altos de Chiapas, México**, para obtener el grado de **Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural.**

Directora: Dra. María del Rocío Rodiles Hernández _____

Codirector: M en C. Rafael Germán Urbán Lamadrid _____

Asesor: Dr. Darío Alejandro Gutiérrez Navarrete _____

Sinodal adicional: Dr. Matteo Cazzanelli _____

Sinodal adicional: Dr. Alfonso Ángel González Díaz _____

Sinodal suplente: Dra. Vera Camacho Valdéz _____

Sinodal suplente: Dra. Claudia Patricia Ornelas García _____

DEDICATORIA

Dedicado a todas las personas que me han acompañado en este camino y que han estado involucradas: mi familia, mis padres, mi mamá y mis hermanas, mis amigas y amigos, compañeros del laboratorio de ictiología y profesores.

AGRADECIMIENTOS

Agradecida con la vida y el universo por permitirme cumplir una meta más. A mi familia, a mis padres que tanto quiero, a mi mamá que siempre ha estado para escucharme, a mis hermanas que han sido mi motor. A mis tías: Delfi, Sara y Ada. Gracias por confiar en mí, por su apoyo y cariño incondicional.

A mi consejo tutelar, por permitirme aprender de ustedes, por poder mirar desde perspectivas distintas, por sembrar en mí el interés por la investigación y los trabajos multidisciplinarios. A mi directora, la Dra. Rocío Rodiles Hernández, sin duda alguna fue un honor trabajar con usted, gracias por el tiempo, el apoyo, por el conocimiento compartido, la confianza y el cariño, por siempre centrarme, eso ha contribuido en mi formación académica y personal, mi respeto, cariño y admiración. A mi codirector. El M en C. Germán Urbán Lamadrid, gracias infinitas por confiar en mí, por todo lo compartido en estos años, conocimientos y experiencias, todo el tiempo aprendo algo nuevo de ti, te aprecio y admiro demasiado. A mi asesor el Dr. Darío Navarrete Gutiérrez, gracias Dr por su tiempo, apoyo y disposición para realizar este trabajo.

A Emmanuel Valencia, por instruirme en el mundo de ArcGis, y apoyarme en todo lo relacionado a la cartografía. A mi compañera de cubículo la Dra. Alejandra Sepúlveda, gracias por tus consejos, palabras de aliento y todo el apoyo y cariño, te quiero y admiro. A el Dr. Alfonso González, por el apoyo en las colectas de campo y en la identificación de los ejemplares. A una de las personas que más admiro, el Dr. Alfredo Méndez, que me ha impulsado a través del ejemplo y por tener plena confianza en mí.

A El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

CONTENIDO

Resumen 6

CAPITULO I 7

Introducción 7

CAPITULO II 10

Artículo 10

Resumen 11

Introducción 13

Caracterización del área de estudio 14

Materiales y métodos 17

Resultados y discusión 19

Conclusiones 33

Referencias 34

CAPITULO III 39

Conclusiones y consideraciones finales 39

Literatura citada 41

Anexos 45

Resumen

La región de Los Altos de Chiapas presenta una historia geológica-geomorfológica influenciada principalmente por procesos neotectónicos (endógenos) y kársticos (exógenos), lo cual da como resultado un modelado con distintos tipos de relieve, que tienen una interrelación con la dinámica hidrológica. Una de las especies dulceacuícolas endémicas de la región es el pez *Tlaloc hildebrandi,* considerado en peligro de extinción por la disminución y perturbaciones antrópicas de su hábitat natural que incluye ambientes de ríos y humedales de montaña presentes en la región. Recientemente se han registrado nuevas poblaciones de *T. hildebrandi* en subcuencas fuera de su distribución original, las cuales no muestran conexiones hídricas superficiales aparentes. La presente investigación tiene como objetivo contribuir al conocimiento de los elementos geológicos, geomorfológicos e hídricos de la región, a través de la caracterización y el análisis de unidades hidrogeomorfológicas que permitan explicar la distribución actual del pez endémico. Se elaboró cartografía geológica-estructural y un mapa de unidades hidrogeomorfológicas. Las principales formas de relieve que se identificaron fueron: montañas, lomeríos, relieve kárstico, planicies, cañada y mesa. Los resultados mostraron que los procesos tectónicos y kársticos son los que han tenido mayor incidencia en los cambios de la dinámica hídrica y separación de las subcuencas, lo que ha influido en la distribución del pez.

Palabras clave: Geología, subcuencas, conexiones, hidrología, *Tlaloc hildebrandi*

CAPITULO I

Introducción

El relieve mexicano se ha formado esencialmente a partir del Neógeno (hace aproximadamente 23 Ma) se caracteriza por una intensa dinámica y transformación por procesos endógenos y exógenos (Lugo-Hubp 1990). Endógenos como los procesos tectónicos y volcánicos, y los exógenos que se relacionan con el clima, y estos a su vez se manifiestan en diversos procesos de: intemperismo, erosión y acumulación de sedimentos (Bocco y Palacio 2014).

Una de las primeras clasificaciones fisiográficas del estado de Chiapas fue realizada por Mulleried, 1957. Este autor definió siete zonas fisiográficas: Planicie costera del Pacífico, Sierra madre de Chiapas, Depresión de Chiapas, Altiplanicie de Chiapas, Montañas del Oriente, Montañas del Norte y planicie costera del Golfo. En particular la región de los Altos de Chiapas o Altiplanicie presenta diferentes tipos de relieves, entre los que destacan: tectónico, volcánico, fluvial y kárstico.

Por otro lado, la geología del sureste mexicano inicia con la fragmentación y dispersión de la Pangea. El proceso de sedimentación (Triásico Tardío (hace 235 Ma) y Jurásico Temprano (210 Ma)), inicia con el depósito de capas rojas continentales; desde el Jurásico hasta el Cretácico se depositan extensas zonas de rocas carbonatadas que, a principios del Paleógeno, hace 67 Ma aproximadamente, cambiaron a sedimentos clásticos originados por los levantamientos de la Orogenia Laramide (Padilla 2007).
Durante el Mioceno (23 Ma) se dan los primeros procesos tectónico en la Sierra Madre de Chiapas, se forman pliegues asimétricos con una orientación noroeste-sureste y una vergencia al noreste y se forman las fallas de la cadena Chiapas-Reforma-Akal, a partir de los movimientos laterales del Bloque Chortis aunado a las placas tectónicas más importantes del sureste, las placas Norteamericana, de Cocos y del Caribe (Morán-Zenteno et al. 2000, Padilla 2007).

La diversidad de peces en el país se debe a su heterogénea topografía, ligada a su historia geológica compleja (Miller et al 2005). Las características geológicas y la fuerte actividad tectónica en el sureste y en particular en Chiapas (Lugo-Hubp 1990), han dado lugar a condiciones específicas para un alto endemismo en ictiofauna en las cuencas Grijalva y Usumacinta (Miller et al 2005).

Distintos autores han clasificado el relieve de Chiapas, describiendo su geomorfología. García y Lugo (1992), realizaron un trabajo de geoformas y tipos de vegetación en la Selva Lacandona. Mientras que en la porción noroeste (Bollo y Hernández 2008), definieron unidades de paisaje físico-geográfico. Además, en algunas zonas kársticas del estado se ha elaborado cartografía geomorfológica (Durán et al. 2014 y Mora, Bonifaz y López 2016)

La geomorfología de Los Altos de Chiapas presenta una particular e interesante dinámica hidrológica, con drenaje superficial, subsuperficial y subterráneo. Los procesos geológicos nos muestran una región compleja y con una gran interacción entre sus elementos, donde la red de drenaje influye en las formas de relieve.

Por lo tanto, las relaciones entre hidrología y geomorfología se pueden explicar a través de la hidrogeomorfología, que permite definir unidades homogéneas considerando su geomorfología y el comportamiento hidrológico, además estudia la dinámica natural de la red hídrica mediante el análisis de las relaciones entre procesos físicos del flujo, y la mecánica, y formas que surgen a partir del transporte de sedimentos (Volanté y Gil 2019).

En este sentido es necesario entender la historia geológica y la hidrogeomorfología para establecer hipótesis que permitan explicar la distribución de especies dulceacuícolas, ocurridas a través de tiempos recientes (Miller et al 2005).

Se han realizado escasos estudios que abordan la influencia de la geomorfología y las redes de flujo hídrico en la distribución y dispersión de especies de peces. Algunos estudios realizados en ríos de llanuras de inundación explican la distribución y la composición de las comunidades de peces (Górski et al. 2012 y Delong et al. 2019). Otros autores han utilizado la hidrogeomorfología para analizar patrones de diversidad y áreas de endemismo (Valdovinos et al. 2010).

Una de las especies endémicas de la región de Los Altos de Chiapas es el pez *Tlaloc hildebrandi* (Miller, 1950), pertenece a la familia Profundulidae, endémica de Mesoamérica (Ornelas-García et al. 2015.) Existen pocos estudios respecto a esta especie, sin embargo, tiene una gran importancia taxonómica por ser una de las especie más antiguas, que pudo haberse originado por los procesos de aislamiento geográfico durante el Plioceno e incluso desde el Mioceno (Miller, 1995; Doadrio et al 1999, Morcillo et al. 2016).

Es una especie que vive en ríos y humedales de montaña los cuales han disminuido en un 7.3% de su extensión territorial en un periodo de 17 años (2001-2018) (Camacho-Valdez et al 2019), la disminución de los humedales aunado a actividades antrópicas como: la construcción de represas, la extracción de agua para uso doméstico, las descargas de aguas residuales, el acelerado crecimiento poblacional y la introducción de especies exóticas (Velázquez- Velázquez y Schmitter-Soto 2004). Además la falta de acciones en conservación y manejo (Espíritu y Rodiles-Hernández 2013), ha acelerado la fragmentación y disminución del hábitat y por ende la reducción de las poblaciones de *T. hildebrandi*. Por lo que es una especie considerada en peligro de extinción de acuerdo con la NOM-059 (SEMARNAT 2010) y la Lista Roja de la IUCN (IUCN 2019). Su distribución original se consideraba restringida a la subcuenca del río Amarillo, perteneciente al municipio de San Cristóbal de las Casas, Chiapas (Velázquez-Velázquez et al. 2007), sin embargo, en estudios recientes se han reportado poblaciones de *T. hildebrandi* en subcuencas adyacentes (Domínguez-Cisneros et al. 2018). Por todo ello esta investigación tiene como objetivo analizar los procesos geológicos y geomorfológicos, así como los cambios en la hidrología superficial y subterránea que han influido en la distribución de las poblaciones del pez endémico y establecer las áreas de conexiones históricas.

CAPITULO II

Artículo
sometido a la revista Investigaciones Geográficas de la UNAM

Unidades hidrogeomorfológicas en Los Altos de Chiapas, su influencia en la distribución de una especie de pez endémico

Carmela Xochitla-Castrejón. Posgrado de El Colegio de la Frontera Sur. Departamento de Conservación de la Biodiversidad. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. 7471229075. cxochitlacastrejon@gmail.com

Rafael Germán Urban-Lamadrid. Universidad Autónoma de Guerrero. Chilpancingo de los Bravos, Guerrero. 7471103903. sigro2020@gmail.com

Darío Alejandro Navarrete-Gutiérrez. Departamento de Observación y Estudio de la Tierra, Atmósfera y el Océano. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. dnavarre@ecosur.mx http://orcid.org/0000-0002-4210-1817

María del Rocío Rodiles-Hernández*. Departamento de Conservación de la Biodiversidad. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

(+52) 967674900 ext. 1322. rrodiles@ecosur.mx http://orcid.org/0000-0003-0355-5477

*autor por correspondencia

Resumen

La confluencia de características y procesos, geológicos y geomorfológicos se reflejan en la dinámica hídrica de los Altos de Chiapas. Los procesos históricos del paisaje en esta región son precisamente los que dan la pauta para entender y explicar las modificaciones de subcuencas, cauces superficiales y flujos subterráneos que han dado lugar a la distribución de una especie de pez endémico de la región en ríos y humedales de montaña, que se consideraba exclusiva de la subcuenca endorreica del río Amarillo. En este contexto, el objetivo de este estudio consistió en explicar y analizar los procesos geológicos e hidrogeomorfológicos que han influido en la distribución de otras poblaciones de *Tlaloc hildebrandi* en subcuencas exorreicas del sistema hidrológico Grijalva-Usumacinta. A partir de los registros en colecciones científicas, así como, información de publicaciones recientes y colecta de peces, se delimitaron seis subcuencas y se analizaron los procesos geológico-geomorfológicos que han determinado la red hídrica actual. Este análisis permitió la definición de seis unidades, y 12 subunidades hidrogeomorfológicas con características particulares en relieve, drenaje e infiltración. Se destaca la influencia de tres procesos: la actividad tectónica (plegamiento y fallamiento), el vulcanismo y la karsticidad que han influido de manera determinante en la conexión o desconexión entre subcuencas y por consiguiente en la distribución de las poblaciones de *T. hildebrandi*.

