



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**EL KARST Y SU RELACIÓN CON LA ACTIVIDAD
TURÍSTICA EN QUINTANA ROO**

TRABAJO MONOGRÁFICO
PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA

NAHIM ALBERTO GONZÁLEZ ARELLANO

ASESORES

DRA. PATRICIA FRAGOSO SERVÓN

DR. ALBERTO PEREIRA CORONA

DR. CARLOS ALBERTO NIÑO TORRES



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2016.



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TRABAJO MONOGRÁFICO BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ
DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADO COMO
REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

LICENCIADO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

COMITÉ DE MONOGRAFÍA

ASESOR:

DRA. PATRICIA FRAGOSO SERVÓN

ASESOR:

DR. ALBERTO PEREIRA CORONA

ASESOR:

DR. CARLOS ALBERTO NIÑO TORRES



UNIVERSIDAD DE
QUINTANA ROO
SERVICIOS ESCOLARES
TITULACIONES

CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2016

Universidad de Quintana Roo



DIVISIÓN DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico principalmente a mi familia (mi papá, mi mamá, mi hermana, mi hermano y mi abuelita), ya que fueron los que estuvieron atrás de mí fregándome por mucho tiempo para llegar a este objetivo “La Titulación”.

De igual forma quiero dedicar este trabajo a mi gran amigo el M. en P. Juan Pablo Blancas Marí que sin duda alguna él juega parte importante en el desarrollo de este trabajo, ya que su guía y sus consejos me ayudaron en la elaboración del mismo.

También quiero dedicar este trabajo a cada una de las personas que me alentaron a titularme durante todo este tiempo.

WE DID IT...

INDICE	
LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABLAS	4
INTRODUCCIÓN	5
ANTECEDENTES	7
JUSTIFICACIÓN	9
OBJETIVOS	9
METODOLOGÍA	10
CAPÍTULO 1: AREA DE ESTUDIO	10
1.1 CLIMA.....	11
1. 2 RELIEVE	13
1.3 HIDROLOGÍA.....	13
1.4 SUELO	14
1.5 VEGETACIÓN	16
1.6 FAUNA	17
CAPÍTULO 2: LA IMPORTANCIA DEL KARST	18
2.1 UBICACIÓN.....	19
2.1.1 UBICACIÓN MUNDIAL.....	19
2.1.2 UBICACIÓN EN MÉXICO Y QUINTANA ROO.....	21
2.1.3 UBICACIÓN EN QUINTANA ROO.....	22
CAPÍTULO 3: ORIGEN DEL KARST.....	23
3.1 TIPOS DE ROCAS	24
3.2 EL CLIMA	25
3.3 LA VEGETACIÓN.....	26
3.4 EL TIEMPO.....	27
CAPÍTULO 4: CLASIFICACIÓN DE LAS FORMACIONES KÁRSTICAS	28
4.1 FORMAS EXOKARSTICAS.....	29
4.1.1 DESTRUCTIVAS MAYORES.....	29
4.1.2 DESTRUCTIVAS MENORES.....	34
4.1.3 CONSTRUCTIVAS.....	38
4.1.4 MIXTAS.....	39
4.2 ENDOKARSTICAS.....	39
4.2.1 DESTRUCTIVAS.....	39

4.2.2 CONSTRUCTIVAS DE PRECIPITACION.....	41
CAPÍTULO 5: USOS Y APROVECHAMIENTO DE LAS ZONAS	
KÁRSTICAS.....	48
5.1 USOS ACTUALES.....	48
5.2 ASPECTO TURÍSTICO	48
5.3 ASPECTO HIDROLÓGICO.....	49
5.4 ASPECTO INDUSTRIAL	50
CONCLUSION	52
Bibliografía	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación gráfica de Quintana Roo con división política.....	10
Figura 2. Mapa de climas de Quintana Roo.....	12
Figura 3. Suelos dominantes de Quintana Roo.....	15
Figura 4. Regiones Kársticas del mundo.....	20
Figura 5. Ubicación de las zonas kársticas en México.....	21
Figura 6. Zonas kársticas en Quintana Roo.....	22
Figura 7. (A) Dolina de colapso.....	30
Figura 8. Cenote Manatí: tipo úvala.....	31
Figura 9. Polje utilizado con fines recreativos.....	32
Figura 10. Valle kárstico.....	33
Figura 11. Vista general de los mogotes en Viñales.....	34
Figura 12. Lapiaz o lenar: acanaladuras y crestas angulosas.....	35
Figura 13. Representación de la sima y localización de los restos.....	36
Figura 14. Sima Mayor de Sarisariñama de Guayana Venezolana	36
Figura 15. Sumidero karstico en el condado de Loudoun Virginia en Estados Unidos.....	37
Figura 16. Travertinos en cascada.....	38
Figura 17. Laguna de La Caldera.....	39
Figura 18. Galería interior de Hundidero-Gato.....	40
Figura 19. Estalactitas. Cenote Chac Mool.....	42
Figura 20. Cortina. Cenote de Dos Ojos.....	43
Figura 21. Estalagmitas. Cenote Tajma-Ha.....	44
Figura 22. Columnas. Cenote Dos Ojos.....	45
Figura 23. Formación de discos superpuestos en el cenote de Dos Ojos.....	46
Figura 24. Microgours.....	47
Figura 25. Gours en la Sala de la Cascada.....	47
Figura 26. Principales Estados productores de caliza.....	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación climática del karst 1953 de Noel Llopis.....25

Tabla 2. Formas Exokársticas.....28

INTRODUCCIÓN

La presente monografía presenta un panorama general de las formaciones kársticas comunes en el estado de Quintana Roo, las cuales reciben diversos nombres en función de su tamaño y forma. Estas formaciones se caracterizan por presentarse sobre un substrato formado por materiales carbonatados, una morfología del terreno plana que favorece una rápida y abundante infiltración de la precipitación y un nivel freático muy próximo a la superficie del terreno, algunas formaciones conectan la superficie del terreno con algunas cavidades subterráneas, que en muchos de los casos tienen salida directa al mar (Ordoñez y García, 2010).

Las formas kársticas se dividen en dos tipos de acuerdo a White (1988) y Häuselmann (2005): a) Formas exokársticas como las dolinas y poljes y b) Formas endokársticas, que hacen referencia a las cuevas grutas y los túneles o cavernas.

Los cenotes son las formas exokársticas más conocidas en el Estado y son dolinas que presentan inundación permanente (Frausto e Ihl, 2010).

La abundancia de las formaciones endokársticas en Quintana Roo, hacen de esta zona un museo natural y un escenario extraordinario para los interesados en la práctica del espeleobuceo y buceo científico, ya que en ellas se pueden observar e interpretar procesos pasados y actuales que actúan dentro de estas cuevas, lo que hace un atractivo turístico natural importante para el desarrollo económico de la región.

En el presente trabajo se desarrolla una descripción de las formas kársticas negativas de Quintana Roo, presentando las particularidades del mismo en el siguiente orden: Capítulo 1, reconocimiento del área de estudio. Aquí se describirán las características de clima, relieve, hidrología, suelo, vegetación y fauna del estado de Quintana Roo. Capítulo 2, la importancia del karst. Capítulo en el cual se hará referencia a la importancia del karst para el ambiente y el ser humano, así como su ubicación a nivel mundial y en el estado de Quintana Roo. Capítulo 3, el origen del karst. A lo largo de este capítulo se detallarán los diferentes tipos de rocas, clima, vegetación y periodos de formación asociados al karst. Capítulo 4, la clasificación de las formaciones kársticas. Donde se mencionaran las clasificaciones de diferentes escuelas así como las formaciones exokársticas y endokársticas. Por último el Capítulo 5, usos y aprovechamientos de las zonas kársticas. En donde se detallan los usos actuales, así como los aspectos turísticos e hidrológicos de las zonas kársticas en el estado de Quintana Roo.

La intención de presentar la información de esta manera es que el lector tenga un contexto claro de lo que son las formaciones kársticas y su localización en el Estado de Quintana Roo, así como la importancia de conservarlas y protegerlas, regulando las actividades que pudieran generar impactos negativos en los ecosistemas, pero al mismo tiempo permitiendo el desarrollo económico de la población que en ella encuentra el sustento diario.

ANTECEDENTES

El acuífero kárstico de la península de Yucatán es uno de los más extensos y espectaculares de su tipo en el planeta, este sistema acuífero transfronterizo se extiende sobre un área de aproximadamente 165,000 km² en México, Guatemala y Belice (Bauer et al., 2011). La topografía de la península presenta como rasgo más importante los cenotes. Éstos se concentran en la parte norte, a lo largo de una línea imaginaria situada entre Tulum, Quintana Roo y Campeche, y disminuyen hacia el sur de la península (Beddows et al., 2007). Este amplio sistema ha tenido una importancia ancestral que data desde la época de los Mayas. Antiguas ciudades Mayas, como la de Xunekal, surgieron y prosperaron probablemente por la cercanía a los cenotes (Murno, 2010). La importancia de los cenotes en el norte de Yucatán se debe a la inexistencia de corrientes de agua superficial, siendo estos la única fuente natural de abastecimiento de agua y uno de los rasgos del terreno más sobresaliente (Gallareta, 2007).

La importancia de las cuevas y cenotes para los mayas fue documentada desde el siglo XVI por Fray Diego de Landa, pero el interés por su exploración comenzó a finales del siglo XIX y principios del XX, con viajeros como John L. Stephens y Frederick Catherwood e instituciones como la Carnegie Institution de Washington, siendo probablemente el antecedente más famoso de recuperación de materiales arqueológicos en este tipo de sitios el caso del cenote Sagrado de Chichén Itzá, realizada por Edward H. Thompson entre 1904 y 1909, y posteriormente por el arqueólogo Román Piña Chan, de 1960 a 1961 y de 1967 a 1968. En los últimos años, el Instituto Nacional de Antropología e Historia ha llevado a cabo el registro de cenotes en los estados de Yucatán y Quintana Roo, encontrando en ellos una gran diversidad de evidencia arqueológica. (Rojas, 2011).

Los estudios geológicos más detallados de la península de Yucatán son los de Butterlin (1958), Bonet (1963) y López-Ramos (1975), pero fue Armin Gerstenhauer en 1969, quien después de llevar a cabo un estudio de regionalización geomorfológica, dio una interpretación sobre la evolución del karst, concluyendo que era parte de un sistema hidrológico en su totalidad subterráneo, que se había formado en la península a partir del Mioceno, debido a un ascenso en el nivel del mar provocado por las glaciaciones, resultando ésta la característica particular de la zona. (Lugo et al., 1992).

En la actualidad se ha desarrollado un interés por la zona, ya que tiene una alta concentración de formaciones kársticas, que se han desarrollado por la confluencia de una serie de factores, como

son: un substrato formado por materiales carbonatados, una morfología del terreno plana que favorece una rápida y abundante infiltración, elevada precipitación sobre una superficie cubierta con abundante vegetación, un nivel freático actual muy próximo a la superficie del terreno que ha tenido grandes oscilaciones en los últimos 20.000 años, y la proximidad al mar, con quien existe conexión hidráulica. (Lugo et al., 1992).

En la zona se han descrito un total de 205 cenotes según el inventario de Quintana Roo Speleological Survey (2010). Donde se describen las formas comunes y procesos de formación del karst de los sistemas y/o cenotes: Dos Ojos, Manatí, Chac Mool, Edén, Tajma-Ha y Pet Cemetery y según la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Yucatán, todos ellos se localizan en la Región nº VI, Oriente, Municipio 060: Quintana Roo. (Ordoñez y García, 2010).

JUSTIFICACIÓN

La relevancia de la presente investigación se deriva del hecho que en algunas formaciones como las depresiones kársticas se presentan inundaciones, lo cual es determinante en las actividades económicas relacionadas con los cultivos agrícolas, la infraestructura urbana y el turismo. En Quintana Roo los poljes, son las formas kársticas negativas más grandes en el estado, se ubican principalmente en las zonas de menor altura en donde los procesos de disolución y cercanía al manto freático favorece el desarrollo de estas grandes extensiones hundidas respecto al terreno que las rodea y la formación de los paisajes particularmente atractivos para el desarrollo del turismo como son las lagunas costeras y otros cuerpos de agua de escasa profundidad. (Fragoso et al., 2014).

