



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

MORFOMETRÍA DE DEPRESIONES KÁRSTICAS A ESCALA DETALLADA: EL CEDRAL, COZUMEL – MÉXICO

TESIS

Para obtener el grado de

LICENCIATURA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA

José Francisco Rodríguez Castillo

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Oscar Frausto Martínez

ASESORES

Dr. Luis Manuel Mejía Ortíz

Dr. Adrián Cervantes Martínez

Dra. Martha Angélica Gutiérrez Aguirre

Dra. Patricia Frago Servón

Cozumel Quintana Roo, México, noviembre de 2021





UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

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

NOMBRE DE LA LICENCIATURA

COMITÉ DE TESIS



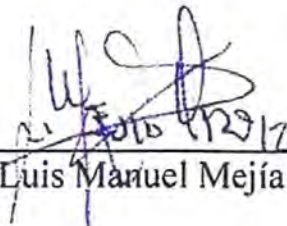
Director:


Dr. Oscar Frausto Martínez

Asesor:


Dr. Adrián Cervantes Martínez

Asesor:


Dr. Luis Manuel Mejía Ortiz



COMITÉ DE TESIS

Suplente:



Dra. Martha Angélica Gutiérrez Aguirre.

Suplente:



Dra. Patricia Fragoso Servón.



*En agradecimiento especial a mi familia...
“Ustedes han sido siempre el motor que impulsa
mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron
siempre a mi lado en los días y noches más
difíciles durante mis horas de estudio. Siempre
han sido mis mejores guías de vida. Hoy cuando
concluyo mis estudios, les dedico a ustedes este
logro, amados padres y hermanos, como una
meta más conquistada. Orgulloso de que sean mi
familia y que estén a mi lado en este momento
tan importante.*

*GRACIAS POR SER QUIENES SON Y POR
CREER EN MÍ”*

*Gracias a mi mamá, María del Carmen Castillo
Alvares.*

Gracias a mi papá, Alvaro Pegueros Hernández.

*Gracias a mis hermanos, Alvaro Adrián
Pegueros Castillo y Alberto Arturo Pegueros
Castillo.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Doctor Oscar Frausto Martínez por ser un gran ejemplo para seguir, por enseñarme y guiarme a todo lo que aprendí, por su exigencia que te vuelve una mejor persona, más responsable y eficiente.

Agradezco a mis asesores por acompañarme hasta el final de la tesis.

A todos mis maestros que me enseñaron todo lo que se y pongo en práctica para esta tesis.

Agradezco a mi familia, por todo lo que me brindo en material y en corazón, con sus palabras, mis abuelos, mis tíos, que en todo momento se preocuparon por que yo lograra cumplir mi meta.

A mis compañeros de laboratorio, que me ensañaron a como ser más responsable.

A mis compañeros de clase que estuvieron conmigo en todo el proceso de formación de la carrera.

A todas mis amistades que me motivaron a seguir adelante y superarme.

A la Universidad de Quintana Roo, toda la administración, limpieza y guardias que trabajan para hacer una mejor institución.

ÍNDICE

RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN.....	12
ANTECEDENTES.....	14
JUSTIFICACIÓN.....	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
HIPÓTESIS.....	19
OBJETIVOS.....	20
Objetivo principal.....	20
Objetivo específico.....	20
ÁREA DE ESTUDIO.....	21
MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
Preparación de insumos cartográficos.....	23
Localización de los cenotes y depresiones.....	24
Generación e interpretación de perfiles topográficos y azimut del eje mayor.....	25
Generación de los modelos tridimensionales de las depresiones.....	26
RESULTADOS.....	29
Perfiles tipo “V”.....	29
Perfiles tipo “U”.....	30
Perfiles tipo “II”.....	30
Dolinas.....	32
Dolinas-úvalas.....	33
Úvalas.....	33
Poljes.....	33
DISCUSIÓN.....	38
CONCLUSIÓN.....	42
BIBLIOGRAFÍA.....	44
ANEXOS.....	49
Anexo 1. Base de datos de las depresiones kársticas de El Cedral - Cozumel.....	49
Anexo 2. Artículo derivado de la tesis.....	54

RESUMEN.

El estudio geomorfológico permite una clasificación adecuada de la forma y estructura del relieve kárstico desarrollada a lo largo del tiempo. En la actualidad, existe una clasificación del relieve kárstico que diferencia las unidades de acuerdo con la dimensión de sus ejes X y Y, en 3 categorías principales: poljes, úvalas y dolinas (índice de compacidad). Los objetivos principales de esta tesis son analizar y clasificar las depresiones kársticas de la zona conocida como El Cedral, ubicada en isla Cozumel, México, como una alternativa en la comprensión de la evolución del relieve insular del Caribe. El relieve kárstico se analizó a partir de la generación de un modelo digital de elevación (MDE) que se obtuvo de un mosaico de datos LiDAR (en inglés: light detection and ranging), derivado del método de interpolación de vecino más cercano aplicado a una nube de puntos LAS. Este modelo cuenta con una resolución de datos de 5 m para los ejes X, Y, y con 0.50 cm para el eje Z; se georreferenciaron 48 cenotes de la base de datos en campo y se identificaron, a través de percepción remota, otras 346 depresiones, tomando como criterio una profundidad mínima de 1 m; además, se generaron los perfiles longitudinales por medio de la interpolación de datos de altitud a través del eje X de la depresión. Se visualizó e interpretó el perfil longitudinal, el cual se trazó manualmente en las 394 depresiones. Se presenta una tipología de las depresiones sustentada en la morfología del perfil en planta (en forma de "V", en "U" y en "II"), la profundidad y el gradiente de las laderas; además se complementa con la clasificación del índice de elongación y el azimut del eje mayor. Los resultados principales son: El eje mayor oscila de 20.1 a 217.5 m, con promedio de 68.5 m; la profundidad máxima es de 10.75 m y la mínima de 1 m, siendo la media de 1.75 m; En la configuración de los tipos de forma se reconoce que el 68% corresponde a depresiones de tipo V, 21% de tipo U y 11% a perfiles tipo hoyas; estos últimos presentan fondo en contacto con el manto freático y el 70% con procesos de inundación permanente. En la clasificación por índice de elongación se encontró que 14% corresponden a dolinas (redondas), 41% están en esa transición de dolinas a úvalas (redondas a ovaladas), 17% corresponden a úvalas (ovaladas a rectangulares) y, el último 27% a poljes, siendo las úvalas y poljes las que poseen una configuración compleja, la cual se presume es resultado de una migración de fallas transformantes W a E por el desarrollo y evolución de la Trinchera del Caymán, con orientación de NW 40°SE influenciadas por remanentes de fallas más antigua. Se reconoce que la distribución de las depresiones es de carácter radial, lo que pone de evidencia el proceso de disolución asociado a la estructura geológica original en procesos genéticos asociados a la evolución morfológica de isla Cozumel. Los análisis

geomorfológicos de este tipo, aplicados a lugares de bajo contraste altitudinal, son escasos, la mayoría de los estudios se han aplicado a escala más grande, adaptándose a los insumos existentes, la clasificación más cercana a este tipo de estudio, basado en los perfiles, se han realizado a valles montañosos en los que la escala espacial es superior y el contraste de altitud es mucho mayor, siendo esta propuesta la contribución principal de este trabajo.

Palabras clave: Geomorfología, análisis bidimensional, estructura de relieve, islas del carbonatadas

INTRODUCCIÓN.

El relieve se representa cartográficamente mediante curvas de nivel (CN), éstas son la traza entre un plano horizontal y el relieve proyectadas en un mapa a escala (Lugo, 1988). En la representación del relieve, las técnicas disponibles juegan un papel importante y, utilizando insumos como la elaboración de modelos digitales del terreno (MDT), ha permitido obtener información tridimensional del relieve de un área de estudio para extraer información topográfica, por ejemplo, en modelos raster o vectoriales de datos altimétricos, de pendiente, orientación, sombreado, entre otros (Frausto-Martínez *et al.*, 2018).

El relieve kárstico es el resultado de los procesos de erosión sobre las rocas calizas, moldeando diversas formas a partir de bloques base (Williams, 1972). Las formas principales que generan la karstificación son exokársticas si estas formas se producen en superficie, y endokársticas si tienen lugar en cavidades subterráneas (De Pedraza, 1996). Estas formas están sujetas a procesos los cuales están gobernados por factores intrínsecos y extrínsecos, los cuales actúan en diferentes escalas de tiempo y espacio, generando una amplia gama de formas y grados de karstificación. Los factores intrínsecos incluyen la litología, el grado de porosidad de la matriz y la fractura de la roca; los extrínsecos, el clima, la temperatura, la vegetación, la mezcla de agua dulce y salada y el tiempo de duración de la exposición al proceso en cuestión (Beddows *et al.*, 2007).

El relieve kárstico puede estudiarse a partir del monitoreo 3D y la generación de modelos digitales de elevación (MDE). Los modelos se originan a partir de la extracción de datos altimétricos de MDT o la digitalización de las curvas de nivel e interpolación de los datos altitudinales, a partir de herramientas del Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para ello, el elemento significativo es el reconocimiento de las depresiones como un indicador clave de procesos de karstificación en las superficies calizas (Ford y Williams, 2007; Cahalan y Milewski, 2018; Salles *et al.*, 2018). La formación de cenotes, deben su origen al proceso geomorfológico denominado karst, que consiste en la combinación de los mecanismos de disolución, colapso y construcción de rocas solubles (Lesser y Weidie 1988; Lugo-Hubp 2011; Beddows *et al.*, 2007). Los cenotes son las formas que caracterizan el relieve de la Península de Yucatán (P.Y.), las cuales son depresiones originadas por colapsos, que tienen en el fondo, la mayoría de las veces, presencia de agua subterránea (Gaona-Vizcayno *et al.*, 1980; Ordóñez y García, 2010; Lugo-Hubp 2011).

Por otra parte, existen dos herramientas de análisis que complementan las aproximaciones de estudio clásico del relieve kárstico (Williams, 1972; Karmann, 1994): A. El perfil topográfico permite observar la forma del relieve de manera gráfica en un eje X, Y; y B. El corte geológico que es una representación de la distribución de las estructuras geológicas en profundidad y a lo largo de una sección vertical de la superficie terrestre (Ortiz, 2010).

Los perfiles topográficos poseen la importancia de demostrar gráficamente el comportamiento de una sección en particular (Macedo y Souza, 2018). Esto se realiza trazando una línea longitudinal que tome la información altimétrica del área de estudio. Este proceso se puede automatizar con el uso de las herramientas de análisis topográfico y de relieve que poseen programas SIG (ArcGIS, QGIS, GvSIG, SAGA GIS, Global Mapper) (Colín-Olivares *et al.*, 2019). El análisis morfométrico, combinado con la estadística descriptiva sobre una población suficiente de cuerpos del paisaje kárstico, permite una descripción cuantitativa de la distribución probabilística de sus formas (Paredes *et al.*, 2019; Ferreira y Uagoda, 2020).

ANTECEDENTES

En la P.Y. se han realizado diversos estudios enfocados en analizar el relieve kárstico y su bajo contraste altitudinal (Frausto-Martínez, *et al.*, 2018; Colín-Olivares, *et al.*, 2019; Fragoso-Servón *et al.*, 2020). Las aproximaciones de análisis se han centrado principalmente en generar los primeros aportes para tener información precisa acerca de las formas del relieve presentes en un bajo contraste altitudinal y que, históricamente en la información geográfica-cartográfica oficial, se ha sobre generalizado (Ihl, *et al.*, 2007; Frausto-Martínez *et al.*, 2008; Aguilar *et al.*, 2016). Así, estudios como el de Fragoso-Servón *et al.* (2014), aplicado al estado de Quintana Roo, que aporta los índices morfométricos a escala 1:50 000, es uno de los más importantes para la zona, ya que acentúa los métodos y algoritmos para clasificar las depresiones kársticas de acuerdo con una diferenciación de las unidades en 3 categorías principales: poljes, úvulas y dolinas aplicando el índice de compacidad.

Lo anterior sentó las bases para que Fragoso-Servón *et al.* (2016), analizaran los procesos kársticos y la presencia de fallas con el uso de imágenes Landsat 7 ETM del 2010 y cartografía escala 1:50 000, a través de un enfoque geomorfopedológico. La información generada en los estudios del relieve kárstico es de importancia para la prevención de riesgos como lo demostró el trabajo de Pereira *et al.* (2016), en el que, superponiendo capas de datos provenientes del modelo digital de terreno (MDT) del 2013 y cartografía de escala 1:250 000 y 1:50 000, evidenció la importancia de los estudios de edafología, geología, geomorfología e hidrología, generando un mapa de riesgo de inundación a nivel regional, en el estado de Quintana Roo.

Como complemento, Macedo y Souza (2018), realizaron un análisis sobre el estudio del perfil topográfico. Con el uso de software vectorial y un MDT, trazaron el corte topográfico que usaron para graficar el relieve. Posteriormente, se realizó un estudio similar por Ferreira y Uagoda (2019), fundamentado en la forma topográfica de las depresiones, donde se recopiló información de estudios previos y definieron una clasificación de dolinas en cuya tipología destacaron 3 elementos por el tipo de perfil (caldero, dirigida y cenote), los autores recalcaron la función clima-suelo como factor de la presencia de depresiones.

El estudio del relieve kárstico ha evolucionado con la implementación de nuevas tecnologías de análisis. Tal es el caso del uso de datos LiDAR (Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging, en inglés). Una herramienta de detección y medición de la luz, que permite determinar la distancia desde un emisor

láser a un objeto o superficie utilizando un haz de láser pulsado. Los datos de tecnología LiDAR ya se han utilizado en la P.Y. por Frausto-Martínez *et al.* (2018) en donde, a partir de metodologías y herramientas del SIG, generaron insumos con una resolución de datos de 5 m para los ejes X y Y, y de 15-20 cm para el eje Z. Lo que permitió identificar depresiones kársticas y generar la nueva cartografía exokárstica de bajo contraste altitudinal en isla Cozumel, Quintana Roo, a una resolución de 25 cm en la vertical por píxel. Esta metodología e insumos generados con este artículo permitió que se lleven a cabo análisis como los realizados por Colín-Olivares *et al.* (2019), en la zona urbana de isla Cozumel, en el cual con el MDE obtenido de datos LiDAR, realizó 2 procedimientos comparativos, para la obtención de la profundidad relativa (Relación directa entre la cota mayor y la cota menor de la depresión) de las depresiones kársticas, usan un método para datos ráster y otro para datos vectoriales, dejando así una metodología para la obtención semiautomatizada de profundidad relativa. Posteriormente, Frausto-Martínez *et al.* (2021) realizó un análisis de las depresiones kársticas de la zona urbana, dándole continuación a estudio de Colín-Olivares *et al.* (2019) en la misma zona de estudio, en este estudio generó una propuesta de administración de unidades kársticas, para su saneamiento en la zona urbana, clasificando su importancia por densidad de población. De igual manera, genero una clasificación por índice de elongación, utilizando los ejes mayores y los ejes menores dando 4 clasificaciones; dolinas, dolinas-úvalas, úvalas y poljes.

Finalmente, Paredes *et al.*, en el 2019, realizó un reconocimiento semiautomático de depresiones kársticas usando el análisis clúster de las distribuciones morfométricas y aplicándolo al karst mediante dos algoritmos (llenado y jerárquico) en ArcGIS, usando los inventarios de cenotes de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Gobierno de Yucatán, la de cuerpos de agua registrados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), curvas de nivel hipsométricas a escala 1:50000 (INEGI) y el modelo digital de elevaciones con 15 m de resolución (CEM 3.0, INEGI).

JUSTIFICACIÓN.

En México se tienen contabilizados a la fecha 757 cuencas hidrológicas que se reparten por todo el país. Las cuencas se agrupan en 37 regiones hidrológicas, éstas a su vez en 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA) (CONAGUA, 2015). Los estudios realizados a nivel nacional de las cuencas han homogenizado a la península como una zona plana, sin drenaje y sin relieve, como en los trabajos de los siguientes autores: Ortiz-Pérez (2010) en el que realizó una clasificación ecogeográfica de cuencas tomando solo como referencia las zonas del país con alto contraste altitudinal; Cuevas *et al.* (2010) en el que regionalizaron las cuencas hidrográficas de todo el país; Garrido *et al.* (2010) en el cual delimitaron las zonas de las cuencas hidrográficas del país; y Hernández *et al.* (2017) en el cual se realizó una clasificación geomorfométrica del relieve mexicano por medio de la densidad de curvas de nivel y la energía del relieve, usando cartografía de varias partes del país y con diferentes temáticas a una escala de 1:250 000. En esta última, la P.Y. aparece con una energía casi nula a diferencia del resto de la República.

Si bien, hay varios estudios aplicados a la P.Y. enfocados al relieve topográfico generando índices morfométricos, no se aplican para elaborar una clasificación usando la información tridimensional que los MDE Y MDT generan, ya que la aplicación de los perfiles requiere de un nivel de detalle tratándose de áreas de bajo contraste altitudinal; la escala más detallada fue usada en el artículo de Paredes *et al.*, (2019), usando cartografía con escala 1:50 000 y MDE con resolución a 15m, ésta no es de suficiente resolución para realizar un estudio a zonas como isla Cozumel, caracterizada por un bajo contraste altitudinal, ya que cuenta con una altitud máxima de 16.75 m, por lo que usando los información altimetría de las curvas de nivel a escala 1:10 000 con detalle de 5m con los ejes X y Y, y con un 0.50 cm para el eje Z, permite generar índices morfométricos más detallados (Frausto-Martínez *et al.*, 2018).