Palabras claves. Geomorfología, hidrología, conexiones subterráneas, *Tlaloc hildebrandi*.

Abstract

The confluence of geological and geomorphological features and processes are reflected in the hydrological dynamics of the Altos de Chiapas. Historical landscape processes in this region indeed give guidelines to understand and explain sub-basin modifications, rivers and underground water influencing the distribution of an endemic fish species from mountain rivers and wetlands, which has been considered exclusive from the endorheic sub-basin of the Amarillo River. In line with this context, the objective of this study consisted to explain and analyze the geological and hydrogeomorphological processes which have influenced the distribution of other populations of *Tlaloc hildebrandi* in exorheic sub-basins from the Grijalva-Usumacinta hydrologic system. Based in records in the fish collections, as well as information in recent publications and fish samples in new localities, six sub-basins were delimited and the geological and geomorphological processes that have determined the current water network were analyzed. This analysis allowed the definition of six units, and 12 subunits, with hydrogeomorphological characteristics in relief, drainage, and infiltration. The influence of three processes is highlighted: tectonic activity (folding and faulting), volcanism and karsticity, which have had a decisive influence on the connection or disconnection between sub-basins and consequently on the distribution of *T. hildebrandi* populations.

Key words. Geomorphology, hydrology, underground connections, *Tlaloc hildebrandi*

INTRODUCCIÓN

Las características climáticas y la compleja evolución geológica-geomorfológica han determinado el complejo mosaico de paisajes en el territorio mexicano (Bollo y Hernández, 2008, p.8). Chiapas en particular es un estado con una historia geológica interesante, debido a los movimientos tectónicos ligados a la trinchera mesoamericana y a la falla Polochic-Motagua (Lugo, 1990). La geodiversidad de los paisajes está integrada por elementos geológicos, geomorfológicos, topográficos e hidrológicos (Serrano y Ruiz, 2007). En ese contexto la compleja geodiversidad de la región Altos de Chiapas radica principalmente en su heterogénea geología y diferentes procesos: tectónico, volcánicos y kársticos. Respecto a los procesos morfotectónicos se observan pliegues y fallas del Mioceno (Padilla, 2007). En los eventos volcánicos, están presentes los volcanes Tzontehuitz y Huitepec ubicados en la porción oeste de la región (SGM, 2013). Mientras que la karsticidad se ha desarrollado en extensas zonas (Lugo, 1990), el karst está relacionado directamente con los procesos tectónicos (Gutiérrez, 2008). Estos procesos han dado origen a distintos dominios geomorfológicos: tectónico, volcánico, kárstico, denudatorio, fluvial y acumulativo. La red hidrológica ha sido definida por procesos geológicos y a su vez los flujos hídricos han determinado el modelado del relieve.

La dinámica hidrológica y las características geomorfológicas, asociadas a procesos bióticos pueden influir en la distribución de especies de peces (Górski et al., 2012), también pueden determinar áreas de endemismo y diversidad de especies (Valdovinos et al., 2010). Asimismo, permite entender la composición de comunidades de peces (Delong, Thoms y Sorenson, 2019).

En general existen pocos estudios que integren la dinámica hídrica y la heterogeneidad geomórfica, con la distribución de especies biológicas, en el país se han realizados trabajos de geomorfología enfocados en morfometría, cartografía, manejo territorial, ecología del paisaje, peligros, regionalización ecológica y geoformas (Bocco y Palacio, 2013). En este último enfoque, se han realizado diversos trabajos de carácter geomorfológico (unidades geomorfológicas y geoformas) en distintas zonas del estado de Chiapas. Bollo y Hernández, (2008) desarrollaron un método de mapeo para la porción norte que cubre extensas planicies que derivan hacia el Grijalva. Mientras que otros autores como Mora, Bonifaz y López, (2016) y Durán et al., (2014) elaboraron cartografía para amplias zonas con características kársticas al sureste de Ocosingo y en la región de los Lagos de Montebello. Por su parte García y Lugo (1992) ubicaron grandes dominios geomorfológicos

Los Altos de Chiapas y la Selva Lacandona en un estudio de las formas de relieve y los tipos de vegetación.

El pez escamudo de San Cristóbal o popoyote *Tlaloc hildebrandi* es una especie dulceacuícola y endémica de la región de Los Altos de Chiapas, con un origen evolutivo muy antiguo que proviene del Plioceno-Mioceno, pertenece a la familia Profundulidae (Miller, 1950; Doadrio et al., 1999), es considerada en peligro de extinción de acuerdo con la NOM-059 (SEMARNAT, 2010) y la Lista Roja de la IUCN (IUCN, 2019). Se distribuye en ríos, arroyos y humedales de montaña (González-Díaz, 2013), donde las condiciones actuales de su hábitat son críticas (Velázquez, et al, 2007) y con nula o escasa atención en términos de manejo y conservación (Espíritu y Rodiles-Hernández, 2013). Sin embargo, en estudios recientes se encontraron otras poblaciones fuera de su zona de distribución conocida (Domínguez et al., 2017) la subcuenca endorreica del río Amarillo (Espíritu, 1998). Estas nuevas poblaciones de *T. hildebrandi* en cuencas exorreicas, nos llevaron a plantearnos las siguientes preguntas de investigación ¿Cuáles han sido los principales procesos geológicos y geomorfológicos que han transformado el paisaje de los Altos de Chiapas?, ¿Cómo han influido estos procesos en la distribución actual de *T. hildebrandi*?. En este sentido y dada la escasa información geomorfológica de la zona, este estudio tiene como objetivo fundamental entender la dinámica geológica, geomorfológica e hídrica de la región de Los Altos de Chiapas, mediante unidades y subunidades hidrogeomorfológicas y establecer hipótesis que nos permitan entender la distribución actual del pez endémico.

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se localiza en el centro-norte del estado de Chiapas, en la Región Hidrológica No. 30, en la confluencia de zonas altas de las cuencas Grijalva y Usumacinta (INEGI, 1989). Tiene una extensión de 2200 km^2 y se ubica entre las coordenadas geográficas 92°01´01´´ W, 92°45´04´´ Longitud oeste y 16°37´37´´N, 17°00´27´´ Latitud norte (Figura 1).

La región de Los Altos de Chiapas se ha definido como parte de la Altiplanicie de Chiapas (Mulleried, 1957). Está comprendida en la provincia fisiográfica Sierras de Chiapas y Guatemala (INEGI, l981), forma parte de la provincia geológica denominada Cinturón Chiapaneco de Pliegues y Fallas (Ortega-Gutiérrez et al., 1991), en la Meseta central (Castro, 1999), y en la provincia geomorfológica conocida como Tierras Altas Mayas la cual se caracteriza por presentar una serie

de cordilleras, dominadas por fallas y pliegues del Cretácico-Paleógeno y rocas sedimentarias deformadas. (Marshall, 2007).

El relieve de esta región es accidentado, con planicies y montañas como los volcanes Tzontehuitz (2858 msnm) y Huitepec (2660 msnm), cercanos a la ciudad de San Cristóbal de las Casas. En esta región convergen distintos tipos de climas desde templado húmedo C (fm), templado subhúmedo C (w2)(w), cálido subhúmedo Aw2 y cálido húmedo Am (INEGI, 1984). Los Altos de Chiapas constituye el parteaguas más elevado de las cuencas Grijalva y Usumacinta, ya que se originan distintos ríos y arroyos, algunos de los cuales fluyen hacia el suroeste y forman parte del río Grijalva, mientras otros se dirigen al oriente y norte para desembocar finalmente en el río Usumacinta (Mullerried, 1957).

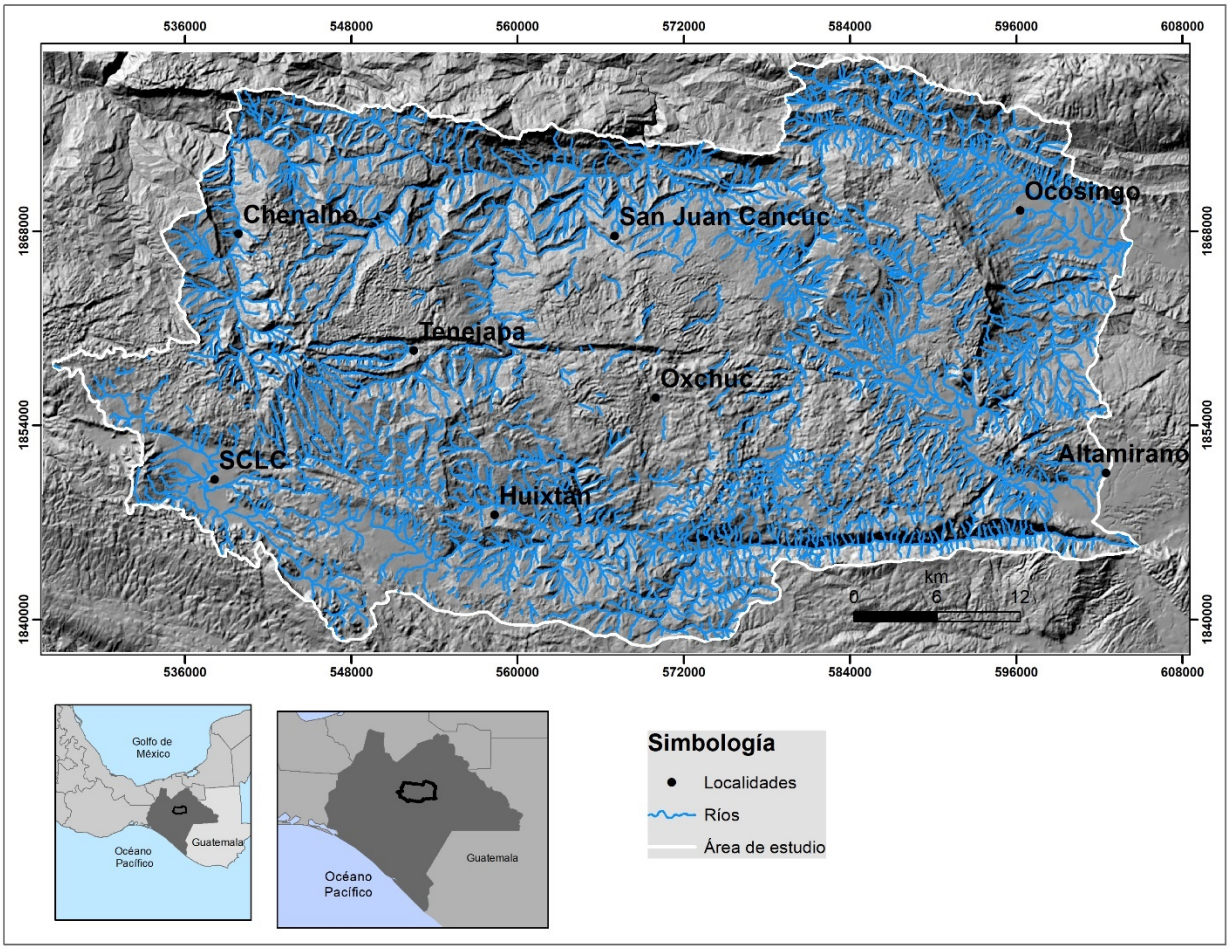


Figura 1. Localización de la región de Los Altos de Chiapas, México. Fuente: elaboración propia con base en INEGI.

El área de estudio se dividió en seis subcuencas, tres de ellas pertenecen a la cuenca del Grijalva (río Amarillo, río Chenalhó y río Rosario), mientras que las subcuencas: río Tzaconejá, río La Virgen y río Jataté pertenecen al sistema hidrológico del Usumacinta (Figura 2).

Cuenca del río Grijalva

La subcuenca del río Amarillo es una subcuenca endorreica y se ubica al suroeste, en la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, con pendientes mínimas de 3° y máximas de 20°, tiene una gran proporción de rocas carbonatadas que da como resultado relieve kárstico, y drenaje subterráneo y subsuperficial, las zonas de recarga hídrica se ubican al norte y este, además se pueden encontrar manantiales en toda la extensión de la subcuenca, estos surgen a partir de la fracturación de las rocas calizas (Espíritu, 1998) tiene una superficie de 294 km^2.

La subcuenca río Chenalhó se encuentra en la porción noroeste, y es la subcuenca más pequeña con una extensión de 162 km^2, con pendientes de 7° a >30°. La morfología y relieve están determinados por los procesos tectónicos, con drenaje superficial en su totalidad.

