



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Filosofía y letras

Colegio de Geografía

“Del cielo no cayó el agua”.

Estudio de los procesos cársticos y su relación
con las inundaciones en la región sur de Yucatán.

T E S I S

Para obtener el título de:

Licenciado en Geografía

Presenta:

Abigail Reyes Velázquez.



Director de tesis:
Dr. Jesús Manuel Macías Medrano.

México. D.F.

2009

DEDICATORIA

A mi familia porque este es un logro de todos y para todos.

A mis padres que siempre han sido el pilar más importante en mi vida, y con su esfuerzo me permitieron llegar a este momento.

A mis hermanos por caminar el camino conmigo y nunca dejarme caer.

A mi abuelita y mi tía por ser un plus en mi vida. Alguien alguna vez me dijo que soy afortunada por tenerlas que muy pocas personas cuentan con esos privilegios en su vida. A ellas gracias por sus cuidados, consejos y guía.

A Christian por permitirme soñar a tu lado; crear todo un mundo y poder compartirlo ¡recuerda nunca despertar o todo se desvanecerá!

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Jesús Manuel Macías por permitirme ser parte del proyecto y encontrar un tiempo entre sus ocupaciones para asesorar y guiar mi investigación; a la Dra. Gabriela Vera, al Lic. Alfredo Victoria Cerón, al Mtro. Alejandro D' Luna y al Lic. Anuar Malcon por leer, corregir y hacer sugerencias encaminadas a mejorar mi trabajo. Igualmente agradezco al CONACYT por otorgarme la beca con la que fue posible la realización de esta investigación.

A la UNAM donde aprendí, viví, crecí y coseche un sin fin de experiencias.

A mis amigos y compañeros del colegio de geografía; a ellos por acompañarme en este trayecto por su apoyo y consejos, por las locuras e incoherencias de algunos y la sensatez y seriedad de otros; de todos aprendí mucho y de todos conservo un grato recuerdo. Gracias.

A todos los amigos y compañeros del CIESAS por las aventuras, las reuniones, los consejos, los inolvidables viajes, por estar en los momentos precisos, por el apoyo en el trabajo de campo, por soportar la ¡insolación!

No hubiera sido posible sin su compañía. Gracias. ¡Los quiero mucho niños!

A los habitantes de las comunidades del inolvidable sur de Yucatán por permitirnos entrar un instante en sus vidas, por enseñarnos tantas cosas, por regalarnos sus vivencias y experiencias para esta investigación, por su amabilidad, hospitalidad y calidez.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO UNO	
Referencias geográficas	5
Antecedentes históricos	9
Geología o sustrato geológico	10
Clima	11
Rasgos fisiográficos	20
Suelos	25
Vegetación	34
CAPITULO DOS	
Definición de carst	39
Los fenómenos cársticos	39
El aparato cárstico	40
La geología de la caliza	41
Principales tipos de roca caliza en Yucatán	41
Tectónica de la caliza	44
Hidrología cárstica	47
Fenómenos de erosión y formación de conductos	48
El paisaje cárstico	56
Morfología subterránea	60
La evolución cárstica	64
Carst y estructura	70
Carst y relieve	73
Carst y clima	75
El papel de la geomorfología	80
Dinámica de los acuíferos	82
CAPITULO TRES	
Huracán Isidoro	88
Inundación	89
Panorama general	90
Inundación en la región sur	96
Características de los corrientales	104

Respuesta a la emergencia	105
De regreso a las comunidades	106
Proceso de reubicación	107
CONCLUSIONES	113
ANEXO 1	118
ANEXO 2	125
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	140

INTRODUCCIÓN

La investigación que aquí presento forma parte del proyecto: “La intervención de la Secretaría de Desarrollo Social en Recuperación de Desastres. Evaluación de acciones y Omisiones en Reubicaciones de Comunidades” (SEDESOL-2002-C01-5133) del Fondo Sectorial SEDESOL/CONACYT que se llevó a cabo en el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS). Este proyecto tiene como propósito analizar ocho distintas reubicaciones por desastre desde diferentes perspectivas, dichas reubicaciones se encuentran en los estados de Chiapas, Puebla, Veracruz y Yucatán.

Esta tesis se plantea a partir de las inundaciones extraordinarias que se presentaron en el sur del estado de Yucatán varios días después del paso del huracán Isidoro en Septiembre de 2002. Estas inundaciones afectaron muchas comunidades siendo algunas de ellas reubicadas, entre ellas El Escondido y Tigre Grande en el municipio de Tzucacab, que son las comunidades que analiza el proyecto en suelos yucatecos.

Para entender estas inundaciones es necesario analizar a escala regional los aspectos físicos como suelo, clima, vegetación, geología e hidrología cárstica; estos aspectos han sido poco estudiados y aun menos interrelacionados con las inundaciones extraordinarias ocurridas en el 2002. Este estudio se enfoca en analizar por qué los procesos físicos que originaron las inundaciones no justifican el reacomodo de las poblaciones afectadas, mientras que los procesos sociales de la misma zona de estudio serán abordados en el trabajo de Christian Santillanes.

Aun no hay estudios completos y lo suficientemente detallados a los que nos podamos referir sin embargo con los estudios existentes y observaciones propias, se intentará dar ideas que den un panorama a detalle respecto a la región sur de Yucatán.

La investigación se realizó en dos fases: trabajo de gabinete y trabajo de campo. El trabajo de gabinete consistió en la búsqueda y recopilación de información bibliográfica, cartográfica (cartas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía y bases digitales de Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad), hemerográfica entre

otras fuentes. El trabajo de campo se realizó en las comisarías¹ de Blanca Flor, Corral, Dzi, Tigre Grande, El Escondido en el municipio de Tzucacab, y Chan Dzinup y San Isidro Xaxché en el municipio de Tekax, además de las cabeceras municipales de Tzucacab, Tekax, Oxkutzcab y Mérida, capital del estado (ver mapa 1) En los meses de agosto y diciembre de 2007 y mayo de 2008. Consistió en elaborar entrevistas (las entrevistas fueron realizadas por : Abigail Reyes, Christian Santillanes, Enrique Salazar, Eduardo Morales, Eric Macías, Rubén Galicia y Marisol Barrios), a los habitantes de las poblaciones afectadas, autoridades municipales y estatales (presidentes municipales y Protección Civil), periodistas y académicos e investigadores de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY); también se realizaron observaciones directas y mediciones (con GPS) en la región sur de Yucatán así como visitas a instituciones (Comisión Nacional del Agua, Protección Civil, Instituto para el Desarrollo de la Cultura Maya del Estado de Yucatán y Secretaria de Desarrollo Social) bibliotecas municipales y de la UADY.

La investigación se dividió en tres capítulos. En el primero de ellos se ubica la región de estudio y se da una explicación general de sus principales características, poniendo énfasis en los elementos físicos como son geología, rasgos fisiográficos, vegetación y principalmente clima y suelo. Con respecto al suelo, se contempla una serie de consideraciones en torno al origen, su evolución, su composición y sus características generales, así como sus patrones de asociación.

Por lo que toca respecto al aspecto climático se considero que este conocimiento servirá de base para la explicación de posibles asociaciones geográficas entre los tipos climáticos y otros componentes naturales, especialmente en el relieve, los suelos y la vegetación, así como de relaciones causales con el desarrollo de actividades propias de la agricultura y grado de progreso tecnológico. Para este estudio se analizo la información de 9 estaciones climatológicas, establecidas en los municipios de Oxkutzcab, Tekax, Tzucacab y Peto, en distintas fechas lo cual implica una variedad de años que comprende el periodo de observación de cada una de ellas.

En el segundo capítulo se describen las características del paisaje cárstico que dominan la región sur de Yucatán y se analizan los fenómenos cársticos que se presentan en dicha región. La importancia de dedicar un capítulo al paisaje cárstico radica en

¹ Una comisaría es una división administrativa formada por una pequeña comunidad al interior de un municipio, misma que es representada por un comisario elegido entre los habitantes de la misma comunidad y que tiene el aval de la presidencia municipal.

comprender los procesos y fenómenos que pueden dar una explicación a las inundaciones extraordinarias del 2002 en el sur de Yucatán.

En el tercer y último capítulo se da un panorama general de la trayectoria y paso del huracán Isidoro por suelos yucatecos para continuar con la inundación en la región sur del estado, este apartado se aborda cómo vivieron la inundación los habitantes del sur de Yucatán y lo que las fuentes oficiales señalaban, la posterior fase de emergencia y la respuesta de las autoridades para finalmente llegar a las decisiones de reubicar a las comunidades.

TRABAJO DE CAMPO EN YUCATÁN 2007-2008

SIMBOLOGÍA

 MUNICIPIOS VISITADOS

 CAPITAL ESTATAL

 CABECERA MUNICIPAL

 COMISARÍA

1 BLANCA FLOR

7 OXKUTZCAB

2 CHAN DZITNUP

8 SAN ISIDRO YAXCHE

3 CORRAL

9 TEKAX DE ALVARO OBREGON

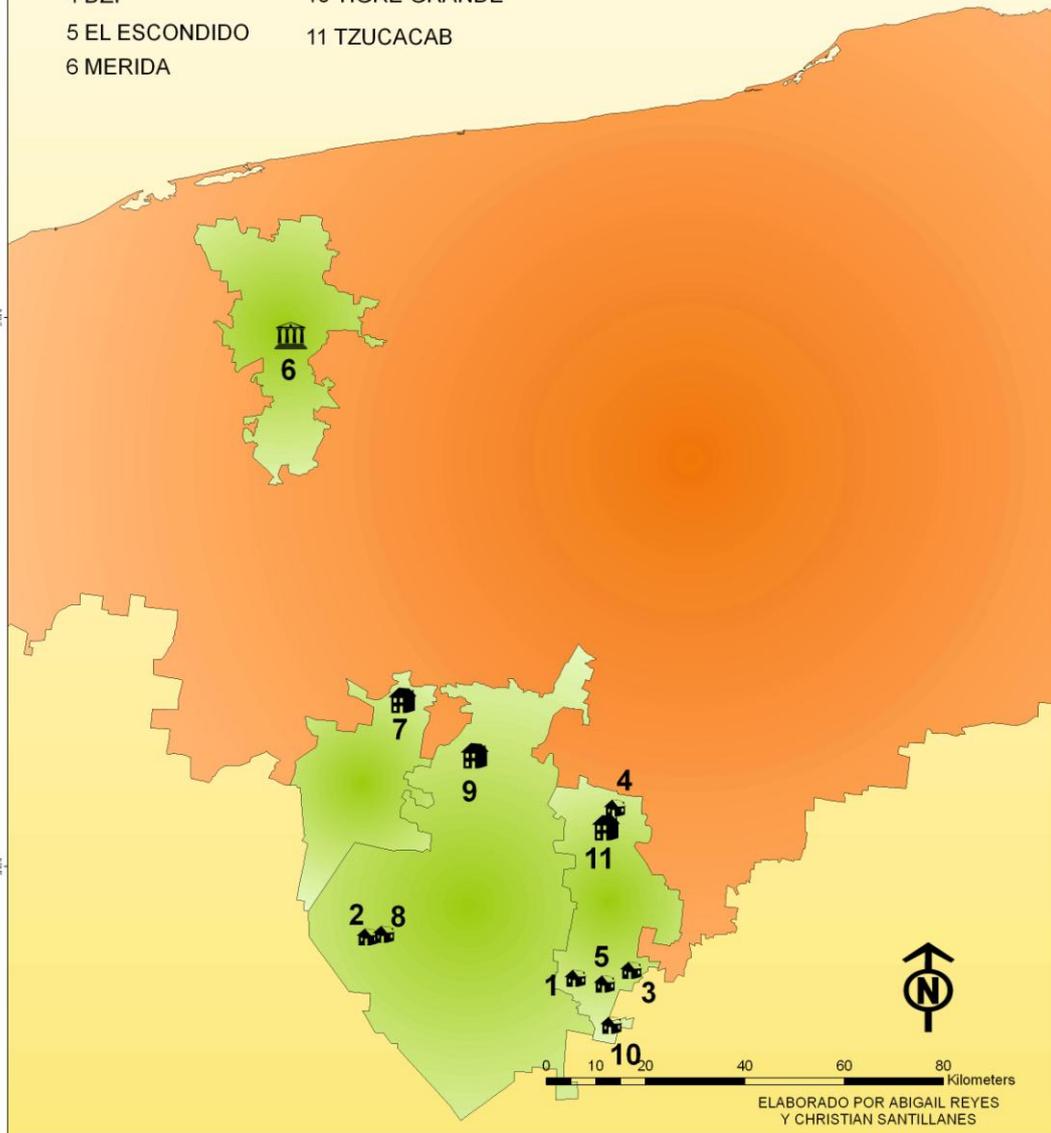
4 DZI

10 TIGRE GRANDE

5 EL ESCONDIDO

11 TZUCACAB

6 MERIDA



Mapa 1

CAPITULO UNO

El estudio que a continuación se presenta tiene el propósito de cubrir, únicamente, un primer nivel de análisis para así sentar algunas bases para una investigación posterior. El presente trabajo será orientado hacia la búsqueda de conocimientos indispensables para apreciar los problemas inherentes a las inundaciones y sus efectos, tanto en los ambientes físicos como en las sociedades, lo que se llevará a cabo mediante la explicación y análisis de los fenómenos meteorológicos, el paisaje cárstico, ubicación de las poblaciones y otras condiciones ambientales que influyen en las inundaciones en el sur de Yucatán.

El estado de Yucatán, constituido por una planicie que por el contrario a lo que se podría pensar no se trata de una planicie homogénea, está conformado por un sistema que, tanto a escalas regionales como locales, presenta una amplia diversidad de micro relieves y ecosistemas en los cuales las interrelaciones de los procesos geomorfológicos, climáticos, edáficos, de sucesión vegetal y sociales presentan variaciones en espacios muy cortos.

Dentro de este contexto, se hará una caracterización individual de los principales componentes físicos como el sustrato geológico, el clima, los rasgos fisiográficos, el suelo, la vegetación y el paisaje cárstico; así como las características principales de la población en la región sur de Yucatán, la cual es la zona de estudio, para entender la complejidad de la misma.

Los elementos naturales que se exponen en este capítulo son el resultado de un análisis regional en el que se consideraron los estados de Campeche y Quintana Roo.

Referencias geográficas

Existen varias regionalizaciones para el estado de Yucatán. La mayoría de ellas se ha hecho con base en las actividades económicas realizadas a lo largo del estado. Para este estudio se eligió la regionalización hecha por Morales (1981) quien hace un estudio en el cual propone la delimitación de la región sur de Yucatán y señala los principales componentes que han dado lugar a la actual región.

Para la determinación de regiones naturales se considera un área dentro de un país o continente, la cual debe tener ciertos rasgos físicos que le son característicos (Fuentes, 1972 en Morales, 1981: 54.) Sin embargo, hay otro tipo de regionalización en donde se da una mayor importancia a los procesos de colonización de un área cuyas características étnicas y sociales derivan en situaciones de poder que se han hecho presentes en diferentes momentos de la historia nacional (Fábregas, 1979 en Morales, 1981: 54).

La regionalización de Morales obedece más una necesidad operativa que clasificatoria (Morales, 1981:54). La región no se reduce a un determinado espacio asociado por la interrelación de indicadores numéricos, ya que estos indicadores en la mayoría de las veces ya no representan las tendencias fundamentales por el largo periodo, aproximadamente 20 años, en que se dan a conocer. Para esta regionalización, Morales toma en cuenta los principios de Bassols Batalla:

1. En una distribución regional, los elementos del medio físico juegan un papel importante pero variable a través de la historia.
2. La heterogeneidad también es un carácter distintivo, ya que se complementan unos con otros y así se podrá señalar lo determinante y lo secundario de una región.
3. Las regiones socioeconómicas pueden tener diferentes grados de madurez, pero siempre están en transcurso de integración.
4. La región se integra en especialización productiva, atracción de una ciudad y mayor complejidad de los procesos productivos, las cuales están ligadas entre sí y a una cierta especialización.

En este sentido, el sur de Yucatán, caracterizado naturalmente por su relieve, diversidad y la riqueza de sus suelos, constituyó una región desde la época anterior a la guerra de castas; así lo han mencionado autores como Suárez Molina (1980) y Reed (1979).

A continuación se describirán los componentes que, según (Morales, 1981: 56-57.), a partir de la década de los sesentas constituyeron un proceso para la conformación de la región sur de Yucatán:

1. El desarrollo de nuevas fuerzas productivas como construcción de nuevas vías de comunicación, el agregar grandes extensiones de tierra al cultivo, la introducción de nuevos cultivos, riego y tecnología como maquinaria, fertilizantes, insecticidas y

químicos para combatir plagas, el financiamiento del estado para cultivos y, por último, la iniciación de procesos productivos que tendrá como fin la agro industrialización incipiente lo que traerá cambios en la forma de organización, ya que el campesino tiene cada vez menos control sobre su proceso de trabajo pues dependerá de un cultivo colectivo que está sujeto a las demandas del mercado y restringido por los programas estatales.

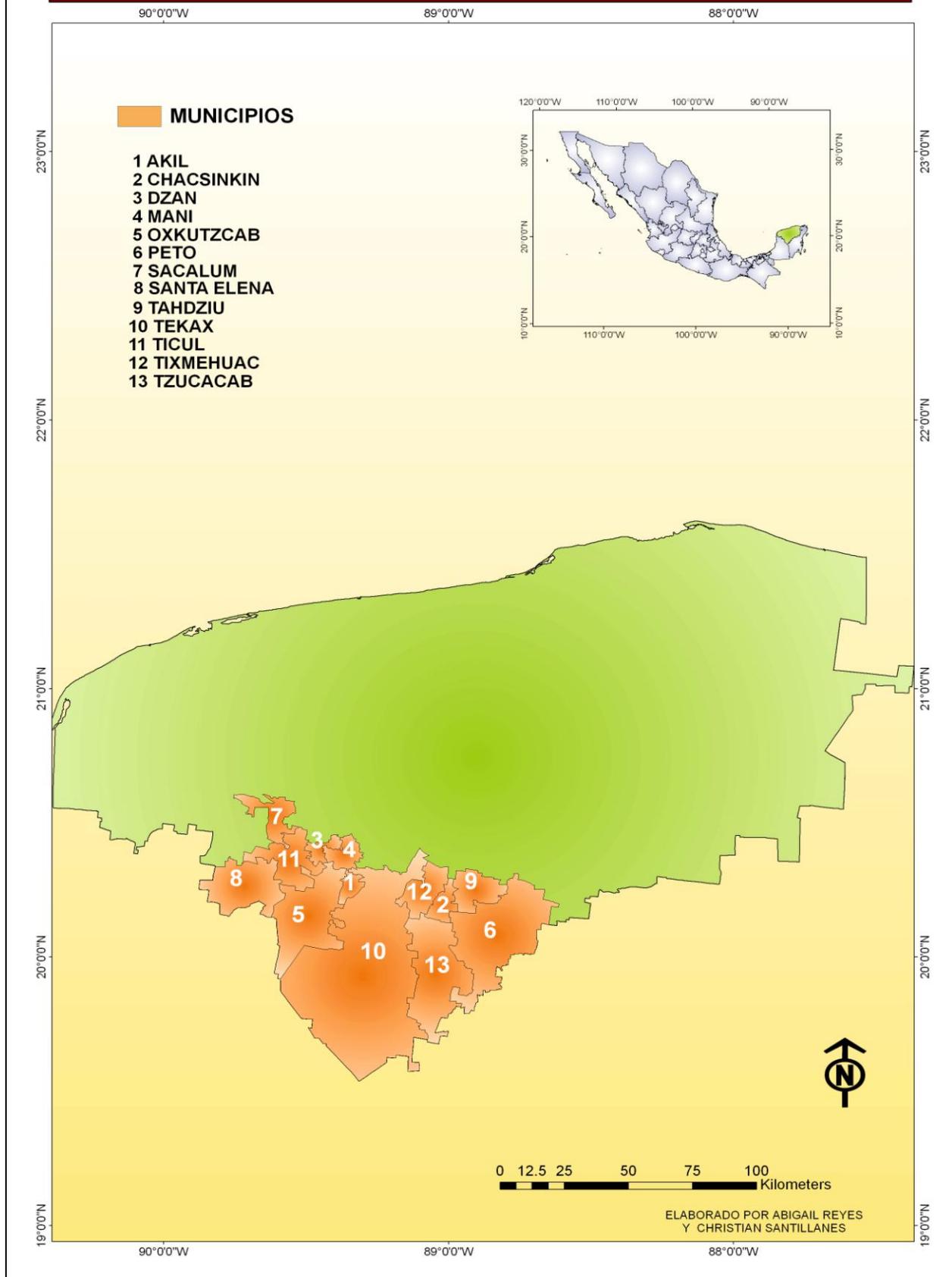
2. Las relaciones de producción las cuales tienen implicaciones como el surgimiento de nuevas formas de control de los medios de producción por medio de dotación de recursos estatales como disponibilidad de riego, perforación de pozos, otorgamiento de crédito y asistencia técnica.
3. La circulación del producto el cual se relaciona con la diversificación productiva de la zona y el aumento de la producción. El surgimiento de nuevas intermediaciones comerciales y la consolidación del mercado en de Oxkutzcab, Yucatán; como eje de todo este proceso.

Respecto a la existencia de un proceso de desarrollo de nuevas formas productivas en el sur de Yucatán el análisis, de la inversión corriente y a largo plazo que se esta realizando en la región, indica que existe una transformación de la agricultura en la cual se observa un uso más intensivo en las zonas agrícolas a través del riego y la mecanización. Este proceso se marca en este momento dentro de dos planes estatales que implica el incremento del cultivo de cítricos y su agro industrialización por una parte y, por otra parte, la producción en amplia escala de cultivos básicos mecanizados.

Morales señala que la región sur de Yucatán se compone de trece municipios los cuales guardan entre si una serie de relaciones sociales y económicas en donde las principales representan el dinamismo comercial y de servicios alrededor de tres centros urbanos: Ticul, Tekax y Peto. Dicha región es subdividida a su vez en dos áreas: la primera de agricultura de riego con cultivos frutales y hortalizas, comprendida por los municipios de Oxkutzcab, Ticul, Dzán, Akil, Sacalum, Santa Elena, Maní y Tekax, y la segunda el maicero-ganadera que también es productora de miel, la comprenden Tekax, Tzucacab, Peto, Chacsikín, Tixméhuac y Yahdziú (Morales, 1981: 62).

Para este estudio se tomarán sólo cuatro municipios, Oxkutzcab, Tekax, Tzucacab y Peto, por ser estos los afectados por las inundaciones causadas por el huracán Isidoro en la región sur de Yucatán. Mapa 2

REGIÓN SUR DE YUCATÁN



Mapa 2

Antecedentes históricos

El territorio que ocupa actualmente la región sur de Yucatán ya era habitado en tiempos anteriores a la conquista española, muestra de ello son las ciudades de Uxmal, Kabah, Sayil, Labná y otros registros, monumentos y construcciones encontradas en Lol Tún, Peto e incluso en las mismas comunidades reubicadas de Tigre Grande y El Escondido, en todos ellos se presentan vestigios de la presencia de los antiguos mayas en la región. Durante la conquista española el grupo maya más importante de la región eran los Xiu y durante la colonia existieron algunas encomiendas (Góngora 2005: 8-10).

Posteriormente, la actual región sur se fue desarrollando y se establecieron algunos centros poblacionales siendo Tekax el más importante aunque no hay que dejar de mencionar a Oxkutzcab, Muna o Maní, siendo este último particularmente importante, ya que fue en dicha población donde el Obispo Fray Diego de Landa llevó a cabo su tristemente célebre auto de fe en donde se quemaron ídolos, códices y cualquier otro tipo de elementos o registro que dieran cuenta de las costumbres, religión y conocimientos de los antiguos mayas.

Para el siglo XVII estos centros eran importantes debido a la producción de maíz y ganado, lugares que se transformaron gradualmente en haciendas maicero-ganaderas, lugares que sobre explotaban a los trabajadores que en su mayoría se trataban de mayas. (Rosales, 1980A: 42). La gran mayoría de los trabajadores fungían como peones de las haciendas; eran sometidos a crueles castigos y explotados bajo la modalidad de “acasillamiento” la cual consistía en trabajo por deudas, es decir, los peones contraían alguna deuda con los patrones de la hacienda —ya sea por comprar alimentos, instrumentos para trabajar, renta de la tierra, etcétera— y la pagaban con trabajo. Aunque cabe decir que dicha deuda pocas veces se finiquitaba e incluso era heredada. A principios del siglo XIX comenzó a intensificarse la producción de caña de azúcar, lo que caracterizó a la región durante algún tiempo (Bartolomé, 1992: 114-116).

Las tierras ocupadas por las haciendas habían pertenecido a los campesinos mayas así que el despojo y las injustas y crueles relaciones de trabajo existentes en las haciendas, y otras circunstancias más, originaron el levantamiento armado de los mayas, en el conflicto conocido como la Guerra de Castas, misma que inició en 1847 y terminó a principios del siglo XX. Este conflicto alcanzó toda la zona que actualmente ocupa el estado de Yucatán, así como algunas partes de Campeche y Quintana Roo, parte de este último estado fue

utilizado por los mayas sublevados como base de operaciones desde donde lanzaban sus ataques contra la población blanca. La región sur de Yucatán, al encontrarse en los límites del territorio ocupado por los mayas alzados en armas, fue particularmente testigo de numerosos enfrentamientos: toma de pueblos y poblaciones y matanzas, tal como lo menciona Reed (1981), además de que la actividad azucarera de la zona desapareció durante los primeros años de la lucha armada.

Al término de la guerra de Castas, las ideas provenientes de la Revolución Mexicana tuvieron eco en Yucatán por lo que los peones de las haciendas fueron liberados en 1915 por mandato de Salvador Alvarado al mismo tiempo las tierras, en posesión de las haciendas, fueron repartidas entre los campesinos liberados en calidad de ejido (Reed, 1981: 253-560); posteriormente, la actividad económica en el sur de Yucatán giro hacia la explotación del chicle y de la madera. Por lo cual la región fue consolidándose económicamente alrededor de Oxkutzcab, pues este comenzó a fungir como eje económico de los municipios vecinos debido a la importancia que adquirió su mercado.

Las políticas económicas en Yucatán a mediados del siglo XX fueron encaminadas a sustituir la producción de henequén con la llamada diversificación agrícola, que consistía en impulsar la horticultura de tipo comercial (Echeverría, 2005: 112), con lo que la región comenzó a especializarse en cultivos de cítricos, especialmente naranja y limón, para ello se llevo a cabo la implantación del Plan Chac, que dotó de infraestructura de riego a algunas comunidades del sur de Yucatán. Actualmente, el mercado de Oxkutzcab está consolidado y su central de abastos recibe producciones de toda la región sur de Yucatán e incluso de otros estados. Producciones que a su vez son canalizadas en gran parte hacia la zona turística de la Riviera Maya con lo que su importancia, desde un punto de vista turístico, ha ido incrementándose debido a las ruinas de ciudades mayas que se encuentran en la zona y a los conventos coloniales existentes.

Geología o sustrato geológico

La península de Yucatán se formó por sedimentación calcárea. Se encontraba cubierta por mares someros durante el Cretácico lo cual dio origen a las calizas, a las dolomitas y a los yesos. Durante el Eoceno comenzó a emerger algunos centímetros cada siglo, con lo que determinó la geología actual, ello constituye una plataforma tectónicamente estable a pesar de las placas y fallas de la era Cenozoica, adquiriendo una forma de relieve llana o plana

con escasa elevación y una ligera inclinación general de sus pendientes que disminuye en dirección sur - norte y leves rasgos topográficos.

“La península de Yucatán está cubierta casi completamente por sedimentos calcáreos marinos. Estos sedimentos tienen un espesor máximo de aproximadamente 1.000m” (Villasuso y Méndez, 2000: 120).

Durante este mismo periodo (Eoceno ca. 52 a 36 millones de años) se presentó un proceso orogénico en el sur de Yucatán que plegó los recién formados estratos de calizas y produjo un relieve ondulado. A finales del Oligoceno este relieve fue sometido a una fuerte erosión, en los materiales dolomíticos del Cretácico.

Durante el Mioceno y el Pleistoceno se originó un sistema de fracturas con orientación NW-SE a lo largo de la sierrita de Ticul, lo que llega a formar la sub-provincia hoy llamada carso y lomeríos de Campeche, que es una plataforma rocosa, donde la parte más elevada se encuentra al sur, zona que hoy es denominada cordón Puuc (INEGI, 2002).

La caliza del Eoceno y Mioceno – Pleistoceno está enormemente fracturada, permitiendo el almacenamiento y el flujo del agua subterránea entre los espacios abiertos y la estructura de la roca (Villasuso y Méndez, 2000:123).

Clima

El estado de Yucatán queda situado dentro de la zona intertropical, próxima al Trópico de Cáncer. Es influenciado por varios agentes como son la circulación de corrientes marítimas y la distancia entre un lugar y la costa; esto combinado con la temperatura contrastante de la zona y la dirección del viento dominante determina las condiciones del clima o el cambio que existe en la precipitación pluvial lo que a su vez da una sucesión vegetal, encontrando selva tropical al sur; así como vegetación arbustiva a causa de disturbios y vegetación arbustiva en el norte de Yucatán. La idea que se ha difundido acerca del clima que distingue a las regiones tropicales se asocia, por lo regular, con la presencia de altas temperaturas a lo largo del año y copiosas lluvias, cuando menos durante la estación veraniega. Si bien esta idea es cierta en lo general, no lo es en el hecho de que las peculiaridades geomorfológicas de cada lugar son elementos que influyen significativamente el comportamiento de los fenómenos atmosféricos. Tal es el caso de la llamada sierrita de Ticul que se destaca sobre

la planicie yucateca en dirección sur, que si bien no es una elevación prominente puede modificar la precipitación pluvial de la zona.

Así, una de las características climáticas generales del estado es la disminución de la precipitación del sureste hacia el noroeste y la variabilidad pluvial en el mismo sentido, la cual deriva de su posición geográfica, del micro relieve y por la entrada de huracanes y tormentas tropicales.

Hacia estas latitudes encontramos dos corrientes aéreas: la corriente tropical, formada por masas calientes y húmedas procedentes del Caribe y del Atlántico Norte, y la del noreste, formada por masas aéreas de distintos tipos que en general son calientes y secas en canícula y frías y relativamente húmedas en invierno¹ (estas últimas son las que producen los “nortes”).

Es normal que en regiones, como el sur de Yucatán, que se encuentran situadas en la divisoria de dos corrientes, causadas por la trayectoria de altas y bajas presiones, se presenten fluctuaciones en las precipitaciones pluviales que algunas veces son excesivas y otras tantas deficientes causando crisis periódicas, como los huracanes o las sequías respectivamente.

Finalmente, otra particularidad que tiene esta zona es la incidencia de huracanes del Caribe. Si bien sabemos, la influencia que ejerce el aumento de la fricción sobre la velocidad y los vientos al paso de estos meteoros del mar a la tierra no es suficiente para aminorar los efectos que estos causan en el estado climático, ya que dependen del abastecimiento de aire caliente-húmedo procedente del mar y otras condiciones de capas aéreas superiores. El hecho de que el estado de Yucatán sea atravesado, casi cada año, por uno o más huracanes, con diversas trayectorias, acentúa las variaciones en los aspectos y sucesos económicos, y especialmente en los agrícolas.

Debido a su posición intertropical a la región sur le corresponde un régimen de radiación solar muy uniforme a lo largo del año, por lo que no se tiene una diferencia térmica que distinga las estaciones. Sin embargo, en el transcurso del día la intensidad de la radiación es considerablemente variable con respecto a la altura del sol sobre el horizonte, que al medio día se encuentra muy cerca del cenit.

¹ Contreras, 1958.

La consecuencia de este régimen solar es que la temperatura media diaria tiende a ser sensiblemente igual en todo el año en donde las variaciones se producen por la nubosidad, la lluvia o el viento. Pero dentro de las 24 horas del día la variación tiende a ser acentuada, dependiendo de cada localidad, por la humedad atmosférica y por las brisas terrestres mientras que en las altitudes de la región sur el viento proviene del SE y su velocidad y dirección son uniformes (Contreras, 1958: 102).

Los mayores enfriamientos se registran cuando se presentan los “nortes”²; sin embargo, estos llegan modificados después del paso por el golfo de México; cuando se despeja después de las lloviznas que lo acompañan, el aire es de gran transparencia y el enfriamiento nocturno por irradiación si bien no llega a producir heladas sí produce, en las capas atmosféricas, inferiores temperaturas menores a 10°C.

El régimen de vientos es simple, ya que queda situada dentro de la zona de alisios, y el micro relieve existente no llega a modificarlos. La zona sur y todo el estado están sometidos al régimen de los vientos alisios, con vientos casi exclusivamente de componente oriental y moderado en sus velocidades, pero al mismo tiempo con la zona ciclónica tropical del Caribe, por lo cual es susceptible a los huracanes³.

Para caracterizar el régimen térmico de la región sur de Yucatán se tomarán en cuenta los siguientes aspectos:

- Temperaturas medias anuales
- La oscilación
- La temperatura máxima y mínima
- Y la marcha anual de la temperatura máxima y mínima.

De las temperaturas medias anuales se destacaran algunos aspectos que permiten caracterizar el régimen térmico y mostrar sus variaciones:

² Los “nortes” son, vientos del noreste producidos por las masas de aire frío que se desplazan en invierno desde Canadá y Estados Unidos hacia el sur.

³ La palabra *huracán* es la apropiación, dentro de algunos de los idiomas modernos, de un término ancestral que designaba a una deidad del panteón prehispánico. En idioma *quiché* (una variante del *maya*) *huracán* deriva de dos términos: **Jura**, que significa Uno y **Kan**, que significa Pierna. Es decir, (el de) una sola pierna, (el de) un solo pie, designando con esto la característica más evidente de una de las más importantes deidades del área caribeña: el dios Huracán (Cuevas 2005:39)

La temperatura media anual de la región sur, promedio de 9 estaciones, es de 25.9° C. La temperatura media anual fluctúa en registros de 25°C el mínimo, como sucede en Nohalal, y valores máximos de 26.5°C, en Peto, lo que muestra que el régimen térmico es parcialmente uniforme en toda la región, ya que la mayor variación es de 1.5°C. (Cuadro1)

Cuadro 1

Temperatura Media Anual			
Estación	Temperatura media anual	Estación	Temperatura media anual
Oxkutzcab	26°C	Ingenio Catmis, Tzucacab	26.1°C
San Diego Buena vista, Tekax	25.6°C	Nohalal, Tekax	25°C
Tekax unidad	26.2°C	Peto	26.5°C
Xul, Oxkutzcab	26.3°C	Tzucacab	25.5°C
Becanchen, Tekax	26.1°C		

Fuente: estaciones meteorológicas en la región sur de Yucatán, datos proporcionados por CONAGUA

Por lo que se observa del valor mensual más elevado. La variación de las temperaturas medias a lo largo del año alcanza en promedio 29.1°C y la época más caliente del año comprende los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto. De entre los cuales destaca Mayo por ser el mes en que la mayoría de las estaciones registran su temperatura más alta.

En lo que se refiere a la temperatura media mensual más baja se observa que alcanza un valor promedio de 21.9°C; advirtiendo que la época más fresca del año, o menos caliente, abarca los meses de Diciembre, Enero y Febrero, siendo enero el mes en que todas las estaciones registran su temperatura mínima.

Relacionando la temperatura del mes más caliente y la del mes más fresco, se observa que la oscilación en promedio es de 5.5°C; sin embargo, el valor varía de un lugar a otro, correspondiendo a condiciones isotermas con poca oscilación de acuerdo con las modificaciones de García (1981) al sistema de Köppen.

La variación de la temperatura media anual de una localidad permite establecer, a manera de ensayo, una primera diferenciación territorial en la que se aprecia que la porción Oeste de la región es más calurosa que la porción Este. Contreras (1958) atribuye esta

diferencia de temperaturas a un centro de mayor temperatura situado en el área donde se localiza Oxkutzcab, lo que se explica como un efecto de continentalidad.

Con base en los datos analizados de las temperaturas medias mensuales y su comportamiento, se puede tener un entendimiento fácil de la gama de plantas cultivadas en donde dominan especies tropicales y subtropicales lo que hace evidente que la estacionalidad térmica no es suficiente para definir un cambio en el patrón de cultivos aunque sí puede afectar su distribución (ver mapa 3).

El régimen de precipitación considera algunos aspectos principales como son: la cantidad de lluvia, los valores máximos y mínimos mensuales.

Uno de los rasgos más importantes del régimen pluvial es la marcada variabilidad en la cantidad de lluvia que se recibe en el transcurso del año. La cantidad de precipitación en promedio de todas las estaciones en la región es de 1075.39mm; la precipitación anual varía con una cantidad de precipitación mínima que se registra en Nohalal con 800.1mm y una máxima en Xul con 1408.3mm por lo que se advierten diversas condiciones de humedad entre las cuales hay una diferencia de 608.2mm. (Cuadro 2)

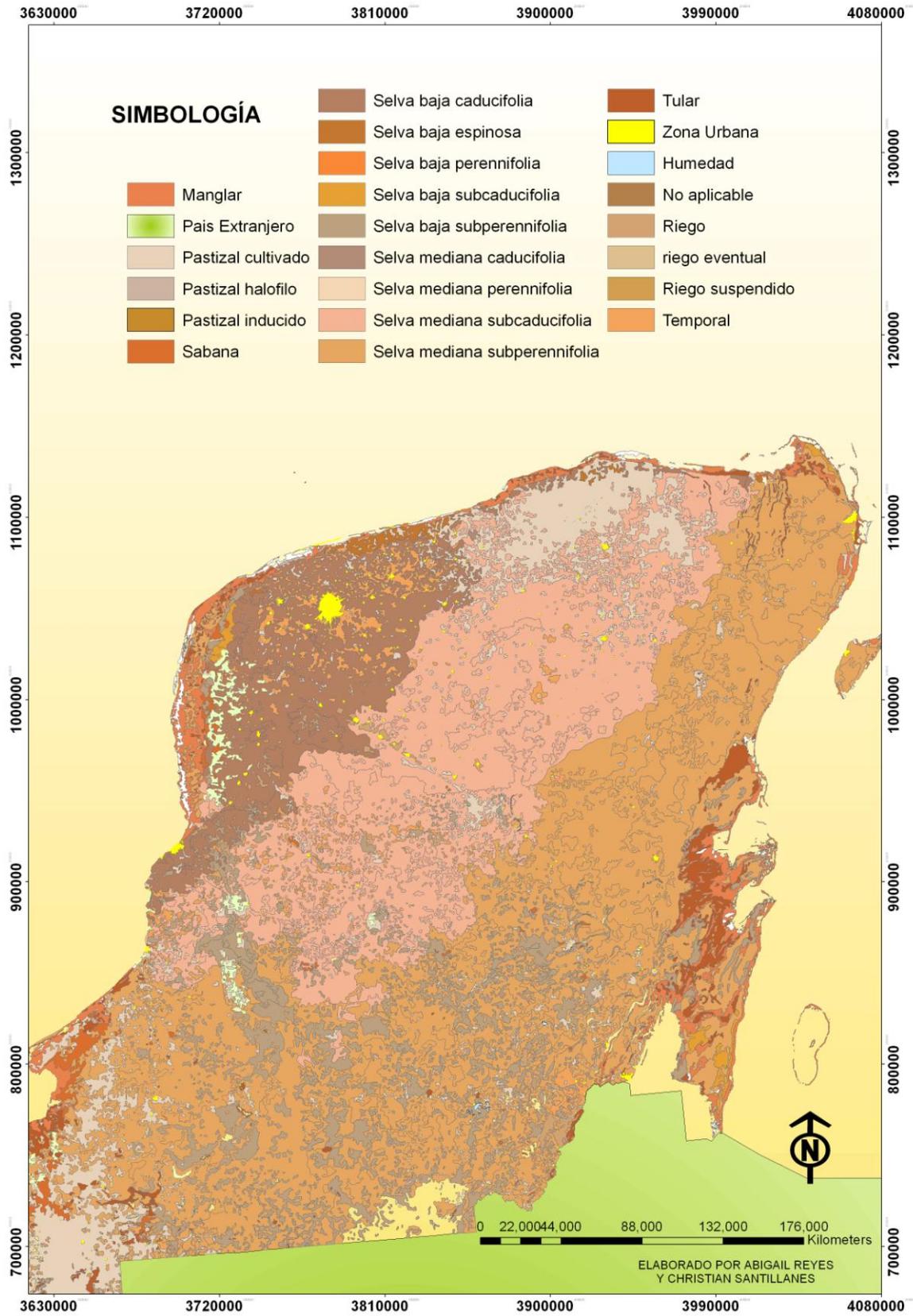
Cuadro 2

Precipitación anual promedio			
Estación	Precipitación	Estación	Precipitación
Oxkutzcab	1166.3mm	Ingenio Catmis, Tzucacab	1056.5mm
San Diego Buena vista, Tekax	901.7mm	Nohalal, Tekax	800.1mm
Tekax unidad	1206.9mm	Peto	1076.3mm
Xul, Oxkutzcab	1408mm	Tzucacab	1074.9mm
Becanchen, Tekax	987.5mm		

Fuente: estaciones meteorológicas en el sur de Yucatán
Datos proporcionados por CONAGUA

La variación espacial del régimen de lluvias se modifica sensiblemente debido a la presencia de la sierrita de Ticul que de alguna manera afecta la trayectoria anual de la circulación atmosférica pese a su reducida altura sobre el nivel del mar. Así, se aprecia que en el extremo sur de la sierrita de Ticul se manifiesta un ligero descenso en la precipitación; diferenciándose de esta manera una pequeña porción territorial que recibe menos de 1000mm al año, entre San Diego Buena Vista, Becanchen y Nohalal. (Cuadro 2)

VEGETACIÓN DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN



Mapa 3

Según Duch (1988), la lluvia que aparece en la región sur y que se prolonga hasta Campeche debe su origen, seguramente, a los declives oriental y norte de las formaciones cerriles y pequeñas sierras que caracterizan esta región las cuales funcionan como pequeñas barreras que no permiten la libre circulación atmosférica.