El antecedente del karst como un recurso natural aprovechable dentro del rubro turístico en distintas partes del mundo, permite considerar que integrar este recurso natural entre los atractivos naturales del estado de Quintana Roo, además de las playas, es una opción importante y viable en materia turística y por consiguiente económica.

Por otro lado, el hecho de atraer a turistas con un interés diferente a los ya conocidos, en este caso de carácter didáctico y científico, sin generar para el Estado un gasto mayor en cuanto a infraestructura hotelera, permitiría al mismo tiempo lograr la conservación y protección de una reserva natural de gran importancia para el país y el planeta.

OBJETIVOS

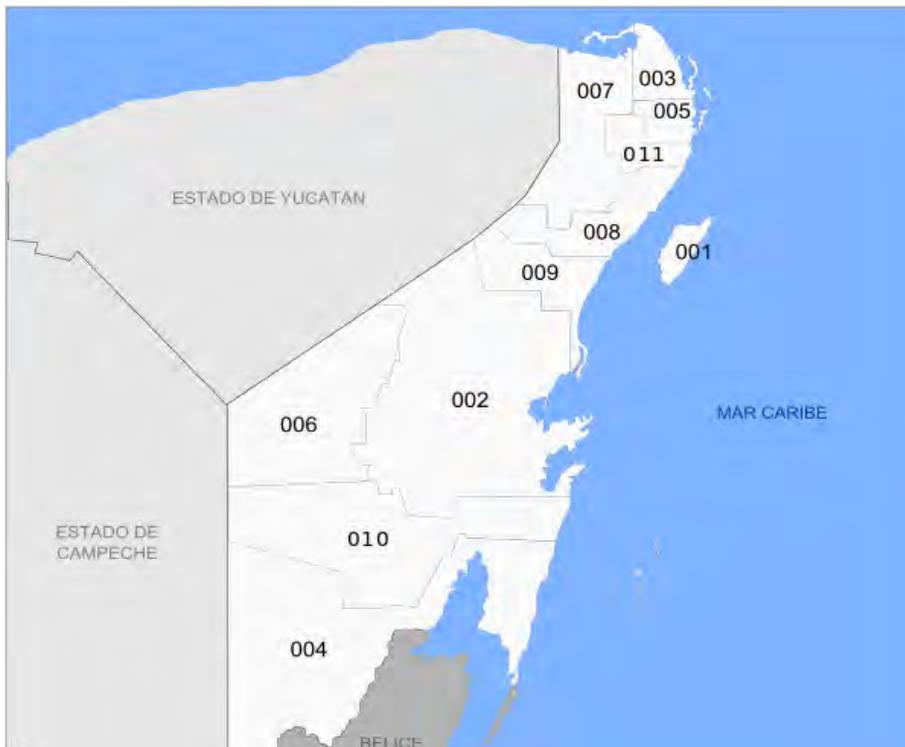
OBJETIVO GENERAL: Examinar la importancia del karst como un recurso natural potencial para la actividad turística en el Estado.

OBJETIVO ESPECÍFICO: Señalar las diferentes formas del karst en nuestra región.

METODOLOGÍA

CAPÍTULO 1: AREA DE ESTUDIO

Quintana Roo se localiza en la porción oriental de la Península de Yucatán con una superficie de 50 843 km², que comprenden cinco millones de hectáreas, y representa 2.2 % del territorio nacional. Su litoral está formado principalmente por playas arenosas y una pequeña parte de costas rocosas sin acantilados. Al norte colinda con el Golfo de México a lo largo de 165 km de costa; al este el mar Caribe cubre la porción más extensa del litoral; al sur limita con Belice y Guatemala, y al oeste y noroeste con los estados de Campeche y Yucatán, respectivamente. Sus coordenadas geográficas extremas son: al norte 21°36', al sur 17°49' de latitud norte; al este 86°43' y al oeste 89°25' de longitud oeste. El estado consta de diez municipios (ver cuadro 1): Benito Juárez, Cozumel, Felipe Carrillo Puerto, Isla Mujeres, José María Morelos, Lázaro Cárdenas, Solidaridad, Tulum, Bacalar, Othón P. Blanco, cuya cabecera, la ciudad de Chetumal, es la capital del estado. (Tello y Castellanos, 2011).



Claves	Municipio
001	Cozumel
002	Felipe Carrillo Puerto
003	Isla Mujeres
004	Othón P. Blanco
005	Benito Juárez
006	José María Morelos
007	Lázaro Cárdenas
008	Solidaridad
009	Tulum
010	Bacalar
011	Puerto Morelos

Figura 1. Representación gráfica de Quintana Roo con división política. (H. Congreso del Estado de Quintana Roo. XIV Legislatura, 2015).

1.1 CLIMA

El 99% de la superficie del estado de Quintana Roo presenta clima cálido subhúmedo (Aw) y el 1% cálido húmedo (Am (f)), localizado en la isla de Cozumel. (INEGI, 2014).

El clima cálido subhúmedo se distribuye en la zona continental y en las Islas Contoy e Isla Mujeres (Figura 2); la temperatura media anual varía entre 24 y 28 °C, con una precipitación de entre 700 y más de 1 500 mm anuales. Los meses más calientes son de mayo a septiembre con temperaturas que oscilan de 25° a 29° C; los más fríos van de diciembre a febrero, fluctuando entre los 21° C y 24° C. (Herrera, 2011).

El clima cálido subhúmedo favorece el cultivo de caña de azúcar, chile jalapeño, maíz, arroz, hortalizas y frutales como chicozapote, naranja, toronja, papaya, limón agrio, mango y piña entre otras. (INEGI, 2014).

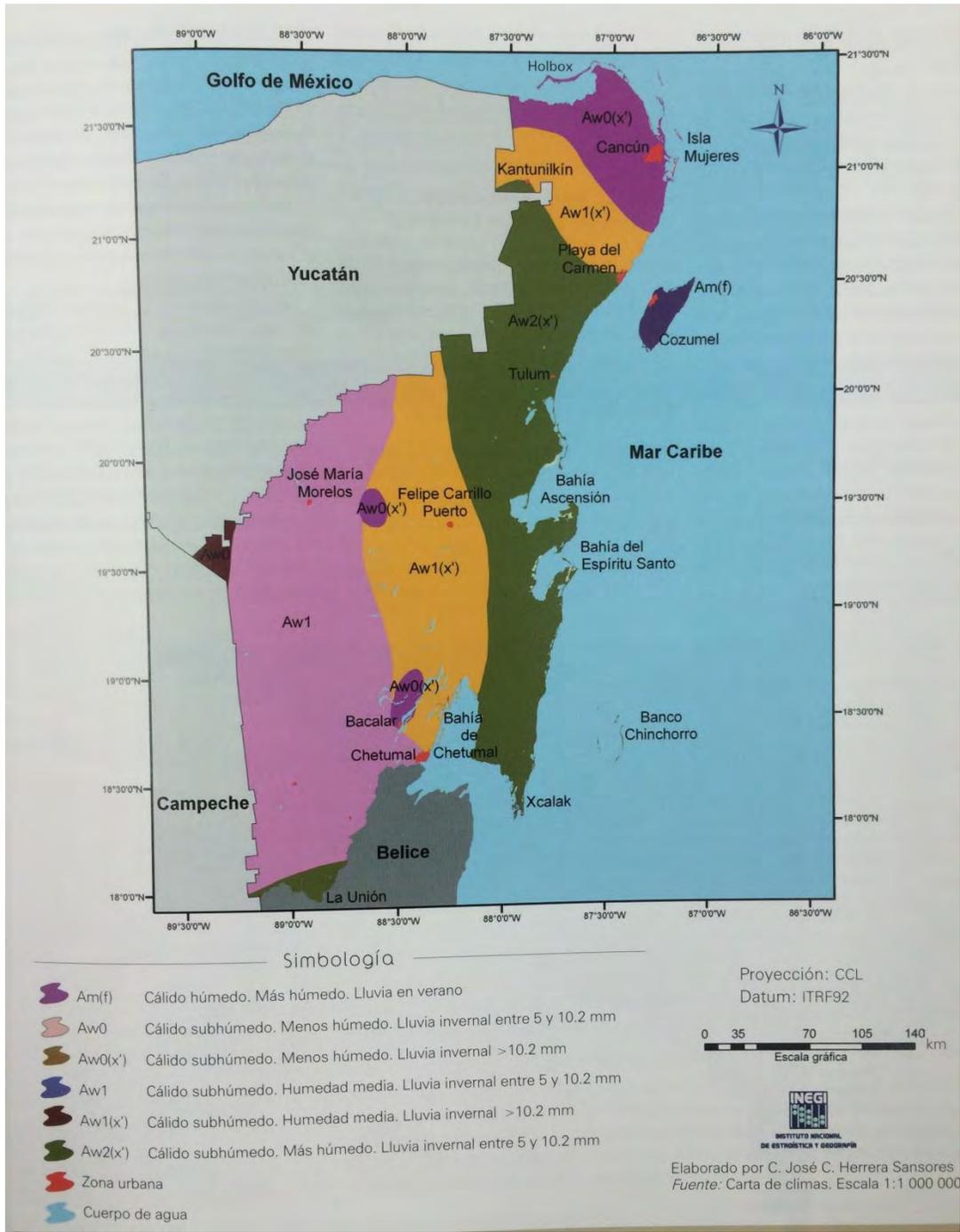


Figura 2. Climas de Quintana Roo. (Pozo, Armijo Canto, & Calmé, 2011).

1.2 RELIEVE

La superficie estatal forma parte de la provincia Península de Yucatán. Existe una llanura que domina el oriente y norte del estado y al occidente un lomerío conformado por rocas sedimentarias en esta zona se encuentra el Cerro los Chinos con 370 metros sobre el nivel del mar (msnm), siendo la mayor altitud del estado. (INEGI, 2014).

El relieve que predomina en Quintana Roo son las planicies con una leve inclinación no mayor de 0.01% y pendiente de dirección oeste a este, hacia el mar Caribe, con algunas colinas de tamaño pequeño y numerosas hondonadas; la altura media es de 10 msnm. Las principales elevaciones son los cerros: El Charro (230 msnm), Nuevo Bécár (180 msnm) y El Pavo (120 msnm). El relieve de Cozumel es ligeramente ondulado en la mayor parte de la isla; es relativamente plano en su porción occidental y escarpado en sus fajas costeras norte y oriental. Isla Mujeres, Contoy y el banco Chinchorro son expresiones fisiográficas del desarrollo del mar Caribe. (Tello y Castellanos, 2011).

1.3 HIDROLOGÍA

En el 2007 Quintana Roo disponía en promedio de 6 187.2 hectómetros cúbicos (hm³) de agua al año, lo que lo ubica en el cuarto lugar nacional y, por ende, como uno de los estados con disponibilidad alta. El volumen de agua concesionada en ese mismo año fue de 459.8 hm³; de los cuales 20.2% se destinaron a las actividades agrícolas, 19.8 % fueron para abastecimiento público, y 60% de uso industrial y auto abastecimiento. Dadas las características geológicas y topográficas de la región, el uso de las aguas superficiales para abastecimiento público es poco significativo, ya que representa solamente 0.2 % de la extracción anual, y el restante 99.8 % proviene de fuentes subterráneas, 2 640 pozos, también conocidos como aprovechamientos. En Quintana Roo existen tres acuíferos para la administración del agua de acuerdo con la división nacional, pero para fines prácticos, se considera como uno solo, del cual se extrae 100% de agua subterránea para todos los usos Herrera (2011).

1.4 SUELO

El suelo es la parte exterior de la corteza terrestre, formada por rocas desintegradas por efectos de intemperismo, está compuesto por finas partículas minerales y una flora y fauna microbiana, que actúa como un activo laboratorio transformando la materia mineral en alimento de plantas. Esta flora es, a su vez, alimento de animales y del hombre, este recurso junto con el agua, es de los que han determinado la existencia de vida en nuestro planeta (INEGI, 2008).

En Quintana Roo existen 13 de los 32 grupos principales reconocidos por la Base Referencial Mundial para el Recurso del Suelo (WRB). Los suelos más abundantes son los Leptosols, suelos jóvenes, poco desarrollados y de poca profundidad. Gleysols, suelos de color grisáceo con mal drenaje y Phaeozems, suelos oscuros con abundante contenido de materia orgánica (Figura 3). Entre los tres ocupan más del 75% de su superficie (Fragoso, 2015).