Otra de las subcuencas que pertenecen a la cuenca del Grijalva es la del río Rosario que se ubica al norte, es la subcuenca con mayor extensión (727 km^2), al norte presenta un relieve tectónico por plegamiento y pendientes de 7° a >35°, con drenaje superficial. Al sur el relieve tiene un proceso de karsticidad activo, lo cual da paso a una mayor infiltración.

Cuenca del río Usumacinta

Los procesos tectónicos han modelado el relieve de la subcuenca río Tzaconejá, que pertenece a la cuenca del Usumacinta, donde se observan pliegues, barrancas y se ha formado una profunda cañada. Su dinámica hídrica se refleja en drenaje superficial, se encuentra al sursureste con un área de 427 km^2, y pendientes mayores de 30°.

El río La Virgen es una subcuenca que se encuentra al noreste de la zona de estudio, tiene una extensión de 232 km^2 con pendientes de 3°-25°, presenta un drenaje superficial integrado, por los procesos tectónicos y de acumulación, lo cual da lugar a una gran planicie fluvial.

Por otro lado, la subcuenca río Jataté (500 km^2) se ubica al este de la región, se observan pendientes mínimas de 5° y máximas de 25°. Gran parte de la red hídrica que la conforma es integrada, sin

embargo, en la porción este de la subcuenca se encuentran zonas con procesos kársticos activos, esta condición se refleja en un drenaje subsuperficial y subterráneo desintegrado.

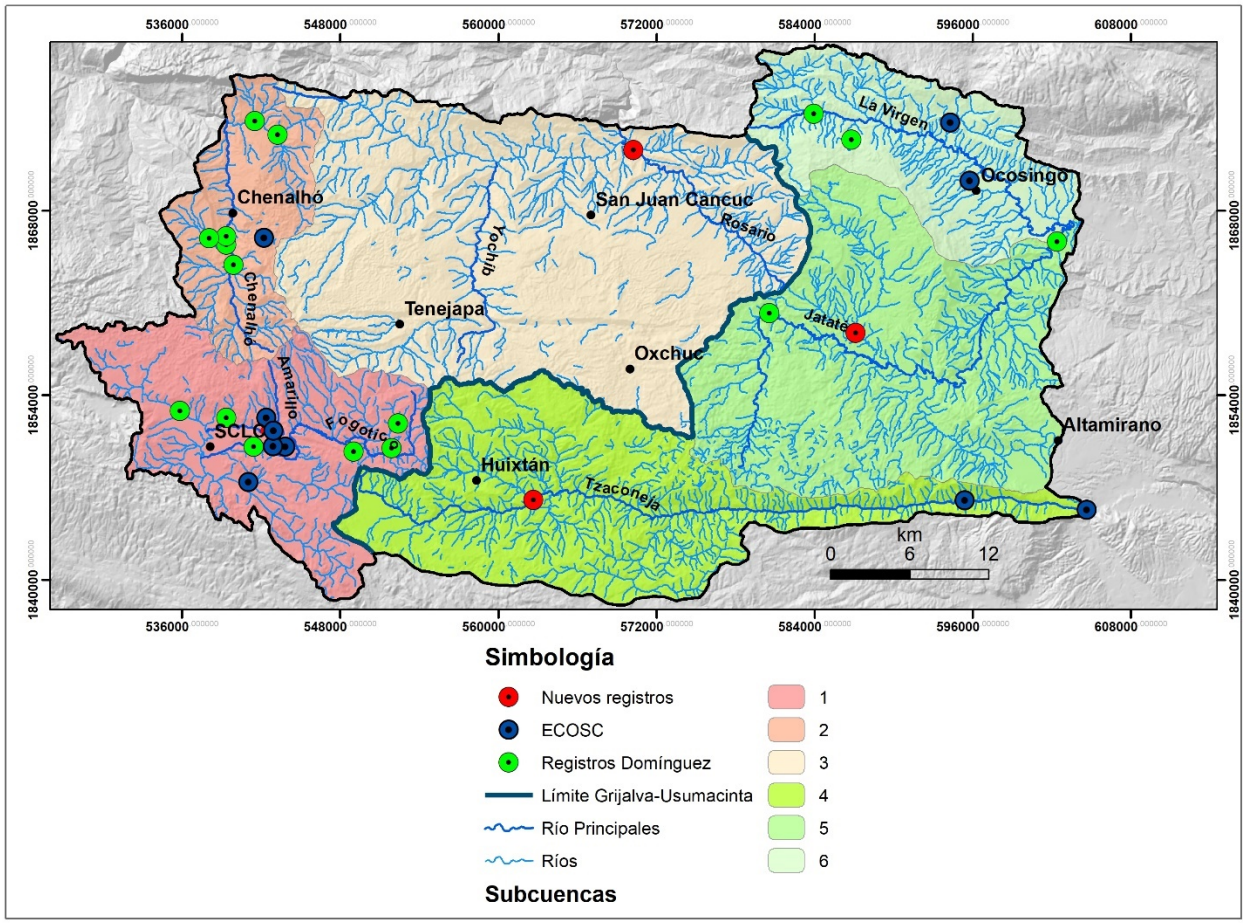


Figura 2. Subcuencas de Los Altos de Chiapas. (1) Río Amarillo; (2) Chenalhó; (3) Río Rosario; (4) Tzaconejá; (5) Río Jataté; (6) Río La Virgen. Fuente: elaboración propia con base en INEGI.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron las características geológicas y estratigráficas del área de estudio, la información se obtuvo de las cartas temáticas de geología E-15-11, INEGI (1985), a escala 1:250 000 y la carta GEOLÓGICO-MINERA a escala 1:250 000 del Servicio Geológico Mexicano (2013). A partir de la información de cada una de las cartas se elaboró el mapa geológico-estructural. Todos los análisis fueron procesados mediante el software SIG ArcGIS 10.2.1.

Mediante el uso de las metodologías propuestas por Van Zuidam, (1985) y la de Lugo Hubp, (1988), adaptadas a las características de la región y a los objetivos del estudio y a partir del análisis de la cartografía topográfica y geológica obtenida de INEGI a escala 1:250 000, y la fotointerpretación de imágenes satelitales actuales de Google Earth y GeoEye IKONOS del SIG ArcGis, se delimitaron las unidades geomorfológicas a escala 1:150 000.

Se utilizó el Modelo Digital de Elevaciones del Terreno (MDE), para obtener los mapas: hipsométrico, de pendientes y el modelo de relieve sombreado (Figura 1).

Con las curvas de nivel se obtuvo el MDE, en el mapa hipsométrico se establecieron 10 intervalos de altitudes (msnm): (452-900, 900-1100, 1100-1300,1300-1500,1500-1700,1700-1900, 1900-2000, 2000-2200, 2200-2400, 2400-2900). En tanto que, para el mapa de pendientes se definieron cinco intervalos (0-3°, 3-8°,8-15°,15-30°, >30°). La red hidrológica se obtuvo de INEGI, se descargó del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL), el cual solo considera drenaje superficial.

Finalmente, se analizaron e integraron los elementos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos que dieron como resultado la conformación de seis unidades, y 12 subunidades hidrogeomorfológicas que consideran el comportamiento de la red de drenaje superficial y subterránea, y los procesos endógenos y exógenos como erosión y acumulación (García y Lugo, 2003).

Los trabajos de campo fueron desarrollados en sitios clave como son: parteaguas, zonas de confluencias de ríos, áreas con cambios estratigráficos aparentes, y sitios con desvío de cauces. Se tomaron en cuenta todos los registros de *T. hildebrandi*, depositados en la Colección de Peces de ECOSUR (ECOSC) colectados durante 2006 y 2014 (ECOSC- 7541, 7555, 7560 y 7567), información de registros de publicaciones recientes (Domínguez et al., 2017), y adicionalmente se visitaron y colectaron muestras de peces en nuevas localidades (ECOSC-14741,14743,14746 y 14760) (Figura 2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Marco geológico-estructural de Los Altos de Chiapas

Las rocas más antiguas en la región de los Altos se formaron hace 124 millones de años. Las cuales corresponden al Mesozoico, concretamente al Cretácico inferior (Barremiano-Aptiano), con una litología de calizas-dolomías; sobreyacen a la formación anterior rocas del Cretácico superior (Aptiano-Santoniano), representado por calizas y dolomías. Éstas a su vez son cubiertas por formaciones del Cretácico tardío del Campaniano-Maastritchtiano, con litología de calizas y lutitas. Concordantes a la anterior sobreyacen rocas de la formación Soyaló del Terciario Paleoceno, formadas por lutitas-areniscas, con variantes laterales hacia calizas de la formación Tenejapa-Lacandón. Finalmente se tienen los depósitos del Cuaternario, Pleistoceno y Holoceno con piroclásticos y lavas andesíticas ejemplificados en el volcán Tzontehuitz y Huitepec (SGM, 2013). Considerando su tectónica los principales rasgos provienen del Mioceno cuando se da la formación de pliegues y fallas pertenecientes a la cadena Chiapas-Akal, por acción de las Placas de Cocos, Del Caribe y Norteamericana, asociado al bloque Chortis (Padilla, 2007) (Figura 3).

Las evidencias geológicas en el estado de Chiapas y en la zona de estudio, muestran estructuras originadas por movimientos tectónicos las cuales han resultado en un nudo complejo de sinclinales, anticlinales, fallas normales, laterales y cabalgaduras. Fallas normales: Iwuitic (oeste-norte), Mesbilia (Centro), Chanal (sur), fallas laterales sinestrales con dirección este-oeste: Tecpatán-Ocosingo (norte), Tenejapa-Oxchuc (Centro), Telestaquin-San Cristóbal (sur) y fallas pequeñas: Chenalhó, Belisario y Canech (noreste). El vulcanismo es otro de los procesos importantes que se ha registrado, dando lugar a los volcanes Tzontehuitz (oeste) y Huitepec (suroeste) (SGM, 2013).

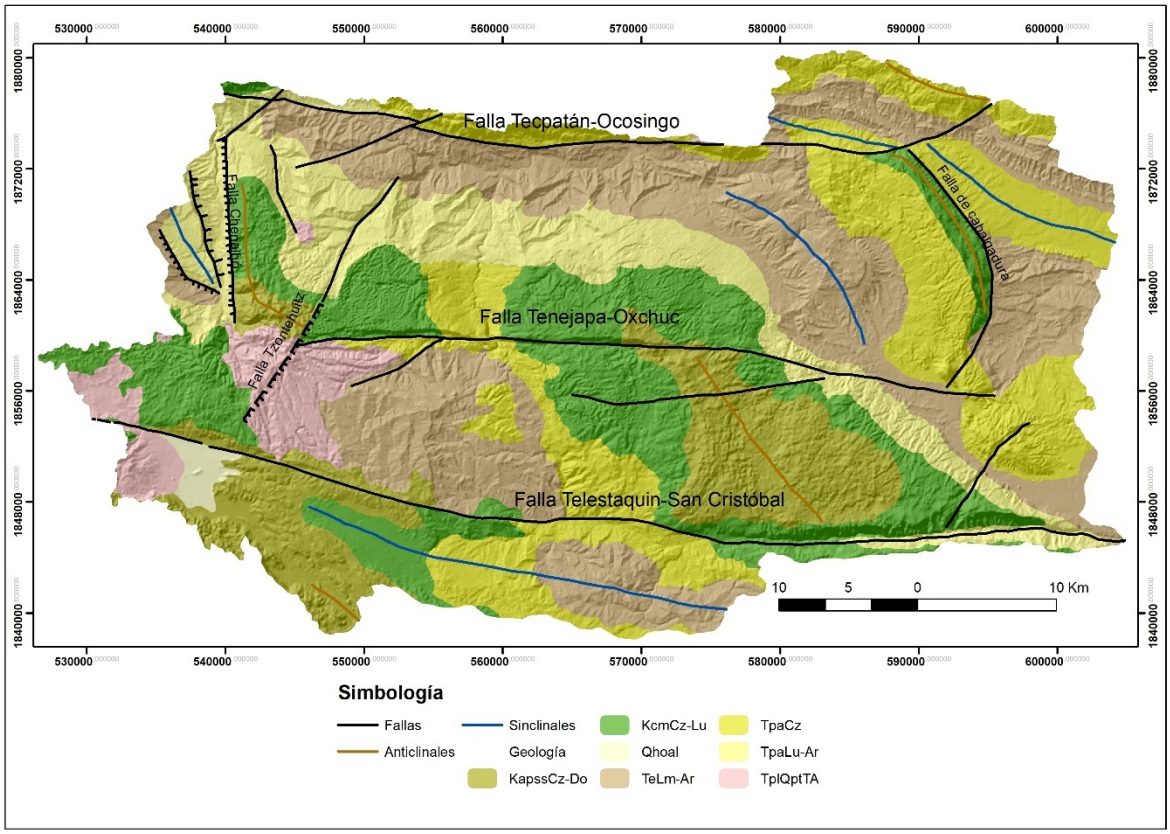


Figura 3. Mapa geológico-estructural de Los Altos de Chiapas. (KapssCz-Do) Cretácico inferior, albiano, caliza-dolomita; (KcmCz-Lu) Cretácico superior, senoniano, caliza-lutita; (Qhoal) Cuaternario, holoceno, aluvial; (TeLm-Ar) Terciario, paleógeno-eoceno, limolita-arenisca; (TpaCz) Terciario, paleógeno-paleoceno, caliza; (TpaLu-Ar) Terciario, paleógeno-paleoceno, lutita-arenisca; (TplQptTA) Terciario, neógeno-plioceno, toba andesítica. Fuente: SGM.

