

CAPÍTULO III. "EL SUBSUELO EN EL LITORAL CANCÚN - RIVIERA MAYA"

III. a Zonificación

La información presentada en los capítulos anteriores proporcionó un panorama amplio de la evolución geológica de la Península de Yucatán, se describió la formación y origen del subsuelo predominante en la región, el sistema carso-tectónico que determina el relieve de la Península, la hidrología del entorno, el sistema litoral etc. Los temas anteriores fueron enfocados a conocer en términos generales la Geología de la Península; sin embargo en este trabajo se dará prioridad a las ciudades de mayor importancia como Mérida, Cancún, y Playa del Carmen (Riviera Maya).

A continuación se presentará nuevamente el mapa de paisajes geomorfológicos de la Península presentado en el capítulo anterior

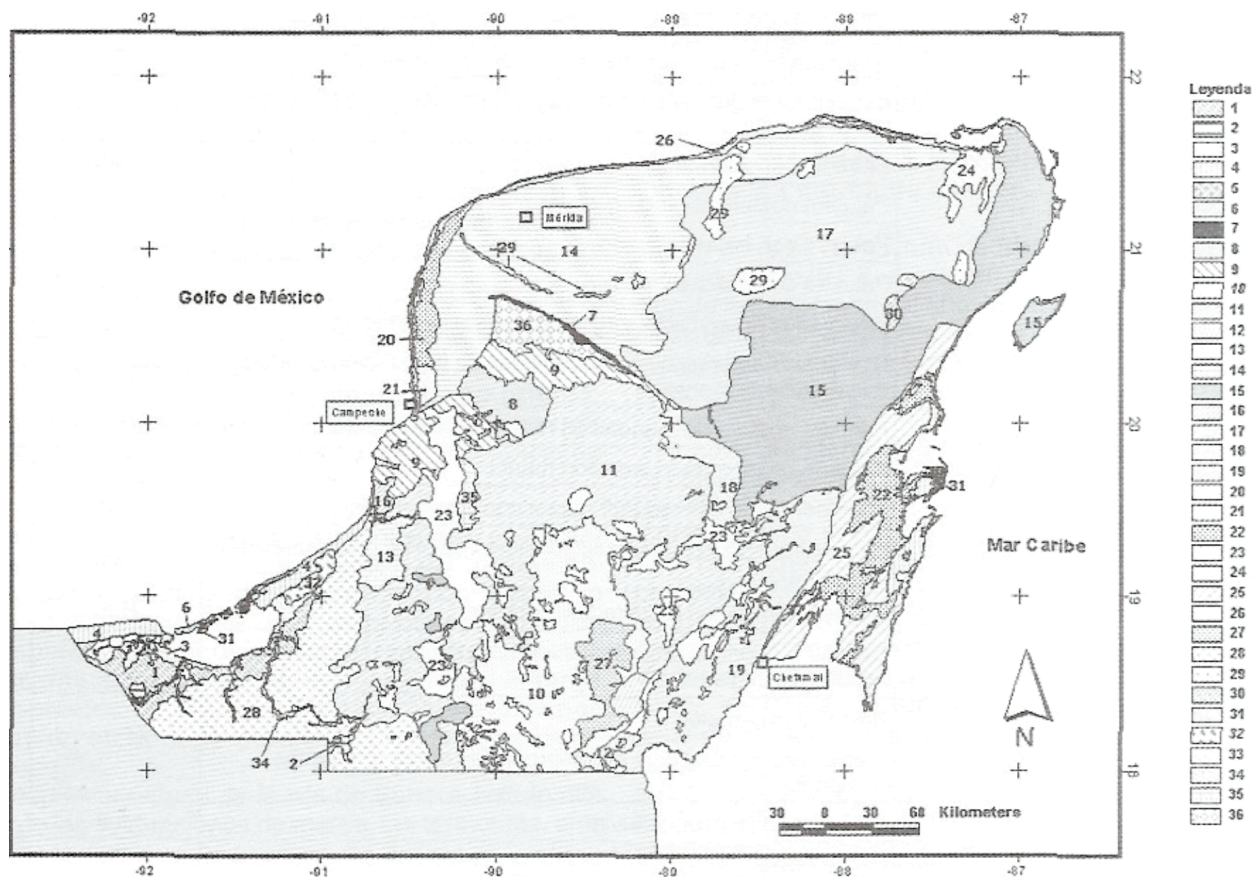


Figura 14. Mapa de paisajes geomorfológicos de la Península de Yucatán.