En la Península de Yucatán los mayas han dado nombre a los distintos tipos de suelos, su forma de nombrarlos y clasificarlos aún es de uso común. (Tello, 2011).

Los principales tipos de suelos de acuerdo con la terminología maya son: Tsek'el en las partes altas y laderas con buen drenaje; K'ankab al pie de las elevaciones, y Ak'alche en la partes bajas, con mal drenaje (SEMARNAP, 1988).

En Quintana Roo los suelos son importantes para las actividades agrícolas, ganaderas y forestales así como para el turismo, urbanismo y recreación.

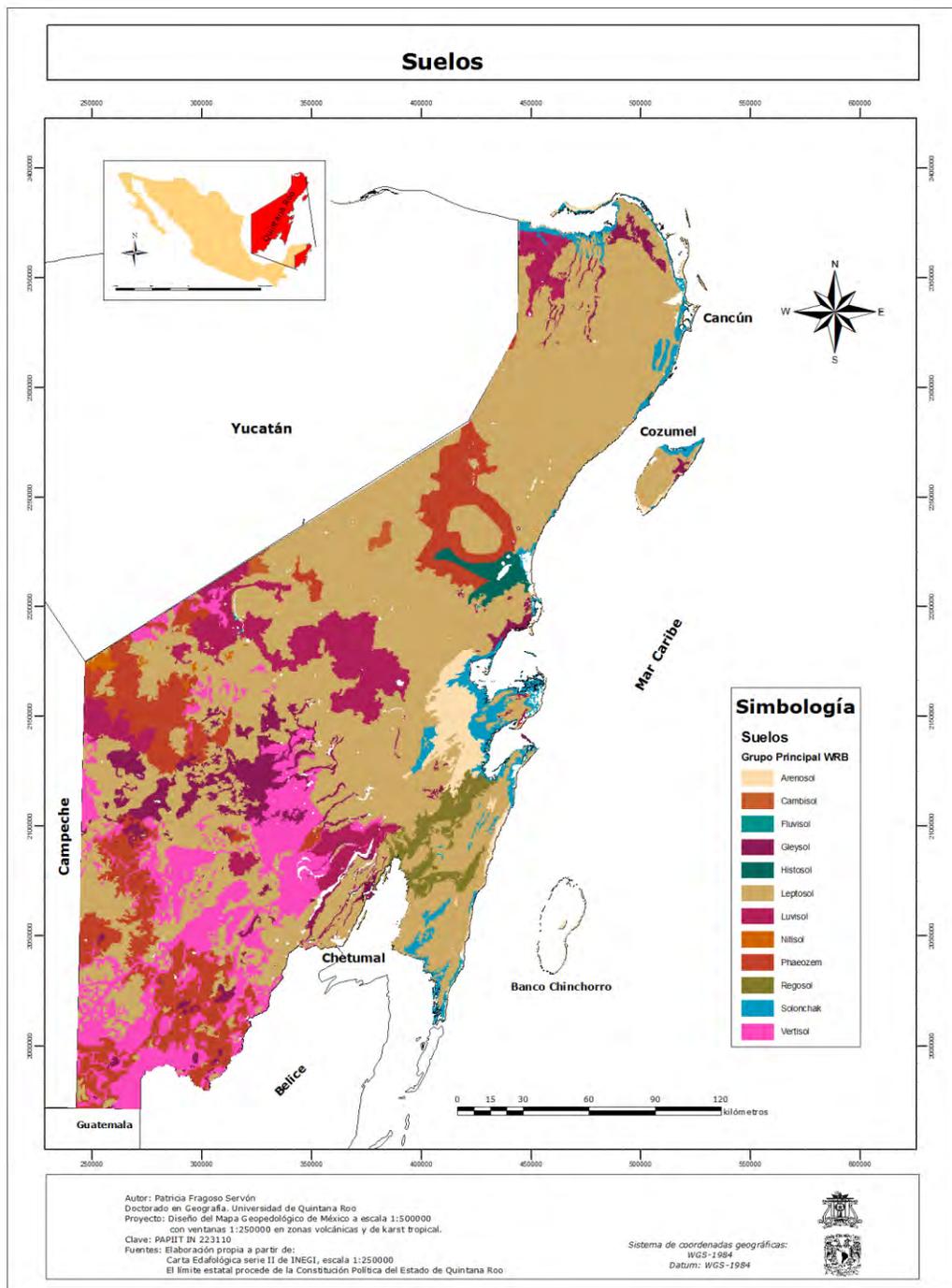


Figura 3. Suelos dominantes de Quintana Roo. (Fragoso, 2015).

1.5 VEGETACIÓN

Un rasgo distintivo de Quintana Roo es su exuberante vegetación, propia de la región neotropical a la que pertenece al Estado y de la provincia fisiográfica de la que forma parte, la número XI, que corresponde a la Península de Yucatán, donde se identifican doce comunidades vegetales principales en la entidad, su distribución está determinada por el clima, las características geológicas, los tipos de suelo, la topografía y la presencia del mar Caribe. 1. Selva alta subperennifolia 2. Selva mediana subperennifolia 3. Selva mediana subcaducifolia 4. Selva baja espinosa subperennifolia 5. Selva baja subcaducifolia 6. Selva baja caducifolia 7. Palmar 8. Manglar 9. Sabana 10. Vegetación de dunas costeras 11. Petén 12. Tular. (Ek, 2011).

Las selvas se clasifican por su altura y por la caducidad de sus hojas en época de secas y, en segundo término, por su composición vegetal, ya que es muy compleja. En Quintana Roo predomina la selva mediana subperennifolia donde se insertan el resto de las comunidades vegetales. Cabe señalar que, como resultado de las actividades humanas, se han formado selvas secundarias que al igual que los pastizales o palmares inducidos, no se consideran tipos de vegetación. (Ek, 2011).

La importancia de la flora radica en que son las encargadas de formar y mantener el hábitat para todos los seres vivos terrestres, son la base de la cadena alimenticia, como ejemplos podemos mencionar que entre el tapir (*Tapirus bairdii*) y el zapote (*Manilkara zapota*) existe una relación benéfica mutua, el tapir se alimenta de los frutos del zapote y al mismo tiempo facilita la dispersión y germinación de las semillas (O’Farril y colaboradores, 2007). La apicultura es la segunda actividad económica en Quintana Roo (3 500 toneladas al año); es sostenida por la floración de al menos 40 especies (Güemes y Villanueva, 2002 en Valdez y Islebe, 2011).

1.6 FAUNA

La fauna del estado de Quintana Roo es típicamente Neotropical y pertenece a la Provincia Yucatanense (Sensu, 1982). Sin embargo, otros autores (Udvardy, 1975) la asimilan con la región costera del Golfo de México, separando la provincia yucateca en la parte norte de la península. Dentro del variado mosaico ambiental de Sian Ka'an un número notable de especies faunísticas encuentra su hábitat apropiado. Se han realizado compilaciones de la diversidad de grupos faunísticos en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (Navarro y Robinson, 1990; Navarro y Suárez, 1992). Los inventarios mencionados arrojan la cantidad de 2,161 especies faunísticas registradas en los siguientes grupos: hidromedusas (7 especies), sifonóforos (34 especies), corales escleractinios y gorgonaceos (84 especies), helmintos parásitos (41 especies), quetognatos (3 especies), poliquetos (55 especies), oligoquetos (4 especies), pseudoscorpionidos (4 especies), copépodos (619 especies), copépodos planctónicos (16 especies), crustáceos (276 especies), Odonatos (47 especies), coleópteros lamelicornios (74 especies), siphonaptera (15 especies), dípteros (310 especies), abejas nativas (90 especies), aves (339 especies), mamíferos (103 especies) (SEMARNAP, 1988).

CAPÍTULO 2

LA IMPORTANCIA DEL KARST

La palabra karst está en sí llena de matices, controversias, expectativas y misterios, el karst, en sus manifestaciones extremas, produce sorpresas morfológicas superficiales de gran atractivo, está acompañado de cavidades sobrecogedoras, tentadoras y de abrumadora complejidad, asombra por la desaparición de las aguas en unos lugares y su aparición majestuosa en otros (Durán, 1999).

El karst es en esencia un sistema que conlleva un proceso asociado al establecimiento de una red de drenaje subterráneo Galan (1991). Sin embargo, según Bosák (2008) el inicio de vida, desarrollo y cese de un sistema kárstico posee algunas complicaciones, ya que a diferencia de otros sistemas naturales, el desarrollo de un sistema kárstico puede ser “congelado” y después rejuvenecido, lo cual sucede a menudo en varias ocasiones, por lo que los depósitos kársticos representan un tipo especial de registros geológicos.

La karstificación presenta básicamente tres tipos principales de controles: climáticos, litológicos y estructurales. Las formas resultantes raramente obedecen de manera exclusiva a uno de estos tres factores, si bien es evidente que, en ciertos casos, alguno de ellos tiene una influencia más marcada (Pezzi, 1977).

Hay que tener en cuenta que el origen de la karstificación es básicamente hidrogeológico: a partir de sistemas de flujo subterráneo determinados por la permeabilidad (K) y la porosidad (m) del macizo rocoso, además de por una serie de condiciones en los límites. (Benavente y Sanz de Galdeano, 1998).

La apariencia del karst varía de lugar a lugar, dependiendo de los factores hidrogeológicos locales. Cuando se considera el origen y la evolución de los aparatos kársticos es necesario tener en cuenta sus factores genéticos, los cuales pueden agruparse en dos conjuntos: factores pasivos (estructurales), que incluyen la situación espacial, espesor, extensión y carácter de las rocas solubles, si están estratificadas o no, su grado de agrietamiento y porosidad, su composición física y química; y factores activos (climáticos), que incluyen las características del disolvente, caudal, temperatura, composición química, que generalmente están representados por aguas enriquecidas con ácidos atmosféricos y orgánicos (Ruiz y Aguilar, 2008).

Los ambientes kársticos son altamente valorados por muchas comunidades y grupos culturales debido a sus características únicas, su ecosistema y su biota, su valor espiritual, cultural, recreacional, educacional y científico le da a las personas un sentido de inspiración y conexión, que junto con su utilización en la agricultura y la industria, los hace invaluable para las presentes y futuras generaciones.

2.1 UBICACIÓN

La superficie de la Tierra está cubierta por terrenos kársticos, cerca del 25% de la población mundial depende del agua que suplen estas áreas. A nivel mundial, el 90% del karst se encuentra en rocas carbonatadas sedimentarias (compuestas principalmente por carbonato de calcio), tales como la roca caliza y la dolomita. Aunque el karst es más abundante en regiones húmedas con ambientes templados, tropicales, y alpinos, los terrenos kársticos también pueden encontrarse en zonas áridas (CDK, 2008).

Debido a la influencia de muchas variables, las cuales trataremos en el capítulo 3 de este trabajo, las zonas kársticas se caracterizan por paisajes muy particulares y variados en diferentes partes del mundo.

2.1.1 UBICACIÓN MUNDIAL

Alrededor del mundo, ejemplos de la topografía kárstica pueden ser encontrados en todas las latitudes y elevaciones, cubre aproximadamente el 20% de la superficie terrestre (Ford y Williams, 2007), tal como se puede ver en la figura 4.



Figura 4. Regiones Kársticas del mundo. (Hannah, 2010).

2.1.3 UBICACIÓN EN QUINTANA ROO

En la figura 6, se puede apreciar los lugares que presentan formaciones kársticas en el Estado de Quintana Roo, debido a su riqueza en formaciones kársticas Quintana Roo presenta diversos parques turísticos como Xcaret o Xel-Há, entre muchos más, que cuentan con este tipo de formaciones kársticas como: cenotes, ríos subterráneos, cavernas, etc. Siendo detonantes económicos de la zona que los hacen lugares atractivos para el turismo.