Se ha dicho que hay una variabilidad notable a lo largo del año; sin embargo, la observación de la información indica que existe una época de lluvias regulares que se inicia en el mes de mayo. De igual manera pero en sentido inverso se aprecia que dicha época se termina en octubre. Por otra parte hacia el final de la época, principalmente en septiembre, la presencia de las perturbaciones atmosféricas de amplio alcance como son las tormentas tropicales y los huracanes que se desarrollan en el mar Caribe contribuyen de manera notable a incrementar la cantidad de precipitación pluvial.

En esta época es cuando la precipitación alcanza sus máximas intensidades. En este sentido es posible que las lluvias de mayor intensidad, durante la época de temporal, causen daños directos sobre las plantas o la capa superficial del suelo en terrenos hortícolas o milperos en donde predominan los cultivos anuales. El poco espesor que caracteriza los suelos de esta región y la relativamente alta infiltración, en algunas zonas, a través de fisuras y fracturas, como sucede en La Sierrita de Ticul, permiten que la mayor parte de la precipitación se distribuya en los estratos rocosos sub- superficiales y se conecte con el sistema hidrológico subterráneo; sin embargo, en las zonas donde el suelo es un poco más espeso el agua tiende a acumularse e inundar grandes áreas de la región, como sucede en San Isidro Yaxche en donde cada año en época de lluvia el agua llega a un nivel promedio de 30cm⁴.

Durante la época de nortes y de sequías, que comprende de noviembre a febrero y de marzo a abril respectivamente, la precipitación desciende notablemente. Así en la época de nortes la precipitación se presenta indistintamente en el día o en la noche, y es persistente en un periodo de 3 a 5 días. Aún cuando su intensidad sea variable en la época de sequías (marzo- abril) se diferencia de la de nortes no por la cantidad de lluvia recibida, la cual puede ser igual o incluso mayor. Durante estos meses pero principalmente en abril, es posible que se presenten lluvias aisladas aunque en ocasiones pueden ser muy intensas y seguidas de granizo, como lo fue en abril del 2008, trayendo como consecuencia la pérdida del cultivo de sandía en las comunidades de Tigre Grande y El Escondido en Tzucacab.

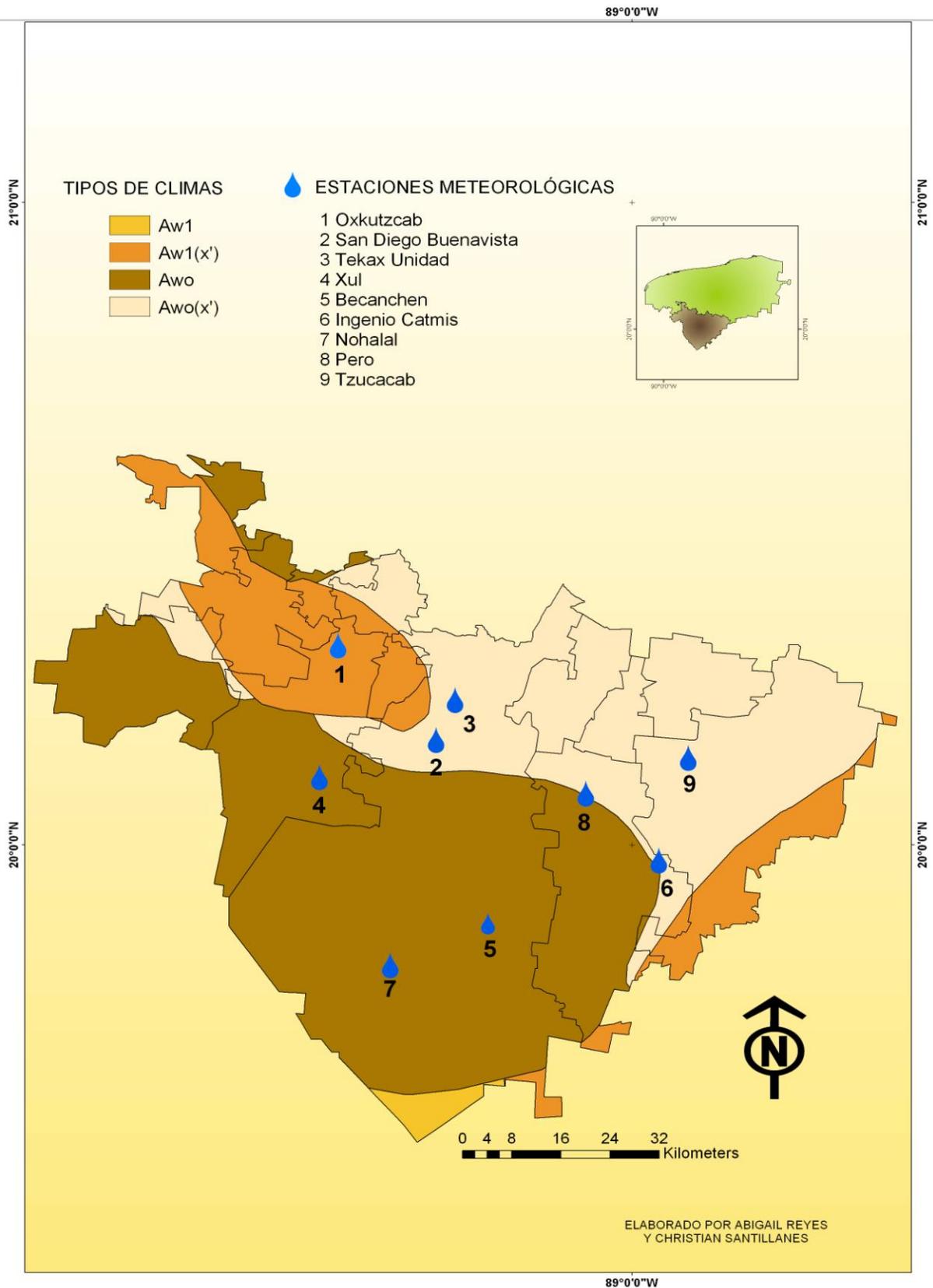
⁴ Información proporcionada por los habitantes de la comunidad.

Podría considerarse a esta época de transición entre la de nortes y la de lluvias regulares debido a sus características que indican que estas lluvias también son de tipo convectivo.

El principal clima presente en la región es cálido sub húmedo con régimen de lluvia en verano y lluvias uniformemente repartidas pero poco abundantes [Aw (x´)], según la clasificación de García (1981). Aunque no se cumpla el requisito del porcentaje de precipitación invernal (que debería ser más de 10.2mm) puede decirse que el clima Aw(x´) que aparece en el sur de Yucatán se caracteriza no tanto por su porcentaje de lluvia invernal si no por el monto anual de precipitación que se encuentra repartida más equitativamente en todo el año; todo ello sin dejar de ser dominante la época veraniega.

Este clima también está representando por un sub-clima que se distingue por su mayor grado de humedad. Este sub tipo es Aw1 (x´) el cual difiere sensiblemente por su precipitación anual la cual sobrepasa los 1100mm y por su temperatura media anual que apenas rebasa los 26.0 C. Finalmente, cabe señalar que como sucede en toda la entidad, el fenómeno canicular también se manifiesta de manera irregular y el porcentaje de lluvia invernal es mayor a 10.2 mm sobre todo en las localidades más orientales. Así, la nomenclatura de este sub tipo sería Aw1 (x´) (i´)g, lo cual significa poca oscilación térmica en el año y marcha anual de la temperatura tipo Ganges según el sistema de clasificación climática de Enriqueta García.

CLIMAS DE LA REGIÓN SUR DE YUCATÁN



Mapa 4

Rasgos fisiográficos

De acuerdo con la mezcla de componentes y atributos naturales, que caracterizan a un territorio en su conjunto, se muestra una morfología particular de dicho territorio, y toda variación espacial que muestren estos componentes y atributos conllevan a una diferenciación territorial en términos de relieve.

La región estudiada ha sido esculpida a partir de una plataforma calcárea estable que pareciera un área llana; sin embargo, encontramos un mayor contraste morfológico. En ella se ha desarrollado un relieve de lomeríos suaves con alturas máximas de 150msnm a 110msnm⁵, como lo es la sierrita de Ticul la cual es producto de movimientos en la corteza terrestre que produjo ligeros plegamientos de las capas horizontales de las calizas y los efectos de erosión de las rocas carbonatadas, planicies interiores provistas de suelos aluviales y planicies pequeñas, producto de la acumulación de arcillas en las depresiones. Salta a la vista la acción transformadora del agua sobre las calizas, en el suave trazo y bordes redondeados que muestran estas formaciones dómicas, como la sierrita de Ticul, localizada en el norte de la región sur, y los cerros y colinas localizadas en el extremo sur de la región sur (es decir, en el llamado Cono Sur).

Las calizas que aquí se presentan están constituidas por estratos compactos que consisten en espesos mantos de material calizo granuloso mal cementado de color blanquecino el cual se conoce con el nombre maya de *sabkab* (pronunciado ordinariamente como sascab). Debido a la fácil disolución de las calizas por agua los escurrimientos superficiales en forma de ríos permanentes son inexistentes. Sin embargo, encontramos pequeños escurrimientos superficiales que sólo llevan agua en la época de lluvias y se vierten en terrenos bajos formando micro cuencas de sedimentación más o menos cerradas que pueden inundarse periódicamente y así desarrollar las formaciones conocidas localmente como aguadas⁶.

Podemos observar como primer rasgo distintivo la sierrita de Ticul; Robles Ramos (1958) afirma que en algunas partes como el sur de Oxkutzcab la sierrita de Ticul es un escalón entre la planicie de Yucatán y la de Campeche. La cual tiene mayor elevación hacia

⁵ Según datos tomados en campo con ayuda de GPS, al recorrer la carretera Tekax - Benito Juárez en Oxkutzcab.

⁶ El término de aguadas se utiliza para nombrar cuerpos de agua, estas pueden ser naturales o haber sido creadas por los antiguos mayas (más adelante se explicara a mayor detalle este concepto).

el lado de Campeche⁷. En general, el relieve a partir de la sierrita de Ticul hacia el sur está formado por depresiones y terrenos cerriles, siendo estos parte del paisaje cárstico, y en sentido noroeste sureste existen diferencias altitudinales menos marcadas por consecuencia de ascensos del terreno en la parte oriental del estado; estas variaciones se pueden ver mejor representadas en los perfiles esquemáticos.

Así entre el extremo noroeste de estos declives (Maxcanú: 30m) y el sur oriental (Tzucacab: 35m), se extiende la línea que separa las tierras bajas del norte, centro, oriente y occidente de las formaciones de la porción sur. Para fines de la investigación se establecieron algunos transectos para tener una mejor visión de las diferencias más significativas del relieve.

La región sur tiene un marcado cambio en las condiciones de relieve. Primero con la mayor altitud e inclinación con que se manifiesta la pendiente del terreno y en segundo lugar por la presencia de formaciones cerriles y grandes planadas y por el marcado contraste que presenta los desniveles topográficos del terreno.

La inclinación del relieve hacia el suroeste de la sierrita de Ticul es tan pequeña que unida al suave relieve hace que ésta parezca una extensa planicie cuando se mira de cierta distancia. Ver foto 1. A partir de la sierrita de Ticul los cambios altitudinales son más marcados levantándose en el terreno en una relación de 1m/km.



Fotografía de Christian Santillanes

⁷ Robles, 1958: 1654.

En la línea Becanchen-Hopelchen–Campeche, según Miranda (1958), el terreno se va elevando hasta el borde de la sierrita de Ticul, que constituye un declive relativamente brusco pero escalonado hacia las planicies de Yucatán. El borde superior del declive tiene una altitud que oscila de 100 a 170 metros; la sierra tiene una forma de V con el vértice dirigido hacia el N y situado un poco al W de Muna; la rama de la V dirigida al SSW va perdiendo altura hasta terminar en la costa SW de Campeche; la rama dirigida al SE es la propiamente llamada Sierrita de Ticul y parece dividirse al SE de Xul en dos ramas. La más meridional cada vez más baja va a perderse a Quintana Roo rodeándolo casi por el sur y el E de la laguna de Chichankanab.

En la línea Oxkutzcab –Xul –Huntochác, se observa que el terreno comienza a elevarse rápidamente hasta alcanzar los 1120 msnm en un tramo aproximado de 40 km. Entre Salvador Alvarado y Benito Juárez el terreno se mantiene en esta misma cota, aunque se destaca la presencia de cerros que llegan a los 107msnm. A partir de aquí el terreno empieza a bajar hacia Huntochác hasta la cota de 75m al oriente; poco antes de la línea Becanchen-Nohalal se extiende una zona de condiciones sabanoides y bajos inundables⁸, que se prolonga hacia el estado de Quintana Roo. Sin embargo, al sur de Huntochác se inicia un suave ascenso hacia Iturbide, ya en territorios de Campeche.

En la línea Tekax – Noh Kacab – Huntochác los terrenos planos son Kan–cabales, sin problemas serios de drenaje. No así en el oriente de esta línea en la que una de las características distintivas es la presencia de extensas sabanas y *ak'alché*s o extensas planadas con drenaje limitado o nulo, como son las tierras de Tzucacab, Catmís, Becanchén y Nohalal.

Miranda (1958) hace una regionalización de la península tomando en cuenta los rasgos físicos; en este sentido la región sur de Yucatán se ubica dentro de lo que él llama bajos o tintales, conocidos también en maya como *ak'alché*, estos son terrenos casi planos y muy extensos delimitados por otros más altos. Debido a su situación, el agua de lluvia y la procedente de sitios más altos se acumulan en estos terrenos a causa de la alta permeabilidad que forma su fondo. Las aguas acumuladas pueden permanecer durante el curso del año con una lámina de agua, a un nivel de hasta 4 mts. por periodos que van de 6 a 8 meses y que disminuye su nivel a lo largo de los meses.

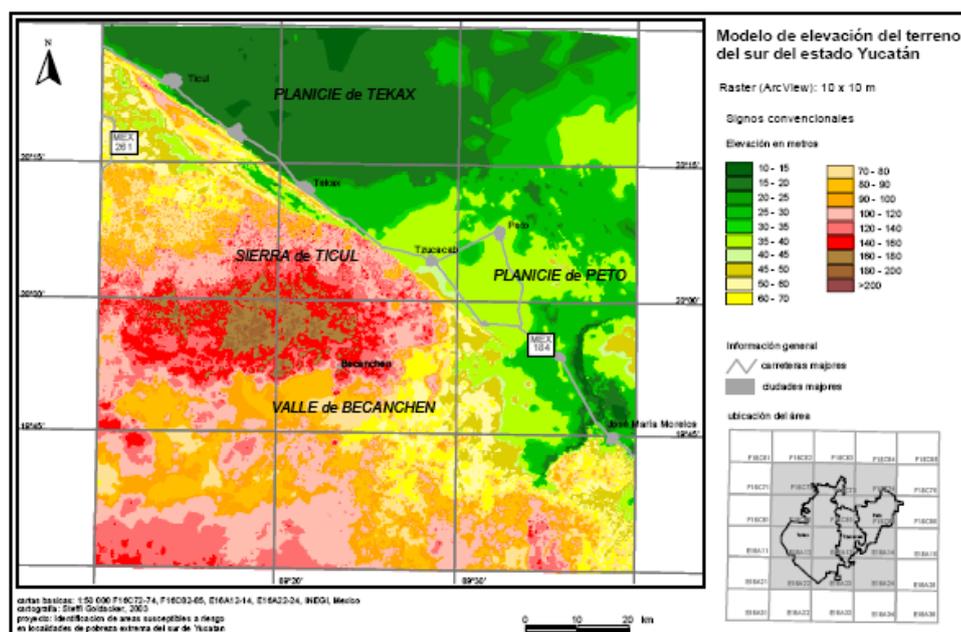
⁸ Esta zona (solo abarca el estado de Yucatán) es aprovechada para el cultivo de diferentes productos, por una empresa estadounidense llamada los Valles del Sur, todo producto que de esta zona se obtiene es exportado a Estados Unidos y Canadá.

Duch (1988:106) coincide con Miranda (1958) al afirmar que los bajos inundables, como él los llama, son extensas planadas si se les ve en la lejanía, pero que en realidad son depresiones amplias con pendientes muy extendidas de la periferia hacia el centro.

Según Cooke (citado por Lundell en Miranda, 1958) los bajos han pasado por una etapa de lago somero y se ha ido rellenando con sedimentos procedentes de los terrenos más altos que los rodean hasta que su fondo en las épocas seca quedo más alto que el nivel del agua subterránea más superficial; estos bajos generalmente han sido desmontados para una agricultura de humedad. Podemos encontrar muchas fases de transición, es decir, lugares en los que todavía se pueden ver lagunas de pequeña extensión llamadas aguadas.

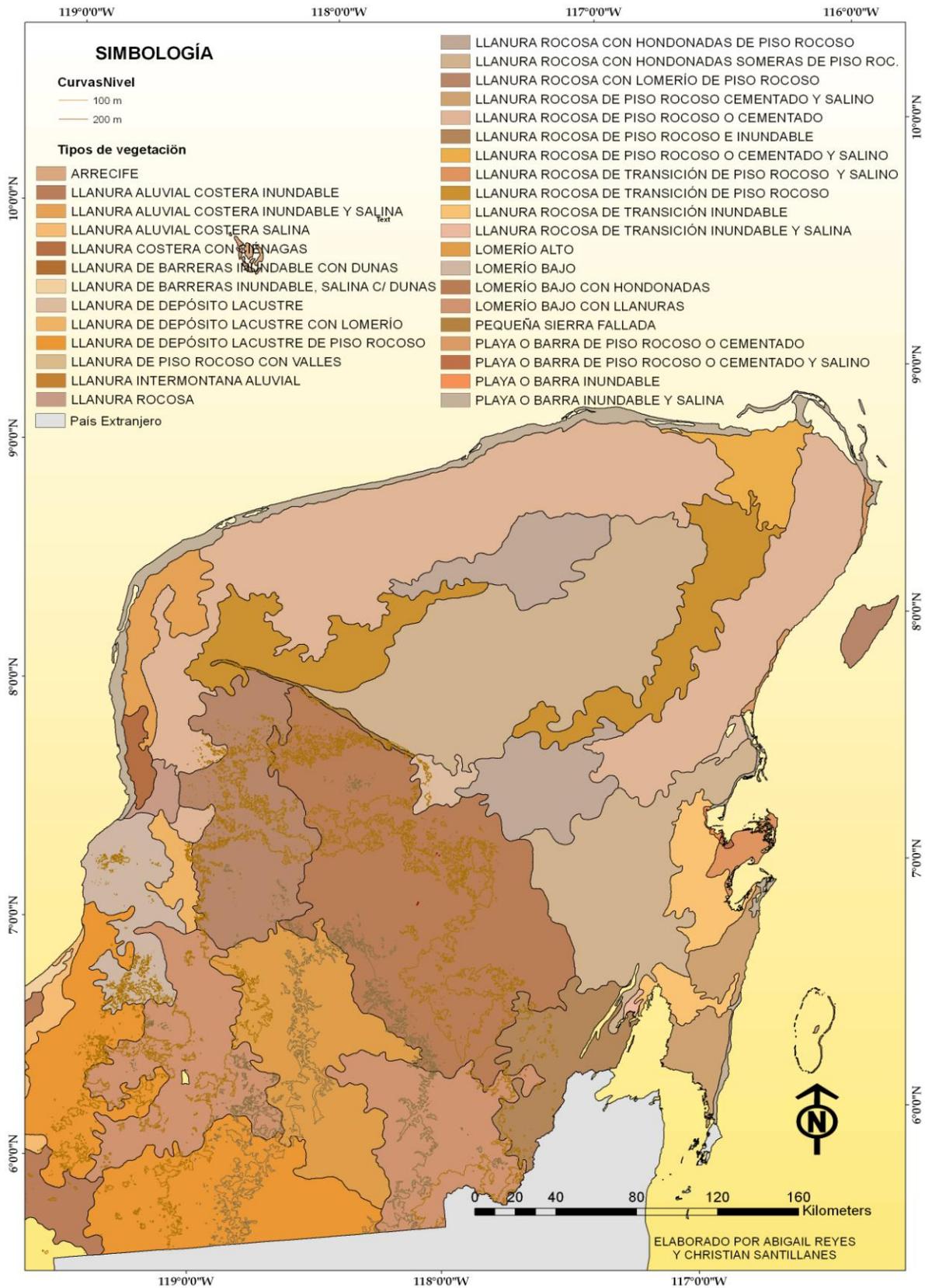
Según la sub división que el mismo autor hace, la región se encuentra también en los macizos de Campeche y Zonas anexas, particularmente en la Meseta baja del Norte de Campeche y Alturas de la Sierrita. Está sub región está constituida principalmente por calizas amarillentas y rojizas en la Sierrita. El relieve está formado principalmente por ondulaciones y cerritos aplanados, de declives suaves, entre los que se encuentran zonas bajas y planas extensas.

La región sur de Yucatán abarca otra sub región llamada planicie del Caribe y Noreste, en la zona de bajos y suelos someros, esta región abarca el sureste del estado de Yucatán. En la zona de Tzucacab y el este de Tizimín se encuentran los terrenos bajos relativamente extensos de suelos negruscos, pero someros, que por su aspecto parecen intermedios entre rendzinas y gley.



Fuente Kauffer 2004

Topoformas de la Península de Yucatán



Mapa 5

Suelos ⁹

*“Han de saber que la tierra roja del Mayab se llama “K’ancab”,
que significa tierra sazón, tierra ya madura, tierra ya cocida...
Tal vez quien cuece la tierra sea “Yun Kin”, que la calienta tanto,
tanto, que en ciertas horas quema los pies descalzos del niño maya”
(Llanes1983:10).*

En el sur de Yucatán están presentes varios tipos de suelos como los Litosoles, Rendzinas, Gleysoles, Cambisoles, Luvisoles y Vertisoles; en cuanto a sus características es evidente que la variación edáfica es menor debido a que diferentes tipos de suelo comparten características y propiedades comunes, como es el caso de la textura arcillosa y el reducido espesor (Duch, 1988:125).

En términos de extensión superficial, la diversidad edáfica también se muestra limitada debido a que existe una amplia predominancia de Litosoles, Rendzinas, vertisoles en los *ak’alches’* y Cambisoles por sobre los restantes que dan la caracterización de la zona.

La región sur, desde el punto edáfico, se distingue por la dominancia de suelos someros a poco profundos que van del rojo al negro pasando por tonalidades de café, y textura de migajón arcilloso en el estrato más superficial. Estos suelos (Litosoles, Rendzinas y Cambisoles) tienen un comportamiento que no corresponde a sus características debido a dos situaciones: la primera es que en ellos crece toda clase de especies y variedades vegetales adaptadas ecológicamente, como la agricultura milpera con su inagotable variedad de especies cultivadas como son maíz, frijoles, calabazas chiles, etc., y la segunda con relación a la incorporación de los suelos a programas de mecanización y riego por gravedad, es evidente que sus características no son las idóneas pero han dado resultados satisfactorios.

Según Aguilar (1958) los suelos de rendzina se encuentran en las elevaciones y laderas de pendiente no muy pronunciada. Estos suelos son poco profundos y existe material calcáreo; estas partículas son porosas y generalmente poseen buena permeabilidad mientras que las rocas al meteorizarse liberan arcillas que se mezclan con los otros minerales que forman rocas margosas originando los diferentes suelos.

⁹ En esta investigación se usan términos conocidos internacionalmente, así como términos en maya cuyas raíces explican algunas características del suelo.

Durante temporadas de aguas se produce arrastre de suelos por acción de la lluvia que crea corrientales; el viento y las perturbaciones ciclónicas también favorecen la erosión aluvial y coluvial mientras que el suelo se va depositando en las partes más bajas haciéndose cada vez más grueso en hondonadas. En zonas donde hay suelos de color negro más o menos profundo, generalmente, prospera mejor la vegetación.

En las partes bajas el suelo es más grueso pero existen problemas en su manejo debido al drenaje deficiente y a la forma de escurrimientos como en los suelos de sabana, *ak'alche'* y gley.

Todo el material de formación más los suelos de ladera caen en las hondonadas acarreados por agua y viento; su color rojo se debe a la lixiviación con la pérdida de material orgánico acumulándose óxidos e hidróxidos de hierro.

El factor topográfico para la formación de los suelos es muy importante, ya que la región está formada por pequeñas elevaciones y una serie de hondonadas con un desnivel de 30m. También son notables las planicies donde se observan suelos poco más profundos, esto como resultado de los arrastres en las partes altas de la Sierrita de Ticul.

Debido a este relieve los suelos presentan relaciones de humedad muy particulares. Si hay una mayor acumulación de agua en las partes bajas se originan los suelos de *ak'alche'*. Las aguadas y los suelos de gley que se caracterizan por tener mal drenaje —la acumulación de agua en esta zona resulta de las precipitaciones, humedad relativa y pequeños corrientales y la mala permeabilidad— terminan por dar la configuración de los suelos de hondonadas.

Los suelos de las partes más elevadas de las hondonadas generalmente son muy rocosos y no acumulan humedad debido a que el nivel freático es muy profundo y hay escurrimientos por las pendientes.

El sur de Yucatán posee predominantemente suelos de gley, *aguadas* y *ak'alche'* que pertenecen al sub orden hidromórfico y los de rendzina negra con los *k'akab'* mientras que los *tsek'el*, *ak'alche'* viejos y los de rendzina rojos así como los *k'ank'abales* pertenecen al sub orden calomórficos; estos suelos están condicionados por las propiedades hídricas condicionadas a su vez por el relieve y la roca basal.

Así tenemos suelos *chaltún* (litosólicos), *k'akab*, *tsek'el*, *k'ankab*, *ak'alche'*, sabana y aguadas¹⁰. Suelos que cuando son pobres en materia orgánica presentan color rojo; cuando poseen un mal drenaje el color es negro, gris o café amarillento mientras que el pH es ácido en los rojos y neutro en los negros. Todas estas características son originadas por el relieve y los suelos casi siempre presentan perfiles anormales.

Duch (1988) menciona en su trabajo que los suelos del sur son coluviales y aluviales formados por los depósitos de material de acarreo de las partes más altas de la ladera y elevaciones de la roca cárstica. Según el mismo autor, los análisis físico químicos indican que la caliza es muy escasa en minerales formadores del suelo, pero por las características topográficas de la zona es posible que la erosión natural pueda formar suelos poco más profundos que en la mayor parte del estado.

Los suelos de las partes altas y de laderas generalmente tienen buen drenaje y el agua de percolación favorece la acumulación de elementos nutritivos que encontramos en los suelos *tsek'el*.

Al pie de las laderas producto del intemperismo, los suelos son neutros y el drenaje es parcialmente impedido provocando mayor acumulación de arcilla. Aquí se localizan los suelos de *k'akab* y en las partes llanas encontramos suelos profundos de *k'ankab*; a la vez en las áreas más bajas están los suelos de *ak'alche'*, los de aguadas y los de sabanas que se caracterizan por tener materiales muy hidratados debido al mal drenaje.

Drenaje de los suelos

Debido a la configuración topográfica de la región que estamos estudiando podemos observar varias modalidades de drenaje en los suelos yucatecos.

Los suelos mal drenados o de acumulación son los *ak'alche'*, sabanas, de aguadas y gley. Suelos drenados imperfectamente en los primeros y con drenaje nulo en los últimos dos. Los *ak'alche'* y las sabanas presentan encharcamientos o estancamientos de agua más o menos de corta duración lo que hace que el suelo se encuentre en un estado de

¹⁰El concepto de "sabana" comúnmente se refiere a un tipo de vegetación, en este caso "sabana" engloba las características de suelo y vegetación que se presenta en un lugar determinado y ha sido nombrado de este modo por los habitantes de la región. Lo mismo pasa con el concepto de "aguada" que es utilizado algunas veces para nombrar lugares donde se acumula el agua y otras para nombrar el tipo de suelo que existe en las formaciones con el mismo nombre.

sobresaturación en época de lluvia, pero se secan fácilmente durante el periodo invernal de sequía.

En las aguadas y los suelos de gley generalmente los periodos de estancamiento de agua son más largos o permanentes. Estos suelos se identifican fácilmente por su topografía, color, materia orgánica y vegetación. Las aguadas generalmente son cóncavas y de pendiente variable; el suelo adquiere un color negruzco y opaco, la lámina de agua varía de unos cuantos centímetros hasta algunos metros tal como sucede en las aguadas de Tigre Grande, El Escondido, Blanca Flor y San Isidro Yaxché visitadas durante los trabajos de campo de agosto y diciembre del 2007 y mayo del 2008. Cuando el agua cubre el suelo es debido a la acumulación de material orgánico, limo y arcillas; en época de seca el suelo se cuarteas por resecamiento por lo que en los veranos intensos hace falta agua para un buen desarrollo vegetal que evite las cuarteaduras.

El mal drenaje en los suelos *ak'alche'*, que son los que realmente tienen uso agrícola, dificulta su uso debido a los encharcamientos pues la plasticidad que adquieren cuando están húmedos y las hendiduras que aparecen cuando están secos rompen algunas raíces de las plantas y favorecen la pérdida de agua en el subsuelo. Sin embargo cuando baja el nivel del agua se introduce arroz, caña de azúcar, maíz y hortalizas.



Suelos de Tigre Grande foto de Rubén Galicia

Como ya se señaló anteriormente, los suelos que observamos en el sur de Yucatán presentan coloraciones que van del rojo al negro y tienen diversas tonalidades de café; también aparecen en menor medida los suelos con coloración amarilla y gris. Los suelos con tendencia al café rojizo o rojo¹¹ son los que presentan condiciones de un drenado continuo mientras los que tienden al café amarillento como el que se presenta en las aguadas¹² y los grises, son suelos con drenaje limitado. Foto 2. El color negro se presenta comúnmente por el contenido de materia orgánica lo cual oculta el verdadero color.

¹¹ Estos suelos están presentes en las tierras de cultivo de toda la región.

¹² Este dato se confirmó en campo en las aguadas de Tigre Grande, El Escondido, Blanca Flor y San Isidro Yaxché

Estos suelos profundos, independientemente de su color, son por lo general arcillosos por lo que son duros cuando se encuentran secos y pegajosos cuando están húmedos. Por su profundidad generalmente mayor a 40 cm y por la ausencia de rocas son los más susceptibles a ser utilizados para la agricultura mecanizada, localmente se les denomina *Kancab* o *Ek-lu,um* cuando son arcillosos y de color rojo o café rojizo.

Los suelos característicos del Cono Sur (es decir, del extremo sur de la región sur de Yucatán) profundos, sin rocas y muy arcillosos pero de color gris o negro se conocen con el nombre maya de *ak'alche*. Estos suelos no son capaces de desalojar los excedentes de humedad a lo largo de las épocas de lluvias lo que limita su uso durante parte del año. Además cuando en la época de lluvias éstas son poco abundantes, o si se establece un sistema de drenaje, o bien como sucede durante la seca, este suelo presenta características propias de una sequía.

Clasificación de los suelos en el sur de Yucatán

México no cuenta con un sistema de clasificación de suelos por lo que se tuvo que tomar la clasificación hecha en otros países; así se adopta la propuesta por la FAO/UNESCO en 1968 y que fue modificada por CETENAL (actualmente INEGI) y es utilizada en la caracterización y cartografía de los suelos. Dicha clasificación fue modificada por última vez en 1999. Sin embargo, a nivel local (es decir en la región sur de Yucatán) se tiene una clasificación para los diferentes tipos de suelos misma que es conocida por gran parte de los habitantes y especialmente por los campesinos mayas. A continuación se muestra dicha clasificación.

Términos mayas para los suelos¹³

Nombre de suelos en maya	Descripción
<i>Chaltun</i>	Roca laja
<i>Tsek'el</i>	Roca calcárea con lámina de suelo
<i>Ek'lu'um</i>	Suelo húmifero sobre roca calcárea
<i>K'akab</i>	Suelo café o rojo oscuro con bajo contenido de humus con inclusiones de piedra caliza
<i>K'ankab</i>	Suelos profundos con color rojo claro
<i>Ak'alche'</i>	Suelo húmifero negro con retención de agua

¹³ La descripción en español se dio con base a sus características y raíces lingüísticas.

Los suelos de la zona sur de Yucatán pertenecen al grupo de rendzinas negras y rojas, que son suelos litogenéticos en los que las propiedades de la roca madre predominan sobre el clima de ahí que se clasifiquen en el orden inter zonal. Estos suelos son humus-carbonatados (*tsek'el, ek'lu'um, k'akab, k'ankab, ak'alche'*); las rendzinas rojas poseen menos cantidad de materia orgánica que las negras y son ricas en óxidos de hierro por lo que sirven como agentes cementantes. Estos suelos de rendzinas ricos en humus presentan generalmente una textura arcillosa franca; poseen buena aeración y poder de retención de agua, además de que el clima ejerce poca influencia, pues en los procesos de formación predominan los factores de roca madre y relieve.

Los suelos de gley tienen características especiales en esta zona que es condicionada por un nivel de agua y por la existencia de una capa impermeable que impide la percolación. Presenta también una capa superficial de color gris azulado rica en material orgánico y que posee bastante humedad y le sigue una capa de color amarillo pardo donde se encuentran sales de hierro mezcladas con caliza típica; estos suelos se presentan en las depresiones por lo que están condicionados por la topografía.

Los suelos de aguada se localizan en pequeñas y grandes depresiones y se encuentran continuamente inundados. Son ricos en materia orgánica y elementos nutritivos. Estos suelos dan origen a los *ak'alche'*.



Foto x suelos del sur de Yucatán
Fotografía de: Rubén Galicia

Tabla edafológica maya

Ubicación topográfica	Suelo	Descripción del suelo
Depresiones limitadas por pequeñas elevaciones	<i>Chench'e'en</i> <i>Che'en:hoya</i> , pozo, cueva con agua <i>Chan</i> : piedra menuda	Es un terreno que se compone de cerros pequeños de tierra y piedras que rodean unos llanos cortos formados a manera de ollas o pozos; la tierra es negra y como siempre se conserva húmeda, sin necesidad de mucha lluvia, produce muy bien el maíz, frijol y otras legumbres.
Llanura arqueológica sobre calizas	<i>K'akab</i> <i>Kakab</i> : asiento de pequeño pueblo <i>Kakab lu'umr</i> : tierra buena para sembrar	Con este nombre se designa generalmente aquellos lugares en que se encuentran escombros o ruinas; la tierra vegetal que en gran cantidad contiene sobre el lecho de piedra calcárea y abandonada con una parte de la caliza de las ruinas dan a esta clase de terrenos una gran fertilidad para el maíz, tabaco y legumbres; pero como la tierra es muy suelta y fina cuando la lluvia escasea suele perderse la cosecha
Llano colorado, sedimentos compactos	<i>K'ankab</i> <i>K'ankab</i> : tierra bermeja	Llaman así a algunos llanos de alguna extensión, cuya tierra es colorada, debiendo advertir que los indígenas distinguen una clase muy colorada de otra que tiene el color más bajo; ambas son estériles pero lo es mucho más la primera por ser muy dura y compacta.
Depresiones amplias con y sin drenaje	<i>Ak'alche'</i> <i>Ak'al</i> : laguna, ciénega, pantano, lodazal. Humedecerse <i>Ak'alche'</i> : ciénega o laguna entre monte de arboles	Se da este nombre a aquellos llanos o bajíos en que se van a depositar las aguas de las serranías en tiempo de lluvia, conservándose el agua por algún tiempo, aunque el terreno es llano pero la hojarasca y árboles que caen y se corrompen han formado en ellos unas prominencias o altillos de pura tierra vegetal sobre un lecho de barro mucho mejor para la caña dulce, y los plantíos duran muchos años y cuando el <i>ak'alche'</i> es muy anegadizo o pantanoso es mejor a los plantíos de arroz.
Declives del relieve	<i>K'ankabche'</i> <i>K'ankab</i> tierra bermeja <i>K'ankabche'</i> : llano de tierra con árboles buenos para milpa	Es el terreno compuesto de una tierra no muy colorada y que se encuentra en las faldas de las serranías; el agua que en tiempo de lluvias desciende de dichas serranías y pasa por aquel terreno, para buscar los bajíos o <i>ak'acalche'</i> , le deja a su paso una parte de tierra vegetal y calcárea que le sirve de abono.
Llanos con drenaje	<i>K'ankab-ak'alche'</i> <i>K'ankab</i> : tierra bermeja <i>Ak'alche'</i> : llano de tierra con árboles buenos para milpas	Es el terreno que como el anterior tiene una capa de tierra vegetal; este es el mejor terreno para caña dulce y tiene la ventaja de conservar por muchos años los plantíos sin fallos por no tener pantanos o fangos como el <i>ak'alche'</i> .

Fuente: Robles Ramos 1958.¹⁴

¹⁴ Solo se tomaron en cuenta los suelos que se consideran presentes en la zona de estudio, ya que las descripciones de los suelos no se asemejan en algunas características con las que presentan en dicha zona.