La P.Y. comprende los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo, así como, geológicamente está conformado por el Petén guatemalteco y el norte de Belice (Wilson, 1980). El 90% de su superficie está a menos de 200 msnm, siendo la Sierrita de Ticul, en el estado de Yucatán, la única elevación prominente (Beddows *et al.*, 2007). Isla Cozumel comparte el mismo tipo de suelo kárstico que el resto de la península, los procesos exokársticos y endokársticos moldean el paisaje Kárstico generando formas complejas, las cuales, debido a que la isla posee un bajo contraste altitudinal no se pueden reconocer si no se analizan a una escala detallada y regionalizada para este tipo de relieve (Colín-Olivares *et al.*, 2019). El relieve heterogéneo kárstico posee

diferentes variables morfométricas en sus depresiones como lo han demostrado los trabajos realizados por Fragoso-Servón *et al.*, (2014), Fragoso-Servón *et al.*, (2016), Pereira *et al.*, (2016) y Paredes *et al.*, (2019) en el estado de Quintana Roo y Yucatán, utilizan modelos con resolución mínima de 15 m, con el uso de curvas de nivel hipsométricas escala 1:50 000, dicha resolución espacial resultó una limitante en sus aproximaciones. Con la escala detallada se pueden obtener los datos de profundidad, longitud, y pendiente. Los cuales ayudarían a reconocer los procesos que modelan el paisaje kárstico como lo son los de diagénesis meteórica, el cual es provocado por la actividad hidráulica horizontal, la sedimentación y cementación generada (Vacher-Myloie, 2002; Ordoñez-Crespo y García-Rodríguez, 2010; Andreu *et al.*, 2016; Ferreira y Uagoda, 2019).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Si bien, existen estudios del relieve de la P.Y. enfocados a la clasificación de las depresiones kársticas (Fragoso-Servón *et al.*, 2014), éstos no se aplican para elaborar una clasificación utilizando como insumo la información tridimensional que los MDE Y MDT generan, ya que la aplicación de los perfiles bidimensionales requiere de un nivel detalle tratándose de áreas de bajo contraste altitudinal; la escala más detallada fue usada en el estudio de Paredes *et al.* (2019), usando cartografía con escala 1:50 000 y MDE con resolución a 15 m, ésta no es de suficiente resolución para realizar un estudio en territorios como las islas del caribe de México, en específico isla Cozumel, caracterizadas por un bajo contraste altitudinal, donde la altitud máxima es de 16.75 m, por lo que, usando los información altimetría de las curvas de nivel a escala 1:10 000 con detalle de 5 m con los ejes X y Y, de 0.50 cm para el eje Z, permite generar índices morfométricos más detallados (Frausto-Martínez *et al.*, 2018; Colín-Olivares, 2019). Teniendo estos insumos y modelos con gran nivel de detalle ¿Qué índices morfométricos se pueden obtener en zonas con bajo contraste altitudinal usando cartografía detallada de la zona de estudio, y como generar una clasificación que utilice la información tridimensional y bidimensional de los modelos de elevación?

HIPÓTESIS

La implementación de herramientas con nuevos métodos y tecnologías ayuda a que estos estudios se vuelvan más precisos y se pueda obtener más información de bajo contraste altitudinal que generan índices morfométricos, para una clasificación más acorde a la forma y estructura del relieve kárstico en áreas de bajo contraste altitudinal, sumado a zonas inhóspitas y de difícil acceso.

OBJETIVOS

Objetivo principal

Clasificar las depresiones kársticas de la zona conocida como El Cedral, ubicada en isla Cozumel, México, utilizando información morfométrica generada con cartografía a escala detallada, principalmente con los perfiles topográficos trazados a partir del eje mayor, que sirven para determinar la diferenciación geomorfológica de las formas exokársticas.

Objetivo específico

- Generar una clasificación de la forma del relieve que considere los 3 ejes de un modelo tridimensional y los cuales son producto de un MDE derivado de un mosaico de datos LiDAR
- Clasificar las unidades de estudio por índice de elongación el cual considera la longitud del eje mayor con relación al eje menor para el reconocimiento de su génesis (exokárstica o endokárstica).
- Analizar la estadística de los datos morfométricos, utilizando las variables de altura máxima y mínima, profundidad máxima y mínima, profundidad relativa y volumen.
- Analizar la orientación de las unidades kársticas clasificadas según los índices morfométricos por medio de los rumbos, obtenidos del azimut de cada unidad, utilizando una roseta de fracturas.
- Brindar información del relieve a través de los modelos de terreno y los mapas de formas del perfil de las unidades kársticas para una gestión óptima, para diversos usos: conservación, protección, manejo y aprovechamiento rural, turístico, arqueológico, urbano, entre otros.

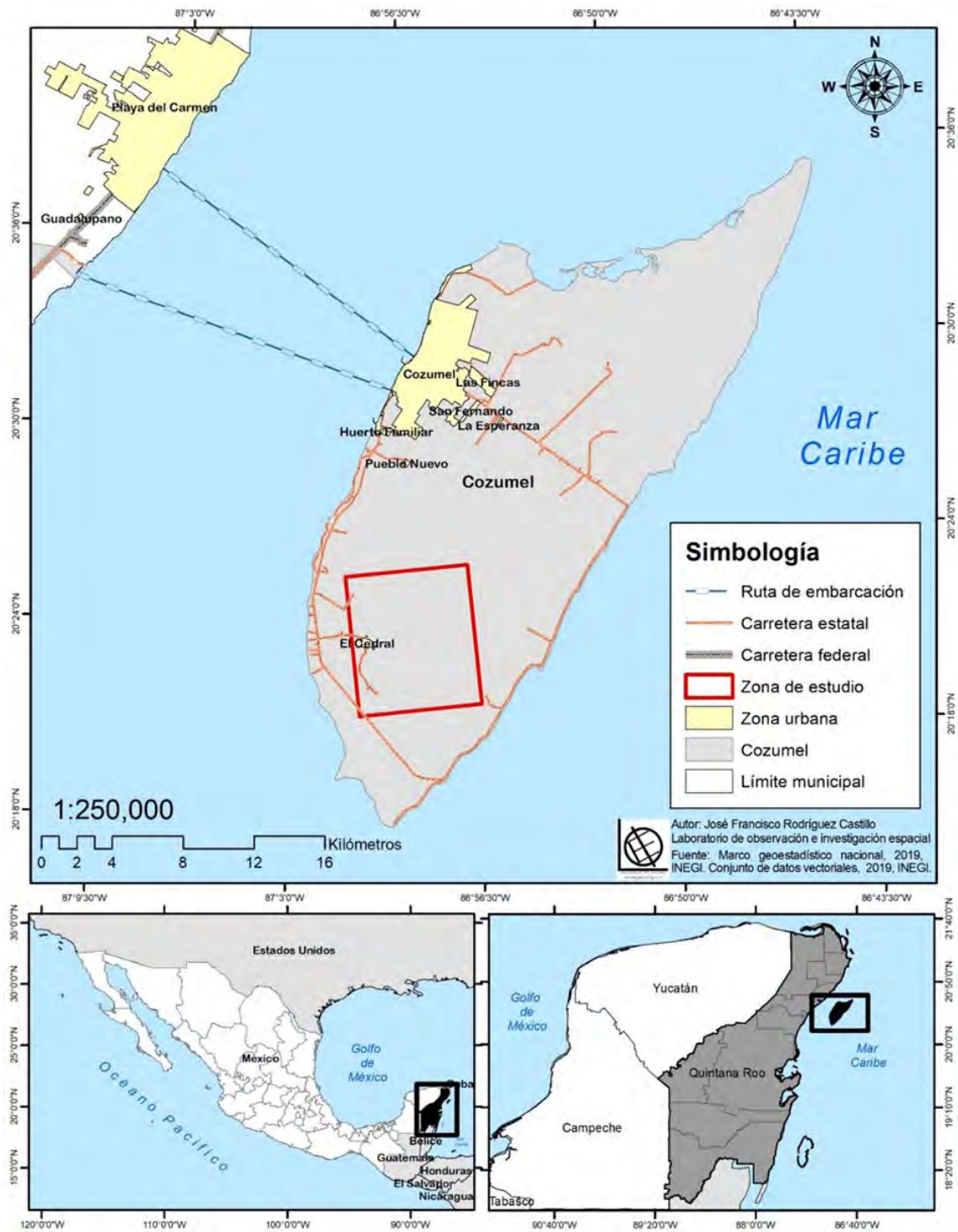
ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se ubica en el sector centro sur de isla Cozumel, en la cercanía de la localidad de El Cedral. Es una terraza marina localizada en las coordenadas extremas 20° 20' y 20°24' Norte y 86°56' y 87° 00' Este (ver figura 1). Es un territorio remoto de selva mediana subperennifolia cuya flora principal son: zapote, chacah, ramón, etcétera, cuya altitud máxima es de 16.75 m. La temperatura promedio anual es de 25.5 grados Celsius y las precipitaciones alcanzan los 1 504 milímetros anuales (Frausto-Martínez *et al.* 2018), el clima es cálido húmedo con lluvias en verano con un índice de Lang de 55.3 y alto porcentaje de lluvia invernal mayor a 10.2 (Orellana *et al.*, 2007). En el año 2016 contaba con un total de 100 363 habitantes, de los cuales 50 396 son hombres y 49 966 son mujeres (COESPO, 2019).

Isla Cozumel es un pilar tectónico con presencia de episodios de ascenso y descenso del nivel del mar coincidente con los periodos glaciares de hace 121 000 a 60 000 años atrás (Kambesis y Coke, 2013), con un incremento en las dimensiones insulares durante los episodios donde el nivel del mar registró su máximo retroceso hace 15000 – 20000 años, generando grandes depósitos carbonatados alrededor de la isla (Ward, 1997). Su origen se remonta entre el Mesozoico y Cenozoico, a través de un sistema discordante de fallas de tipo pilar – graben o macizo tectónico, en la P.Y., y cuya posición no ha cambiado en los últimos 200,000 años (Ward, 1997) (Fig. 1). Debido a las características geológicas de la isla casi todo el subsuelo forma parte del acuífero.

El área de estudio se encuentra en la zona de formación kárstica más antigua de la isla la cual se formó con a la acumulación de dolomías y calizas, formando un tipo de suelo lacustre y litoral (CONANP, 2007; INEGI, 2009), este tipo de suelo se formó debido al descenso lento del nivel del mar y a acumulaciones estables de agua salina de poca profundidad en un ambiente carbonatado (Benavides *et al.*, 1998). El descenso del nivel del mar también causó que bajara la cota del nivel del manto freático para nivelarse con el del mar, formando con este proceso los conductos kársticos que fungen como drenaje preferencial hacia el mar (Ordoñez-Crespo y García-Rodríguez, 2010). El tipo de suelo predominante actualmente es el Leptosol (68.77%), Solonchak (11.65%), Arenosol (9.55%) y Gleysol (5.91%) (INEGI, 2009).

Figura. 1. Localización del área de estudio.



MATERIALES Y MÉTODOS

Para el logro del objetivo se definieron cuatro fases: preparación de insumos cartográficos, localización de cenotes y depresiones, generación e interpretación de perfiles topográficos y, finalmente, generación de los modelos tridimensionales de las depresiones.

Preparación de insumos cartográficos

Dado que los productos cartográficos, topográficos y de elevación de los continuos nacionales y las cartas topográficas 1:250 000 y 1:50 000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) no muestran datos de elevación a detalle para las zonas insulares y bajo relieve de la P.Y. (15 m la resolución de mayor calidad del Continuo de Elevaciones Mexicano).

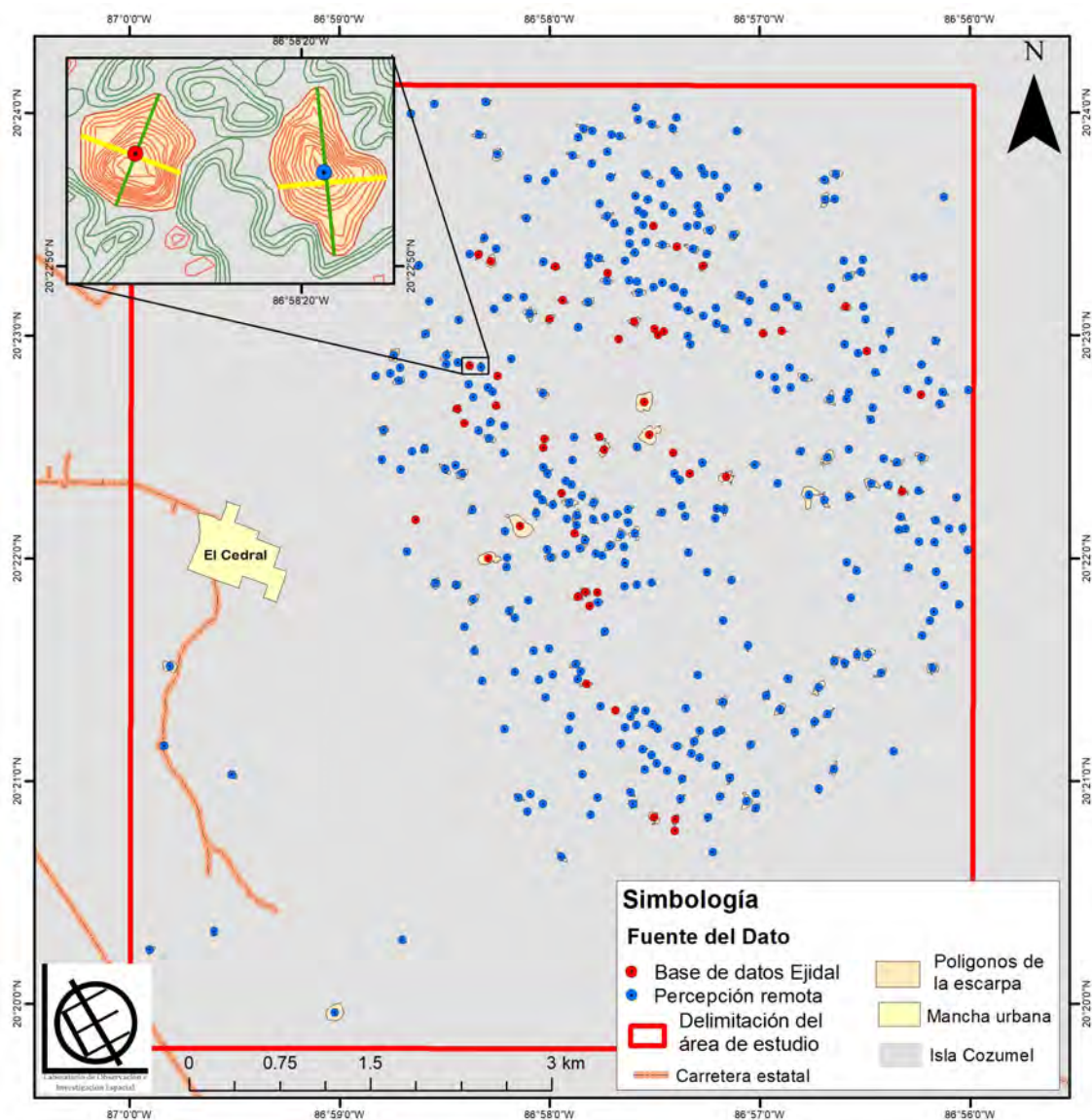
Para esta tesis, se utilizaron los datos LiDAR disponibles para la región (<https://www.inegi.org.mx/app/mapas/?tg=1015>). Se procesaron 32 archivos LiDAR de 5 m de resolución en formato ASCII/GRID, que cubren la totalidad de superficie de Cozumel, con un área de información de 62,556.27 km². Se normalizaron los 32 archivos y se conformó un mosaico en formato GEOTIFF, archivo base para los análisis posteriores. A continuación, se generaron las líneas de contorno del relieve del mosaico, utilizando los módulos de análisis LIDAR incluidos en el software Global Mapper v.18; al agregar el mosaico LIDAR, Global Mapper genera un MDE grid 3D de visualización y, con la herramienta “create contours”, se realizó la extracción de curvas de nivel con una equidistancia de 0.25 m, en un rango de 0 a 17 m (altitud máxima de Cozumel), el proceso de extracción de Global Mapper genera curvas suavizadas con una mejora notable de la apariencia de los contornos y permite exportar el archivo en formato vectorial con los valores de elevación, proyección y auxiliar para el modelado 3D de las curvas, así es posible generar cartografía a escala detallada de 1:10000 con una resolución de datos de 5 m para los ejes X, Y, y con 0.50 m para el eje z , utilizando para ellos los procesamientos de Frausto-Martínez *et al.*, (2018).

Se utilizó la herramienta “clip” del ArcGIS v. 10.6, para extraer las curvas de nivel del polígono de la zona de estudio. El área total de la zona de estudio es de 55.63 km² siendo el 11.5% aproximadamente del área total de la isla con información altimétrica de las curvas de nivel de toda la isla (484.18 km²), y por ende usando información de 4 de los 32 archivos LiDAR (Frausto-Martínez *et al.*, 2018: Macedo y Souza, 2018: Colín-Olivares *et al.*, 2019).

Localización de los cenotes y depresiones

Se georreferenciaron 48 cenotes del inventario que proporcionó el presidente ejidal de El Cedral, se identificaron mediante coordenadas geográficas para generar un plano georreferenciado. Además, se reconocieron 346 depresiones complementarias (Figura 2), tomando como criterio una profundidad mínima de 1 m. Para ello, se utilizó el modelo vectorial de curvas de nivel generadas en Global Mapper v.18 a 25 cm de equidistancia. Se continuó con la generación de información topográfica en el software ArcGIS 10.6 del modelo altimétrico discriminando las curvas positivas y las negativas, etiquetándolas como curvas de nivel para las positivas y depresiones para las negativas. Con lo anterior, se genera un inventario topográfico básico de vectores.

Figura 2. Localización de las depresiones de estudio.



