



Cartografía geomorfológica a escala 1:50000 del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas (México)

Iisel Durán Calderón^{1,*}, Oscar Escolero Fuentes¹, Esperanza Muñoz Salinas¹,
Miguel Castillo Rodríguez¹, Gilberto Silva Romo²

¹ Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica, Ciudad Universitaria, México, DF, 04510, México.

² Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, Ciudad Universitaria, México DF, 04510, México

* anaducal@geociencias.unam.mx

Resumen

La cartografía geomorfológica tiene como objetivo identificar y delimitar las formas del relieve y es la principal herramienta para estudios ambientales. La información que se obtiene funge como la base para estudios sobre evolución del relieve, de ordenamiento territorial, biofísicos y para investigaciones geológicas detalladas. Este trabajo presenta y analiza la cartografía geomorfológica a escala 1:50000 para el Parque Nacional Lagunas de Montebello, localizado en el sector suroriental del Estado de Chiapas (México), con la finalidad de aportar un documento que sirva como base geoespacial a futuros estudios sobre la calidad de las aguas en la zona. El territorio del Parque está compuesto principalmente por rocas carbonatadas altamente afectadas por procesos kársticos. Para obtener la cartografía, se utilizó una metodología basada en el reconocimiento de geoformas durante el trabajo de campo y en la obtención y tratamiento de la información morfométrica y geológica en un sistema de información geográfica (SIG). En el mapa final se identificó un total de 17 unidades geomorfológicas que se agruparon en 4 conjuntos. Éstos son: 1) Endógeno estructural plegado, 2) Exógeno acumulativo, 3) Exógeno denudativo fluvio-kárstico y 4) Exógeno denudativo kárstico. A partir de la interpretación de las unidades geomorfológicas obtenidas en este estudio, se concluye que en el Parque existe una relativa heterogeneidad morfológica y de origen del relieve, a pesar de la homogeneidad litológica, la cual podría explicarse por la interacción de los procesos kársticos (exógenos) y tectónicos (endógenos) que tienen lugar en la zona. Además, se concluye que existen en el área de estudio dos grupos de dolinas y uvalas que se pueden distinguir por sus características morfológicas. Estudios más detallados se requieren para conocer su origen.

Palabras clave: Cartografía geomorfológica, SIG, Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, ITC-Enschede.

Abstract

The objective of geomorphological mapping is to identify and delimit landforms, and it is the main tool for environmental studies. Information obtained from geomorphological mapping based on the study of landscape evolution, urban planning, biophysics, and detailed geological researches. This work presents and analyzes a 1:50000 scale geomorphological map of Lagunas de Montebello National Park, located in the southeastern part of Chiapas State (Mexico), and has the goal of providing a document with basic geospatial information apt for use in future studies of water quality in the area. Carbonate rocks, highly affected by karstic processes, are dominant in the park. Cartography was done using a methodology based on field-work analysis and the use of a geographical information system (GIS). A total of 17 geomorphological units, classified in 4 sets, were identified in the final map: 1) Endogenous Structural folding, 2) Exogenous Cumulative, 3) Exogenous Erosive Fluvio-Karst, and 4) Exogenous Erosive Karst. We conclude from the interpretation of the geomorphological units identified in this research that the park is quite heterogenous, both morphologically and genetically, although lithologically homogeneous, which may be due to the local interactions between karstic (exogenous) processes and tectonics

(endogenous). Moreover, two groups of dolinas and uvalas in the area were distinguished by their morphological characteristics. The origin of these two groups requires further studies.

Keywords: Geomorphological mapping, GIS, Lagunas de Montebello National Park, Chiapas, ITC-Enchede.

1. Introducción

El Parque Nacional Lagunas de Montebello fue declarado Área Natural Protegida en el año 1959 con motivo de ser una región de gran importancia ambiental debido a lo singular de su biodiversidad y de sus recursos hidrológicos. Este entorno contiene una densa vegetación arbórea que contribuye a la absorción de gases invernadero, a la preservación de valores paisajísticos y la conservación de los suelos (UNESCO, 2009). Además, el parque supone una fuente de recursos hídricos y forestales para las comunidades que se asientan en sus inmediaciones, las cuales corresponden a dos grupos étnicos de origen Maya: éstos son Mame y Chuj. Dentro del polígono del parque se encuentra la comunidad de Tziscac, misma que hace uso de algunas porciones de tierra dentro del parque para fines agrícolas orgánicos (principalmente café). Del mismo modo, en las cercanías del parque otras comunidades hacen uso de porciones de tierras, cada vez más extensas, para el cultivo de café, frijol, jitomate y maíz, en donde para la mayoría de estos cultivos se utilizan agroquímicos (principalmente fertilizantes y plaguicidas) que potencializan la productividad. Desde hace unos años, se detectó un problema de contaminación del agua en distintos cuerpos lacustres situados al interior del parque. Esto podría estar relacionado con la ampliación de zonas de cultivo en las afueras de la reserva, lo que conllevaría un aumento en el uso de agroquímicos que podrían estar relacionados con la contaminación del agua en los distintos cuerpos del sistema lagunar. Diversas instituciones y organizaciones, entre las que se encuentran: la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) a través de los institutos de Geología, Geofísica, Biología, Ecología, de Ciencias del Mar y Limnología, así como la Universidad Autónoma de Metropolitana (UAM) y el Instituto para el Desarrollo Sustentable en Mesoamérica, A.C. (IDESMAC), han comenzado a estudiar la región con la finalidad de comprender la raíz del problema de contaminación de las aguas en el parque y proponer medidas paliativas. En este marco de referencia, el presente trabajo pretende aportar, ante su ausencia, una cartografía geomorfológica del Parque Nacional Lagunas de Montebello, que sirva como información geoespacial de base para futuros trabajos de investigación sobre la calidad del agua en el parque.

La cartografía geomorfológica ha demostrado su utilidad como información de base en estudios sobre la evolución del relieve, así como para investigaciones geológicas detalladas, estudios ambientales, de ordenamiento territorial y biofísicos, entre otros (Lugo-Hubp, 1988, 1989; Pedraza-

Gilsanz, 1996; Peña-Monné, 1997).

Existen distintas escuelas que presentan propuestas metodológicas para realizar la cartografía geomorfológica, como es la del Instituto de Ciencias Cartográficas (Mapping Sciences Institute) de Australia y la de la organización de alimentación y agricultura de las Naciones Unidas (Food and Agriculture Organization of the United Nations), conocida por las siglas de FAO. Estas dos propuestas tienen la finalidad de obtener y manejar información geoespacial para generar datos cartográficos, generalmente a nivel regional (MSIA, 2014). Para la elaboración de la cartografía que se presenta en este trabajo, se consultaron diversas propuestas de mapeo con el fin de proponer una metodología de trabajo que permitiese la elaboración de una cartografía geomorfológica en un espacio local, como es el Parque Nacional de Lagunas de Montebello, el cual tienen una superficie de ~60 km². Entre los trabajos consultados para apoyar la metodología utilizada en este estudio, figuran los del Instituto Internacional de Ciencias de la Geoinformación y Observación de la Tierra de los Países Bajos (ITC-Enschede) considerando los aportes de Verstappen y Van Zuidam (1991). Así mismo, se consultaron las propuestas cartográficas presentadas por Lugo-Hubp (1989), Pedraza-Gilsanz (1996) y Peña-Monné (1997). De cada una de las mencionadas propuestas, se seleccionaron los elementos que mejor se adaptaron a las necesidades del trabajo y a las características de la zona de estudio.

De esta manera, la metodología utilizada en este trabajo se basó en la delimitación y mapeo de las unidades geomorfológicas siguiendo los fundamentos de mapeo del sistema para el levantamiento y mapeo geomorfológico del ITC-Enschede, el cual considera la morfogénesis un factor principal. La elaboración de la leyenda se basó en la propuesta de Peña-Monné (1997), el cual contempla símbolos puntuales, lineales, superficiales y gamas de colores específicos. Para la clasificación genética de las unidades geomorfológicas y el análisis cuantitativo, se utilizaron las propuestas de Pedraza-Gilsanz (1996) y Lugo-Hubp (1988). Además, para la interpretación y delimitación de unidades geomorfológicas, se dio especial importancia a las observaciones realizadas durante trabajo de campo y al procesamiento de la información topográfica y geológica con un sistema de información geográfica (SIG).

De lo anterior se desprende el objetivo de este trabajo, el cual es elaborar un mapa donde se presentan las principales unidades geomorfológicas del Parque Nacional Lagunas de Montebello a escala 1:50000.

2. Área de estudio

La zona de estudio se localiza al sureste del Estado de Chiapas, muy cerca del límite fronterizo con Guatemala. Entre los paralelos $16^{\circ} 5'$ y $16^{\circ} 10'$ de latitud norte y los meridianos $91^{\circ} 38'$ y $91^{\circ} 47'$ de longitud oeste (Figura 1). El Parque Nacional Lagunas de Montebello cubre un área total de unos 60 km^2 y se distribuye a lo largo del intervalo altitudinal de $1200 - 1800 \text{ msnm}$. El clima predominante en la zona de estudio es templado húmedo a subhúmedo con lluvias todo el año (García-Amaro, 1988). La temperatura media anual es de $\sim 17^{\circ}\text{C}$ y la precipitación total anual es de $\sim 1800 \text{ mm}$ (CONANP, 2011). Estas condiciones climáticas características de la zona favorecen una diversidad en el tipo de suelos, vegetación y fauna que se puede encontrar en el parque. Los tipos de suelo son: litosoles, rendzinas, vertisoles, acrisoles, fluvisoles y gleysoles (Vázquez-Sánchez y Méndez-Gómez, 1994). La vegetación se engloba dentro del bosque de clima templado, cuyas asociaciones son: bosque de coníferas, bosque de latifoliadas, bosque mesófilo de montaña, vegetación riparia y zonas de cultivo (Inventario Forestal Nacional, 2000-2001).