Clasificación de los suelos de INEGI (FAO/UNESCO)¹⁵

Según el sistema FAO/UNESCO, los Luvisoles, Nitosoles, Vertisoles y Gleysoles tienen diferencias morfológicas que se deben a las diferentes condiciones de humedad que tiene el suelo a través del año lo que depende del régimen climático y la posición relativa del suelo en el paisaje; por tanto presentan coloraciones que van del rojo al negro y tienen diversas tonalidades de café; también aparecen suelos amarillentos y grises. A continuación se describirán las características de los suelos según la clasificación de la FAO/UNESCO y que se encuentran presentes en el sur de Yucatán.

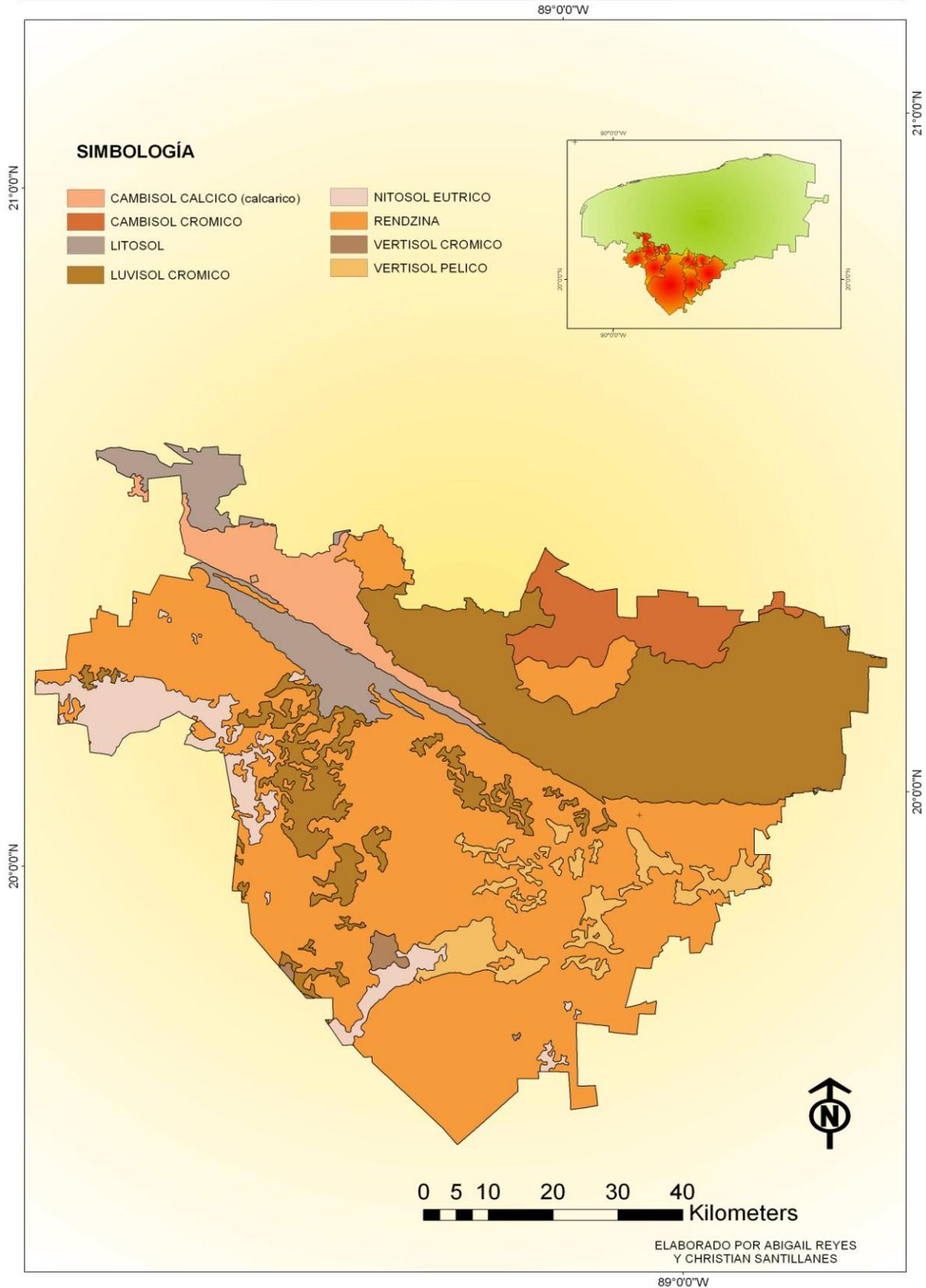
*Rendzina (E). Se presentan asociados con los Litosoles, someros con espesores menores de 30cm, con más de 40% de carbonato de calcio con un contenido de materia orgánica entre 6 y 15% y capacidad de intercambio catiónico de 20 a 45 meg/100g. Son suelos que presentan fase física lítica y tienen buen drenaje. Se localizan, asociados con Luvisol crómico y Vertisol crómico de textura fina, al sur junto a Campeche; con Litosol y Nitosol eútrico de textura fina al sur junto a Quintana Roo.

*Luvisol (L). Se presentan, en complejas asociaciones alternando con rendzinas y cambisoles, en el sur del cordón Puuc aparecen formando amplias planadas o kancabales. Tienen un contenido de materia orgánica de 5 a 6%. Son de textura fina con más de 40% de arcilla, y muestran buen drenaje. Se presentan al sur este de Tekax.

*Vertisol (V). Se encuentra en casi todo el sur de Yucatán en la periferia de bajos inundables que se localizan desde las cercanías de Maxcanú hasta Noh Halal y Santa Rosa, casi en los límites con Campeche y Quintana Roo. Presentan contenidos de arcillas superiores a 60%; sus espesores son de un metro o más y se mantienen libres de superficies rocosas. Estos suelos presentan un desarrollo estructural en forma de bloques bien definidos cuando están secos, pero que se torna masiva al humedecerse. Son pobres en materia orgánica, su contenido es menor a 3%. Presentan textura fina y se encuentra al sur de Peto.

¹⁵ Instituto nacional de estadística geografía e informática, 2002. "Tipos de suelo". En: *estudio hidrológico del estado de Yucatán*. Gobierno del estado de Yucatán, México

SUELOS EN LA REGIÓN SUR DE YUCATÁN



Mapa 6

Vegetación

Buena parte de la flora de la península de Yucatán parece haber derivado de las regiones limítrofes continentales, es decir, del Sur de México y del Noreste de Centro América. Así mismo la flora de la península constituye una unidad bien definida. Tenemos 2 especies restringidas: unas son las endémicas en Yucatán, principalmente abarcando un 71% (Standley, 1930 en Miranda, 1958), el otro grupo de especies las componen aquellas comunes en la región misma y la antillana que pareciera no tener relación terrestre en un periodo geológico pasado pero la relación puede ser explicada por la cercanía de Cuba, con la posibilidad de difusión de gérmenes o porciones de plantas. También es comprensible la difusión por medio del viento.

Los patrones que sigue la vegetación están determinados por dos grandes factores: la precipitación y el suelo. La cantidad de agua y el tipo de suelo en que se encuentre un conjunto vegetal determina el tamaño de la vegetación en su conjunto y la distribución de algunas especies. (Carnevali G., Ramírez I. y González J., 2003) A estos componentes Miranda (1958) agrega las zonas fisiográficas que también influyen en la distribución de la vegetación.

En la región sur de Yucatán podemos encontrar las siguientes agrupaciones:

Selva Baja Perennifolia (Inundable), Ak'alché. Esta vegetación se encuentra poco representada en la región sur de Yucatán restringiéndose a pequeños manchones. Miranda (1958) la denomina tinal por la dominancia del árbol llamado Palo Tinto (*Haematoxylon campechianum*) y la ubica sobre suelos de tipo *ak'alché*, según la clasificación maya, pues poseen gran cantidad de materia orgánica, ya que permanecen inundados durante la época de lluvias. Presentan pocas afloraciones rocosas; son oscuros y con drenaje muy lento. Se encuentran en varios tipos de clima, cálido húmedo, así como en hondonadas amplias, estas pueden ser redondeadas, alargadas o ramificadas.

El estrato arbóreo de esta selva está constituido por individuos con altura promedio de 7 metros, de los que un 50 % dejan caer sus hojas durante la época de seca.

Los árboles con mayor altura, área basal y frecuencia son: *Haematoxylon campechianum*, *Bucida buceras*, *Metopium brownei*, *Cameraria latifolia* y *Pachira acuática*.

Carece de un estrato herbáceo variado, posiblemente porque sus suelos están inundados la mayor parte del año, sin embargo, abundan gramíneas y ciperáceas.

Selva Mediana Subperennifolia con *Achras* (zapote) y *Thrinax parviflora* (chit). Abarca una pequeña porción de la región sur de Yucatán, principalmente en el punto Puuc. Esta selva se encuentra en el área que tiene la mayor precipitación pluvial con un promedio anual de 1,300 mm y una época muy definida sin lluvias de fines de Noviembre a principios de Mayo. Sin embargo, es importante hacer notar que durante la época seca la precipitación en promedio es de 191 mm lo cual contribuye a que esta comunidad se desarrolle.

Otro hecho importante para que abunde esta vegetación es el suelo calizo. Pennington y Sarukhán (2005) afirman que por tener una gran permeabilidad que sustituye al drenaje rápido de los suelos con pendientes los factores de clima y suelo se constituyen como las causas fundamentales de la característica subperennifolia, ya que el 25 % de los árboles se quedan sin hojas durante la época seca y tienen una altura media de 25 a 35 metros alcanzando alturas menores que las de la selva alta perennifolia (aún cuando se trata de las mismas especies, es posible que esto se deba al tipo de suelo y a su profundidad). En la época de seca la mayor parte conserva sus hojas; especialmente los árboles dominantes como *Manilkara sapota*, *Vitex gaumeri*, *Lysiloma latisiliquum*, *Brosimum alicastrum*. Los árboles de esta comunidad al igual que los de la selva alta perennifolia tienen contrafuertes y por lo general poseen muchas epífitas y lianas (Pennigton T. y Sarukhán J., 2005).

En Yucatán la especie más importante del estrato arbóreo de esta comunidad es el *ya'*, chicozapote o chicle (*Manilkara sapota*), una de las especies arbóreas más frecuentes y dominantes así como las más altas y con follaje perennifolio. Así mismo las epífitas más comunes son algunos helechos y musgos; abundantes orquídeas y bromeliáceas, y pocas aráceas.

Selva alta o mediana subperennifolia con abundante *Vitex* (ya'axnik). Se presenta en el sur del extremo sur del estado de Yucatán y en los estados de Campeche y Quintana Roo. Se desarrolla en sitios donde la precipitación oscila entre 1000 y 1200mm anuales, y la temporada seca es un poco más larga que en la selva subperennifolia; el terreno es rocoso de ladera o plano con suelos escasos, salvo al pie de la Sierrita.

Las especies arbóreas alcanzan entre 13-18 m de altura. El follaje de gran parte de los mismos cae en la época seca, aunque hay presencia de árboles perennifolios; pero estos no son los dominantes; la presencia de epífitas y trepadoras es escasa.

La selva sub decidua es variable en su composición pero ordinariamente se caracteriza por el dominio de *Vitex gaumeri* (*ya'axnik*) que presenta variaciones con relación al tipo de suelo donde se encuentre, en este sentido en la región sur de Yucatán encontramos lo siguiente:

La selva subperennifolia de pich (*Enterolobium cyclocarpum*) con ceiba o *ya'axche'* (*ceiba pentandra*) crece en donde, en el terreno calizo, haya un desnivel poco profundo y se deposite alguna cantidad de suelo, pero que no tiene acumulación de agua durante las lluvias. Estos lugares han sido ocupados por rancherías o pequeños poblados. Por sus condiciones, los pobladores han difundido los árboles de *pich* dada su utilidad como sombra forraje y goma medicinal¹⁶. En las cercanías a al Sierrita los árboles más frecuentes son: *Astronium graveolens* (k'ulinche), *Brosimum alicastrum* (ramón), *Ceiba pentandra* (*ya'axche*), *Cadrela mexicana* (cedro), *Enterolobium cyclocarpum* (*pich*), *Ficus cotinifolia* (kopochit), *Ficus sp.*, *Spondias mombin* (jobo) y *Vitex gaumeri* (*ya'axnik*).

Esta selva forma una franja más o menos paralela al límite de la selva alta subperennifolia que es más angosta en el Norte de Campeche y se vuelve más ancha aun con forme se dirige al noreste sobre el límite de Yucatán y Quintana Roo (mapa 7). Este límite pasa aproximadamente por al sur de Hopelchén (Campeche) y atraviesa la Sierrita por Tzucacab, Peto y Valladolid con dirección a la costa en la región de Río Lagartos al norte de Yucatán.

Y por último, se encuentra las selva de *ya'axnik* (*vitex gaumeri*) y caracolillo (*Sideroxylon gaumeri*) que cubre suelos algo más profundos, de 30 cm a 1m, de color negro o rojo sobre base de sahkab, como los que se encuentran en terrenos suavemente ondulados o casi planos, como los que encontramos en la línea Tzucacab- Peto.

Selva mediana de transición entre la selva subperennifolia y mediana perennifolia. Esta selva es una mezcla entre elementos de la selva mediana subperennifolia antes mencionada y la mediana decidua. Su altura media es de entre 15 y 20 m. Está muy alterada por acción del ser humano pues ocupaba regiones que hoy en día están sumamente pobladas. Forma una franja más o menos paralela a la de la selva subcaducifolia. El límite no está bien definido, ya que por su carácter transicional no se ha podido establecer

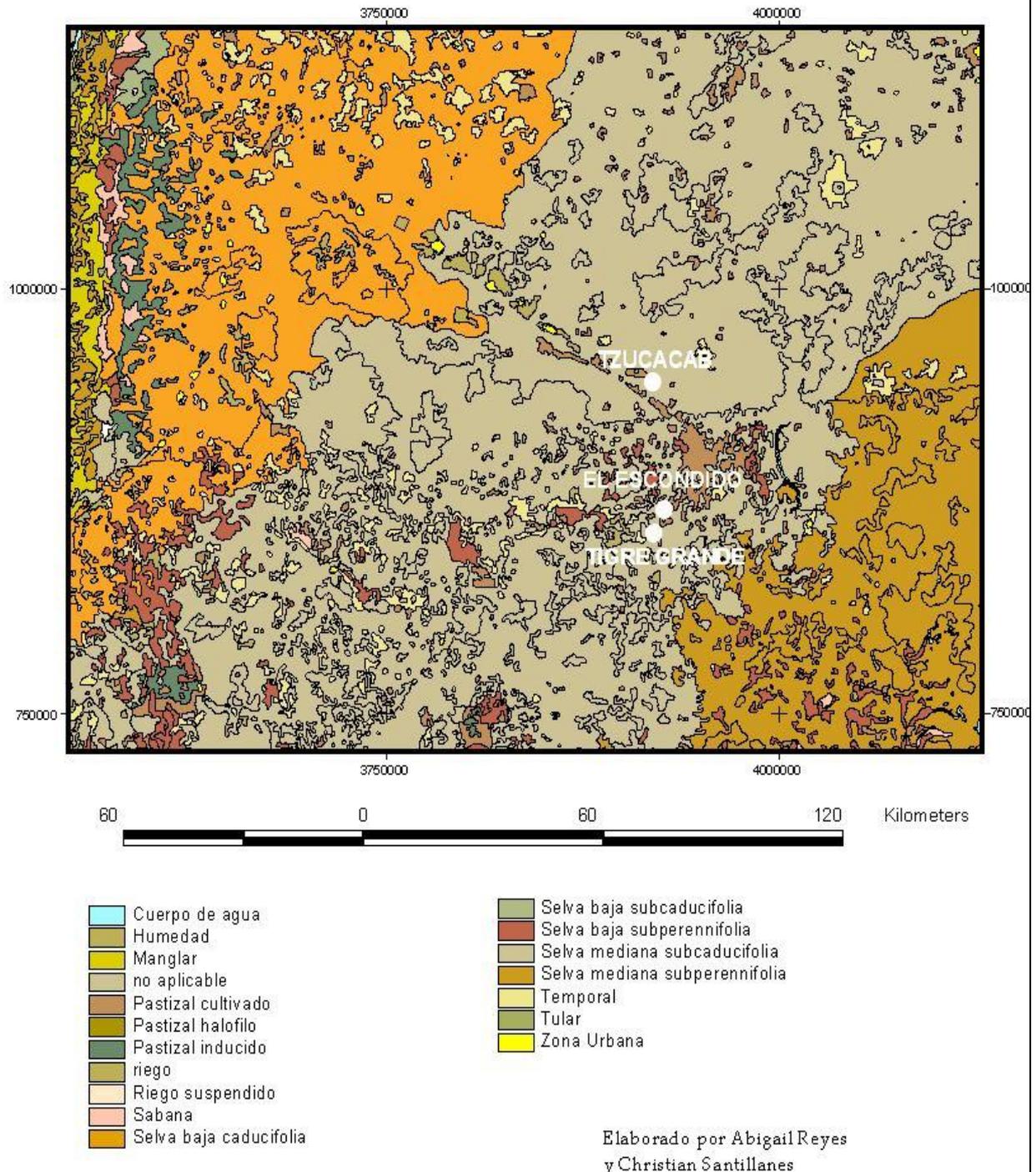
¹⁶ Esto es a decir de los pobladores del Escondido y Tigre Grande.

Sabanoide. La palabra sabana es equivalente de bajo con vegetación arborea, es decir, bajo sin inundación permanente, pues en ese caso se emplean los vocablos de aguada o laguna.

Se trata de una agrupación de extensas praderas de gramíneas (graminal), a veces, con abundantes Ciperáceas y con árboles bajos dispersos y en ocasiones sin árboles. Los árboles más frecuentes son: *Byrsonima crassifolia* (nanze o nanche), *Curatella americana* (yaha', saha' o tachicón) y *Crescentia cujete* (güri o jícaro). Los suelos son con frecuencia llanos o con escaso declive y, por lo común, profundos, arcillosos o margosos o arcillosos arenosos, con drenaje deficiente. Debido a estas características, en los periodos de lluvias fuertes se vuelven cenagosos aunque no llegan a inundarse, y en las temporadas secas se vuelven muy secos de tal manera que las gramíneas que los cubren se secan y son a menudo consumidas por incendios (Miranda, 1958)

La sabana se presenta en la región de Becanchen donde cubre grandes extensiones de terreno, predominando el *Byrsonima* y *Crescentia* (güiro).

Vegetación de el sur de Yucatán



Mapa 7

CAPITULO DOS

Definición de carst

Durante la presente investigación será de vital importancia la comprensión del término carst, para ello es preciso definirlo. Al referirnos al carst o *karst* estamos haciendo alusión a todas aquellas formaciones geológicas constituidas por rocas sedimentarias consolidadas cuyos poros o fisuras han sido ensanchados por la acción disolvente de las aguas subterráneas hasta formar grandes conductos y cuevas; mismas que dan lugar a unas características geomorfológicas típicas de dicho relieve. La palabra Karst, es la expresión alemana de la palabra eslovena *kras* y de la italiana carso, significa «terreno rocoso» y corresponde a una amplia región del oeste de la antigua Yugoslavia donde se presentan este tipo de paisajes y ha sido aceptada internacionalmente en la literatura geológica aunque a veces con ligeras variantes como: cars, carso, etcétera (Custodio, 1976: 1491).

Los fenómenos cársticos

Los fenómenos cársticos en la región del sur de Yucatán son el resultado de un conjunto de transformaciones consecuentes del equilibrio del sistema agua-caliza, es decir, los fenómenos cársticos se producen al existir circulación hídrica donde el agua es el elemento generador mientras que la caliza es el medio en que se desarrollan los fenómenos. Cuando este equilibrio llega a ser perturbado los fenómenos cársticos dejan de funcionar o funcionan con una rapidez mayor lo que es considerado como una perturbación a un déficit o a un excedente de agua. En el estado de Yucatán el paso de los huracanes proporcionan un excedente de agua teniendo como consecuencia que los fenómenos o procesos cársticos tengan un desarrollo acelerado; lo contrario pasa en la temporada de sequía cuando el déficit de agua puede retrasar estos procesos y en algunas ocasiones el desarrollo se verá obstaculizado.

El sur de Yucatán presenta estas dos características, excedente y déficit de agua, lo que resulta en una serie de fenómenos que muchas veces no coinciden con los presentes en

otras regiones con características geológicas similares y que corresponderían a clasificaciones existentes.

En las regiones cársticas¹⁷ encontramos una serie de sistemas. Uno en cada uno de los cuerpos tectónicos que constituyen la estructura en conjunto, y a su vez cada unidad tectónica constituye un sistema cárstico. En este sentido la región sur de Yucatán será clasificada como un sistema cárstico.

El aparato cárstico

El conjunto del medio calizo, la fisuración, el agua circulante, que puede dar lugar a un conjunto de aguas cársticas con una zona de absorción y surgencias comunes, y el trabajo de disolución y erosión inherentes a la circulación cárstica constituyen lo que se denomina como: aparato cárstico. Cuando en el aparato cárstico se presenten todos estos elementos lo llamaremos *viviente* y cuando falte la circulación será un *aparato muerto*. El conocimiento de un aparato cárstico requiere del análisis de cada uno de sus elementos o fenómenos; por tanto el conocimiento será parcial cuando se omitan las características de uno de los grupos de formas cársticas o incluso alguna de dichas formas.

El aparato cárstico consta esencialmente de tres grupos o conjuntos de fenómenos denominados formas cársticas por su correspondencia con sus similares formas del relieve superficial del modelado terrestre (Llopis, N. 1970:77-99).

1. *Grupo de formas de absorción.* Formas superficiales por las cuales se produce la infiltración de las aguas que han de generar los fenómenos cársticos (morfología cárstica).
2. *Grupo de formas de conducción.* Conjunto de formas subterráneas por las cuales tiene lugar la circulación (cavernas).
3. *Grupo de formas de emisión.* Conjunto de formas cársticas por las cuales se reintegra el agua subterráneas a la circulación superficial normal (surgencias).

¹⁷ Entendemos por región cárstica las regiones hidrogeológicas, caracterizadas por un clima en común, una mega estructura y un balance hídrico.

La geología de la caliza

*“Han de saber que en la vieja y dulce lengua de los mayas,
Mayab, significa cedaço.
Han de saber que el agua que cae en el cedaço de la piedra calcárea
se cuela entre las porosidades y sólo la detiene por unas horas,
las lajas planas y extendidas que se ocultan bajo la poca tierra
que cubre el suelo maya...”*
(Llanes 1983:9)

La caliza es el medio de circulación del agua cárstica y es donde tiene lugar la larga y compleja evolución subterránea. No podemos despreciar el conocimiento de este medio si queremos conocer en su integridad el desarrollo del carst puesto que aquí tiene lugar el complejo conjunto de fenómenos físicos-químicos-geológicos que se denomina carstificación.

Para que la carstificación pueda realizarse se precisan una serie de circunstancias, externas e intrínsecas a la caliza, concernientes a su composición y a su estructura.

Principales tipos de roca caliza en Yucatán

Mencionaremos los tipos de roca presentes en Yucatán, ya que al conocer las características de dichas rocas tendremos una mejor comprensión de los fenómenos y procesos que se llevan o que se pueden llevar a cabo, y que a su vez pueden contribuir a la comprensión de las inundaciones presentadas en el sur de Yucatán durante el paso del huracán Isidoro en el año 2002.

Laja o coraza calcárea exterior. Se encuentra en las formaciones cerriles de la porción central y hacia el sur del estado de Yucatán. Esta típica y distintiva coraza exterior presenta por lo regular colores claros, principalmente en tonalidades que van del blanco grisáceo al gris claro. También es posible encontrar otras tonalidades como el blanco amarillento y el rojizo, aunque en una cantidad menor. Ha ocurrido que el color verdadero del material geológico puede estar oculto a consecuencia de la mayor o menor porción de óxidos de fierro libres en la matriz del suelo sobrepuesto. Esto sucede con frecuencia en las planadas y hondonadas donde en forma natural hay una mayor acumulación y evolución de los suelos, no así en los altillos o montículos en los que la roca está aflorando. Hay sitios donde la coraza calcárea puede presentar una superficie lisa y otros donde se distingue su alto grado de rugosidad la cual consiste en la alternancia de hoyadas y protuberancias.

Otro rasgo de esta corteza es su tendencia al resquebrajamiento y fragmentación. Así podemos encontrar lugares donde la coraza calcárea se encuentra sin fracturas o ligeramente fracturada, como lo vemos en las planadas del occidente y norte del estado; también existen lugares donde la encontramos muy resquebrajada lo que genera fragmentos rocosos de varias formas y tamaños, como sucede en el centro y sur.

Duch (1988:14) señala que en las áreas donde localizamos una dominancia de materiales pertenecientes al Eoceno encontramos que la coraza presenta un muy alto grado de fragmentación lo que no impide que dentro de estas áreas eocénicas existan algunos lugares donde la coraza tenga un ligero grado de fragmentación presentando fisuras o fracturas ligeras. La diferencia de la intensidad en la fragmentación se debe a la relación que existe entre diversas condiciones ambientales particulares de cada lugar, en especial con la vegetación y las formas que caracterizan al relieve, así como los fenómenos de erosión y arrastre de suelos.

Wright (1968) consideró que la presión que ejerce el crecimiento radicular de los arbustos y grandes árboles que conforman las selvas yucatecas tiene gran influencia en el resquebrajamiento y fragmentación de la coraza calcárea. Al introducir sus raíces por las pequeñas fisuras y oquedades que presenta la coraza calcárea hacen de palancas que presionan la roca hasta fracturarla.

Al mismo tiempo podemos apreciar que en los promontorios (atillos, montículos, lomas, cerros, etcétera) se presenta un mayor grado de fragmentación que cuando se localiza en las áreas planas circundantes.

Esta teoría de fragmentación por la acción de la capa vegetal no explica el hecho de que exista una mayor cantidad de fragmentos rocosos en sitios más elevados del terreno; en este sentido, cabría pensar que los moderados plegamientos que observamos en el territorio yucateco, y que son fácilmente de reconocer en el relieve ondulado, hayan favorecido la aparición de fisuras en las porciones convexas de la coraza y con ello la posibilidad de ser penetradas por las raíces.

Es razonable, pues, considerar el hecho de que las áreas planas más bajas presenten una capa de suelo con mayor espesor debido al arrastre de suelo lo que permite que el sistema radicular de la vegetación afecte menos al sustrato geológico.

Otro rasgo morfológico es la presencia de galerías internas conformadas por fisuras y hoyadas de distintos tamaños y conductos tabulares que se intercomunican en tramos de diversa longitud. Se observa que en algunos casos estos huecos y conductos tabulares pudieron haberse formado y haber sido ocupados por ramificaciones ya destruidas.

La coraza calcárea no ha permanecido al margen de los eventos sociales que han conformado la historia del estado de Yucatán. Sus primeros pobladores utilizaron esta roca para la fabricación instrumentos de trabajo agrícola y doméstico; así como para la caza y pesca. Durante los tiempos en que la antigua civilización maya vivió en Yucatán la coraza calcárea se aprovechó como material de construcción en sus ciudades, centros ceremoniales, *sac-bé*, que significa camino blanco en lengua maya, y obras hidráulicas como cisternas (*chultunes*) y recubrimiento en el fondo de lagunas y aguadas para impedir la filtración del agua y su deseca prematura.

En los tiempos de la colonia la coraza calcárea sirvió para la construcción de templos, conventos y residencias destinadas a sacerdotes y caballeros españoles. La coraza calcárea también tuvo que ver con el desarrollo de la infraestructura productiva y de comunicación. Fueron miles de kilómetros de terraplenes hechos de fragmentos rocosos los que surcaron las tierras henequeneras a principios del siglo pasado (Duch 1988:54).

En la época actual la coraza calcárea ha dejado de aparecer en su forma original como material de construcción. Ahora la roca se tritura para producir el llamado “polvo de piedra” que junto con la cal y el cemento constituye la base de la industria de la construcción local y regional.

La coraza calcárea ha sido un reto para el agricultor yucateco quien sumando el conocimiento, habilidad, esfuerzo y sobre todo paciencia ha podido hacer producir esa tierra a la que Landa llamó “la de menos tierra, porque toda ella es una viva laja (Landa, 2003: 198)”.

El *sahcab* o caliza blanda superficial. La presencia de calizas blandas en el estrato inferior a ellas constituye un rasgo característico del sustrato del estado de Yucatán. Estos materiales sedimentarios y de naturaleza calcárea reciben el nombre genérico de *sahcab*, aún cuando muestra diferencias morfológicas importantes. Bonet y Butterlín (1959) definen el *sahcab* como un material soluble y blanquecino que resulta de la descomposición de las calizas que lo subyacen como una arena calcárea que se emplea en la construcción a manera de material inerte. Este término (*sahcab*) se aplica a un material suelto y de color

claro que se encuentra constituido en su mayor parte por restos fósiles de conchas de moluscos cementados por una matriz criptocristalina de colores blanco y blanco amarillento.

Se trata de materiales sueltos que debido a su posición debajo de la coraza calcárea, se conservan en su estado original. Los diferentes tipos de *sabcab* son relativamente permeables y poseen una mayor capacidad de conservación de la humedad, toda vez que los excesos de agua han sido drenados hacia los estratos rocosos siguientes, no sin antes contribuir con la disolución del mismo.

Dado que son el material de origen del actual recubrimiento rocoso de la mayor parte del territorio yucateco, las calizas blandas poseen un lugar importante en la evolución del sustrato geológico de Yucatán, ya que la porción superficial del *sabcab* se transforma en coraza calcárea. Por ser un material soluble al agua, favorecen la formación de cavidades subterráneas que permiten hundimientos en el terreno y con ello la configuración actual de planicies onduladas con promontorios y hondonadas que con diferentes niveles de expresión caracterizan al paisaje del estado de Yucatán.

El *sabcab* sirvió a la población yucateca como material cementante. Y así fue durante la colonia y el pasado reciente hasta que el llamado “polvo de piedra”, que se obtiene de la trituración de la roca calcárea, lo fue sustituyendo poco a poco. En la época actual, el *sabcab* ya no se utiliza como material cementante salvo en pocos casos, como en el medio rural; siendo su aprovechamiento como material de relleno.

Tectónica de la caliza

La estructura congénita o sedimentaria de la caliza es producida por un conjunto de fuerzas que han actuado con posterioridad a la sedimentación, por tanto las formas tectónicas o tipos de deformaciones que en ellas se produzcan serán, pues, propios de las calizas. Llopis (1970) divide dichas deformaciones tectónicas de las rocas en dos grandes conjuntos: pliegues y roturas. En la región sur de Yucatán están presentes ambos conjuntos; sin embargo, tenemos un predominio de roturas que son las causadas por la falla que en esta zona encontramos (aquella que corre por debajo de la sierrita de Ticul).

Los pliegues son deformaciones continuas puesto que los materiales se deforman sin solución de continuidad; la deformación es muy íntima y afecta a la textura de la roca.

Las roturas en cambio son deformaciones discontinuas puesto que rompen la continuidad de la masa rocosa que de este modo queda dividida en bloques separados por otras tantas soluciones de continuidad o planos de rotura. La generación de pliegues o roturas se da en consecuencia por el grado de cohesión del material sobre el que actúa la presión orogénica, de tal modo que las rocas plásticas se pliegan; tanto más intensamente se plieguen se volverán más plásticas mientras que las rocas rígidas se rompen por la falta de elasticidad para una deformación continua.

La caliza es una roca de plasticidad media y variable puesto que cambiará en relación con la estructura congénita. En consecuencia, encontramos en las calizas una gran variedad de formas y estilos tectónicos, pues el polimorfismo de la serie de estratos de la caliza es muy grande. En las calizas más plásticas se desarrollan pliegues, en las más rígidas roturas y en las de plasticidad media habrá pliegues y roturas al mismo tiempo.

Los tipos de pliegue llamados simples son frecuentes en las calizas. Generados a consecuencia de una mayor o menor intensidad tectónica o a tenor de que las fuerzas tectónicas antagónicas tengan igual o diferente intensidad.

Puede ocurrir que sobre este plano una parte que divide a la masa de caliza se desplace causando una rotura. Las roturas simples reciben el nombre de diaclasas; éstas son fisuras de unos centímetros o incluso metros que afectan los estratos y son perpendiculares a estos mientras que las roturas con desplazamiento de uno de los bloques se llaman fallas o zonas de trituración y son accidentes de unos metros o varios kilómetros que afectan una porción relativamente grande del terreno; también las roturas pueden preceder a la fragmentación de los flancos inclinados de los pliegues inclinados, tumbados o acostados, en cuyo caso se llaman pliegues-falla (Llopis N., 1970:57)

DIACLASAS	SISTEMA PRINCIPAL	Longitudinal. 1.	
		Transversal. 2.	
	SISTEMA SECUNDARIO	En aspa. 3.	
MICROCLASAS	Plumosas. 4.		
	De desgarre. 5.		
LEPTOCLASAS	Alineadas (de rumbo). 6.		
	Aberrantes. 7.		
FALLAS	Rectas. 8. Normales. 9. Inversas. 10. En tijera. 11. Cabalgamientos. 12.		

Deformaciones discontinuas

Fuente: Llopis 1970

Las diaclasas son entonces, roturas sin desplazamiento y vienen determinadas por la existencia de un plano. El plano de la diaclasa divide a la masa caliza en dos partes llamadas labios, que se designarán por su posición en relación con la orientación del plano.

Los sistemas de diaclasas están caracterizados porque todos los individuos que los componen tienen los mismos caracteres geométricos, es decir, dirección e inclinación; a estos dos caracteres individuales debe añadirse un colectivo que es el intervalo o distancia que existe entre los individuos del mismo sistema, la distancia o intervalo que dentro de unos límites debe ser constante. Estos caracteres permiten, en la mayoría de los casos, agrupar los individuos en sistemas y separar unos sistemas de otros.

Un dato de mucho interés en lo que respecta a la hidrogeología son los intervalos de un sistema de diaclasas mismos que se vuelven más pequeños en cuanto más se compacta la roca. Así pues, sobre una caliza margosa los intervalos pueden ser, y son siempre, muy grandes en orden de varios metros; en cambio en una caliza litográfica o sobre una dolomía compacta los intervalos pueden ser de uno a varios centímetros.

Las calizas plegadas tienen conjuntos de diaclasas más complejos, puesto que las diaclasas son el resultado de la reacción del material ante una compresión mecánica.

El último tipo de roturas son las fallas o roturas con desplazamiento. Tanto las fallas como las diaclasas van asociadas formando sistemas; estos sistemas siguen las mismas directrices que los de las diaclasas, y generalmente fallas y diaclasas pueden corresponder a un sistema común. Los bloques calizos delimitados por fallas se llaman dovelas. A menudo aparecen dovelas escalonadas limitadas por fallas llamadas en escalera; estas dovelas pueden delimitar zonas hundidas pilares tectónicos u *borts*.

El interés que tienen las fisuras desde el punto hidrogeológico es enorme, puesto que toda la infiltración y la circulación del agua en las rocas compactas se realiza a través de dichas fisuras. Sin la fisuración una parte importante del agua de la precipitación no sería absorbida, y la circulación subterránea quedaría restringida a las rocas porosas. Las fisuras, como todos los accidentes estructurales, se presentan a escalas distintas pues existen desde micro fisuras hasta mega fisuras como son las diaclasas y las fallas.

Hidrología cárstica

“Y en esa oscuridad se precipita el agua de las lluvias, se esconde, se estanca y también corre y salta en las grietas rocosas del subsuelo para filtrarse más y más hondo, hasta lograr contacto con las aguas del mar.”
(Llanes 1983:10)

En las rocas calcáreas las aguas subterráneas plantean unos problemas hidrogeológicos particulares.

Estas rocas presentan unas características muy particulares resultado del predominio de la permeabilidad de fisuras sobre las grietas; este rasgo es más marcado mientras más pura y compacta es la roca mientras que la porosidad eficaz es siempre muy pequeña.

Ejemplificaremos lo anterior con un caso hipotético que trate sobre la circulación de las aguas, las zonas hidrogeológicas, la zona libre y el zócalo. Supongamos una masa calcárea con estratos horizontales, muy fisurada, con todos los espacios vacíos comunicados entre sí y reposando sobre un zócalo impermeable horizontal.

Si la superficie es irrigada, el agua penetra en el suelo y fluye verticalmente por el terreno por gravedad, en realidad el agua circula por las fisuras en un sentido relativamente vertical. Debido a las fisuras y grietas, las aguas llegan al zócalo y se acumulan en la parte inferior del material acuífero rellenando todos los espacios vacíos, sean cuales sean sus dimensiones. Al cabo de un tiempo observamos dos zonas: de arriba hacia abajo encontramos la zona no anegada y la zona anegada; estas dos zonas están separadas por una superficie libre horizontal y discontinua, esto provocado porque los fragmentos de material compacto son más abundantes.

La zona anegada se encuentra saturada de agua y en la parte inferior de los estratos la zona no anegada se encuentra en la capa horizontal superior donde los espacios vacíos más importantes, fisuras abiertas o cavidades están secas o son lugares de paso para el flujo libre.

Fisuración de las rocas calcáreas

La fisuración en las rocas calcáreas tiene dos orígenes principales los sedimentológicos, que son la causa de los planos de estratificación¹⁸ y de las diaclasas producidas por la

¹⁸ Los planos de estratificación separan los estratos y marcan la diferencia. Son de origen sedimentario y contemporáneo de los depósitos, a menudo su presencia es marcada por una capa arcillosa.

consolidación de los depósitos, y las acciones mecánicas originadas por la compactación de los sedimentos bajo la acción del peso de los materiales o movimientos tectónicos, de tal forma que las diaclasas pueden tener origen sedimentológico y mecánico (Castany 1971).

Dentro de la hidrología de las fisuras, el papel esencial corresponde a las diaclasas así como a la orientación de éstas. Las fallas, según las condiciones geológicas, pueden considerarse como canales de drenaje o como diques de contención. Las cavidades subterráneas, por su parte, son fisuras que por la disolución del material calcáreo van ampliándose y evolucionan hasta formar redes subterráneas, mismas que se presentan en toda roca calcárea, y su desarrollo está en función de la estratigrafía y la geomorfología regional.

Fenómenos de erosión y formación de conductos

La erosión cárstica dependerá de las características de la circulación del agua en la caliza. Existen dos tipos fundamentales de circulación cárstica:

- 1.- Aguas cársticas cautivas.
- 2.- Aguas cársticas libres.

Estos dos tipos pueden representar una o dos fases de evolución de la circulación cárstica, puesto que las aguas cársticas cautivas son propias del carst embrionario y poco evolucionado en general, mientras que las aguas cársticas libres las encontramos exclusivamente en el carst senil y con un grado de evolución ya avanzado. En el caso del sur de Yucatán, y según testimonios y conocimientos sobre el paisaje brindados por los pobladores de El Escondido y Tigre Grande en Tzucacab y San Isidro Yaxché y Chan Dzinup en Tekax, podemos concluir que el carst tiene un grado de evolución avanzado, ya que el agua estancada por las inundaciones por el paso del huracán Isidoro circuló por fisuras en el suelo, que son conocidas localmente con el vocablo maya *xuuch*¹⁹, las cuales están presentes en todos estos poblados pero que según los habitantes no presentan surgencias lo cual es una clara evidencia de que el carst en esta zona tiene un alto grado de evolución y presenta agua cárstica libre; sin embargo, no se descarta la posibilidad de la existencia de aguas cautivas en donde la erosión se podría presentar en la vertical.

¹⁹ El vocablo *xuuch* en lengua maya se refiere a absorber, también es usado al beber algún líquido.