Sistema Terrestre (Morfogénesis)	Expresión Morfológica principal	Paisaje Geomorfológico	Grado de evolución Cárstica	Clave
Fluvio-palustre	Planicies	Palustre		1
		Fluvio-palustre		2
		Palustre proluvial-conchífera bajo influencia marina		3
Litoral	Planicies	Cordones litorales lúticos y arenosos		4
		Flechas litorales		5
		Isla Barrera		6
Carso-Tectónica	Lomeríos	Pliegue bloque con cúpulas alineadas (presenta al menos un escarpe tectónico identificable)	Mad	7
		Pliegue bloque poco disectado con planicies amplias (presenta al menos un escarpe tectónico identificable)	Mad-Tar	8
		Pliegue con cimas en cúpulas y planicies confinadas (presenta al menos un escarpe tectónico identificable)	Mad	9
		Altos > 200 msnm disectado por torrentes	Mad- Tar	10
		De elevaciones bajas < 200 msnm (dispersos y con planicies interiores amplias)	Tar	11
		Disectados por torrentes y disolución sobre morfoalineamientos tectónicos	Juv- Mad	12
		En cúpulas con erosión diferencial alternando con planicies confinadas	Mad	13
	Planicies	Estructural baja denudativa (< densidad de fracturas)	Rec	14
		Estructural baja fitoestable	Rec-Mad	15
		Estructural baja acumulativa	Tar	16
		Estructural ondulada con disolución y denudación (> densidad de fracturas, alta concentración de formas cársticas)	Juv	17
		Estructural ondulada denudativa de transición entre lomeríos y planicies	Mad	18
		Estructural escalonada	Juv-Mad	19
		Palustre contera con blanquizales	Rec	20
		Palustre con retenes grandes	Rec	21
		Palustre con retenes chicos	Rec	22
		Residuales acumulativas susceptibles de inundación	Tar	23
		Residuales acumulativas susceptibles de inundación controladas estructuralmente	Mad-Tar	24
		Palustre contera de inundación marina con hundimiento	Rec-Juv	25

		Palustre costera de inundación marina	Rec	26
		Altas denudativas > de 200 msnm con lomeríos aislados	Tar	27
		Estructural baja con acumulación fluvio-deluvial (materiales del cuaternario)	Rec	28

Distribución Alzocah	Dolinas agrupadas (inundadas –cenotes–)	Des	29
	Dolinas agrupadas (inundadas –cenotes–) y en proceso de formación de uvalas	Juv	30
	Bajos intermareales		31
	Planicie estructural baja de resurgencias sobre ambientes palustres		32
	Lecho cárstico pseudofluvial	Juv	33
	Lecho fluvial		34
	Rampa cárstica denudatorio-erosiva	Mad	35
	Planicie estructural ondulada de transición entre pliegues bloque (50 msnm promedio)	Mad-Tar	36

Tabla 4. Geoformas de la Península de Yucatán y su grado de evolución.

Al ver el mapa de paisajes geomorfológicos de la Península de Yucatán representado en la Fig. 14; se estudiarán principalmente las regiones denotadas como 15 que es la que representa las ciudades de Cancún, Playa del Carmen y la isla de Cozumel, la región 14 representa la ciudad de Mérida, y como complemento la región 19 que abarca la ciudad de Chetumal.

A continuación se describirá cada una de las regiones previamente señaladas:

Ciudad de Mérida

Pertenece a la región 14 del mapa geomorfológico correspondiente a la Planicie estructural baja denudativa. Es el Carso de expresión superficial con puntos de absorción de formas exocársticas que incluye al microrelieve de lapiáz Fig.1 (lapiáz: En geología, superficie rocosa de relieve irregular, característica del paisaje kárstico, que se produce por la erosión del agua arroyada o de lluvia), depresiones someras (de poca profundidad), grietas Fig.2, dolinas corrosivas, domina la erosión superficial y la disolución. Se observa una ausencia casi total de lineamientos, salvo los asociados a la margen externa del cráter sepultado de Chicxulub.