El sistema hidrológico del parque consta de un complejo

lacustre de origen kárstico de morfologías variadas que se extiende por la parte sureste del Estado de Chiapas, hasta Guatemala. Las aguas que alimentan este sistema son principalmente subterráneas, están catalogadas dentro de la Región Hidrológica Nacional No. 30 (CONAGUA, 2014) y forman parte de la cuenca de del Río Grande de Comitán.

En un marco geológico regional, el área de estudio se localiza en la provincia tectónica de Fallas de Transcurrencia del Cinturón Chiapaneco de Pliegues y Fallas (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992), cuya tectónica está estrechamente relacionada con la interacción entre las placas de Cocos, Norteamérica y Caribe (Figura 2). La placa de Cocos subduce a las placas Norteamérica y Caribe a lo largo de la trinchera mesoamericana, mientras que el límite entre la placa Caribe y Norteamérica está representado por el sistema de fallas Polochic-Motagua (Gúzman-Speziale y Meneses-Rocha, 2000). Esta región ha estado sujeta a diversos procesos geológicos como son la sedimentación, plegamiento y fallamiento (Arellano-Contreras y Jiménez-Salgado, 2011; Padilla-Sánchez, 2007). Todos estos eventos actuaron en diferentes periodos de tiempo con distintas direcciones de esfuerzos y generaron el estilo de deformación que conforma el marco tectónico-estructural actual de la región en la que se encuentra el Parque Nacional

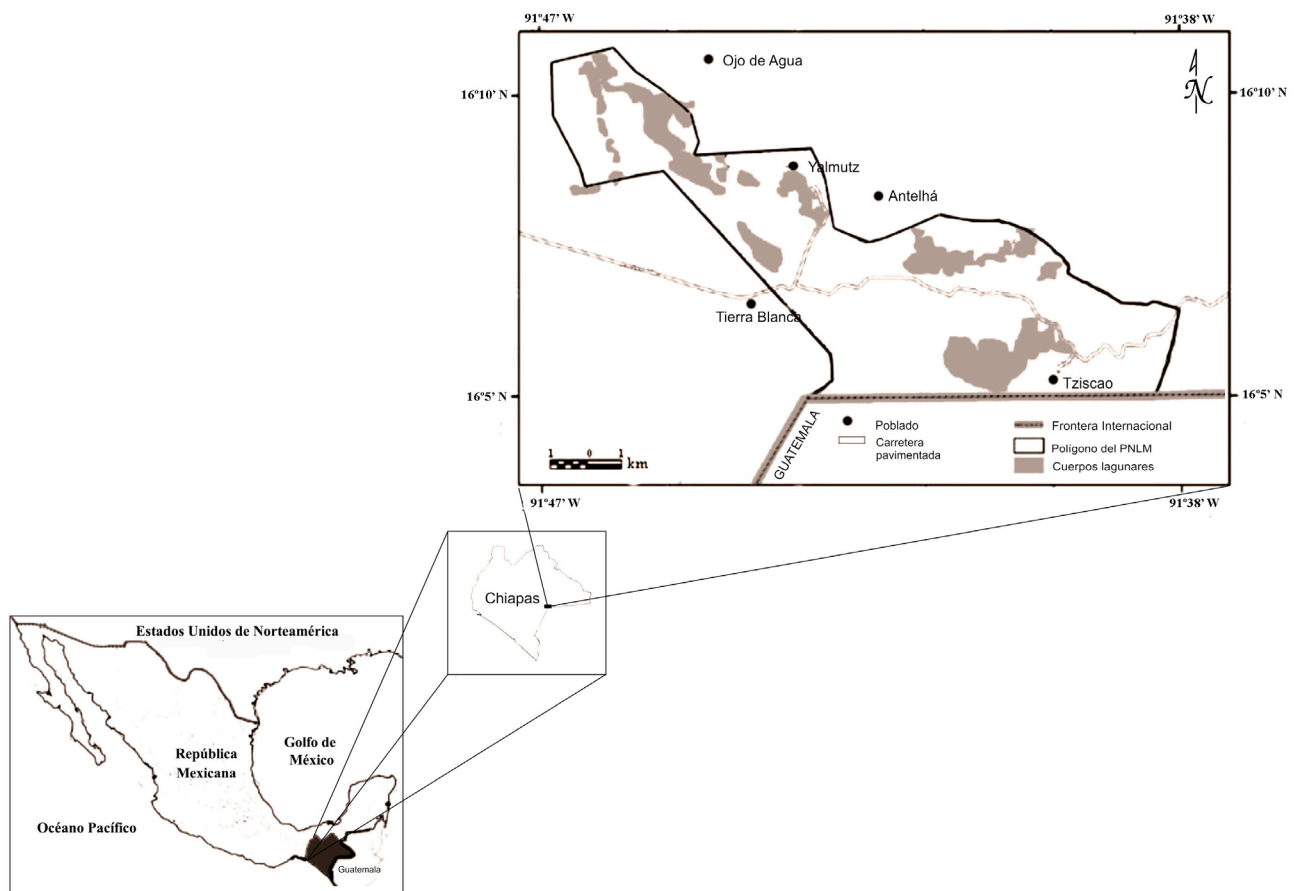


Figura 1. Localización del área de estudio, polígono del Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM).

Lagunas de Montebello.

Los rasgos estructurales están conformados por conjuntos de bloques levantados y hundidos, limitados por fallas de transcurrancia con desplazamiento lateral izquierdo (Guzmán-Speziale y Meneses-Rocha, 2000). Los bloques levantados están formados, principalmente, por anticlinales en *echelón* compuestos por estratos de rocas carbonatadas cretácicas y paleógenas en sus crestas, mientras que los bloques bajos están ocupados por sinclinales con los ejes paralelos al rumbo de las fallas, formados por estratos terrígenos clásticos del Paleógeno (Guzmán-Speziale y Meneses-Rocha, 2000).

El registro estratigráfico que aflora en el parque está constituido por paquetes de calizas y dolomitas del Cretácico; mientras que los depósitos de plataforma somera, turbiditas y de cuenca profunda constituyen las unidades del Paleoceno. Finalmente, las unidades del Eoceno al Mioceno están constituidas por depósitos clásticos continentales (Witt *et al.*, 2011).

3. Metodología

Para la elaboración de la cartografía geomorfológica del Parque Nacional de Lagunas de Montebello, se empleó una metodología teórica-conceptual (Figura 3) basada en la integración de algunos principios de las propuestas

metodológicas del ITC-Enschede, con los aportes de Verstappen y Van Zuidam (1991), así como de Lugo-Hubp (1988), de Pedraza-Gilsanz (1996) y de Peña-Monné (1997). De esta manera, la metodología utilizada en este estudio presenta una estructura apoyada en las tres etapas que se detallan a continuación:

- i. Recopilación de información
- ii. Análisis, procesamiento e integración de la información
- iii. Resultados

3.1. Recopilación de información

En esta etapa, la búsqueda, selección y depuración de material bibliográfico y cartográfico fue la principal actividad, junto con el reconocimiento del terreno durante trabajo de campo. Se recopilaban los estudios geológicos publicados, con el objetivo de conseguir información sobre la litología, cronología y edad de las formas. Así mismo se consultaron libros y artículos publicados sobre las características geológico-estructurales, hidrológicas y geomorfológicas de sistemas kársticos como los encontrados en: Llopis (1970), Jennings (1971), Roglic (1972), White (1984), Ford y Williams (1989), Ortiz y Fernández (1995), Eslava *et al.* (2000) y Raguž (2008). Además se adquirieron capas digitales en formato vectorial de las dos cartas topográficas a escala 1:50000