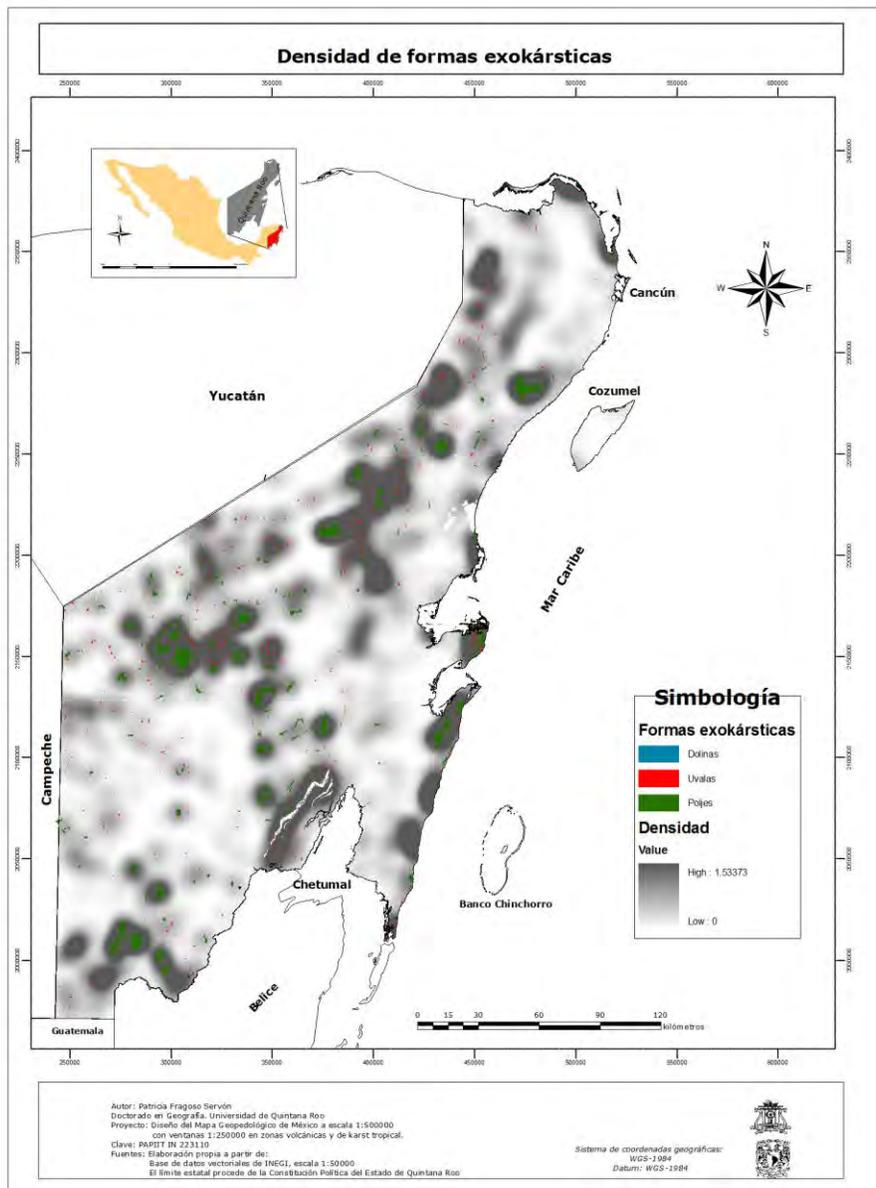


Figura 6. Densidad de formas exokársticas en Quintana Roo. (Fragoso et al., 2014).

CAPÍTULO 3

ORIGEN DEL KARST

Cuando se mencionan estudios del karst, la primera persona con la que se asocia es Jovan Civijic, el cual es considerado el fundador de la Karstología científica gracias a su trabajo “Das Karstphänomen” (1893). El año 1887 puede ser tomado como el inicio de las exploraciones de Civijic en el karst Serbico, al publicar su primer artículo científico, utilizando terminología geográfica, en donde los términos de karst fueron presentados de manera extensa y en 1889 fue publicado su primer artículo relacionado particularmente con el karst en el sureste de Serbia (Calic, 2007).

A partir del siglo XIX, hasta esta fecha se han hecho grandes contribuciones para entender el karst desde un punto de vista, geomorfológico, hidrológico, geológico e hidrogeológico, destacan los estudios realizados por Ford (1989); Williams (2007); Sweeting (1972); Jennings (1985); Dreybrodt (1988); White (1988); LaMoreaux and LaMoreaux (1998); Palmer et al. (1999); Klimchouk (2000); Gunn (2004); Bakalowicz (2005); Waltham et al. (2005); Andreo et al. (2010). (en Radulovic, 2013).

El karst es un término geológico que se refiere a una serie de formas morfológicas en específico del paisaje que son el resultado de interacciones entre un numero de factores, principalmente agua y rocas solubles en agua, por lo tanto las formas kársticas se desarrollan únicamente en terrenos donde existen rocas solubles, comúnmente calizas y dolomitas, pero también se desarrollan en terrenos de yeso, anhidrita y rocas halitas; Debido a la solubilidad de las piedras carbonatadas (calizas y dolomitas), las fallas tectónicas se expanden y la porosidad secundaria de las rocas se incrementa, lo que causa una alta permeabilidad de las rocas y la desaparición de agua superficial en los terrenos kársticos; la ausencia de un sistema de drenado en la superficie separa los terrenos kársticos de otros terrenos compuestos de rocas impermeables; en lugar de ríos en valles normales, hay formas específicas en la superficie como (cenotes, uvalas, poljes y valles secos) y en el subsuelo (cuevas), el agua pasa principalmente debajo de la superficie (Radulovic, 2013), como es el caso de Quintana Roo y su extensa red de cenotes, cuevas y causes subterráneos.

3.1 TIPOS DE ROCAS

En el mundo existen diferentes regiones kársticas y tipos de rocas por lo que es importante definir los términos que representan diferentes ambientes subterráneos así como los límites de las regiones, Hollingsworth et al., (2009) definen estos términos de la siguiente manera:

Karst carbonatado. El karst carbonatado es un terreno con una hidrología y paisajes distintivos, surgiendo de la combinación de rocas con alta solubilidad y un una porosidad secundaria bien desarrollada. Las velocidades en las que el agua fluye típicamente son mucho más rápidas que en medios porosos, los mecanismos de atenuación de contaminación son regularmente menos efectivos y las tendencias de flujo suelen ser anisótropas y heterogéneas. En muchos de los casos, el karst carbonatado es producido por una disolución química mediante agua ligeramente ácida en una capa de roca soluble, principalmente de caliza o dolomita.

Karst en evaporitas. Este tipo de karst es similar al karst carbonatado en que la disolución es el proceso dominante, pero a diferencia del karst carbonatado, la muy alta solubilidad de los minerales de evaporitas produce una alta mineralización en el agua del suelo. En los ambientes y los ecosistemas en karst de evaporitas se esperaría que los organismos que lo habitan sean más tolerantes a las soluciones diluidas. Las más comunes de estas litologías incluyen el yeso, anhidrita y halitas.

Pseudokarst. El pseudokarst es un ambiente o configuración similar al karst, pero en donde la solución no es una parte crítica del proceso formativo que produce las cavidades, aísla los vacíos y conecta los pasajes o los tubos. El ambiente de la superficie en estas áreas es similar en muchas formas a otros tipos de karst, pero debido a que son formados por procesos diferentes a los de la disolución, el flujo del agua a través del suelo, la calidad del agua y los factores del ambiente son típicamente distintos.

Regiones. Las regiones son áreas de tierra o agua que contienen un ensamble geográficamente distinto en ecosistemas y comunidades naturales; cada una puede tener un clima diferente, una geología del subsuelo, fisiografía, hidrología, suelo y vegetación distintos.

3.2 EL CLIMA

El karst es sensible a los cambios climáticos: he aquí uno de los puntos importantes de su estudio. Los datos que se conocen señalan que las formas kársticas tienden a estar ausentes en áreas con precipitaciones por debajo de los 250-300 mm. Por año (GEA, 2000).

Los procesos kársticos representan una reacción de un medio o sistema en desequilibrio, tanto química como físicamente; aquí también entra el desequilibrio ante el clima y sus fluctuaciones o variaciones. Las distintas modalidades de reaccionar frente a las oscilaciones climáticas, da lugar a las variedades climáticas del Karst. Como el clima ha presentado grandes variaciones en el pasado, muchos procesos kársticos también presentan características correspondientes a una sucesión climática dada. Por esto es importante conocer y estudiar los elementos que determinan el clima subterráneo: temperatura, circulación del aire y humedad (Eslava, et al., 2000).

El clima es uno de los factores determinantes de las características de los sistemas kársticos. En los últimos años, varios autores, y de una manera especial Corbel (1954), en varios trabajos, ha destacado la importancia del clima en relación con la karstificación. El clima influye sobre el régimen de circulación. Así, los Karst glaciares y nivales tienen un régimen más regular y permanente, a consecuencia de su alimentación, que los Karst de tipo pluvial (Eslava, et al., 2000).

Karst frío	Karst pluvi-nival	Karst calidos
<ul style="list-style-type: none">• Karst nival• Karst periglaciario• Karst glaciario• Karst polar	<ul style="list-style-type: none">• Karst pluvi-nival	<ul style="list-style-type: none">• Karst mediterráneos (típicos)• Karst tropical

Tabla 1. Clasificación climática del karst 1953 de Noel Llopis. (Eslava, et al., 2000).

3.3 LA VEGETACIÓN.

La vegetación protege de la erosión y a la vez es un agente erosionante (físico -raíces- y químico – metabolismo) que influye en el clima. Pero su influencia principal es a través de la fotosíntesis que incide en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. La materia orgánica participa en el ciclo del carbono y, por tanto, en la precipitación de las calizas. Los esqueletos sedimentan en estructuras muy porosas. La vida controla el ciclo del carbono. La complejidad de estos factores aumenta al no poder considerarlos aisladamente, ya que interaccionan entre sí y se condicionan mutuamente. (Escudero, 1982).

Según Barrios (1985). La vegetación actúa de cuatro modos diferentes sobre la evolución del suelo:

- a) Favorece un microclima: el bosque protege al humus por el ambiente sombreado y húmedo. Cuando el bosque se destruye, el humus se descompone rápidamente por efecto de la insolación, y por tanto se pierde la materia que aporta cualidades para la estructura, con lo que ésta se destruye, y al romperse la estructura se provoca una dispersión de los coloides, produciéndose un arrastre con lo que se destruyen los horizontes, en especial los superiores, produciéndose la destrucción del suelo.
- b) Por el enraizamiento: además de proteger el suelo contra la erosión favorece la permeabilidad del suelo y su aireación, provocando el lavado de los elementos coloidales y además la subida de los cationes extraídos por las raíces y su concentración en la superficie. Así la alteración es mayor en un bosque que en una pradera, si los demás factores son iguales.
- c) Por el humus producido: la vegetación forma humus que además de mejorar la estructura del suelo favorece a la microflora y a la microfauna que obtienen alimento para descomponer;
- d) Efecto protector contra la erosión: gracias a que las raíces retienen el suelo.}

El desarrollo de suelos, la sucesión evolutiva y el establecimiento de la vegetación en terrenos kársticos son afectados principalmente por las propiedades físicas y químicas de la caliza. Las características de la cobertura vegetal también dependen de las condiciones ambientales dominantes, especialmente del suelo y los parámetros climáticos asociados con terrenos kársticos. (Efe, 2013).

Ni et al., (2015) menciona que la vegetación localizada en terrenos kársticos tienen poca biomasa por encima del nivel del suelo y la degradación del suelo reduce la biomasa de la vegetación, sin embargo mediadas de biomasa por debajo del nivel del suelo son poco reportadas, sin embargo sus investigaciones indican que la biomasa de las raíces es mayor en los terrenos kársticos.

3.4. EL TIEMPO

En la evolución del Karst intervienen fundamentalmente factores geológicos, climatológicos y biológicos, condicionando el desarrollo del aparato kárstico hasta configurar el típico paisaje kárstico. (Escudero, 1982).

La desaparición del Karst resulta de la disolución total del macizo calizo. En geología esto significa millones de años. (Escudero, 1982).

Se considera como tiempo cero la roca o el material de partida de ese suelo. Se han aplicado a los suelos los términos geomórficos de Davis (1899) es decir juventud, madurez y senilidad.

CAPÍTULO 4

CLASIFICACIÓN DE LAS FORMACIONES KÁRSTICAS

En general las formaciones kársticas pueden diferenciarse aquellas que se observan sobre la superficie terrestre (exokársticas) y las que se desarrollan bajo la superficie (endokársticas).