Fig. 1 Lapiáz formado por corrientes de agua



Fig. 2 Grieta kárstica en roca caliza

En estudios realizados en la porción noroccidental de este paisaje, se conoció que las oscilaciones promedio del nivel hidrostático entre épocas de estiaje y lluvias son del orden de los 0.5m, mientras que el espesor de la lámina de agua dulce oscila de 15 – 18m en la costa, hasta 45 – 48m en los alrededores de Mérida.

Los niveles de aguas subterráneas y las líneas de flujo registradas durante el periodo Julio/1987 (verano) – Abril/1989 fueron de 1.25m en el extremo suroriental (Mérida) hasta 0.55 m en las cercanías de Progreso, extremo nororiental, existiendo una diferencia de nivel de 0.70 m y una pendiente hidráulica de 0.0233 m/km, evidenciándose las líneas de flujo en dirección prácticamente norte. Hacia el noroeste, los niveles de las aguas subterráneas oscilan desde 1.66 m en Kinchil hasta los 0.5 m en las cercanías de la costa por Celestún, siendo la pendiente hidráulica de 0.0258 m/km aproximadamente; el comportamiento de las líneas de flujo es en el sentido sureste-noroeste. Al siguiente año, Julio de 1988, mantienen una situación similar al año anterior, la pendiente hidráulica de Mérida a Progreso fue de 0.0227 m/km, y la de Kinchil a las cercanías de Celestún fue de 0.0222 m /km.

Los niveles de aguas subterráneas al final del período seco o de estiaje, no representan grandes diferencias respecto al período Húmedo. En abril de 1988 el valor de las líneas de flujo fue de 1.02 m para la localidad de Mérida y las cercanas a Progreso < 0.50 m, resultando una pendiente hidráulica de 0.0173 m/km. En el trayecto Kinchil a la cercanía de Celestún fue de 0.018 m/km, con valores de 1.22 para Kinchil y de 0.50 m cercano a Celestún. Al año siguiente, abril de 1989 y posterior al Huracán Gilberto, en Mérida el nivel de las aguas subterráneas fue de 0.96 m (6 cm menor que el año anterior), pero los niveles en el trayecto Mérida – Progreso (que disminuyen hacia la costa) eran superiores a los del año anterior, haciendo que la pendiente hidráulica aumentara, específicamente 10 km al norte de Mérida hacia la costa y desde Kinchil en dirección a Celestún, (con una pendiente hidráulica de 0.0252 m/km y 0.0247 m/km respectivamente). Se produce un flujo semiradial desde el sur y sureste hacia Mérida y una pequeña zona de reflujo a partir de unos 10 a 12 km. al norte de Mérida donde se localiza una divisoria de las aguas subterráneas, que continuando hacia el norte siguen los flujos normales hacia la costa.

A partir de estos mapas de equipotenciales se puede concluir que las oscilaciones del nivel hidrostático en el transcurso de un año son de 20 a 60 cm. Las pendientes hidráulicas tienen también poca variación, que permite cierta estabilidad en los cambios de niveles de agua en toda la región.

Las características hidrogeodinámicas de las llanuras biogénica y litoral, por debajo de la curva de nivel 2 msnm (metros sobre nivel del mar), denotan la mayor elevación del nivel freático registrada en pozos y cenotes a 30 km de distancia de la costa, con un nivel promedio de 1.11 y 1.03 msnm respectivamente. La elevación disminuye gradualmente hacia la costa, de tal manera que las menores elevaciones promedio registradas fueron de 0.41 y 0.45 msnm en pozos y manantiales a una distancia promedio de 2300 m, con una pendiente general temporalmente de 0.028 m/km, las máximas elevaciones del nivel de agua ocurren durante septiembre y octubre, con aguas más salobres y de baja temperatura. En contraparte, las mínimas elevaciones se registraron desde el final de la época de nortes y durante la época de secas principalmente, con aguas más dulces y las máximas temperaturas al inicio de la época de lluvias. La concentración de sal aumenta conforme disminuye la distancia al mar.