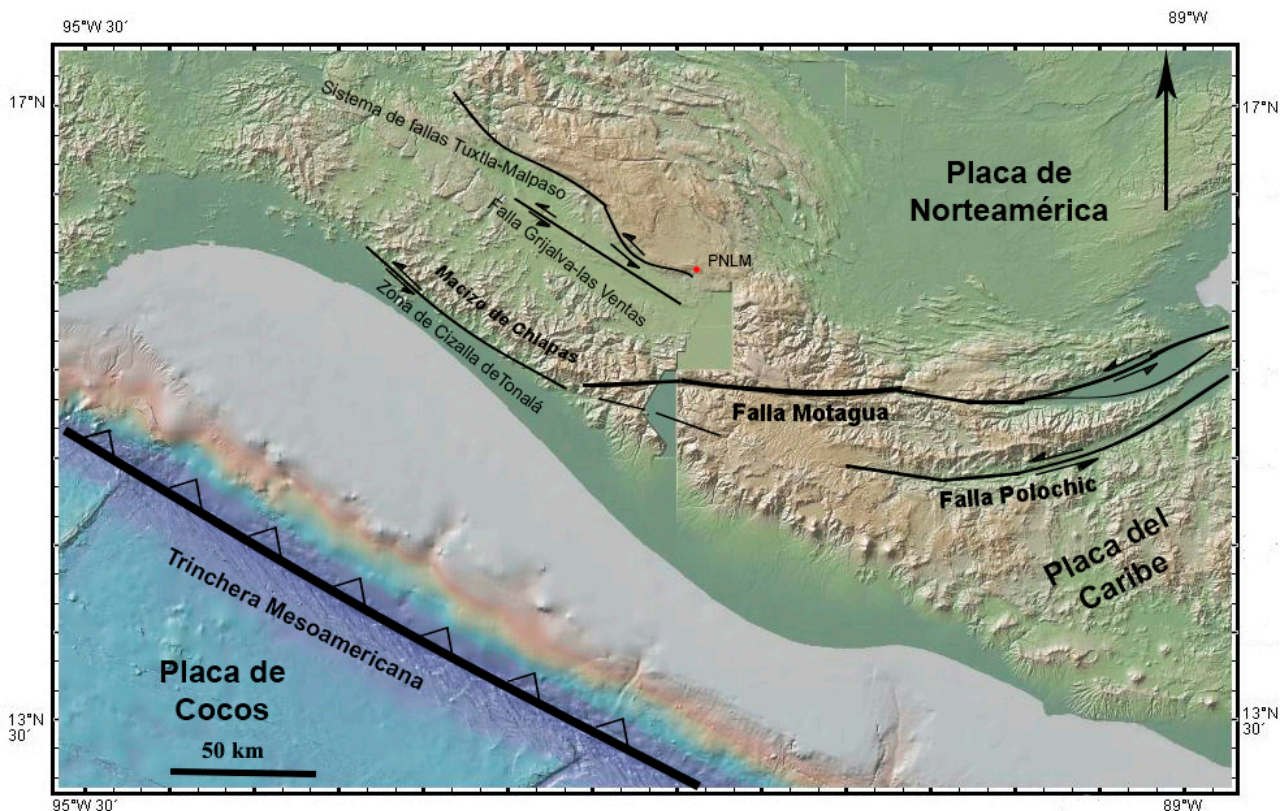


Figura 2. Marco tectónico regional del área de estudio.

que cubren el área total del parque (INEGI, 2013) y de la carta geológico-minera de todo el Estado de Chiapas a escala 1:250000 (SGM, 2013) (ver Tabla 1 para mayores detalles sobre la nomenclatura de las hojas). También se utilizó el conjunto vectorial con la hidrología superficial de la Región Hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta, y un paquete de ortofotos digitales a escala 1:40000 del año 2004 de las zonas E15-D84 y E15-D85. Todos ellos fueron adquiridos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Finalmente se realizó una salida a campo, la cual permitió el reconocimiento de la zona de estudio y donde se identificaron las unidades litológicas y formas del relieve que en el mapa se presentan.

3.2. Análisis, procesamiento e integración de la información

La información obtenida en esta etapa, se apoyó principalmente en análisis realizados con el SIG Arc Gis 10.1 (ESRI, 2013). Los datos de entrada que se utilizaron para iniciar los análisis de gabinete fueron las capas topográficas. A partir de éstas se elaboró un conjunto de capas temáticas base, en el que se incluyen el modelo digital de elevación del terreno (MDT), el modelo de relieve sombreado (MRS), el mapa hipsométrico, el mapa de pendientes y el mapa de orientación de las laderas (Figura 4a y 4b).

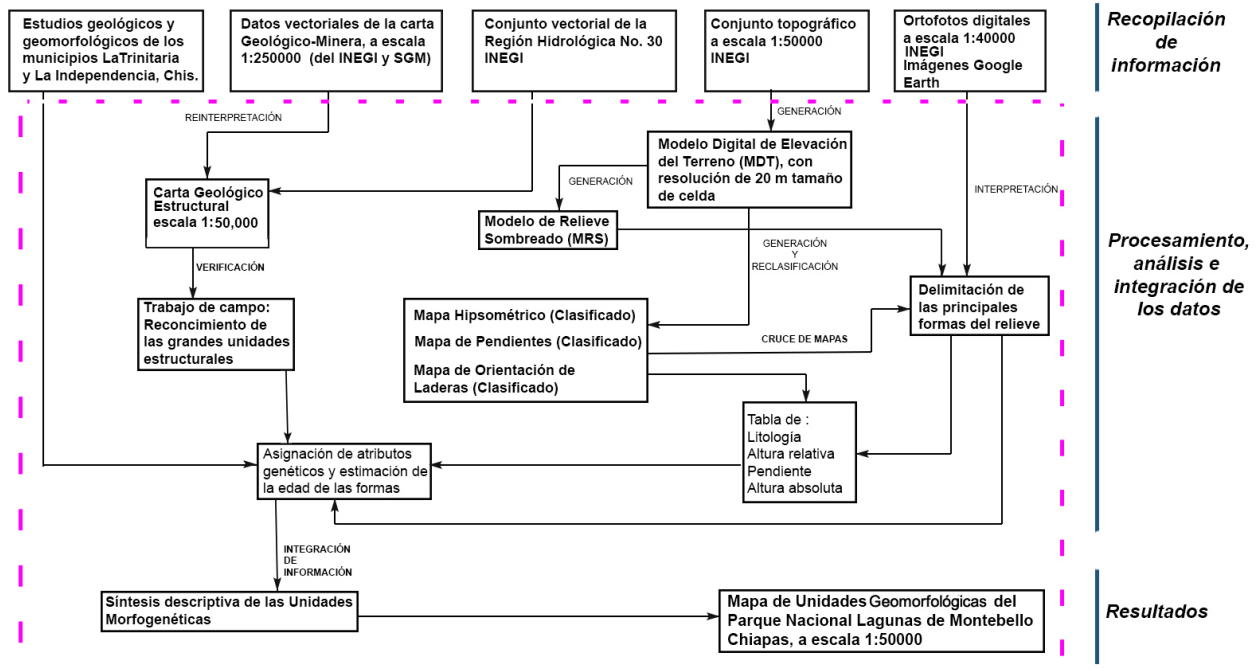
El MDT se obtuvo a partir de las curvas de nivel con intervalo entre curvas de 20 m. Para su elaboración se utilizó el módulo TOPOGRID de ArcGis 10.1 y el tamaño de las

celdas se seleccionó igual a la separación de las curvas de nivel, es decir 20 m (Figura 4a). El mapa de pendientes permitió clasificar el relieve a partir de su grado de inclinación. Los intervalos de pendiente que se establecieron fueron los siguientes: 0 – 3 °, 3 – 7 °, 7 – 12 °, 12 – 16 °, 16 – 22 °, 22 – 55 ° y > 55 ° tomados y adaptados de Van Zuidam, 1985 (Figura 4d). Para el mapa de orientación de laderas, se hizo la clasificación en 9 clases con respecto a los principales puntos cardinales (Figura 4e). El mapa hipsométrico, muestra de manera simplificada y visual la información topográfica a partir de contrastes altitudinales. Para este mapa se establecieron 6 intervalos (equivalentes a pisos) altitudinales, considerando los valores máximos y mínimos arrojados por el software (Figura 4c). Éstos son: (P1) 1200 – 1300 m, (P2) 1300 – 1400 m, (P3) 1400 – 1500 m, (P4) 1500 – 1600 m, (P5) 1600 – 1700 m y (P6) 1700 – 1800 m.

Además de la morfometría, se fotointerpretaron imágenes de satélite obtenidas de Google Earth, así como ortofotos digitales extraídas del INEGI (INEGI, 2013).

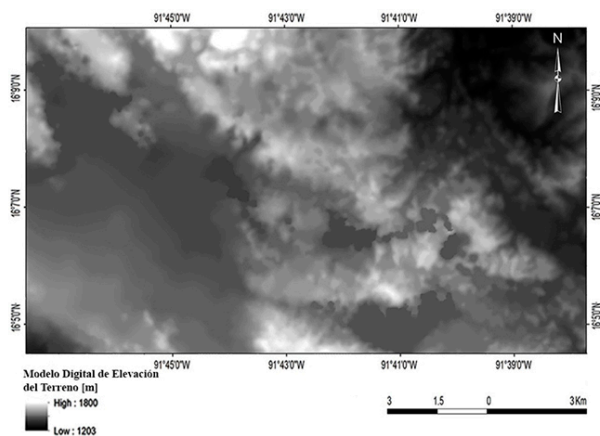
Tabla 1. Cartas temáticas empleadas para la delimitación de las Unidades Morfogenéticas del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas.