Unidades hidrogeomorfológicas

Dadas las características particulares de la región se definieron seis unidades hidrogeomorfológicas: I. Montañas, II. Lomeríos, III. Relieve kárstico, IV. Planicies, V. Cañada y VI. Mesa (Figura 4). Destacan las unidades que tienen un origen sedimentario con procesos tectónicos (53.4%) con una superficie de 1200 km^2, seguido por las geoformas con procesos de karsticidad (35%) con 736 km^2, las unidades de origen volcánico (6.25%) con 131 km^2 y finalmente las planicies acumulativas con 109 km^2 (5.2%).

A partir del análisis de los elementos del relieve y las redes hidrológicas se delimitaron 12 subunidades, considerando las relaciones entre la geología, tectónica y el desarrollo de geoformas, que conllevan a los patrones actuales de los escurrimientos, tanto superficiales como subterráneos (Tabla 1).

Unidad I. Montañas

Las montañas de terrenos elevados es la unidad que ocupa la mayor extensión, se divide en montañas volcánicas, plegadas y en bloque.

1.1. Montaña volcánica con depósitos andesíticos y densidad alta

Forma parte del volcán Tzontehuitz, se ubica al N de San Cristóbal de las Casas (SCLC), tiene una extensión de 88 km^2. Con altitudes de 1800 a 2900 msnm, siendo estas las altitudes mayores de la región. Es una de las subunidades más recientes en términos geológicos, formada por depósitos de toba andesítica del Plioceno, ha cubierto espacios ocupados por rocas calcáreas. Tiene una red hidrológica bien integrada, en un patrón radial centrífugo, donde la mayoría de los afluentes son superficiales y forman barrancas de mediana profundidad.

Esta subunidad surge como un enorme aparato volcánico justo en la confluencia de dos fallas, la falla lateral sinestral Tenejapa-Oxchuc y la falla normal Tzontehuitz. Al haber sido la emisión más reciente de materiales volcánicos y poco compactados mantiene una porosidad media, que permite la infiltración hacia las capas inferiores y recarga de acuíferos de mayor extensión. Esto se aprecia hacia las laderas sureste y suroeste.

Tabla 1. Características de las unidades y subunidades hidrogeomorfológicas de la región de Los Altos de Chiapas, México. Subcuencas: Amarillo (A), Chenalhó (C), Rosario (R), Tzaconejá (T), Jataté (J), La Virgen (V).

Unidad	Subunidad	Área (km^2)	Altitud (msnm)	Pendiente	Material litológico	Ubicación	Subcuenca
1. Montañas	1.1. Montaña volcánica con depósitos andesíticos y densidad alta.	88	1800-2900	7°-40°	Toba andesítica	Oeste	A, J y C
	1.2. Montaña volcánica con depósitos andesíticos y red fluvial escasa	19	2000-2600	7°-40°	Toba andesítica	Suroeste	A, J y C
	1.3. Montañas plegadas con erosión y escurrimiento alto	725	1300-2500	7°-30°	Arenisca, caliza, limolita y lutita	Suroeste, sur, sureste	J, T, A y R
	1.4. Montañas en bloque con erosión y densidad alta	346	800-2200	7°-21°	Limolita, lutita y arenisca	Norte, noreste, noroeste	C, V y R
2. Lomeríos	2.1. Lomeríos sedimentarios del Paleoceno-Eoceno, con densidad alta	198	400-1300	7°-30°	Caliza, limolita, arenisca	Este	J y V
	2.2. Lomeríos calcáreos con karsticidad intensa, y permeabilidad alta	105	1400-1600	7°-30°	Caliza, lutita	Noreste	A y J
3. Relieve kárstico	3.1. Meseta kárstica del Cretácico Inferior-Superior, con permeabilidad alta	407	2200-2400	7°-25°	Caliza-dolomía, lutita	Noroeste	A, C, J, T y R
	3.2. Relieve Mesiforme del Cretácico Inferior-Superior, con denudación y permeabilidad media	251	2000-2300	7°-20°	Caliza-dolomía, lutita	Centro, Sureste y Suroeste	A, C, J, T y R
4. Planicie	4.1. Planicie acumulativa lacustre con depósitos aluviales y densidad baja	24	2120	3°	Aluvial	Suroeste	A, J y V
	4.2. Planicie fluvial con permeabilidad alta	85	800-1200	3°	Lutita, arenisca, caliza	Noroeste	A, J y V
5. Cañada	5.1. Cañada sedimentaria con erosión remontante y escurrimiento alto	120	1600-2100	>30°	Caliza, lutita, arenisca	Sureste	T.

6. Mesa	6.1. Mesa sedimentaria con limolitas y areniscas y red fluvial escasa	24	1600	7°-14°	Limolita-arenisca	Noreste	J y R

Fuente: Elaboración propia.

1.2. Montaña volcánica con depósitos andesíticos y red fluvial escasa

Se ubica al suroeste y al igual que la subunidad anterior está compuesta por tobas andesíticas, forma parte del volcán Huitepec en la porción SW de SCLC. La erosión ha dado lugar a laderas suaves en gran parte de la montaña, se infiere una alta permeabilidad, debido a que el drenaje superficial es escaso.

1.3. Montañas plegadas con erosión y escurrimiento alto

Los esfuerzos tectónicos han dado lugar a montañas plegadas en distintas zonas de Los Altos, donde la roca más abundante es la roca caliza del Paleoceno, y limolita-arenisca del Eoceno, con pequeñas áreas de caliza y dolomía del Cretácico Inferior.

Las subcuencas que comparten esta subunidad son: río Amarillo, río Tzaconejá, río Rosario y río Jataté. Es la subunidad con mayor extensión (725 km^2), presenta drenaje superficial integrado y alta densidad de escurrimientos, favorecido por las laderas sobre estratos muy inclinados, dando lugar a profundas barrancas y cuestas. Esta subunidad es además receptora de buena parte de las escorrentías de las unidades de relieve mesiforme kárstico.

1.4. Montañas en bloque con erosión y densidad alta

La subunidad se ubica al norte, noreste y noroeste, alcanzando en algunas zonas escarpadas pendientes de 43°. Las rocas más abundantes son las lutitas y areniscas del Paleoceno de la Formación Soyaló, además de limolitas y areniscas de la Formación El Bosque del Eoceno. El contraste de litologías alternadas y las altas pendientes influyen en una alta disección y escurrimiento, por tanto, baja permeabilidad.

Estas montañas tienen una relación directa con los procesos tectónicos de distintas fallas que han dado lugar al movimiento de bloques. A su vez estas fallas han desviado la dirección del cauce de ríos principales, ejemplo de ello es en la porción norte de la zona de estudio donde la falla lateral sinestral Tecpatán-Ocosingo ha desviado el cauce del río Rosario dando lugar a un pequeño cañón.

Unidad ll. Lomeríos

En la unidad de lomeríos se delimitaron lomeríos sedimentarios y lomeríos calcáreos, mientras que los lomeríos sedimentarios están conformados por rocas del Eoceno y Paleoceno, los lomeríos calcáreos se componen de rocas del Cretácico, con desarrollo kárstico, originando una alta infiltración a diferencia de los lomeríos sedimentarios que presentan un alto escurrimiento.

2.1. Lomeríos sedimentarios del Paleoceno-Eoceno, con densidad alta

La subunidad de lomeríos sedimentarios se ha desarrollado sobre calizas, limolitas y areniscas del Paleógeno (Eoceno-Paleoceno), se encuentran dentro de la subcuenca Jataté al oriente de la región, desde Abasolo hasta el N de Altamirano. El drenaje es integrado y en su mayoría es superficial, sin embargo, dadas las características, estructuras geológicas domicas y las rocas permeables en algunas zonas el drenaje es radial. Esta subunidad surge por la nivelación de montañas sedimentarias, debido a la erosión (Lugo, 2011), la cual es un proceso activo y que sigue modelando el relieve por las condiciones climáticas de humedad extrema.

2.2. Lomeríos calcáreos con karsticidad intensa, y permeabilidad alta

Los procesos kársticos que han tenido lugar en la región han modelado este relieve de lomeríos, estos se encuentran al NE, se han formado sobre depósitos de calizas y dolomías del Cretácico, sobre estos yacen las rocas lutitas y areniscas del Paleoceno. Esta subunidad está ligada a una falla de cabalgadura, además los esfuerzos tectónicos han dado como resultado un anticlinal recumbente o volcado que se ubica al W de Ocosingo y al NW de Altamirano. Es el parteaguas de tres subcuencas: al N y NE, río Jataté, río Rosario y río la Virgen. La alta infiltración permite que la red hídrica se distribuya en las subcuencas mencionadas anteriormente, lo que puede originar una posible conexión subterránea entre estas subcuencas.

Unidad llll. Relieve kárstico

Esta unidad se encuentra sobre los estratos más antiguos (Cretácico) de rocas calizas principalmente. La red de drenaje se caracteriza por la presencia de flujos subterráneos. La alta infiltración se debe a la composición de la roca caliza y como resultado de la evolución kárstica, se puede observar que la dirección de los flujos es al N, o al S de la zona de estudio, que también se encuentran elevaciones bajas. Dicha unidad permite la conexión hidrológica entre las subcuencas río Rosario (N), río Jataté (SE) y río Tzaconejá (S).

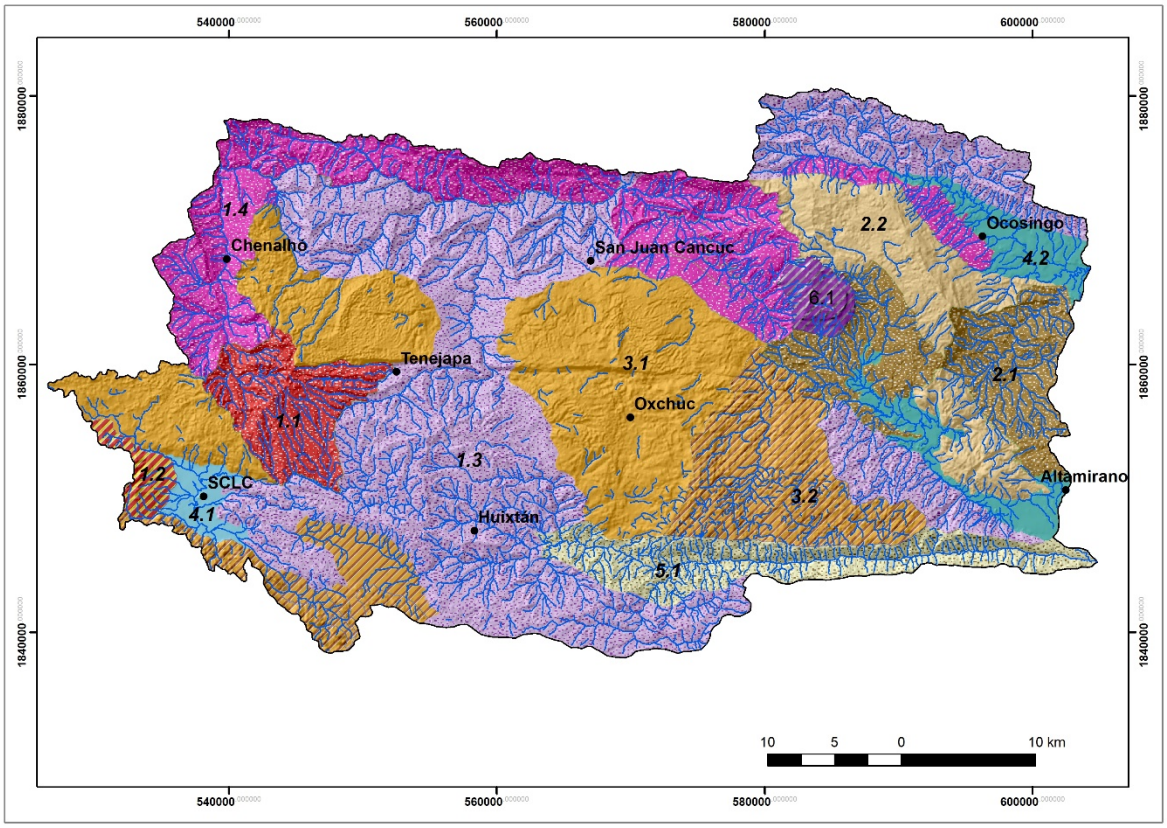


Figura 4. Subunidades Hidrogeomorfológicas. Unidad I: 1.1. Montaña volcánica con depósitos andesíticos y densidad alta. 1.2. Montaña volcánica con depósitos andesíticos y red fluvial escasa. 1.3. Montañas plegadas con erosión y escurrimiento alto. 1.4. Montañas en bloque con erosión y densidad alta. Unidad II: 2.1. Lomeríos sedimentarios del Paleoceno-Eoceno, con densidad alta. 2.2. Lomeríos calcáreos con karsticidad intensa, y permeabilidad alta. Unidad III: 3.1. Meseta kárstica del Cretácico Inferior-Superior, con permeabilidad alta. 3.2. Relieve Mesiforme del Cretácico Inferior-Superior, con denudación y permeabilidad media. Unidad IV: 4.1. Planicie acumulativa lacustre con depósitos aluviales y densidad baja. 4.2. Planicie fluvial con permeabilidad alta. Unidad V: 5.1. Cañada sedimentaria con erosión remontante y escurrimiento alto. Unidad VI: 6.1. Mesa sedimentaria con limolitas y areniscas y red fluvial escasa. Fuente: elaboración propia.