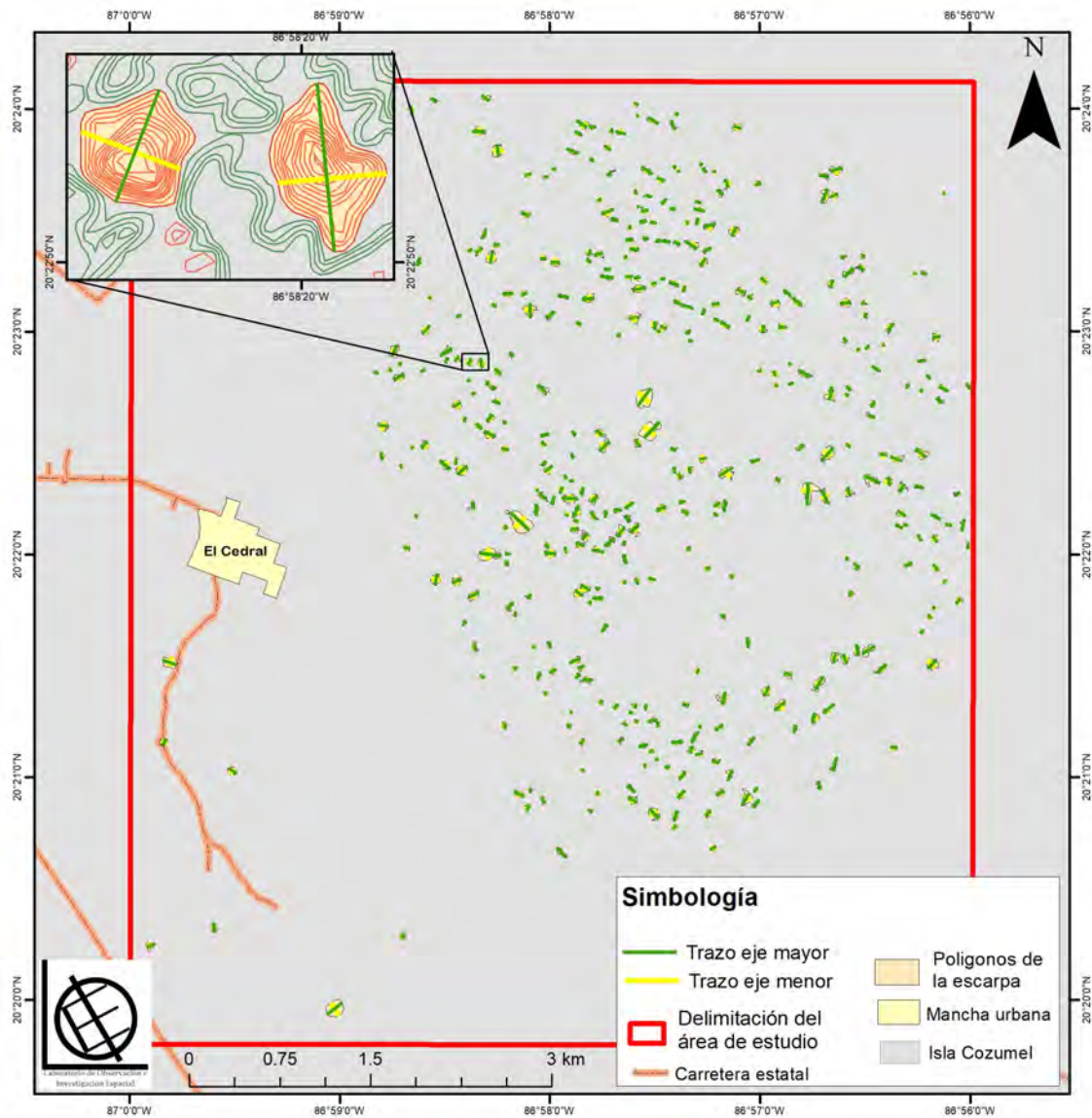
Generación e interpretación de perfiles topográficos y azimut del eje mayor

Para realizar el proceso de obtención de los índices morfométricos se utilizan los archivos vectoriales, debido a que los modelos con la información tridimensional son tipo ráster, no existe una tabla de atributos. Con las depresiones ya identificadas, utilizando el editor del SIG, se reconocieron las cotas máximas (escarpas) y las cotas mínimas (fondos) de cada depresión, reconociendo 394 escarpas en total, siendo menos que el número de depresiones debido a la redundancia de datos de la base de depresiones del campo ejidal, ya que pertenecen a la misma depresión. De la unidad de fondo se reconocieron 415 elementos, más que las escarpas, debido a las depresiones complejas contienen más de un fondo. Una vez marcados los fondos y las escarpas de las depresiones con la herramienta "Polyline to poligon" se convirtieron las polilíneas a polígonos y, posteriormente, se le asignó un ID a cada escarpa conservando sus campos de altura dentro de la tabla de atributos (Frausto-Martínez *et al.*, 2018; Macedo y Souza, 2018; Colín-Olivares *et al.*, 2019).

Después, en cada depresión se trazó, de manera semiautomatizada, el eje mayor y menor con base a su forma, teniendo como límite la escarpa superior; por lo que, se generaron 394 ejes mayores y 394 ejes menores, a los cuales se les dio el mismo ID que la escarpa sobre la que están trazados (Figura 3). Esto para establecer la clasificación por índice de elongación de cada unidad (Frausto-Martínez *et al.*, 2018; Macedo y Souza, 2018; Colín-Olivares *et al.*, 2019). Para la clasificación por índice de elongación se tipificó la unidad de depresión con relación al ancho (eje menor) y largo (eje mayor) de la escarpa, siendo un índice menor a 1.25 para las dolinas, los que tienen un índice de 1.25 pero menor a 1.75 son aquellas que se encuentran en la transición de dolinas a úvalas, las úvalas poseen un índice de 1.75 pero menor a 2 y, por último, aquellas con un índice mayor a 2 se clasificaron como poljes (Frausto-Martínez *et al.*, 2021; Frago-Servón *et al.*, 2014).

Para la obtención del azimut de los ejes mayores se utilizó la herramienta "COGO" en el ArcGIS, teniendo en cuenta que cada línea tiene mediciones que la describen, en este caso, una línea recta (eje mayor) que tiene dirección y distancia, estas mediciones son útiles para descripciones de la geometría de coordenadas, con estas descripciones COGO para recrear con exactitud las entidades capturadas en un plano topográfico. Con esto se creó un nuevo campo en donde se capturo el azimut de cada unidad. Contando ya con el azimut, se utilizó el software de Stereonet v.10.4.6 para hacer el cálculo de los rumbos y con ello la roseta de fracturas.

Figura 3. Trazado de ejes mayores y menores.



Generación de los modelos tridimensionales de las depresiones

Se realizó un proceso de interpolación usando el conjunto de herramientas del "3D Analyst Tool", ejecutando el "Create TIN", que generó un archivo tipo TIN, el cual es una representación de una superficie mediante una red irregular de triángulos que se genera a partir del método de interpolación lineal de las curvas de nivel del área de estudio; con el método de triangulación Delaunay, que cuantifica y modela sus características 3D, se obtiene el TIN con una resolución de 0.25m.

Los polígonos se interpolaron con el TIN utilizando la herramienta de “Interpolate shape” el cual añade los valores de elevación a los vectores, el método de interpolación depende del tipo de superficie que se utilice. Para este caso, se utilizó la lineal, que es el predeterminado para TIN, terreno y dataset LAS que obtiene la elevación del plano definido por el triángulo que contiene la ubicación XY del vector utilizado. Con el factor de Z en 1, el cual indica por cuanto se multiplicarán los valores Z. Esto se usa típicamente para convertir unidades lineales Z para que coincidan con unidades lineales XY. Para este estudio, el 1 hace que los valores de elevación no sufran cambios. Este procedimiento se aplicó a los polígonos de las escarpas y fondos, y las líneas de los ejes mayor y menor, obteniendo las características 3D del modelo. Este proceso hizo que las escarpas y los fondos se volvieran una sola unidad, mejorando la obtención de datos, debido a que con los vectores al haber depresiones con más de un fondo hacía que sobraran fondos con la unión de tablas (escarpas y fondos).

En las tablas de atributos de las escarpas se crearon las columnas para la cota máxima y para la cota mínima, y con la herramienta “calculate geometry” se obtuvo el área de cada escarpa, y con los valores de altitud integrados en el polígono se le señaló al sistema que añadiera los valores de “Min Z of geometry” para el fondo y el valor “Max Z of geometry” para las escarpas; finalmente y con el “Field calculator” se introdujo la siguiente función:

$$DA=ZMax-ZMin$$

Donde:

DA = Diferencia de altura entre escarpa y fondo

ZMax = Altura de la escarpa

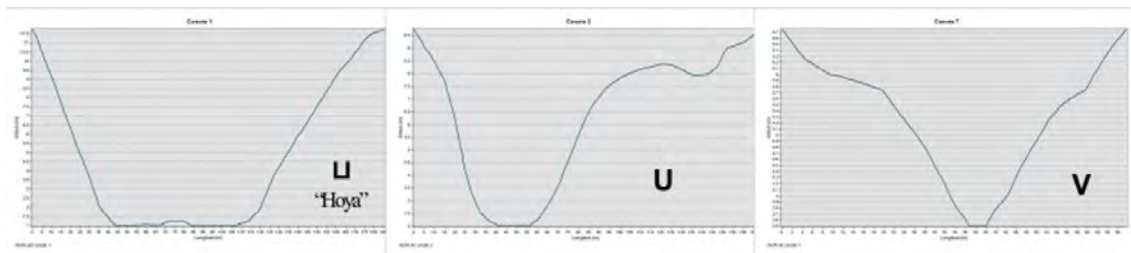
ZMin = Altura del fondo

Con lo anterior, se obtuvo la profundidad relativa (relación directa de la escarpa y fondo) de cada depresión. Con los polígonos de escarpa se usaron las herramientas “Triangulator Surface” y “Polygon Volume” para calcular el volumen y el área entre un polígono con una altura constante y una superficie. La superficie puede ser de dataset TIN, terreno o LAS. Para procesar la clase de entidad se deben tener las características de cada polígono, que definen la región que se está procesando de esta entidad la cual debe tener el campo de altura en la tabla de atributos del polígono

para definir la altura del plano de referencia utilizado, esta referencia determinara los cálculos volumétricos. Ya listo el shapefile con el campo de altura, se vuelve el plano de referencia, y esta referencia consiste en indicar para que dirección se calculará el volumen y el área de superficie, tomando como partida el plano de referencia. Existen dos direcciones para las referencias que son "ABOVE" y "BELOW", "ABOVE" indica que el volumen y el área de superficie se calcularan por encima de la altura del plano de referencia de los polígonos; y "BELOW" que indica que el volumen y el área de superficie se calcularan por debajo de la altura del plano de referencia de los polígonos. Este proceso se realizó en las 394 escarpas utilizando el shapefile como plano referenciado a "BELOW", con los campos de altura hechos por efecto de la extracción de la curva de nivel, usando de superficie el dataset TIN de la zona de estudio. Con una resolución de nivel de pirámide de 0, que indica la tolerancia Z o la resolución del tamaño de la ventana, del nivel de la pirámide del terreno que utilizará esta herramienta, siendo 0 la resolución completa.

Con los ejes mayores y menores, en las tablas de atributos se agregó el campo de longitud, y para obtener la longitud del eje mayor y menor se utilizó la herramienta "Calculate geometry". Los perfiles longitudinales se visualizaron e interpretaron con la herramienta de "3D Analyst" para generar las gráficas de los perfiles y posteriormente clasificar las formas del perfil; en "V", "U" y en "U", la profundidad y el gradiente de las laderas (Figura 4).

Figura 4. Ejemplos de la clasificación de perfiles.

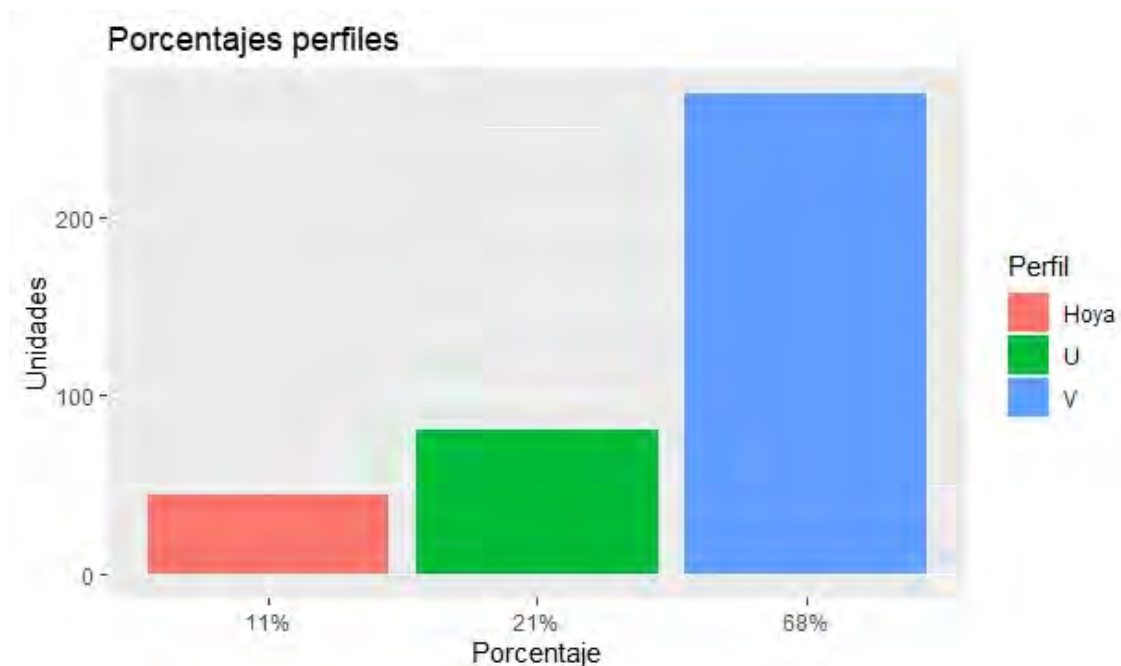


RESULTADOS

Los valores de profundidad de las 394 depresiones se encuentran en un intervalo de 1.75 m y un promedio de 1.90 m. La altitud máxima de las depresiones fue de 11.75 m, con un promedio máximo de 7.64 m y la altura mínima de 1 m con un promedio de 5.73 m. El intervalo del área de las escarpas fue de 23,484.19 m² como máximo y 272.23 m² como mínimo, y un promedio de 2,400.80 m². Con el volumen calculado el máximo es de 95,138.46 m³ y de mínimo de 131.46 m³, y un promedio de 2528.45 m³.

Los ejes mayores fueron 394, que tienen como intervalo de longitud un máximo de 217.54 m, como mínimo 20.14 m, y un promedio de longitud de 68.45 m. Los ejes menores se encuentran en un intervalo de longitud de 140.39 m como máximo, 14.71 m como mínimo, y un promedio de 38.74 m. Las formas de las depresiones, con base a la gráfica del perfil es: 68% de tipo "V", 21% de tipo "U" y 11% de tipo hoya o "U" (Figura 5).

Figura 5. Porcentaje por tipo de perfil.



Perfiles tipo "V"

En el cuadro 1 se observa la diferenciación de los parámetros morfométricos de cada tipo de depresiones. Todas las depresiones se ubican entre las curvas de nivel de 11.75 m y 1 m. Las depresiones de tipo "V" presentan profundidades máximas de 4.75 m, mínimas de 1 m, y un promedio de profundidad de 1.83 m; el volumen máximo para

este tipo de forma es de 68,443.64 m³, un mínimo de 131.46 m³, y un promedio de volumen de 2,084.03 m³, la longitud del eje mayor es de 193.85 m como máximo, 20.14 m de mínimo, y un promedio de 67.53 m, con el eje menor el máximo fue de 140.39 m, el mínimo de 14.71 m, y el promedio de 37.37 m.

Cuadro 1. Información morfométrica de las depresiones clasificadas por perfil.

Tipo de depresión medidas	V			U			Hoya		
	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima	Mínima	Promedio
Área (m²)	23,484.19	272.23	2,230.56	17,525.18	427.86	2,275.23	17,651.04	532.22	3,672.71
Perímetro (m)	580.86	59.94	196.64	606.60	78.11	189.28	696.62	83.85	242.49
Profundidad (m)	4.75	1.00	1.83	7.75	1.00	2.19	10.75	1.00	1.81
Volúmen (m³)	68,443.64	131.46	2,084.03	47,682.89	188.24	2,712.20	95,138.46	263.22	4,907.16
Longitud Eje Menor (m)	140.39	14.71	37.37	132.73	18.63	39.54	130.35	17.03	45.65
Longitud Eje Mayor (m)	193.85	20.14	67.53	186.71	25.46	64.13	217.54	27.88	82.00

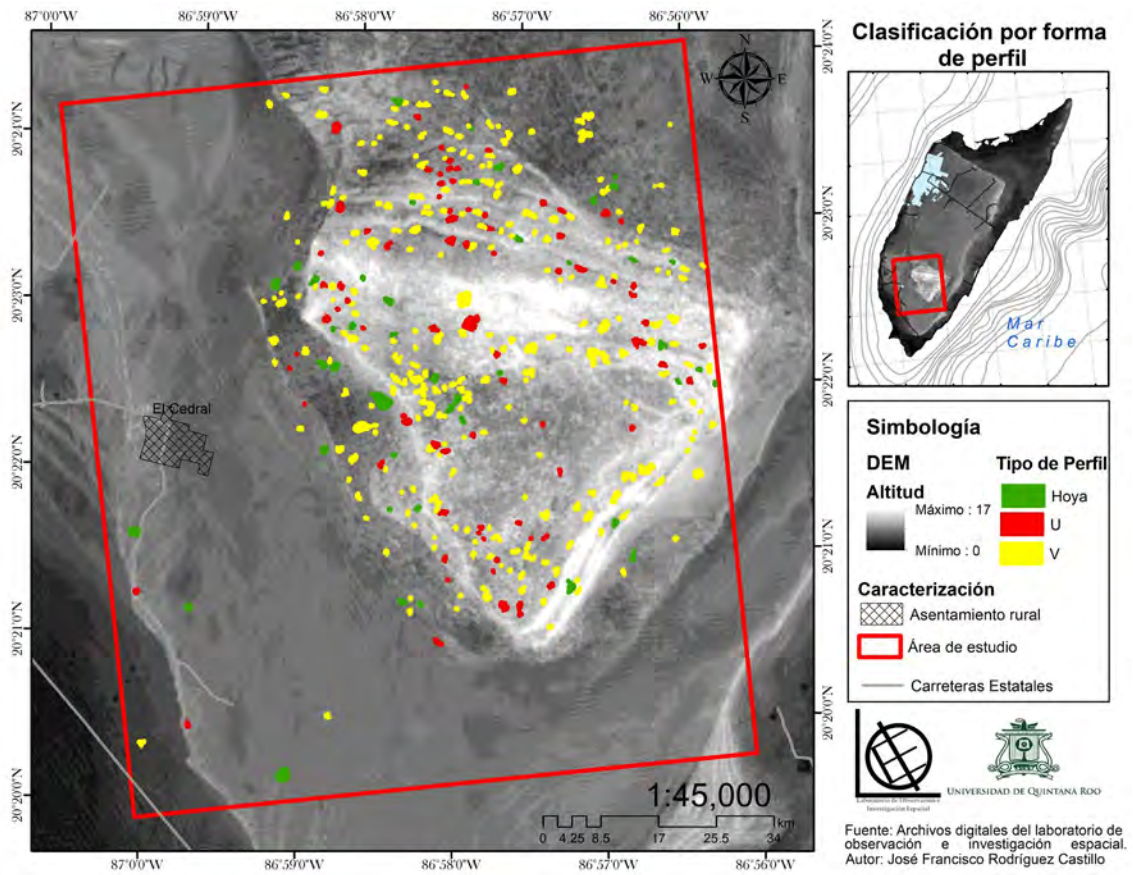
Perfiles tipo “U”

Las depresiones de tipo “U” son más profundas que las anteriores, de hasta 3.5 m más profundas. Se caracterizan por ser de mayor longitud en el eje mayor 186.71 m, anchura de 132.73 m y con áreas relativamente iguales 17,525.18 m².