Nombre del mapa	Tema	Fuente	Año	Escala
Amparo-Aguatinta, El Triunfo	Topografía	INEGI	1988/2011	1:50000
Las Margaritas	Geología	INEGI	1998	1:250000
Las Margaritas	Geológico-Minera	SGM	2006	1:250000

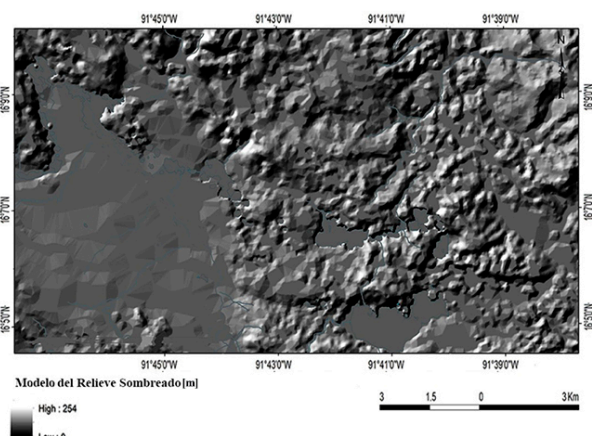


Proceso en SIG

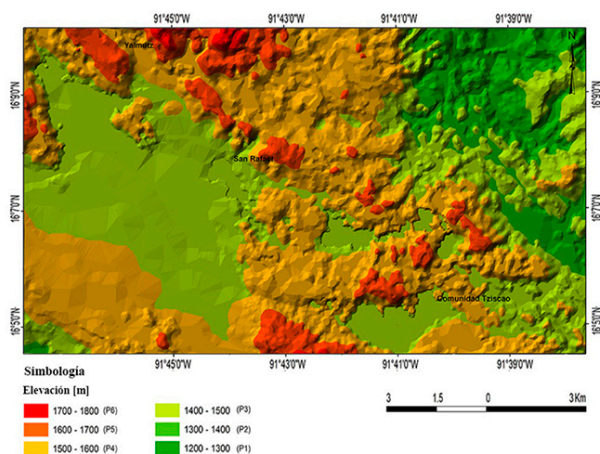
Figura 3. Modelo teórico-conceptual llevado a cabo para la elaboración del mapa de Unidades Geomorfológicas del Parque Nacional Lagunas de Montebello.



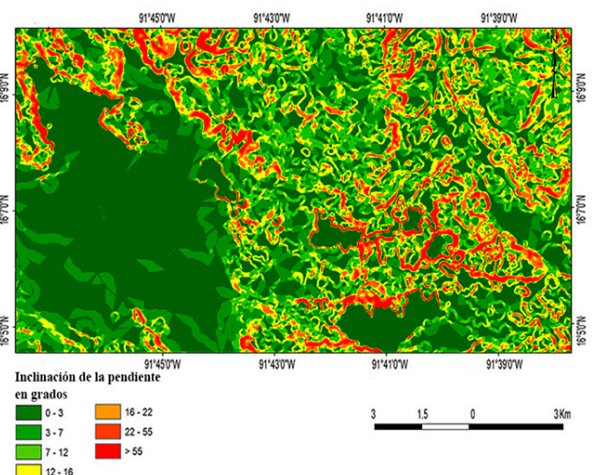
a)



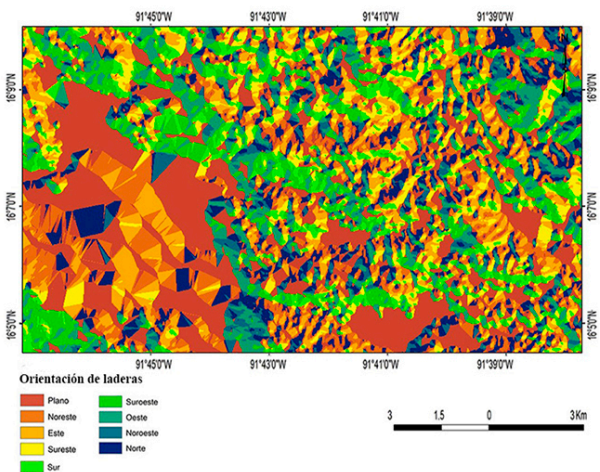
b)



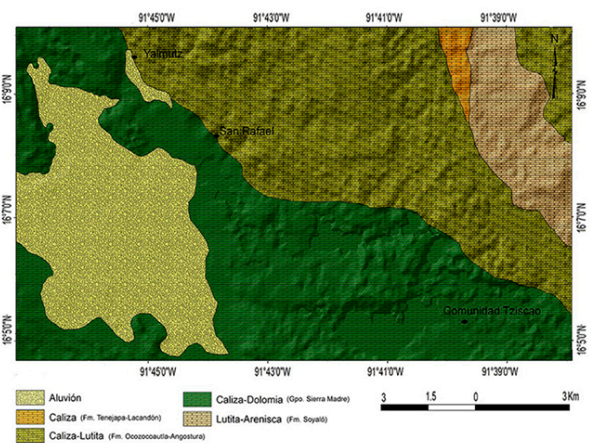
c)



d)



e)



f)

Figura 4. Cartografía base elaborada en ArcGis 10.1. Usando curvas de nivel con 20 m de intervalo entre curvas se generaron: a) MDT, b) MRS, c) Mapa hipsométrico, d) Mapa de pendientes, e) Mapa de orientación de laderas, f) Mapa geológico.

Esta fotointerpretación fue verificada con las observaciones realizadas durante el trabajo de campo realizado en la primera etapa. Gracias a esta fotointerpretación y al análisis del MDT, del mapa de pendientes y del MRS, se pudo realizar la delimitación de unidades geomorfológicas en una capa dentro del SIG. Estas unidades se identificaron acorde con su tipo en: laderas de montaña, lomeríos, piedemonte, planicies y formas kársticas. Éstas se establecieron de acuerdo a la identificación de rasgos distintivos relacionados con su forma geométrica, su posición topográfica (piso altitudinal) y la pendiente del terreno.

Los cuerpos lacustres y lineamientos tectónicos fueron delimitados directamente sobre las imágenes aéreas de Google Earth y extraídos en formato KMZ, para posteriormente ser transformados a formato *shape*. Esto último con la finalidad de facilitar su lectura en el SIG. A continuación, se utilizaron las unidades geológicas de la zona de estudio para incluir en las unidades geomorfológicas identificadas, los atributos litológicos y en algunos casos cronológicos, de cada una de las formas del relieve reconocidas (Figura 4f).

3.3. Resultados

Con la integración de la cartografía base y el material bibliográfico, se asignaron los diferentes atributos a las formas del relieve reconocidas en el Parque Nacional Lagunas de Montebello (*i.e.* morfogénesis, morfometría, litología y cronología), para así definir las unidades geomorfológicas. Finalmente, se generaron diversas capas temáticas (Figura 4), las cuales una vez integradas permitieron conformar el mapa de unidades geomorfológicas del Parque Nacional Lagunas de Montebello (Figura 5). La leyenda y gama de colores usados se basan en los criterios cartográficos propuestos por Peña-Monné (1997).

4. Unidades geomorfológicas del Parque Nacional Lagunas de Montebello

En el mapa geomorfológico (Figura 5) obtenido en el paso 3 de la metodología se identificaron un total de 17 unidades que se agruparon en 4 conjuntos, los cuales son: 1) Endógeno estructural plegado, 2) Exógeno acumulativo, 3) Exógeno denudativo fluvio-kárstico y 4) Exógeno denudativo kárstico. La información de los atributos morfogenéticos, como origen, tipo, litología, edad y morfometría de cada una de estas unidades, se encuentra descrita en la Tabla 2. La descripción de cada conjunto y unidad se presenta a continuación:

4.1. Endógeno estructural plegado

Este conjunto está representado por lomeríos y laderas de montaña, estructuras correspondientes a regiones montañosas, las cuales tuvieron su génesis en la actividad

tectónica. Éstas han sido modeladas por procesos erosivo-kársticos, por lo que es común encontrar dentro de estos sistemas, depresiones kársticas como dolinas y uvalas. Se encuentran distribuidas por toda la zona de estudio y cubren un área de 119.9 km². Las unidades que se pueden distinguir dentro de este grupo son las siguientes:

4.1.1. Laderas Montañosas del Paleógeno (*Lmp*)

Son elevaciones que alcanzan una altitud de 1500 msnm y los 280 m de altura relativa. Sus pendientes son del orden de 35° a 55°. Estas elevaciones son consecuencia del plegamiento de estratos de secuencias calcáreas de lutitas y areniscas del Paleoceno. Cubren un área de 5.5 km².

4.1.2. Laderas Montañosas del Cretácico (*Lmc*)

Se trata de elevaciones que alcanzan los 1800 msnm y una altura relativa de hasta 520 m. Sus pendientes son del orden de 35° a 67°. Se desarrollan sobre secuencias calcáreas de calizas, dolomías y lutitas que afloraron como consecuencia de la erosión de las secuencias Paleógenas. Cubren un área de 80 km².

4.1.3. Lomeríos del Paleógeno (*lomp*)

Son elevaciones que alcanzan los 1500 msnm, su altura relativa es menor a los 200 m. Las pendientes de sus laderas superan los 25° y pueden alcanzar los 35°. Estas estructuras son consecuencia del plegamiento de los estratos de rocas calcáreas (lutita-arenisca y calizas) del Paleoceno. Esta unidad cubre un área de 8.98 km².

4.1.4. Lomeríos del Cretácico (*lom*)

Son elevaciones que alcanzan los 1600 msnm. Las pendientes de sus laderas superan los 25° y pueden alcanzar los 55°. Estas estructuras son consecuencia del plegamiento de rocas calcáreas (caliza, lutita y dolomía) del Cretácico. Esta unidad cubre un área de 25.42 km².