Y a su vez la conexión entre los dos sistemas hídricos más importantes del sureste mexicano, las cuencas Grijalva y Usumacinta. Las subunidades se dividen en función de la permeabilidad alta y permeabilidad media.

3.1. Meseta kárstica del Cretácico Inferior-Superior, con permeabilidad alta

Se encuentra sobre depósitos de rocas carbonatadas del cretácico, caliza-lutita del Senoniano, y caliza-dolomía del Albiano, estas rocas, por naturaleza, son de una alta permeabilidad. La meseta muestra formas kársticas desarrolladas originando un sistema complejo de geoformas, se encuentra distribuida en la porción centro (Oxchuc), N y NW (Tenejapa), dentro de la subcuenca río Rosario y pequeñas áreas dentro de la subcuenca río Amarillo. No se observa drenaje superficial lo cual indica que la mayor parte de la red hídrica es subterránea, lo que hace inferir conexiones subterráneas entre subcuencas. Los rasgos micro y macro kársticos (karren, dolinas, uvalas) denotan continuos cambios. La densidad de uvalas y eventualmente poljes o valles rellenos, lo confirman.

3.2. Relieve Mesiforme del Cretácico Inferior-Superior, con denudación y permeabilidad media

Esta subunidad se ubica en el centro, S y SW del área de estudio dentro de las subcuencas Jataté y río Amarillo, está constituida por depósitos de rocas más antiguas del Senoniano y Albiano, la roca predominante es la caliza, aunque se pueden encontrar lutitas y dolomías. Las rocas calizas muestran rasgos y drenaje difuso, radial y centrípeto desintegrado. Por tanto, se infiere una permeabilidad media-alta, por acción de la disolución de la roca derivada del desarrollo kárstico y por acción de las condiciones climáticas.

Unidad IV. Planicies

4.1. Planicie acumulativa lacustre con depósitos aluviales y densidad baja

La planicie está constituida por depósitos aluviales del Holoceno, es la unidad más reciente, se ubica al suroeste a una altitud promedio de 2120 msnm. Aquí se observan procesos geomorfológicos de colapso, subsidencia de suelos y caída de bloques en los bordes. Esta zona también se denomina polje de San Cristóbal, con un área de 24 km^2. Esta planicie ha sido formada por el arrastre de sedimentos de las zonas kársticas, tiene una alta permeabilidad y diversas zonas de infiltración y sumideros, así como humedales de montaña.

4.2. Planicie fluvial con permeabilidad alta

Esta subunidad corresponde a depósitos de lutitas-areniscas del Paleoceno, se encuentra en Ocosingo y al SE de Abasolo, hasta Altamirano. Formada por el transporte de sedimentos, se encuentra rodeando a las estructuras plegadas y rellenando a los sinclinales de Abasolo y Ocosingo.

Presenta una alta permeabilidad, y a su vez un drenaje integrado superficial. Esta subunidad fluye al sistema Lacantún-Usumacinta.

Unidad V. Cañada

5.1. Cañada sedimentaria con erosión remontante y escurrimiento alto

La actividad tectónica en Los Altos de Chiapas ha dado lugar a estructuras con edades y deformaciones diversas. Un ejemplo de ello es la Cañada del Tzaconejá, constituida principalmente por calizas, lutitas y areniscas del Paleoceno de las formaciones Soyaló y Tenejapa-Lacandón, además de áreas con depósitos de calizas y lutitas del Cretácico (Campaniano-Maastritchtiano) de la formación Ocozocoautla-Angostura (SGM, 2013). Se ubica al sureste, dentro de la subcuenca Tzaconejá.

Es el resultado de la falla lateral sinestral Telestaquín-San Cristóbal, la erosión remontante ha modelado la red de drenaje dendrítico, donde el río principal sigue la misma dirección (W-E) y está alineado con el plano de falla. El gran contraste de elevaciones ha acelerado procesos erosivos notables y se observan pequeñas barrancas semiparalelas que confluyen en el dren principal. Este dren principal fluye a las corrientes que alimentan al río Lacantún, cuenca del Usumacinta.

En esta subunidad convergen dos bloques bien diferenciados, el primer bloque al norte con afloramientos de calizas y karsticidad intensa, y el otro bloque al sur con depósitos de rocas sedimentarias. La mayoría de la red de drenaje es superficial ya que los estratos rocosos no favorecen la infiltración, además se observan zonas escarpadas de alta pendiente.

Unidad VI. Mesa

6.1. Mesa sedimentaria con limolitas y areniscas y red fluvial escasa

Esta subunidad es la más pequeña dentro del área de estudio (24 km^2) formada sobre limolitas y areniscas del Eoceno. El origen de la mesa se debe a los estratos de rocas sedimentarias resistentes a la erosión (Lugo, 2011).

Las subcuencas Jataté y Rosario comparten esta subunidad, superficialmente separadas por el drenaje, sin embargo, probablemente con conexión subterránea. Su alta permeabilidad permite un drenaje centrífugo y anular.

Relaciones entre subcuencas, unidades hidrogeomorfológicas y distribución del pez endémico.

La historia geológica-estratigráfica de Los Altos de Chiapas se puede explicar a partir de los depósitos de rocas carbonatadas, ocurridos desde el Jurásico tardío hasta el Cretácico Tardío. Durante el Cenozoico ocurren levantamientos y compresión, originando montañas y consecuentemente formación de protocuencas paralelas (Padilla, 2007). La historia tectónica inicia en el Mioceno tardío, donde se originan los pliegues de gran radio y posteriormente aparecen las fallas laterales (Carfantan, 1981). Los pliegues estructurales se encuentran al oriente entre valles (sinclinales) y montañas (anticlinales), alineados Nornoroeste-Sursureste. A la altura de Ocosingo –Altamirano estos trenes estructurales cambian drásticamente y la deformación de los ejes estructurales se ven afectadas por fallas (cabalgaduras al noroeste de Altamirano), fallas normales (Chenalhó) y propiamente las fallas laterales sinestrales, la primera de ellas pasa por SCLC y Huixtán, en la porción S de la zona de estudio, la segunda por Tenejapa (centro) y la tercera al N de San Juan Cancuc, al N de la región, en este sentido la historia geológica también se puede ligar con el origen de *T. hildebrandi*, que data del Mioceno-Plioceno, es decir durante el mismo periodo geológico que los pliegues y fallas.

Los procesos geológicos y geomorfológicos que tienen una mayor incidencia en la región son: tectónicos, volcánicos, kársticos y erosivos, los cuales le imprimen rasgos específicos a la red hidrológica (desviaciones, giros laterales, formación de meandros), por lo que el régimen de flujo modela la geomorfología (Schumm 1988; Delong, Thoms y Sorenson, 2019). La convergencia e interacciones de los procesos y características geológicas, geomórficas e hidrológicas en las unidades y subunidades permiten explicar la distribución actual de *T. hildebrandi*. De acuerdo con los registros de *T. hildebrandi* las poblaciones se encuentran principalmente distribuidas en las cabeceras de seis subcuencas en altitudes entre 1500 y 2500 msnm (Figura 2).

Cada subcuenca presenta una dinámica única y compleja, con ambientes morfogenéticos distintos: estructural, deposicional, erosional, disolucional y mixto (Zink, 2012). Las subcuencas presentan obstrucciones, separaciones o conexiones con los sistemas hídricos adyacentes las cuales se pueden explicar a partir de las unidades hidrogeomorfológicas.

Sin embargo, a pesar de que cada subcuenca tiene un sistema hidrogeomorfológico y sigue procesos diferentes, algunas de ellas están más interconectadas que otras. Las unidades y

subunidades que se han derivado de todos los anteriores atributos geológicos más la convergencia de factores climatológicos ofrecen un mosaico actual de paisajes que en el pasado probablemente formaba una zona más homogénea y extensa, antes de los levantamientos montañosos y con una mayor conexión. Las subcuencas que están más relacionadas hidrológicamente y pueden tener menos tiempo de separación son: 1) río Amarillo y Tzaconeja, 2) río Amarillo y Chenalhó, 3) Jataté y río la Virgen y 4) Jataté, río Rosario y Tzaconeja (Figura 5 A y 5 B).

La dinámica hidrológica de la subcuenca río Amarillo es una de las más complejas, presenta un ambiente morfogenético mixto, ya que se observan los procesos tectónicos (estructural) con las fallas normales y laterales, y los procesos kársticos que dan paso a ambientes deposicionales (planicie acumulativa lacustre), disolucional (relieve kárstico) y los ambientes erosivos (montaña volcánica con red fluvial escasa). Los procesos tectónicos han tenido una gran incidencia en el cambio de dirección de afluentes, dos de los ríos principales de la subcuenca río Amarillo (Fogótico y Amarillo) cambiaron de dirección de E a W, por acción de la falla Telestaquín-San Cristóbal, la planicie acumulativa lacustre que se encuentra dentro de esta subcuenca es el resultado de un colapso tectónico, lo cual permite la convergencia de diferentes drenes que fluyen hacia el W. Fueron estos procesos los que dieron origen a la subcuenca endorreica y que, a su vez, esto puede explicar el aislamiento de la población de *T. hildebrandi*.

Los ambientes morfogenéticos en la subcuenca Tzaconejá son estructural y erosivo, donde la falla Telestaquín-San Cristóbal, dio lugar a la cañada sedimentaria, además es probable que durante este proceso tectónico la subcuenca cambiara a exorreica ya que es posible que originalmente fuera una subcuenca cerrada (endorreica). Por acción de los procesos de plegamiento y fallas, y por la erosión remontante, la red hídrica tiene una dirección hacia el este. Debido a la naturaleza de las rocas calcáreas es posible que exista flujo subterráneo que se transfiere (oeste-este) a lo largo de la falla, y por lo tanto de probables conexiones hidrológicas entre las subcuencas río Amarillo y Tzaconejá (Figura 5 A, ventana 1).

Las subcuencas río Amarillo y Chenalhó presentan ambientes morfogenéticos distintos, como se mencionó anteriormente la subcuenca río Amarillo está constituida por un ambiente mixto, mientras que Chenalhó es más estructural, por la convergencia de distintas fallas y sinclinales. Estas subcuencas se encuentran separadas por emisiones y seudoestratos del volcán Tzontehuitz (Montaña volcánica con depósitos andesíticos y densidad alta), con lo cual quedan interrumpidas

las conexiones subsuperficiales, y esto representa una barrera geológica que separa a las poblaciones de *T. hildebrandi*, debido a que no existen afluentes superficiales que conecten ambas subcuencas. No obstante, podrían estar conectadas mediante drenaje subterráneo (Figura 5 A, ventana 2), ya que la subunidad de meseta kárstica subyace a los depósitos de la montaña volcánica.

Las subcuencas río Jataté y río la Virgen, comparten los ambientes morfogenéticos deposicional (planicies fluviales) y estructural por los sinclinales y anticlinales. No obstante, la subcuenca Jataté tiene una extensa área de relieve kárstico (disolucional). Las condiciones hidrológicas en el parteaguas que separa a las subcuencas (lomeríos calcáreos con karsticidad intensa), donde el drenaje superficial es escaso, por lo tanto, no existe una conexión superficial, sin embargo, dadas las condiciones del karts existe una alta infiltración y por ende una probable conexión subterránea (Figura 5 A, ventana 3), la separación de estas subcuencas se atribuye a procesos más recientes.