El acuífero de la ciudad de Mérida contiene una lente de agua dulce de 40 m de espesor en promedio, que flota sobre agua salada. La zona de mezcla o interfase salina tiene 37 m de espesor (entre 28 a 65 m de profundidad) está degradada por las grandes cantidades de aguas residuales y pluviales descargadas. Lo anterior es importante si se considera la existencia de tres conductos cársticos de flujo preferencial de agua subterránea a las profundidades 8-12 m, 20-22 m y 28 m, asociados con antiguas posiciones del nivel freático, directamente relacionados con variaciones del nivel del mar durante el Pleistoceno. Es un acuífero que presenta una gran porosidad secundaria, almacenando grandes cantidades de volúmenes de agua y donde el gradiente hidráulico es muy pequeño, lo que significa que el agua se mueve en promedio algunos metros por día. Los valores de transmisividad del acuífero varían de 0.1 m/s hasta 0.0003 m/s, según cálculos de diversos autores (Villasuso y Méndez, 2000).

En la Región metropolitana de la ciudad de Mérida la profundidad del manto freático es de 13 m y se considera somero. Las concentraciones de nitratos, nitritos, conductividad eléctrica, coliformes fecales y totales de calidad de las aguas subterráneas exceden las cantidades máximas permitidas por la Norma Oficial Mexicana.

En la planicie estructural baja (dentro del anillo de cenotes) se tiene una profundidad del manto freático similar al anterior. Las concentraciones de cloruros y conductividad eléctrica exceden de igual forma las cantidades máximas permitidas por la Norma Oficial Mexicana.

Cancún - Riviera Maya – Isla de Cozumel

Comprende la región 15 que representa la Planicie estructural baja fitoestable. A diferencia de la planicie estructural baja denudativa con la cual guarda muchas semejanzas morfogénicas, esta se encuentra en términos evolutivos, en etapa de pedogénesis y fitoestabilidad. Esto debido a las condiciones climáticas (clima cálido subhúmedo) sin variaciones extremas en la temperatura (por arriba de los 18° promedio) y con una humedad relativa alta permanente (> 80%), lo que ha permitido el desarrollo de selva mediana subperenifolia y el rápido restablecimiento de las áreas perturbadas hacia selvas secundarias. Se presentan como unidades aisladas con mayores tiempos de evolución cárstica (madurez).

En la parte central de la región 19 se encuentra la ciudad de Chetumal como principal exponente. Es un relieve complejo donde se conjuga la expresión topográfica de morfoestructuras en terrazas estructurales afectadas por disolución. Se presentan hasta 4 escarpes bajos (escarpe: declive abrupto y empinado del terreno, de altura variable), menores de 50 m sucesivos del continente hacia el mar, modelados por disolución. En la base de los escarpes tectónico – erosivos donde se facilita la disolución por fracturas se forman localmente dolinas y úvalas inundadas.

La zona de fallas y fracturas que conforma el bloque oriente de la Península, limita al sur con Belice, presentando una serie de fallas en bloques subparalelos, con una pendiente hacia el este, se distingue por poseer 2 rasgos únicos: suelo negro de montmorinolita en las cuencas que se alojan en las fallas de bloques y lagunas salinas.