Perfiles tipo “II”

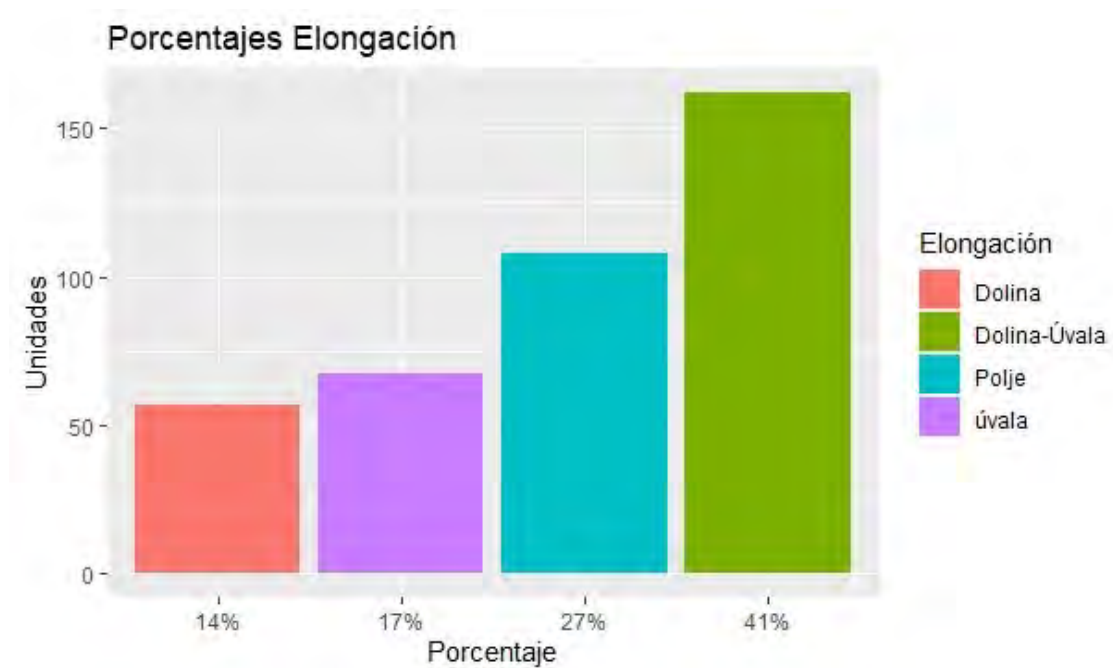
Finalmente, las depresiones de tipo hoyo o “II”, son las de mayor profundidad relativa con 10.75 m, mayor volumen teniendo 95,138.46 m³, aunque con menor área con 17,651.04 m². La figura 6 muestra la distribución de la tipología de las depresiones en la zona de estudio.

Figura 6. Distribución de la tipología de las depresiones en la localidad de El Cedral, Isla Cozumel.



Con la clasificación por índice de elongación se encontró que las formas de las depresiones, con base al índice de elongación es: 14% son dolina, 41% están en esa transición de dolina a úvala, 17% ya con la forma de úvala, y el 27% son poljes (Figura 7).

Figura 7. Porcentaje por tipo forma según el índice de elongación.



Dolinas

En el cuadro 2 se puede apreciar los datos morfométricos de las unidades clasificadas por índice de elongación, las dolinas tienen una profundidad promedio de 1.95 m, con máximas de 4.75 m y mínimas de 1 m, se caracterizan por ser las que poseen el área más pequeña relativamente siendo 6,689.02 m² como área máxima y 272.23 m² como mínima, y en promedio 1,728.04 m². Sus ejes mayores son los que presentan las fluctuaciones más pequeñas, teniendo como máximo en el eje mayor 103.13 m y 88.48 m en el eje menor, como mínima en el eje mayor es de 20.14 m y en el eje menor 17.31, y en promedio 42.30 m para el eje menor y de 49.33 m para el eje mayor.

Cuadro 2. Información morfométrica de las depresiones clasificadas por índice de elongación.

Tipo de depresión medidas	Dolinas			Dolinas-Úvalas			Úvalas			Poljes		
	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio
Área (m²)	6,689.02	272.23	1,728.04	23,484.19	359.71	2,452.97	13,205.66	292.33	2,343.24	13,847.21	776.65	2,713.31
Perímetro (m)	355.52	59.94	155.13	696.62	70.21	188.36	519.29	65.46	204.64	580.86	114.28	239.16
Profundidad (m)	4.75	1.00	1.95	10.75	1.00	2.00	3.75	1.00	1.84	3.50	1.00	1.77
Volúmen (m³)	8,095.93	131.46	1,636.10	95,138.46	188.24	3,313.66	27,425.91	138.65	2,070.47	18,548.81	307.80	2,105.71
Longitud Eje Menor (m)	88.48	17.31	42.30	140.39	17.13	41.81	100.79	14.71	37.46	88.51	15.36	33.06
Longitud Eje Mayor (m)	103.13	20.14	49.33	217.54	25.46	61.89	187.85	26.10	70.37	193.85	44.84	87.18

Dolinas-úvalas

En las dolinas-úvalas la profundidad máxima fue de 10.75 m, la mínima de 1 m, con un promedio de 2 m, el área máxima es de 23,484.19 m² y la mínima de 359.71 m² y un promedio de 2,452.97 m², este tipo de unidades son las que presentan un volumen más grande, siendo 95,138.46 m³ como el máximo y 188.24 m³ como mínimo, y en promedio 3,313.66 m³.

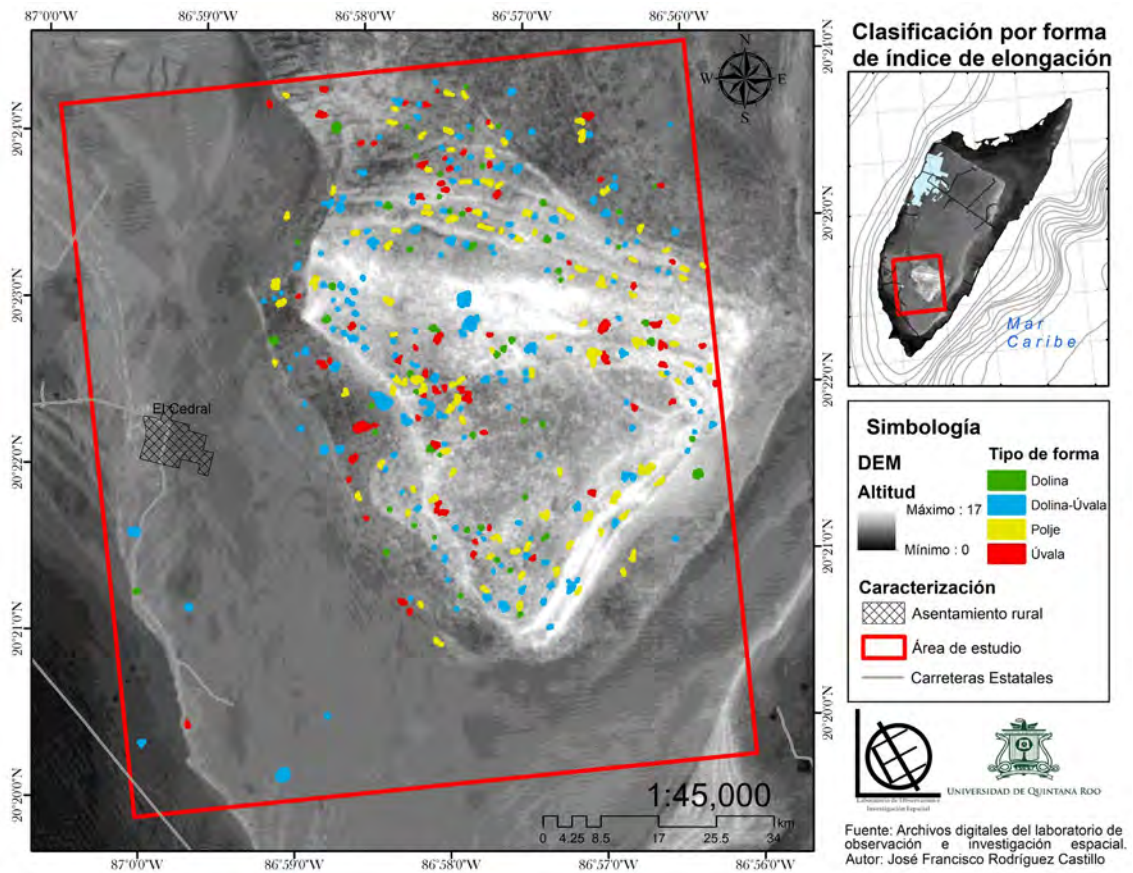
Úvalas

Estas mismas unidades ya formadas como úvalas cambian sus características su profundidad máxima fue de 3.75 m y su mínima se mantiene de 1 m, con un promedio de profundidad de 1.84 m, el área fluctúa entre una máxima de 13,205.66 m² y una mínima de 292.33 m², con un promedio de 2,343.24 m², el volumen promedio de estas unidades es de 2,070.47 m³, con una máxima de 27,425.91 m³ y mínima de 138.65 m³.

Poljes

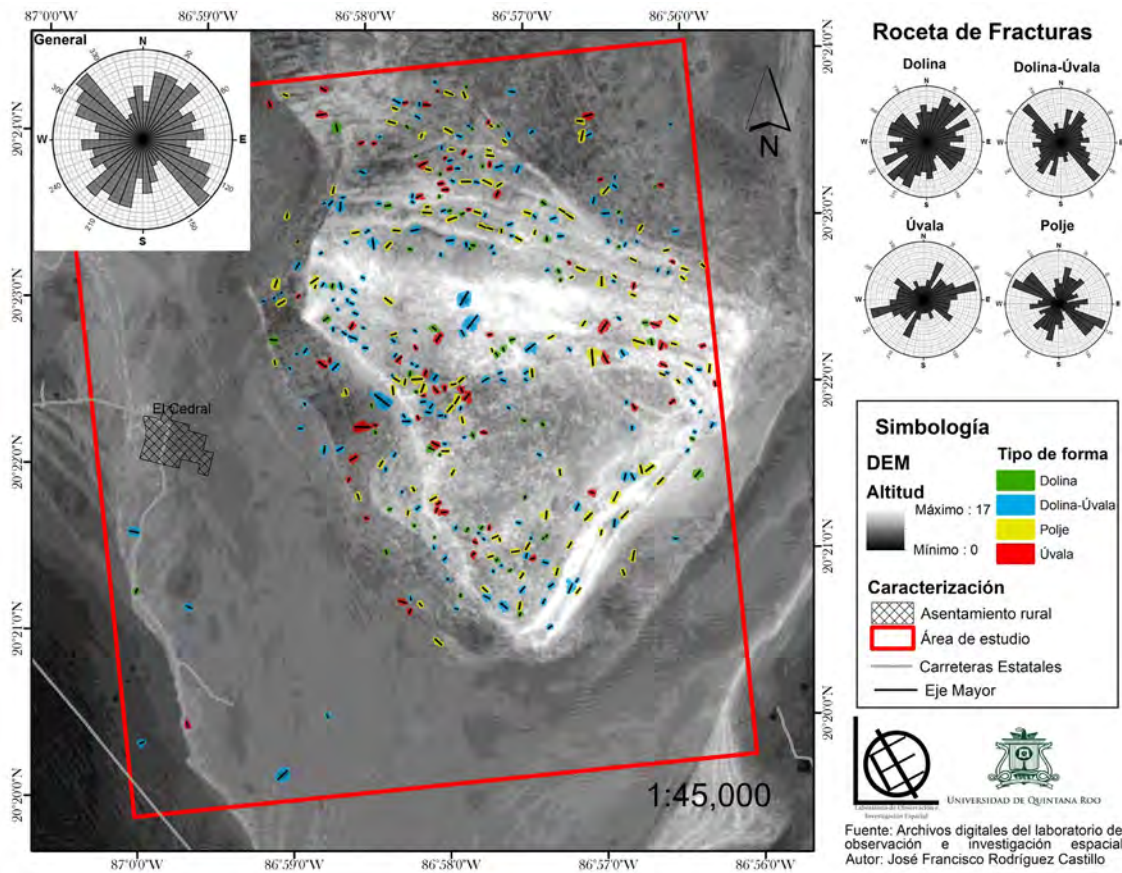
Los poljes son las formaciones que presentan una extensión de área grande en la mayoría de las unidades, con un promedio de 2,713.31 m², una máxima de 13,847.21 m² y una mínima de 776.65 m², mínima más grande con relación al resto de la clasificación, la profundidad de los poljes oscila de los 3.50 m como máxima a 1 mínima, con un promedio de 1.77 m, el volumen promedio de estas formaciones es de 2,105.71 m³, con una máxima de 18,548.81 m³ y una mínima de 307.80 m³. La figura 8 muestra la distribución de la tipología por índice de elongación de las depresiones en la zona de estudio.

Figura 8. Distribución de la tipología de las depresiones en la localidad de El Cedral, Isla Cozumel.



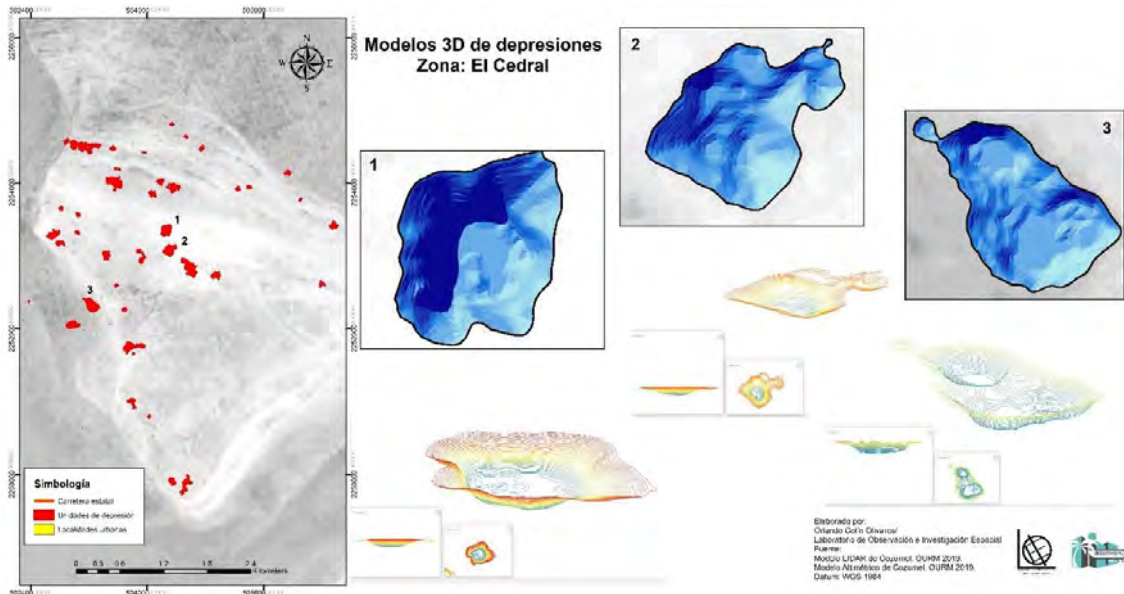
La orientación principal de los ejes mayores oscila entre los rumbos NW 41°SE y NW 60°SE, con una fluctuación de 19°; si se toma en cuenta la clasificación por índice de elongación para la segmentación del azimuth, encontramos que las dolinas se encuentran orientadas entre los rumbos NE 41°SW y NE 50°SW, variando solo por 9°, en el caso de las unidades clasificadas como dolinas-úvalas su orientación principal está entre los rumbos NW 41°SE y NW 60°SE, los mismos valores que el general debido a que esta clasificación representa el 41% de todas las formas, las úvalas se concentran en una orientación principal de NE 71°SW y NE 80°SW, los poljes están orientados entre el rumbo NW 71°SE y NW 80°SE. Los diagramas de fracturas se pueden apreciar junto con la clasificación por índice de elongación sobre el área de estudio en la figura 9.

Figura 9. Distribución de la tipología de las depresiones y diagrama de fracturas en la localidad de El Cedral, Isla Cozumel.



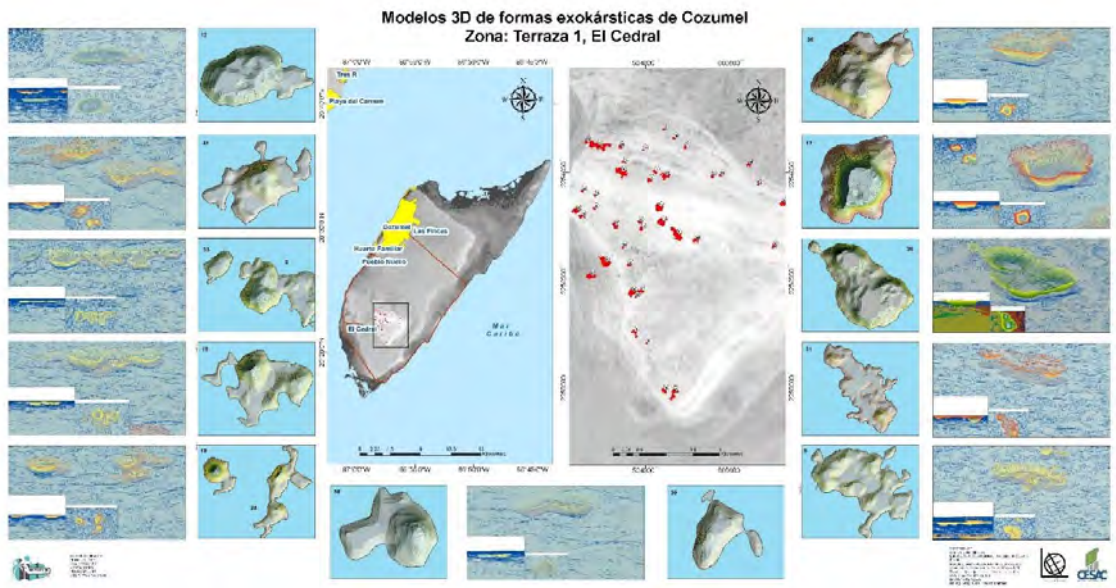
Como complemento, para el apoyo de la interpretación de la tipología, se generaron los modelos tridimensionales de las unidades con el fin de confirmar los perfiles (Figura 10). Se observa una complejidad en las unidades reconocidas. Por un lado, existirán depresiones sencillas que por su morfología son una unidad (ver la dolina típica del sector superior derecho). En contraste, existirán depresiones complejas formadas por un conjunto de unidades (dos o tres) y que, por definición entrarán en el concepto de úvalas. Asimismo, pueden ser analizadas desde una forma particular. Por ejemplo, la depresión número 2 en el centro de la figura 10, es una unidad compleja constituida por cuatro depresiones: una unidad coalescente, con una diferencia altitudinal de la base y con doble fondo.