La dinámica hídrica que muestran las subcuencas Rosario y Jataté se explica mediante la unidad de mesa sedimentaria, dicha unidad muestra una alta infiltración en ambas subcuencas que da como resultado una conexión por afluentes subterráneos. Además, en el río principal de la subcuenca Jataté se observa un cambio abrupto de dirección del cauce al SE, que está ligado a procesos de falla (Falla Tenejapa-Oxchuc), captura fluvial y a un sinclinal, lo cual puede indicar que posiblemente la dirección del río originalmente era al NW y que pudo estar conectado y drenando hacia la subcuenca del río Rosario en la cual se observan ambientes morfogenéticos estructurales y disolucional. La falla Tenejapa-Oxchuc asociada a una falla normal cambia el curso de uno de los ríos principales (río Rosario) de la subcuenca Rosario, lo cual muestra conexiones por control tectónico (Figura 5B-ventana 4).

La unidad de relieve kárstico no permite observar un parteaguas bien definido entre las subcuencas Rosario, Jataté y Tzaconejá (Figura 5 B, ventana 4), por lo que es muy probable que estas subcuencas estén conectadas por medio de drenajes subterráneos. Y por consiguiente las poblaciones de *T. hildebrandi* pudieron quedar separadas más recientemente.

Los procesos geológicos pueden separar subcuencas y desviar flujos hídricos, también comunicar redes de drenaje y conectar subcuencas como se ha demostrado en este trabajo. Valdovinos et al., (2010) en un estudio realizado en la Patagonia Chilena con macroinvertebrados observaron que los organismos incrementaron su área de distribución a hábitats que cumplían con las condiciones ecológicas dentro de las cuencas. En este mismo estudio asocian el cambio de dirección del flujo

hídrico con la distribución de algunas especies, tal como sucede en las subcuencas río Amarillo, río Jataté y río Rosario, debido los procesos tectónicos, además de que dichos procesos pueden seguir activos y modelando el relieve (Marshall, 2007).

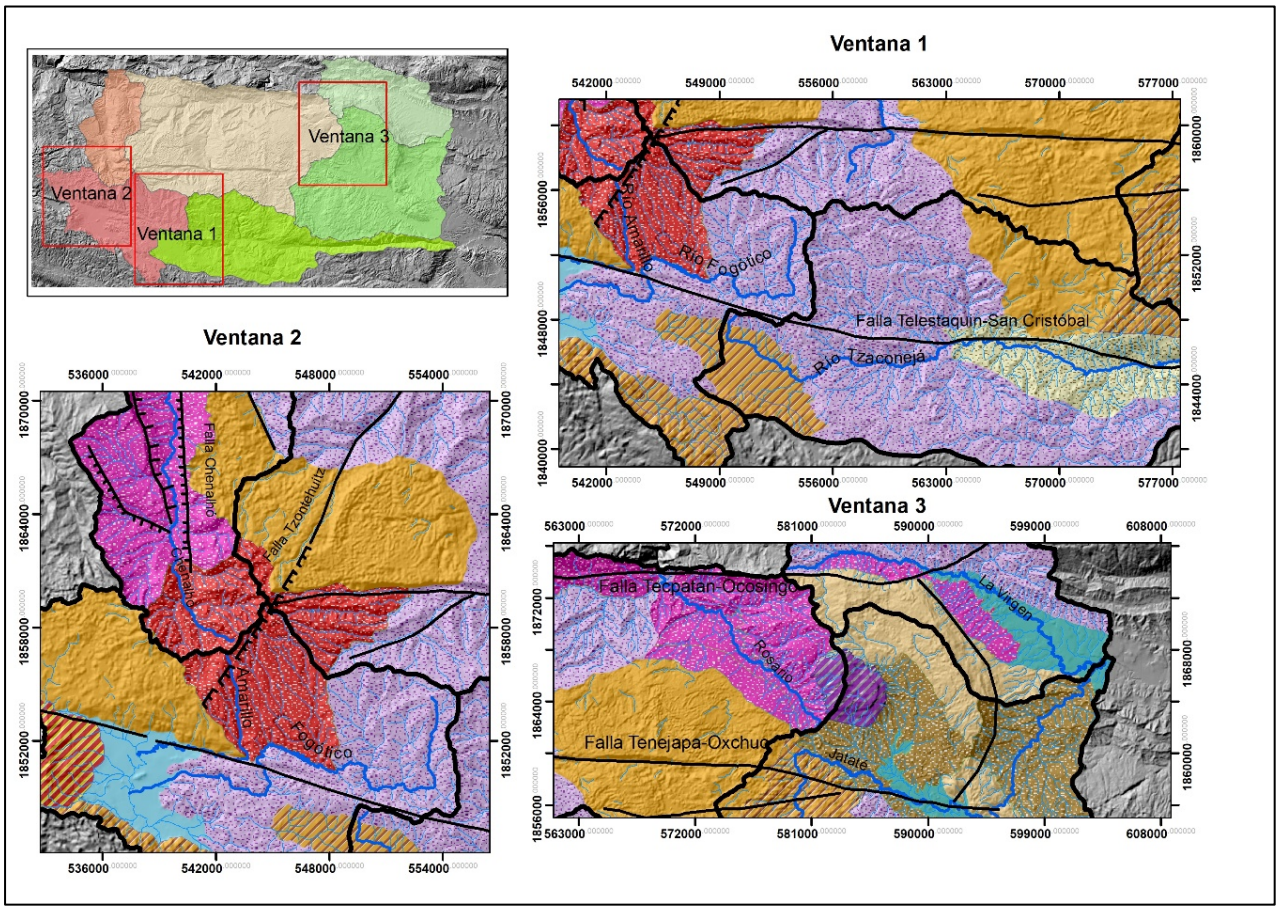


Figura 5 A. Mapa de ventanas que muestran las conexiones o separación de subcuencas por subunidades hidrogeomorfológicas. Fuente. Elaboración propia.

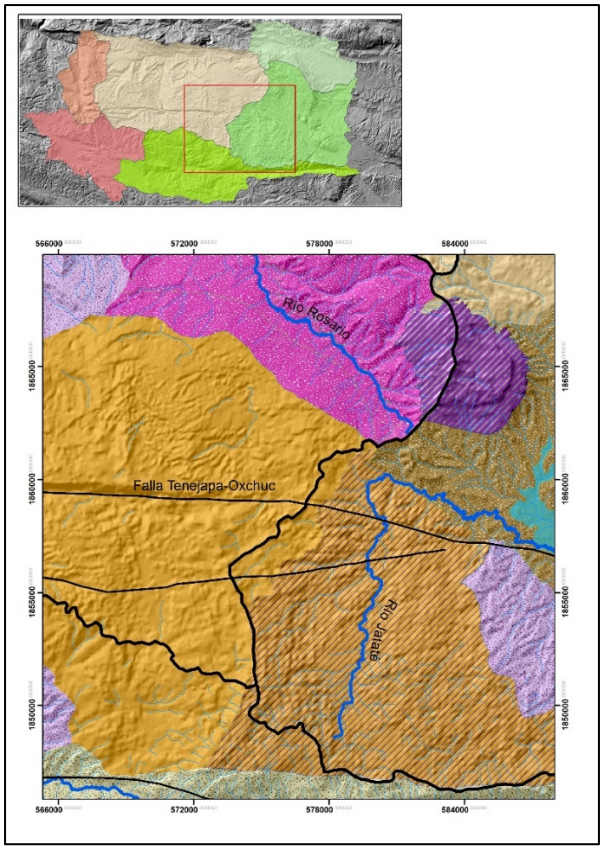


Figura 5 B. Mapa con ventana que muestra la conexión entre las subcuencas: Tzaconejá, Jataté y Rosario.

CONCLUSIONES

El presente estudio representa la primera caracterización de unidades hidrogeomorfológicas para los Altos de Chiapas, considerando esta caracterización como un elemento importante para explicar e identificar las unidades y procesos que han influido en la distribución actual del pez *T. hildebrandi*.

La metodología empleada permitió delimitar seis unidades, divididas en 12 subunidades hidrogeomorfológicas, que muestran la relación de la geología, geomorfología e hidrología de seis subcuencas del sistema hidrológico Grijalva-Usumacinta. La información obtenida muestra que los cambios geomorfológicos y geológicos registrados en la región han intervenido en la conectividad de afluentes superficiales, subsuperficiales y subterráneos, y por ende han influido en la configuración espacial de las poblaciones.

Las unidades reflejan la dinámica hídrica de las subcuencas, además ponen de manifiesto las características tectónicas, kársticas y volcánicas que han generado las conexiones subterráneas, separación de subcuencas y cambio de dirección de afluentes, así como la posibles historia geográfica y distribución actual de las poblaciones del pez endémico.

Las unidades que han formado y transformado el relieve y han influido en la distribución de la especie son: las montañas que son barreras geográficas y que separan subcuencas, y los lomeríos calcáreos que dividen las corrientes superficiales, pero que establecen conexiones subterráneas entre subcuencas.

Existen pocos estudios que resalten y relacionen la historia geológica con los procesos y características hidrogeomorfológicas, para explicar la distribución espacial de especies biológicas. Este estudio contribuye al conocimiento de la geodiversidad y su impacto en diferentes escalas, a través de explicar la importancia de la historia geológica y geomorfológica de Los Altos de Chiapas y las áreas de distribución actual de *T. hildebrandi*.

REFERENCIAS

Bocco, G. y Palacio, J. L. (2014). La contribución de la investigación geomorfológica en la cuestión ambiental en México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*. (83), 6-27. doi: 10.14350/rig.34421.

Bollo, M. M, y Hernández. S. J. R. (2008). Paisajes físico-geográficos del noroeste del estado de Chiapas, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. (66), 7-24. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188461120080002000002&lng=es&tlng=es.

Burke, J. J. (1995). Hydrogeological Provinces in Central Sudan: Morphostructural and Hydrogeomorphological Controls. En: Brown, A. G. (Ed), Geomorphology and Groundwater. *Wiley.*

Campo de Ferras, A.M., y Munguía, S. I. (2003). Características hidro-geomorfológicas de la cuenca del Arroyo Pescado Castigado, Buenos Aires, Argentina. *Papeles de Geografía*, (38), 137-150. Recuperado de: https://revistas.um.es/geografia/article/view/46021.

Carfantan, J. C., (1981). Evolución estructural de méxico: Paleogeografia e historia tectónica de las zonas internas Mesozoicas. *Revista Mexicana de ciencias Geológicas, Instituto de Geología. 5* (2), 207-216.

Castro, M. J. (1999). Monografía geológico minera del estado de Chiapas Mapa Escala 1:500,000. *Consejo de Recursos Minerales: SECOFI, Coordinación General de Minería.* 30-70.

Delong, M. D., Thoms, M. C., and Sorenson, E. (2019). Interactive effects of hydrogeomorphology on fish community structure in a large floodplain river. *Ecosphere. 10* (5). 1-19. DOI: 10.1002/ecs2.2731. Recuperado de: https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ecs2.2731.

Doadrio, I., Carmona, J. A., Martínez, E., y De Sostoa, A. (1999). Genetic variation and taxonomic analysis of the subgenus *Profundulus. Journal of Fish Biology*, 55, 751–766. DOI: 10.1111/j.1095-8649.1999.tb00715. Recuperado de: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1095-8649.1999.tb00715.x.

Domínguez, C. S., Velázquez- Velázquez, V. E., Anzueto, C. M., Gómez G. A., Liévano, T. J., Matamoros, W. (2017). Ampliación de la distribución geográfica del popoyote de San Cristóbal *Tlaloc hildebrandi* (Miller 1950), (Cyprinodontiformes: Profundulidae). *Lacandonia, Revista de Ciencias de la UNICACH, 11* (2). 13-18.

Durán, C. I., Escolero, F. O., Muñoz, S. E., Castillo, R. M., Silva, R. G. (2014). Cartografía geomorfológica a escala 1:50000 del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas (México). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. *66* (2), 263–277. DOI: 10.18268/bsgm2014v66n2a4 Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v66n2/v66n2a5.pdf.

Espíritu, T. G. (1998). Evaluación de la disponibilidad de agua mediante el análisis geográfico en la Cuenca San Cristóbal, Chiapas. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México: (Tesis de maestría). El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). San Cristóbal de las Casas. Chiapas.

Espíritu, T. G. y Rodiles-Hernández. R. (2013). La Cuenca del Río Amarillo y los Humedales de Montaña. En: Cruz, A., Melgarejo, E. D., Camacho, R. F., Nájera, K. C. (Cord), La Biodiversidad de Chiapas: Estudio de Estado. (pp. 58-61). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (conabio) y Gobierno del Estado de Chiapas, México.*

García, G. J. G., y Lugo, H. J. (1992). Las formas del releve y los tipos de vegetación en la Selva Lacandona. En Vásquez, S. M. A y Ramos, O. M. A. (Eds) Reserva de la Biosfera Montes Azules, Selva Lacandona: Investigación para su conservación. *ECOSFERA Centro de Estudios Para la Conservación de los Recursos Naturales.*

García. A, M y Lugo, H. J. (2003). El relieve Mexicano en mapas topográficos. Primera edición. *Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.* (5). P.148.