Xuuch en la comisaria de Chan Dzinup foto de Eduardo Morales

Las formas de absorción

Las formas de absorción corresponden a dos tipos distintos: formas cerradas y formas abiertas. En las primeras la absorción se realiza lentamente y en las segundas el agua puede penetrar en masa. En la región sur de Yucatán se presentan estas dos formas de absorción, ya que cuando se presentan las inundaciones comunes²⁰ el agua es absorbida por el suelo de a poco y cuando se presentan las inundaciones extraordinarias el aparato cárstico presente en el sur de Yucatán es capaz de realizar una absorción en masa.

Formas de absorción cerradas

En las formas cerradas el desarrollo de las zonas de absorción vendrá esencialmente condicionado por las diaclasas. Estos puntos serán óptimos para la absorción, tanto más, cuanto mayor sea el número de individuos que interfieran en un punto. En estas intersecciones el agua penetra favorecida además por la red de diaclasas menores que las rodean.

Las dolinas. Según Llopis (1970), la emigración de caliza, la separación de “*terra rossa*”²¹ de decalcificación y la consiguiente pérdida de volumen determinarán el hundimiento lento de toda zona afectada a partir de su centro originándose entonces una depresión circular en principio embudiforme, llamada dolina; sin embargo, no siempre la depresión es circular, la forma dependerá de cómo se realice la disolución. Situadas en la intersección de dos o más diaclasas y siendo estas las que condicionan su desarrollo, la forma que adquieren dependerá de la mayor o menor disolución que se realice sobre las fisuras. Puede ocurrir que la disolución se desarrolle más en una dirección, en cuyo caso se

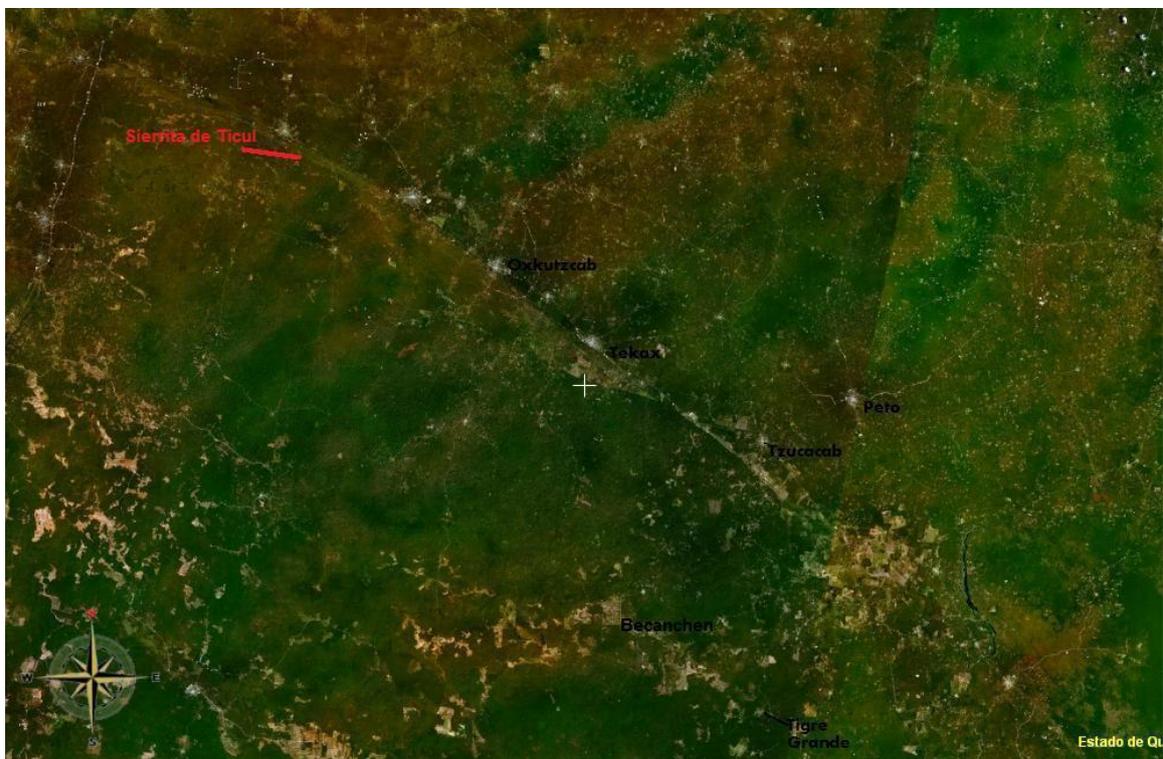
²⁰ Se llamará a inundaciones comunes las que se presentan cada año en ciertos lugares en la época de lluvia e inundaciones extraordinarias a las que se presentan por fenómenos naturales extraordinarios y que conllevan grandes cantidades de precipitación como el paso de un huracán, una onda tropical, etc.

²¹ Término italiano que significa tierra roja.

originan dolinas ovaladas. El tamaño de las dolinas es muy diverso, oscilando desde algunos pocos metros hasta algunos centenares.

En las dolinas la absorción se realiza lentamente, puesto que el sedimento arcilloso constituye un impedimento para una absorción rápida, de tal modo que en época de lluvia el agua puede acumularse en la depresión, cuya filtración es muy lenta hasta que el agua desaparece en su totalidad. Debido a que la región sur de Yucatán tiene un alto grado de evolución en lo superficial, según su geomorfología, podemos señalar que los lugares donde hay acumulación de agua por lluvia se tratan de relictos de dolinas, es decir, el fondo de éstas.

Las dolinas se adaptan a aparatos cársticos instalados sobre estructuras diversas, como es el caso de la región sur de Yucatán donde se muestra un relieve de colinas y depresiones. Puntualizando esto, existe una falla geológica que separa las planicies de Tekax y Peto y se presentan depresiones intermontanas pequeñas y grandes en La Sierrita de Ticul y en los valles de Becanchen y Nohalal. Lo anterior significa que las dolinas se adaptan a estas estructuras y a los relieves que de ello deriva, por lo que adoptan formas y características específicas.



Las dolinas de penillanura son las que se reparten sobre zonas planas, altas y depresiones o valles maduros como consecuencia en estas zonas es donde se producirán las

máximas acumulaciones hídricas; en las zonas altas, y debido a que estas formas tienen siempre una marcada tendencia hacia el endorreísmo²², se generara un carst endorreico mientras que las zonas deprimidas serán regiones de acumulación de aguas aportadas por el escurrimiento. Es aquí donde se producirá el máximo de carstificación.

Las dolinas de vertiente exigen para su formación dos condiciones principales:

- 1.- Que las vertientes tengan poca inclinación.
- 2.- Que dichas vertientes se encuentren en circunstancias estructurales diversas.

Si los accidentes estructurales son importantes como la existencia y contactos entre rocas permeables e impermeables, fallas o pliegues entonces las dolinas encuentran condiciones óptimas para su instalación.

Las dolinas de valle aparecen en los *talwegs*, ya que estas formas topográficas ofrecen condiciones óptimas por tratarse de zonas deprimidas rodeadas de vertientes que conducen aguas de escurrimiento además de tener zonas de muy poca pendiente. Si bien en la región sur de Yucatán no existen corrientes superficiales permanentes. Los pobladores reconocen e identifican perfectamente algunos flujos superficiales, o “corrientales” como ellos los llaman, que se presentan en la época de lluvia. Entonces estos corrientales podrían dar origen a los *talwegs* y como consecuencia a las dolinas de valle.

Sobre las fallas también ocurren fenómenos pero con un desarrollo mucho mayor; en este caso la zona de absorción suele ser el plano de falla, especialmente si tiene brechas.

El clima es un factor importante por lo que se refiere a la morfología de las dolinas. En los climas tropicales la profundidad es mayor que el diámetro, pero en el fondo está ocupado por *terra rossa* y generalmente estas formaciones presentan amplias dimensiones.

Cuando la dolina está constituida como tal empieza su evolución tanto en superficie como en profundidad.

Las úvalas. Cuando las dolinas evolucionan en superficie más rápidamente que en profundidad los bordes de dos de estas formaciones próximas se conjugan originando una depresión más amplia llamada úvala pero que ha perdido ya su forma primitiva

²² El endorreísmo son condiciones de algunas regiones cuya red hidrográfica, fluye permanentemente sin desaguar al mar como consecuencia del relieve y clima

condicionada por la estructura y la disolución. Las úvalas tienen formas de elipse pero si se conjugan más de dos dolinas el borde llega a ser muy irregular.

La generación de una úvala aumentara considerablemente la capacidad absorbente de la región caliza puesto que actúa de zona colectoras de agua en mayor escala que la dolina.

Los poljés. Son la forma de absorción presente en el carst de mayor extensión superficial, sus formas son alargadas en el sentido de los accidentes tectónicos, existen tres tipos de poljés

- 1.- Poljés secos, situados a mayores altitudes.
- 2.- Poljés inundados recurrentemente.
- 3.- Poljés inundados permanentemente.

Los segundos tienen un comportamiento complejo puesto que se inundan total o parcialmente durante los periodos húmedos y quedan en seco durante la sequía (Fernández-Rubio, 1965).

En los poljés encontramos una alternancia de tres tipos de depósitos: “*terra rossa*”, aluviones y arcillas lacustres; esto debido a que en muchos de ellos aparece una rotación de sedimentación a consecuencia de su funcionamiento hidrogeológico. Los poljés que sufren inundaciones periódicas estacionales pueden tener dos regímenes de sedimentación de “*terra rossa*”: periodo fluvial, con depósitos de aluviones, y periodo lacustre, con sedimentación de arcillas.

El desarrollo de los poljés puede generarse según Cvijic (consultado en Llopis 1970) por tres procesos: 1) por progresiva conjugación de dolinas y uvalas; 2) por desarrollo de uvalas sobre una falla y 3) por carstificación de una zona tectónica.

El funcionamiento hidrológico de los poljés, está relacionado con su grado de evolución y la posición del nivel impermeable subterráneo del Carst. Cuando este nivel permanezca muy por debajo del fondo el poljé estará siempre seco cuando por el contrario el fondo del poljé está cerca de la capa impermeable este estará siempre inundado; este es el caso de la laguna de Chichankanab en el estado de Quintana Roo, y si se encuentra a una distancia moderada existirán periodos de inundación y periodos secos. Como los poljés

evolucionan en profundidad al igual que las dolinas, el fondo de los poljés se va hundiendo poco a poco a medida que progresa su madurez y se acerca a la senilidad.

Los poljés han constituido zonas de atracción para algunas actividades humanas gracias a que son las regiones más fértiles del carst, pues la “*terra rossa*” de decalcificación permite ser cultivada con un alto grado de fertilidad. Esta situación es similar a lo ocurrido en el sur de Yucatán, ya que como se mencionó en el primer capítulo parte de la región comenzó a ser poblada debido a la presencia de aguadas en el sur de Yucatán y a la fertilidad de los suelos *ak'alche* que son los que predominan en la región, sobre todo en el extremo sur de la región sur de Yucatán.



Aguada de Tigre Grande

Foto de Abigail Reyes

Valles muertos, perdidos y ciegos. Son valles superficiales que han dejado de funcionar a consecuencia de la carstificación en las zonas de sus cabeceras. Estas formas se encuentran frecuentemente en todas las regiones cársticas, ya que estos se han generado durante la era cuaternaria. Estos valles en cierta manera representan formas de absorción, puesto que aún son susceptibles a funcionar durante las grandes precipitaciones.

Los valles ciegos son formas fundamentalmente estructurales desarrolladas sobre formas de diaclasas o sobre fallas que presentan formas alargadas en dirección del accidente que las ha generado. Estos valles ciegos pueden estar recorridos por arroyos superficiales subsecuentes, cuya hidrología ha sido desorganizada por el carst. Si sobre uno de estos valles empieza a producirse una absorción cárstica entonces la circulación superficial se desorganiza y producen divisorias de aguas subterráneas y superficiales a lo largo del valle subsecuente, originándose así los valles ciegos.

Los valles ciegos, desde el punto de vista de la absorción, tienen la misma importancia que los poljés en igualdad de extensión; incluso podemos decir que son formas de absorción de mayor eficacia, puesto que toda la infiltración se localiza a lo largo de sus *talwegs*.

Los valles ciegos recién construidos presentan casi intactos todas sus propiedades, no obstante, cuando llevan mucho tiempo funcionando su morfología se modifica poco a poco y se asemeja a la de las úvalas.

Un último tipo de absorción de formas cerradas es lo que se llaman zonas de pérdidas que constituyen una forma de transición a las formas abiertas. Esto quiere decir que en los ríos procedentes de regiones no cársticas se observan sensibles disminuciones del caudal cuando salen de la región cárstica. Estos caudales desaparecidos deben haber sido absorbidos por diaclasas o fracturas existentes en la vaguada e incorporados a la circulación cárstica.

Las formas de absorción abiertas

Las formas de absorción abiertas difieren fundamentalmente de las cerradas en los volúmenes de agua que son capaces de absorber; en ellas la absorción se realiza en masa, contra lo que hemos visto que ocurre en las formas cerradas. Sin embargo, entre unas y otras existen estrechas relaciones que comienzan ya en la génesis de las formas abiertas más elementales.

Simas. Cuando una dolina progresa más en profundidad que en superficie, se produce una continuada depresión de la misma; este progresivo hundimiento es consecuencia de que la dolina se ha instalado sobre un conjunto de diaclasas o sobre una falla, es decir, sobre un accidente que facilita la disolución. En muchos casos el resultado de este progreso hacia la profundidad es el hundimiento brusco de los bloques de la chimenea de la dolina. Esto solo puede existir cuando por debajo de ésta existen ya huecos originados por la propia disolución o que ya existían antes de la creación de la dolina. Cuando esto existe, la dolina puede sufrir un hundimiento brusco que determine un desplazamiento rápido de bloques y de “*terra rossa*” hacia el interior del aparato cárstico; originándose de este modo una forma de absorción abierta denominada sima, cuya topografía es fundamentalmente de desarrollo vertical. En la generación de una sima por decalcificación debemos considerar las siguientes fases:

1. Fase premonitoria. Ensanchamiento de la intersección de las diaclasas.
2. Fase juvenil. Generación de una dolina de fondo plano.
3. Fase de madurez. Relleno diverso, intensa decalcificación en profundidad y generación de embudos satélites
4. Fase de senilidad. Multiplicación de los embudos y hundimiento total.
5. Génesis de la sima.

El hundimiento de la dolina que origine la sima de esta puede ser total o parcial, es decir, el hundimiento puede afectar toda la superficie de la dolina o solamente una parte de ella.

Es necesario indicar que el nombre de sima es muy genérico en el sentido de que se alude mejor a una forma topográfica subterráneas que ha un estado evolutivo. La sima no tiene que ser forzosamente una forma totalmente abierta; en ocasiones los clastos procedentes del hundimiento generador se acumulan en zonas más estrechas y menos decalcificadas obstruyendo así la continuidad topográfica en profundidad y también el paso del agua que es previamente filtrada a través de la acumulación del material clástico.

Sumideros. En el trascurso de la evolución de las dolinas a simas la capacidad absorbente de las nuevas formas va en aumento progresivo. En la fase de dolina la absorción es lenta puesto que, como ya hemos dicho, se realiza gota a gota mientras que al parecer en las dolinas satélites es mayor, aumentando considerablemente la formación de la sima, por lo que la absorción se da de manera masiva. En este caso la sima recibe el nombre de sumidero, reservándose el nombre de simas a las formas muertas de los sumideros.

Los sumideros también pueden ser permanentes; en este caso constituyen absorciones normales de arroyos y a un río interior. Otras veces pueden ser accidentales que actúan únicamente durante las crecidas de los ríos o en los periodos de fuertes precipitaciones; existen también sumideros periódicos que tienen régimen estacional.

Los sumideros derivados de dolinas son generalmente simas, es decir tienen un desarrollo vertical, pues en este sentido se da la disolución de la caliza por debajo de las dolinas. También pueden existir otras absorciones en masa a lo largo de cavidades de desarrollo horizontal que nada tiene que ver genéticamente con aquellos aunque lleven el

mismo nombre y realicen la misma función. Cabe señalar que el nombre de sumidero es específico en sentido funcional, puesto que la absorción en masa puede realizarse por órganos cársticos de origen diferente.

Finalmente, existen todavía otras formas de absorción que Llopis (1970) llama híbridas, que en ocasiones actúan como absorbentes y en otras como emisoras. Tales son los Ponders que durante las épocas de lluvia emiten agua e inundan el poljé mientras que durante la sequía absorben el agua emitida y dejan seco el poljé.

Formas de absorción compuesta

Puesto que en la realidad existe un porcentaje pequeño de formas simples, y abundan las compuestas, es necesaria la comprensión de las características de éstas.

Entendemos por formas compuestas las que están constituidas por varios elementos, como consecuencia de su estado evolutivo. Las formas más elementales son las dolinas compuestas formadas por varias dolinas encajadas o por sumideros dentro de una dolina. Las dolinas encajadas son formas generadas dentro del perímetro de la dolina antigua. Ello es resultado de la extensión superficial de las dolinas, las cuales alcanzan a otras zonas de intersección de diaclasas, aptas para la disolución y distintas de la inicial; originando de esta forma las dolinas satélite que en ocasiones puede tener más importancia en la absorción que la principal.

Las úvalas y los poljés casi siempre son formas compuestas. Las úvalas en unos casos pueden ser consideradas aún como formas simples, pero generalmente tienen dolinas y sumideros satélites. En cuanto a los poljés no puede concebirse su funcionamiento ni su extensión sin la existencia de diversos elementos cársticos. Dentro de los poljés existen campos de dolinas, sumideros y ponders, que complican enormemente no solo su morfología sino su dinámica.

El paisaje cárstico

Chardonnet (1955) en Llopis (1970) diferencia relieves calizos y relieves cársticos, que distingue debido a que en el segundo los fenómenos de disolución ocupan un lugar sobresaliente, mientras que en el primero están determinados sobre todo por el carácter físico y estructura del material, sin intervención a gran escala de la disolución.

Lo cierto es que las calizas tienen algunas características morfológicas que difieren profundamente de las de cualquier otro relieve. Sin embargo, en las regiones muy húmedas, como es el caso de Yucatán, el carst está cubierto por tapiz edáfico y por zonas forestadas, donde el paisaje no tiene nada de desértico y la erosión de éstas es más desarrollada.

Los campos de lapiaz o lenar son en cambio las formas comunes en todo el carst. Las aguas de escurrimiento que fluyen por las vertientes hacia las formas de absorción ejercen una acción mecánica y química sobre la caliza; erosionando y corroyendo la roca, para lo cual utiliza habitualmente toda clase de fisuras, planos de estratificación, diaclasas, leptoclasas, etcétera. Estas líneas de mínima resistencia de la masa caliza son excavadas de tal modo que se origina un micro relieve abarrancado, modelado sobre arcillas. Las crestas son mucho más agudas y permanentes, pero el desarrollo en profundidad es mucho menor, aunque existen cauces de muchos metros de profundidad. Este conjunto de cuchillas y micro *talwegs* es el lapiaz. Existe lapiaz de diversas escalas de desarrollo y sus características dependen de tres factores: la composición del material calizo, de su estructura y el volumen de agua.

Los lapiaz desarrollados sobre las calizas son generalmente muy diferentes, en las calizas encontramos lapiaz de diaclasa o el de plano de estratificación; cuando las capas son verticales en ambos tipos son frecuentes las perforaciones o conductos embrionarios que nos revelan que también a través de las capas de lapiaz pueden producirse formas de absorción (McGrain en Llopis, 1970:94).

El lapiaz es un fenómeno de modelado de vertientes y cuanto mayor sea el volumen de aguas circulantes mayor será su desarrollo. El mayor desarrollo del lapiaz aparece en los carst tropicales que pueden tener hasta 20 metros de profundidad, aislando torres, originando el *kegelkarst* propio de zonas cálidas.

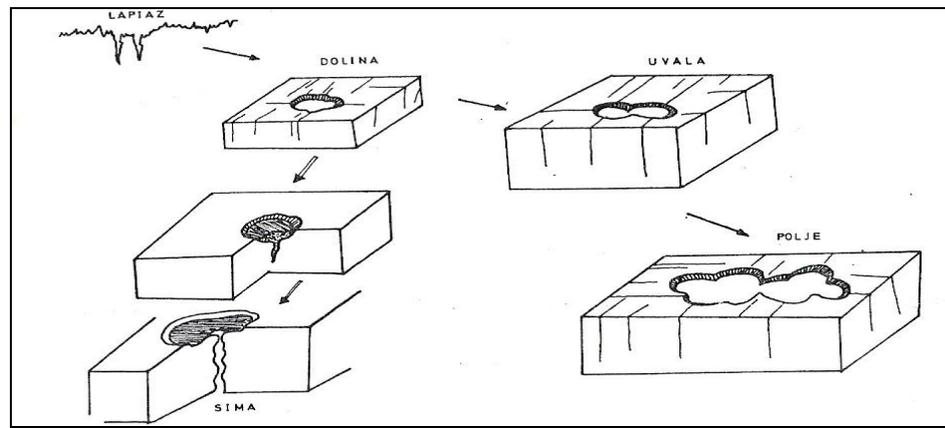
El interés que puede tener el lapiaz es que con toda probabilidad es también una forma de absorción, puesto que en él abundan los conductos de erosión a modo de cadenas de pequeños *potboles arrosariados* que pueden alcanzar zonas profundas. Según Llopis (1970), es muy probable que las formas de conducción del carst embrionario arranquen de campos de lapiaz, y dichos campos constituyan el punto de partida del desarrollo de una fase de carstificación.

El lapiaz se debe considerar como el primer fenómeno cárstico compuesto, ya que existe en el carst embrionario y en las plataformas de carst antes de la generación de las

dolinas. La dolinización se desarrolla después de la lapización o lenarización, así la dolinización representa el comienzo de la madurez del carst mientras que la lapización constituirá el momento de juventud.

El lapiaz puede desarrollarse a escalas diferentes, según la acción de los tres factores antes mencionados, puede existir microlapiaz formados por pequeños surcos de pequeña longitud y profundidad.

El caso limite del desarrollo del lapiaz coincide también con las formas de senilidad del macizo, a veces de una capa caliza, desarrollándose entonces formas gigantescas.



Relaciones entre lapiaz y otras formas de absorción

Fuente: Llopis 1970:97

Circulación de las aguas superficiales

“El estado de Yucatán carece de corrientes superficiales permanentes y aún no se ha podido demostrar que los movimientos del agua se efectúen a través de cauces subterráneos” (Duch 1975). Sin embargo, en la porción central y sur de los estados de Campeche y Quintana Roo existe una gran presencia de escorrentía superficial y formación de aguadas y lagunas. Quiñones en Duch (1975) plantea que el río Champotón en el sur occidente del estado de Campeche posee una corriente que en ciertas épocas del año fluye en dirección contraria a su desembocadura sugiriendo así la posibilidad de no ser considerado como un verdadero río sino más bien como una fisura a través de la cual afloran las aguas subterráneas. De cualquier forma en esta porción centro sur es posible que los ciclos de evolución se acerquen más al fenómeno cárstico típico que los que se aprecian en la porción correspondiente al estado de Yucatán.

En la región sur de Yucatán la mayor parte del agua de lluvia se filtra directamente por la caliza del tipo *sabkab*, penetra por las grietas de este o por las grietas de caliza más compactas después de un corto tiempo de escurrimiento por el fondo de los terrenos bajos.

Todas estas aguas circulan subterráneamente dentro de conductos cubiertos en la caliza por disolución de la misma, formaciones que constituyen una suerte de cauces subterráneos, o en los tipos de caliza granulosa (*sabkab*) formando verdaderas capas freáticas.

Debido a la falta de desniveles pronunciados, no existen en la península verdaderas resurgencias, es decir, no hay afloramientos de ríos subterráneos de rápidas corrientes, tan frecuentes en los terrenos calizos de relieve más accidentado. El movimiento de las lagunas subterráneas es más bien lento en general, por lo menos en las capas no muy profundas, y parece progresar de las partes centrales (este y norte de Campeche, oeste de Quintana Roo y sur de Yucatán) hacia algo más elevado y hacia la periferia. Los ríos subterráneos desembocan en fuentes bajo el nivel del mar más allá de la costa (Sapper en Miranda, 1958) habiendo resurgencias en las ciénegas. No obstante pueden existir depósitos formados por hundimientos al interior de la costa, como la laguna de Bacalar al sureste de Quintana Roo.

Algunos efectos frecuentes de la circulación subterránea de las aguas son la formación de profundas grutas con agua en el fondo y frecuente hundimiento, parcial o total, de las bóvedas de estas grandes cavernas. A menudo el resultado, cuando el hundimiento es reciente y su fondo queda por debajo del nivel freático de las aguas subterráneas, es la formación de anchos pozos naturales que reciben en la región el nombre de cenotes.

La formación de una laguna de aguas someras, que ordinariamente es de tamaño pequeño, recibe el nombre de aguada y se nutre de aguas superficiales.

Castany (1971) señala que si suponemos un flujo lateral en un ambiente homogéneo, la circulación de las aguas de la roca calcárea fisurada es determinada por la forma, las dimensiones, la frecuencia, la disposición y la orientación de los espacios vacíos (Castany, 1971: 577).

Si las fisuras son muy finas y numerosas y si la roca es porosa, a pesar de la presencia de algunas fisuras abiertas y cavidades, el terreno se comporta como un medio permeable en pequeño y el régimen de flujo en las aguas subterráneas es laminar. Por el contrario si las fisuras son anchas y las cavidades subterráneas abundantes el flujo será turbulento; en este caso los espacios vacíos actúan como canales de drenaje de las zonas de permeabilidad de grietas.

Sea cual sea el rasgo de las fisuras, la circulación de las aguas está determinada por las características de la fisuración entre las que destacan su morfología y su orientación. En su transcurso, las aguas subterráneas deben ir recorriendo las fisuras, de ahí los cambios frecuentes en su trayectoria. Las velocidades y direcciones de flujo están determinadas por la frecuencia, forma, disposición y orientación de las fisuras y cavidades subterráneas, sin embargo debe tomarse en cuenta la litología, estratigrafía y geomorfología del lugar que se estudia.

Existen reglas generales del flujo de las aguas subterráneas en las cuales se expresa que existe un hundimiento progresivo de las aguas subterráneas, ya que el zócalo generalmente está constituido por una serie de fisuras más finas que con la disolución de la roca se van agrandando permitiendo así la infiltración del agua y que el flujo general se dé en dirección del drenaje principal de las zonas desde los puntos elevados a los más bajos.

Morfología subterránea

Tipos de formas subterráneas

Lange (1959) hace un intento de explicar analíticamente las formas de caverna, formas que están lejos de ser comprendidas matemáticamente. En las formas penetrables podemos considerar tres tipos distintos:

1. Formas de erosión, generadas con predominio de la erosión.
2. Formas clásticas, originadas por hundimientos con predominio de los procesos de disolución.
3. Formas de reconstrucción, formadas por los depósitos de carbonato de calcio precipitados después de los procesos de disolución.

Las aguas cársticas surgen al exterior una vez que han circulado por la masa caliza creando manantiales. Según Llopis (1970) la mayor parte de los manantiales tienen grandes caudales y fuertes variaciones estacionales o accidentales, estas variaciones se darán por fuertes precipitaciones extraordinarias. El material cárstico emerge de la roca caliza a través de una fisura o sale de una caverna a veces transitable y de mucha longitud. No existe una evolución acabada de los manantiales por lo que Llopis hace una clasificación tomando caracteres sistemáticos diferentes. Utilizando la morfología y topografía de los manantiales,

el autor los divide en: subaéreos aquellos que emergen en la superficie continental, y submarinos que emergen bajo el mar. Con los primeros podemos identificar tres tipos: 1) surgentes por encima del nivel de los cauces superficiales; 2) surgentes al nivel de los cauces superficiales, y 3) surgentes bajo los *talwegs* de los cauces superficiales.

Los manantiales que emergen por encima del *talweg* pueden hacerlo a presión o en conducción libre, en este caso la emergencia se hace por cavernas activas penetrables. Pero no siempre la emergencia del agua se hace de este modo; en ocasiones aparece un sifón²³ que impide la continuidad de la penetración entonces este manantial será sifonante, pero sin presión el agua surgirá tranquila y mansamente. Hay que aclarar que la penetrabilidad está también en función del desarrollo y amplitud de las cavidades.

Tipos de alimentación

Los manantiales cársticos se dividen en resurgencias y surgencias. Las primeras son emergencias; procedentes de la salida de aguas sumidas en masa en otra zona mientras que las surgencias proceden de la emergencia de aguas colectoras autónomamente por el aparato cárstico.

Surgencias y resurgencias pueden ser permanentes e intermitentes, según funcionen continuamente o sólo lo hagan en determinados momentos. Ello no solo depende del caudal alimentador sino de las características de la topografía de los conductos por donde circula el agua. En el sur de Yucatán pudieron haberse presentado surgencias durante el paso del huracán Isidoro en el 2002 lo cual explicaría el origen de los llamados corrientales, pues la precipitación extraordinaria pudo haber puesto en funcionamiento los conductos que ocasionaron estas surgencias.

Los manantiales permanentes pueden ser ascendentes y descendentes. La emergencia a presión es siempre consecuencia de que el agua se encuentre por debajo de la superficie piezométrica²⁴. La emergencia libre, por el contrario, implica que esté situada por encima del nivel piezométrico cárstico, condición para todo tipo de circulación cárstica fluvial.

²³ Entendiendo como sifón una estructura en forma de “J” invertida donde el extremo más corto está en contacto con el agua, la cual ascenderá por esta estructura a mayor altura que su superficie desaguando por el otro extremo.

²⁴ Entendiendo piezométrica como el nivel que alcanza el agua a cautiva o confinada

Las fuentes intermitentes pueden o no estar relacionadas con fuentes permanentes; en el primer caso se llaman *trop-pleins* por ser auténticos rebosaderos de fuentes permanentes. El *trop-pleins* suele estar encima de la surgencias, generalmente, sobre el mismo accidente tectónico que ha originado el manantial y muchas veces no es sino un antecesor del manantial abandonado por descenso del nivel de la base o por pérdida del caudal. Los *trop-pleins* pueden ser simples o múltiples; a veces existen varios sobre puestos y funcionan progresivamente de abajo hacia arriba; los inferiores son los primeros en brotar cuando sobre viene un aumento de caudal, luego van funcionando los más elevados.

Para Llopis (1970), las verdaderas fuentes intermitentes son aquellas que no tienen relación alguna con los manantiales permanentes; son conductos penetrables o no, aparentemente muertos pero que en un momento de fuertes precipitaciones expulsan grandes volúmenes de agua; pueden corresponder a dos tipos distintos según la topografía de las cavidades: de sifón o de depósito. Las primeras funcionan gracias a un simple sifón acodado que solo actúa cuando el nivel piezométrico está por encima de la boca de salida; cuando antes de la salida existe un depósito, la fuente puede funcionar sin necesidad de avenidas importantes puesto que un caudal normal y regular puede llenar el depósito y el tubo de salida cuando el agua llega a la boca es expulsada del depósito por hacerse el vacío, en este caso, la emisión tendrá cierta periodicidad, sobre todo si no está afectado por periodos de inundación.

Las mismas características tienen las emisiones intermitentes cuando proceden de la colmatación²⁵ de capas cársticas profundas. Estas emisiones suelen tener lugar después de fuertes precipitaciones, y tardan en producirse el tiempo que necesita el agua de infiltración, procedente de las zonas altas de la masa de caliza, en llegar a rebosar la capa cárstica. En estos casos, suelen ser manantiales ascendentes. Morfológicamente son simas surgentes que se abren en el fondo del valle, nunca en la vertiente.

Tipos de estructura

Si tomamos el criterio estructural, nos encontramos con que cualquier tipo de fisura puede provocar una emergencia, la importancia o dimensiones de esta dependerá del tipo de fisura. Se trata de un fenómeno en pequeña escala en donde los planos de estratificación que actúan como conductores hídricos son cortados por un valle, y aparece entonces una

²⁵ Entendemos por colmatación, el depósito de partículas finas tales como arcillas o limo en la superficie, que tiene como consecuencia la reducción de la permeabilidad

surgencia; los planos de estratificación de las vertientes inclinados hacia los valles frecuentemente pierden agua.

Aún más frecuentes son las fuentes de diaclasas que también emiten caudales, aunque estos son mucho mayores que los anteriores. En el caso más común una diaclasa, que corta los planos de estratificación que actúan como conductos hídricos, actúa de plano colector y reúnen los caudales de todos los planos que corta. Además las diaclasas, por su carácter de roturas, ofrecen mayores posibilidades a la circulación cárstica de los planos de estratificación; los fenómenos de disolución avanzan más rápidamente y la colección de agua aumenta considerablemente.

El carácter específico de las fuentes de diaclasa dependerá de las características geométricas; las diaclasas verticales dan origen casi siempre a fuentes descendientes, y en la mayor parte de las veces emiten agua de circulación libre. Esto es consecuencia de que la erosión es más rápida en las diaclasas verticales y el agua pasa pronto de la fase cautiva a la fase fluvial. Las diaclasas inclinadas, en cambio, favorecen el descenso del agua cuando la inclinación esta en el sentido de la corriente, entonces se originan fuentes descendentes. Cuando por el contrario la inclinación esta en sentido inverso a la corriente, la fuente será ascendente. Las diaclasas cortantes constituyen planos de impermeabilidad y pueden actuar como superficies impermeables por las cuales el agua invariablemente emergerá.

Las fallas provocan la emisión de manantiales igual que las diaclasas, pero en una escala mucho mayor. Si se trata de un plano de falla simple no será muy diferente de uno de diaclasa, pero a menudo las fallas tienen grandes complicaciones geométricas como formación de diaclasas de rotura y fallas satélites cuyos planos convergen con el de la falla principal. Estas fallas satélites tienen un papel muy importante en las surgencias, ya que generalmente es por ellas y no a través de la falla principal por donde se producen las emisiones.

Cuando la falla presenta zona de brechificación, ésta siempre funciona como una zona colector de máxima permeabilidad y la emergencia se hace por este plano brechificado.

Muchas veces la falla pone en contacto la masa caliza carstificada con una zona impermeable arcillosa en cuyo caso la surgencias tiene un sólido plano y mayor estabilidad, puesto que esta superficie impermeable constituye el nivel base cárstico (Cvijic en Llopis,

1970). Las surgencias cársticas pueden dividirse en dos conjuntos: 1) surgencias de nivel de base y 2) surgencias suspendidas o cabalgadas.

Un carst muy bien alimentado con abundancia de agua, y aunque posea un nivel impermeable alto, tiene su superficie piezométrica alta por lo que pueden existir emergencias de dos tipos.

Tipos de emergencia

La emergencia de una fuente cárstica puede ser sencilla (mono emergencia) y múltiple (poli emergencia). En el primer caso, las aguas emergen de un solo conducto; en el segundo emerge por varios conductos y se reúnen inmediatamente para formar un arroyo. Las poli emergencias son muy comunes; su origen casi siempre es por la existencia de una fisuración muy apretada y de intervalos muy pequeños; las poli emergencias pueden ser horizontales o verticales según la disposición de los conductos. En este tipo de manantiales es muy frecuente que los conductos más altos estén ya muertos y los medios funcionen como *trop-pleins*, siendo únicamente permanentes los más bajos. El estudio en el tiempo de estos conductos se puede relacionar con los ciclos climáticos recientes y con las oscilaciones o cambios de alimentación de los aparatos cársticos.

La evolución cárstica

Dentro de la evolución cárstica existen secuencias de fenómenos que se repiten formando ciclos escalonados en el tiempo; estos ciclos a su vez se constituyen con la sucesión de periodos los cuales pueden comprender diversas fases de evolución.

La carstificación es un fenómeno que se produce en todas las masas de calizas expuestas a la intemperie. Sin embargo, la intensidad de la carstificación no será igual en todas las regiones calizas; esto dependerá de factores como la composición de la caliza, la agresividad del agua, la estructura y el clima.

Evolución superficial del carst

La evolución cárstica comprende una sola unidad y no puede separarse la superficial de la subterránea. Sin embargo, describiremos las características más comunes por separado para una mejor comprensión.

La evolución cárstica es un desarrollo morfológico de la masa caliza que está condicionada por su espesor total. En las regiones tabulares el espesor total coincide con el espesor estratigráfico, pero no en cambio en las regiones plegadas, donde la acumulación de pliegues multiplica el espesor original de las masas calizas

Cuanto mayor sea el espesor total de una masa de caliza mayor será también el desarrollo del carst, y de manera paralela con las ocurrencias que el clima presente. Pero la caliza tiene un límite en profundidad impuesto por una pared impermeable arcillosa o margosa, este límite se ha llamado clásicamente nivel de base cárstica. Esta pared impermeable también condiciona la evolución del carst de tal modo que este presentará mayor avance cuanto más cerca este la superficie del nivel de base cárstico puesto que la evolución cárstica tiende, en esencia, a la degradación del relieve. Es por esto que en el trascurso de dicha degradación va siendo progresivamente exhumado de la pared impermeable.

Dicho lo anterior, se puede establecer una sucesión de fases de carstificación que se producen siempre en el trascurso de los periodos evolutivos, estos se muestran a continuación:

Periodo juvenil	Periodo de madurez	Periodo de senilidad
Fase de lenarización. Dominio de la circulación superficial.	Fase de uvalización. Conjugación de dolinas y generación de poljés. Circulación subterránea	Fase de degradación. Generación de cañones. Vuelta a la circulación superficial
Fase de dolinización, interfiriendo con la anterior		Fase de destrucción. Generación de topografía ruiniforme. Circulación superficial

Las carstificación comienza con fenómenos de disolución superficial que caracterizan su período juvenil. Primeramente se establecen campos de lapiaz y comienzan, en las zonas de poca pendiente, la generación de dolinas; entonces, la fase inmediata es la dolinización en la cual se forman campos de dolinas aisladas que pueden cubrir superficies muy extensas.

El periodo de madurez se caracteriza sobre todo por la aparición de dolinas conjugadas y úvalas, así como por un mayor desarrollo de los campos de lapiaz que se hacen más extensos y sobre todo se excavan profundamente. Aparecen también algunas

simas en los fondos de las dolinas que ya han perdido sus contornos circulares. Por otro lado, la absorción en general se hace mucho más intensa; en las fases finales del periodo de madurez hacen ya su aparición los poljés generados por conjugación de úvalas. Los poljés de origen tectónico aparecen en los primeros momentos de la carstificación. En este periodo desaparecen totalmente las aguas superficiales, la abundancia de dolinas, y los sumideros hacen que la circulación del agua sea totalmente subterránea.

El periodo de senilidad se caracteriza por la degradación de las formas cársticas superficiales, es decir, la ausencia de dolinas, cuyas dimensiones son enormes a consecuencia de la conjugación formando así úvalas y poljés; las formas de conducción se derrumban frecuentemente originando gargantas o trincheras cársticas con formas residuales, las gargantas o cañones cársticos son en realidad las primeras manifestaciones del periodo de senilidad; cuando esto progresa, los cañones son también degradados, los campos de lapiaz barridos y lo mismo pasa con las dolinas, simas y todas las formas de absorción. La pared impermeable se acerca tanto a la superficie que la evolución cárstica ha de resumirse a degradar primero y destruir después los restos de la masa caliza. Entonces se desarrollan las masas residuales y el paisaje adquiere unas características excepcionales.

La evolución superficial del carst por supuesto no puede encuadrarse dentro de unas líneas demasiado rígidas, ya que si bien el objetivo final es la destrucción de la masa caliza carstificada, las fases que se suceden pueden ser muy diversas dependiendo de las circunstancias en que se realice la evolución, entre las cuales el clima representa un papel muy importante.