Las lagunas salinas, el segundo rasgo distintivo de esta localidad, ocupan porciones de extensas cuencas de la planicie estructural escalonada incluyendo planicies residuales acumulativas susceptibles de inundación, especialmente al este y norte de la ciudad de Chetumal. La mayor de estas lagunas es Bacalár, con una longitud de 30 km aproximadamente. Otras lagunas como Chanyoxché, Nohbec, Ocom, La virtud, San Felipe y Paytoro son un poco mas pequeñas. De ninguna de las lagunas existen estudios a detalle, a excepción de la laguna Chichankanab que se localiza aproximadamente a 5 km al sureste del pueblo llamado Santa Rosa. Tiene una longitud de casi 11 km con un ancho máximo de 600 m. Los análisis químicos muestran que es rica en sulfatos de calcio y magnesio, con bajas concentraciones de cloruro de sodio y sulfato de sodio, esta laguna fue probablemente parte de un ambiente marino durante el Plioceno y que, mientras el margen oriental de la Península se elevaba durante el Plioceno tardío y Pleistoceno temprano, las aguas marinas fueron atrapadas localmente en depresiones durante su lento desagüe al sureste. Tanto los análisis geoquímicos de las aguas del lago de Chichankanab como los estudios de flora y fauna presentes en los sedimentos dan soporte al origen marino. Isphording (1975), menciona que aparentemente, debido a una nula interconexión entre las aguas de estos lagos y el drenaje general de agua dulce subterránea en toda la Península, el lago se hizo mas salino con el tiempo, la evidencia también apoya la conclusión de que existieron cambios climáticos a condiciones más áridas en tiempos históricos, causando una gradual caída en el nivel del lago y un rápido incremento en su salinidad. Análisis mineralógicos de los sedimentos del lago muestran un espesor de 2 a 4 m de montmorinolita, cuarzo y yeso. Este pudo ser el origen de los otros lagos salinos de la localidad de fallas en bloque del oriente. Se postula que la salinidad en estos lagos se debe a que en los últimos movimientos del Plioceno, las cuencas en fallas se intercomunicaron a profundidad con la capa de evaporitas desarrollada durante el Cretácico y Terciario y cuyo resultado es la disolución de los sulfatos, principalmente de calcio y magnesio.

Existen informes de que en la laguna de Paytoro, se ha observado un sumidero donde las aguas superficiales se introducen al interior del macizo Cárstico y que después de fuertes lluvias, en las partes bajas cercanas a Carrillo Puerto se presentan desbordamientos de agua sobre la carretera que conduce a Chetumal. Lo anterior es importante considerarlo si el desarrollo económico en las partes altas demanda sustancias tóxicas o fertilizantes, ya que en la última instancia es el receptor final de los contaminantes, poniendo en riesgo la salud ambiental del área.

A continuación se presentará la estructura del subsuelo principalmente en el litoral Cancún – Riviera Maya, aunque también se abordarán ciudades importantes de la Península como Mérida y la capital del estado de Quintana Roo, Chetumal. Para facilitar el estudio del subsuelo éste se dividirá en zona alta y zona baja siendo la primera aquella que se extiende tierra adentro con una altura de 6 a 9 msnm y la segunda siendo aquella que esta inmediata a la bahía teniendo una elevación media de 2 msnm.

En los capítulos anteriores se estudió la historia geológica y características del subsuelo en la Península, pudimos darnos cuenta que el tipo de subsuelo de la región esta conformado casi en su totalidad por roca caliza y sus derivaciones, por ende será importante mostrar a continuación información sobre este tipo de roca, sus características físicas, químicas, y pruebas de laboratorio ejercidas sobre ella.

III.b LA ROCA CALIZA

La caliza es una roca sedimentaria porosa formada por carbonatos, principalmente carbonato de calcio. Cuando tiene alta proporción de carbonatos de magnesio se le conoce como dolomita. La roca caliza tiene una gran resistencia a la meteorización, eso ha permitido que muchas esculturas y edificios de la antigüedad tallados en dichas rocas hayan llegado hasta nosotros. Sin embargo, la acción del agua de lluvia y ríos provoca la disolución de la caliza, creando un tipo de erosión característica denominada kárstica (fenómeno estudiado previamente en este trabajo). La roca caliza es un componente importante del cemento usado en las construcciones modernas.

Contiene alto porcentaje de calcita, de materiales tríticos, como cuarzo o arcilla, lo que puede aportar un color más oscuro que el de la caliza más pura.

A continuación se presentará una descripción y clasificación de la roca caliza:

GRUPO

Carbonatos

SISTEMA CRISTALINO / ESTRUCTURA

Trigonal o Romboédrico

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Carbonato de calcio, magnesio y potasio, tiene muchas sustancias nutritivas, cristales romboédricos, escalenoédricos y prismáticos, a veces combinaciones de estas; normalmente concrecionada estalactita, psolífica, fibrosas y laminares; frecuentes maclas y variadas.