De acuerdo a Frausto e Ihl (2010) las formas exokársticas pueden ser destructivas, constructivas o mixtas (Tabla 2).

Formas exokársticas	Destructivas	M A Y O R E S	Dolinas
			Uvalas
			Poljes
			Pavimentos
			Valles
	Constructivas	M E N O R E S	Mogotes, torres o pináculos
			Lapiaz, Carren o Lenar
			Sumideors o Simas
	Constructivas		Edificios travertínicos y tobáceos
Mixtas		Cubetas de descalcificación	

Tabla 2. Formas Exokársticas. (Frausto e Ihl, 2010).

4.1 FORMAS EXOKÁRSTICAS

Las formas exokársticas corresponden a las que se pueden observar a simple vista en la superficie de un macizo kárstico. Tienen aspectos muy variados y obedecen a procesos diferentes que actúan a escalas temporales y espaciales muy diversas: desde pequeñas microformas de disolución (lapiaces), pasando por depresiones simples (dolinas) y simas de tamaño mediano, hasta grandes depresiones de fondo plano de dimensiones kilométricas (poljes) (Gracia y Benavente, 2008).

4.1.1 DESTRUCTIVAS MAYORES

DOLINAS

Tradicionalmente, la diferenciación morfológica de dolinas se ha venido haciendo atendiendo a la forma externa de las mismas y a su posible relación con procesos genéticos concretos.

Las dolinas son depresiones cerradas de dimensiones moderadas, entre 10 y 1000m de diámetro, de forma groseramente circular, que suelen aparecer agrupadas en “campos” o “familias”, en relación con líneas de diaclasas o fallas, siendo perfectamente clara la relación entre la red de fracturación y los ejes de dolinas. (Pellicer, 1997).

Son depresiones circulares o elípticas que se forman por disolución (y consiguiente pérdida de volumen) en su fase inicial, a partir de la intersección de diaclasas, generalmente a favor de los planos de estratificación, produciéndose un proceso en cadena de infiltración- disolución. En cualquier caso no se disponen caprichosamente, sino que generalmente están alineadas según fracturas o direcciones de estratificación determinadas. En sección tienen forma de cubeta o embudo. Sus dimensiones varían desde unos pocos metros de diámetro hasta incluso 500 m. (González, 1997).

Según Gracia (1991) existen varias propuestas de clasificación, una de las más extendidas es la de Prieto (1991) que las clasifica como:

Dolinas de cubeta, también llamadas “de disolución normal” (“solution dolines”), generadas por una karstificación subsuperficial que progresivamente lleva a la generación de una depresión en superficie.

Dolinas de ventana, también llamadas “de colapso” (“collapse dolines”), formadas por un hundimiento brusco de la superficie del terreno.

Dolinas de embudo, también llamadas “de subsidencia” (“soutirage” o “subsidence dolines”), que constituirían un caso intermedio entre las dos anteriores. Se forman por sucesivos hundimientos del terreno sobre un sustrato con una gran densidad de conductos kársticos.

Las dolinas que presentan inundación permanente por estar conectadas al manto freático son llamadas cenotes y en Quintana Roo son muy abundantes.



Figura 7. (A) Dolina de colapso generada por disolución de yesos miocenos en Ucrania occidental, (B) Colapso formando en noviembre de 2003 en Calatayud. El edificio adyacente será demolido, (C) Dolina generada de forma catastrófica en el interior de una nave del Polígono Europa (Zaragoza), (D) Dolina generada por flexión en el Polígono El Portazgo (Zaragoza). La nave situada en el solar afectado tuvo que ser demolida, (E) Dolina afectando a la línea de alta velocidad Madrid- Zaragoza- Lérica (Marzo, 2003), (F) Carretera afectada por un fenómeno de subsidencia debido a la disolución de sal en Cardona. (Gutiérrez, 2004).

ÚVALAS

El término úvala se emplea para depresiones cerradas complejas que engloban a varias depresiones cerradas en su interior. Pueden adoptar morfologías lobuladas en planta y en ocasiones son el resultado de la coalescencia de varias dolinas. (Gracia y Gutiérrez, 1999).

Como consecuencia de la evolución de la dolina, más rápida en superficie que en profundidad se originan, por coalescencia, las úvalas. Sus dimensiones pueden alcanzar incluso 1 Km de diámetro. Las úvalas aumentan considerablemente la capacidad de absorción actuando como verdaderas zonas colectoras de agua en mayor escala que las dolinas. (González, 1997).



Figura 8. Cenote Manatí: tipo úvala (Ordóñez y García, 2010).

POLJES

El polje es una gran depresión cerrada de origen kárstico, con fondo plano y dimensiones del orden de hectómetros a decenas de kilómetros. Ocasionalmente, un polje puede ser capturado y drenado por la red fluvial, en cuyo caso se trataría de una forma relictiva por haber perdido su régimen hidrogeológico original. La génesis del fondo plano de los poljes ha sido explicada por procesos de corrosión o disolución bajo una cobertura detrítica, la cual produce el aplanamiento del fondo y su

progresivo ensanchamiento. El balance entre la actuación de los procesos de corrosión en sentido vertical y horizontal, controlado por la posición de la zona freática, juega un papel primordial en la evolución morfológica de un polje. La alternancia de episodios en los que domine un tipo u otro de disolución puede dar lugar al desarrollo de superficies de corrosión escalonadas, características de los poljes de la Cordillera Ibérica (Gutiérrez et al., 1982 y 1983; Peña et al., 1984, 1987 y 1991; Lozano, 1988a y b; Gutiérrez y Peña, 1989; Lozano y Jiménez, 1990; Sánchez Fabre, 1990; Gutiérrez y Valverde, 1994; Gracia et al., 1996b). (en Gracia y Gutiérrez, 1999).

Son las formas superficiales más evolucionadas y de mayor tamaño así como de absorción kárstica. Son unas depresiones endorréicas de fondo plano. Normalmente presentan una disposición alargada (largo más del doble que la anchura) y vienen condicionadas por fracturas importantes. Se considera una longitud de 2 km., el límite a partir del cual es un "polje" y no una "úvala". (González, 1997).

Según Gams (1978) se necesitan, además de su tamaño, otras tres condiciones para que una depresión se pueda clasificar como polje: a) suelo plano en la roca, en los sedimentos inconsolidados, o con materiales aluviales o cubiertos por Fluvisoles, b) una depresión cerrada con una pendiente marginal muy fuerte al menos de uno de los lados y, c) drenaje kárstico. (Soriano, et al., 1997). Según Pulido y Fernández (1979) se pueden encontrar dolinas en embudo que existen en el interior de los poljes con sumideros colmatados. (Pulido Bosch & Fernández Rubio, 1979).



Figura 9. Polje utilizado con fines recreativos. (Fragoso et al., 2014).

VALLES KARSTICOS

Por lo general, tienen paredes abruptas, llegando a formar incluso gargantas. La procedencia del agua puede ser externa a la zona kárstica, en cuyo caso, dependiendo del caudal de agua, podrá cruzarla o bien desaparecer paulatinamente por infiltración (valles alógenos y valles secos); el agua también puede surgir de una fuente formando valles en bolsón. (Soriano, et al., 1997).

La disolución kárstica es uno de los principales agentes de modelado del relieve en los macizos montañosos calcáreos, siendo la responsable de la génesis de importantes accidentes topográficos tales como dolinas y valles kársticos. (Santos y Marquínez, 2005).

Son valles cuyo curso de agua superficial desaparece en un sumidero kárstico, presentando fisonomía en "fondo de saco". Normalmente se adaptan a fracturas determinadas. Cuando llevan mucho tiempo funcionando se asemejan a úvalas. (González, 1997).



Figura 10. Valle kárstico asociado con una corriente en sumidero en el campo Tynings Gruffy en la reserva natural de Charterhouse, Reino Unido. (British Geological Survey, 2016).

MOGOTES, TORRES O PINACULOS

El mogote kárstico es una manifestación geomorfológica típica de la zona intertropical de la Tierra. El término "mogote" y sus derivados "mogote kárstico" o "karst de mogotes" está ampliamente extendido en la región Caribe (Grandes Antillas, México y Centroamérica) para identificar cerros o colinas de dimensiones de decenas de metros que, al localizarse entre depresiones ovaladas-

circulares en estrella, se individualizan nítidamente en el paisaje, y confiere al ámbito geográfico donde se desarrolla un aspecto laberíntico (Nicod, 1972). (en Díaz y Cámara, 2003).



Figura 11. Vista general de los mogotes en Viñales. (Iturralde, 2004).

4.1.2 DESTRUCTIVAS MENORES

LAPIAZ, KARREN, LENAR, RILLEN

El "lapiaz" o "lenar", es posiblemente la forma inicial más sencilla de "karst embrionario" que puede degenerar, posteriormente en dolinas. Se presentan, generalmente, como un conjunto de pequeñas acanaladuras o surcos estrechos (desde centímetros -"microlapiaz"- hasta 1 metro -"megalapiaz"-) separadas por crestas, a menudo agudas; o bien por orificios tubulares, "nidos de abejas" etc. Aparecen normalmente en superficies más o menos inclinadas y ausentes de vegetación. (González, 1997).

A una mayor escala la disolución causada por las aguas meteóricas se manifiesta en forma de estructuras superficiales de disolución del substrato rocoso que reciben el nombre genérico de lapiaz o karren (Cvijic, 1924; Bögli, 1960; Jennings, 1985; Pluhar y Ford, 1970). (en Santos y Marquínez, 2005).

Los lapiaz responden a modelados de dimensiones centimétricas, siendo las acanaladuras, las oquedades, los alveolos y los peldaños las formas más frecuentes. (Pellicer, 1997).

En general consisten en pequeñas incisiones de tamaño variable, habitualmente centimétrico a decimétrico, debidas a la acción del agua sobre la superficie rocosa. Reciben el nombre genérico de lapiaz, y se dan tanto en la superficie desnuda de la roca como bajo el suelo, en la zona de contacto entre la roca y la cobertura edáfica. Son muy comunes en rocas carbonatadas, aunque también se han descrito en rocas evaporíticas como yesos y sales. (Gracia y Benavente, 2008).



Figura 12. Lapiaz o lenar: acanaladuras y crestas angulosas. (Villalobos, et al., 2006).

SIMAS Y SUMIDEROS

Son las cavidades verticales, condicionadas bien por fracturas de este tipo, en las que la disolución y erosión ha alcanzado profundidades importantes de hasta 1000 m, o bien por el hundimiento de una dolina, de ahí que normalmente se hable de simas tectónicas y simas de hundimiento. Según su forma se habla de simas lenticulares, cilíndricas, elípticas, etc. (González, 1997).

Una sima es una cueva pero a cielo abierto. Se origina por el mismo proceso de erosión de tipo kárstico y consiste en una cavidad abierta bien por un pozo o por una pendiente pronunciada. La roca suele ser de origen calizo, dolomítico o de yeso y la acción ácida del agua va erosionándola filtrándose hasta niveles inferiores. (Hitano, 2015).

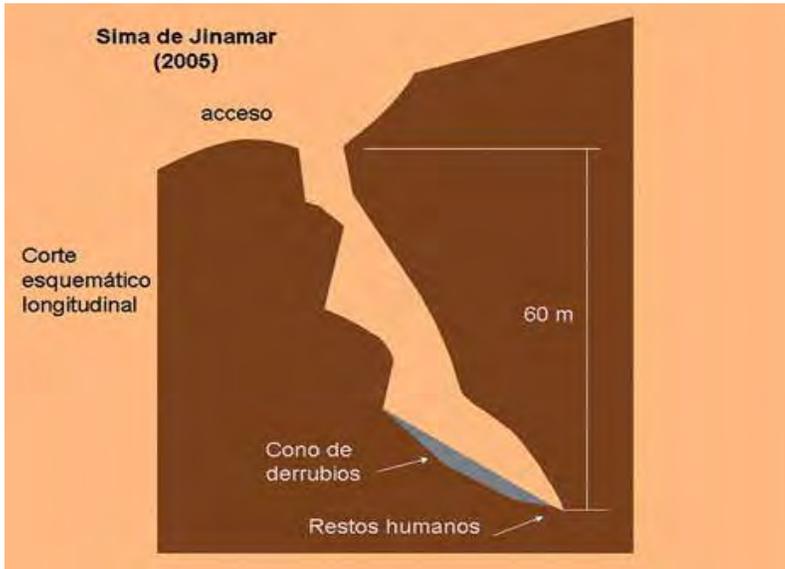


Figura 13. Representación de forma de sima en una excavación (Etxeberria, et al., 2014).