4.2. Exógeno acumulativo

En este conjunto quedan integradas las unidades cuyas formas son el resultado de la sedimentación de diversos materiales, transportados por distintos agentes como las corrientes fluviales y la gravedad. Se encuentran distribuidas en la parte oeste de la zona de estudio y cubren un área de 41.9 km². Las unidades que se pueden distinguir dentro de este conjunto son las siguientes:

4.2.1. Planicies aluviales (*Pla*)

Son superficies con geometría tabular, que son atravesadas por una o varias corrientes fluviales. Su pendiente no supera los 12° por lo que se consideran superficies semiplanas a planas. Se originan por la acumulación del material transportado por los ríos, sobre una cuenca de graben. Se localizan principalmente en la parte noroeste de la zona de estudio, siguiendo el patrón estructural de los sistemas de fallas que dieron origen a la cuenca en la que se desarrolla

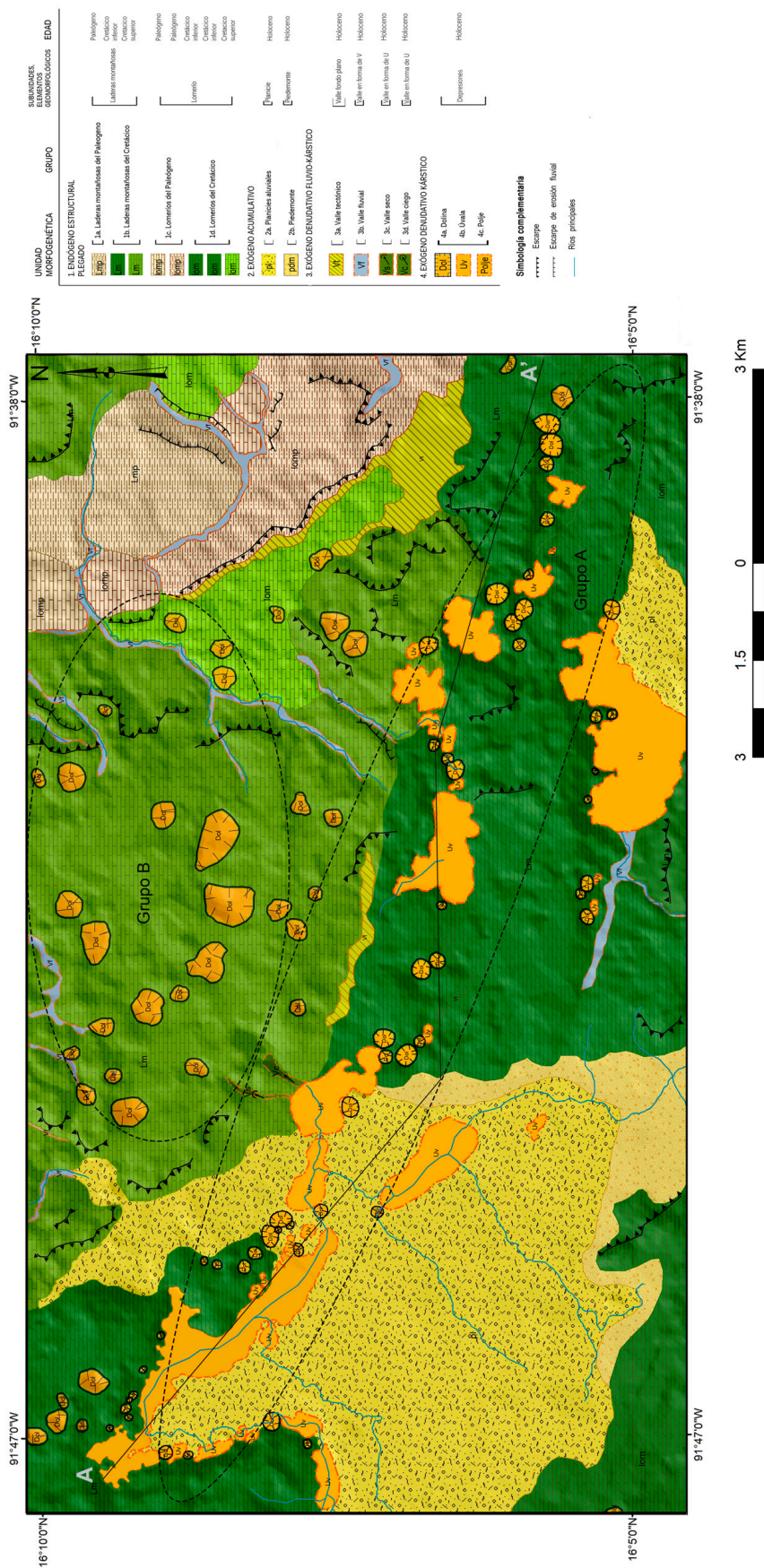


Figura 5. Mapa de Unidades Geomorfológicas de Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas. Escala 1:50000.

Tabla 2. Parámetros morfométricos de las unidades morfogenéticas del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas.

Tipo de relieve	Origen del relieve	Clave	Edad	Litología	Altura Mínima (m)	Altura Máxima (m)	Amplitud del Relieve (m)	Pendiente (°)
Laderas Montañosas	Endógeno estructural plegado	Lm2	Paleoceno	Lutita-Arenisca	1220	1500	280	12-55
Laderas Montañosas	Endógeno estructural plegado	Lm3	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1280	1800	520	35-55
Laderas Montañosas	Endógeno estructural plegado	Lm4	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1240	1480	240	35-55
Laderas Montañosas	Endógeno estructural plegado	Lm5	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1440	1720	280	55-67
Laderas Montañosas	Endógeno estructural plegado	Lm6	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1400	1640	240	55-67
Laderas Montañosas	Endógeno estructural plegado	Lm9	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1480	1720	240	35-55
Lomeríos	Endógeno estructural plegado	lom10	Paleoceno	Caliza	1220	1340	120	25-35
Lomeríos	Endógeno estructural plegado	lom11	Paleoceno	Lutita Arenisca	1350	1540	190	25-35
Lomeríos	Endógeno estructural plegado	lom12	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1440	1640	200	25-35
Lomeríos	Endógeno estructural plegado	lom13	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1359	1500	141	25-35
Lomeríos	Endógeno estructural plegado	lom14	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1295	1480	185	25-35
Lomeríos	Endógeno estructural plegado	lom15	Paleoceno	Caliza	1300	1501	201	25-35
Lomeríos	Endógeno estructural plegado	lom16	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1420	1580	160	35-55
Lomeríos	Endógeno estructural plegado	lom17	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1400	1600	200	35-55
Valle fluvial	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vf3	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1520	1625	105	15-25
Valle fluvial	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vf4	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1367	1555	188	25-35
Valle fluvial	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vf5	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1440	1526	86	15-25
Valle fluvial	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vf9	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1580	1652	72	15-25
Valle fluvial	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vf10	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1580	1756	176	15-25
Valle fluvial	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vf11	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1480	1681	201	15-25
Valle fluvial	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vf12	Paleoceno	Lutita-Arenisca	1300	1417	117	15-25
Valle fluvial	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vf15	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1297	1533	236	25-35
Valle fluvial	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vf16	Paleoceno	Lutita-Arenisca	1380	1414	34	15-25
Valle fluvial	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vf21	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1633	1678	45	25-35
Valle fluvial	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vf22	Paleoceno	Caliza	1280	1340	60	25-35
Valle fluvial	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vf23	Paleoceno	Lutita-Arenisca	1300	1320	20	15-25
Valle Seco	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vs2	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1451	1580	130	35-55
Valle ciego	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vc2	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1449	1537	88	35-55
Valle tectónico	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vt3	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1315	1422	107	25-35
Valle tectónico	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vt4	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1460	1526	66	15-25
Valle tectónico	Exógeno denudativo fluvio-kárstico	Vt5	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1480	1521	41	15-25
Planicie Aluvial	Exógeno acumulativo	pl2	Holoceno	Aluvión	1480	1520	40	25-35
Planicie Aluvial	Exógeno acumulativo	pl3	Holoceno	Aluvión	1480	1560	80	15-25
Piedelomerio	Exógeno acumulativo	pdm5	Holoceno	Coluvión	1468	1568	100	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol2	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1480	1488	8	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol3	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1580	1600	20	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol4	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1580	1600	20	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol5	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1560	1634	74	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol6	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1540	1563	23	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol7	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1500	1625	125	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol8	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1520	1605	85	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol9	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1580	1613	33	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol10	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1520	1575	55	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol11	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1540	1611	71	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol12	Cretácico Superior	Caliza-Dolomía	1460	1480	20	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol13	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1500	1532	32	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol14	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1460	1519	59	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol15	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1400	1421	21	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol17	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1540	1566	26	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol18	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1460	1471	11	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol19	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1540	1550	10	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol20	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1536	1549	13	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol21	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1400	1409	9	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol22	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1380	1384	4	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol23	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1580	1605	25	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol24	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1540	1562	22	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol25	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1540	1566	26	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol26	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1520	1558	38	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol27	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1520	1544	24	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol28	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1480	1551	71	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol29	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1480	1541	61	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol30	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1560	1587	27	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol31	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1380	1409	29	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol32	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1377	1414	37	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol33	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1520	1549	29	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol35	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1620	1660	40	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol36	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1340	1362	22	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol37	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1620	1658	38	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol38	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1520	1560	40	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol39	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1520	1643	123	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol40	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1540	1605	65	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	dol41	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1560	1589	29	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen2	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1500	1509	9	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen3	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1480	1487	7	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen4	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1480	1508	28	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen5	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1480	1508	28	25-35

Tabla 2 (continuación). Parámetros morfométricos de las unidades morfogenéticas del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas.