González-Díaz. A. (2013). Acerca de un género endémico *Profundulus* Hubbs 1924 (Cyprinodontiformes: Profundulidae). En: Cruz, A., Melgarejo, E. D., Camacho, R. F., Nájera, K. C. (Cord), La Biodiversidad de Chiapas: Estudio de Estado. (pp. 298-300). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) y Gobierno del Estado de Chiapas, México.*

Górski, K., Buijse, A. D., Winter, H. V., De Leeuw, J. J., Compton, T. J., Vekhov, D. A., Zolotarev, D. V., Verreth, J. A. J y Nagelkerke, L. A. J. (2012). Geomorphology and flooding shape fish distribution in a large-scale temperate floodplain. *River Research and Applications*. 30 (29), 1226–1236. DOI: 10.1002/rra.2610. Recuperado de: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/rra.2610.

Gutiérrez, E. M. (2008). Geomorfología kárstica. En Geomorfología: (pp. 175-227)., Pearson-Prentice Hall.

INEGI. (1984). Carta climática. Tuxtla Gutiérrez (E15-11). Escala 1:250 000. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/#Descargas.

INEGI. (1989). Carta de Aguas superficiales. Escala 1:250 000. Serie I. Tuxtla Gutiérrez (E15-11). Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825683160.

Lugo, H. J. (1988). Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos Cartográficos): Primera edición. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía*, 128.

Lugo, H. J. (1990). El relieve de la República Mexicana. *Revista Mexicana de ciencias Geológicas, Instituto de Geología. 9* (1), 82-111. Recuperado de: http://satori.geociencias.unam.mx/index.php/rmcg/article/view/1255.

Lugo, H. J. (2011). Diccionario Geomorfológico. Universidad Autónoma de México. México, D.F.

Marshall, J. S. (2007). Geomorphology and Physiographic Provinces of Central America: En: Bundschuh, J. and Alvarado, G., eds., Central America: Geology, Resources, and Hazards, Taylor and Francis, London, p 75-122.

Mary, E. P., William, E. D., Jacques, C. F. (1996). Dams and downstream aquatic biodiversity: Potential food web consequences of hydrologic and geomorphic change. *Environmental Management*. *20*. (6), 887-895. DOI: 10.1007/BF01205969. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/226384633.

Miller, R., (1950). Profundulus hildebrandi, a new cyprinodontid fish from Chiapas, México. *Copeia*. *American Society of Ichthyologists and Herpetologists. 1950* (1), 22-30. DOI: 10.2307/1437578. Recuperado de: https://www.jstor.org/stable/1437578.

Mora, P. L., Bonifaz., R., y Lopez, M R. (2016). Unidades geomorfologicas de la cuenca del Río Grande de Comitan, Lagos de Montebello, Chiapas-Mexico. *Boletín de la Sociedad Geologica Mexicana. 68* (3), 377-394. DOI: 10.18268/bsgm2016v68n3a1. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222016000300377.

Mullerried, F. K. G. (1957). Geología de Chiapas. Primera edición, México.

Ortega-Gutiérrez, F., Mitre, S. L., Roldán Q. J., Aranda, G. J., Morán, Z. D., Alaniz, A. A., Nieto S. A. (1992). Carta Geológica de la República Mexicana Escala 1:2,000,000. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología y Consejo de Recursos Minerales.*

Padilla, J. R. (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. 51* (1), 19-42. DOI: 10.18268/bsgm2007v59n1a3. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222007000100019.

Schmitter, S. J. y Vega, C. M. (2019). *Tlaloc hildebrandi*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2019: e.T169366A1274187. Recuperado de: https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T169366A1274187.en.

Schumm, S. A. (1988). Variability of the fluvial system in space and time. En T. Rosswall, R. G. Woodmansee, and P. G. Risser, editors. Scales and global change. John Wiley and Sons, Chichester, UK. 225–250.

Semarnat (*Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre, segunda sección: 1-77.

Serrano, C. E. y Ruiz, F. P. (2007). Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial. el caso de tiermes caracena (Soria). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. (45). 79-98. Recuperado de: https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/640/0.

Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2013), Carta E-15-11 GEOLOGICO-MINERA. Centro de documentación digital. Cartas, disponible en http://mapserver.sgm.gob. mx/Cartas_Online/metadatos_geol.

Valdovinos, C., Kiessling, A., Mardones, M., Moya, C., Oyanedel, A., Salvo, J., Olmos, V., Parra, Ó. (2010). Distribución de macroinvertebrados (Plecoptera y Aeglidae) en ecosistemas fluviales de la Patagonia chilena: ¿Muestran señales biológicas de la evolución geomorfológica postglacial?. *Revista chilena de historia natural*. 83 (2), 267-287. DOI: 10.4067/S0716-078X2010000200008. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2010000200008.

Van Zuidam, R.A., 1986, Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping: Hague, Netherlands, Smits, 442 .

Velázquez-Velázquez, E., Domínguez, R.E., Domínguez, C. S., Hernández. S. J., Rodríguez. M. R. (2007). Monografía de *Profundulus hildebrandi* Miller, 1950, pez endémico de Chiapas. *Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas*.

Volanté. A. & Gil, V. (2019). Aportes de la hidrogeomorfología histórica en la determinación de áreas inundables a partir de eventos extremos de crecidas. Revista Huellas Volumen 23, Nº 1, Instituto de Geografía, EdUNLPam: Santa Rosa. Recuperado a partir de:http://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/huellas.

Zinck, J. A. (2012). Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. ITC Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands.

CAPITULO III

Conclusiones y consideraciones finales

Este estudio representa el primer trabajo de unidades hidrogeomorfológica para la región de Los Altos de Chiapas, al mismo tiempo pone de manifiesto la relevancia de elementos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos de los paisajes, que influyen en la distribución de especies biológicas.

Las seis unidades hidrogeomorfológicas presentan excelentes elementos de análisis para entender la compleja geodiversidad de la región. Cada una de ellas desempeña un papel único e importante en la historia geológica evolutiva de la zona de estudio, ya que nos muestran los procesos geológicos a través de los cuales se conformaron y los procesos geomorfológicos e hídricos que las transforman. Las 12 subunidades nos permiten entender con mayor detalle el comportamiento hidrológico entre subcuencas (conexiones y/o separaciones), por medio de la baja o alta permeabilidad y del escurrimiento superficial y subterráneo.

Los procesos tectónicos, volcánicos y kársticos, y las unidades hidrogeomorfológicas permiten establecer hipótesis y entender las conexiones o separaciones entre subcuencas que han influido en la distribución actual de *T. hildebrandi*. La subcuenca río La Virgen ubicada al noreste de la región probablemente es la que tiene mayor tiempo de separación, debido a que los procesos geológicos de plegamiento y fallas del Mioceno son los eventos geológicos más antiguos. Posteriormente, la desconexión de la subcuenca Jataté, donde el río principal (Jataté) cambió abruptamente de dirección por acción de la falla Tenejapa-Oxchuc, es probable que antes de los procesos tectónicos presentara una dirección de flujo al norte, hacia la subcuenca río Rosario, mientras que ahora fluye al noreste, para unirse a la subcuenca río La Virgen.

Finalmente, las subcuencas que posiblemente pueden tener menos tiempo de separación son: río Amarillo, río Chenalhó, río Rosario y río Tzaconejá, esto se deduce a partir de las estructuras geológicas, ya que la unidad de montaña volcánica (Tzontehuitz) se formó en el Cuaternario y forma parte de las estructuras más recientes, esta es la unidad que

ha modificado el sistema hidrológico, probablemente antes conectando por flujos subsuperficiales y subterráneos a las subcuencas río Amarillo y río Chenalhó. Una de las unidades que más ha influido es la unidad de relieve kárstico, dadas sus características de rocas altamente permeables y solubles, nos muestran una red hídrica desorganizada y sin direcciones claras, por lo que es posible que algunas subcuencas se encuentren conectadas subterráneamente.

La escala permitió tener un nivel de detalle alto lo cual da la pauta para que la información sea utilizada en investigaciones posteriores, por un lado, permite definir áreas de conservación en las zonas de distribución del pez, y relacionar la historia de la evolución geológica con otras especies biológicas. También puede servir de base para identificar áreas prioritarias de recarga de acuíferos donde será necesario generar información más precisa y con otro nivel de detalle.

Gracias a todos los elementos de análisis suministrados por el SIG se han podido desarrollar aproximaciones en la evolución de los parteaguas de primer orden. En éstos la separación entre las cuencas Usumacinta y Grijalva muestra alteraciones o modificaciones que en el pasado pudieron haber sido muy diferentes, clave para explicar la dispersión de especies dulceacuícolas.

Se requieren estudios enfocados en la genética y taxonomía de las poblaciones, para abordar los aspectos biogeográficos de la especie. Y de esta manera poder robustecer las hipótesis que se plantean en esta investigación sobre las rutas de distribución de *T. hildebrandi*.

Literatura citada

Bocco G, Palacio-Prieto J L. 2014. La contribución de la investigación geomorfológica en la cuestión ambiental en México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. ISSN 0188-4611. (83): 6-27.

Bollo M, Hernández S J R. 2008. Paisajes físico-geográficos del noroeste del estado de Chiapas, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. (66): 7-24.

Camacho-Valdez V, Tello-Alcaide E M, Wootton A, Valencia-Barrera E. 2019. Land Use Change and Urban Ecosystem Services: A Case Study of Urban Wetlands in a Rapidly Sprawling City in the Highlands of Chiapas, Mexico. Journal of Management and Sustainability. 9 (1): 67-81.

Delong M D, Thoms M C, Sorenson E. 2019. Interactive effects of hydrogeomorphology on fish community structure in a large floodplain river. Ecosphere. 10 (5):1-19.

Doadrio I, Carmona J A, Martínez E, De Sostoa A. 1999. Genetic variation and taxonomic analysis of the subgenus Profundulus. Journal of Fish Biology. 55. 751–766.

Domínguez Cisneros S, Velázquez-Velázquez E, Anzueto Calvo M, Gómez González A, Liévano Trujillo J, Matamoros W. 2017. Ampliación de la distribución geográfica del popoyote de San Cristóbal *Tlaloc hildebrandi* (Miller 1950), (Cyprinodontiformes: Profundulidae). Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 11 (2): 13-18.

Durán C I, Escolero F O, Muñoz S E, Castillo R M, Silva R G. 2014. Cartografía geomorfológica a escala 1:50000 del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas (México). Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 66 (2): 263–277.

Espíritu Tlatempa G, Rodiles-Hernández R. 2013. La Cuenca del Río Amarillo y los Humedales de Montaña. La Biodiversidad de Chiapas estudio de caso. En: Cruz A, Melgarejo E D, Camacho R F, Nájera K C. (Cord), La Biodiversidad de Chiapas: Estudio de Estado. (pp. 58-61).

García Arizaga M T, Lugo Hubp J. 2003. El relieve Mexicano en mapas topográficos. Primera edición: noviembre 2003. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.

García G J G, Lugo-Hubp J. 1992. Las formas del releve y los tipos de vegetación en la Selva Lacandona. En Vásquez, S. M. A y Ramos, O. M. A. (Eds) Reserva de la Biosfera Montes Azules, Selva Lacandona: Investigación para su conservación. ECOSFERA Centro de Estudios Para la Conservación de los Recursos Naturales.

Górski K, Buijse A D, Winter H V, De Leeuw J J, Compton T J, Vekhov D A, Zolotarev D V, Verreth J A J, Nagelkerke L A J. 2012. Geomorphology and flooding shape fish distribution in a large-scale temperate floodplain. River Research and Applications. 30 (29): 1226–1236.

Lugo-Hubp J. 1990. El relieve de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Revista, México, DF.9 (1): 82-111.

Miller R, Minckley W L, Norris S M. 2005. Frashwater fishes of Mexico. University of Chicago Prees, Chicago.

Miller R. 1950. Profundulus hildebrandi, a new cyprinodontid fish from Chiapas, México. Copeia, 1950 (1): 22-30.

Miller R. 1955. A systematic review of the Middle American fishes of the genus *Profundulus*. Miscellaneous Publications Museum of Zoology, University of Michigan 92. 1 - 64.

Mora P L, Bonifaz R, Lopez-Martinez R. 2016.- Unidades geomorfologicas de la cuenca del Río Grande de Comitan, Lagos de Montebello, Chiapas-Mexico. Boletín. De la Sociedad Geologica Mexicana. 68 (3): 377-394.