Figura 10. Ejemplo de depresiones y sus modelos 3D, reconocidas en El Cedral, depresiones sencillas (1) y depresiones complejas (2 y 3).



Finalmente, en la figura 11 se muestran los modelos tridimensionales de las unidades reconocidas en campo. En ella se observan las diferentes tipologías en su análisis tridimensional, donde es posible reconocer la complejidad del territorio de este territorio insular. En esta imagen se puede observar la heterogeneidad de las depresiones, en las cuales se pueden ver la forma que el perfil representa, tal como se puede apreciar en la forma número 17, que nos muestra la forma completa de un perfil en “U”, en el caso de la depresión en el número 38 logramos ver la forma completa de un perfil en forma de “V”.

Figura 11. Modelos de perfiles 3D de las depresiones reconocidas en El Cedral.



DISCUSIÓN

El uso de datos LiDAR para generar cartografía a nivel detallado permite una mejor caracterización de las zonas con un bajo contraste de relieve, como es el caso del área de estudio (El Cedral) con una altura máxima de 16.75m; las curvas de nivel generadas en el estudio de Frausto-Martínez *et al.* (2018), permitió identificar un total de 394 depresiones con relieves de bajo contraste altitudinal (≤ 1 m de profundidad) teniendo 10.75 m las más profundas. Con estos datos se muestra que el relieve insular es heterogéneo kárstico con valores morfométricos que sirve para presentar una clasificación semiautomatizada, que permite una aproximación para entender a génesis, evolución y dinámica en este tipo de paisajes insulares. Los terrenos ejidales de El Cedral funcionan como modelo de reconocimiento digital, por la alta densidad de depresiones y, al ser una zona aislada de la mancha urbana, se consideran a todas las depresiones son de origen geológico natural, debido a la limitada actividad antrópica realizada en la zona.

Los trabajos realizados por Fragoso-Servón *et al.*, (2014), Fragoso-Servón *et al.*, (2016), Pereira *et al.*, (2016) y Paredes *et al.*, (2019) en el estado de Quintana Roo y Yucatán, utilizan modelos con resolución mínima de 15m, con el uso de curvas de nivel hipsométricas escala 1:50 000, dicha resolución espacial resultó como limitante en sus aproximaciones. Este estudio se aprovechó las curvas de nivel a escala detallada de 1:10 000 del trabajo realizado por Frausto-Martínez *et al.*, (2018) y el cálculo automatizado de profundidad relativa de depresiones kársticas de Colín-Olivares *et al.*, (2019) ya que, además de generar modelos a partir de las curvas nivel, se realizaron cálculos morfométricos al relieve para su clasificación, automatizando y mejorando la obtención de la profundidad relativa con la interpolación de los valores altitudinales del MDE con los vectores otorgándoles los valores del eje Z al polígono. Además, sirve para generar el campo de profundidad y añadir los valores de la cota mínima y cota máxima y realizar una sencilla función de resta entre estos dos valores, haciendo en una sola aplicación el cálculo en las unidades, de igual forma a las unidades marcadas en una sola ejecución de la triangulación del shapefile con los polígonos, la obtención del volumen total y el área de cada depresión kárstica a partir de la escarpa. Al ser una zona de difícil acceso y distantes, se consideran a todas las depresiones de origen natural, debido a la limitada actividad antrópica realizada en la zona. La zona donde se encuentra en área de estudio – centro sur- se da la mayor recarga al manto freático, cuando el agua es captada en esta zona, se mueve por el subsuelo hacia los bordes en forma radial, esto debido a la alta porosidad de los

estratos (CONANP, 2007), generando un proceso de karstificación, en el cual la actividad hidráulica, activada por la lluvia, comienza a diluir la roca al mezclarse con CO₂, generando de esta manera los caracteres morfológicos y sedimentológicos, subterráneos y/o superficiales de la isla (Andreu *et al.*, 2016).

Las depresiones de tipo “V” y “U” son las más abundantes en el área de estudio, esto hace referencia a que las depresiones kársticas de El Cedral se ven afectadas por los procesos de diagénesis meteórica, siendo más exactos por la actividad hidráulica horizontal y la sedimentación y cementación que esta actividad genera (Vacher-Myloie, 2002; Ordoñez-Crespo y García-Rodríguez, 2010; Andreu *et al.*, 2016; Ferreira y Uagoda, 2019). Los procesos de sedimentación y cementación eogenética se generan a lo largo de unidades paralelas a los sistemas de paleoduna y fronteras litológicas costeras (Kambesis y Coke, 2013); las depresiones kársticas de tipo “cono o V” se asocian con sistemas litológicos de un nivel alto de porosidad y están conectadas a cuevas o cavernas a manera de sifones, las cuales se rellenan al momento de colapsar y generar la formaciones kársticas con esta forma de perfil, cuya morfología indica que, los procesos kársticos son recientes (Ford y Williams, 2007; Öztürk, 2018).

Los autores Ferreira y Uagoda, (2019) clasifican estas formas de tipo “V” de perfil como “colmatada” o “funil” citando los modelos de Nicod (1972). Siendo la colmatada cuando la depresión esta rellena de sedimentos; y “funil” si la depresión no posee sedimentación, lo cual es indicador de la forma sigue modificando a medida que se siguen dando procesos de exokarstificación; cabe señalar que ambas clasificaciones representan los procesos de génesis y evolución del paisaje kárstico. De igual manera clasifican las formas de perfil “U” como “caldeirão” o “bacia” citando los modelos de Nicod (1972). Siendo caldeirão cuando la depresión tiene presencia de sedimentación; y bacia cuando aún no tiene una fuerte presencia de sedimentos, ya que mencionan los autores que son depósitos naturales de sedimento y que esto les da la forma. Los autores Gaona-Vizcayno *et al.*, (1980) referencian esta forma con el nombre de “aguada”, la cual funge como estanque natural y con mucha actividad orgánica, como mencionan Ferreira y Uagoda, (2019), añadiendo que carece de contacto con el manto acuífero. Por su parte Vacher-Myloie, (2002) le adjudica estas formas, al colapso de alguna sección de alguna caverna las cuales pueden o no tener presencia de agua, mencionando que este tipo de formas tienen un alto nivel de porosidad. Las cavernas como sistema de disolución pueden presentarse en horizontal como túneles o en vertical como chimeneas (Gaona-Vizcayno *et al.*, 1980). De igual manera las cuevas

inundadas son indicadores de la época geológica de las estructuras kársticas debido a que demuestran a que nivel se encontraba antes el manto freático (Ordoñez-Crespo y García-Rodríguez, 2010)

Para Gaona-Vizcayno *et al.* (1980) las formaciones kársticas de tipo “U” son un indicador de contacto con el manto freático, esto debido a disolución de la roca antes de colapsarse el techo, causando que la roca que forma la depresión tenga grietas para un mejor flujo del agua (Gaona-Vizcayno *et al.*, 1980; Vacher-Myloie, 2002; Ordoñez-Crespo y García-Rodríguez, 2010; Andreu *et al.*, 2016; Ferreira y Uagoda, 2019). Estos procesos requieren de más tiempo para la formación de las formas de tipo “V” y “U” (Williams, 1972; Williams, 2008; Peña-Monne *et al.*, 2008). Vacher-Myloie, (2002) añade con su estudio que los cenotes o las depresiones con este tipo de forma tienden a tener paredes en el fondo más porosas debido al constante o permanente contacto con el manto freático. Por su parte los autores Ferreira y Uagoda, (2019) clasifican estas formas tipo “U” de perfil con su nombre regional como “cenote” de igual manera, al no tener presencia de agua este tipo de perfil se subclasifica como “balde” citando los modelos de Nicod (1972), siendo el cenote las que tiene presencia de agua en su fondo y, balde, para los casos en los que carecen de agua, los cuales deben su génesis a colapsos de roca, que se moldean en esa forma debido a la escorrentía superficial y sus rasgos irregulares a la disolución de la roca.

En el caso de la clasificación por tipo de forma, reflejan que la estructura y procesos de degradación de la superficie calcárea, en la mayoría de los casos son formas sujetas a procesos de acumulación e inundación (Frausto-Martínez *et al.*, 2008). Para el caso de las dolinas, Fragoso-Servón *et al.* (2014) señalan que son unidades que presentan patrones de disolución, los cuales son indicadores de contacto con el manto freático en la mayoría de los casos, por otra parte son cuerpos de agua dados por un régimen de inundación extraordinario, esto debido a que están en zonas de lomeríos los cuales son porciones del terreno quebrado, caracterizado por una repetición de colinas redondas o lomas alargadas, con cumbres a alturas variables y la pendiente les proporciona el agua (Zavala-Cruz *et al.*, 2016), sin embargo, estas características del relieve no es el del caso de este estudio. Las úvalas que presentan inundaciones extraordinarias son indicadores de una mayor solubilidad en la roca y por ende procesos vivos de karstificación (Fragoso-Servón *et al.*, 2014). Estas combinaciones de procesos (Meteórica-geológica) de disolución da origen a las dolinas, de igual manera estos procesos con el paso gradual del tiempo puedan dar lugar a

formaciones de área y/o eje de disolución más grande, dando origen a las dolinas-úvalas y/o úvalas (Gutiérrez-Elorza, 2008). Estos procesos de disolución recrean patrones que se pueden asociar en la superficie al comportamiento de láminas de agua subterránea y/o superficiales (Schoeneberger y Wysocky, 2005). Así se explica la presencia de dolinas y úvalas, en zonas como isla Cozumel la cual posee un bajo contraste altimétrico (Fragoso-Servón *et al.*, 2014). los poljes son unidades en las que se dan mayormente procesos de acumulación de materia orgánica, debido a que poseen un buen drenaje y una alta tasa de evapotranspiración (Schoeneberger y Wysocky, 2005).

Para Vacher y Mylroie, (2002), este sistema de depresiones y cuevas eogenéticas es típico de las pequeñas islas carbonatadas que, en su mayor parte, no están involucradas significativamente en el drenaje superficial. Lo anterior, se refleja en el sistema de distribución de las cuevas que se limitan principalmente las unidades geológicas y las zonas hidrológicas, por lo que es necesario diferenciar estas unidades en cuevas fluviales de contacto entre carbonatos y rocas impermeables subyacentes; cuevas verticales a lo largo de fracturas de margen de plataforma; bolsillos freáticos (agujeros de plátano) a lo largo de la capa freática, y cuevas de margen litoral donde se forman cámaras de mezcla en la "interfaz" costera de agua dulce y salada. Lo anterior permitirá una comprensión y diferenciación del comportamiento hidrogeológico a nivel de detalle enriquecer una aproximación genética geomorfológica de las islas del oriente de la P.Y.

Estos procesos que van moldeando el terreno kárstico, explican la predominancia que poseen las orientaciones perpendiculares de los ejes mayores, los cuales van de NW-SE. Ya que Gonzales y Suro (1981), dicen que la isla junto al Banco Arrowsmith, debe su origen a anomalías gravimétricas y magnéticas, originadas por un fallamiento regional denominada como Trinchera del Cayman, la que a su vez debe su origen a intrusiones magmáticas, generando fracturas de tensión, los cuales se catalogaron como ejes mayores con la obtención del azimut, que debido a que el pliegue de roca se está fracturando en función al estiramiento causado en la cresta por el plegamiento de la superficie en orientación con la costa de la península NE-SW. Esto acotado a la clasificación por formas explica que las dolinas y úvalas son formación dadas originalmente por los procesos geológicos y que deben su génesis a la formación de la isla. Por otra parte, las dolinas-úvalas y los poljes son formas que deben su génesis principalmente a los procesos de meteorización, tal y como lo explican los autores citados para la explicación de su forma.

CONCLUSIÓN

El análisis cartográfico de la zona de El Cedral, en la isla caribeña de Cozumel – México, ha permitido generar índices morfométricos los cuales permiten la diferenciación de depresiones de tipo kársticas por su configuración bidimensional, con dimensiones horizontales y verticales heterogéneas. Se presume un proceso genético evolutivo de carácter cuaternario – reciente asociado a los procesos paleoclimáticos que favorecieron la intensidad y distribución de las unidades.

Este tipo de interpretaciones no ha sido aplicado al relieve de Yucatán, lo cual es la principal contribución para el apoyo del análisis geomorfológico del relieve kárstico de esta región. Que junto a la clasificación por índice de elongación y la orientación de eje disolución dan un panorama amplio del origen kárstico de la isla. Con esta clasificación se pueden tomar en consideración las variables que ofrecen los modelos tridimensionales para los relieves, considerando los datos de longitud, profundidad y pendiente que se pueden ver en el perfil, lo que ayuda a entender cómo se comportan y cómo se generan las depresiones kársticas. Mientras mejor es el nivel de detalle de la cartografía utilizada, mejores serán los resultados y la clasificación. Los análisis aplicados de este tipo de relieves de lugares de bajo contraste altitudinal son escasos; la mayoría de los estudios se han aplicado a escala más grande, la clasificación más cercana a este tipo de estudio, basado en los perfiles, se realizan a valles, en los que la escala es más grande y el contraste de altitud es mucho mayor. El trazado del eje mayor en cada depresión y la interpolación con los valores altimétricos del TIN, permitió elaborar un índice por tipología de perfil mediante la visualización del perfil topográfico, para su clasificación semiautomatizada entre las 3 formas aplicadas de “U”, “V” y de “U” (hoya), en las que las 394 depresiones georreferenciadas un 68% pertenecen al de tipo “V”, un 21% de tipo “U” y un 11% de tipo hoyo.

El análisis del relieve de bajo contraste altitudinal y en zonas de cobertura vegetal densa presenta retos que, con el uso de las tecnologías nuevas, como las aplicadas para la obtención de los datos LiDAR y el procesamiento de estos datos en softwares o la actualización de estos mismos, permite mejor fiabilidad y cantidad de datos, que generen índices morfométricos. Por otra parte, el uso de los modelos tridimensionales en la automatización en la identificación de depresiones, estimación de profundidad relativa y en el análisis morfométrico, establece la base para un monitoreo 3D del paisaje kárstico de bajo contraste altitudinal. No sólo en los procesos físicos, sino orientados también a la gestión de depresiones kársticas con potencial turístico o

arqueológico, además de la planificación urbana asociada a la prevención de desastres y disponibilidad-calidad del recurso hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, Y., Bautista, F., Mendoza, M. E. Frausto, O., Ihl, T. (2016). Density of karst depressions in Yucatán state, Mexico. *Journal of Cave and Karst Studies* 78(2), 51-60.

Andreu, J., Calaforra, J., Cañaveras, J., Cuezva, S., Durán, V. J., Policarp, G., del-Cura, M. Á., García-Cortés, A., Gázquez, F., Salvador, O., Sanchez-Moral, S. (2016). Karst: un concepto muy diverso (Karst: a very diverse concept). *Revista de Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 24. Pp 6-20.

Benavides, F. S., Gavilán, G. A., & Dabrio, C. 1998. Sedimentología de los depósitos lacustres neógenos de Castrillo del Val (Burgos), España. *Studia Geologica Salmanticensia*, 25.

Beddows P., Blanchon P., Escobar E., Torres-Talamante O. (2007). Los cenotes de la península de Yucatán. *Arqueología mexicana* 83:32-35.

CONANP (2007) Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área de Protección de Flora y Fauna Isla Cozumel, Quintana Roo, México. México.

Cuevas, M. L., Garrido, A., & Sotelo, E. I. (2010). Regionalización de las cuencas hidrográficas de México. *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización*, 1, 10-13.

CONAGUA. 2015. Capítulo 2: Ciclo Hidrológico. *Atlas del Agua en México* (2015). pp 20-66

Cahalan, M. D., Milewski, A. M. (2018). Sinkhole formation mechanisms and geostatistical-based prediction analysis in a mantled karst terrain. *CATENA*, 165, 333-344.

Colín-Olivares, O., Frausto-Martínez, O. y Rodríguez, C. (2019). Cálculo automatizado de la profundidad de depresiones kársticas a escala detallada. In O. Frausto-Martínez ed. *Conocimientos y saberes del karst tropical en México*. Acts With Science. pp. 55-78.

COESPO. (2019). Proyección de población al 2019. Consejo Estatal de Población, Quintana Roo [online]. Available at:

http://coespo.qroo.gob.mx/Descargas/doc/PUBLICACIONES%20DE%20INTERES/PUBLACION_QROO_2019.pdf [Accessed 15 de agosto 2020].

De Pedraza, J. (1996). Geomorfología: Principios, métodos y aplicaciones. España, Editorial Rueda. Pp 199-258

Ford, D., Williams, P.W. (2007). Karst hydrogeology and geomorphology. England: John Wiley & Sons.

Frausto, O., Ihl, T., (2008), Mapas de formas exokársticas del norte de Quintana Roo a escala 1:50000, en Gutiérrez-Aguirre, M.A., Cervantes-Martínez, A. (eds.), Estudio geohidrológico del norte de Quintana Roo, México: Universidad de Quintana Roo, 45-58.