Figura 14. Sima Mayor de Sarisariñama de Guayana Venezolana. Su diámetro es de 450 m y su desnivel de -314 m. Esta gigantesca sima en cuarcitas fue explorada y topografiada en 1976 por la SVE. (Galan, 1991).

SUMIDERO

Un sumidero es un tipo de depresión, generalmente de forma circular, formada en suelos calizos o dolomíticos por el derrumbe del techo de una cueva formada anteriormente. Los sumideros recogen y/o sueltan agua de ríos subterráneos, y estos a su vez alimentan los acuíferos. Al ser desagües naturales su obstrucción puede ser origen de inundaciones. (Hitano, 2015).



Figura 15. Sumidero karstico en el condado de Loudoun Virginia en Estados Unidos (Gobierno del Condado de Loudoun, 2016) (Loundoun County Government, 2015).

4.1.3 CONSTRUCTIVAS

EDIFICIOS TRAVERTINICOS Y TOBACEOS

Las construcciones travertínicas fluviales constituyen, en general, la respuesta sedimentaria externa de la dinámica de los sistemas kársticos, durante las etapas cálidas y húmedas del Cuaternario (NICOD, 1981; MAGNIN et al., 1991). Se localizan preferentemente en zonas de descarga de acuíferos carbonatados karstificados que suministran aguas con contenidos altos de CO_2 . Esta concentración, que inicialmente está controlada por las condiciones climático ambientales, va a regular la precipitación del carbonato a partir de la desgasificación física y/o biológica producida (JULIÀ, 1983; VILES y GOUDIE, 1990; FORD y PEDLEY, 1996; ORDÓÑEZ et al., 1990, 1997). (en Lozano, et al., 1999).

En los cursos fluviales, posibles modificaciones externas al sistema pueden activar o inhibir la desgasificación y en consecuencia la nucleación y desarrollo de los edificios travertínicos. (Lozano, et al., 1999).



Figura 16. Travertinos en cascada. (Villalobos, et al., 2006).

4.1.4 MIXTAS

CUBETAS DE DESCALCIFICACIÓN

Depresiones que contienen, en mayor o menor espesor, relleno de residuos o impurezas procedentes de la roca original karstificada. El material de relleno suele estar formado por arcillas, óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio y, en ocasiones, arenas. En zonas cálido-húmedas (tropicales) forman laderitas, en otras más secas *terra rossa*, y en las templadas *terra fusca*. (De Pedraza Gilsanz, 1996)



Figura 17. Laguna de La Caldera. Ejemplo de cubeta sobreexcavada por dinámica glaciar. (Villalobos, et al., 2006).

4.2 ENDOKARSTICAS

Las formas endokársticas constituyen el complejo entramado de simas y galerías bajo la superficie que, en muchos casos llegan a ser accesibles a la exploración de espeleólogos.

4.2.1 DESTRUCTIVAS

CAVERNAS O GALERIAS

Constituyen los conductos de circulación subterránea, actual o pasada, libre o forzada. Pueden alcanzar hasta decenas de kilómetros y son frecuentes en ellas los conductos secundarios ramificados a modo de laberinto. En ellas aparecen con frecuencia sifones, lagos ("gours") etc. (González, 1997).

Las cuevas y galerías se forman por disolución de las rocas carbonatadas por el ataque del agua subterránea ligeramente ácida. El agua subterránea que se infiltra a través de la zona de aireación, va circulando por conductos preexistentes haciéndose más ácida y disolviendo lentamente la roca carbonatada, agrandando las fracturas y planos de estratificación por donde circula. Cuando el agua alcanza la zona saturada, continúa disolviendo la roca creando un sistema de galerías subterráneas y red de drenaje subterránea, buscando puntos de descarga naturales. En general, la mayoría de las cuevas se crean en el nivel freático o en la zona saturada inmediatamente por debajo de este. En consecuencia, oscilaciones del nivel freático producen modificaciones de la morfología de las paredes de la cueva. (Ordoñez y García, 2010).

Las cavernas no son elementos aislados; están situadas en un contexto más amplio: el macizo que las contiene. Forman parte de un sistema en el que no sólo la roca, sino también el agua que circula a través de ella, pasan a ser constituyentes esenciales. GEZE (1974) define una caverna como un agujero o vacío contenido por la roca que lo rodea. Llama la atención sobre este hecho, aparentemente banal, para destacar que el medio subterráneo sólo existe por la roca que lo rodea; en consecuencia, esta roca (el macizo que contiene las cavernas) pasa a ser un elemento esencial en su definición. (Galan, 1991).

Las cavernas son una parte de un sistema de drenaje subterráneo. (Galan, 1991).

Actualmente se sabe que las cavernas no solo se originan en roca caliza, pues en realidad se forman en todas las rocas carbonatadas, en los yesos, en algunas rocas ígneas y vulcanógeno-sedimentarias. (Ruiz y Aguilar, 2008).

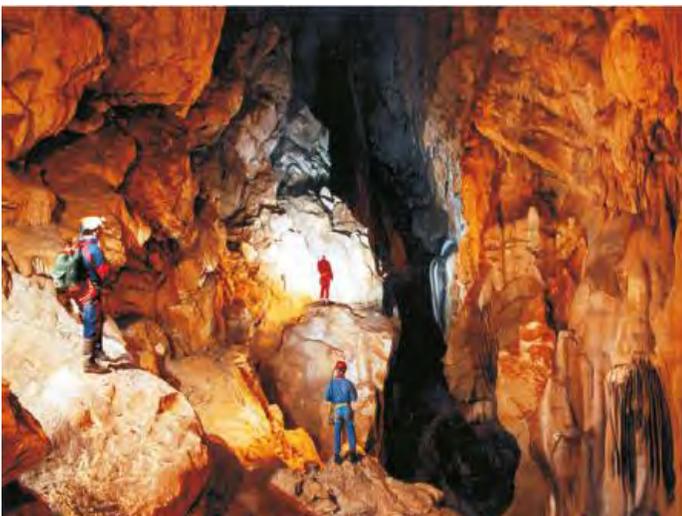


Figura 18. Galería interior de Hundidero-Gato. CIE de Montejaque. (Villalobos, et al., 2006).

4.2.2 CONSTRUCTIVAS DE PRECIPITACION

ESPELEOTEMAS

Un espeleotema es un depósito mineral formado en cuevas. El término “espeleotema” alude a la forma del depósito o “a qué se parece”, pero no a su composición (por ejemplo, la calcita no es un espeleotema pero una estalactita de calcita sí lo es). (Fundación cueva de Nerja. Instituto de investigación, 2008).

El término de espeleotemas se utiliza para denominar las formas constructivas endokársticas. El proceso de formación de todos los espeleotemas es muy similar; cuando el agua se infiltra y alcanza una cueva o cavidad (libre de agua), parte del dióxido de carbono disuelto en el agua escapa, favoreciendo la precipitación de una pequeña cantidad de calcita que poco a poco dará lugar a estructura de mayor tamaño. (Ordoñez y García, 2010).

Los espeleotemas no sólo embellecen las cuevas. En su largo proceso de formación van registrando información muy diversa que, una vez traducida por los científicos, permite conocer aspectos del pasado como, por ejemplo, el clima de épocas remotas o los terremotos que tuvieron lugar hace cientos o miles de años. (Fundación cueva de Nerja. Instituto de investigación, 2008).

Los espeleotemas son depósitos de precipitación química que se originan y desarrollan en el interior de las cavidades kársticas. Constituyen una valiosa fuente de información sobre las condiciones paleoambientales en general y paleoclimáticas en particular de los entornos donde se localizan las cuevas. (Durán, et al., 2013).

Los espeleotemas más ampliamente utilizados para obtener registros paleoclimáticos han sido los formados por carbonato cálcico, originados en cuevas abiertas en calizas, dolomías y mármoles. (Durán, et al., 2013).

Los espeleotemas precipitan de forma lenta y su mineralogía, su química, su tasa de crecimiento y otras propiedades petrológicas y geoquímicas dependen de las variables medioambientales del interior de la cueva. Esas variables son, esencialmente y siempre que no existan variaciones significativas de la humedad ambiental ni corrientes de aire, la temperatura, la tasa de goteo y la química del agua a partir de la cual precipita el carbonato. Las mismas vienen determinadas en gran

medida por las condiciones climáticas y ambientales del exterior: temperatura media anual, estacionalidad, precipitaciones, cubierta de nieve, tipo de suelo y vegetación, etc. (Chivelet, et al., 2004).

Los espeleotemas son sensibles al cambio climático pero generalmente no a los eventos de tipo meteorológico. (Chivelet, et al., 2004).

En principio, cuanto más aireada esté la cavidad más efectivo será el proceso de precipitación. (Ordoñez y García, 2010).

ESTALACTITA

Es el más común y familiar de todos los espeleotemas. Tiene forma cónica, similar a la de un carámbano de hielo y cuelga del techo de las cuevas. Su tamaño es muy variable. Una estalactita típica consta de un canal central, una capa tubular delgada de cristales alrededor del canal dispuestos longitudinalmente a éste y capas axiales al tubo central compuestas por un mosaico de cristales que crecen perpendicularmente al tubo. (Chivelet, et al., 2004).

La forma, tamaño, composición y textura superficial de una estalactita dependen de muchos factores: caudal de goteo, circulación de aire, pérdida de dióxido de carbono (CO₂), evaporación, humedad, temperatura, concentración del agua, presión hidrostática, etc. (Chivelet, et al., 2004).

Son estructuras que cuelgan del techo de las cavidades con aspecto de carámbano (figura 12 A). Se forman por precipitación de calcita gota a gota y capa a capa, creciendo desde el techo hacia abajo. Inicialmente el depósito se produce en forma de anillo alrededor del borde de la gota de agua, pudiendo llegar a formar conductos huecos en el eje central. (Ordoñez y García, 2010).



Figura 19. Estalactitas. Cenote Chac Mool. (Ordóñez y García, 2010).

CORTINAS

Otra forma kárstica muy típica es la cortina, presentando un aspecto de lámina de roca que cuelga del techo, con un origen muy similar al de las estalactitas (figura 12 B). (Ordoñes y García, 2010).

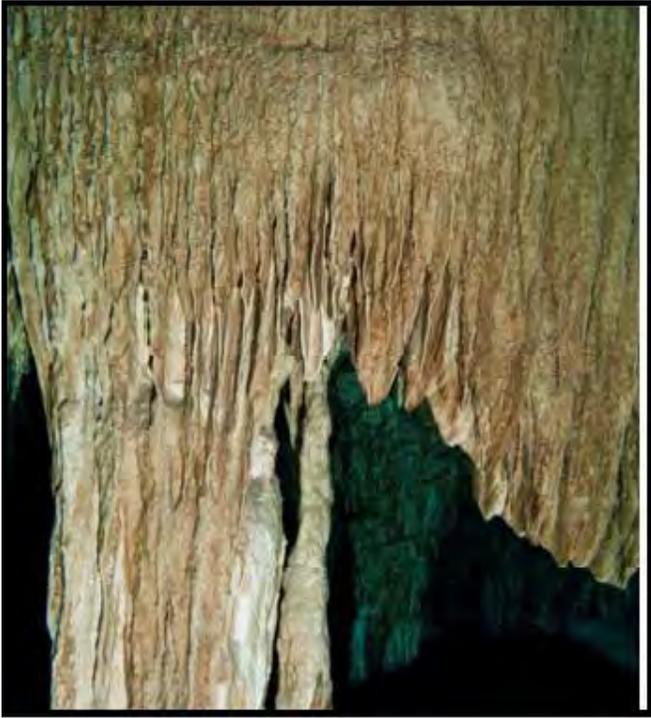


Figura 20. Cortina. Cenote de Dos Ojos. (Ordóñez y García, 2010).