Tipo de relieve	Origen del relieve	Clave	Edad	Litología	Altura Mínima (m)	Altura Máxima (m)	Amplitud del Relieve (m)	Pendiente (°)
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen6	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1460	1494	34	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen7	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1460	1524	64	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen8	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1480	1539	59	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen9	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1500	1541	41	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen10	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1500	1540	40	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen11	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1500	1532	32	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen12	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1537	1575	38	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen13	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1482	1501	19	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen14	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1505	1526	21	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen15	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1440	1476	36	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen16	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1440	1453	13	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen17	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1452	1474	23	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen18	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1460	1481	21	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen19	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1500	1565	65	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen20	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1540	1558	18	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen21	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1500	1537	37	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen22	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1452	1460	8	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen23	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1460	1460	0	0-2
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen24	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1527	1540	13	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen25	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1500	1515	15	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen26	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1503	1515	13	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen27	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1448	1483	35	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen28	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1471	1498	26	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen29	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1479	1496	17	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen30	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1460	1482	22	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen31	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1472	1494	22	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen32	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1473	1479	6	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen33	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1471	1480	9	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen34	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1466	1489	23	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen35	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1447	1457	10	2-5
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen36	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1459	1460	1	2-5
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen37	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1460	1480	20	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen38	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1460	1460	0	0-2
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen39	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1491	1507	16	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen40	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1460	1485	25	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen41	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1480	1509	29	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen42	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1480	1493	13	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen43	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1460	1460	0	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen44	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1446	1449	3	0-2
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen45	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1444	1455	11	2-5
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen46	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1444	1447	3	0-2
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen47	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1440	1458	18	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen48	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1443	1446	3	2-5
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen55	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1500	1528	28	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen56	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1500	1580	80	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen57	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1484	1534	50	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	cen58	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1480	1546	66	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	pol2	Cretácico Inferior	Caliza-Dolomía	1445	1522	77	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv2	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1440	1481	41	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv3	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1445	1460	15	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv4	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1480	1541	61	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv5	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1480	1600	120	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv6	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1500	1519	19	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv7	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1460	1472	12	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv8	Cretácico Superior	Caliza-Lutita	1500	1600	100	55-67
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv9	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1500	1582	82	55-67
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv10	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1500	1530	30	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv11	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1500	1560	60	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv12	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1447	1456	9	2-5
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv13	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1440	1447	7	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv14	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1460	1492	32	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv15	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1460	1500	40	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv16	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1460	1460	0	0-2
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv17	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1460	1464	4	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv18	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1460	1480	20	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv19	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1440	1460	20	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv20	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1460	1480	20	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv21	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1460	1472	12	15-25
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv22	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1460	1460	0	0-2
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv23	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1460	1460	0	0-2
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv24	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1500	1524	24	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv25	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1500	1537	37	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv26	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1480	1534	54	35-55
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv27	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1460	1484	24	25-35
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv28	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1480	1486	6	0-2
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv29	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1480	1482	2	5-15
Depresión kárstica	Exógeno denudativo kárstico	uv30	Cretácico inferior	Caliza-Dolomía	1460	1514	54	35-55

esta unidad. Son el tipo de relieve más joven de la zona con una edad del Holoceno y cubren un área de $\sim 36.7 \text{ km}^2$.

4.2.2. Piedemonte (Pdm)

Se trata de superficies de transición entre los sistemas montañosos y las planicies, se generan por la acumulación de material no consolidado, principalmente aluvión y coluvión, en la base de las montañas. Sus pendientes son del orden de $15^\circ - 25^\circ$ y tienen una morfología de rampa. Se distinguen por el cambio abrupto en la pendiente y por la baja vegetación. Esta unidad cubre un área de 5.2 km^2 .

4.3. Exógeno denudativo fluvio-kárstico

En este conjunto se encuentran las unidades formadas a causa del intemperismo y posterior transporte de material en zonas kársticas. Sus principales agentes modeladores son el agua, la gravedad, el clima y el control tectónico. Se encuentran distribuidos por toda la zona de estudio y cubren un área de 6.4 km^2 . Las unidades que se pueden distinguir dentro de este grupo son las siguientes:

4.3.1. Valle tectónico (Vt)

Se trata de superficies alargadas localizadas en depresiones con fondo plano y con un evidente control tectónico. Fueron formadas por la acción erosiva de las escorrentías superficiales a través de sistemas de fallas y fracturas con orientación NW – SE y E – W. Su evolución se da en secuencias calcáreas (caliza, dolomía y lutita).

4.3.2. Valle fluvial (Vf)

Se trata de morfologías alargadas generalmente en forma de V, labradas por la acción de corrientes fluviales, que comúnmente están ocupadas por el cauce de un río y que en ocasiones siguen las líneas de debilidad tectónica, es decir, fallas y fracturas. Estos valles se desarrollan sobre todos los pisos altitudinales, con una mayor concentración en los niveles P2 y P3. No generan un patrón de drenaje superficial homogéneo debido a la litología, cuyo carácter es exclusivamente calcáreo, lo que ocasiona que el agua se infiltre y forme parte de las corrientes subterráneas que drenan hacia los cuerpos lacustres. Esta unidad abarca un área de $\sim 2.9 \text{ km}^2$.

4.3.3. Valle Seco (Vs)

Se trata de superficies alargadas en forma de U, resultado de la acción erosiva de las corrientes de agua en litologías calcáreas. La pendiente de las paredes de estos valles es del rango de 35° a 55° . Esta unidad cubre un área de 0.07 km^2 .

4.3.4. Valle Ciego (Vc)

Modelado por la acción erosiva de la escorrentía sobre el cauce del río, cuyo flujo de agua desemboca en un sumidero. La morfología del valle es en forma de U. La pendiente de las paredes del canal es del rango de $35^\circ - 55^\circ$. Esta unidad cubre un área de 0.09 km^2 .

4.4. Exógeno denudativo kárstico

Este conjunto está constituido por estructuras que son el resultado de la intensa actividad de los procesos kársticos que se han dado lugar en la zona de estudio. Las unidades que se engloban dentro de este conjunto se encuentran distribuidas por toda la región siguiendo, preferentemente, la dirección de los principales lineamientos tectónicos. El conjunto cubre un área de 16.7 km^2 . Las unidades que se pueden distinguir dentro de este grupo son las siguientes:

4.4.1. Dolinas

Se trata de superficies con morfologías variadas, desde redondeadas hasta elípticas irregulares. Aparecen preferentemente sobre los pisos P3 y P4 y disminuye su presencia en los pisos P6 y P1 (Figura 6). Las dolinas de la zona de estudio se pueden dividir según su localización en dos grupos. Por una parte están los cuerpos que se encuentran en la porción NW – SE del parque (grupo A). La orientación preferencial de este grupo sugiere que su génesis presenta una estrecha relación con la red de fracturación principal (Figura 7a). Estas dolinas se caracterizan por presentar paredes verticales y por contener generalmente agua en su interior (Figura 8). Por otro lado, se encuentran las dolinas que se localizan en la parte norte (grupo B) del parque. La génesis de estas depresiones no parece ser tan claramente favorecida por el sistema de fracturación. Estas dolinas se caracterizan por carecer de agua superficial, por presentar escasa profundidad y por estar delimitadas por límites difusos.

4.4.2. Uvalas

Estas estructuras son el resultado de la coalescencia de dos o más dolinas, por lo que es muy común encontrar una uvala y una dolina situadas a menos de 100 m una de otra (Figura 9). Las uvalas de este grupo presentan generalmente formas elípticas, sin embargo las más desarrolladas llegan a tener formas muy irregulares. Se encuentran distribuidas, de la misma manera que las dolinas, en la porción NW – SE de la zona de estudio, paralelas a los lineamientos tectónicos estructurales principales (Figura 7b). Se desarrollan casi exclusivamente sobre el piso P3 (Figura 6), sobre materiales carbonatados cretácicos y cuaternarios.

4.4.3. Polje

Se trata de una depresión de forma alargada e irregular, con fondo plano y paredes escarpadas. Tiene una superficie plana de 2.9 km^2 . Se encuentra localizado en la porción noroeste de la zona de estudio, sobre el piso P3. Su orientación es en sentido NW – SE y coincide con los lineamientos tectónicos principales observados en la zona. El polje se encuentra cubierto por materiales cuaternarios.

De las unidades morfogenéticas descritas en el presente trabajo, las laderas de montaña y los lomeríos ocupan un 64.8 %, las planicies y piedemonte 22.7 % y las formas

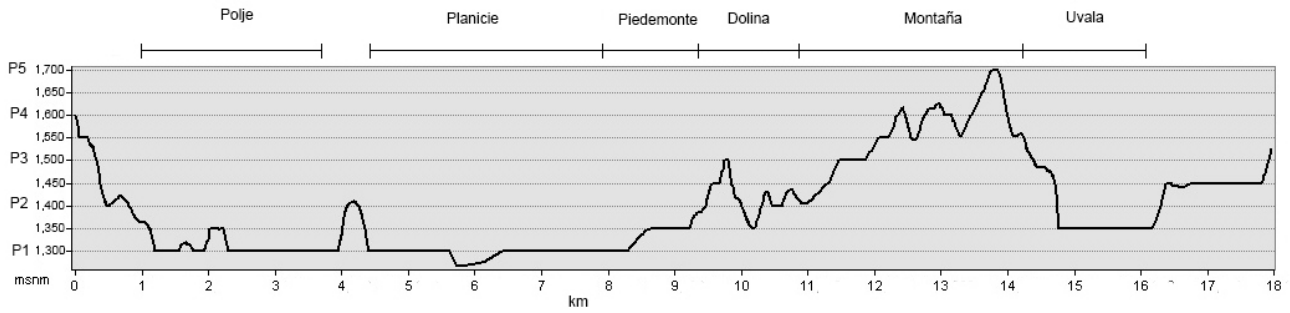


Figura 6. Perfil topográfico AA' muestra la distribución de las unidades en los diferentes pisos altitudinales.