Fragoso, P., Bautista, F., Frausto, O, Pereira, A. (2014). Caracterización de las depresiones kársticas (forma, tamaño y densidad) a escala 1:50000 y sus tipos de inundación en el Estado de Quintana Roo México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, V, 31, num 1, p. 127-137

Frausto-Martínez, O., Zapi-Salazar, N.A. y Colin-Olivares, O. (2018). Identification of Karst Forms Using LiDAR Technology: Cozumel Island, Mexico. Trends in Geomatics-An Earth Science Perspective. IntechOpen.

Ferreira, C. F., y Uagoda, R. E. S. (2019). Tipologias do carste e classificações de dolinas: uma revisão. CAMINHOS DE GEOGRAFIA, v. 20, n. 70, p. 519–537

Ferreira, Cristiano & Uagoda, Rogerio. (2020). Um Panorama Sobre Mapeamentos de Dolinas no Brasil, Feições Elementares do Carste. 13. 10.26848/rbgf.v13.1.p302-321.

Fragoso-Servón, P., Pereira Corona, A., Bautista Zúñiga, F., Prezas Hernández, B., Reyes, N. A., (2020), Soils in extreme conditions: the case of the catenas karst-marsh-coastline in the Mexican Caribbean: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 72 (2), A040619.

Gaona-Vizcayno, S., de Anda, T. G., y Pino, M. V. (1980). Cenotes, karst característico en mecanismos de formación. Revista mexicana de ciencias geológicas, 4(1), 32-36.

Gutiérrez-Elorza, M., 2008, Geomorfología: Madrid, Pearson/Prentice Hall, 920 pp.

Garrido, A., Pérez, J., & Enríquez, C. (2010). Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización. Instituto de Ecología de México Press, México, 14-17.

Gonzalez-Moran, T. & Suro-Perez, V. 1981. Aplicación de técnicas de correlación de anomalías geofísicas al noreste de la península de Yucatán. Geofísica Internacional. Geof. Int. Vol 19-4, 1980, pp. 305-320.

Hernández, S. J., Pérez Damián, J. Rosete. V. F., Villalobos, D. M., Méndez, L. A., Navarro, S. E. (2017). Clasificación geomorfométrica del relieve mexicano: una aproximación morfográfica por densidad de curvas de nivel y la energía del relieve. Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía, UNAM. ISSN (digital): 2448-7279. DOI: [dx.doi.org/10.14350/rig.57019](https://doi.org/10.14350/rig.57019)

Ihl, T., Frausto Martínez, O., Rojas López, J., Giese, S., Goldacker, S, Bautista Zuñiga, F., Bocco Verdinelli, G.(2007). Identification of geodisasters in the state of Yucatan, Mexico. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen 246(3) 299-311.

INEGI, (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Cozumel, Quintana Roo

Karmann, I. (1994). Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do alto vale do rio Ribeira de Iguape, sudeste do Estado de São Paulo. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 274

Kambesis, P.N., Coke, J.G. (2013). Overview of the controls on eogenetic cave and karst development in Quintana Roo, Mexico. Coastal Karst Landforms. Springer. pp. 347-373.

Lesser, J. M., and Weidie, A. E. (1988), Región 25.- Yucatán Península, in Back, W., Rosenshein, J. S., and Seaber, P. R., eds., Hydrogeology; Boulder, Colorado, Geological Society of America, TheGeology of North America, V. O-2.

Lugo-Hubp, J. (2011). Diccionario geomorfológico (1.a ed.). Instituto de Geografía, UNAM. P 68.

Macedo, F. R., & Souza, M. L. D. (2018). Elaboração de perfil topográfico utilizando softwares vetoriais. *Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino*, 9(1), 83-94.

Nicod, j. (1972). Problems of the dissolution of dolomitic rocks (problemes de la dissolution des roches dolomitiques).

Orellana, R. Nava, F., Espadas, C. (2007). El clima de Cozumel y la Riviera Maya. Biodiversidad de la isalde Cozumel. México. Plaza y Valdez, pp 23-32.

Ordoñez-Crespo, I., García-Rodríguez, M., (2010), Formas Kársticas comunes de los cenotes del Estado de Quintana Roo (México): M+A Revista electrónica de Medio Ambiente, 9, 15-35.

Ortiz-Pérez, M. (2010). Clasificación ecogeográfica de las cuencas hidrográficas: el caso de México. Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización. Instituto de Ecología de México Press, México, 22-25.

Öztürk, M. Z. (2018). Karstik kapalı depresyonların (dolinlerin) morfometrik analizleri. *Cografya Dergisi* (36) 1-13.

Peña-Monne, J. L., Dapper, M., Constante, A., De Vliegheer, B., Pavlopoulos, K. (2008). El sistema de poljes de la región de Dystos-Almyropotamos (isla de Eubea, Grecia): Cartografía y evolución geomorfológica. *Geographicalia* (53) 143-161.

Pereira Corona, A., Fragoso Servón, P., & Frausto Martínez, O. (2016). Suelos, agua, inundaciones y cambio climático en zonas de karst: el caso de Quintana Roo, México. *GEOS*, 36(2). Recuperado a partir de <https://geos.cicese.mx/index.php/geos/article/view/11>

Paredes, C. y Matos, H, y De La Vega-Panizo, R, y Pardo, E. (2019). Reconocimiento semiautomático de depresiones kársticas mediante análisis de agregados en sus distribuciones morfométricas. Aplicación al karst del Estado de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* (36) 270-288.

Schoeneberger, P., Wysocky, D., (2005), Hidrology of soils and deep regolith: a nexus between soil geography, ecosystems and land management: *Geoderma* 126, 117-128.

Salles, L. Q.; Galvão, P.; Leal, L. R. B.; Pereira, R. G. F. A.; Purificação, C. G. C.; Laureano, F. V. (2018). Evaluation of susceptibility for terrain collapse and subsidence in karst areas, municipality of Iraquara, Chapada Diamantina (BA), Brazil. *Environmental Earth Sciences*, v. 77, n. 16, p. 593

Vacher, H.L., Mylroie, J.E. (2002). Eogenetic karst from the perspective of an equivalent porous medium. *Carbonates and Evaporites* 17(2) 182.

Williams, P. W. (1972). Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea. *The Geological Society of America Bulletin*, 83(3), 761– 796.

Wilson, E.M. (1980). *Physical geography of the Yucatán Peninsula* Yucatán, a world apart: Alabama, The University of Alabama Press, p. 1-40.

Ward, W.C. (1997). Geology of coastal islands, northeastern Yucatan Peninsula. *Geology and hydrogeology of carbonate islands. Developments in Sedimentology*. pp. 275-298

Williams, P. W. (2008). The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology: a review. *International Journal of Speleology* 37(1) 1–10.

Zavala Cruz, J. Jiménez Ramírez, R. Palma López, D. Bautista Zúñiga, F. & Gavi Reyes, F. (2016). Paisajes geomorfológicos: base para el levantamiento de suelos en Tabasco, México. *Ecosistemas y recur. agropecuarios [online]*., vol.3, n.8, pp.161-171. ISSN 2007-901X.

ANEXOS

Anexo 1. Base de datos de las depresiones kársticas de El Cedral - Cozumel

ID	Fuente de Dato	Área (m ²)	Perímetro (m)	Profundidad (m)	Volumen (m ³)	Longitud Eje Menor (m)	Longitud Eje Mayor (m)	Azimut	Tipología por le	Tipología por Perfil
1	Percepción Remota	15664.55	465.84	4.75	40762.09	126.04	158.96	232.58	Dolina-Úvala	Hoya
2	Percepción Remota	3012.00	255.80	1.25	1496.87	50.69	73.05	248.25	Dolina-Úvala	V
3	Percepción Remota	2185.68	197.73	2.25	1772.55	42.90	55.48	158.87	Dolina-Úvala	V
4	Percepción Remota	2577.15	203.99	3.50	2867.95	41.58	80.45	173.94	Úvala	U
5	Percepción Remota	3118.41	304.38	1.75	1759.84	21.27	111.50	138.28	Polje	U
6	Percepción Remota	1618.23	163.44	1.75	1322.42	41.62	59.68	238.71	Dolina-Úvala	V
7	Base de datos Ejidal	1557.61	146.72	1.75	1253.83	41.05	48.10	212.69	Dolina	U
8	Base de datos Ejidal	3165.60	230.08	3.25	3622.10	44.69	91.93	197.33	Polje	U
9	Percepción Remota	2295.18	182.97	2.75	2509.50	47.73	67.87	215.99	Dolina-Úvala	V
10	Percepción Remota	780.67	120.67	1.00	304.68	27.23	43.76	111.46	Dolina-Úvala	V
11	Base de datos Ejidal	6233.37	394.41	7.00	13285.38	73.15	111.03	135.79	Dolina-Úvala	U
12	Percepción Remota	1645.85	179.30	1.50	881.19	36.32	64.11	203.02	Úvala	V
13	Percepción Remota	1860.08	211.90	1.50	960.22	18.75	84.21	224.12	Polje	V
14	Percepción Remota	1588.48	168.93	1.00	787.31	25.28	57.03	145.02	Polje	Hoya
15	Percepción Remota	3525.84	274.44	1.50	2417.64	52.58	83.90	123.45	Dolina-Úvala	V
16	Percepción Remota	1044.11	123.35	2.25	1004.36	38.07	41.67	182.80	Dolina	V
17	Percepción Remota	2678.40	248.97	1.75	1672.49	53.63	87.68	224.77	Dolina-Úvala	V
18	Percepción Remota	2807.64	256.09	1.00	1420.97	49.24	93.44	114.16	Úvala	Hoya
19	Percepción Remota	2811.35	205.43	2.00	2877.31	43.82	71.91	241.60	Dolina-Úvala	U
20	Percepción Remota	6896.76	404.11	2.25	5668.77	67.04	116.85	210.99	Dolina-Úvala	Hoya
21	Percepción Remota	922.00	113.73	1.25	489.81	27.44	41.20	173.26	Dolina-Úvala	V
22	Percepción Remota	1233.43	134.44	1.75	1113.33	30.46	50.23	216.74	Dolina-Úvala	V
23	Percepción Remota	2406.22	219.60	2.25	1933.35	29.04	87.54	136.55	Polje	V
24	Percepción Remota	1901.28	194.07	1.25	983.31	26.30	74.49	164.42	Polje	V
25	Percepción Remota	2035.91	229.36	2.25	1439.23	38.36	81.14	221.24	Polje	V
26	Percepción Remota	2832.26	284.67	2.00	2007.36	32.47	93.96	201.79	Polje	V
27	Percepción Remota	678.48	112.98	1.00	270.55	22.12	37.07	229.24	Dolina-Úvala	U
28	Percepción Remota	3794.35	229.99	3.25	6364.41	62.45	78.93	128.27	Dolina-Úvala	Hoya
29	Percepción Remota	1036.77	121.51	1.75	770.19	35.18	42.01	241.61	Dolina	V
30	Percepción Remota	738.88	113.50	1.25	429.08	26.33	34.61	146.24	Dolina-Úvala	U
31	Percepción Remota	2191.92	195.29	1.50	1327.69	40.78	62.13	112.92	Dolina-Úvala	V
32	Percepción Remota	575.84	87.44	1.00	264.14	23.97	30.52	251.86	Dolina-Úvala	V
33	Percepción Remota	3419.37	318.19	1.00	1757.85	30.94	124.52	196.32	Polje	Hoya
34	Percepción Remota	1465.08	190.91	1.25	714.24	33.44	60.90	259.27	Úvala	V
35	Percepción Remota	1280.85	141.05	2.00	954.07	36.96	42.43	232.77	Dolina	U
36	Percepción Remota	2424.75	198.30	2.25	1902.99	45.26	60.96	201.41	Dolina-Úvala	V
37	Percepción Remota	1656.49	161.98	1.50	1000.56	43.61	55.63	98.92	Dolina-Úvala	V
38	Percepción Remota	1758.19	205.54	1.75	1098.70	36.18	75.34	261.41	Polje	V
39	Percepción Remota	2699.70	243.85	2.25	1685.01	32.09	99.80	267.03	Polje	V
40	Percepción Remota	2715.45	191.75	4.75	5135.48	55.12	64.65	205.27	Dolina	U
41	Percepción Remota	1861.45	214.56	2.50	1416.34	35.05	57.24	230.90	Dolina-Úvala	U
42	Percepción Remota	1434.51	198.40	2.00	1195.57	27.12	54.01	234.37	Úvala	V
43	Percepción Remota	2330.49	226.38	1.75	1524.22	36.73	87.62	218.05	Polje	V
44	Percepción Remota	2624.50	276.33	2.00	1968.92	25.48	102.60	216.10	Polje	V
45	Percepción Remota	646.28	92.88	1.00	295.02	26.62	31.98	206.97	Dolina	U
46	Percepción Remota	566.50	91.82	1.00	252.30	21.78	31.14	180.19	Dolina-Úvala	U
47	Percepción Remota	1560.63	181.75	1.00	826.44	28.63	67.92	201.37	Polje	V
48	Percepción Remota	1035.26	118.73	1.25	589.99	32.50	39.70	223.97	Dolina	U
49	Percepción Remota	1004.29	134.05	1.50	578.71	33.02	41.48	175.16	Dolina-Úvala	V
50	Percepción Remota	1851.96	163.72	2.75	2254.73	49.48	56.70	174.24	Dolina	V
51	Percepción Remota	776.65	121.05	1.00	307.80	19.89	44.84	172.95	Polje	V
52	Percepción Remota	852.93	139.44	1.00	381.58	24.13	47.98	120.71	Úvala	V
53	Percepción Remota	611.62	92.27	1.50	390.93	24.30	34.78	133.64	Dolina-Úvala	U
54	Percepción Remota	2169.67	199.79	1.75	1715.66	29.54	82.71	252.77	Polje	V
55	Percepción Remota	3367.82	238.44	1.75	2406.64	53.14	92.52	192.01	Dolina-Úvala	Hoya
56	Percepción Remota	560.58	89.26	1.75	409.72	22.34	31.83	94.05	Dolina-Úvala	U
57	Percepción Remota	475.07	80.15	1.00	242.99	23.32	27.78	199.09	Dolina	V
58	Percepción Remota	940.83	125.09	1.25	496.77	25.16	49.00	197.41	Úvala	V
59	Percepción Remota	2629.81	286.60	1.75	1532.03	38.83	120.66	229.39	Polje	V
60	Base de datos Ejidal	1568.78	145.91	3.00	1878.29	40.70	50.32	211.66	Dolina	V
61	Percepción Remota	1463.79	164.36	2.25	1002.76	38.62	45.88	225.92	Dolina	U
62	Percepción Remota	1614.76	158.65	1.50	1025.63	32.92	55.21	107.71	Dolina-Úvala	U
63	Percepción Remota	1184.99	140.20	1.75	839.05	33.82	44.62	205.61	Dolina-Úvala	V
64	Percepción Remota	5427.55	313.46	3.25	6281.98	60.61	124.24	230.96	Polje	V
65	Percepción Remota	4395.84	361.14	2.75	4187.10	43.37	103.61	190.61	Polje	V
66	Percepción Remota	830.99	126.88	1.50	425.67	30.24	34.61	218.92	Dolina	V
67	Percepción Remota	3488.36	271.74	2.00	2217.63	57.34	90.12	210.69	Dolina-Úvala	V
68	Base de datos Ejidal	2960.36	281.55	2.75	2470.09	39.81	78.35	92.56	Úvala	U
69	Percepción Remota	6088.81	412.95	2.75	4995.45	45.05	128.10	212.81	Polje	V
70	Percepción Remota	871.97	114.20	1.00	405.97	23.73	44.53	114.55	Úvala	V
71	Percepción Remota	1275.64	159.05	2.25	989.72	31.72	59.34	207.79	Úvala	V
72	Percepción Remota	1347.07	151.54	1.50	892.46	27.65	63.69	193.55	Polje	V
73	Percepción Remota	2785.37	219.13	2.25	2229.86	37.83	66.97	109.18	Úvala	V
74	Percepción Remota	1191.20	132.02	1.25	647.67	40.16	48.59	203.66	Dolina	V
75	Percepción Remota	2163.88	188.19	2.00	1842.91	36.60	60.18	235.15	Dolina-Úvala	Hoya
76	Percepción Remota	1047.38	119.01	1.25	624.42	35.03	39.07	246.27	Dolina	Hoya