ESTALAGMITAS

Cuando el flujo de agua que viene desde el techo de la cueva circula con cierta energía, algunas gotas de agua pueden escurrir por la estalactita y caer al suelo, donde precipita una pequeña cantidad de calcita. Si este proceso continúa en el tiempo, se repetirá el proceso descrito para las estalactitas pero en sentido opuesto, creciendo desde el suelo hacia el techo y formando las estalagmitas (figura 13 A). (Ordoñes y García, 2010).

Espeleotema situado en el suelo de las cuevas, cuya génesis va ligada al goteo de agua desde el techo o desde una estalactita de la cavidad. Por lo general, son de mayor diámetro que las estalactitas con las que están relacionadas y suelen tener la punta redondeada. No poseen un canal

central y están formadas por capas de cristales alargados que se orientan perpendicularmente a la superficie de crecimiento del espeleotema. (Chivelet, et al., 2004).

La forma y tamaño de las estalagmitas depende de muchos factores: distancia al punto de goteo, caudal de goteo, cantidad de bicarbonato en solución... Por ejemplo, si el goteo es muy rápido, el depósito se produce a los lados de la estalagmita y ésta aumenta en anchura. Si el goteo es muy lento, la mayoría del carbonato se deposita en el ápice y se forma una estalagmita alta y delgada. El diámetro de la estalagmita también depende de la distancia al punto de goteo: cuanto más lejos esté el goteo, más salpicará la gota al caer y mayor diámetro tendrá la estalagmita resultante. (Chivelet, et al., 2004).

Una estalagmita con diámetro uniforme es reflejo de la constancia del goteo a lo largo del tiempo. La parte central de las estalagmitas puede estar hueca si sobre ellas gotea agua subsaturada en calcita que produce la disolución del espeleotema. (Chivelet, et al., 2004).



Figura 21. Estalagmitas. Cenote Tajma-Ha. (Ordóñez y García, 2010).

COLUMNAS

Si una estalactita y una estalagmita crecen y se juntan, forman otro tipo de estructura kárstica denominada columna, que une el techo y el muro de la cueva (figura 13 B). (Ordoñez y García, 2010).

Espeleotema que resulta de la unión de una estalagmita con una estalactita. (Fundación cueva de Nerja. Instituto de investigación, 2008).



Figura 22. Columnas. Cenote Dos Ojos: altura aproximada 2 m. (Ordóñez y García, 2010).

DISCOS

Son estructuras de precipitación que crecen en las paredes de las cavidades perpendicularmente a ellas (figura 14). (Ordoñez y García, 2010).



Figura 23. Formación de discos superpuestos en el cenote de Dos Ojos. (Ordóñez y García, 2010).

GOURS

Son pequeñas balsas con los borde constituidos de calcita, dando lugar a pendientes de aspecto escalonado. Se forman cuando el agua que circula por ellas se ventila por el flujo y precipita la calcita. A veces se localizan a pie de columnas, y si son de pequeño tamaño de denominan microgours. Pueden estar asociados a terrazas travertínicas. (Ordoñes y García, 2010).

Los gours son una especie de diques que se forman sobre una pendiente por la que circula un flujo laminar de agua o en el borde de charcos de agua poco profundos. Se orientan en ángulo recto con respecto a la dirección del flujo de agua. Dan lugar a represamientos escalonados, siendo un espeleotema muy frecuente en cavidades (Fundación cueva de Nerja. Instituto de investigación, 2008). La altura del gour y su número están relacionados con la pendiente por la que circula el agua, cuanto mayor sea la pendiente, más numerosos serán los diques y de mayor altura. (Fundación cueva de Nerja. Instituto de investigación, 2008).



Figura 24. Microgours (Fundación cueva de Nerja. Instituto de investigación, 2008).



Figura 25. Gours en la Sala de la Cascada. (Fundación cueva de Nerja. Instituto de investigación, 2008).

CAPÍTULO 5

USOS Y APROVECHAMIENTO DE LAS ZONAS KÁRSTICAS

Los geo-ecosistemas kársticos son ambientes altamente frágiles que han sufrido de una degradación progresiva causada por las actividades humanas en distintas regiones del planeta. La interacción entre el hombre y el ambiente kárstico ha sido relevante desde el tiempo de los Griegos y Romanos, pero el resultado de los efectos perjudiciales se ha vuelto particularmente significativo desde la revolución industrial. A pesar de la larga historia de daños inducidos por los humanos en los ambientes kársticos y el daño ocasionado por procesos kársticos peligrosos, estos problemas han sido ampliamente desestimados por la comunidad científica, hasta el inicio de los años noventa. (Parise, et al., 2009).

5.1 USOS ACTUALES

Los sistemas kársticos en Quintana Roo son utilizados para distintas actividades siendo las principales la obtención de agua, el turismo y la obtención de materiales pétreos.

Los humanos y los ecosistemas de la región dependen de este recurso para obtener agua, pero el crecimiento demográfico masivo y el desarrollo económico, especialmente en el estado de Quintana Roo, han causado graves problemas de contaminación. La ciencia de las aguas subterráneas puede mejorar los conocimientos sobre la circulación y contaminación del agua en esta zona, y los compromisos políticos claros y responsabilidades institucionales específicas son esenciales para la gestión eficiente de las aguas subterráneas. (Merediz, et al., 2013).

5.2 ASPECTO TURÍSTICO

La zona costera de Quintana Roo se ha convertido en uno de los principales destinos turísticos del mundo gracias a sus recursos naturales: playas, selvas, cenotes, arrecifes, etc. Como en todo ecosistema, el agua es ingrediente esencial para su sustentación, lo que incluye una amplia infraestructura hotelera y de servicios turísticos.

Ecoturismo y el turismo basado en naturaleza en los paisajes kársticos son frecuentemente enfocados en áreas protegidas, lo que los hace importantes tanto económicamente como por los impactos potenciales que pueden causar. (Hall y Day, 2014).

Los paisajes kársticos proveen ganancias significantes para el ecoturismo, y las áreas protegidas dentro del karst pueden ser importantes para promover oportunidades recreacionales y de turismo. Los paisajes kársticos del caribe han sido sujetos durante largos periodos de tiempo a intensa presión humana, y el turismo es una actividad humana de creciente significancia, el turismo impacta el karst, particularmente por la relativa fragilidad del paisaje, e incluso las “eco”-actividades relacionadas pueden dañar estos ambientes, particularmente los paisajes kársticos. (Hall y Day, 2014).

5.3 ASPECTO HIDROLÓGICO.

La única fuente confiable de agua dulce para la península de Yucatán es un gran depósito kárstico de agua subterránea. La piedra caliza permite con el tiempo que las aguas subterráneas pasen por ella fácilmente, lo que crea las redes de cuevas extraordinarias e irregulares. Las zonas kársticas a menudo no muestran agua de superficie. La ciencia de las aguas subterráneas puede mejorar los conocimientos sobre la circulación y contaminación del agua en esta zona, y los compromisos políticos claros y responsabilidades institucionales específicas son esenciales para la gestión eficiente de las aguas subterráneas (Merediz, et al., 2013).

La calidad sanitaria del agua ha constituido un tópico importante en la definición de la gestión y evaluación de la calidad en los sistemas hidráulicos de origen kárstico en la región.

Según investigaciones recientes dadas a conocer en el seminario: “Análisis de la vulnerabilidad y riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la península de Yucatán”, organizado por instituciones como Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico, y Universidad Autónoma de Yucatán en 2009, el acuífero de la región se encuentra infectado por bacterias patógenas potencialmente dañinas a la salud humana.

A nivel nacional se reconoce que los acuíferos de la península de Yucatán (PY) son la gran reserva de agua dulce del país. En la PY, como en todas las zonas de karst, el acuífero es la principal fuente de agua para todas las actividades humanas. Para preservar el agua del acuífero es necesario reconocer, estudiar y evaluar las amenazas, la vulnerabilidad, y el riesgo de contaminación del acuífero (integración de las amenazas y la vulnerabilidad) (Bautista y Aguilar, 2009).

5.4 ASPECTO INDUSTRIAL

De acuerdo con él la coordinación general de minería los principales Estados productores de caliza son: Nuevo León, Quintana Roo, Hidalgo, Puebla, Edo. De México, San Luis Potosí, Jalisco, Veracruz, entre otros.

Las calizas son rocas sedimentarias que contienen por lo menos 50% de minerales de calcita (CaCO_3) y dolomita ($\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)$), predominando la calcita. Cuando prevalece la dolomita se denomina dolomía. La caliza es aglomerante, neutralizante, escorificante y fundente. (Coordinación General de Minería, 2013).



Figura 26. Principales Estados productores de caliza

Los principales usos de la caliza en México según la Coordinación General de Minería (2013), son:

- Construcción
- Fundición
- Productos químicos
- Agroquímicos
- Vidrio

Una de las mayores empresas de agregados pétreos en el estado de Quintana Roo es Calizas Industriales del Carmen, S.A de C.V (CALICA) quien distribuye agregados para la construcción en nuestro país México y exporta a los Estados Unidos.

Sin embargo, a pesar de las ventajas para el desarrollo económico del Estado, la explotación que tiene esta empresa del subsuelo de la zona, entre ellos la kárstica ha significado una constante lucha de las asociaciones de zonas protegidas, ya que en la dinámica de extracción, se han ido apoderando cada vez más de espacios naturales poniendo en peligro no solo los ecosistemas, sino también la pérdida de aspectos culturales de los habitantes de la región.

CONCLUSION

Es importante considerar que es necesario formular una política de planificación, ordenación y gestión ambiental que proteja las formaciones kársticas, preserve los procesos e impulse actividades económicas que se relacionen con los tipos de karst existentes, ya que cada una de las formaciones que se encuentran hoy en día en nuestro estado y en el mundo juegan un papel fundamental para el desarrollo de cualquier tipo de asentamiento humano (ciudad, atractivo turístico).

La ciencia de las aguas subterráneas puede mejorar los conocimientos sobre la circulación y contaminación del agua en esta zona, y los compromisos políticos claros y responsabilidades institucionales específicas son esenciales para una gestión eficiente que permita no solo el aprovechamiento, sino también la protección de estas maravillas naturales con las que cuenta nuestro Estado.

Las opciones de turismo ecológico y científico, así como la difusión de actividades como el espeleobuceo y exploración, permitirían conocer más sobre estas formaciones y posiblemente ir alargando el uso de ellas para el bien de los habitantes de la región, no solo desde el aspecto económico, sino también en el humano y cultural.

Bibliografía

- Ayuntamiento de Santander. (2012). *Plan General 2012*. Santander: Ayuntamiento de Santander.
- Barrios, I. (01 de 01 de 2006). *EUSKAL HERRIKO GEOGRAFI GOI IKASTAROA CURSO SUPERIOR DE GEOGRAFIA*. Obtenido de Sitio web: Instituto Geográfico Vasco "Andres de Urdaneta" Euskal Geografi Elkargoa: <http://www.ingeba.org/liburua/cursosup/barrios/barrios.htm>
- Bauer Gottwein, P., Gondwe, B., Charvet, G., Marín, L. E., Rebolledo Vieyra, M., & Merediz Alonso, G. (2011). Review: The Yucatán Peninsula karst aquifer, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 507-524.
- Beddows, P., Blanchon, P., Escobar Briones, E., & Torres Talamante, O. (2007). Los cenotes de la península de Yucatán. *Arqueología mexicana*, 32-35.
- Benavente, J., & Sanz de Galdeano, C. (1998). La fracturación en los macizos kársticos andaluces y su influencia en el desarrollo del relieve kárstico. En J. J. Durán Valsero, & J. López Martínez, *Karst en Andalucía* (págs. 41-47). Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.
- British Geological Survey. (25 de 02 de 2016). *Quarrying and the environment: British Geological Survey*. Recuperado el 20 de 06 de 2016, de Sitio web de British Geological Survey: https://www.bgs.ac.uk/mendips/caveskarst/karst_3.htm
- Calic, J. (2007). KARST RESEARCH IN SERBIA BEFORE THE TIME OF JOVAN CVIJIĆ. *Acta Carsológica*, 315-319.
- CDK. (11 de julio de 2008). *Contenido: CDK*. Recuperado el 22 de 02 de 2015, de Sitio web de CDK: <http://cdk-pr.org/es/contenido/qu%C3%A9-es-el-karso#tope>
- Chivelet, J. M., Turreno, M. J., Muñoz, M. B., & Domínguez Villar, D. (2004). Los espeleotemas como indicadores de cambio climático. *Cubía*, 29-33.
- Coordinación General de Minería. (2013). *Perfil de mercado de la caliza*. Dirección General de Desarrollo Minero. Ciudad de México: Secretaría de Economía.
- De Pedraza Gilsanz, J. (1996). *Geomorfología, Principios, Métodos y Aplicaciones*. Madrid: Rueda.
- Díaz del Olmo, F., & Cámara Artigas, R. (2003). Karst tropical de colinas, tipología y evolución en el pliocuaternario en República Dominicana. *XI reunión nacional de cuaternario* (págs. 123-128). Asturias: AEQUA.
- Durán Valsero, J. J. (1999). *Karst en Andalucía*. Madrid: INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA.
- Durán, J. J., Pardo Igúzquiza, E., Robledo, P. A., & López Martínez, J. (2013). Ciclicidad en espeleotemas: ¿qué señales climáticas registran? *Boletín Geológico y Minero*, 307-321.
- Efe, R. (2013). Ecological properties of vegetation formations on karst terrains in the central Taurus Mountains (Southern Turkey). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 673 - 679.
- Ek Díaz, A. (2011). Vegetación. En C. Pozo, N. Aramijo Canto, & S. Calmé, *Riqueza Biológica de Quintana Roo: Un análisis para su conservación. Tomo 1* (págs. 63-73). México, D.F.: ECOSUR, CONABIO, PPD, Gob. del estado de Quintana Roo.