FORMACIÓN U ORIGEN

El material de la península de Yucatán se ha constituido con los restos de muchísimos esqueletos de animales marinos ricos en carbonato de calcio que se acumularon y posteriormente dieron lugar a la formación de rocas calizas. La acción del agua sobre este tipo de roca origina el relieve denominado Kárstico. El agua se infiltra y escurre a través de las fisuras del terreno modelando la capa caliza y dando lugar ríos subterráneos, cenotes, aguadas y cavernas con estalactitas y estalagmitas.

Es una roca Sedimentaria, es decir que se forma por la acumulación de material producto de efectos de erosión y transporte. Son de origen secundario, es resultado de la precipitación de restos orgánicos. Muchos de los organismos que habitan en el mar utilizan el carbonato cálcico del agua para producir caparazones protectores duros, cuando estos organismos mueren las partes calcáreas se acumulan en el fondo del mar, consolidándose formando capas de rocas calizas. El sascab que es una variación de roca caliza de forma granular o triturada que no alcanzó a consolidarse se encuentra en algunas oquedades llamadas sascaberías de donde se extrae.

TEXTURA

Granular fina a gruesa, es un poco rasposa. Tienen una textura consistente en granos minerales que se entrelazan, desarrollados durante la cristalización de sustancias que se desprenden de la solución.

DENSIDAD

Depende de su altura, puede variar de acuerdo a la cantidad de restos fósiles y silicatos que ésta contenga, pero generalmente son ligeras.

COLOR

Blanco y tintes diversos debido a impurezas. Pardo, incoloro, blanco, rosa, amarillo y gris. El color de un mineral no es una forma segura para su identificación, puesto que algunos minerales poseen una escala de colores. El color de raya (color de polvo fino que deja un mineral cuando rayamos en el sobre una placa de porcelana blanca porosa) es un indicador más seguro.

BRILLO

Vítreo, de opaco a cristalina, Translúcido a terroso, en algunas rocas como la dolomita o dolomía tiene brillo cristalino.

PROPIEDADES

La caliza es una roca sedimentaria que permite el paso del agua, es decir, es una roca permeable. Cuando el agua penetra en la caliza se lleva a cabo el proceso de disolución, mediante el cual se disuelve el carbonato de calcio.

Fractura, exfoliación sistema cristalino, dureza, color, color de raya, densidad y brillo. Contiene silicatos y sílice en diversas proporciones; solubles en agua.

USOS

El uso de las rocas calizas es muy extenso, su mayor utilización es en la construcción. El sascab sirve como cemento natural, se emplea en el revestimiento de carreteras y mezclado con cal y arcilla es un buen cemento que fue usado en la construcción de antiguas ciudades mayas como Chichén Itzá, Uxmal, Kabah, Labná, etcétera, también es muy utilizado como relleno en esta región.

Generalmente lo que se utiliza del conglomerado son los clastos (roca caliza); los de menor tamaño son empleados como grava para la construcción en losas y pisos; los conglomerados más grandes son empleados para mamposterías y construcción de muros; además que en algunos casos se emplea como ornato en fachadas de casas. El uso de las rocas calizas es muy extenso, si se calcina se puede producir cal viva, también son utilizadas en la fabricación de cemento, así como agregados pétreos (grava y arena fragmentada) para la elaboración del concreto; también es usada como materia prima en la industria del cemento Pórtland, cal hidratada, calcita, construcción, mármol, agricultura etc.

OBSERVACIONES PARTICULARES

En el sascab con frecuencia se encuentran restos de fósiles marinos, por ende las rocas calizas nos muestran la edad de la Tierra gracias a su gran contenido de fósiles. Otra característica de las rocas calizas es que se forman en capas (formación típica de las rocas sedimentarias), lo cual nos permite determinar la edad de las rocas; como se estudió en los cursos de geología las capas superiores son mas jóvenes que las inferiores.

La información de los párrafos anteriores brindaron información general y básica de la roca caliza, es importante tener muy claro las características de esta roca sedimentaria, ya que es una roca poco familiarizada respecto a las rocas conocidas en el centro y norte de la República y también una de las rocas menos exploradas ya que el desarrollo en la Península de Yucatán donde en su mayoría estas yacen, apenas ha comenzado su incremento en forma importante en las ultimas 2 décadas.