La evolución subterránea. Espeleogénesis

La evolución subterránea se produce simultáneamente a la superficial, ya que en la superficial se presentan las formas de absorción del carst y en la subterránea las formas de conducción. Los cuatro periodos de evolución subterránea del carst permiten establecer una serie de fases evolutivas. Estas fases, al igual que con las de evolución superficial, muchas veces no tienen un desarrollo tal, como se menciono anteriormente, sino que pueden presentar varias de ellas, pero pueden considerarse las siguientes características más comunes:

Periodo embrionario	Periodo de juventud	Periodo de madurez	Periodo de senilidad
Fase de infiltración a lo largo de las fisuras. Predominio de la disolución.	Fase de circulación a presión hidrostática, por generación de surgencia. Instalación de aparatos cársticos. Equilibrio de disolución y erosión.	Fase clásica. Generación de caos, conos, etc., accidentación de los talwegs fluviales.	Fase de sedimentación. Comienza el relleno de las cavidades cársticas. Desaparece la circulación fluvial, comenzando por ser intermitente y terminando con la muerte hídrica.
Fase de acumulación y circulación a presión hidrostática por conductos embrionarios. Dominio de la disolución; intervención de la erosión.	Fase de circulación fluvial, mixta al principio. Dominio de la erosión sobre la disolución.	Fase de estalagmitización generación de formas litoquímicas. Las fases 5 y 6 pueden alternar y repetirse en el desarrollo de un proceso espeleogenico. Continúa en todas ellas la circulación fluvial Periodo de senilidad.	Fase de fosilización. Relleno total de las cavidades por los sedimentos. Las fases 7 y 8 pueden alternar con fases clásicas y de estalagmitización.

La evolución subterránea empieza con un período embrionario durante el cual la penetración del agua a través de las fisuras se hace primeramente gota a gota, y después en condición forzada cuando la disolución ha progresado suficientemente para generar conductos. El agua acumulada en estos conductos permanecería estática y acabaría por brotar a la superficie. Toda la evolución del carst subterráneo se realiza exclusivamente en la región hidrodinámica (entendida esta como la región situada por encima del manantial) mientras la zona estática profunda permanece intacta y su evolución es extremadamente lenta.

El período juvenil se caracteriza por la circulación forzada o circulación a presión hidrostática, durante la cual se generan las formas de erosión cilindroideas. Estos momentos de la evolución subterránea corresponden es superficie al de lenarización y comienzo de dolinización

Poco a poco los conductos van aumentando su diámetro y se conjugan a consecuencia de persistir los procesos de disolución y erosión a presión hidrostática con lo que, llega el momento en que a igualdad de caudales circulantes, el agua no llena completamente los conductos y comienzan el proceso fluvial o de circulación libre.

El paso de la circulación forzada a la libre requiere de mucho tiempo, ya que este cambio no es uniforme ni regular. Cuando predomina la circulación libre en todo el conducto o red de conductos, el río subterráneo es un afluente más del río superficial colector y su evolución se realizará entonces de manera semejante a la de cualquier río superficial.

La fase de erosión fluvial de la circulación subterránea es una característica aún del periodo juvenil. El periodo juvenil de las formas de conducción del carst termina con los primeros procesos cársticos que determinan derrumbamientos.

El periodo de madurez comienza al presentarse los primeros derrumbes producidos cuando las bóvedas alcanzan grandes alturas que a su vez son resultados de los procesos de decalcificación, por una parte, y de la excavación de los *talwegs* por otra. Estos derrumbes obstaculizan algunas veces la libre circulación de las aguas y crean niveles de base locales generándose muchas veces lagos por lo que algunas veces se puede presentar morfologías de erosión contrastantes y que no corresponden con el periodo de evolución. Mientras esto ocurre las cavidades pueden ser abandonadas por el agua a consecuencia de dos procesos principales: un ciclo climático seco y pérdida de caudales circundantes, y el segundo, el paso del agua hacia la profundidad por causa de la gravedad.

En estos casos las cavidades secas corresponden siempre a surgencias y puede ocurrir que no vuelva a circular más agua, en cuyo caso vendrá la muerte hidrológica de las cavidades o que circule durante los periodos de avenidas y fuertes precipitaciones anómalas transformando la cavidad en *trop-plein*. En este caso, la erosión persiste durante los periodos de actividad de las cavidades y se desbarata frecuentemente la sedimentación, con lo que se mantiene durante un tiempo más la dinámica hidrológica. Pero finalmente termina por llegar a la muerte hidrológica y comienza entonces la senilidad de la caverna.

El periodo de senilidad se caracteriza por el predominio de la sedimentación. El proceso de estalagmitización adquiere grandes dimensiones. Sin embargo, existen cavernas muertas en la fase de juventud, entonces se hablaría de cavidades modificadas. Lo más común es que las infiltraciones sean lo suficientemente abundantes para realizar un proceso litogénico muy desarrollado. A menudo durante estos procesos se presentan movimientos de soliflucción. Tampoco es extraña la alternancia de procesos cársticos normales como derrumbes y hundimientos por decalcificación. El término del periodo de

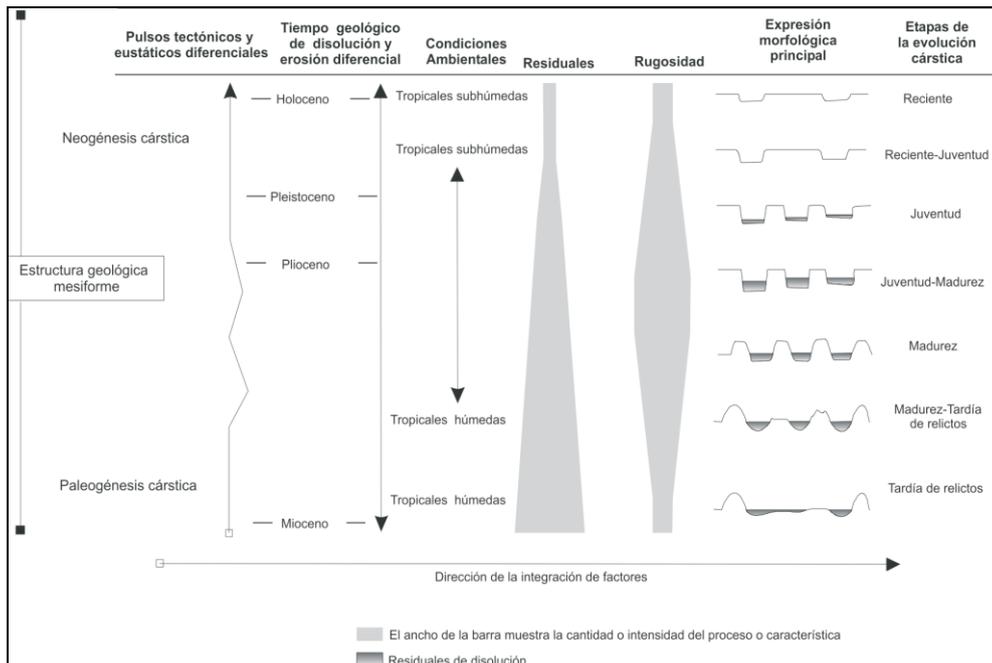
senilidad consiste en su total fosilización o en su muerte por anulación de la infiltración y fracaso del proceso de estalagmitización.

Para el sur de Yucatán la evolución cárstica presenta variantes que se derivan de las condiciones propias de su evolución geológica, tectónica y ambiental. Los factores físico-geográficos más importantes de carácter endógeno y exógeno son: la morfo estructura, movimientos y formas tectónicas antiguas y recientes, tiempos geológicos de disolución (condiciones climáticas) y solubilidad de la roca, densidad y distribución de fisuras, fracturas y diaclasas y por último fallas rugosidad como indicador morfológico de los grados de evolución.

El carst de Yucatán se desarrolla sobre estructuras tectónicas tabulares o mesiformes de estratos monocincales dispuestos en forma horizontal o sub horizontal. También se caracteriza por formas de absorción circulares, de desarrollo vertical, circulación vertical y horizontal y surgencias periféricas.

La morfo estructura tabular o estructura congénita ha sido modificada por basculamientos de los que podemos diferenciar dos grandes bloques la estructura geológica profunda (López-Ramos en Bautista–Palacio, 2005) uno de ellos al sur que inició su levantamiento en el Mioceno y otro al norte iniciando su levantamiento en el Plioceno y continuando hasta el Cuaternario. La influencia de la actividad neo tectónica ha provocado el levantamiento en forma basculada de mayor intensidad en el sur del estado, originando sistemas de fracturas orientados al norte y noreste (Lugo en Bautista–Palacio, 2005). De esta manera se ha originado en el sur el carst paleogénico, donde se encuentran las etapas más avanzadas de la evolución cárstica y en el norte correspondiendo con la etapa reciente y de juventud. A partir de las diferencias en los bloques se originan expresiones morfológicas exocarsticas tipificadas según las secuencias evolutivas, Palacio (2003) identifica siete grados o niveles de evolución: reciente, reciente juventud, juventud, juventud-madurez, madurez, madurez- tardía de relictos y tardía de relictos.

Diagrama representativo de la evolución cárstica



Elaborado por: Palacio, 2003

En el diagrama de evolución cárstica se señalan las condiciones ambientales tropicales sub húmedas y húmedas (lluvias en verano) relacionadas con los grados de evolución, sin embargo, es necesario notar que su vinculación genética con los tipos de paisaje cárstico no es muy clara.

Lo que si es evidente es que en los países tropicales los procesos de disolución se caracterizan por ejercerse más violentamente en superficie que en profundidad, predominando por tanto la disolución superficial sobre la subterránea (Corbel, 1957).

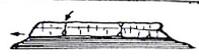
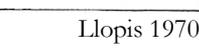
Carst y estructura

Tipos de carst sobre estructuras congénitas.

Las calizas pueden estar aisladas o asociadas a otros elementos estratigráficos. En condiciones tectónicas adecuadas las calizas interestratificadas pueden ser clasificadas; esto ocurrirá si el conjunto está plegado o inclinado y la superficie topográfica corta las secuencias apareciendo entonces superficies libres de las capas calizas sobre las cuales se modelan las formas de absorción y comenza la carstificación cuya importancia dependerá del espesor de la capa caliza. Las aguas cársticas quedarán cautivas entre la pared y techo impermeables, y desde el punto de vista dinámico tendrá las mismas características de las

aguas artesianas cuando la secuencia de la caliza se encuentre por debajo de la superficie piezométrica de un holokarst mientras que cuando se encuentren por encima de esta superficie estas capas sufrirán una carstificación precaria, ya que tiene pocas posibilidades de alimentación y circulación.

El carst adquiere características distintivas cuando se encuentra sobre alguna estructura tectónica. Estos tipos de carst son descritos a continuación.

TIPOS	TIPOS CVIJC	FORMAS CARSTICAS. CIRCULACION	
a) De mesa	Merokarst	Formas de absorción circulares. Cavidades de desarrollo vertical. Circulación vertical y horizontal. Surgencias periféricas.	
b) De cuesta	Holokarst	Formas de absorción disimétricas. Cavidades con predominio de inclinación a 45°.	
c) Jurásico	Holokarst Merokarst	Formas circulares y disimétricas. Cavidades verticales e inclinadas. Surgencias ascendentes.	
d) Isoclinal	Holokarst	Formas disimétricas. Cavidades inclinadas alrededor de 45°. Surgencias ascendentes.	
e) Imbricado	Holokarst	Como en el caso anterior, d)	
f) Cabalgante	Holokarst Merokarst	Formas de absorción regulares. Cavidades con tendencia a la vertical en la parte alta. Surgencias descendentes.	
f) Tabular	Merokarst	Como en el Karst de mesa a)	
g) De falla	Merokarst	Como en el Karst de mesa a)	

Llopis 1970

Tipos de carst según la estructura

Carst de mesa. Aparece en las regiones planas formadas por calizas sostenidas por una pared con propiedades impermeables, margoso o pelítico suspendido por encima de los *talwegs* superficiales. Por tratarse de carst suspendidos caen dentro de la categoría de Merocarsts.

En los carst de mesa los estratos son horizontales y la circulación será esencialmente vertical y descendente. En este carst las cavernas estarán ausentes; dominaran las formas altas y estrechas, y la topografía estará condicionada por las diaclasas con un modelado fluvial claro.

Carst de cuesta. Cuando las calizas están inclinadas formando cuestas, las características de la circulación y de la espeleogénesis se modifican considerablemente. Pueden ser merokarst y holokarst, según la capa impermeable inferior esté o no

suspendida. Las aguas serán cautivas y artesianas, y pueden presentarse o no surgencias según la evolución del relieve.

Cuando la pared impermeable esta suspendida solo habrá un merocarst. La circulación en la parte alta será horizontal o sub horizontal en la baja; de tipo fluvial y con surgencias que evacuaran inmediatamente el agua absorbida.

Carst de montaña. Es el propio de las regiones plegadas. Abundan en el los carst cautivos como consecuencia de encontrarse series constantes de calizas. Al igual que el carst de cuesta podrá ser holocarstt o merocarst, según la posición de la pared impermeable en relación con el relieve. El agua circulará perfectamente a lo largo de los planos de estratificación con lo que las formas de conducción serán alargadas y fácilmente se desarrollaran en ellas fenómenos cársticos. La evolución cárstica es incipiente cuando se trata de un carst casi embrionario; aparecen pequeñas capas cársticas que cuando tienen una alimentación excesiva se derrama por los bordes del sinclinal, generándose surgencias periféricas.

Carst isoclinal. Desarrollado sobre pliegues isoclinales. Es también esencialmente un carst de cuesta, pero estará condicionado por un sinfín de circunstancias morfológicas y estructurales.

Carst imbricado. Tiene las mismas características que el anterior, pero más complejo por la presencia de fracturas entre los pliegues. Estas fracturas son casi siempre zonas de acumulación hídrica por estar en contacto con las capas impermeables laminadas. Por este motivo, la raíz de las escamas es siempre una zona óptima para la surgencia de aguas cársticas. Los frentes suelen ser zonas de absorción y es ahí donde se instalan los sumideros, las úvalas y los poljés. Las formas de conducción tienden a la horizontal en las proximidades de la superficie piezométrica y son aún verticales en la parte alta del carst.

Carst cabalgante. Generado sobre cabalgamientos y mantos de corrimiento. Si el flanco superior esta accidentado por multitud de pliegues de detalle pueden tener suficiente envergadura como para albergar todo un sistema cárstico.

La morfología de las formas de absorción de los carst de montaña es muy expresiva puesto que en general son verdaderas formas estructurales y adaptadas a las alineaciones tectónicas, cuyos elementos están condicionados por las orientaciones y las formas mayores del carst como úvalas, poljés y grandes cavernas. Generalmente y según las características

del relieve, estas formas externas están distribuidas a alturas diferentes, también en general de tipo estructural. Este es el carst de los grandes poljés de tipo tectónico y de las complejas formas de conducción.

En las zonas plegadas, donde los estratos están verticales, la infiltración será mayor que en las zonas planas, ya que la fisuración aumentará por consecuencia de que los intervalos entre los planos de estratificación son generalmente menores entre las diaclasas; la infiltración se realizara en la zona de plegamiento en donde los estratos tengan una inclinación de 45°, ya que es ahí donde la densidad de la fisuración será máxima.

Carst de falla. Las regiones planas están frecuentemente cortadas por fallas que las dividen en compartimentos; lo mismo pasa con las montañas de plegamiento y fractura. Este tipo de carst actúa como los tabuladores merocarsts, pues casi siempre la pared impermeable está suspendida y con ella todo el sistema cárstico. El desarrollo de la espeleogénesis se hace utilizando preferentemente las diaclasas (como el carst de mesa) pero las arterias colectoras están instaladas sobre las fallas y las surgencias emergen también por ellas.

Carst y relieve

El relieve no es un factor que se deba ignorar. No podemos prescindir de establecer las relaciones entre carst y determinados tipos de relieve, pues ello puede darnos la clave para resolver muchos problemas de morfología cárstica.

Hay que tener en cuenta que el carst puede instalarse en cualquier tipo de relieve que tenga calizas y que la carstificación, aunque funcione independientemente, no puede escapar a la influencia de la evolución del ciclo general del relieve.

Así, cuando se desarrolla paralelamente a una fase de juventud del relieve, en un paisaje plegado, tendremos el típico carst de montaña. En un carst de montaña se produce una evolución que es condicionada por la evolución del relieve estructural juvenil durante la fase inicial de una morfogénesis sobre una estructura jurásica. En general podemos pensar que existe una relación entre morfogénesis y ciclo cárstico, y que el carst va evolucionando adaptándose a las posibilidades morfológicas que le ofrece el relieve.

En este sentido podemos hablar del carst de penillanura y de relieves policíclicos. Los primeros son carst mucho más frecuentes puesto que en las postrimerías del terciario y

principios del cuaternario han existido varias fases de peneplanización parcial, pero algunas de bastante extensión con lo que muchos relieves maduros de montañas medias han derivado del rejuvenecimiento de penillanuras terciarias.

El holocarst primitivo se transforma en merocarst y finalmente en carst muerto. En los carst de penillanura debe existir una superposición de formas cársticas; las simas residuales deben ser interpretadas como formas muertas correspondientes a carstificaciones pretéritas que coexisten con las formas actuales. No existen estudios detallados que pongan en evidencia las relaciones entre formas cársticas existentes en un mismo macizo que se encuentran en diferente estado evolutivo.

Cada nuevo ciclo de erosión en un carst de relieve policíclico que se produzca sobre un macizo calizo originaran evidentemente su red hidrográfica, cuyos residuos constituirán las hombreras sobre valles y terrazas, esto si se han depositado y no han sido destruidas. La carstificación invadiendo el macizo generará formas de absorción que colonizarán las regiones más apropiadas: dolinas de plataforma, hombreras y valles ciegos y muertos que se desarrollarán junto con otras formas viejas que incluso en algunos casos podrán ser reaprovechadas para la nueva circulación cárstica establecida.

Si aplicamos al carst las ideas generales acerca de la composición del relieve actual, y recordamos que por lo menos una parte de las formas que lo constituyen son paleoformas²⁶ bajo condiciones distintas de las actuales, nos daremos cuenta perfectamente de que un sistema cárstico viviente es en realidad la suma de un conjunto de formas cársticas generadas en épocas distintas y nunca es una sola carstificación.

Cuando conocemos a fondo una red cárstica y la situamos en el relieve actual se observan enseguida las enormes discrepancias que existen entre las divisorias superficiales y las subterráneas. En la mayoría de los casos cuando no se conoce el origen y la marcha de la circulación cárstica no existen posibilidades para determinar cuáles son las divisorias subterráneas. No hay que olvidar que la circulación cárstica está regida por la estructura mientras que la circulación sólo en determinados momentos de su evolución utiliza las líneas estructurales para su instalación y desarrollo. De aquí resulta una total independencia entre las divisorias de aguas superficiales y las divisorias de aguas cársticas, y aún podríamos hacer extensiva esta conclusión a todas las aguas subterráneas, pues raramente coinciden las divisorias superficiales y las subterráneas.

²⁶ Relieves generados en otras épocas.

Por esto, sólo un conocimiento muy acabado de la estructura de una zona cárstica o más fácilmente el uso de trasadores permiten determinar la marcha de la circulación de las aguas cársticas y obtener mapas de zonas de divisorias subterráneas y superficiales.

Carst y clima

El clima es el último de los factores que pueden modificar las características de una carstificación y sus formas resultantes. Las características climáticas influyen profundamente en el resultado de la carstificación dando formas características de los mismos, por lo que podemos hablar del carst climático.

Las distintas modalidades de reaccionar frente a las fluctuaciones climáticas o fluctuaciones de las condiciones exteriores dan lugar a las variedades climáticas en el carst.

De los factores climáticos, la precipitación nos indica el volumen de agua que puede intervenir en el proceso cárstico, pero la temperatura parece presentar una mayor influencia. El frío aumentará la agresividad del agua y favorece la disolución.

El estudio de las formas y procesos que aparecen bajo otras condiciones climáticas, fuera de los parámetros de la normalidad como lo sería un clima centro europeo, constituyen la hidrogeología cárstica climática.

Como el clima actual ha presentado grandes variaciones, en el Cuaternario, muchos procesos cársticos presentan características correspondientes a una sucesión climática dada. La clasificación climática del carst se hará desde un punto fundamentalmente térmico; en este sentido se pueden tener las variedades siguientes:

Carst frío. Se caracteriza por el alto poder de disolución del agua, de fusión de hielo y nieve. Dentro de las regiones frías hay que separar las zonas glaciares cuya presencia está controlada por latitudes elevadas o por altitudes importantes.

Una característica de estas regiones es su gran sensibilidad a la insolación lo que produce la formación de micro climas de solana y umbría.

La temperatura y la alimentación hídrica dan una gran variedad de tipos climáticos fríos.

Carst nival. Se desarrolla generalmente en la alta montaña, sin llegar a condiciones periglaciares y con alimentación de nieve en la estación fría. Las características del carst

nival son evidentes en las formas superficiales, donde el *jou* es la forma de absorción típica, así como los lapiazes muy desarrollados sobre las escarpadas vertientes calizas.

Carst peri glaciar. Aquí, el principal agente erosivo es la gelivación derivada de la alternancia hielo- deshielo. Si se encuentran tableadas y fisuradas, las calizas son fácilmente disgregadas por la gelivación dando potentes crío- canchales en los escarpes. La disolución de la caliza es bastante intensa por causa del agua de fusión y las formas superficiales son distintas dependiendo de que las condiciones climáticas sean húmedas o secas.

Carst glaciar. Este modelado es predominante, estando el proceso de transformación de la nieve en el hielo. El agua de fusión circula más bajo el hielo, dando arroyos sub glaciares, lo que contribuye a la instalación de un carst sub glaciar y aparición de gargantas.

Las formas superficiales de lapiaz y dolinas están muy desarrolladas aunque predominan los lápices, que en las partes bajas pueden llegar a estar recubierto por materiales morrénicos. La infiltración de las aguas de fusión tienen grandes caudales desarrollando en extremo el carst profundo.

Carst polar. En el carst polar el agua de fusión del hielo forma arroyos superficiales que solo en el exterior del casquete se ponen en contacto con el suelo. En los acantilados calizos la disolución rápida provocada a nivel del mar origina salientes que al carstificarse contribuyen a intensificar la erosión litoral.

Carst pluvial y pluvionival. Se desarrolla en climas frescos con influencia oceánica y gelivación y nivación débiles. La nieve cae pocos días al año y tiene poca duración. Los fenómenos característicos de climas fríos son raros.

Las formas de absorción están bien desarrolladas sobre los rellenos correspondientes a modelados antiguos, fundamentalmente glaciares. En profundidad la erosión cárstica es muy importante debido a la elevada esorrentía de las zonas de influencia oceánica

En las zonas frescas con tendencia a la continentalidad, el carst procede de los periodos húmedos del Cuaternario, por lo que tiene un desarrollo muy superior al que originaría la circulación actual. El aspecto más importante es la desaparición de ríos superficiales al llegar el contacto con la caliza, entonces aparece una capacidad de disolución mayor de la correspondiente a la infiltración local.

Carst tropical. En el carst tropical, la agresión a la caliza se realiza de formas muy fuertes, se ha dicho que “se disuelve como el azúcar” y según Wilford y Wall (en Llopis, 1970) se debe fundamentalmente a la acción pluvial mientras que el mármol y la dolomía dan formas mucho más suaves.

El aspecto fundamental del carst tropical es la presencia de restos calizas de pendientes escarpadas pero de dimensiones mayores que emergen de una llanura degradada y cubierta por residuos de decalcificación.

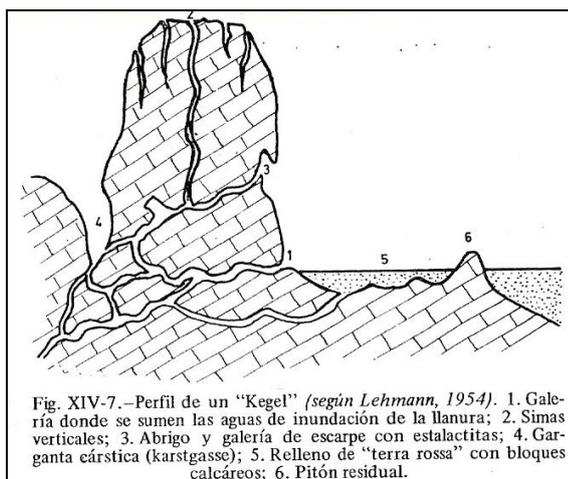


Fig. XIV-7.—Perfil de un “Kegel” (según Lehmann, 1954). 1. Galería donde se sumen las aguas de inundación de la llanura; 2. Simas verticales; 3. Abrigo y galería de escarpe con estalactitas; 4. Garganta cárstica (karstgasse); 5. Relleno de “terra rossa” con bloques calcáreos; 6. Pitón residual.

Perfil común en el carst tropical

Llopis, 1970

Para la realización de este proceso es necesaria la transformación del carbonato en bicarbonato soluble y la posterior eliminación de este bicarbonato. Las depresiones se han derivado de una red hidrográfica con un frecuente régimen de crecidas, siendo los mogotes o pitones los restos de la disección de los interfluvios.

Corbel (en Llopis, 1970) distingue dos tipos de carst tropical los que derivan de una capa calcárea delgada, donde los mogotes son testigos finales sobre la superficie insoluble, y los que emergen de un llanura aluvial, donde la disolución está frenada por los aluviones, siendo la actividad de disolución más intensa en la base de los escarpes lo cual aumenta su pendiente.

La distribución de las colinas cónicas viene controlada en primer lugar por la presencia de series calizas horizontales o con buzamientos suaves, así como una red de diaclasas sub verticales formando una malla rectangular que favorece la disolución de la caliza dando una estructura constante. Bajo condiciones de lluvias tropicales y evaporaciones altas las zonas de calizas residuales, se recubren con una coraza de carbonato

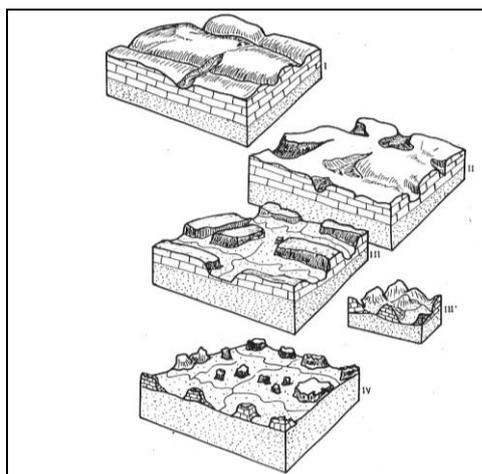
cálcico secundario, con lo que las elevaciones se hacen así más resistentes y las depresiones más profundas que es donde se acumula la “*terra rossa*”.

Según Lehmann y Pannekoek (en Llopis, 1970) se pueden identificar tres fases en la evolución de un carst tropical. La primera fase corresponde al desarrollo de red hidrográfica orientada según las direcciones tectónicas, dejando en las compactas y suaves lomas, que van siendo degradadas por la erosión lateral de la red hidrográfica.

La segunda fase corresponde a un rápido retroceso de los escarpes dando cerros tabulares que pasan a los cerros en mamelones.

La fase final corresponde a una reducción de los cerros que aumentan su escarpe y se transforman en los *kegel*, mismos que se encontraran muy dispersos.

Evolución de un carst tropical (según H. Lehmann y A Pannekoek)



Llopis 1970

Renault (en Llopis, 1970) ha establecido una evolución del carst tropical partiendo de una llanura caliza con dolinas donde la erosión lineal y areolar de la red fluvial que esté equilibrada y en espera de una deformación que origine un encajamiento de los ríos activos pasará a una etapa en que la erosión lineal es mucho más intensa, por lo que empieza el retroceso de las laderas favorecidas por la estructura.

Según Jennings (1971) una de las peculiaridades del carst tropical es la verticalidad y horizontalidad del relieve con la minoración de pendientes intermedias. Es conocido el predominio de formas convexas, a menudo con paredes verticales y cimas cónicas y redondas y de superficies con fondo más o menos llano (mogotes).

Los desniveles que se observan en la región sur de Yucatán deben su origen a la tectónica peninsular. Por muy pequeños que pudieran ser los movimientos ascendentes en esta región constituyen una fuerza que tiende a modificar continuamente el ciclo de evolución del territorio peninsular en su fase de erosión/relleno debido a que en la medida que la plataforma calcárea va alcanzando cada vez una mayor altitud sobre el nivel del mar el paisaje sufre un “rejuvenecimiento” que intensifica el proceso cárstico tanto externa como internamente, lo que se traduce en un mayor contraste en las distintas formaciones del relieve en lugar de tender a la nivelación del terreno como sucede en las tierras bajas del norte y el oriente de Yucatán. Es decir, el movimiento ascendente del terreno modifica el resultado final de la evolución, pero el ciclo erosión/relleno esta siempre presente.

Los movimientos tectónicos han hecho que los terrenos al sur de la sierrita de Ticul se eleven a alturas mayores que las que se registran en las planicies que se extienden al Norte y al oriente, y ha hecho que las formaciones sub cársticas que aparecen en estos terrenos sean mas amplias y desarrolladas que las que se presentan en las planicies. Un claro ejemplo de esto son las grutas y pozos diseminados en el sur de Yucatán y centro-norte de Campeche, zona que se caracteriza también por la ausencia de cenotes abiertos y hondonadas que son mucho más frecuentes en el centro y oriente de la entidad.

Duch observa la existencia de formaciones subcársticas que sirven como evidencia para establecer algunas relaciones que sirvan para su explicación. Las amplias entradas de las grutas de Loltún y Calcehtók (ubicadas al pie del declive meridional de la sierrita de Ticul) vistas desde sus bordes más altos asemejan el recinto sensiblemente circular de un cenote de la porción oriental, pero sin el obligado contenido de agua que los ha caracterizado como tales desde épocas prehistóricas. Estas formaciones ahora transitables, alguna vez contuvieron agua y conformaron cenotes, pero que los perdieron a causa de la ampliación, profundización y probable desfondamiento final de las cavidades y conductos subterráneos; debido esto último, al incremento de la agresividad del proceso de solubilización de los distintos mantos rocosos.

En este sentido se sostiene la hipótesis de que el fenómeno cárstico de la península de Yucatán, tanto en el subsuelo como en la superficie, se presenta de manera diferencial y es influenciado por la mayor o menor altitud sobre el nivel del mar por causa de su constante movimiento ascendente y a su vez esta influencia es una razón (y tal vez la principal) de las diferencias paisajísticas que se observan en la morfología del estado de Yucatán. Si bien el proceso de emersión de la península yucateca permite la expansión de

las zonas que se ubican en los extremos norte y oriente, su escasa altura impide la evolución del paisaje cárstico partiendo de la periferia hacia el centro y sur del estado, donde la evolución del paisaje cárstico se presentará más desarrollada. Es necesario, sin embargo, tomar en cuenta los efectos del ambiente, en particular, los que produce la variabilidad climática, por muy pequeña que esta pudiera parecer.

El papel de la geomorfología

Hacia el sur de Yucatán existen levantamientos tectónicos del mioceno (hace 24 millones de años) con un relieve del eoceno de lomeríos en cúpulas y planicies residuales con mayor grado de carsticidad, siendo este un relieve cárstico maduro. Ambos componentes del relieve y clima organizados, sin disociarse, conducen a sistemas de denudación-erosión-acumulación-corrosión, con dominio en alguno de ellos, quedando como procesos secundarios los restantes. Tales mecanismos moldean conjuntos estructurados espacialmente, vinculados con familias de formas afines por su origen.

Para aclarar la relación del grado carsticidad-morfología se utilizan interpretaciones de la evolución del carst en cuatro etapas: reciente, juvenil, madura y tardía, cuya evolución lineal, modificada por diferentes grados y estilos de actividad tectónica y por sus más evidentes condiciones exógenas correspondientes, son reguladas por factores ambientales así como por el tipo de roca.

En el mismo sentido, los suelos evolucionan con las geoformas. Los factores formadores de ambos (suelos y geoformas) son el clima, tiempo, organismos, relieve y rocas. Así en las zonas de carst se han identificado la formación de dos tipos de suelo. El primero es el calcisol; cuando la tierra fina no presenta fragmentos de caliza y ya se ha formado un horizonte de acumulación de carbonato de calcio en la parte baja del perfil. La otra opción es la formación de un luvisol, en él, los fragmentos de roca ya se han disuelto y se ha formado el horizonte de acumulación de arcilla, mientras que la acumulación de calcio endurecida se encuentra a más de 1.5m de profundidad.

Bautista y otros (2005) hacen una regionalización geomorfológica, para la península de Yucatán, basada principalmente en la geomorfología, hidrología y suelos. Esta regionalización delimita unidades territoriales de escalas medias con cierto grado de homogeneidad morfogenética y ambiental. Bajo este criterio se estructura el sistema de

clasificación de paisajes geomorfológicos. A cada paisaje le corresponde una combinación de procesos endógenos y exógenos así como las respectivas evidencias en geoformas, materiales (residuales, acumulativos, erosivos y denudativos) e indicadores bióticos. (Bautista y otros, 2005: 34 - 49).

Dentro de dicha regionalización peninsular, la región sur de Yucatán se encuentra dentro del sistema carso-tectónico. En este sistema podemos encontrar el relieve que en su conjunto se la ha denominado carst de mesa por el predominio de estructuras tabulares monocinclinales y se organiza en una serie de planicies estructurales a diferentes niveles altitudinales de 50m a 200m. En este sistema podemos identificar varias subdivisiones, para propósito de este estudio tomaremos en cuenta sólo las que se encuentran en la zona estudiada (región sur de Yucatán), así tendremos:

Los pliegues de bloque con cúpulas alineadas. Este conjunto de lomeríos presenta al menos un escarpe tectónico denudativo que sobresale de las planicies circundantes. Las divisiones cársticas superficiales se encuentran unidas y alineadas a manera de un cordón de cúpulas, típicas de los ambientes cársticos tropicales. Existen salones fósiles de disolución como geoformas cársticas subterráneas.

Pliegue de bloques con cimas en cúpulas y planicies confinadas. Escarpe tectónico denudativo identificable hacia el oeste y entre los lomeríos se encuentran planicies residuales confinadas. Es una sierra con lomeríos en la cual la profundidad al nivel estático varía entre 50 y 100 metros en esta zona de cerros y valles al sur de la sierrita de Ticul, los cenotes están ausentes, por lo que se le conoce también como la zona de “*Chenes*” o “*chen*” que en maya yucateco significa pozo o cisterna. El primer escarpe formado al frente de la sierrita de Ticul se extiende desde algunos kilómetros al sur de Maxcanú hacia el sureste por más de 160 kilómetros. hasta la laguna de Chichankanab en Quintana Roo (muy cerca de la frontera con Yucatán) con alturas no mayores a los 120 metros. A este escarpe se le concederá como un declive de fuerte pendiente de una falla anticlinal, cuya característica principal es la de ser la antigua línea de costa del mioceno y presentarse perpendicular a las fallas y fracturas un bloque asociadas al Río Hondo (en la frontera entre Quintana Roo y Belice) y Holbo.

Lomeríos de elevaciones bajas menores de 200msnm y planicies interiores. Los lomeríos se encuentran aislados debido a prolongados periodos de denudación y

disolución. Localmente presentan disección poco profunda, sin embargo predominan las planicies residuales extendidas.

La región sureste está representada por lomeríos continuos de pendientes suaves, tendiendo a formar amplias planicies que carecen de red hidrográfica. El manto freático se encuentra a grandes profundidades, con un promedio de 82m.

Planicie estructural ondulada con disolución y denudación. Se caracteriza por la diversidad de las formas cársticas. La conformación ondulada del terreno está relacionada con la disgregación de dolinas en diferentes etapas de desarrollo y coincide con la gran diversidad de fracturas.

Las características hidrológicas del área de captación y recarga del acuífero influyen en la conformación de una zona de alta permeabilidad y conductividad hidráulica a nivel meso regional, que da origen a un acuífero de buena calidad y cantidad de agua. La alta cársticidad; la mayor densidad de fracturas y la presencia de planicies residuales acumulativas susceptibles de inundación, permiten que la lluvia se infiltre sobre el municipio de Carrillo Puerto Al sureste del estado de Quintana Roo.

Planicie estructural ondulada denudativa de transición entre lomeríos y planicies. Esta se encuentra por debajo de los 50msnm. El terreno ondulado está caracterizado por lomeríos aislados de transición entre lomeríos bajos y planicies bajas.

Dinámica de los acuíferos

Consideramos que no hay nada más importante para iniciar con la hidrología yucateca que el señalamiento de la ausencia de corrientes superficiales permanentes, así como la presencia muy limitada de escurrimientos temporales en la época de lluvia. Estas características de la entidad son resultado de toda una combinación de elementos y características que favorecen la infiltración hacia los estratos calizos más profundos, entre los cuales se destacan el escaso desnivel entre las formaciones más altas y más bajas del terreno, la ligera inclinación de la pendiente, la alta permeabilidad de los materiales del subsuelo y la abundante fracturación y fragmentación de la coraza calcárea superficial.

En estos casos, el agua depositada por la lluvia sobre el terreno tiene pocas posibilidades de circular sobre la superficie, y cuando lo hace es solamente en tramos

relativamente cortos, tal y como se presentan en la región sur debido a las características de los suelos que ahí se presentan y las elevaciones que se alternan con depresiones y planadas. En realidad, estas últimas son áreas colectoras en donde al agua, después de breves estancamientos superficiales, se filtra a través de grietas y fisuras de la corteza calcárea hasta el sahcab, dentro del cual se mueve más lentamente hacia los niveles inferiores del subsuelo hasta hacer contacto con el nivel freático.

Dado lo anterior, es razonable afirmar que en el estado de Yucatán la hidrología superficial es efímera, y sobre todo dependiente de la dinámica de las aguas subterráneas, ya que la mayoría de los acuíferos con exposición al cielo son resurgimientos del nivel freático, causados por depresiones que lo interceptan o por hundimientos de bóvedas de antiguos recintos ocupados por acuíferos subterráneos.

Sin embargo en el sur es muy común encontrar las llamadas aguadas, que si bien son en algunos casos de grandes dimensiones y perenes, al lo largo de las investigaciones no se ha encontrado una conexión de estas con el acuífero subterráneo, siendo que en algunos casos fueron creadas por los mayas prehispánicos y en otro el resultado de un conjunción de elementos tales como un pequeña depresión y las características impermeables del suelo, que se acumula en la zona por el arrastre de pequeñas corrientes presentes en la época de lluvia.

Según algunos estudiosos de las condiciones hidrológicas de la península de Yucatán, el nivel del agua en los acuíferos subterráneos coincide aproximadamente con el nivel del mar con una tendencia a aumentar conforme se avanza desde la costa hasta tierra firme (Miranda, 1958:169).

Back y Hanshaw, mencionan que la profundidad a la que aparece el nivel de los acuíferos dependerá de la altitud sobre el nivel del mar en el sitio considerado, además que el acuífero subterráneo estará más cerca de la superficie del terreno en la medida que su cota sea menor. En este sentido, en las formaciones cerriles del sur los acuíferos subterráneos alcanzan profundidades que varían de desde los 30m al pie de la sierrita de Ticul, hasta más de 100m en las localidades situadas en terrenos con fuerte diferencia topográfica, como es el caso de Nohalal y Becanchen en el municipio de Tekax (Duch 1984:116).

El movimiento de agua en el subsuelo se realiza por medio de infiltraciones capilares a través de los materiales calcáreos más porosos del subsuelo, o mediante

corrientes que se desarrollan dentro de conductos cavernosos y oquedades que se encuentran unos con otros para formar todo un complejo sistema hidrológico subterráneo.