- Escudero, J. E. (1982). *Revistes: RACO*. Recuperado el 19 de 03 de 2015, de Sitio web de Revistes Catalanes amb Accés Obert (RACO): <http://www.raco.cat/index.php/maina/article/viewFile/104966/163639>
- Eslava Ramirez, J. A., Bahamon Ayala, S. M., & Lopez Romero, M. I. (2000). Clasificación climática de los karst. *Meteorología Colombiana*, 67-72.
- Etxeberria, F., Serrulla, F., & Herrasti, L. (2014). Simas, cavernas y pozos para ocultar cadáveres en la Guerra Civil española (1936-1939). Aportaciones desde la Antropología Forense. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 269-288.
- Fragoso Servón, P., Bautista, F., Frausto, O., & Pereira, A. (2014). Caracterización de las depresiones kársticas (forma, tamaño y densidad) a escala 1:50,000 y sus tipos de inundación en el Estado de Quintana Roo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 127-137.
- Fragoso Servón, 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*, 127-137.
- Frausto, O., & Ihl, T. (2010). *Mapa de formaciones exocársticas del norte de Quintana Roo a escala 1:50000*. Cozumel: Fondo Mixto de investigación CONACYT-Gobierno del Estado de Quintana Roo.
- Fundación cueva de Nerja. Instituto de investigación. (2008). *Estalactitas, estalagmitas y otros espeleotemas en la cueva de nerja*. Málaga: Gobierno de España.
- Galan, C. (1991). Disolución y génesis del karst en rocas carbonáticas y rocas silíceas: un estudio comparado. *MUNIBE (Ciencias Naturales - Natur Zientziak)*, 43-72.
- Galan, C. (1991). Disolución y génesis del karst en rocas carbonáticas y rocas silíceas: un estudio comparado. *Ciencias Naturales - Natur Zientziak*, 43-72.
- Gallardo Martínez, E. (2013). ORIGINAL DEL "PRIMER MAPA DE SUELOS DE SUDAMÉRICA" DE 1935:FUENTE DEL PASADO CIENTÍFICO PROVENIENTE DEL SUR CHILENO. *Espacio Regional*, 127-131.
- Gallareta Negrón, T. (2007). Cenotes y asentamientos en Yucatán. *Arqueología mexicana*, 36-43.
- GEA. (01 de 01 de 2000). *Karst: Gran Enciclopedia Aragonesa*. Recuperado el 11 de 03 de 2015, de Sitio web de Gran Enciclopedia Aragonesa: http://www.encyclopedia-aragonesa.com/voz.asp?voz_id=7529
- González Hierro, M. (02 de 07 de 1997). *Agrupacion Espeleologica Ramaliega*. Obtenido de Agrupacion Espeleologica Ramaliega: <http://www.ramales.com/cuaderno/geomor.htm>
- Gracia Prieto, F. J. (1991). Criterios de clasificación morfométrica de campos de dolinas. *Cuaternario y Geomorfología*, 65-76.
- Gracia Prieto, F. J., & Benavente González, J. (2008). Formas exokarsticas en Andalucía. En *El karst de Andalucía* (págs. 12-19). Andalucía: Consejería de medio ambiente de la junta de Andalucía.
- Gracia Prieto, F. J., & Gutiérrez Santolalla, F. (1999). Geomorfología kárstica de las cuencas de Gallocanta y Jiloca (provincia de Teruel). *Teruel*, 29-68.
- Guerra Sierra, A., & Pascual Del Hierro, S. (2008). *LA DESCOMPOSICIÓN DE LA ECOLOGÍA*. España: Netbiblo, S. L.

- Gutiérrez, F. (2004). *El de dolinas de subsidencia en terrenos evaporíticos. Investigación y mitigación*. Roma: En prensa.
- H. Congreso del Estado de Quintana Roo. XIV Legislatura. (2015). *Dictamen con minuta proyecto de decreto por el que se crea el Municipio de Puerto Morelos del Estado de Quintana Roo*. Chetumal: Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo.
- Hall, A., & Day, M. (April de 2014). Ecoturism in the state forest karst of Puerto Rico. *Journal of Cave and Karst Studies*, 41, 30-41.
- Hannah, N. (19 de 01 de 2010). *Seccion de noticias*. Recuperado el 17 de 05 de 2016, de Sitio web de Circle of blue: <http://www.circleofblue.org/2010/world/chinas-karst-region-infographics/>
- Herrera Sansores, J. C. (2011). Capítulo 1: Clima. En C. Pozo, N. Armijo Canto, & S. Calme, *Riqueza Biológica de Quintana Roo: Un análisis para su conservación* (págs. 50-56). México, D.F.: ECOSUR, CONABIO, PPD, Gobierno del estado de Quintana Roo.
- Hitano Escudero, P. A. (05 de 10 de 2015). Rescate en simas, cuevas y barrancos. *Manual de rescate y salvamento*. Guadalajara, Guadalajara, España: Griker Orgemer.
- INE. (1992). *Diagnostico de la Problemática de Contaminación de Agua en Quintana Roo*. México, D.F.: INE.
- INEGI. (29 de Enero de 2008). *Servicio profesional de carrera: INEGI*. Recuperado el 30 de 01 de 2015, de Sitio web de INEGI: http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/1-GEOGRAFIADEMEXICO/MANUAL_CARAC_EDA_FIS_VS_ENERO_29_2008.pdf
- INEGI. (01 de 01 de 2014). *Sobre Quintana Roo: Cuentame INEGI*. Recuperado el 05 de 12 de 2014, de Sitio web de Cuentame INEGI: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/territorio/clima.aspx?tema=me&e=23>
- INEGI. (01 de 01 de 2014). *Sobre Quitnana Roo: Cuentame INEGI*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de Sitio web de Cuentame-INEGI: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/territorio/relieve.aspx?tema=me&e=23>
- Instituto de Geografía. (18 de 04 de 2013). *Atlas Nacional de México (1990-1992)*. Recuperado el 20 de 08 de 2016, de Sitio web del Instituto de Geografía: www.igeograf.unam.mx
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (18 de 05 de 2013). *Seccion Territorio Clima Cuentame INEGI*. Recuperado el 17 de 05 de 2016, de Sitio web de Cuentame INEGI: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/territorio/clima.aspx?tema=me&e=23>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (09 de 03 de 207). *Recursos Naturales-Edafología*. Recuperado el 17 de 05 de 2016, de Sitio web del Instituto Nacional de Estadística y Geografía: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/edafologia/vectorial_serieii.aspx
- Iturralde Vinent, M. (26 de 07 de 2004). Los Mogotes de la Sierra de los Órganos, Pinar del Río: Su origen, desarrollo y desaparición. La Habana: Centro Nacional de Información Geológica.
- Loundoun County Government. (18 de 05 de 2015). *Karst: Loundoun County Government*. Recuperado el 20 de 06 de 2016, de Sitio web de Loundoun County Government: <https://www.loudoun.gov/index.aspx?NID=1373>

- Lozano Tena, M. V., Sancho Marcén, C., & Peña Monné, J. L. (1999). Las formaciones travertínicas de la cuenca alta del río mijares (provincia de Teruel). *Teruel*, 69-91.
- Lugo Hubp, J., Aceves Quezada, J., & Espinasa Pereña, R. (1992). Rasgos geomorgológicos mayores de la península de Yucatán. *Instituto de Geografía - UNAM*, 143-150.
- Murno Stasiuk, M. J. (2010). Investigating ancient Maya agricultural adaptation through ground penetration radar (GPR) analysis of karst terrain, northern Yucatán, México. *Acta Carsologica*, 123-135.
- Ordóñez Crespo, I., & García Rodríguez, M. (2010). Formas kársticas comunes de los cenotes del estado de Quintana Roo. *M+A. Revista Electrónica de Medio Ambiente*, 1-20.
- Parise, M., De Waele, J., & Gutierrez, F. (2009). Current perspectives on the environmental impacts. *Environ Geol*, 235-237.
- Pellicer Corellano, F. (1997). El karst: cuevas, simas y dolinas. *Naturaleza de La Rioja*, 89-104.
- Pere Sunyer, M. (1994). LA PERSPECTIVA GEOGRAFICA EN LA EDAFOLOGIA ESPAÑOLA. *Suplementos. Materiales de trabajo intelectual*, 87-97.
- Pozo, C., Armijo Canto, N., & Calmé, S. (2011). *Riqueza Biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación, Tomo 1.* . México, D. F.: El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (PPD).
- Pulido Bosch, A., & Fernández Rubio, R. (1979). Los grandes poljes del sureste de la provincia de Valencia . *Acta geológica hispánica*, 482-486.
- Radulovic, M. M. (2013). A new view on karst genesis. *Carbonates and Evaporites. Volume 28, Issue 4.*, 383-397.
- Rojas Sandoval, C. (2011). El inframundo Maya y los Sistemas Kársticos. *Espacio profundo*, 38-41.
- Ruiz Castillo, A. A., & Aguilar Morales, S. (2008). Inventario de Cuevas en México, como Iniciativa de Conservación. *Mundos Subterráneos UMAE*, 167-180.
- Ruiz Castillo, A. A., & Aguilar Morales, S. (2008). Inventario de cuevas en México, como iniciativa de conservación. *Mundos subterráneos UMAE* (págs. 167-169). México: UMAE.
- Santos Alonso, R., & Marquínez García, J. (2005). Las formas del lapiaz en el sector norte del macizo del cornión, picos de Europa. *CyG*, 35-47.
- SEMARNAP. (1988). *Programas de manejo de Áreas naturales protegidas: Reserva de la biósfera de Sian Ka'an*. México, D.F. : SEMARNAP.
- Soriano, M. A., Arlegi, L. E., & Liesa, C. L. (1997). Tipología simplificada de los principales modelados exokársticos como clave para facilitar su aprendizaje. *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*, 32-36.
- Tello Taracena, H. A., & Castellanos Martínez, E. O. (2011). Capítulo 1: Características Geográficas. En C. Pozo, N. Armijo Canto, & S. Calme, *Riqueza Biológica de Quintana Roo: Un análisis para su conservación* (págs. 24-85). México, D.F.: ECOSUR, CONABIO, PPD, Gobierno del estado de Quintana Roo. .

Valdez Hernández, M., & Islebe, G. A. (2011). Capítulo 3. Flora. Tipos de vegetación de Quintana Roo. En C. Pozo, *Riqueza biológica de Quintana Roo: Un análisis para su conservación. Tomo 2* (págs. 32-36). México, D.F.: ECOSUR, CONABIO, PPD, Gob. del estado de Quintana Roo.

Villalobos Megía, M., Pérez Muñoz, A., & Braga Alarcón, J. (2006). *Geodiversidad y Patrimonio Geológico de Andalucía. Itinerario Geológico por Andalucía guía práctica de campo*. Andalucía: Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.