III.c ZONA ALTA

Esta constituida por materiales estratificados, de colores claros (blanco, amarillo y café) del tipo de calizas cretáceas, denominadas localmente sascab Fig.3. Este material aflora en la superficie y solo en ocasiones se observa sobre la roca caliza dura, en pequeñas proporciones o fragmentos aislados. Su textura es la de un suelo arcilloso-arenoso de consistencia variable. Del análisis de muestras extraídas a 2m de profundidad se observó que está formado por 1% de grava, 15% de arena y 84% de finos; con límites líquido y plástico de 31 y 20% respectivamente, clasificada como del grupo CL del SUCS.

En sitios donde se construyen edificios, se excavaron pozos a cielo abierto de profundidad máxima de 3m en los cuales no se encontró el nivel freático; lo que confirma la gran profundidad que tiene el nivel freático en la Península mencionado en los párrafos anteriores.

En cuanto a la estratigrafía del subsuelo, el área de cimentación se divide en dos partes: área uno, constituida superficialmente por una capa de 0.5 m de espesor de fragmentos de roca caliza mezclados con suelo vegetal, por debajo del cual existe un estrato potente de roca caliza poco alterada y poco fracturada; y el área dos, superficialmente igual que la anterior, de 0.5 m a 1.0 m, habiendo una capa de arcilla de mediana plasticidad, de consistencia poco firme de color rojizo, y de 1.0 a 3.0 m existe una arena arcillosa poco compacta (sascab).

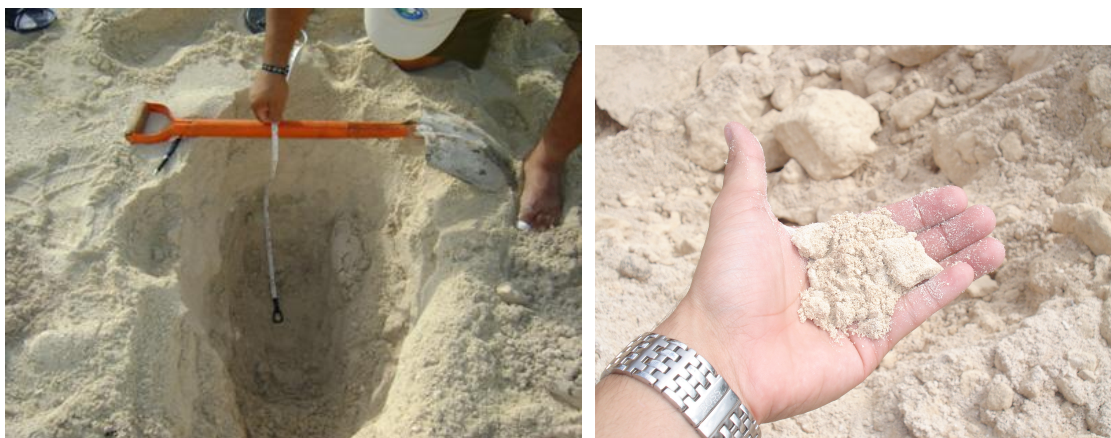


Fig. 3 Subsuelo de roca no consolidada (Sascab)

III.d ZONA BAJA

En esta zona (la zona apegada a la costa) las condiciones del terreno de cimentación son diferentes a las de la zona alta, debido a la presencia superficial de depósitos marinos recientes que yacen sobre una formación similar a la de la primera. Los depósitos marinos están poco consolidados y son de consistencia o compacidad variables, saturados por encontrarse en el nivel freático a poca profundidad de la superficie (0.5 a 1.5 m). Las condiciones son más desfavorables a medida que la distancia hacia el mar es menor. En esta zona existen evidencias de carsticidad en las rocas calcáreas y de posibles problemas de ubicación de los suelos, provocados por el flujo de agua subterránea hacia el mar.

En esta zona baja se localiza el área céntrica de la ciudad de Chetumal, y en ella, las construcciones urbanas de mayor importancia. Casi todas estas son de baja altura, uno y dos niveles, siendo las más altas las de cuatro niveles, equivalentes a 12 metros de altura.