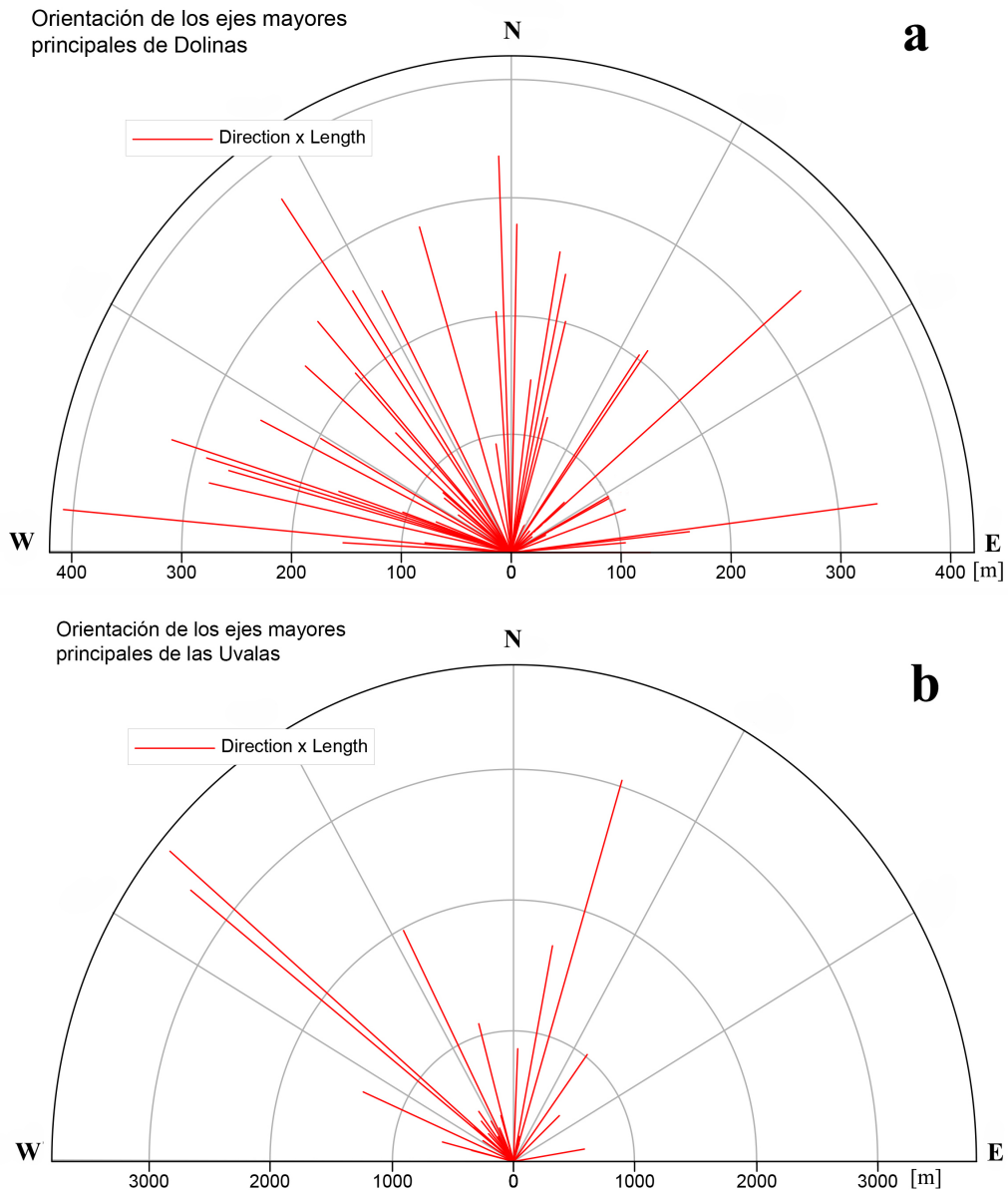


Figura 7. Roseta de direcciones en las que se alinean las dolinas y uvalas del Parque Nacional Lagunas de Montebello. a) Roseta de direcciones de los ejes principales, en la que se observa una mayor concentración de dolinas cuya orientación preferencial es en dirección al NW. Se muestra también la longitud (*length*) de los ejes principales, en metros. b) Roseta de direcciones de los ejes principales, en la que se observa una mayor concentración de uvalas cuya orientación preferencial es en dirección al NW. Se muestra también la longitud (*length*) de los ejes principales, en metros.



Figura 8. Dolina con paredes escarpadas, se observa el cambio en el nivel del agua.

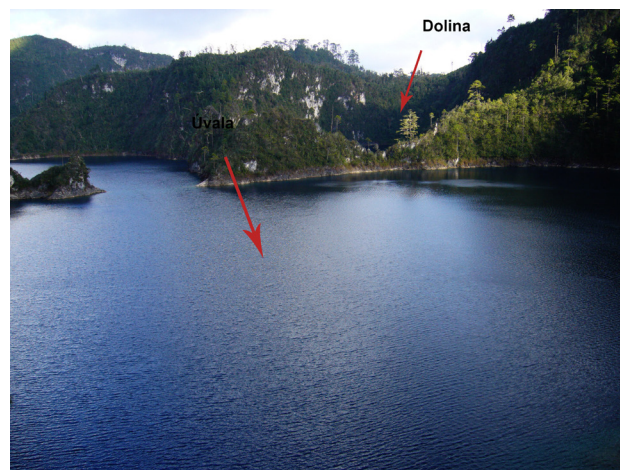


Figura 9. Dolina y uvala. Se observa que ambas unidades se desarrollan muy cerca una de otra.

kársticas ocupan el 12.5 %, del total del área estudiada (Figura 10).

5. Discusión

A partir de la delimitación y definición de las unidades geomorfológicas presentadas, se proponen algunas hipótesis sobre la génesis, evolución geológica y morfología actual de las formas reconocibles dentro del parque. En cuanto a la génesis de las diversas unidades geomorfológicas encontradas, parece que éstas guardan una estrecha relación entre la dinámica externa (procesos kársticos) y la interna (tectónica). Los procesos kársticos quedan latentes por el gran número de unidades geomorfológicas relacionadas con la disolución, como son las uvalas, dolinas, poljes y valles ciegos. En el caso de la tectónica, su expresión está representada por estructuras plegadas y por sistemas de fallas y fracturas. En este último caso, la localización y distribución de las formas kársticas parecen estar asociadas al fallamiento, ya que existe una relación entre el arreglo y dirección de las fallas y la distribución, forma y elongación de las dolinas, uvalas y polje. De estas observaciones se propone, que el desarrollo kárstico del parque está condicionado por dos factores: 1) La composición litológica basada en materiales carbonatados susceptibles a la disolución y 2) la configuración estructural consecuencia de la tectónica en la zona (*i.e.* sistemas de fallas con dirección NW – SE).

Del mapa geomorfológico presentado en este trabajo, se puede observar que existen dos grupos de dolinas y uvalas que sugieren una génesis y evolución diferente. El primer grupo (Figura 5; grupo A) está constituido por los cuerpos localizados en la porción NW – SE de la zona de estudio. Éstos presentan morfologías alargadas e irregulares. Estas depresiones están ocupadas por agua, la cual en algunos casos alcanza los 200 m sobre la base de la dolina o uvala

y sus paredes son casi verticales. En el segundo grupo (Figura 5; grupo B) aparecen los cuerpos que se encuentran en la porción norte y que carecen de agua superficial. Éstos presentan paredes verticales con límites difusos, topográficamente se encuentran a mayor altitud que las del primer grupo y su morfología es irregular a circular.

Una primera propuesta sobre su formación se presenta aquí. El primer grupo de dolinas (A) parecen haber tenido un proceso de formación más dilatado en el tiempo, ya que se observan formas más complejas y alargadas. El hecho de presentar agua en la actualidad, indica que el nivel freático presente se ubica a una altitud similar a la que se encuentra la base de las dolinas y uvalas. Esto pone en evidencia que los procesos de disolución siguen activos. En los cuerpos del segundo grupo (B), que se localizan en la zona de mayor elevación dentro del parque, los procesos de disolución parecen ser relictos, lo cual se deduce de la ausencia de agua. Esto plantea la hipótesis de un cambio en el nivel freático en el zona, pudiendo éste haber descendido debido a un levantamiento tectónico o a una caída del nivel freático dentro del sistema endokárstico. De esta manera, se propone que el proceso disolutivo que dio origen a las dolinas y uvalas del primer (A) y segundo grupo (B) se inició en un mismo tiempo geológico pasado pero, en el caso de los cuerpos de agua del segundo grupo (B), este proceso terminó, mientras que en los del primer grupo, sigue presente en la actualidad. Parece oportuno ante las hipótesis sobre la génesis de los dos grupos de dolinas y uvalas en el parque, el realizar estudios complementarios como son: 1) los análisis químicos del agua freática para establecer así la procedencia de las aguas, 2) un mapeo detallado del número de acuíferos que permitan establecer la relación que éstos guardan con los dos grupos de dolinas y uvalas y 3) conocer el momento en el cual las dolinas y uvalas del segundo grupo (B) dejaron de estar activas mediante fechamientos, pues esto nos indicaría la edad exacta en el cual el nivel freático descendió y proporcionaría información sobre su origen.