Morán-Zenteno D, Martiny B, Tolson G, Solís Pichardo G, Alba Aldave L, Hernández-Bernal M del S, Macías-Romo C, Martínez-Serrano R G, Schaaf P, Silva-Romo G. 2000. Geocronología y características geoquímicas de las rocas magmáticas terciarias de la Sierra Madre del Sur: Bol. de la Sociedad Geológica Mexicana. (1): 27-58.

Mullerried F K G. 1957. Geología de Chiapas. Primera edición, México.

Ornelas-García C P, Martínez-Ramírez E, Doadrio I. 2015. A new species of killifish of the family Profundulidae from the highlands of the Mixteca region, Mexico. Revista Mexicana de Biodiversidad, 86 (4): 926-933.

Padilla J R. 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.. Universidad Nacional Autónoma de México, 52 (1): 19-42.

Schmitter S J, Vega C M. (2019). *Tlaloc hildebrandi.* The IUCN Red List of Threatened Species 2019.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Protección ambiental Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre, segunda sección: 1-77. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

Servicio Geológico Mexicano (SGM). 2013, Carta E-15-11 GEOLOGICO-MINERA. Centro de documentación digital. Cartas, disponible en http://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/metadatos_geol.

Valdovinos C, Kiessling A, Mardones M, Moya C, Oyanedel A, Salvo J, Olmos V, Parra Ó. 2010. Distribución de macroinvertebrados (Plecoptera y Aeglidae) en ecosistemas fluviales de la Patagonia chilena: ¿Muestran señales biológicas de la evolución geomorfológica postglacial?. Revista chilena de historia natural. 83 (2): 267-287.

Velázquez-Velázquez E, Domínguez-Ruiz E, Domínguez-Cisneros S, Hernández-Sánchez J, Rodríguez-Martínez R. 2007. Monografía de *Profundulus hildebrandi* Miller, 1950, pez endémico de Chiapas (Primera ed.). Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México: UNICACH.

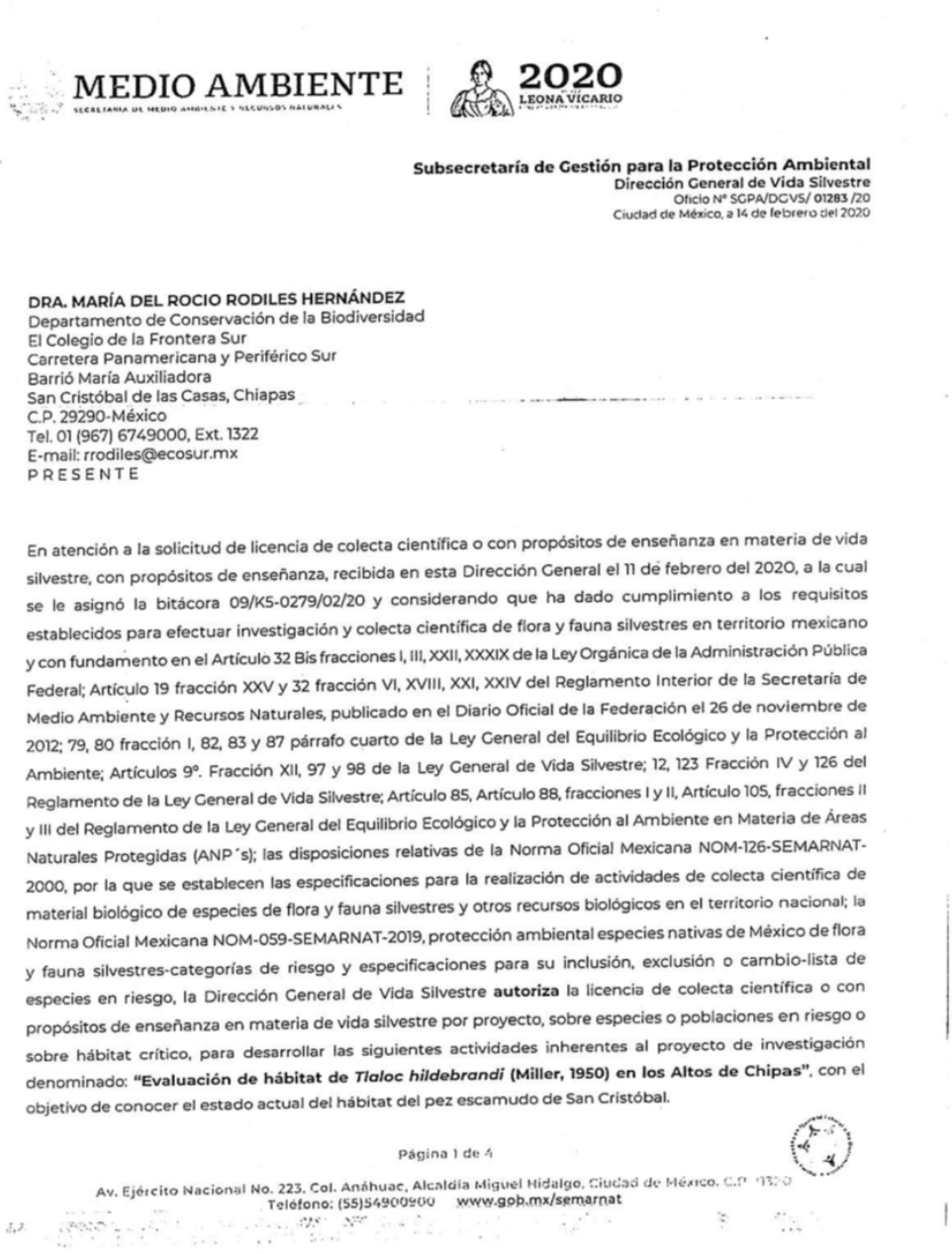
Velázquez-Velázquez E, Schmitter-Soto J J. 2004. Conservation status of *Profundulus hildebrandi* Miller (Teleostei: Profundulidae) in the face of urban growth in Chiapas, México. Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst. 14: 201 -209.

Volanté A, Gil V. 2019. Aportes de la hidrogeomorfología histórica en la determinación de áreas inundables a partir de eventos extremos de crecidas. Revista Huellas. 23 (1).

Anexos

Permiso de colecta

Las recomendaciones para la colecta y protección de peces en peligro de extinción en México se cumplieron a cabalidad y para lo cual se obtuvo el permiso oficial correspondiente de SEMARNAT-SGA/DGVS/01283/20.



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

2020
LEONA VICARIO

Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental
Dirección General de Vida Silvestre
Oficio N° SGPA/DGVS/ 01283 /20
Ciudad de México, a 14 de febrero del 2020

DRA. MARÍA DEL ROCIO RODILES HERNÁNDEZ
Departamento de Conservación de la Biodiversidad
El Colegio de la Frontera Sur
Carretera Panamericana y Periférico Sur
Barrió María Auxiliadora
San Cristóbal de las Casas, Chiapas
C.P. 29290-México
Tel. 01 (967) 6749000, Ext. 1322
E-mail: rrodiles@ecosur.mx
PRESENTE

En atención a la solicitud de licencia de colecta científica o con propósitos de enseñanza en materia de vida silvestre, con propósitos de enseñanza, recibida en esta Dirección General el 11 de febrero del 2020, a la cual se le asignó la bitácora 09/K5-0279/02/20 y considerando que ha dado cumplimiento a los requisitos establecidos para efectuar investigación y colecta científica de flora y fauna silvestres en territorio mexicano y con fundamento en el Artículo 32 Bis fracciones I, III, XXII, XXXIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; Artículo 19 fracción XXV y 32 fracción VI, XVIII, XXI, XXIV del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 26 de noviembre de 2012; 79, 80 fracción I, 82, 83 y 87 párrafo cuarto de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; Artículos 9°. Fracción XII, 97 y 98 de la Ley General de Vida Silvestre; 12, 123 Fracción IV y 126 del Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre; Artículo 85, Artículo 88, fracciones I y II, Artículo 105, fracciones II y III del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Áreas Naturales Protegidas (ANP´s); las disposiciones relativas de la Norma Oficial Mexicana NOM-126-SEMARNAT-2000, por la que se establecen las especificaciones para la realización de actividades de colecta científica de material biológico de especies de flora y fauna silvestres y otros recursos biológicos en el territorio nacional; la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2019, protección ambiental especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo, la Dirección General de Vida Silvestre **autoriza** la licencia de colecta científica o con propósitos de enseñanza en materia de vida silvestre por proyecto, sobre especies o poblaciones en riesgo o sobre hábitat crítico, para desarrollar las siguientes actividades inherentes al proyecto de investigación denominado: **"Evaluación de hábitat de *Tlaloc hildebrandi* (Miller, 1950) en los Altos de Chipas"**, con el objetivo de conocer el estado actual del hábitat del pez escamudo de San Cristóbal.

Página 1 de 4

Av. Ejército Nacional No. 223, Col. Anáhuac, Alcaldía Miguel Hidalgo, Ciudad de México, C.P. 11320
Teléfono: (55)54900900 www.gob.mx/semarnat

Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental
Dirección General de Vida Silvestre
Oficio N° SGPA/DGVS/ **01283** /20
Ciudad de México, a 14 de febrero del 2020

- Colecta de hasta dos (02) ejemplares de peces escamudo de San Cristobal ***Tlaloc hildebrandi*** por localidad de colecta.

- ***Contención de ejemplares de*** peces escamudo de San Cristobal ***Tlaloc hildebrandi*** para obtención de corte de aleta caudal, registro de talla y su liberación inmediata en el área de captura.

Las actividades se llevarán a cabo en las siguientes localidades: **Altamirano, Chanal, Chalchihuitan, Chenalhó, Mitontic, San Juan Cancúc, Huixtan, Ocosingo, Oxchuc y Chilon, estado de Chiapas, fuera de áreas naturales protegidas.** Esta autorización tendrá una **vigencia de un (01) año** a partir de la expedición de la presente.

Las actividades se realizarán con el aval de El Colegio de la Frontera Sur y con la colaboración de los CC. Alfonso Ángel González Díaz y Carmela Xochitla Castrejón, y debiendo sujetarse obligatoriamente el titular y los colaboradores a las siguientes condiciones:

1.- Deberá cumplir con las disposiciones Administrativas, Fiscales y de Sanidad exigibles por las autoridades competentes en la Materia, sean Federales, Estatales o Municipales, así como con las disposiciones establecidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en Materia de Áreas Naturales Protegidas y demás disposiciones legales aplicables.

2.- En la realización del proyecto propuesto, se responsabilizará al titular de la investigación de cualquier impacto significativo que resulte sobre las poblaciones de la flora o fauna silvestre y sus hábitats, por lo que deberá considerar el riesgo de perturbación del ecosistema, antes de su ejecución y no llevarlo a cabo si existe algún riesgo.

3.- Previo al inicio de las actividades de campo, deberá enviar obligatoriamente por escrito y utilizando cualquier medio su programa de trabajo a las Delegación Federal de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en el **estado** de **Chiapas** 01 (961) 617 5012, enviando copia del mismo a la Dirección General de Vida Silvestre. De igual manera, al término de dichas actividades lo notificará a esas Delegaciones Federales, enviándole un reporte detallado por escrito.

Av. Ejército Nacional No. 223, Col. Anáhuac, Alcaldía Miguel Hidalgo, Ciudad de México. C.P. 11320
Teléfono: (55)54900900 www.gob.mx/semarnat

Ejemplares de *Tlaloc hildebrandi* colectados.

Sitios nuevo de registros de *T. hildebrandi*.

Río Chacté, Municipio San Juan Cancuc.

Río Huixtán, municipio Huixtán.

Río Florida, municipio Oxchuc.

Principales formaciones geológicas de Los Altos de Chiapas

Montañas plegadas con erosión y escurrimiento alto, y eje de falla. Al sur de la región.

Montaña volcánica con depósitos andesíticos y red fluvial escasa (Volcán Huitepec). Al oeste de región.

Montañas en bloque con erosión y densidad alta, y eje de la falla lateral sinestral Tecpatán-Ocosingo, Al norte de la región.

Cañón de la subcuenca Río Rosario, producto de los movimientos laterales de la falla, en la porción norte.

Cambio de dirección de flujo del río Amarillo de este a oeste. Al oeste de la región.

Remanente de humedales de montañas, Laguna del Soyul, dentro de la subcuenca río Amarillo en la porción noreste.

Estructura geológica, sinclinal, en la subcuenca río Chenalhó, al oeste de la región.

Bloque de la falla Chenalhó, en la porción oeste.

Relieve kárstico, dentro de la subcuenca río Rosario, en la porción centro de la región.

En la Meseta kárstica del Cretácico Inferior-Superior, con permeabilidad alta, se observan dolinas con alta disolución.

Depósitos continentales de capas rojas, dentro de la subcuenca Tzaconejá, en la porción sur.