En el interior de los estratos del subsuelo, el agua escurre en concordancia con el gradiente hidráulico que se genera desde posiciones del sur y del oriente (que son las porciones más elevadas) hacia las áreas más bajas de la costa, especialmente de la occidental entre Sisal y Celestún, aunque aparentemente existen también flujos importantes hacia el litoral nororiental.

Lo anterior concluye por un lado y en opinión de los investigadores de La Universidad Autónoma de Yucatán, que a partir de la configuración del relieve superficial del terreno, el sur de la entidad representa una zona de recarga en donde el agua fluirá hacia las zonas más bajas en zona radial, y otro lado, la alta frecuencia de resurgencias de agua dulce, da lugar a los manantiales costeros, muchos de los cuales a su vez, determinan la presencia de petenes.

Duch hace una subdivisión territorial de la entidad, llamada zonificación topohidrológica, la cual conjuga el relieve y los fenómenos hidrológicos (Duch 1984: 119-124).

Esta subdivisión la comprenden las siguientes zonas:

Zona de terrenos planos y bajos con acuíferos superficiales. Se extiende a todo lo largo del litoral, formando una angosta franja que coincide exactamente con la zona geológica denominada zona de sedimentación reciente.

Zona de terrenos planos con ondulaciones y acuíferos a poca profundidad. Se trata de terrenos cuya altitud no es mayor de 15msnm, en los que el relieve se caracteriza por la variación de formas planas, cóncavas y convexas, que va de plano casi uniforme en el norte y occidente del estado, hasta ligeramente ondulado hacia el sur y oriente, con desniveles no muy pronunciados entre las salientes y las depresiones.

Zona de terrenos ondulados con acuíferos a poca profundidad. En el sur de Yucatán, a medida que va subiendo el nivel del terreno, los hundimientos están secos y en su fondo se acumulan suelos cada vez más profundos conforme son arrastrados por el agua pluvial que escurre y que se depositan en las depresiones, a estas depresiones secas se les conoce localmente como hondonadas o rejolladas, donde se puede almacenar agua en sus fondos en temporada de lluvias.

En el extremo oriental de esta zona topohidrológica, entre Dzonot Carretero y Colonia Yucatán casi en los límites del estado de Quintana Roo, se localiza en una extensa superficie de terrenos planos con suelos medianamente profundos, mecanizables e irrigables, que contrasta con los altibajos pedregosos del resto de la zona.

Zona de terrenos monticulares con acuíferos a mediana profundidad. En esta zona las formas topográficas no cambian mucho en relación con las anteriores, teniendo un patrón de combinación recurrente, en el que alternan unas con otras. La zona ocupa una amplia porción de la entidad, extendiéndose desde Tizimín, Tunkás y Maxcanú hacia el sur hasta los declives de la sierrita de Ticul y hacia el sureste más allá de los límites con el estado de Quintana Roo. Las depresiones como hondonadas o rajolladas son también frecuentes y más amplias y profundas que las existentes en el norte.

Zona de terrenos cerriles con acuíferos profundos. Esta zona se ubica en el sur de la entidad y es a la que pertenecería la región sur de Yucatán, coincidiendo exactamente con la zona geológica de evolución madura. Se distingue por ser la porción territorial de mayor altitud del estado de Yucatán, cubriendo desniveles que van de los 35m al pie de los declives que miran hacia el noreste, hasta los 200m en las formaciones cerriles más elevadas, llamadas localmente Huitz, en alternancia con planadas mucho más extensas que en el caso anterior y con suelos más profundos, lo que no excluye la presencia de atillos y montículos más bajos, pequeñas planadas y suelos someros y pedregosos. En realidad, sucede que cuando se pasa de una zona a otra de mayor evolución cárstica, aparecen nuevas formaciones que se agregan a las que caracterizan a las zonas menos evolucionadas. Esto no quiere decir que desaparezcan unas para darles paso a otras, lo que ocurre en esta zona es que existe una doble recurrencia, pues aparte de la alternancia de formas planas, cóncavas y convexas que tipifican toda la entidad, también aparecen depresiones de otro tipo que son mucho más extensas, sin interrupciones y con muy ligera pendiente hacia su parte central, formando amplia cuencas endorreicas con apariencia de llanuras, conocidas con el nombre de bajos o ak'alché, las cuales se inundan periódica o permanentemente a consecuencia del agua pluvial que reciben, misma que conservan gracias a la impermeabilidad del subsuelo que permite mantos freáticos montados, arriba del nivel normal de circulación de las aguas subterráneas. En estas zonas topo-hidrológicas, los acuíferos subterráneos aparecen entre los 90 y 110m de profundidad, por lo que el agua que inunda los bajos no se debe a intercepciones del manto freático profundo por el abatimiento de la cota en la depresión. Es por esta razón que la zona se distingue por la

escasa presencia de cenotes. Existen por lo contrario imponentes grutas y cavernas, largas y profundas, muchas de las cuales alojando uno o varios depósitos de agua en su interior.

En relación con las actividades agrícolas, la importancia que ha tenido esta zona es en dos sentidos: por un lado la tradicional agricultura milpera, base de la producción de maíz y frijol, ocupando las áreas francamente cerriles (cerros y planadas) y bajo condiciones de temporal; por otro lado, la producción de frutales, hortalizas y granos básicos, sobre los terrenos planos de mayor extensión, muchos de ellos con infraestructura de riego. Un claro ejemplo lo tenemos en los Valles del Sur, que es una empresa estadounidense que aprovecha los terrenos llanos ubicados en el extremo sur de la región sur de Yucatán (localizados cerca de Becanthen, Tekax) para la producción y explotación de cítricos. Mediando el contraste, la ganadería extensiva, así como numerosas alternativas hortícolas y frutícolas como el conuco y los huertos familiares en el solar, todo bajo las mismas condiciones de limitada disponibilidad de agua y de dificultad para obtenerla, necesitándose equipos para extraerla desde los profundos mantos subterráneos.

Todos los suelos del sur de Yucatán tienen características similares, por lo que se pueden plantear algunas consideraciones aplicables a ellos.

En primer lugar tenemos el origen. Estos suelos se han formado a partir de materiales calcáreos solubles, por lo cual la matriz mineral es producto de la liberación y transformación mineralógica. El hecho de que exista una homogeneidad mineralógica y química nos asegura la homogeneidad de la constitución del suelo y es indicador de la dificultad que se presenta para formar suelos más profundos, por lo que llama nuestra atención la presencia de suelos que si bien no están bien desarrollados, tienen cierta profundidad mayor que la del resto que se presentan en la zona.

En segundo lugar se aprecia que la variación climática que se registra en la zona está asociada con la distribución de los suelos. El sur de Yucatán es de las más lluviosas de todo el estado y aparecen los suelos con mayor desarrollo, cabe señalar que la altitud sobre el nivel del mar se incrementa y el relieve se torna más contrastado mostrando un mayor desnivel entre las elevaciones, las planadas y las depresiones.

Esto sugiere la posibilidad que junto con la alta pluviosidad, las características del terreno favorecen un mayor arrastre de los materiales edáficos que se van formando en las partes más elevadas hacia las más bajas donde se acumulan progresivamente, aunque es un hecho que esto no explica totalmente el espesor que logran alcanzar los suelos en el

extremo sur, como es el caso de livisoles, vertisoles y gleysoles y en especial nitosoles que son los más profundos.

En tercer lugar, las características topográficas tienen una importante relación con la humedad del suelo, así, dependiendo de la posición relativa del suelo en el paisaje de la forma del terreno y del grado de inclinación de su pendiente. Las condiciones de humedad son modificadas por cada sitio por lo que en los altillos, montículos y formaciones cerriles la cantidad que penetra al interior del suelo es menor de la que recibe debido a que los escurrimientos superficiales la desalojan y la concentran en planadas y depresiones circundantes, donde consecuentemente el volumen de agua colectado es mayor, provocando anegamientos e inundaciones de diversa intensidad y duración sobre todo en sitios más bajos.

CAPITULO TRES

Huracán Isidoro

*“Otra vez el insomnio
El mismo viento que agitaba el mango
Y estoy inquieto y tiemblo
Y me digo que cuando el agua pase cuando todo se calme
Sacare mis recuerdos a la calle”
(Bartolomé, 1990:34)*

La depresión tropical No. 10 del Atlántico se generó a partir de una onda tropical el sábado 14 de Septiembre de 2002. Cambió de estatus a huracán en la madrugada del miércoles 18 de Septiembre, cuando afectó con lluvias a Jamaica y amenazó con dirigirse rumbo a Cuba, donde azotó finalmente el viernes 20 de Septiembre por la tarde. En la isla de Cuba, ya con la categoría de huracán, entró por la península occidental de Ganahacabibes, cercana a la provincia de Pinar del Río. En la península de Yucatán se presentó una banda de lluvias intensas de entre 250 y 500mm que afectaron Campeche y Quintana Roo así como el sur de Yucatán. Los vientos produjeron fuertes marejadas en Campeche. El huracán Isidoro arribó a Yucatán a la 1:00 de la madrugada del 22 de Septiembre por El Cuyo. A las 17:00 horas se detectó que la muralla que rodeaba al ojo del huracán golpeaba la costa norte de Yucatán. Posteriormente el ojo del huracán impactó sobre tierra firme en Telchac Puerto, a 45 kilómetros al Este de Puerto Progreso, en la categoría III de la escala Saffir-Simpson con vientos máximos sostenidos de 205 km/h y rachas de 250 km/h. Durante el resto de este día, el centro de Isidoro se desplazó sobre tierra con rumbo al Suroeste, afectando con fuerte intensidad a toda la Península de Yucatán, con daños materiales importantes sobre Yucatán y Campeche. El día 23 de Septiembre por la mañana, en su avance sobre tierra hacia el Sur, cuando se encontraba a 100 Km al Sur de Mérida, el huracán se degradó a tormenta tropical con vientos máximos sostenidos de 110 km/h y rachas de 140 km/h. Durante el resto del día tuvo una trayectoria errática (en espiral) moviéndose sobre la parte occidental de Yucatán. El día 24 de septiembre por la mañana la tormenta tropical Isidoro

retornó al mar y siguió, hasta el día 25 de septiembre, trayectoria con rumbo al norte cruzando el Golfo de México hacia los Estados Unidos.

La alerta de Isidoro se estableció por la mañana del día 20 de Septiembre, desde Tulum, Quintana Roo, hasta Progreso. El huracán Isidoro con categoría III de la escala Saffir-Simpson fue el primero de la temporada 2002 que entró a tierra directamente en México. Del periodo 1980 a 2002, sólo es superado por Gilberto de septiembre de 1988 que alcanzó vientos máximos de 229 Km/h. y una categoría V en la escala Saffir-Simpson.

Durante su trayecto sobre tierra, Isidoro se mantuvo como huracán por aproximadamente 14 horas y como tormenta tropical por cerca de 21 horas; a esto se agrega que se trató de un ciclón muy extenso, lo que le permitió tomar fuerza del mar. Mientras se desplazaba sobre tierras prácticamente planas y sin salidas importantes hacia el mar, provocó grandes inundaciones, aún varios días después del paso del fenómeno por Yucatán Isidoro causó importantes pérdidas en el hato ganadero y producción agrícola, interrupción del suministro de energía eléctrica y telefónica así como destrucción parcial y total de viviendas.

Inundación

*“Pero de pronto el valle es diferente
Entró el agua
Unió sus manos con los cerros
Empezó la otra historia”
(Bartolomé, 1990:27)*

En este apartado se dará un panorama general de lo que sucedía en Campeche, Yucatán y Quintana Roo a raíz del paso del huracán Isidoro en Septiembre del 2002 y las acciones que se tomaron para atender la emergencia en la región sur, todo esto en base a notas en periódicos, revistas del estado (ver anexo 2) y las entrevistas realizadas en las cabeceras municipales de Oxkutzcab, Tekax, y Tzucacab, donde se entrevistó a autoridades e instancias de gobierno como Protección Civil.

Paralelamente a las notas periodísticas se hará la descripción de la inundación en la región sur en base a los testimonios de los habitantes de las comisarias de los municipios de

Tekax y Tzucacab que se encuentran en esta región y que fueron visitadas en el trabajo de campo que se realizó en los meses de Agosto y Diciembre de 2007 y Mayo de 2008.

Esta descripción se hará en sentido oeste-este ya que según los testimonios de los afectados, fue la dirección que siguieron los corrientales que inundaron sus comunidades, esto dicho en palabras de un entrevistado: “Por acá por Campeche, hay muchos corrientales, de ahí viene tanta agua”²⁷

Los entrevistados mencionan que la inundación se dio no por la acumulación del agua de lluvia sino por corrientales²⁸ que llegaron días después del paso de Isidoro; dichos corrientales se decía que provenían de un río que se desbordó en Campeche.

Panorama general

En la madrugada del 22 de Septiembre de 2002 el huracán Isidoro tocó tierra en la costa norte de Yucatán. A partir de ese momento comenzaron a publicarse distintas notas periodísticas que usaremos para reconstruir los hechos, y como se mencionó anteriormente servirán para tener un panorama general de lo que sucedía en la península de Yucatán y en particular en el estado de Yucatán.

Por la trayectoria del huracán Isidoro se considera que Yucatán será afectado principalmente por torrenciales lluvias que empezarán hoy, 22 de Septiembre de 2002, a las 9 horas en el oriente del Estado. Se temen inundaciones en zonas de pescadores al oriente de Yucatán, el huracán no representa peligro en Felipe Carrillo Puerto, Solidaridad y José Ma. Morelos, pero sí lo presenta en Celestún y San Felipe porque son dos puertos ubicados en zona baja y corren peligro de inundaciones por lo que se aplicaran medidas extremas. Así mismo el Centro Estatal de Emergencias informó que el huracán Isidoro y un sistema de baja

²⁷ Entrevista realizada a un habitante de la comunidad El Escondido, Municipio de Tzucacab por Abigail Reyes, Christian Santillanes y Enrique Salazar, el día 16 de diciembre de 2007

²⁸ Entiéndase por corrientales, corrientes de agua que se presentan en temporada de lluvia, en este caso por las lluvias extraordinarias.

presión en el Istmo de Tehuantepec originarán lluvias muy intensas en la zona sur de la entidad.

En Campeche, los municipios de Calkiní, Hecelchakán, Tenabo, Candelaria, Escárcega y Palizada se encuentran en situación de alto riesgo ante la presencia de dos fenómenos meteorológicos que ocasionarán severas lluvias.

El 22 de Septiembre, se anticipa que el huracán podría aumentar su intensidad y alterar su rumbo. Al entrar a tierra a la altura de Puerto Progreso, el huracán Isidoro, que se mantenía en categoría tres, azotó con toda su furia a 15 municipios de la costa de Yucatán y su capital dejando inundaciones; desplomes de árboles, postes de energía eléctrica, torres transmisoras, y la incomunicación total por aire y tierra de varias zonas.

Los municipios costeros de Las Coloradas, San Felipe, El Cuyo, Chabihau, Río Lagartos, San Crisanto, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, Chixhulub, Progreso, Chelem, Chuburná, Puerto Sisal y Celestún, en el estado de Yucatán, fueron los más afectados por los embates y vientos que levantaron olas de más de tres metros de altura y marejadas.

El 23 de Septiembre el meteoro continuó su ruta y a las ocho horas, ya convertido en tormenta tropical, estaba en Muna, Ticul, Maní y Oxkutzcab, en el sur de Yucatán, en donde permaneció unas tres horas, y luego viró lentamente hacia el Sur-Sureste, aquí, el meteoro destruyó las zonas agrícolas; tiró árboles, postes del alumbrado público, techos de viviendas y, también, ocasionó inundaciones.

En Campeche el paso del huracán dejó la suspensión parcial de los servicios de agua potable y energía eléctrica. Decenas de árboles y postes de alumbrado público derribados e inundaciones. El sur de la entidad está en alerta máxima. En Othón P. Blanco, José María Morelos y Felipe Carrillo Puerto en el estado de Quintana Roo se teme que el agua que el meteoro dejó a su paso por Yucatán y Campeche escurra al sur del Estado.

La tormenta tropical se mantuvo por más de 10 horas circundando municipios del sur del estado como Ticul, Tekax y Peto.

Para el 25 de Septiembre el estado de Yucatán es declarado como zona de desastre. Son cerca de 60 municipios los devastados y que presentan inundaciones. La red carretera,

de Yucatán, registró serios daños, y hasta ayer varias vías estaban cerradas al tránsito porque tenían tramos destrozados o severamente inundados.

En Quintana Roo la Secretaria de Salud decreto alerta epidemiológica ante el inminente escurrimiento de agua proveniente de Campeche que afectara a las 22 comunidades que se ubican en la zona limítrofe. Las autoridades exhibieron un panorama poco alentador en cuanto a comunicación terrestre en el sur del Estado, ya que las intensas lluvias que acompañaron al huracán Isidoro inundaron numerosos caminos rurales y carreteras, y dejaron incomunicadas al menos 15 poblaciones de José María Morelos. También hubo pérdida de las cosechas de maíz, 11 tramos carreteros en mal estado, y cortes de energía eléctrica; 11,170 viviendas dañadas y un número aún no cuantificado de damnificados.

En Campeche, las lluvias disminuyeron y comenzó a bajar el nivel del agua en las zonas inundadas.

La situación parecía mejorar al disminuir las lluvias que se mantuvieron los últimos días pero comenzó el escurrimiento de agua de Campeche, y se empezaron a inundar caminos rurales del sur de Felipe Carrillo Puerto y el norte de Othón P. Blanco.

Otras comunidades incomunicadas y con problemas de inundaciones son Puerto Arturo, Santa Gertrudis, Othón P. Blanco y Saczuquil. En el sur y el centro del Estado de Yucatán la agricultura fue arrasada. Ningún cultivo se salvó y las pérdidas son incalculables.

Yucatán, Campeche y Quintana Roo están incomunicados del centro del país a causa de cortes carreteros por inundaciones entre Villahermosa y Escárcega, y por el cierre de la vía que pasa por Ciudad del Carmen a través de los dos puentes que la unen al continente.

Para el 28 de Septiembre, en el sur del Estado, la situación es tan caótica como la del centro y la costa. Están incomunicados de 150,000 a 200,000 habitantes de numerosas poblaciones pequeñas, en su mayoría inundadas. En las carreteras, destrozadas ya, el agua alcanza hasta tres metros de altura y hay varias comunidades desiertas porque sus habitantes decidieron trasladarse a otros puntos ante la imposibilidad de continuar ahí.

En el sur del Estado, como indicamos antes, la situación es peor. En comisarías como Tigre Grande y El Escondido, de Tzucacab, y Nohalal, de Tekax, las inundaciones son impresionantes. Desde el aire se pudo observar que en varios lugares el nivel del agua alcanzaba más de tres metros. Incluso, sólo se apreciaba parte de las copas de los árboles. Las carreteras ni se veían, y por todos lados se distinguían enormes lagos formados por el agua estancada de las lluvias.

Protección Civil reconoció que la geografía yucateca dificulta los trabajos de rescate, ya que hay municipios y micro comunidades en donde el agua llega hasta el metro y medio de altura.

En el municipio de Tekax hay campesinos que viven a la orilla de pequeños cerros y hondonadas que ahora están inundadas y hasta que el agua disminuya se podrá saber con seguridad la afectación. Así mismo, varias comisarías tienen severos problemas de inundación que las tiene incomunicadas. Becanchén, ubicado en este mismo municipio, no sólo está incomunicada por carretera sino que sus calles presentan serios daños con fracturas, y en algunos tramos ya no queda pavimento, sólo lodo.

Algunos municipios rurales se mantenían reclamos de la gente principalmente de productores, por no contar con ayuda urgente. Esta situación se presenta sobre todo en la zona sur oriente de Yucatán, de manera especial en las micro comunidades mayas donde las inundaciones no han permitido descubrir el número de damnificados.

Otros municipios de la zona crítica son Dzemul, Baca, Conkal, Telchac Pueblo, Sinanché, Suma, Cansahcab, Dzidzantún, Dzilam González, Muxupip, Seyé, Izamal, Cacalchén y Tekantó

Las autoridades hacen todo lo posible por llegar y dar la mano, pero tampoco pueden solucionarlo todo. Las comunidades pequeñas, que entre nosotros son muchas, sufren y esperan. En Hopelchén y sus alrededores el agua abunda y ahoga; en Calakmul los ejidos rebozan y los caminos se destruyeron; en Sabancuy e Isla Aguada hay incomunicación y falta de todo: agua, alimentos, ropa. Isla Arena se quedó sin habitantes mientras es posible lograr el retorno; en Calkiní volaron casas, en dondequiera el agua arrastra con todo. Yucatán con

destrucción generalizada. Campeche con el agua hasta el cuello, Chiapas con los ríos desbordados.

En el municipio de Campeche, campesinos de Hampolol y Chemblás indicaron que está aumentando el nivel del agua en sus comunidades y permanecen abandonados por las autoridades, al igual que los trailers varados en el tramo inundado de la vía a Mérida.

Campeche es el estado con mayor riesgo de problemas inmediatos porque es el que tiene mayor índice de escurrimientos.

Todavía no se cuantifican totalmente las pérdidas que podrían aumentar porque los escurrimientos de agua provenientes de Campeche y Yucatán continúan inundando caminos rurales y algunas poblaciones del Estado.

La carretera estatal Candelaria-Santa Gertrudis continúa inundada; en algunos tramos el agua llega a más de un metro de profundidad y siguen en riesgo de inundarse Santa Gertrudis y San Felipe, donde se desalojaría a los habitantes en caso necesario.

El 29 de Septiembre por segundo día consecutivo volvió a llover en gran parte del territorio yucateco lo que ha obstaculizado las labores de ayuda e incrementa las inundaciones.

TRABAJO DE CAMPO EN YUCATÁN 2007-2008

SIMBOLOGÍA

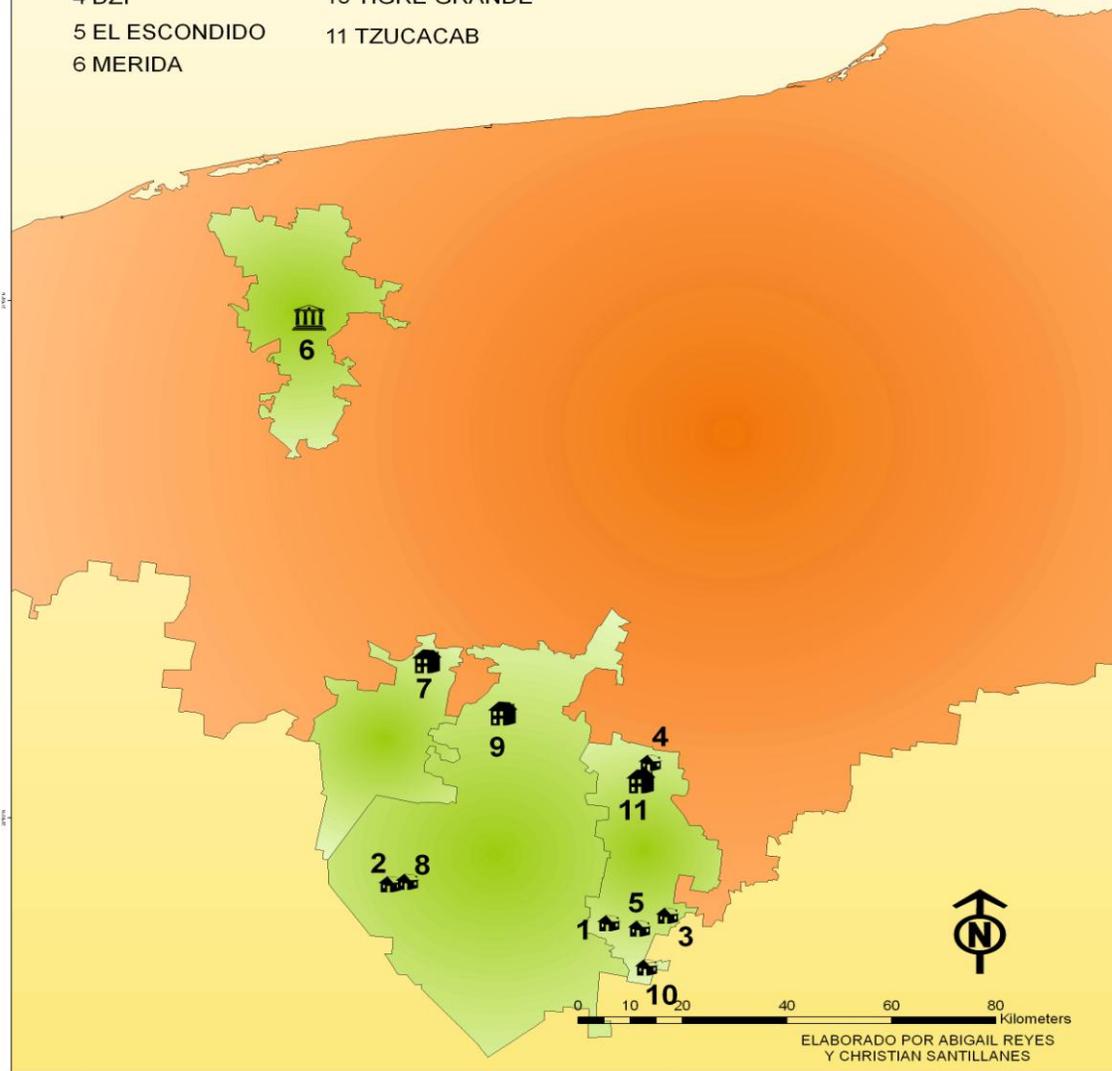
 MUNICIPIOS VISITADOS

 CAPITAL ESTATAL

 CABECERA MUNICIPAL

 COMISARÍA

- | | |
|----------------|---------------------------|
| 1 BLANCA FLOR | 7 OXKUTZCAB |
| 2 CHAN DZITNUP | 8 SAN ISIDRO YAXCHE |
| 3 CORRAL | 9 TEKAX DE ALVARO OBREGON |
| 4 DZI | 10 TIGRE GRANDE |
| 5 EL ESCONDIDO | 11 TZUCACAB |
| 6 MERIDA | |



Mapa 8

Inundación en la región sur de Yucatán

*“El peso de las aguas fue cayendo
Con la densidad lenta de una noche de lama
La cal sobre los muros se disolvió
Las corrientes inundaron los fogones y camastros
Todo se abogó”*
(Bartolomé, 1990:63)

Después de que Isidoro abandonó la península de Yucatán para seguir su camino en el Golfo de México, los habitantes de las comunidades de la región sur de Yucatán notaron la presencia de corrientales provenientes del oeste, es decir de Campeche²⁹. Dichos corrientales se presentaron en las primeras horas del 24 de septiembre, por lo que tomaron por sorpresa a los habitantes de estas comunidades. Un entrevistado nos comenta:

“como a las seis de la mañana, no estaba lloviendo, poquito no más, lloviznando no más [...] de todos lados vino el agua, dijeron que por Campeche, pero no sé, nos dijeron que hubo un desborde en Campeche pero quien sabe. Allá por Huntochac llegó hasta pescados, lagartos y todo (habitante de Chan Dzinup)”.

Cuando los habitantes despertaron encontraron que sus comunidades presentaban inundaciones de hasta medio metro, situación que para ellos era normal, ya que ellos tienen conocimiento de las características del suelo *akalché* (que es el tipo de suelo que predomina en las comunidades) y de que estas inundaciones se presentan en temporadas de lluvias, por lo tanto no se alarmaron y se limitaron a subir sus pertenencias a mesas o hamacas. Sin embargo, durante el transcurso del día el agua seguía incrementando su nivel y los corrientales seguían llegando afectando a más poblaciones:

...entonces nosotros nos dimos cuenta de cómo este... pensamos que solo lluvia, toda la noche hubo el viento, pero el viento no hubo muy fuerte solo algunas matas así este tumbaron, no estuvo mucho [sic] viento entonces cuando amaneció ya está subiendo el agua, hasta no podíamos ni prender candela, no desayunamos esa mañana porque no se puede ya esta alto...

²⁹ Aquí nos referimos a las comunidades de Chan Dzinup y San Isidro Yaxché, ubicadas al sur del municipio de Tekax, en el límite con Campeche.

[...]cuando amaneció ya estaba recio el agua (los escurrimientos) y entonces subieron sus cosas, en las mesas, así, pero ya esta viéndole que no está muy fuerte la lluvia, así de que está cayendo, pero sin embargo el agua está viniendo en corrientales, porque como se llama, el río se desbordaron por Campeche, entons el agua vino, vino así en tierra, no no arriba y bajaron, cuando vieron, aquí ya está, esta llegando a San Isidro Yaxché, pues tuvieron que ir, buscarle un cerro con trabajo, mis nietos que llevaron en el huacal así, mientras yo estaba allá preocupado (entrevistado de San Isidro Yaxché).

Para la tarde de ese mismo día, y contrario a lo que sucedía comúnmente en temporada de lluvias, el agua continuaba incrementando su nivel por lo que los habitantes buscaron ponerse a salvo refugiándose en lugares más altos. Los primeros lugares a los que se recurrió fueron las antiguas bodegas de maíz. En el caso de Chan Dzinup los pobladores se refugiaron durante 15 días en la bodega, hasta quedar atrapados y viéndose obligados a tirar una parte de la pared para salir y ponerse a salvo en las partes más altas de los cerros cercanos. Aproximadamente un día y medio después de la llegada de los corrientales el agua alcanzó su nivel máximo que fue entre 3m y 5m en las comunidades cercanas a los límites con Campeche (Huntochac, Chan Dzinup y San Isidro Yaxché).

No, en la bodega fuimos y todo esto, pues vimos que también estaba alcanzando la bodega; les rompimos (una pared de la bodega) y salimos por atrás (entrevistado de Chan Dzinup).

Y así fuimos allá (a la casa de un familiar en un lugar más elevado), es lo único que allá pasó el día así, lloviendo lloviendo, comimos; después al anochecer, otra vez entró en la noche, porque la tardecita vimos de que ya cubrió la carretera ya está subiendo hasta en el cerro entró el agua ya estaba subiendo en el cerro. [...] por acá no sube más- dice-, no pensaban de que se iba a venir más (habitante de San Isidro Yaxché).

Los habitantes pasaron tres días más en los cerros y a la intemperie. Durante ese lapso debido a las condiciones, la única ayuda proporcionada por las autoridades en esos momentos, eran despensas que eran arrojadas desde un helicóptero, mientras que los

rescates se limitaban a intentos individuales por parte de algunos pobladores, así como un grupo religiosos.

Esta bueno, como en la casa donde estamos subió en un poco el cerro así, esos días está subiendo el agua pero es de noche que vamos hacer pues subimos más la hamaca al tope casi de los palos de la casa y fuimos allá, como a las..., clariando bien así, vimos que acá nos sigue el agua, tuvimos que salir entonces todo en cerro así; no no hay casa allá estábamos bajo lluvia, como hay un gallinero que tienen, pues echo allá ellos quitamos la hamaca para los niños, mientras nosotros entonces nosotros sentados en su silla aunque nos paramos, aunque estamos mojando así íbamos a cortar entonces madera y nos hicimos un pequeño refugio más alto del cerro como haya esta alto, esta alto el cerro ahí está bien, decimos aquí no saben nadar, vinieron acá nos trajeron ahí para comer porque si no, los demás todos se estaban muriendo por allá; pues entonces así al siguiente día ya como a la seis de la tarde escuchamos que estaba gritando ellos mi hermano estaban viniendo pero nosotros no dimos cuenta solo un ruido a sí, es como escuchar un ruido no sabíamos si es él, y son ellos, claro que si gritamos también así pero creo que no lo oyeron, hicieron una noche más parece que solo en camino así poco a apoco donde hay, donde puedan cruzar cruzan y donde no pues se oscurece así no han podido llegar pues ahí duermen, a las seis de la tarde el siguiente día ya cuando pudo llegar (entrevistado de San Isidro Yaxché)

Como se ha mencionado y según los habitantes de las comunidades del municipio de Tekax, los corrientales llegaron uno o dos días después del paso de Isidoro. Oficialmente se maneja la versión de que el agua de los corrientales venía de un río que se desbordó en Campeche, el 25 de Septiembre en el Diario de Yucatán aparece una nota donde se menciona que: “El río San Francisco ubicado en el estado de Campeche se desbordó dejando dividida la ciudad en dos partes”; este dato pudo ser la primera fuente donde se asocio el desbordamiento de un río de Campeche con los corrientales e inundaciones del sur de Yucatán. Sin embargo, nadie sabía que río ni a qué altura de Campeche se fueron originando estos corrientales. Los habitantes tienen la certeza de que los corrientales vienen de Campeche porque ellos los vieron llegar de esta dirección, pero como hemos mencionado en el capítulo anterior, el carst tiene formaciones emisoras lo que

explicaría el origen de agua por parte de la recarga subterránea, sin descartar por supuesto escurrimientos superficiales que alimentaron dichas surgencias de agua.

En las comunidades de Tzucacab los corrientales se presentaron tres o cuatro días después, siguiendo la misma dirección de oeste a este; algunos mencionaban que se dirigían hacia el norte siguiendo los desniveles del terreno, aunque de esto no se sabe mucho. La mayoría de los entrevistados mencionan que no se sabe si los corrientales siguieron alguna dirección pero de haberlo hecho esta sería hacia la laguna de Dziuché (Chichancanab) en Quintana Roo.

Los corrientales siguieron los desniveles del terreno en sentido oeste-este cubriendo las comunidades de San Juan Tekax, San Jorge, San Isidro Macyan, San Felipe II, Nohalal, Becanchen (Valles del Sur), Sudzal Chico, Dos Aguadas, Tigre Grande, Blanca Flor, El Escondido, Corral y Xcobiactal.

Los habitantes de Tigre Grande comentan que los corrientales que los inundaron se presentaron tres días después que pasó el huracán Isidoro, llegando por la carretera que viene de Sudzal Chico y afectando primero sus tierras de cultivo (mecanizadas).

Nos dimos cuenta que el agua ya estaba y no se estaba secando sino iba subiendo, llegó como dos o tres días después del huracán (entrevistado de Tigre Grande).

De acá donde están los americanos, del Valle del Sur, tienen unos drenes grandes [...] trabajan la tierra que es el *akanche*, que es ácido, hace mucho barro la tierra, [...] como tiene desnivel la tierra de acá, vienen corriendo (los corrientales), acá hay un puente en el camino nuevo, cruzaba el agua, hasta la carretera que está alta, empezó a cruzar por el camino, fuertísimo, y así fue por Tigra Grande subiendo el agua poco a poco, y de pronto al siguiente día, sigue subiendo hasta que se abrió el *xuuch* (entrevistado de El Escondido).

El agua llegó tres días que paso el Isidoro, todo los valles del sur también inundaron, está bajo y después todos los drenes llegaron. Todos los *xuuches* casi no se reventaron en ese momento, se estancó el agua, no había donde se va el agua (entrevistado de Blanca Flor).

Al igual que en las comunidades anteriores estos habitantes estaban habituados a encharcamientos durante la temporada de lluvias, por lo que en un principio no le dieron importancia a esta inundación. La misma situación se presentó en El Escondido:

Cuando empezó acá a subir el agua el campo, esta la grava vimos que había agua y de repente vimos que estaba subiendo la empezamos a medir y vemos que está creciendo el agua, el agua va creciendo, una noche creo que creció de esta altura más de un metro, según nos dijeron que venía de Campeche que son los ríos que se desbordaron, sí, porque traía pescados. Inundó en un día y una noche, el máximo fueron tres metros (entrevistado de El Escondido).

Al saber que el nivel del agua continuaba incrementándose, las autoridades (estatales y el ejército) usaron camiones para evacuar a los habitantes de El Escondido hacia la comunidad de Corral y posteriormente a albergues en la cabecera municipal, con excepción de siete personas que se quedaron a cuidar las casa y que se refugiaron en la bodega de maíz que está en un nivel más alto, hasta que el agua alcanzó este nivel y tuvieron que ser evacuados:

Yo estuve acá nosotros nos salimos de último nos quedamos a ver las cosas. Todos salieron, el que se quedo, que escuchaba como venía no durmieron esa noche, para ver hasta donde llegara donde iba a llegar poco a poco ponían sus marcas y lo brincaba ponían otra marca lo brincaba, esa noche alcanzo su máximo nivel, una pulgada subía por hora (entrevistado de El Escondido).

No entró agua allá nos quedamos nosotros, a cada rato salíamos a ver con una piedra marcábamos la carretera cuando veías ya cruzo el agua y sigue y sigue el agua está creciendo está creciendo y el pozo está yendo el agua también y aparte sigue viniendo el agua pues el último noche vino los soldados y nos decían vámonos se pierde todo eso menos que se muran ustedes hoy vamos a salir, pues vámonos salimos a Tzucacab (entrevistado de El Escondido).

Cuando empezó a subir el agua hablaron al presidente, mando carros para sacar a la gente, mando por fletes, carros grandes y altos para que, porque el agua ya había crecido y sacaron todas las familias, pero nosotros nos quedamos acá,

creo que estamos como siete, nos quedamos acá a ver que iba a pasar, subió el agua como tres metros, en como dos día o tres, luego el corriental pero como era grande la planada se estuvo llenando por eso tardó en llenar como dos o tres días (entrevistado de El Escondido).

Durante tres días seguían llegando corrientales de agua e incrementaban el nivel de la inundación, lo que hizo que las autoridades tomaran la decisión de evacuar a aquellos que decidieron quedarse tanto en Tigre Grande como en Escondido. En algunos casos la evacuación se realizó por medio de helicópteros, ya que el nivel del agua alcanzó hasta 10m (esto en Tigre Grande).

Pero cuando vino entonces que se desbordó el río, por allá más rápido subió el agua donde están hechos los drenajes, allá va por Tigre tenemos un mecanizado de 70 hectáreas se quedó como una laguna, alto de 11 metros de profundidad el agua se quedó un tractor se quedó una camioneta cuando fuimos allá ya estaba inundado todo (entrevistado de Tigre Grande)

Los corrientales también alcanzaron los ejidos de Blanca Flor y Corral ambas también del municipio de Tzucacab, pero en el caso de la primera no se afectaron las viviendas, solamente las tierras de cultivo; en Corral el nivel del agua subió hasta 2m, afectando aproximadamente media decena de viviendas que se encontraban ubicadas en la parte más baja³⁰.

En esa parte perdimos hasta nuestra cosecha, en esa año, cuando el huracán, toda esa parte baja, lo que ves así de monte, hasta el campo en el deportivo que es ese. Todo eso se inundó, hasta La escuela primaria, ahí llegó el agua (entrevistado de Corral).

El agua que inundó fue parte que cayó y parte también de lo que vino, que desbordaron unos ríos por Campeche y vino por acá y también las unidades de riego que tenemos, todo se inundó, luego el agua dos metros de altura, el agua venía como de Sudzal, toda esa parte Blanca Flor, en esa parte vino el agua (entrevistado de Corral).

³⁰ Estas viviendas afectadas fueron reubicadas con recursos del FONDEN dentro de la misma comunidad.

Existen evidencias en cuanto a la dirección y las poblaciones afectadas por los corrientales pero no se tiene la certeza sobre donde se originaron ni donde finalizaron dichas corrientes que inundaron esta región. Sin embargo, habitantes de las comunidades de Tigre Grande, El Escondido y Corral nos mencionaron que probablemente estos corrientales finalizaron su camino en la laguna de Dziuché, mejor conocida como laguna de Chichancanab en Quintana Roo.