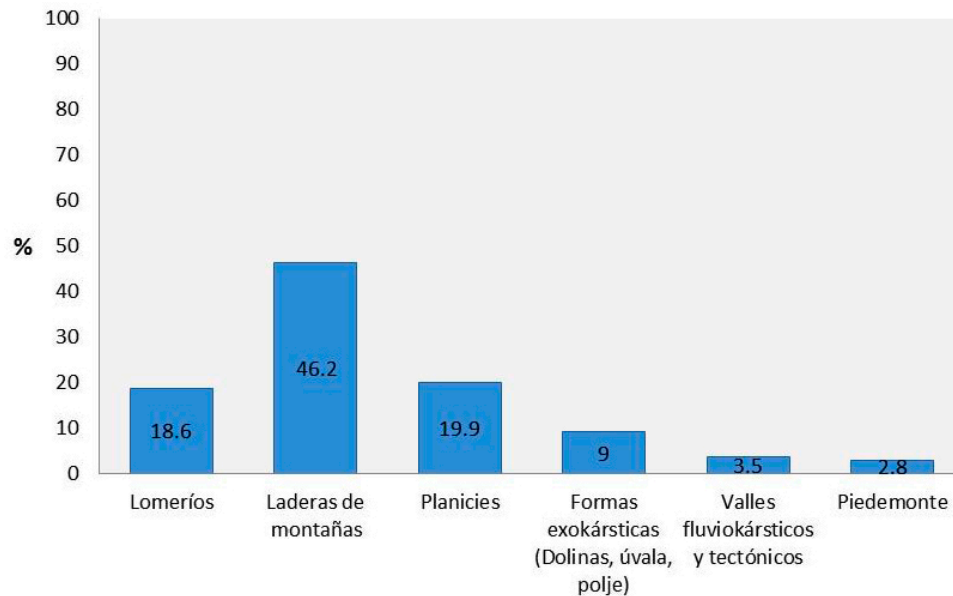


Figura 10. Área en porcentaje que ocupa cada una de las Unidades Morfogenéticas del Parque Nacional Lagunas de Montebello.

6. Conclusiones

La metodología propuesta para la elaboración de la cartografía geomorfológica del Parque Nacional Lagunas de Montebello permitió presentar un mapa geomorfológico a escala 1:50000 de una zona de especial relevancia botánica, faunística, hidrológica y geológica dentro del patrimonio natural del país. En el mapa geomorfológico se identificaron un total de 17 unidades, que se agruparon en 4 conjuntos según su origen: 1) Endógeno, 2) Exógeno acumulativo, 3) Exógeno denudativo fluvio-kárstico y 4) Exógeno denudativo kárstico.

A partir de la interpretación de las unidades geomorfológicas obtenidas en este estudio, se concluye que en el parque existe una relativa heterogeneidad morfológica y de origen del relieve, a pesar de la homogeneidad litológica, lo cual podría explicarse por la interacción de los procesos kársticos (*i.e.* exógenos) y tectónicos (*i.e.* endógenos) que tienen lugar en la zona. Así mismo, se concluye que existen en el área de estudio dos grupos de dolinas y uvalas que se pueden distinguir por sus características morfológicas y posición altitudinal. Para conocer el origen de estos dos grupos de depresiones kársticas, se requiere un estudio detallado sobre la procedencia del agua freática en el parque.

La cartografía que se presenta en este trabajo pretende servir como un elemento de base para futuros estudios ambientales dentro del Parque Nacional Lagunas de Montebello, puesto que en la zona se ha detectado un grave problema de contaminación en el agua de distintos cuerpos lacustres. También se espera que este trabajo pueda servir de apoyo a estudios de ordenamiento territorial, de valoración del impacto de los usos del suelo y de erosión.

Software

Todo el conjunto cartográfico presentado en este trabajo se procesó mediante ESRI ArcGis 10.1. en su versión de prueba con autorización.

Agradecimientos

El presente trabajo se ha realizado con el apoyo económico del proyecto “Estudio hidrológico y de calidad del agua del Sistema Lagunar Montebello, Chiapas”, del Fondo Sectorial CONAGUA-CONACyT (167603).

Referencias

- Arellano-Contreras, U., Jiménez-Salgado, E., 2011, Evaluación Geológico-Estructural del complejo volcánico el Chichonal, Chiapas, como fuente de energía alterna (Resumen) en Memorias del XIX congreso anual, Los Humeros Pue., México, Asociación Geotérmica Mexicana, 23 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2014, Portal en internet de la Comisión Nacional del Agua, disponible en <<http://www.conagua.gob.mx/>>.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), 2011, Parque Nacional Lagunas de Montebello: Estudio para monitorear los parámetros de calidad del agua de las lagunas comunicadas con el sistema lagunar Tepancoapan, 77 p.
- Eslava, J., Bahamón, S., Romero, M., 2000, Clasificación climática de los Karst: Meteorología Colombiana, Bogotá, 2, 67-72.
- Ford, D.C., Williams, P., 1989, Karst Geomorphology and Hydrology: Chapman & Hall, Londres, 554 p.
- García-Amaro, E., 1988, Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana: Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México, 205 p.

- Guzmán-Speziale, M., Meneses-Rocha, J.J., 2000, The North America-Caribbean plate boundary west of the Motagua-Polochic fault system: a fault jog in Southeastern Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 13(2000), 459-468.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1988, Carta Topográfica E15D85 Amparo Aguatinta, 1:50000: México D.F., 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2001, Carta Topográfica E15D84 El Triunfo, Escala 1:50000: México, D.F., 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2007, Carta geológico-minera E15-12-D15-3, Las Margaritas, 1:250000: México D.F., 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010, Red Hidrográfica Numero 30, Grijalva-Usumacinta, Serie 1:50000: México, D.F., 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2013, Portal en internet del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, *disponible en* <<http://www.inegi.org.mx/>>.
- Inventario Forestal Nacional, 2000-2001, Carta del uso de suelo y vegetación Serie II.
- Jennings, 1971, *Karst: An Introduction to Systematic Geomorphology*: Cambridge, Massachusetts and London, M.I.T. Press, 214 p.
- Llopis, N., 1970, Fundamentos de hidrogeología cársica: (introducción a geoespeleología): Blume, Madrid, España, 269 p.
- Lugo-Hubp, J.I., 1988, *Elementos de Geomorfología Aplicada (métodos cartográficos)*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, México, 128 p.
- Lugo-Hubp, J.I., 1989, *Diccionario geomorfológico*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, México, 337 p.
- Mapping Sciences Institute (MSIA), 2014, Portal en internet del Mapping Sciences Institute, *disponible en* <<http://www.mappingsciences.org.au/>>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2009, Biosphere Reserve Information, Lagunas de Montebello, *disponible en* <<http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?mode=all&code=MEX+37>>, consultado en Noviembre del 2013.
- Ortega Gutiérrez, F., Mitre, S.L., Roldán, Q. J., Aranda, G.J.J., Morán, Z.D., Alaniz A.S., Nieto, S.A., 1992, Carta Geológica de la República Mexicana, 1:2000000, Washington, Williams & Heintz (Mapa), Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 1 mapa con texto explicativo, 78 p.
- Ortiz, I., Fernández, E., 1995, *Introducción a la Geología kárstica*: Federación Española de espeleología, Madrid, España, 193 p.
- Padilla-Sánchez, R.J., 2007, Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, LIX(1), 19-42.
- Pedraza-Gilsanz, J., 1996, *Geomorfología: Principios, métodos y aplicaciones*: Madrid, España, Editorial Rueda, 414 p.
- Peña Monné, J.L., Pellicer Corellano, F., Chueca Cía, J., Julián Andrés, A., 1997, *Leyenda para Mapas Geomorfológicos a escalas 1:25000/1:50000: Cartografía Geomorfológica Básica y Aplicada*: España, Geoforma Ediciones, 227 p.
- Raguž, V., 2008, *Karst and Waters in it: A Literature Study on Karst in General and on problems and Possibilities of Water Management in Karst in Particular*: Sweden, Geobiosphere Science Centre, Lund University, Seminar Series 149, 45p.
- Roglic, J., 1972, Historical review of morphologic concepts in "A brief history of karst hydrogeology: contributions of the NSS": *Journal of cave and karst studies*, 69(1), 13-26.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2013, Portal en internet del Servicio Geológico Mexicano, *disponible en* <<http://www.sgm.gob.mx/>>.
- Vázquez-Sánchez, M.A., Méndez-Gómez, E., 1994, Aspectos generales de la región: Lagos de Montebello, Reporte del trabajo para el curso de conservación de naturaleza y recursos naturales: Recursos Naturales y Desarrollo Rural, ECOSUR Chiapas, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, Maestría en Ciencias México. 109 p.
- Verstappen, H.Th., van Zuidam, R., 1991, *El Sistema ITC para Levantamientos Geomorfológicos ITC: The Netherlands ITC Enschede*, Publication number 10, 87.
- White, E.B., 1984, *Rate processes: Chemical kinetics and karst landform development, groundwater as a geomorphic agent*: Boston, Allen and Unwin, Inc, 227-248.
- Witt, C., Rangin, C., Andreani, L., Olaz, N., Martínez, J., 2011, The transpressive left-lateral Sierra Madre de Chiapas and its buried front in the Tabasco plain (southern Mexico): *Journal of the Geological Society*, London, 169, 143-155.

Manuscrito recibido: Febrero 21, 2014.

Manuscrito corregido recibido: Abril 20, 2014.

Manuscrito aceptado: Abril 23, 2014.