77	Percepción Remota	1817.14	171.55	1.75	1164.59	32.52	58.14	244.01	Úvala	V
78	Percepción Remota	3209.07	310.75	2.50	2792.10	40.82	106.29	228.15	Pojje	V
79	Percepción Remota	6482.33	355.52	3.50	7365.71	88.48	103.13	226.09	Dolina	V
80	Percepción Remota	8675.23	370.35	2.75	14513.28	86.13	115.21	107.51	Dolina-Úvala	Hoya
81	Percepción Remota	3126.41	248.99	2.00	2910.14	43.01	95.11	246.17	Pojje	V
82	Percepción Remota	3340.39	241.59	2.00	2942.71	49.13	84.58	155.56	Dolina-Úvala	V
83	Percepción Remota	4220.33	282.31	2.00	3019.41	51.30	87.71	197.47	Dolina-Úvala	V
84	Percepción Remota	586.07	92.33	1.50	404.91	21.99	32.53	217.55	Dolina-Úvala	V
85	Percepción Remota	3124.61	255.45	1.25	1463.48	33.43	103.32	173.56	Pojje	V
86	Percepción Remota	5938.47	354.73	1.75	5075.65	36.15	115.42	239.75	Pojje	V
87	Percepción Remota	2316.22	232.91	1.25	1241.96	32.26	74.69	165.26	Pojje	V
88	Percepción Remota	1386.73	157.72	2.00	911.16	23.54	56.98	156.55	Pojje	V
89	Percepción Remota	1591.07	198.45	1.50	817.01	29.84	77.84	178.92	Pojje	U
90	Percepción Remota	990.76	118.11	1.00	500.27	28.52	42.54	225.00	Dolina-Úvala	V
91	Percepción Remota	1831.71	201.17	1.75	1066.65	30.37	76.94	215.64	Pojje	V
92	Percepción Remota	1012.99	125.63	1.25	539.54	25.27	46.55	204.07	Úvala	V
93	Percepción Remota	1237.48	150.98	1.50	663.41	32.26	50.07	124.24	Dolina-Úvala	V
94	Percepción Remota	1208.98	133.06	1.25	740.81	39.03	42.18	135.52	Dolina	V
95	Percepción Remota	1082.82	126.28	1.75	754.16	27.18	45.31	192.75	Dolina-Úvala	V
96	Percepción Remota	719.06	98.81	1.50	492.09	25.16	32.76	114.44	Dolina-Úvala	V
97	Percepción Remota	2463.62	233.81	1.50	1515.65	29.25	82.80	218.30	Pojje	U
98	Base de datos Ejidal	676.68	94.03	1.50	516.29	28.23	32.34	202.87	Dolina	V
99	Percepción Remota	2288.87	201.56	2.50	2311.34	47.35	63.90	217.84	Dolina-Úvala	V
100	Percepción Remota	2393.97	231.43	1.50	1449.96	40.63	89.89	96.15	Pojje	U
101	Percepción Remota	1323.78	169.25	1.25	657.83	30.18	50.05	220.84	Dolina-Úvala	Hoya
102	Percepción Remota	1617.50	156.60	1.75	1237.53	37.91	52.86	190.68	Dolina-Úvala	U
103	Percepción Remota	4725.99	292.79	1.75	3452.27	54.78	97.14	244.12	Úvala	V
104	Base de datos Ejidal	4040.83	252.05	3.25	4794.52	67.80	82.11	122.40	Dolina	V
105	Base de datos Ejidal	946.52	117.28	1.50	654.09	29.25	39.57	108.12	Dolina-Úvala	V
106	Base de datos Ejidal	3698.31	254.60	2.00	3203.71	51.94	96.59	124.35	Úvala	U
107	Percepción Remota	584.87	89.16	1.25	322.42	23.06	32.35	263.37	Dolina-Úvala	V
108	Percepción Remota	642.10	96.75	1.25	349.08	22.12	34.84	222.23	Dolina-Úvala	V
109	Percepción Remota	3602.98	243.46	1.50	2514.23	56.54	81.98	244.92	Dolina-Úvala	V
110	Percepción Remota	1602.66	165.00	1.25	896.49	44.56	53.23	154.40	Dolina	U
111	Percepción Remota	1360.37	162.71	1.50	844.21	35.71	67.42	106.92	Úvala	V
112	Percepción Remota	1233.56	130.63	1.75	898.01	35.89	44.32	140.98	Dolina	U
113	Percepción Remota	4965.85	307.53	1.00	2962.27	73.29	93.25	191.13	Dolina-Úvala	Hoya
114	Percepción Remota	1338.16	152.22	1.25	584.36	35.75	41.88	129.10	Dolina	V
115	Percepción Remota	1760.69	180.62	1.25	1041.34	43.26	67.12	138.47	Dolina-Úvala	V
116	Percepción Remota	1873.62	186.54	1.75	1319.83	37.01	65.55	146.77	Úvala	V
117	Percepción Remota	1379.01	181.48	1.50	714.78	35.54	68.69	239.61	Úvala	V
118	Percepción Remota	1153.77	124.99	2.50	1032.72	35.59	42.10	177.27	Dolina	V
119	Percepción Remota	858.73	108.00	1.25	468.24	28.17	37.78	193.39	Dolina-Úvala	V
120	Percepción Remota	2310.41	227.44	1.25	1353.18	34.67	77.22	173.09	Pojje	Hoya
121	Percepción Remota	935.71	130.51	1.50	457.77	20.51	39.65	111.06	Úvala	V
122	Percepción Remota	498.38	83.26	1.50	283.06	24.27	30.84	160.10	Dolina-Úvala	V
123	Percepción Remota	4478.97	284.75	5.00	7901.70	63.95	98.17	97.80	Dolina-Úvala	U
124	Base de datos Ejidal	13205.66	519.29	3.75	27425.91	100.79	187.85	97.64	Úvala	V
125	Percepción Remota	1083.38	128.59	2.25	934.21	27.83	49.73	165.24	Úvala	V
126	Percepción Remota	1081.58	140.34	1.25	521.44	26.89	40.22	138.31	Dolina-Úvala	V
127	Percepción Remota	2196.69	220.19	2.25	1427.95	46.74	62.08	269.57	Dolina-Úvala	V
128	Percepción Remota	2062.18	176.20	1.75	1056.35	41.40	54.62	100.91	Dolina-Úvala	V
129	Percepción Remota	1144.87	139.08	1.25	622.84	27.51	53.57	176.76	Úvala	Hoya
130	Percepción Remota	1599.68	150.03	3.50	1915.57	39.92	50.99	152.56	Dolina-Úvala	U
131	Percepción Remota	2658.80	212.61	2.50	2665.99	41.35	72.26	106.15	Dolina-Úvala	V
132	Percepción Remota	987.64	120.34	2.25	903.04	26.82	45.18	205.32	Dolina-Úvala	V
133	Percepción Remota	3488.00	294.85	1.50	2267.16	33.62	105.40	227.53	Pojje	Hoya
134	Percepción Remota	1171.56	152.43	1.25	603.06	25.91	55.83	147.88	Pojje	Hoya
135	Percepción Remota	2307.40	196.98	2.00	1865.73	49.16	67.01	144.35	Dolina-Úvala	U
136	Percepción Remota	3982.04	313.28	1.75	2947.62	45.30	67.98	222.26	Dolina-Úvala	V
137	Base de datos Ejidal	2578.65	193.63	3.25	2715.48	43.22	63.23	90.24	Dolina-Úvala	V
138	Percepción Remota	1210.64	126.59	1.50	816.63	36.89	42.71	171.59	Dolina	V
139	Percepción Remota	4811.24	295.06	2.00	4780.76	51.16	103.89	217.96	Pojje	Hoya
140	Percepción Remota	1580.82	164.67	1.50	979.32	27.78	69.14	120.41	Pojje	V
141	Percepción Remota	688.26	99.78	1.00	334.66	21.81	37.33	112.44	Dolina-Úvala	V
142	Percepción Remota	1365.57	145.69	1.00	701.60	34.57	53.84	96.40	Dolina-Úvala	Hoya
143	Percepción Remota	5775.35	373.45	2.75	5380.28	58.89	104.85	224.57	Úvala	V
144	Percepción Remota	665.68	122.77	1.75	430.87	22.92	44.28	96.98	Úvala	V
145	Percepción Remota	2334.85	271.42	1.25	1099.18	29.16	101.59	191.40	Pojje	V
146	Percepción Remota	2225.14	235.99	1.25	917.37	34.06	65.30	157.61	Úvala	V
147	Base de datos Ejidal	596.98	91.82	1.50	416.11	21.64	34.53	190.01	Dolina-Úvala	U
148	Percepción Remota	1868.89	210.73	1.25	1019.18	26.91	93.96	121.43	Pojje	V
149	Percepción Remota	777.42	105.26	1.50	537.84	29.18	35.81	124.53	Dolina	V
150	Percepción Remota	886.33	112.37	1.50	509.07	30.05	39.10	126.94	Dolina-Úvala	V
151	Percepción Remota	2741.04	247.42	1.50	1945.04	42.61	80.22	146.31	Úvala	V
152	Percepción Remota	1442.66	157.38	1.75	1052.88	30.60	57.73	185.50	Úvala	V
153	Base de datos Ejidal	23484.19	696.62	4.75	68443.64	130.35	217.54	134.12	Dolina-Úvala	Hoya
154	Percepción Remota	2081.80	178.06	2.00	1762.18	40.41	62.53	118.25	Dolina-Úvala	U
155	Percepción Remota	2667.28	227.45	1.75	1782.62	42.25	79.47	123.79	Úvala	U
156	Percepción Remota	1887.78	180.84	1.75	1853.38	30.39	68.97	265.55	Pojje	V
157	Percepción Remota	4021.08	298.58	1.50	2728.76	53.67	112.93	206.09	Pojje	V
158	Percepción Remota	3391.27	265.88	1.75	2495.02	58.56	92.24	243.43	Dolina-Úvala	V
159	Percepción Remota	2798.09	266.58	2.00	1428.22	37.05	103.31	180.35	Pojje	V
160	Percepción Remota	2271.88	217.17	1.25	1179.86	29.70	87.60	234.37	Pojje	V
161	Percepción Remota	2082.67	198.17	1.50	1369.98	43.30	58.14	236.02	Dolina-Úvala	V
162	Percepción Remota	2342.19	234.56	1.75	1555.40	30.40	68.82	165.87	Pojje	V

163	Percepción Remota	2842.49	241.25	2.25	2071.23	33.49	98.31	181.88	Polje	V
164	Percepción Remota	1502.36	151.65	1.00	808.98	34.69	55.85	259.73	Dolina-Úvala	Hoya
165	Percepción Remota	1762.64	186.66	2.25	1315.86	26.98	77.45	193.94	Polje	V
166	Percepción Remota	6327.80	383.32	2.50	5604.64	61.36	131.28	92.21	Polje	V
167	Percepción Remota	4381.20	284.07	1.75	3728.44	54.65	80.34	221.38	Dolina-Úvala	Hoya
168	Percepción Remota	2598.79	284.83	2.50	1748.96	32.71	86.31	128.41	Polje	V
169	Percepción Remota	1613.75	163.29	1.50	1002.40	28.95	56.30	257.01	Úvala	U
170	Percepción Remota	359.71	70.21	1.50	211.17	17.13	25.78	162.99	Dolina-Úvala	V
171	Percepción Remota	5076.45	410.55	2.50	3995.76	65.44	124.02	155.82	Úvala	V
172	Percepción Remota	2147.79	189.66	2.75	2357.85	36.27	67.57	203.76	Úvala	V
173	Percepción Remota	3575.79	280.18	3.00	3902.62	48.68	73.59	154.98	Dolina-Úvala	V
174	Base de datos Ejidal	1678.63	172.54	3.25	1771.21	52.25	57.95	194.58	Dolina	V
175	Percepción Remota	2069.84	207.49	1.50	1237.68	31.78	68.10	111.76	Polje	V
176	Percepción Remota	13847.21	580.86	3.50	18548.81	88.51	193.85	181.35	Polje	V
177	Base de datos Ejidal	3539.00	354.54	2.25	3544.95	42.90	80.81	209.61	Úvala	Hoya
178	Percepción Remota	743.67	105.68	1.75	480.52	25.26	38.93	254.49	Dolina-Úvala	V
179	Percepción Remota	3178.21	224.06	1.50	2135.24	65.43	73.26	175.17	Dolina	V
180	Percepción Remota	1289.16	161.80	1.25	644.35	30.22	48.82	144.20	Dolina-Úvala	V
181	Percepción Remota	728.95	108.41	1.25	334.50	25.60	38.20	134.79	Dolina-Úvala	V
182	Percepción Remota	6259.74	461.32	3.00	7135.75	37.57	142.61	113.78	Polje	U
183	Percepción Remota	2078.68	190.41	2.25	1760.54	45.98	52.38	150.45	Dolina	U
184	Percepción Remota	802.78	124.71	1.00	309.14	18.96	49.09	173.27	Polje	V
185	Base de datos Ejidal	7687.99	489.43	3.00	6291.65	90.19	133.12	238.00	Dolina-Úvala	V
186	Base de datos Ejidal	1904.70	180.07	3.00	2381.60	47.93	56.79	173.81	Dolina	V
187	Percepción Remota	2481.47	240.03	3.25	2621.29	45.54	81.37	230.74	Úvala	V
188	Percepción Remota	5794.97	315.24	2.75	6193.81	75.77	108.54	229.20	Dolina-Úvala	Hoya
189	Percepción Remota	842.41	109.21	1.25	457.31	25.66	39.45	161.91	Dolina-Úvala	U
190	Percepción Remota	1105.18	164.49	1.50	513.91	29.22	50.95	218.09	Dolina-Úvala	V
191	Percepción Remota	4190.97	300.66	2.00	2853.33	58.45	115.94	130.71	Úvala	Hoya
192	Percepción Remota	2014.01	219.59	1.50	1136.16	30.22	78.03	248.26	Polje	V
193	Percepción Remota	1064.42	157.22	1.50	645.48	30.64	56.43	192.86	Úvala	V
194	Percepción Remota	2245.65	193.70	1.50	1494.02	53.20	62.70	255.69	Dolina	V
195	Percepción Remota	3756.51	349.59	1.75	2455.32	51.95	103.16	112.57	Úvala	V
196	Percepción Remota	956.56	133.45	1.00	403.15	26.45	50.82	158.44	Úvala	V
197	Percepción Remota	1263.03	178.77	1.25	552.46	31.73	64.52	178.67	Polje	V
198	Percepción Remota	2038.55	175.03	1.75	1699.20	52.97	56.75	94.86	Dolina	U
199	Percepción Remota	5697.04	347.38	2.75	4550.36	52.78	110.37	130.72	Polje	V
200	Base de datos Ejidal	1364.12	149.21	2.00	1080.24	30.18	57.57	267.26	Úvala	V
201	Percepción Remota	1788.28	176.52	1.75	1248.08	48.20	60.97	100.41	Dolina-Úvala	U
202	Percepción Remota	427.86	78.11	1.00	188.24	18.63	25.46	134.05	Dolina-Úvala	U
203	Percepción Remota	8715.63	490.12	3.50	9116.20	77.73	143.72	220.06	Úvala	V
204	Percepción Remota	2149.20	218.90	1.50	1250.11	35.59	73.38	218.82	Polje	V
205	Percepción Remota	952.39	123.06	1.25	540.39	31.24	49.26	134.45	Dolina-Úvala	V
206	Base de datos Ejidal	1333.21	148.51	1.50	797.15	38.30	50.61	136.90	Dolina-Úvala	V
207	Percepción Remota	3149.49	256.61	2.00	2359.00	53.41	74.51	223.34	Dolina-Úvala	V
208	Base de datos Ejidal	5672.61	366.15	3.75	6811.72	60.49	109.00	223.34	Úvala	V
209	Percepción Remota	3227.55	240.85	2.50	2070.91	49.37	73.42	156.03	Dolina-Úvala	V
210	Base de datos Ejidal	1404.29	172.70	1.00	719.16	17.03	72.54	260.28	Polje	Hoya
211	Percepción Remota	4434.84	293.85	3.75	4080.61	61.95	104.20	116.78	Dolina-Úvala	V
212	Percepción Remota	1120.09	129.94	1.50	697.03	28.71	48.25	133.94	Dolina-Úvala	V
213	Base de datos Ejidal	3462.05	292.39	3.00	4019.78	57.92	69.13	136.03	Dolina	U
214	Percepción Remota	1569.47	173.49	1.25	812.42	42.60	63.11	134.52	Dolina-Úvala	V
215	Percepción Remota	4497.61	288.93	1.75	3620.34	77.26	95.62	102.07	Dolina	V
216	Base de datos Ejidal	17525.18	606.60	7.75	47682.89	132.73	186.71	223.92	Dolina-Úvala	U
217	Percepción Remota	850.89	111.88	1.00	387.85	28.96	39.55	127.29	Dolina-Úvala	U
218	Base de datos Ejidal	1308.78	139.77	2.25	1389.10	30.81	48.95	190.12	Dolina-Úvala	Hoya
219	Percepción Remota	2729.21	222.69	2.00	2528.24	39.30	76.70	217.39	Úvala	Hoya
220	Percepción Remota	1638.86	199.06	1.25	783.17	25.37	64.54	116.09	Polje	U
221	Base de datos Ejidal	3728.26	236.65	3.50	6016.29	65.84	76.03	243.43	Dolina	U
222	Percepción Remota	1641.24	176.87	1.25	660.84	33.18	66.25	198.02	Úvala	U
223	Base de datos Ejidal	2053.55	173.20	3.50	2639.89	40.74	61.23	117.59	Dolina-Úvala	V
224	Percepción Remota	1999.31	206.49	2.00	1437.65	28.71	60.98	135.53	Polje	V
225	Percepción Remota	822.60	105.65	1.25	504.88	28.16	36.72	123.62	Dolina-Úvala	U
226	Percepción Remota	830.43	107.75	1.50	507.95	26.35	34.35	138.16	Dolina-Úvala	U
227	Base de datos Ejidal	718.90	101.90	1.25	401.98	26.50	35.40	205.99	Dolina-Úvala	V
228	Base de datos Ejidal	17651.04	527.45	10.75	95138.46	140.39	181.69	217.17	Dolina-Úvala	V
229	Percepción Remota	5796.76	370.18	2.75	5526.92	56.50	115.65	187.36	Polje	V
230	Percepción Remota	945.49	137.32	1.00	378.65	24.64	52.62	134.37	Polje	V
231	Percepción Remota	1567.68	156.02	2.25	1401.77	31.85	51.29	122.81	Dolina-Úvala	V
232	Percepción Remota	4598.77	284.63	2.00	4673.43	40.41	105.62	134.95	Polje	Hoya
233	Percepción Remota	2187.21	220.25	1.50	1266.36	31.34	83.95	114.33	Polje	V
234	Percepción Remota	808.60	104.33	1.25	458.85	29.36	35.45	205.76	Dolina	V
235	Percepción Remota	949.26	116.13	1.50	547.45	28.39	42.29	206.45	Dolina-Úvala	V
236	Percepción Remota	1202.82	150.94	1.25	701.05	18.89	58.17	136.98	Polje	V
237	Percepción Remota	794.54	114.28	1.25	422.96	20.03	47.39	246.77	Polje	V
238	Percepción Remota	1261.11	136.51	2.00	1184.62	35.56	45.38	164.95	Dolina-Úvala	U
239	Percepción Remota	517.08	85.00	1.00	226.12	20.80	32.01	231.36	Dolina-Úvala	V
240	Percepción Remota	1036.83	126.19	1.50	706.52	25.13	45.14	129.70	Úvala	Hoya
241	Percepción Remota	4164.07	298.15	2.00	3488.46	47.09	103.09	244.41	Polje	V
242	Percepción Remota	842.19	110.50	1.25	480.02	26.33	43.17	103.39	Dolina-Úvala	V
243	Percepción Remota	1837.97	157.01	2.50	2051.34	50.33	50.41	161.18	Dolina	U
244	Percepción Remota	3750.63	305.39	3.00	4488.44	32.76	111.68	119.05	Polje	U
245	Percepción Remota	879.69	113.27	1.00	464.91	23.30	41.42	237.74	Úvala	V
246	Base de datos Ejidal	2374.58	188.39	3.50	3295.03	49.40	68.68	134.05	Dolina-Úvala	V
247	Percepción Remota	996.27	125.99	1.50	586.89	29.85	42.24	251.99	Dolina-Úvala	V