El Escondido Septiembre 2002

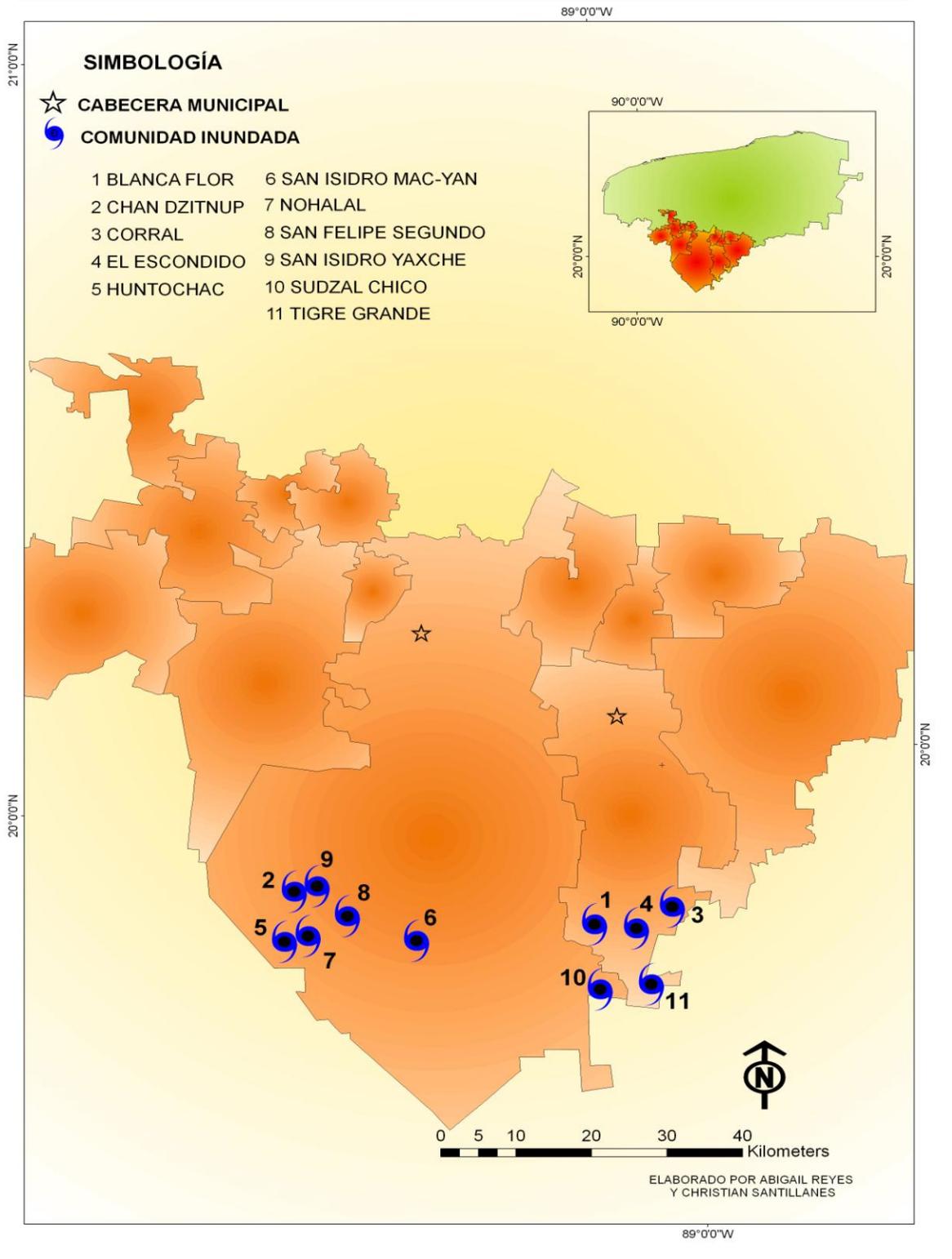
foto proporcionada por los habitantes de El Escondido



El Escondido Septiembre 2002

foto proporcionada por los habitantes de El Escondido

COMUNIDADES INUNDADAS EN LA REGIÓN SUR DE YUCATÁN EN EL AÑO 2002



Mapa 9

Características de los corrientales

“El ancho río fluye como una vena dulce en la espesura”
(Bartolomé, 1990:73)

Los corrientales que inundaron estas poblaciones tenían características que los hacían diferentes a otros que se presentan regularmente en temporada de lluvias. En este sentido mencionaremos las características de ambos tipos de corrientales.

Los corrientales que llegan regularmente a la región sur de Yucatán no son muy abundantes. No tienen grandes caudales y son producto de escurrimientos causados por las precipitaciones en temporadas de lluvias.

“[...] acá le llaman los campesinos corrientales, vas a los cerros cuando llueve, ves pequeños ríos así, bueno, ni ríos, arroyitos, al agua se acumula y busca sus camino (entrevistado en Oxkutzcab)”.

Estos corrientales no afectan a las tierras de cultivo y están bien identificados en la región tanto por los habitantes como por las autoridades, de tal manera que existen algunas obras hidráulicas como son las alcantarillas (o puentes como se conocen localmente) que pasan por debajo de las carreteras para evitar problemas de inundación y corte en la comunicación vial.



Alcantarillas en la carretera El Escondido Blanca Flor

Los corrientales que inundaron las poblaciones anteriormente mencionadas mostraron características diferentes. Según los entrevistados, la característica más sobresaliente era la presencia de peces y lagartos; hecho que no se había presentado en los otros corrientales.

Todo lo que hace la corriente de aquí, como se dice, dios ha hecho todas las corrientes para que el agua corra acá, pues allá viene, se desborda, porque hasta pescados hay allá, por Tigre Grande. Nosotros no tenemos pescados, sino que se rebotan los ríos, y empieza a correr el agua en las corrientes. La última vez cuando pasó Isidoro, acá tenemos una laguna, bueno no es laguna es un mar, Chichancanab le dicen en maya, allá se fue toda el agua que vino, y es agua dulce (entrevistado de Dzi).

La dirección que seguían los corrientales como ya se ha mencionado, era de oeste a este, que aunque es la misma dirección que siguen los otros corrientales (por el desnivel del terreno), estos se presentaron más al sur es decir desde Campeche, atravesando el sur de Yucatán y terminando, según los testimonios, en la laguna de Chichancanab en Quintana Roo.

Por último, el caudal era mucho mayor que el de los corrientales regulares mientras que el agua que estos traían no se supo con seguridad si era salada o dulce ya que se encontraron testimonios que afirmaban las dos versiones. La deforestación llega a ocasionar evaporación local y la modificación de la interface salina que subyace al mato freático, que favorece la mezcla de agua salada y dulce, incrementa la disolución de la calcita que puede provocar el colapso de construcciones.

Hay lugares donde el agua se capta, acá nunca en mi vida he visto un río, bueno, el Coatzacoalcos nada más, pero pasando el puente, pero que yo me pare a ver que el agua baje y venga como rápidos nunca. Pero aquí lo vi en persona, era un río como de seis metros de ancho y traía agua pero a caudales, del cerro bajaba el agua, yo no sé de dónde caía tanta agua (entrevistado en Oxkutzcab).

Respuestas a la emergencia

En la región sur de Yucatán nunca se habían presentado inundaciones de tal magnitud, por lo cual la emergencia tomó completamente desprevenida a Protección Civil, incluso quedó rebasada. En vista de esto el gobierno federal implemento el Plan DNIII el cual se encargo de entregar alimentos, láminas de cartón, cobertores y otras donaciones nacionales e internacionales mientras que los voluntarios de la Cruz Roja brindaron atención médica a los evacuados (Salinas 2006:55).

Debido a la repartición desigual de la ayuda el gobierno estatal tomo la decisión de concentrar la ayuda en las iglesias cercanas a las comunidades para que estos se encargaran de una distribución más equitativa.

Otra de las principales acciones llevadas a cabo fue el traslado de los habitantes a albergues instalados en las cabeceras municipales de Tekax y Tzucacab, donde permanecieron por más de dos meses antes de regresar a sus hogares. Aquí cabe decir que hubo algunas personas que hicieron uso de sus redes sociales al recurrir con familiares o conocidos que vivían en las cabeceras o en otros lugares no afectados, evitando así trasladarse a un albergue temporal.

Los entrevistados que se quedaron en algún albergue señalaron que las condiciones de hacinamiento causaron incomodidades como aburrimiento tanto de niños como de adultos y falta de privacidad debido a que se encontraban muchas personas por mucho tiempo en un mismo lugar, además que tenían la necesidad de saber el estado en que habían quedado sus pertenencias (sobre todo sus animales de corral).

De regreso a las comunidades

Las formaciones cársticas contribuyeron a desaguar las zonas inundadas. En el capítulo dos se menciona la existencia de formaciones cársticas conocidas localmente como *xunch* que consisten en fracturas en el sustrato geológico producto de la evolución cárstica; pueden medir desde algunos centímetros hasta varios metros y se presentan en la parte más baja de las hondonadas o planadas. Estas fisuras están conectadas por conductos subterráneos que

pueden tener un desarrollo tanto vertical como horizontal y se tapan a lo largo del tiempo con la vegetación y acarreo de suelo por lo que es difícil localizarlos en el terreno.

Al momento de la inundación los *xuuch* se encontraban tapados pero se desfundaron con el peso del agua estancada creando un vacío que succionó el agua hacia los conductos subterráneos. Los *xuuch* funcionaron por varios días hasta que algunos de ellos fueron tapados por todo el material succionado (como troncos, basura, animales, etc.) dejando algunos encharcamientos importantes que fueron drenados por medio de bombas instaladas por la comisión nacional del agua (CONAGUA).

[...] estaba a la distancia como trescientos metros se escucha el ruido: “fuiiii” cómo el agua pasa, y nosotros tuvimos el deseo de ver cómo y fuimos a verlo. La espuma está como al nivel del techo del agua que va al xuuch, la espuma del agua alrededor, es como remolino: “sshhhh”, y llevaba madera, piedras, muchas cosas lleva, hasta las serpientes que topa en el camino (entrevistado de El Escondido).

Después de casi tres meses bajó el nivel del agua en las comunidades inundadas, por lo que los habitantes regresaron a sus viviendas, el panorama que presentaban las comunidades era poco favorable debido a que se habían perdido todos los animales de corral. Se perdieron los cultivos, la vegetación estaba podrida, las casas (construidas con bajareque y techos de palma de huano, es decir una típica casa maya) estaban en pie pero presentaban daños a causa de la humedad y agua encharcada que fue drenada hacia los pozos por bombas instaladas por CONAGUA; para prevenir problemas de salud las autoridades municipales dotaron a la población de utensilios de limpieza como cubetas, escobas y cal entre otra cosa para que ellos mismos limpiaran sus casas.



Recorrido de gente de CONAGUA por la zona inundada en 2002
Foto proporcionada por los habitantes de El Escondido

Proceso de reubicación

En este apartado es importante abordar el concepto de reubicación de poblaciones humanas Macías (2001) menciona que si bien la frecuencia y proporciones de las reubicaciones obedecen a los niveles de densidad demográfica de las sociedades, tienen mayor peso las características de poblamiento y urbanización. También menciona que estas reubicaciones son de tipo involuntarias, ya que la población reasentada no lo hace por voluntad y decisión propia (Macías, 2001: 26).

Macías hace mención de dos tipos de reubicaciones: por desarrollo y por desastre³¹. Las reubicaciones por desarrollo se llevan a cabo cuando los países subdesarrollados en busca de instalación de nueva infraestructura, como podría ser el caso de construcción de presas carreteras, complejos habitacionales, etc., requieren que un sector de la población sea reubicada. Las reubicaciones por desastre son las que abordaremos, estas se relacionan con los desastres en dos sentidos: el primero se trata de una reubicación post-impacto que se realiza cuando una comunidad ha sido dañada y se encuentra en una zona de riesgo, por lo que es poco conveniente reedificar en el mismo lugar; el segundo se realiza cuando una comunidad se encuentra en riesgo y se reubica con el propósito de evitar un desastre. (Macías, 2001:27)

En la región sur de Yucatán Los habitantes se dieron a la tarea de reparar sus viviendas mientras tanto las autoridades se dieron a la tarea de comenzar la construcción de las reubicaciones en las comunidades inundadas de Chan Dzinup y San Isidro Yaxché en el municipio de Tekax; en las comunidades de Tigre Grande y El Escondido en Tzucacab, la construcción de las reubicaciones comenzó hasta el 2004, a pesar de que dicho reacomodo se les había propuesto a los habitantes desde el 2002 mientras estos permanecían en los albergues(Salinas 2006:68).

³¹ Según Calderón: “Una situación de desastre es la manifestación de las condiciones de vulnerabilidad de sectores de la sociedad, producto del proceso social que las ha ido conformando. El fenómeno natural o tecno-industrial expone a toda la sociedad la condición de vulnerabilidad que tiene cierto sector de la población y cuyos orígenes la cotidianidad oculta; y ésta es una condición que las relaciones sociales les han impuesto a ciertos estratos de la población” (Calderón, 2001:15).

El proceso de reubicación no se realizó en conjunto entre la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) estatal y federal. La primera se encargó de este proceso íntegramente junto con el Instituto para el Desarrollo de la Cultura Maya del Estado de Yucatán (INDEMAYA) por lo que las oficinas federales no reconocieron dichas reubicaciones como tales, Macías (2008) lo señala:

La delegación federal de SEDESOL mostró capacidad limitada de intervención y al parecer sus funcionarios se hicieron a un lado del proceso de la identificación de daños y las decisiones de aplicación de los recursos federales que parecieron haberse convenido en el más alto nivel. Lo anterior según se observa refleja el papel adoptado o constreñido de la delegación y de las oficinas centrales respecto a las reubicaciones en términos de no reconocerlas o negarlas (Macías, 2008: 67).

La construcción de las nuevas comunidades se realizó con recursos del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) y fue dirigida por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) del estado de Yucatán y para el caso de Tigre Grande y El Escondido participó el Instituto para el Desarrollo de la Cultura Maya del Estado de Yucatán (INDEMAYA).

En este sentido el diseño de las viviendas de Chan Dzinup y San Isidro Yaxché en Tekax y Corral en Tzucacab son similares a los otros prototipos del FONDEN³² mientras que las viviendas de Tigre Grande y Escondido superan dichos prototipos (el solar mide 180m²) además de estar construidas a base de mampostería y techos de paja, como parte del cumplimiento del acuerdo con el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), que solicitó preservar ese tipo de construcciones al estar ubicadas a un costado de una zona arqueológica³³.

³² Según las Reglas de Operación del FONDEN (ROF) en su anexo IV apartado 5.3 establece que: El prototipo de pie de casa contemplará como mínimo 22 m2 con un cuarto de usos múltiples, baño o letrina y espacio para la cocina o fogón. Instalaciones básicas para los servicios de agua potable, saneamiento y electrificación en la vivienda; estas últimas de conformidad a las condiciones prevalecientes en la comunidad previo al desastre. Se deberá considerar el crecimiento progresivo de la vivienda, procurando atender los usos y costumbres de las comunidades.

³³ Boletín electrónico de la Dirección General de Comunicación Social del Gobierno del Estado de Yucatán, con fecha del 29 de mayo del año 2004 titulado: "Incrementa Yucatán potencial exportador de vegetales hacia Estados Unidos".

En total se construyeron en esa comunidad 34 casas con una inversión de 1.2 millones de pesos.

En todos los casos los terrenos elegidos para la construcción de las viviendas se encontraban en zonas más altas y cercanas a las comunidades originales, y fueron convenidos en conjunto por autoridades y representantes de las comunidades basándose únicamente en que estos terrenos estuvieran por encima del nivel de inundación del 2002 y sin realizar el estudio de riesgo que justificara el reacomodo de las comunidades tal y como se establece en las ROF del 2002:

Para que proceda una reubicación, las autoridades competentes de las dependencias federales y/o de las entidades federativas, deberán realizar un dictamen que fundamente que la zona donde se ubicaba la vivienda era de riesgo. En el entendido de que las viviendas deberán, además, presentar daños parciales o totales de conformidad al numeral 3 del presente Anexo³⁴.

Las construcciones de Tigre Grande y El Escondido comenzaron y se terminaron en el 2004.

Un grupo religioso (Testigos de Jehová) se dio a la tarea de construir casas para los afectados y practicantes de esta religión esto en Chan Dzinup y San Isidro Yaxché; estas construcciones diferían de las de FONDEN en los materiales, ya que el techo fue construido de láminas además de ser un poco más amplias.

Tanto en los casos de Tigre Grande, El Escondido, Chan Dzinup y San Isidro Yaxché las viviendas no fueron del total agrado de los habitantes puesto que sus viviendas originales eran mucho más amplias pues cada una tenía solares que les permitían llevar a cabo tanto la cría de animales de corral como el cultivo de frutas y hortalizas en un huerto y el pie de casa que se dio tiene el baño y la cocina dentro lo cual no respeta los usos y costumbres³⁵. Las nuevas viviendas carecen de cimientos por lo que sus habitantes sienten que sus casas son endeblés dado que varios de los reubicados tienen ciertos conocimientos sobre construcción, ya que se emplean temporalmente como ayudantes de albañil. Otra

³⁴ ROF 2002 Anexo IV punto 5 de Consideraciones específicas de las modalidades fracción 4 Reubicación y Construcción de viviendas.

³⁵ ROF 2002 Anexo IV punto 5 de Consideraciones específicas de las modalidades fracción 4 Reubicación y Construcción de viviendas.

inconformidad que expresaron los entrevistados era la falta de ventilación y consecuente aumento de temperatura al interior de las viviendas de reubicación. Además de lo anterior podemos agregar que para los casos de Tigre Grande y El Escondido la excesiva altura de los muros (poco más de 4m), diseñados para la construcción de un tapanco, y el ángulo de los techos ha incrementado el sentimiento de inseguridad hacia sus viviendas, recordemos que hablamos de una región que sufre los embates de vientos huracanados.

Estas situaciones en un principio provocaron en la gente renuencia a ocupar las reubicaciones, aunque la mayor parte de los habitantes terminaron por cambiarse³⁶. La población que aún vive en las comunidades originales usan sus viviendas de reubicación como refugios en caso de presentarse inundaciones en la temporada de lluvias o para abastecerse de agua potable, ya que les cortaron el suministro en las comunidades originales.

La gente no se siente cómoda por todas las características que se mencionaron, pues no satisfacen sus necesidades. Las pruebas además de los testimonios obtenidos están en las modificaciones que han realizado a las viviendas como los reforzamientos en las bases de las casas, la construcción de cocinas y baños fuera del pie de casa reproduciendo así sus usos y costumbres, y sobre todo en el hecho de que varias familias en todas las comunidades mencionadas se niegan a ocupar las casas de reubicación



Casa tradicional Maya

foto de Christian Santillanes

³⁶ En Tigre Grande y El Escondido las autoridades municipales amenazaron con cortar los suministros de agua corriente y electricidad para que la población abandonara sus viviendas originales y ocupara la reubicación.



Casas de reubicación en San Isidro Yaxché, hechas por un grupo religioso

Foto de Abigail Reyes



Reubicación en Tigre Grande hecha por la SEDESOL

foto de Rubén Galicia

Conclusiones

La península de Yucatán presenta rasgos cársticos totalmente distintos a los conocidos actualmente dado que no coinciden con ningún modelo en su totalidad. Existen coincidencias parciales en su modelación estructural pero no en su grado de evolución por lo que se requiere diseñar un modelo de evolución de carst de la península de Yucatán, dando sus atributos especialmente diferentes, donde se conjugue la expresión de los paisajes cársticos y su nivel de desarrollo.

Debemos hacer una mención particular al sistema de hidrología subterránea que existe en la región sur de Yucatán donde la red compleja de corrientes subterráneas se desconoce, ya que este tema es poco atendido y escasamente comprendido. El conocimiento hidrológico actual se concentra en las porciones litorales y de inundación costera del estado, particularmente en el llamado anillo de cenotes. Es evidente la falta de conocimiento en muchas otras regiones, especialmente, en aquellos sistemas relacionados con los bloques y lomeríos donde se encuentra la región sur.

Los procesos de formación y evolución de los suelos han originado una gran diversidad edáfica por lo que los cambios de unidades de suelo se encuentran a distancias muy cortas. Predominan los suelos delgados y pedregosos que no obstante permiten el desarrollo de una actividad agrícola en relación con el conocimiento maya.

El conocimiento maya sirve para determinar la relación cultura–hombre–suelo. La clasificación maya expresa los principales atributos del suelo como pedregosidad, profundidad, retención de humedad y color. Esto ha establecido un conocimiento para clasificaciones posteriores diseñadas por la FAO.

Podemos decir que el conocimiento de la geomorfología, hidrología, edafología y manejo tradicional de los recursos se encuentra en una primera etapa que nos obliga a condensar los conocimientos generados hasta la actualidad para elaborar modelos más

adecuados a las condiciones del medio físico del estado de Yucatán y en particular de la región sur.

Al clasificar la morfología superficial y su evolución se tiene un primer acercamiento al conocimiento de la susceptibilidad a los elementos ambientales, a los procesos erosivos-acumulativos y de inundabilidad relativa. Al mismo tiempo la evolución del relieve nos permite conocer la geomorfología y su grado de estabilidad. De esta manera podemos identificar su funcionalidad como conector biológico natural y centro de dispersión de vegetales y animales, entre otras.

Es indiscutible que parte del agua que inundó a las comunidades fue producto de escurrimientos superficiales. Sin embargo, el hecho de que los corrientales hayan llegado días después del paso del huracán pone en duda que esta sea la única explicación de las inundaciones.

Los procesos cársticos que se dan en la región sur de Yucatán nos pueden dar más indicios sobre las causas de la inundación. Como se había mencionado en el capítulo uno las características físicas de la región, el clima, el suelo y su morfología son factores que influyen para que se presenten escurrimientos que abarquen grandes áreas como hondonadas y planadas que en conjunción con el suelo *ak'alche'* y *k'ankab* facilitan el flujo, traslado y velocidad de los corrientales. En el capítulo dos se mencionó la existencia de formaciones cársticas de las cuales puede emanar agua de recarga o de ríos subterráneos saturados.

En este sentido podría decir que la precipitación estacional y ciclónica, como las marejadas en Campeche y Quintana Roo que se presentaron antes de que el huracán tocara tierra, recargaron los ríos subterráneos y pusieron en funcionamiento las formaciones que se creían muertas por la ausencia de corrientes de agua pero que aún contaban con las conexiones que en algún momento las mantuvieron en actividad.

Las fracturas que presenta la región sur favorecen la circulación del agua, lo que a su vez contribuye al fenómeno de erosión y el desarrollo de diversos fenómenos en el carst como el desarrollo vertical de conductos y sistemas acuíferos subterráneos complejos. Las fracturas perpendiculares a la falla de Ticul actúan como conductos con flujos en dirección sur-norte topándose con la falla de Ticul que actúa como dique reteniendo ahí todos los flujos

subterráneos. Esta acumulación aumenta el nivel del acuífero hasta que se ponen en contacto con la superficie por medio de manantiales cársticos. Una vez en superficie forman corrientales o se suman a corrientales pluviales que siguen los desniveles que se presentan en el terreno acumulándose en hondonadas y planadas con suelos inundables tipo *akalche*. Esto explicaría la presencia de corrientes superficiales en una región donde la hidrología superficial es de corrientes intermitentes.

Algunas aguadas fueron obras hidráulicas de los antiguos mayas³⁷ mientras que otras tantas son producto del acarreo de suelo arcilloso en un terreno bajo; otras podrían ser manantiales cársticos que tienen como características un nivel constante y en temporada de sequía es sus fondos podemos observar las conexiones con las formaciones subterráneas. Nosotros consideramos que pueden presentarse varias de estas características en una sola aguada, pero las que nos interesan son aquellas que podrían tener conexiones con ríos subterráneos (manantiales cársticos). Sin embargo, no se ha podido comprobar la circulación de los afluentes subterráneos de la región sur y no existen estudios de las formaciones características de la región por lo que no se puede determinar con certeza donde se presentan las surgencias de agua y hacia dónde se dirige el agua absorbida por los *xuuch*.

Hasta antes de la inundación que se presentó en 2002, por el paso del Huracán Isidoro, no se contaba con registros de algún evento de igual magnitud³⁸ por lo que la respuesta de las autoridades hacia la emergencia no fue la adecuada, ya que no tenían planes apropiados. Después del paso del Huracán Isidoro se implementaron algunas medidas de prevención como carteles informativos en español y en maya, además de patrullajes de protección civil a la zona afectada.

Ante la ausencia de registros y experiencia que indicaran que un evento de esa magnitud podría repetirse parece ilógica y apresurada la decisión de reubicar a las comunidades afectadas. Además de que el único parámetro que se utilizó para reubicar fue que los nuevos asentamientos estuvieran por encima de la cota del nivel de inundación del 2002. Las

³⁷ En el tomo II de Stephens (1986:184) menciona que encontró una aguada cuyo fondo estaba revestido por piedras labradas.

³⁸ Incluso en huracanes como Gilberto en 1988 con categoría V en la escala Saffir-Simpson, no se presentaron inundaciones de la magnitud del año 2002.

autoridades estatales actuaron sin tener un pleno conocimiento de las características físicas de la región sur y en particular de la hidrología cárstica, ya que los estudios que se han realizado no relacionan el clima y los fenómenos meteorológicos, el uso del suelo, los rasgos topográficos, la vegetación, los asentamientos de poblaciones y principalmente los procesos cársticos elementos que dieron origen a la inundación de 2002.

Al no existir suficiente información sobre geología, hidrología y geohidrología en la región sur de Yucatán es fundamental la identificación de los tipos de carst, cubiertos o desnudos, bajo condiciones climáticas específicas y en zonas de inundación. Esto con el fin de asociar el carst a las condiciones ambientales recientes, ya que existen pocos estudios sobre riesgo a inundación y las reubicaciones carecen de fundamentos científicos que avalen su realización. Por tanto los argumentos presentados por las autoridades SEDESOL e INDEMAYA no justifican el reacomodo de las poblaciones afectadas.

Anexo

Anexo 1

HURACÁN ISIDORO

SEPTIEMBRE 2002

FUENTE: Servicio Meteorológico Nacional

Origen, evolución y trayectoria

La depresión tropical No. 10 del Atlántico se generó a partir de una onda tropical, el día 14 de Septiembre por la tarde; su región ciclogénica fue el Mar Caribe, su centro de circulación se inició sobre la costa suroeste de la isla de Trinidad, a 2,950 km al Este-Sureste de las costas de Quintana Roo, con vientos máximos sostenidos de 45 km/h, rachas de 65 km/h y presión mínima de 1009 hPa.

Después de un breve período de debilitamiento se regeneró cerca de Jamaica, y el día 18 de Septiembre, después de haber cruzado la parte oriental del Caribe, se localizó a 120 km al Sur de Negril, Jamaica, donde la DT-10 se desarrolló a tormenta tropical con el nombre de “Isidoro”, presentando vientos máximos sostenidos de 65 km/h, rachas de 85 km/h y presión mínima de 1006 hPa.

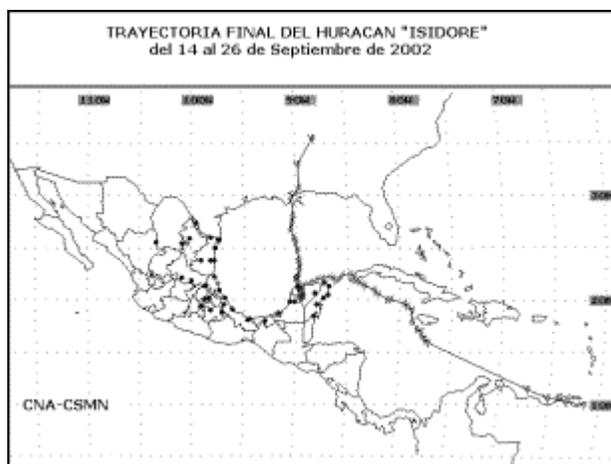


Fig. 1 Trayectoria final del huracán “Isidoro”

Durante el día 19, “Isidoro” estuvo avanzando hacia el Noroeste y por la tarde, cuando se encontraba al Suroeste de Cuba y a 510 km de Cozumel, QR., se intensificó a huracán con

vientos máximos sostenidos de 120 km/h y rachas de 150 km/h, como huracán de categoría I en la escala Saffir-Simpson.

El día 20 en la madrugada, cuando el centro del huracán, se encontraba cerca de las costas occidentales de Cuba y a 375 km al Este de Cancún, QR., “Isidoro” alcanzó la categoría II en la escala Saffir-Simpson, presentando vientos máximos sostenidos de 165 km/h y rachas de 205 km/h

El huracán “Isidoro” siguió su trayectoria con rumbo predominante hacia el Noroeste y posteriormente hacia el Oeste, y después de haber afectado fuertemente la parte occidental de Cuba, el día 21 por la mañana, se localizó en la parte media del Canal de Yucatán, donde alcanzó la categoría III en la escala Saffir-Simpson, estando a una distancia de 120 km al Este-Noreste de Cabo Catoche, QR., con vientos máximos sostenidos de 185 km/h, rachas de 220 km/h y presión mínima de 955 hPa.

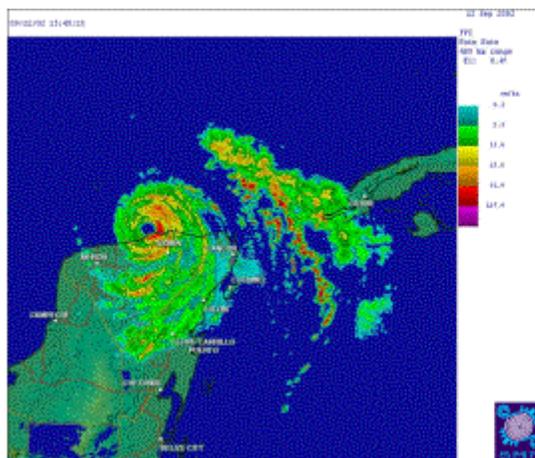


Fig. 2 Imagen del radar de Cancún. CSMN

Durante el resto del día 21 y parte del día 22, el huracán “Isidoro”, mantuvo una trayectoria con rumbo hacia el Oeste, desplazándose lentamente en forma paralela a la costa Norte de la Península de Yucatán, cubriendo con sus bandas nubosas la región Sureste de México.

El día 22 de Septiembre a las 17 horas local, se detecto con las imágenes del radar de Cancún, que la muralla que rodea al ojo del huracán golpeaba la costa norte de Yucatán. Posteriormente, el ojo del huracán “Isidoro” impactó sobre tierra firme, en Telchac Puerto,

aproximadamente a 45 km al Este de Puerto Progreso, Yuc., en la categoría III de la escala Saffir-Simpson con vientos máximos sostenidos de 205 km/h y rachas de 250 km/h. Durante el resto de este día, el centro de “Isidoro” se desplazó sobre tierra con rumbo Suroeste, afectando con fuerte intensidad a toda la Península de Yucatán, con daños materiales muy importantes sobre los estados de Yucatán y Campeche.

El día 23 por la mañana, en su avance sobre tierra hacia el Sur, cuando se encontraba a 100 km al Sur de Mérida, Yuc., el huracán “Isidore” se degradó a tormenta tropical con vientos máximos sostenidos de 110 km/h y rachas de 140 km/h. Durante el resto del día “Isidore” mantuvo una trayectoria errática moviéndose sobre la parte occidental de Yucatán.

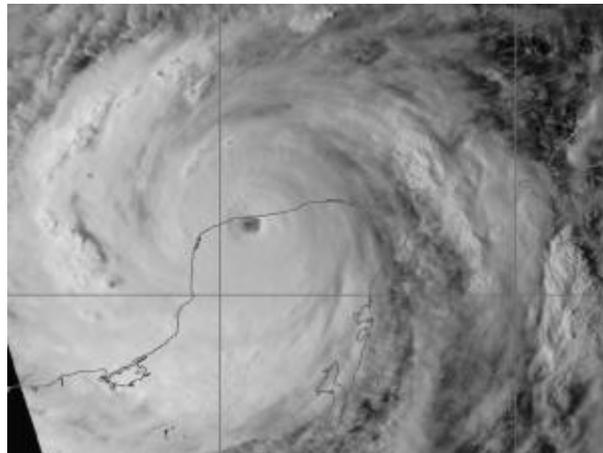


Fig. 3. Satélite NOAA-12. AVHRR. Ch. 1. CSMN

Después de describir un rizo en sentido contrario a las manecillas del reloj, sobre el Occidente del estado de Yucatán, el día 24 por la mañana, la tormenta tropical “Isidoro” retornó al mar, localizándose a 55 km al Norte de Progreso, Yuc., con vientos máximos sostenidos de 85 km/h, rachas de 100 km/h y presión mínima de 987 hPa.

Durante los días 24 y 25, la tormenta tropical “Isidoro” siguió una trayectoria con rumbo predominante hacia el Norte, cruzando durante estos dos días el Golfo de México, hasta acercarse frente a las costas de Louisiana y Mississippi, EUA.; en las últimas horas del día 25, se localizó a 200 km al Sur de Nueva Orleans, Louisiana, con vientos máximos sostenidos de 100 km/h.

En la madrugada del día 26, el centro de “Isidoro” se localizó en territorio de los Estados Unidos, a 32 km al Suroeste de Nueva Orleans, Louisiana, aun con vientos máximos sostenidos de 100 km/h. Finalmente, por la tarde de este mismo día, cuando se encontraba a 90 km al Nor-Noreste de Jackson, Mississippi, EUA., la tormenta tropical “Isidoro” se degradó a depresión tropical, con vientos máximos de 55 km/h, iniciando su proceso de disipación.

Efectos registrados

La trayectoria que describió “Isidoro” hizo necesaria una zona de alerta, la cual se estableció por la mañana del día 20 de septiembre, desde Tulum, Q. R., hasta Progreso, Yuc. Posteriormente, de acuerdo con la evolución del ciclón, la zona de alerta se modificó varias veces, llegando a cubrir desde Cabo Catoche, Q. R. hasta Veracruz, Ver., es decir, que la máxima extensión del alertamiento fue de Tulum, Q. R. hasta Veracruz, Ver.

El huracán “Isidoro” fue el primero de la temporada 2002 que entró a tierra directamente en México. Es el primer huracán intenso (categoría III, IV o V) que golpea directamente a México, desde “Paulina” de octubre de 1997, del período de 1980 a 2002, sólo es superado por “Gilberto” de Septiembre de 1988, él cuál alcanzó vientos máximos de 270 km/h.

La amplia circulación de “Isidoro” abarcó casi en su totalidad el Golfo de México, parte del Caribe e incluso el Pacífico Sur, originando fuerte entrada de humedad hacia la Península de Yucatán y el Sureste de México.

Después de impactar en tierra el día 22, “Isidoro” se mantuvo por 35 horas “barriando” los estados de Yucatán y Campeche, afectando a toda la Península de Yucatán y el Sureste de México, con vientos máximos sostenidos que fueron de huracán categoría III (205 km/h) cuando entró a tierra a tormenta tropical (85 km/h) a su salida al mar en la madrugada del día 24.

Durante su trayecto sobre tierra, “Isidoro” se mantuvo como huracán por aproximadamente 14 horas y como tormenta tropical por cerca de 21 horas; a esto se agrega que se trató de un ciclón muy extenso, lo que le permitió tomar fuerza del mar, mientras se

desplazaba sobre tierras prácticamente planas y sin salidas importantes hacia el mar, situación que por otra parte, favoreció grandes inundaciones, por varios días después del fenómeno. “Isidoro” causó importantes pérdidas en el hato ganadero y producción agrícola, interrupción del suministro de energía eléctrica y telefónica y destrucción parcial y total de viviendas.

Los registros de lluvia máxima en milímetros, originados por este huracán fueron:

Día	Lluvia Máxima en 24 horas
20	Palizadas, Camp., 28.0 y Motul, Yuc., 15.0
21	Pijijiapan, Chis., Champoton, Cam., 123.4; Kantulnil Kin, QR, 62.7 y Progreso Yuc., 48.5
22	Cacaluta, Chis., 204.5, Jonuta, Tab., 200.0; Mérida, Yuc., 48.5
23	Palizadas, Camp., 236.5, Arriaga, Chis., 206.0, Jonuta, Tab. y Felipe Carrillo Puerto, Q.R. 125.0 y Oxkutzcab, Yuc., 85.0
24	Campeche Camp., 227.7., Oxkutzcab, Yuc., 141.0 y Arriaga, Chis., 137.8

Por estado las acumulaciones máximas de lluvia en 96 horas fueron de: 777 mm en Campeche; 680 mm en Chiapas; 504 mm en Yucatán; 381.5 mm en Tabasco y de 250.3 mm en Quintana Roo.

Los vientos registrados en el lugar de impacto del huracán, en Telchac Puerto, debieron alcanzar su máxima intensidad de categoría III con 205 km/h.

Durante su máxima intensidad, justo en el norte de la península de Yucatán, la estructura del huracán fue asimétrica, registrándose vientos medidos por el avión de reconocimiento de la NOAA de hasta 110 nudos (205 km/h) con una extensión de 55 km en el semicírculo sur y de hasta 85 km en el semicírculo norte. Después del impacto en tierra, por la fricción con el terreno la configuración y estructura del huracán fue irregular.

El huracán "Isidoro" desarrolló su trayectoria en 288 horas, tiempo en el que recorrió una distancia aproximada de 3,490 km a una velocidad promedio de 12 km/h. Este décimo ciclón de la temporada, fue el primero de la temporada que entró a tierra por el lado del Atlántico, afectando la Península de Yucatán y el Sureste del país.

Los vientos registrados cada hora en la estación meteorológica del Aeropuerto de Mérida, Yucatán, denotaron una fuerte a muy fuerte intensidad (fuerza 6 a 7 en la escala de Beufort) a partir de las 14 horas (18 GMT) del día 22 hasta las 04 horas (09 GMT) del día 23, con vientos de 46 a 54 km/h. La máxima intensidad del viento se alcanzó entre las 17 y 19 horas (22 y 00 GMT) justo durante el paso de la muralla y el ojo del huracán (a 25 km de Mérida) con vientos sostenidos de 72 a 79 km/h con rachas de 104 a 129 km/h.

La caída de la presión barométrica fue más notoria a partir de las 13 horas (18 GMT) del día 22 con 990.9 hPa y hasta las 07 horas (12 GMT) del día 23, cuando comienza el ascenso gradual con 987.1 hPa. El valor más bajo de la presión fue a las 19 horas (00 GMT) del 22 de septiembre con 969.9 hPa, coincidiendo con la mayor fuerza de los vientos (72 km/h con rachas de 129 km/h). Una segunda caída de la presión se registro entre las 03 y 05 horas (08 y 10 GMT) del día 23, correspondiendo al rizo en la trayectoria seguida por “Isidoro”.

La dirección del viento a partir de las 19 horas del día 22 y hasta las 19 horas del día 23 fue del Noroeste, cambiando a vientos de componente Norte entre las 20 y 23 horas (01 y 04 GMT), virando bruscamente a vientos del Noreste a partir de la medianoche.

Sistema de Aviso del SMN

El Servicio Meteorológico Nacional mantuvo la vigilancia del huracán “Isidore” mediante la emisión de 46 avisos de alerta, 21 boletines de alerta preventiva y 24 boletines de vigilancia permanente.

Tabla de Evolución de “Isidore” (2002/A10)

Etapa	Fecha
Depresión Tropical	Septiembre 14 (21 GMT)
Onda Tropical	Septiembre 15 (15 GMT)
Depresión Tropical	Septiembre 17 (15 GMT)
Tormenta Tropical	Septiembre 18 (09 GMT)
Huracán	Septiembre 19 (21 GMT)
Tormenta Tropical	Septiembre 23 (12 GMT)
Depresión Tropical	Septiembre 26 (21 GMT)

Tabla Resumen de “Isidoro” (2002/A10)

Recorrido total	3490 km
Tiempo de duración	288 horas
Intensidad máxima de vientos	205 km/h (Sep 21-22)
Presión mínima central	934 hPa (Sep 22)
Distancia más cercana a costas nacionales	Impacto en tierra Sep 21 (22 GMT) Telchac Puerto, Yucatán
Tipo de afectación	Directa Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Tabasco y Chiapas.