248	Percepción Remota	470.79	104.72	1.00	238.93	22.53	32.13	214.54	Dolina-Úvala	V
249	Percepción Remota	1488.44	185.89	1.75	1223.19	22.43	81.39	123.11	Polje	Hoya
250	Percepción Remota	521.44	86.51	1.50	296.53	20.47	33.73	213.51	Dolina-Úvala	V
251	Percepción Remota	611.09	95.00	1.25	343.44	18.98	35.10	139.88	Úvala	Hoya
252	Percepción Remota	1134.46	173.30	1.25	545.29	19.02	71.48	264.65	Polje	V
253	Base de datos Ejidal	2487.70	188.38	2.75	2955.38	53.73	60.42	201.19	Dolina	V
254	Percepción Remota	2848.01	220.95	2.75	2831.31	54.71	85.27	174.17	Dolina-Úvala	U
255	Percepción Remota	933.59	128.74	1.00	316.20	19.65	47.77	201.55	Polje	V
256	Percepción Remota	1575.20	217.96	1.50	812.35	33.25	54.23	218.82	Dolina-Úvala	U
257	Percepción Remota	1336.77	154.32	1.75	946.57	26.10	42.07	119.06	Dolina-Úvala	Hoya
258	Percepción Remota	647.61	92.23	1.50	448.34	26.35	30.23	227.54	Dolina	V
259	Percepción Remota	3564.38	290.27	2.50	4026.50	37.16	113.76	239.18	Polje	Hoya
260	Percepción Remota	6458.93	362.58	1.50	4797.63	47.74	105.11	205.55	Polje	Hoya
261	Base de datos Ejidal	1086.48	126.64	2.00	848.65	27.38	44.79	214.78	Dolina-Úvala	V
262	Percepción Remota	650.14	96.81	1.50	399.27	23.39	31.11	164.69	Dolina-Úvala	V
263	Percepción Remota	738.05	106.71	1.25	398.45	25.39	36.34	121.58	Dolina-Úvala	U
264	Percepción Remota	1289.22	136.48	1.50	868.96	34.68	47.85	162.65	Dolina-Úvala	V
265	Percepción Remota	2629.79	242.61	1.25	1421.78	48.35	64.99	263.11	Dolina-Úvala	V
266	Base de datos Ejidal	1050.19	123.31	2.50	1012.24	31.59	39.84	189.57	Dolina-Úvala	V
267	Percepción Remota	1208.29	143.42	1.50	742.72	31.21	52.36	226.76	Dolina-Úvala	V
268	Base de datos Ejidal	652.19	96.35	1.50	411.89	30.81	31.79	140.43	Dolina	V
269	Percepción Remota	3166.63	242.48	1.00	1811.18	56.65	93.04	219.60	Dolina-Úvala	Hoya
270	Base de datos Ejidal	2700.01	225.30	3.25	3596.17	53.62	65.36	179.48	Dolina	V
271	Base de datos Ejidal	2319.02	190.48	2.50	2375.46	50.07	53.48	104.51	Dolina	V
272	Base de datos Ejidal	2552.18	197.38	2.50	2827.11	50.07	69.34	90.37	Dolina-Úvala	U
273	Percepción Remota	2671.49	228.12	1.75	1661.94	40.20	83.74	220.16	Polje	V
274	Base de datos Ejidal	2464.79	193.43	4.50	4655.73	51.28	66.40	180.28	Dolina-Úvala	U
275	Percepción Remota	1530.13	150.25	1.50	1014.77	37.58	45.96	112.38	Dolina	V
276	Percepción Remota	2894.54	224.24	2.50	3195.47	40.51	91.26	125.61	Polje	Hoya
277	Percepción Remota	931.90	120.20	2.25	831.19	27.87	43.87	108.57	Dolina-Úvala	V
278	Percepción Remota	1111.43	141.59	1.25	697.76	22.51	57.95	205.52	Polje	V
279	Percepción Remota	1124.68	125.94	2.25	1105.21	30.12	40.07	238.05	Dolina-Úvala	U
280	Percepción Remota	1035.09	138.53	1.00	487.45	25.05	42.55	178.48	Dolina-Úvala	U
281	Base de datos Ejidal	5323.06	311.67	3.75	7273.17	68.32	97.18	268.21	Dolina-Úvala	U
282	Base de datos Ejidal	3010.91	253.08	1.75	2598.99	32.45	88.67	229.74	Polje	U
283	Percepción Remota	1245.75	150.21	1.25	650.88	19.80	51.98	188.37	Polje	V
284	Percepción Remota	1464.04	186.58	1.25	841.08	27.01	78.48	110.38	Polje	U
285	Percepción Remota	1059.36	133.07	1.00	464.17	30.12	44.04	120.17	Dolina-Úvala	V
286	Percepción Remota	6801.47	432.78	2.75	6820.05	78.51	125.52	179.09	Dolina-Úvala	V
287	Percepción Remota	1961.66	179.44	2.25	1439.48	38.06	65.12	259.38	Dolina-Úvala	V
288	Percepción Remota	919.39	148.97	1.75	498.02	31.33	37.89	226.99	Dolina	V
289	Percepción Remota	3583.45	258.44	2.00	2769.51	54.93	74.76	257.51	Dolina-Úvala	V
290	Percepción Remota	2465.38	234.08	1.50	1567.99	38.88	91.47	121.69	Polje	V
291	Base de datos Ejidal	3858.00	274.73	3.75	4300.60	58.53	86.84	269.81	Dolina-Úvala	U
292	Percepción Remota	3057.94	244.98	1.75	2942.00	48.48	105.85	131.22	Polje	V
293	Percepción Remota	587.20	90.33	1.50	357.88	25.82	30.30	206.99	Dolina	V
294	Percepción Remota	1414.91	164.59	1.75	984.55	35.15	49.60	142.78	Dolina-Úvala	V
295	Base de datos Ejidal	1908.34	233.53	2.25	1325.71	15.36	91.35	101.16	Polje	V
296	Percepción Remota	4776.63	288.91	1.75	3420.08	62.56	103.09	263.87	Dolina-Úvala	V
297	Percepción Remota	2891.57	220.19	3.00	3713.39	42.89	86.58	264.76	Polje	V
298	Percepción Remota	1471.43	158.40	2.50	1397.92	35.57	61.08	240.58	Dolina-Úvala	U
299	Percepción Remota	1883.36	198.47	1.50	1476.83	27.78	85.69	128.52	Polje	U
300	Percepción Remota	3705.42	268.00	2.25	3282.12	38.52	78.78	113.50	Polje	V
301	Percepción Remota	1313.67	142.10	1.00	683.55	35.37	50.59	202.68	Dolina-Úvala	U
302	Percepción Remota	4979.23	321.72	2.75	4517.18	55.14	114.25	256.74	Polje	U
303	Percepción Remota	1361.43	144.82	1.75	903.08	37.94	47.34	251.62	Dolina	U
304	Percepción Remota	2663.53	226.96	2.00	2304.90	38.93	86.42	113.97	Polje	V
305	Percepción Remota	2717.26	212.74	1.25	1667.00	49.66	77.16	198.32	Dolina-Úvala	Hoya
306	Percepción Remota	769.54	110.38	1.50	512.21	21.65	43.28	268.01	Úvala	U
307	Percepción Remota	2297.39	186.44	2.75	2484.01	54.13	67.19	133.79	Dolina	U
308	Percepción Remota	1365.10	148.77	1.25	780.58	41.05	49.77	262.25	Dolina	U
309	Percepción Remota	2715.24	272.34	1.75	2018.49	27.77	110.69	97.83	Polje	V
310	Percepción Remota	1756.11	182.57	2.25	1615.09	41.12	62.37	259.14	Dolina-Úvala	V
311	Percepción Remota	272.23	59.94	1.00	131.46	17.31	20.14	169.99	Dolina	V
312	Percepción Remota	1264.40	143.00	1.75	846.68	27.86	53.65	104.20	Úvala	V
313	Base de datos Ejidal	943.90	162.75	1.50	498.03	20.22	51.37	267.95	Polje	V
314	Percepción Remota	3502.75	302.13	1.50	2296.55	18.42	110.37	223.91	Polje	V
315	Percepción Remota	2497.40	249.11	1.75	1743.73	38.34	60.46	131.11	Dolina-Úvala	Hoya
316	Base de datos Ejidal	3350.73	226.21	2.50	2578.55	58.48	72.76	268.21	Dolina	V
317	Base de datos Ejidal	3291.89	231.40	3.25	3477.04	44.40	79.43	212.31	Úvala	V
318	Percepción Remota	1333.45	139.29	1.50	990.30	34.40	43.20	134.30	Dolina-Úvala	Hoya
319	Percepción Remota	1955.78	188.57	1.75	1273.18	32.10	72.20	194.71	Polje	V
320	Percepción Remota	1628.38	156.65	2.50	1408.94	38.25	49.38	266.51	Dolina-Úvala	V
321	Percepción Remota	724.64	98.62	1.25	397.16	28.80	33.89	174.78	Dolina	U
322	Percepción Remota	1099.06	142.01	1.50	513.34	26.43	51.38	247.24	Úvala	V
323	Percepción Remota	801.43	109.89	1.00	384.94	23.82	38.74	185.92	Dolina-Úvala	Hoya
324	Percepción Remota	2568.54	243.08	1.50	1605.90	38.70	75.96	252.44	Úvala	V
325	Base de datos Ejidal	6291.19	309.30	4.75	13238.88	75.73	110.61	191.45	Dolina-Úvala	U
326	Percepción Remota	1671.27	163.95	2.00	1564.29	40.10	53.97	194.41	Dolina-Úvala	V
327	Percepción Remota	1000.95	118.81	1.75	789.11	32.89	43.94	243.29	Dolina-Úvala	V
328	Percepción Remota	1938.77	212.01	1.25	1009.61	23.85	76.52	241.37	Polje	V
329	Base de datos Ejidal	2964.17	245.90	2.00	3060.30	46.17	74.18	228.96	Dolina-Úvala	V
330	Percepción Remota	2198.34	187.92	2.75	2448.26	38.66	73.94	90.13	Úvala	V
331	Percepción Remota	1255.92	141.00	1.50	823.11	36.55	52.79	263.10	Dolina-Úvala	V
332	Base de datos Ejidal	1697.55	164.32	2.50	1774.76	35.09	60.03	117.33	Dolina-Úvala	Hoya

333	Percepción Remota	4614.15	345.18	1.25	2941.29	47.39	117.23	123.46	Polje	V
334	Percepción Remota	2830.95	285.02	1.75	2034.08	19.18	115.29	97.39	Polje	V
335	Percepción Remota	1871.49	167.86	2.50	2013.58	36.62	67.51	269.15	Úvala	U
336	Percepción Remota	1406.20	144.40	1.75	991.74	33.55	46.51	124.67	Dolina-Úvala	U
337	Percepción Remota	2169.73	210.06	1.75	1635.84	32.22	83.95	195.61	Polje	V
338	Percepción Remota	4677.26	275.74	1.75	2945.45	56.82	90.31	208.63	Dolina-Úvala	V
339	Percepción Remota	906.33	114.58	1.25	516.20	35.92	38.65	189.91	Dolina	U
340	Percepción Remota	4534.71	307.87	2.25	4651.29	56.67	98.40	259.84	Dolina-Úvala	Hoya
341	Percepción Remota	1105.07	121.79	1.50	809.01	38.70	38.94	189.92	Dolina	V
342	Base de datos Ejdal	1418.15	145.10	2.50	1548.05	33.30	54.64	91.25	Dolina-Úvala	U
343	Percepción Remota	1640.71	161.81	2.00	1362.52	31.50	58.72	259.89	Úvala	U
344	Percepción Remota	1451.37	150.02	2.00	1225.64	28.75	54.73	189.66	Úvala	V
345	Percepción Remota	1790.79	179.73	1.50	1040.99	24.62	70.60	111.24	Polje	U
346	Percepción Remota	2686.96	225.78	1.50	1647.97	48.79	79.87	117.23	Dolina-Úvala	V
347	Percepción Remota	3112.26	291.87	1.50	1784.63	55.62	108.99	249.13	Úvala	V
348	Percepción Remota	1885.36	184.56	1.75	1238.17	37.65	59.98	264.98	Dolina-Úvala	U
349	Percepción Remota	1964.79	239.46	1.75	1106.15	40.04	94.67	102.97	Polje	V
350	Percepción Remota	1298.07	132.06	1.75	1214.09	37.16	46.91	263.52	Dolina-Úvala	V
351	Percepción Remota	445.11	82.27	1.00	214.73	16.99	33.27	256.38	Úvala	V
352	Percepción Remota	1182.06	145.60	1.50	695.42	21.59	57.05	106.87	Polje	U
353	Percepción Remota	1315.36	154.97	1.00	562.48	30.00	59.22	220.55	Úvala	V
354	Percepción Remota	925.72	113.07	1.50	644.41	32.74	40.70	243.75	Dolina	V
355	Percepción Remota	1227.15	171.11	1.25	613.65	25.12	59.04	103.09	Polje	V
356	Percepción Remota	2398.59	219.19	1.50	1420.63	53.30	73.64	246.47	Dolina-Úvala	V
357	Percepción Remota	568.07	88.42	1.00	247.28	23.55	31.56	139.50	Dolina-Úvala	V
358	Percepción Remota	1026.75	123.48	1.50	634.28	29.88	40.68	187.06	Dolina-Úvala	U
359	Percepción Remota	2222.06	203.06	2.50	2004.91	31.36	63.60	133.75	Polje	V
360	Percepción Remota	5344.11	360.65	1.75	3740.50	36.93	126.16	197.09	Polje	V
361	Percepción Remota	1770.66	159.94	1.75	1218.37	40.39	57.11	234.08	Dolina-Úvala	V
362	Percepción Remota	2439.84	278.86	1.50	1255.67	47.54	68.57	165.61	Dolina-Úvala	V
363	Percepción Remota	1795.15	178.61	1.75	1203.05	42.22	67.58	114.64	Dolina-Úvala	V
364	Percepción Remota	926.91	117.74	1.75	653.24	24.54	43.18	256.64	Úvala	V
365	Percepción Remota	2668.97	236.78	1.50	1595.13	30.82	79.78	99.18	Polje	V
366	Percepción Remota	1478.23	149.68	1.75	1072.60	35.00	61.42	248.76	Úvala	V
367	Percepción Remota	637.79	92.86	1.25	314.43	26.50	28.95	163.83	Dolina	V
368	Percepción Remota	532.22	83.85	1.00	263.22	24.18	27.88	160.66	Dolina	Hoya
369	Percepción Remota	1821.86	262.50	1.75	918.78	25.62	58.03	205.61	Polje	V
370	Percepción Remota	950.47	123.07	1.25	518.82	22.00	46.82	135.71	Polje	V
371	Percepción Remota	749.65	109.10	1.50	401.77	26.99	34.15	247.99	Dolina-Úvala	V
372	Percepción Remota	4908.00	339.33	1.75	3160.13	55.70	108.11	258.89	Úvala	V
373	Percepción Remota	3302.60	271.88	1.75	2150.78	36.48	107.66	124.94	Polje	V
374	Percepción Remota	639.65	97.17	1.25	330.99	26.13	35.95	134.32	Dolina-Úvala	V
375	Percepción Remota	580.23	95.58	1.00	286.18	18.41	35.78	208.58	Úvala	V
376	Percepción Remota	1043.78	119.05	2.00	766.41	33.45	41.27	138.18	Dolina	V
377	Percepción Remota	2412.86	289.71	1.75	1255.84	34.56	98.48	114.21	Polje	V
378	Percepción Remota	1732.25	174.59	2.25	1185.36	43.24	65.35	126.54	Dolina-Úvala	U
379	Percepción Remota	6689.02	340.32	2.75	8095.93	84.53	98.63	174.61	Dolina	U
380	Percepción Remota	1568.99	163.49	2.00	1140.06	31.37	65.41	118.68	Polje	V
381	Percepción Remota	1942.82	220.16	2.00	1254.08	45.33	85.03	104.70	Úvala	V
382	Percepción Remota	1101.49	141.08	1.25	487.88	31.22	42.70	191.12	Dolina-Úvala	V
383	Percepción Remota	4466.38	321.55	1.75	3109.13	58.94	110.35	268.32	Úvala	V
384	Percepción Remota	1601.35	158.76	1.75	1105.02	33.36	59.20	268.86	Úvala	V
385	Percepción Remota	3274.51	217.66	1.75	2588.26	51.54	72.77	103.53	Dolina-Úvala	V
386	Percepción Remota	3987.14	308.49	1.50	2409.00	64.72	102.77	122.69	Dolina-Úvala	Hoya
387	Percepción Remota	1939.43	239.12	1.50	970.03	25.47	84.80	164.38	Polje	V
388	Percepción Remota	2565.20	248.64	1.75	1897.78	34.23	105.02	121.42	Polje	V
389	Percepción Remota	292.33	65.46	1.00	138.65	14.71	26.10	253.30	Úvala	V
390	Percepción Remota	514.43	87.17	1.00	244.27	24.92	30.77	197.36	Dolina	U
391	Percepción Remota	2228.31	193.28	1.00	1234.81	40.90	74.17	163.07	Úvala	V
392	Percepción Remota	1053.31	121.28	1.50	631.28	31.53	45.75	130.57	Dolina-Úvala	V
393	Percepción Remota	1349.19	167.66	1.25	670.38	29.07	63.90	117.34	Polje	V
394	Percepción Remota	2695.78	219.92	2.00	2306.45	40.10	78.28	128.05	Úvala	V

Los datos están disponibles con el Dr. Oscar Frausto Martínez, responsable del proyecto, al email: ofrausto@uqroo.edu.mx, con solicitud razonable.

Anexo 2. Artículo derivado de la tesis.

Como parte de la estancia profesional en el Laboratorio de observación e investigación espacial de la Universidad de Quintana Roo, una parte de estos resultados ya fueron publicados y se pueden consultar en:



Frausto - Martínez, O., Rodríguez Castillo, J., & Colín Olivares, O. (2021). MORPHOMETRY OF KARST DEPRESSIONS AT DETAILED SCALE: EL CEDRAL, COZUMEL – MEXICO. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(1). Retrieved from <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3657/1563>