Tomado directamente del [Servicio Meteorológico Nacional](#).

ANEXO 2

Cuadro de notas periodísticas

Fechas	Periódicos			
	El universal	Reforma	La jornada	Diario de Yucatán
22 09	Desalojos avisos y alertas en Quintana Roo, Yucatán y Campeche Se temen inundaciones en zonas de pescadores al oriente de Yucatán, el huracán no representa peligro en Felipe Carrillo Puerto, Solidaridad y Jose Ma. Morelos	Afecta Isidoro municipios costeros yucatecos y el norte de Quintana Roo En Campeche y Tabasco se preparan para atender probables inundaciones, en Tabasco se mantiene alerta en las zonas de encharcamiento Presencia de un frente frío en las costas de Chiapas	Alerta en Campeche; copiosas lluvias en Veracruz; riesgo de inundaciones y deslaves en Edomex. El inminente arribo del huracán <i>Isidore</i> a las costas de la península de Yucatán motivó la evacuación de 70 mil habitantes de 16 puertos yucatecos y de casi 4 mil pobladores de Isla Mujeres y Holbox, ubicados al norte de Quintana Roo. La afluencia de humedad que el meteoro genera hacia dicha región del territorio nacional traerá como consecuencia para las siguientes 24 horas lluvias ocasionalmente intensas en el norte de Quintana Roo y el oriente de Yucatán, y fuertes en Campeche.	Por la trayectoria del huracán se considera que Yucatán será afectado principalmente por torrenciales lluvias, que empezarán hoy a las 9 horas en el oriente del Estado Aplican medidas extremas en Celestún y San Felipe porque son dos puertos ubicados en zona baja y corren peligro de inundaciones. En Campeche, los municipios de Calkiní, Hecelchakán, Tenabo, Candelaria, Escárcega y Palizada se encuentran en situación de alto riesgo ante la presencia de dos fenómenos meteorológicos que ocasionarán severas lluvias. El Centro Estatal de Emergencias informó que el huracán " Isidoro " y un sistema de baja presión en el Istmo de Tehuantepec originarán lluvias muy intensas en la zona sur de la entidad.
23 09	Al entrar a tierra a la altura de Puerto Progreso, el huracán Isidoro, que se mantenía en categoría tres, azotó con toda su	Se decreta estado de alarma en Campeche y Quintana Roo	En la mayor parte de Campeche Isidoro provocó inundaciones y obligó a desalojar -la madrugada del	Ciudad del Carmen, Cam. El 80% de las calles de la isla, principalmente de colonias populares, se inundaron por la creciente marina que ocasionó " Isidoro "

<p>furia a 15 municipios de la costa de Yucatán y a esta capital dejando inundaciones, el desplome de árboles, postes de energía eléctrica, torres transmisoras y la incomunicación total por aire y tierra de varias zonas. Se anticipa que el huracán podría aumentar su intensidad y alterar su rumbo. Anoche el ojo de Isidore registraba un recurva miento, por lo que en Quintana Roo las autoridades de Protección Civil dispusieron de nuevo la fase de emergencia en tres municipios de la zona sur de la entidad: Felipe Carrillo Puerto, José María Morelos y Othón P. Blanco, según afirmó el director estatal de Protección Civil, José Nemesio Medina Robledo.</p> <p>Los municipios costeros de Las Coloradas, San Felipe, El Cuyo, Chabihau, Río Lagartos, San Crisanto, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, Chixhulub, Progreso, Chelem, Chuburná Puerto, Sisal y Celestún fueron los más afectados por los embates y vientos que</p>		<p>domingo- a 450 pobladores de Isla Arena, municipio de Calkiní, Puerto Progreso se inundó por marejadas de hasta cuatro metros de altura. La región oriente de Yucatán se incomunicó parcialmente por carretera y aire, mientras que parte de Mérida quedó sin fluido eléctrico y agua potable.</p> <p>Protección Civil de Quintana Roo levantó este domingo el estado de alerta para la entidad por Isidore, que dejó inundaciones en la isla Holbox y en el puerto de Chiquilá</p>	
---	--	--	--

	levantaron olas de más de tres metros de altura y marejadas			
24 09	<p>Según cálculos preliminares, Isidore provocó destrucción en 46 municipios 15 de ellos en la zona costera</p> <p>La alerta continúa, principalmente en el municipio de Othón P. Blanco, donde se teme que unas 30 comunidades rurales de la zona limítrofe con Campeche empiecen a registrar inundaciones.</p> <p>En Campeche el paso del huracán dejó la suspensión parcial de los servicios de agua potable, energía eléctrica, decenas de árboles y postes de alumbrado público derribados e inundaciones.</p>	<p>En Quintana Roo el municipio Jose Ma. Morelos fue el más afectado por los efectos del huracán, por las lluvias intensas y los fuertes vientos varias comunidades rurales quedaron incomunicadas y colonias inundadas</p> <p>Se prevee que en los siguientes días los escurrimientos de agua provenientes de Campeche provoquen inundaciones en regiones del sur del estado y mas comunidades queden incomunicadas</p> <p>En Campeche el huracán dejó inundaciones y caos</p>	<p><i>Isidore</i> mantenía en alarma a Yucatán y Campeche; en emergencia a Quintana Roo, y en alerta a Tabasco y Veracruz, y señaló que existía particular riesgo en los municipios quintanarroenses de Lázaro Cárdenas, Benito Juárez (Cancún) e Isla Mujeres; en toda la zona costera de Yucatán, así como en los municipios campechanos de Hecelchakán, Tenabo, Hopelche, Calkiní, Campeche, Escárcega, Champotón y Ciudad del Carmen.</p> <p>el impacto de isidore en Yucatán, provoco la pérdida total de la producción citrícola y apícola en el sur del estado, daños en la infraestructura carretera</p> <p>En tanto, el gobernador Patricio Patrón Laviada declaró a Yucatán zona de desastre, e indicó que sufrieron inundaciones 46 municipios, 16 de ellos ubicados en la costa, cuyos accesos por</p>	<p>Desde su entrada a tierra yucateca, entre Telchac Puerto y Uaymitún, anteayer a las 19 horas, hasta anoche, el huracán "Isidoro" afectó a más de 60 municipios del norte, oriente, centro y sur del Estado</p> <p>El meteoro continuó su ruta y a las ocho horas, ya convertido en tormenta tropical, estaba en Muna, Ticul, Maní y Oxkutzcab, en el sur del Estado, en donde permaneció unas tres horas, y luego viró lentamente al Sur-Sureste</p> <p>En el Sur el meteoro destruyó los cultivos agrícolas, tiró árboles, postes del alumbrado público, techos de viviendas y también ocasionó inundaciones.</p> <p>Una evaluación preliminar señaló que las vías más dañadas son la costera, principalmente desde El Cuyo hasta Chicxulub Puerto, y la carretera a Celestún, que están inundadas e intransitables</p> <p>temen escurrimientos de agua de Campeche y Yucatán el remanente de "isidoro" causa serios daños en q. roo</p> <p>El sur de la entidad está en alerta máxima. En Othón P. Blanco, José María Morelos y Felipe Carrillo Puerto se teme que el agua que el meteoro dejó a su paso por Yucatán y Campeche escurra al sur del Estado</p> <p>La bahía de Chetumal comenzó a subir de nivel y al mediodía las olas ya habían inundado algunos tramos del bulevar.</p> <p>En José María Morelos, donde los vientos acabaron con unas 2,000 hectáreas de maíz y</p>

			carretera quedaron bloqueados	plantaciones de cítricos con pérdidas prácticamente totales, anoche fueron llevadas unas 1,000 personas a refugios En Cancún Las lluvias más intensas fueron después del mediodía, originando inundaciones en áreas que no habían sido afectadas, como el centro de la ciudad Campeche, Manuel Flores Hernández, del Centro Estatal de Emergencias, declaró anoche que la situación es seria en ese estado, ya que había graves inundaciones en Hecelchakán, Tenabo, Bonfil y Sihochac
25 09	<p>Yucatán como zona de desastre son cerca de 60 municipios devastados presentan inundaciones</p> <p>La tormenta tropical se mantuvo por más de 10 horas circundando municipios del sur del estado como Ticul, Tekax y Peto en el estado de Yucatán. En Quintana Roo la secretaria de salud decreto alerta epidemiológica ante el inminente escurrimiento de agua proveniente de Campeche que afectara a las 22 comunidades que se ubican en la zona limítrofe</p>	<p>Isidoro azoto con mayor fuerza a los estados de Campeche y Tabasco con torrenciales lluvias En Campeche, Isla del Carmen quedó prácticamente bajo el agua a consecuencia de la invasión del mar hacia tierra a dentro que provoco el huracán En Tabasco como consecuencia de las lluvias que arrojó la tormenta tropical Isidoro, 20 localidades ribereñas y costeras de la entidad registraron inundaciones En Quintana Roo se cumplieron cinco días de contingencia por el sistema</p>	<p>Según autoridades estatales y ayuntamientos de Quintana Roo, <i>Isidore</i> dejó pérdidas por 50 millones de pesos y causó los más graves estragos en Lázaro Cárdenas, Othón P. Blanco y José María Morelos, que permanecían en alerta ante posibles "escurrimientos" por el fenómeno procedente de Campeche. El meteoro dejó más de 10 mil damnificados e inundaciones en el municipio que da nombre al estado de Campeche, así como en Champotón, Escárcega, Hopelchén y Carmen, Por deslaves se cerraron las carreteras Champotón-Escárcega, Escárcega-Chetumal y Champotón-Carmen, lo que</p>	<p>En Campeche , el río de San Francisco se desbordó dejando dividida la ciudad en dos partes, y en la zona costera hay graves inundaciones, que abarcan el 50% de las colonias, entre ellas la CTM, donde se observan verdaderos ríos con gente que camina rumbo a los albergues. Hasta la tarde ya había 800 personas en los refugios. hay numerosos árboles atravesados sobre la carretera que conduce a Mérida, principalmente en el tramo de Temax; además, un amplio sector, a la altura de la hacienda Dzununcán, en el municipio de Motul, está inundado, y en la vía Tizimín-Río Lagartos hay un trecho de más de cuatro kilómetros cubierto de agua, que en algunas partes alcanza hasta un metro de altura La carretera costera entre Uaymitún y Telchac tiene varios tramos destruidos e intransitables. Cerca de San Bruno hay tramos inundados, incluso con charcos o lagunas de 80 centímetros de profundidad. la red carretera de Yucatán registró serios</p>

		tropical Isidoro y ayer quedo parcialmente incomunicado el sur por daños en un puente carretera Chetumal-Escárcega e inundaciones en la vía Chetumal Mérida	prácticamente incomunicó por vía terrestre a la península de Yucatán En la Sierra Madre, informó la subsecretaría de Protección Civil estatal, que confirmó que <i>Isidoro</i> afectó a 600 familias y desbordó los ríos Calcuta, Doña María, Vado Ancho, San Nicolás, Madre Vieja y el arroyo El Azteca; el río Margaritas En Tabasco se mantuvo la "alerta máxima". Las lluvias afectaron al menos 20 comunidades de los municipios costeros de Cárdenas, Paraíso y Centla.	daños, y hasta ayer varias vías estaban cerradas al tránsito porque tenían tramos destrozados o severamente inundados. Entre las carreteras con amplios tramos destruidos se encuentran la costera y la Mérida-Peto. Esta última está intransitable, con capas de agua de hasta metro y medio de altura
26	En Mérida y los principales municipios de Yucatán que son cabeceras como Tizimín, Valladolid, Tekax y Peto, persisten los problemas por la falta del suministro eléctrico, incomunicación por tierra, así como la falta de agua, alimentos básicos y combustibles.	El titular de la secretaría de desarrollo agropecuario menciona que si bien había daño en la agricultura de todo Quintana Roo los principales municipios afectados son José Ma Morelos y Felipe Carrillo Puerto En Chiapas daños en más de 6000 viviendas por inundaciones en 48 comunidades dejaron los remanentes del Isidoro Cierre de carreteras por deslave en Campeche Quintana Roo y Yucatán lo que provoco que	Al momento permanecen varados cientos de tráileres con mercancía y apoyos, al permanecer cerrados, debido a deslaves de las carreteras Campeche-Tenabo-Mérida, y Campeche-Hopelchén-Mérida, en la entidad campechana, donde según el gobierno estatal había 13 mil damnificados, 40 comunidades rurales incomunicadas vía terrestre y 8 mil predios inundados. Abundó que por las lluvias se perdieron en la entidad 35 mil hectáreas de maíz.	Gobernación emite una declaratoria de emergencia para la zona escurrimientos de agua causan perjuicios en el sur de q. roo la situación parecía mejorar al disminuir las lluvias que se mantuvieron los últimos días, comenzó el escurrimiento de agua de Campeche y se empezaron a inundar caminos rurales del sur de Felipe Carrillo Puerto y el norte de Othón P. Blanco. En José María Morelos el paso de " Isidoro " dejó 34 poblaciones inundadas, una incomunicada, pérdida de las cosechas de maíz, 11 tramos carreteros en mal estado, cortes de energía eléctrica, 11,170 viviendas dañadas y un número aún no cuantificado de damnificados Yucatán , Campeche y Quintana Roo están incomunicados por tierra del centro del país, a causa de cortes carreteros por inundaciones

		<p>comunidades estén incomunicadas</p>	<p>entre Villahermosa y Escárcega y por el cierre de la vía que pasa por Ciudad del Carmen a través de los dos puentes que la unen al continente. El amplio manto de "Isidoro" cubría ayer todo el Golfo de México y sus efectos se extendían hasta Chiapas, donde el gobierno estatal pidió que se declare zonas de desastre a 10 municipios afectados por inundaciones, y Tabasco, con lluvias intensas que llegarían a sumar 133 milímetros.</p> <p>En Campeche , las lluvias disminuyeron y comenzó a bajar el nivel del agua en las zonas inundadas, aunque todavía hay miles de personas en unos 80 albergues, más del 50% de la población carece de electricidad y agua potable, y unas 80 poblaciones -la mayoría rurales- están incomunicadas.</p> <p>En Quintana Roo , las autoridades exhibieron un panorama poco alentador en cuanto a comunicación terrestre en el sur del Estado, ya que las intensas lluvias que acompañaron al huracán "Isidoro" inundaron numerosos caminos rurales y carreteras, y dejaron incumunicadas al menos 15 poblaciones de José María Morelos, donde viven 5,000 personas. Se inundaron 45 comunidades en José María Morelos y Felipe Carrillo Puerto</p> <p>Otras comunidades incomunicadas y con problemas de inundaciones son Puerto Arturo, Santa Gertrudis, Othón P. Blanco y Saczuquil. El alcalde comentó que durante un recorrido constató que hay varios tramos de caminos dañados por deslaves, que afectan la comunicación a poblados como Chunhuhub,</p>
--	--	---	---

				donde el nivel de agua alcanzó hasta los 70 centímetros, y, por la situación, fue cerrada la carretera federal, vía corta, a Chetumal. En el suroeste del municipio, zona susceptible de inundaciones, se constató que los caminos de Santa Lucía y el Ramonal fueron afectados por fuertes corrientes.
27	Muxupip, Motul; Tixkokob, entre otros son parte de la geografía yucateca tomada por sorpresa y arrasada por el meteoro	En la región yucateca conocida como el cono sur 1,500 familias intentan sobrevivir a los ríos de agua y lodo encaramadas en arboles y camiones volcados “el agua rebasa los dos metros los helicópteros no han podido aterrizar” Los informes castrenses del ejercito reportaban ayer por la tarde una severa destrucción en las ciudades de Merida, Moyul y Tixpehual y sin datos concretos anticipaban daños mayores e incalculables en distintas partes de la costa y sur de Yucatán ha donde no ha sido posible llegar por tierra	Protección Civil de Campeche aseguró que en la entidad el huracán afectó a 100 mil campesinos y pescadores, en la selva de Dzibalchén, y obligó a más de 15 mil personas a refugiarse en albergues. Abundó que por el desbordamiento del río Palizada, cuando menos 50 mil personas de cuatro comunidades rurales permanecían incomunicadas.	Los embates de " Isidoro ", como los del huracán "Gilberto" hace 14 años, cambiaron la fisonomía del litoral, ya que se abrieron grandes bocanas en los puertos del Centro y del Oriente y la erosión marina se "comió" parte de la playa desde El Cuyo hasta Celestún En el sur y el centro del Estado la agricultura fue arrasada. Ningún cultivo se salvó y las pérdidas son incalculables.
28	Algunos municipios rurales se mantenían reclamos de la gente principalmente de productores, por no contar con ayuda	Peto, Yuc. la armada, el ejercito y el gobierno sobre vuelan las comisarias convertidas	Aunque ha dejado de llover, más de 10 mil predios se encuentran bajo el agua. La Secretaría de Marina inició hoy la evacuación	En el municipio de Tekax, varias comisarías tienen severos problemas de inundación, que las tiene incomunicadas. Otros municipios de la zona crítica son Dzemul,

	<p>urgente, esta situación se presenta sobre todo en la zona sur oriente de Yucatán, de manera especial en las micro comunidades mayas donde las inundaciones no han permitido descubrir el numero de damnificados Protección civil reconoció que la geografía yucateca dificulta los trabajos de rescate ya que hay municipios y micro comunidades en donde el agua llega hasta el metro y medio de altura En Tekax hay campesinos que viven a la orilla de pequeños cerros y hondonadas, que ahora están inundadas y hasta que el agua disminuya se podrá saber con seguridad la afectación Las comunidades afectadas pertenecen al municipio de José Ma Morelos en Quintana Roo, se encuentran incomunicadas causa de los escurrimientos por los que sus habitantes fueron llevados de emergencia a la población de San Marcos De acuerdo con el secretario de gobierno, los niveles de agua en estas poblaciones tienden a bajar por lo que esperan que</p>	<p>en pequeños islotes pero no tocan tierra Nadie ha podido llegar a estas comisarias que llevan nombre de cuento: Tigre grande, Blanca flor, Corral, Becanchen, Sn Diego Buena vista. Es el quinto día después del huracán y la lluvia no cesa Ayer un helicóptero de la Armada de México, con médicos y brigadas de salud llego a Tigre Grande pero no pudo aterrizar. El nivel del agua ya había descendido y aun así llegaba a los adultos hasta la cintura. Otra nave pudo aterrizar en Corral, Tzucacab, pero el aparato empezó a hundirse y tuvo que elevarse de emergencia La situación que viven unas 45 comisarias ubicadas en el cono sur municipios de Tekax, Oxkutzcab, Tzucacab y Peto es uno de los mayores dolores de cabeza que enfrentara el</p>	<p>con lanchas de las comunidades menonitas Yalnón y Chavi, donde habitan unas 500 personas. En Campeche</p>	<p>Baca, Conkal, Telchac Pueblo, Sinanché, Suma, Cansahcab, Dzidzantún, Dzilam González, Muxupip, Seyé, Izamal, Cacalchén y Tekantó. sobre todo en aquellas poblaciones que siguen incomunicadas, son los principales "dolores de cabeza" en el sur del Estado tras el paso del huracán "Isidoro" el pasado fin de semana. También se consiguieron cinco lanchas de motor para mandar ayuda a la zona poniente del Cono Sur, a los ejidos de Benito Juárez, San Agustín, San Martín Hilil, San Isidro Yaaxché, San Salvador y otros. Anteanoche se logró rescatar a decenas de personas de varios ejidos, como Nohalal, Santa Cruz Cutzá, López Portillo y San Diego Buenavista. El pronóstico es que "Lili" puede tomar una ruta paralela a la que siguió el huracán "Isidoro" y por ello es necesario tener en cuenta la posibilidad de que pueda haber grandes lluvias en las mismas zonas que inundó "Isidoro". El pronóstico es que "Lili" puede tomar una ruta paralela a la que siguió el huracán "Isidoro" y por ello es necesario tener en cuenta la posibilidad de que pueda haber grandes lluvias en las mismas zonas que inundó "Isidoro". En el sur del Estado, la situación es tan caótica como la del centro y la costa: están incomunicados de 150,000 a 200,000 habitantes de numerosas poblaciones pequeñas, en su mayoría inundadas. En las carreteras, destrozadas ya, el agua alcanza hasta tres metros de altura y hay varias comunidades desiertas porque sus habitantes decidieron trasladarse a</p>
--	---	--	--	---

	<p>pronto se restablezca la comunicación</p> <p>El reporte de daños señala que al menos unas 25 comunidades de los municipios Felipe Carrillo Puerto, Jose Ma Morelos y Othón P. Blanco permanecen inundadas y sin energía eléctrica</p>	<p>gobierno</p> <p>En Champotón 35 comunidades donde viven 13 mil habitantes no han sido contactadas. Al poblado de Hampolol, a 10km de la capital llego una avalancha de agua y tierra que se quedo estancada en Holpechen las comunidades de San Juan Bautista y Sakabchem están bajo el agua</p>	<p>otros puntos, ante la imposibilidad de continuar ahí.</p> <p>En el sur del Estado, como indicamos antes, la situación es peor. En comisarías como Tigre Grande y El Escondido, de Tzucacab, y Nohalal, de Tekax, las inundaciones son impresionantes. Desde el aire se pudo observar que en varios lugares el nivel del agua alcanzaba más de tres metros. Incluso, sólo se apreciaba parte de las copas de los árboles. Las carreteras ni se veían y por todos lados se distinguían enormes lagos formados por el agua estancada de las lluvias. Becanchén, del municipio de Tekax, no sólo está incomunicada por carretera sino que sus calles presentan serios daños, con fracturas, y en algunos tramos ya no queda pavimento, sólo lodo.</p> <p>En la comisaría de Corral, donde también se entregó una dotación similar de medicamentos, el médico del lugar, Jorge Carlos Cano Villanueva, informó que el día anterior, para poder entrar a la población, tuvo que "nadar" alrededor de 500 metros en la carretera inundada.</p> <p>Añadió que tenían informes de algunos vecinos de comisarías cercanas que, a pesar de estar incomunicadas, lograron salir, como El Escondido y Tigre Grande, donde el agua les llegaba hasta el cuello a los adultos.</p> <p>En los alrededores de esas comisarías los cultivos estaban inundados y se veían "lagunas" por todos lados, incluso cubriendo las carreteras. Tuvimos que desalojar de emergencia a toda la población de la comunidad de San Marcos, por</p>
--	---	--	---

				<p>los escurrimientos.</p> <p>En general, expresó que el agua tiende a bajar y que en algunos casos ya no hay riesgo de interrupción de las vías de comunicación, como en el caso de la vía corta a Mérida, a la altura de Chunhuhub, aunque reconoció la existencia de cuando menos 13 espejos de agua en las vías El Ramonal-Candelaria, de 9 centímetros, y Muna-Carrillo Puerto, en el kilómetro 81, de 51 centímetros, por donde sólo pueden pasar camionetas y vehículos mayores.</p>
29	<p>Por segundo día consecutivo volvió a llover en gran parte del territorio yucateco lo que ha obstaculizado las labores de ayuda e incrementa las inundaciones</p>		<p>Por su parte, el gobernador Patricio Patrón Laviada sobrevoló municipios y comunidades del sur, que permanecen incomunicados a causa de inundaciones. Confirmó que por lo menos hay 150 mil campesinos damnificados en la región. En Tekax, atienden a 192 núcleos agrarios, con unos 150 mil habitantes incomunicados.</p>	<p>Las imágenes que se nos han presentado superan a todo y las palabras salen sobrando ante los hechos. Yucatán con destrucción generalizada. Campeche con el agua hasta el cuello, Chiapas con los ríos desbordados.</p> <p>Las autoridades hacen todo lo posible por llegar y dar la mano, pero tampoco pueden solucionarlo todo. Las comunidades pequeñas, que entre nosotros son muchas, sufren y esperan. En Hopelchén y sus alrededores el agua abunda y ahoga, intente, si lo quiere, llegar a Suc Tuc; en Calakmul los ejidos rebozan y los caminos se destruyeron; en Sabancuy e Isla Aguada hay incomunicación y falta de todo: agua, alimentos, ropa, quien llegue hasta ahí. Isla Arena se quedó sin habitantes, mientras es posible lograr el retorno; en Calkiní volaron casas, en dondequiera el agua arrastra con todo. La península es Yucatán, pero también es Quintana Roo, Tabasco y Campeche. Consideró que la vecina entidad es la que representa mayor riesgo de inundaciones a causa de los escurrimientos.</p>

				<p>Vecinos de Hampolol y Chemblás, que están en la zona inundada entre Tenabo y la capital, y de otras poblaciones como Escárcega</p> <p>En el municipio de Campeche, campesinos de Hampolol y Chemblás indicaron que está aumentando el nivel del agua en sus comunidades y permanecen abandonados por las autoridades, al igual que los trailereros varados en el tramo inundado de la vía a Mérida</p> <p>Campeche es el estado con mayor riesgo de problemas inmediatos, porque es el que tiene mayor índice de escurrimientos.</p> <p>Todavía no se cuantifican totalmente las pérdidas, que podrían aumentar porque los escurrimientos de agua provenientes de Campeche y Yucatán continúan inundando caminos rurales y algunas poblaciones del Estado.</p> <p>sigue igual la situación en el poblado San Marcos, que desde anteayer se inundó totalmente por el agua que escurre de Yucatán y Campeche indicó. Los pobladores se trasladaron con familiares a comunidades cercanas de este municipio y Yucatán.</p> <p>La carretera estatal Candelaria-Santa Gertrudis continúa inundada, en algunos tramos el agua llega a más de un metro de profundidad y siguen en riesgo de inundarse Santa Gertrudis y San Felipe, donde se desalojaría a los habitantes en caso necesario.</p>
30	Tekax, Yuc. En este municipio, de las 61 rancherías con las que cuenta, 16 han sido			

	<p>declaradas como "pérdida total" por el alcalde Fernando Romero. El agua que trajo el huracán <i>Isidore</i> las ahogó. El ciento por ciento de los campos agrícolas inservibles En algunas de ellas todavía continúa el rescate de pobladores a través de helicóptero, la única forma de llegar. Ayer, por ejemplo, se rescataron a 18 personas de San Salvador. Lo mismo ocurriría en San Isidro Yaxché, En San Isidro Macyan, San Juan Tekax, San Pedro Oxtocim, Nohalal, San Felipe Segundo, San Martín Hilil, Chan Dzinup, San Pedro Dzolá y Kantemó, entre otros, la gente ha sido llevada a los albergues en la cabecera municipal</p>			
2	<p>Mérida, Yuc. El estado amaneció hoy con dos nuevas amenazas: la llegada del huracán <i>Lili</i> y los primeros brotes de enfermedades epidémicas como el cólera, el dengue o infecciones en la piel. El fenómeno intensificó ayer su fuerza y, según el Servicio Meteorológico Nacional, amenazaba con fuertes lluvias y vientos en rachados al norte y</p>			

	oriente de la península de Yucatán.			
3	<p>Champotón, Camp. Entre la vegetación, grandes cuerpos de agua cubren casi 80 por ciento de las 68 comunidades rurales de este municipio, donde al menos 30 mil personas lo perdieron todo por el paso de <i>Isidore</i> .</p> <p>Desde el aire, la inmensidad de la tragedia se descubre en su real dimensión, zona devastada por los vientos y la lluvia. Casas con el agua hasta los techos y unas 32 comunidades incomunicadas.</p>			
4	Los municipios de Champotón y Bolonchén, afectados de manera considerable por las inundaciones y el desbordamiento de los ríos.		not	
6	<p>Chetumal, Q. Roo. A casi dos semanas del paso del huracán <i>Isidore</i> , algunas comunidades del municipio de José María Morelos aún no vuelven a la normalidad, porque apenas empieza a bajar el nivel del agua, luego de que la Armada de México dinamitara 14 puntos de lajas</p>		Champoton, Camp., 5 de octubre. La peor inundación que ha vivido este puerto campechano comienza a ser mitigada por la acción del Ejército y la Marina, que se han dado a la tarea de rescatar a los habitantes afectados por el desbordamiento del río Champotón. Entre las zonas	

	<p>para que pueda irse el agua estancada en esas poblaciones.</p> <p>Según el alcalde de José María Morelos, Germán Parra López, aún no han podido volver a sus comunidades unas mil 500 personas.</p> <p>Las poblaciones todavía inundadas son Sacsuquil, La Carolina, Othón P. Blanco y San Marcos, ésta última la más afectada. Los mil 500 habitantes de éstas permanecen con familiares y amigos en tanto puedan retornar a sus hogares.</p>		<p>dañadas están las rancherías Moquel, El Zapote, San Antonio del Río, Canasayab y Ulumal, mientras que en la colonia el Huanal, del puerto, más de 120 familias se encuentran desesperadas por la falta de ayuda del presidente municipal, Herculano Angulo, y por la pérdida de sus viviendas que fueron arrasadas por la creciente del río.</p> <p>Cuatro días de lluvias intensas, después de que el huracán <i>Isidore</i> se convirtió en tormenta tropical y se estacionó en esta parte del Golfo de México, afectaron en forma significativa a Champotón. Informaciones revelan que alrededor de 26 mil campechanos de otros municipios se encuentran aislados por las inundaciones.</p>	
12	<p>En el sur del estado, los reportes indican que todavía hay inundaciones que se acrecentaron por las lluvias que dejó el martes y miércoles pasado la onda tropical número 45.</p> <p>Mientras tanto, continúan llegando cargamentos de víveres, sobre todo de empresas particulares, para los</p>			

	<p>damnificados. El gobernador Patricio Patrón Laviada dijo que no se suspenderá el reparto de despensas. En tanto se definen programas de empleo emergente, tendrá que continuarse con la política asistencialista, agregó.</p>			
13	<p>Mientras tanto, en los municipios del sur del estado el reporte de inundaciones continuaba, por lo que el alcalde de una de esas comunidades, Tekax, Fernando Romero Ayuso, pidió considerar un trato adicional para los productores no sólo porque perdieron 100 mil hectáreas de maíz en esa zona, sino porque ahora y a futuro sufrirán una grave escasez de alimentos.</p>			

Fuentes: <http://www.eluniversal.com.mx/noticias.html>, <http://www.jornada.unam.mx>, <http://www.reforma.com/>, <http://www.yucatan.com.mx>

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- BARTOLOMÉ, Efraín, 1990. *Ojo de jaguar*, El ala del tigre, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- BARTOLOMÉ, Miguel, 1992. *La dinámica social de los mayas de Yucatán, Pasado y presente de la situación colonial*, Presencias, CONACULTA-Instituto Nacional Indigenista, México.
- BAUTISTA, *et al.*, 2003. “Geoformas, aguas y suelo en la Península de Yucatán” en Colunga-García, M. y Larqué, a. (eds.). *Sociedad en el área maya. Pasado Presente y Futuro*, Academia Mexicana de Ciencias-Centro de Investigación científica de Yucatán A. C., México.
- BAUTISTA, *et al.*, 2005. “El origen y el manejo maya de las geoformas, suelos y aguas en la Península de Yucatán”. En: F. Bautista y G. Palacio (Eds.) *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán.
- BAUTISTA, *et al.*, 2005. “Integración del conocimiento actual sobre los paisajes geomorfológicos de la Península de Yucatán”. En: F. Bautista y G. Palacio (Eds.) *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán.
- BELTRAN, Enrique, 1959. *Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento*, Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables A.C, México.
- BONET, F. y Butterlín, V. 1959. Reconocimiento geológico de la península de Yucatán. Enciclopedia yucatanense, tomo X Ed. Gobierno el estado de Yucatán, Mérida, Yucatán.
- CALDERÓN, Georgina, 2001. *Construcción y reconstrucción del desastre*, Plaza y Valdés Editores, México.

- CARNEVALI, G. Ramírez, I.Y González-Iturbe, 2003. “Flora y vegetación de la Península de Yucatán”. En: Colunga-García, M. y Larqué, a. (eds.). *Sociedad en el área maya. Pasado Presente y Futuro*, Academia Mexicana de Ciencias-Centro de Investigación científica de Yucatán A. C., México.
- CASTANY G. 1971. “aguas subterráneas en las rocas calcáreas Hidrología cárstica”. En: *Tratado práctico de las aguas subterráneas*, Barcelona España.
- CONTRERAS, A. 1958. “bosquejo climatológico”. En: *los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento*, tomo II, 2ª parte, IMRNR, México, D.F.
- CUEVAS, H. y Navarrete M., 2005. “los huracanes en la época prehispánica y en el siglo XVI”. En: *inundaciones 2005 en el estado de Veracruz*, Instituto de antropología de la universidad veracruzana, Veracruz México.
- CUSTODIO, E., Llamas M., 1976. *Hidrología subterránea*, tomo II ediciones Omega, Barcelona, España. Pág. 1491
- DUCH, J., 1984. *La conformación territorial del estado de Yucatán. Los componentes del medio físico*, Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- DUCH, J., 2005. “La nomenclatura maya de suelos: una aproximación a su diversidad y significado en el sur de Yucatán”. En: F. Bautista y G. Palacio (Eds.) *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán
- ECHEVERRÍA, Pedro, 2005 *Prensa y poder en el neoliberalismo de Yucatán 1928-2001*, Ediciones del Grupo Parlamentario del Partido del Trabajo, Pasado y presente XXI, Ediciones de Paradigmas y utopías, México.
- ESCOBAR, Antonio, 2004, (ed.), *Desastres agrícolas en México*. Catálogo histórico, t. 2, CIESAS-FCE, México.
- ESPEJEL, I. y Flores-Guido J. S., 1994. Tipos de vegetación en la Península de Yucatán. Yucatán, México
- GARCÍA, E. 1981 *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen*. 3ª ed., México, D.F.

- GOLDACKER, *et al.*, 2004. "Identification of areas at risk of flooding in the south of the Yucatán Peninsula, México" En. Kauffer, E. (ed.) *El agua en la frontera México-Guatemala-Belice*, El Colegio de la Frontera Sur, México.
- GÓNGORA, Fredy, Vela Carla, 2005, Memoria histórica y fotográfica de Oxkutzcab, Gobierno de Yucatán, Instituto de Cultura de Yucatán, CONACULTA, México.
- INEGI. (2002). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Estudio Hidrológico del estado de Yucatán*. Gobierno del estado de Yucatán. México.
- LANDA, D. 1643. *Relación de las cosas de Yucatán*. Ed. Cien de México, D.F. 2003, pág. 198
- LLANES E., 1983. *Los niños mayas de Yucatán*, Maldonado Editores, colección voces de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.
- LLOPIS N., 1970. *Fundamentos de hidrología cárstica (introducción a la geoespeleología)*, editorial Blume, España.
- MACÍAS, Jesús, 2001. *Reubicación de comunidades humanas. Entre la producción y la reducción de desastres*, universidad de Colima, Colima, México.
- MACÍAS, Jesús, 2008. *Reubicaciones por desastre. Análisis de intervención gubernamental comparada*, CIESAS-SEDESOL-CONACYT, México.
- MIRANDA, F. 1958. "Rasgos fisiográficos". En: *los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento*, tomo II, 2ª parte, IMRNR, México, D.F.
- MIRANDA, F. 1958. "Vegetación." En: *Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento*, tomo II, 2ª parte, IMRNR, México, D.F.
- MORALES, Carmen, 1981. *Delimitación y características de la región sur de Yucatán*, en Yucatán: historia y economía regional. Año 5 no.27 Septiembre- Octubre 1981. Departamento de estudios económicos y sociales del centro de investigaciones regionales de la universidad de Yucatán.
- ORELLANA, R., Islebe G. y Espadas C., 2003. "Presente, Pasado y Futuro de los climas de la Península de Yucatán" en Colunga-García, M. y Larqué, a. (eds.). *Sociedad en el área maya. Pasado Presente y Futuro*, Academia Mexicana de Ciencias-Centro de Investigación científica de Yucatán A. C., México.

- PENNIGTON, T. y Sarukhán J. 2005. *Arboles tropicales de México Manual para la identificación de las principales especies*, 3ª edic. UNAM y FCE, México
- RAMIREZ, A. 1983. *Puuc Testimonios del pueblo maya*, Voces de Yucatán, Maldonado editores, Mérida Yucatán.
- REED, Nelson 1981, *La Guerra de Castas de Yucatán*, Biblioteca Era, México.
- ROBLES, 1958, P. 1654 “geología y geohidrología”. En: *Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento*, tomo II, IMRNR, México, D.F
- ROSALES, Margarita, 1980. “Etapas en el desarrollo regional del Puuc, Yucatán”, en *Yucatán: historia y economía. Revista de análisis socioeconómico regional*, año 3 no. 18 marzo-abril 1980, Departamento de estudios económicos y sociales del centro de investigaciones regionales de la Universidad de Yucatán.
- SALINAS, Moisés, 2006. *La vulnerabilidad social de los grupos afectados por el ciclón Isidoro en dos comunidades de Yucatán ¿reubicación o proceso de exclusión?*, tesis de licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- STEPHENS, John, 1986. *Viajes a Yucatán*, Justo Sierra O'Reilly (trad.), t. I y II, Palabra en el tiempo, Consejo Editorial de Yucatán- SEP-Programa cultural de las fronteras, Mérida, Yucatán.
- VILLASUSO, M. y Méndez R., 2000 “A conceptual model of the aquifer of the Yucatan Peninsula”. En: Lutz, W., Prieto, L., y Sanderson, W.(eds.), *Population, development, and environment of the Yucatan Peninsula*, International Institute for Applied System Analysis, Laxenburg, Austria.
- WRIGHT, C.S.A. 1968. “*El reconocimiento de los suelos de la península de Yucatán*” ciclo de conferencias sobre mapeo y clasificación de los suelos, México.

Fuentes electrónicas

- [s.a.] “Algo de información sobre los términos usados en espeleología” [en línea]
<<http://espeleo.galeon.com/informa.html>>

DIAZ, F., Camara R. “karst tropical de colinas, tipología y evolución en el pliocuaternario en República Dominicana” en *XI reunión nacional de cuaternario* [en línea] julio 2003.
<<http://titulaciongeografia-sevilla.es/web/contenidos/profesores/publicaciones/archivos/Oviedo1.pdf>>

ESTRUCPLAN, *Diccionario hidrológico* [en línea]

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=2177>

El universal

<http://www.eluniversal.com.mx/noticias.html>,

La Jornada

<http://www.jornada.unam.mx>,

Reglas de operación del Fonden

http://www.funcionpublica.gob.mx/scagp/dgorcs/reglas/2004/otrosprogramas04/completos/ro_fonden_03.htm

El reforma

<http://www.reforma.com/>,

El diario de Yucatán

<http://www.yucatan.com.mx>

Fuentes cartográficas

INEGI, 1984, *mapa topográfico* 1:50000 E16 A11 INEGI México.

INEGI, 1984, *mapa topográfico* 1:50000 E16 A12 INEGI México.

INEGI, 1984, *mapa topográfico* 1:50000 E16 A13 INEGI México.

INEGI, 1984, *mapa topográfico* 1:50000 E16 A22 INEGI México.

INEGI, 1984, *mapa topográfico* 1:50000 E16 A23 INEGI México.

INEGI, 1984, *mapa topográfico* 1:50000 F16 C72 INEGI México.

INEGI, 1984, *mapa topográfico* 1:50000 F16 C82 INEGI México.

INEGI, 1984, *mapa topográfico* 1:50000 F16 C 83 INEGI México.

INEGI, 1984, *mapa geológico* 1:250000 E16 - 1 INEGI México.