Al norte de la región 15 del mapa geomorfológico se encuentra el Área de Cancún y Puerto Morelos Fig.4, en ella se alternan ciénagas pantanosas, lagunas y playas, constituye para algunos especialistas un laboratorio a escala natural donde se puede observar el proceso de formación de las calizas que constituyen la plataforma de toda la Península.



Fig.4 Estructura en Puerto Morelos



Fig. 5 Socavación de playas en Cancún

La configuración típica de la región esta representada por sucesivas dunas de arena endurecida que descansan sobre la roca caliza de la plataforma continental, existiendo entre ellas lagunas y pantanos en los que tiene lugar un proceso de precipitación de sedimentos de origen animal y vegetal. Sobre estas dunas de arena cementada el viento ha acumulado una faja de arena de 11 km de longitud, 400 m de anchura y unos 12 m de espesor, que se le conoce como Isla Cancún, pero en realidad constituye un cordón litoral.

Frente a la playa la plataforma caliza se prolonga hasta 1.5 km con una profundidad de 10 m, descendiendo después bruscamente al profundo mar Caribe.

La laguna emplazada entre Isla Cancún y tierra firme no es un solo cuerpo de agua, sino que esta subdividida en varios. Los sondeos realizados en ellos muestran que la lamina de agua es de 1 a 3 m de espesor y que en los bajos divisorios los depósitos de laguna costera alcanzan un espesor hasta de 10 m. La laguna denominada Nichupté, tiene dos bocas que la comunican con el mar en el norte de la misma, dicho cuerpo de agua en parte se alimenta de agua subterránea que proviene del macizo continental que fluye en forma de manantiales.



Fig.6 Isla de Cancún

La estratigrafía general de esta laguna puede resumirse en la siguiente forma:

De la superficie hasta una profundidad de 0.5 a 3.0 m el material de depósito es areno-limoso (SM) muy suelto, con fragmentos de conchas y material orgánico. Subyace a este estrato una capa de arcilla arenosa de mediana plasticidad (CL – CH) de consistencia blanda, con material orgánico; el contenido natural de agua es del orden del límite líquido o algo mayor variando ambos entre 50% y 80%; la resistencia a la penetración es muy pequeña siendo de 2 a 3 golpes como máximo. El espesor medio de este estrato es de 2.0 m, aunque en ciertos casos llega a ser mayor de 4 m. A la capa arcillosa le sigue un estrato de arena fina, uniforme, de bajo contenido de finos no plásticos (SP – SM); el contenido de agua natural es de 25% en promedio y se mantiene constante con la profundidad; la resistencia a la penetración es en general superior a 50 golpes. La profundidad en la que aparece este estrato es muy variable, siendo al este de la laguna de 5 a 6.5 m y en el lado oeste varía entre 3 y 4 m, aunque en ciertos casos es de 1 m, así pues existe una disminución del espesor de los estratos de Este a Oeste.

En la zona hotelera de Cancún la estratigrafía que muestran los sondeos es bastante uniforme y se puede resumir en un solo estrato de arena fina limosa (SM, SP-SM) , con diferentes grados de compactación y de cementación, encontrándose a 12 m de profundidad la roca caliza. A 3 m de profundidad se encuentra un estrato de arena cementada de considerable dureza de la que se tomaron dos muestras que previamente saturadas dieron resistencias en compresión simple de 15 y 25 kg/cm². Entre este estrato de arena limosa cementada y el fondo rocoso se encuentra una capa de sascab que da un número de golpes menor que 5 y cuyo espesor varía entre 3 y 8 m, siendo posible la existencia de cavernas en este estrato. Por otra parte en la zona comercial de Cancún el perfil estratigráfico es muy semejante; desde la superficie hasta 7.4 m de profundidad existe un estrato de depósitos sedimentarios recientes que descansa sobre un horizonte de roca caliza de 1 m de espesor; bajo este se encuentra un estrato de sascab, y por último a una profundidad que varía entre 15.7 y 17 m aparece un fondo rocoso que se detecta hasta la profundidad máxima explorada de 22 m.

Los depósitos superficiales están formados por arenas finas limosas, cuya compactación varía entre suelta a muy suelta, y por arcillas de consistencia suave y turba. Estos sedimentos exhiben una cohesión de 0 a 2 ton/m², con un promedio aritmético de 1 ton/m², el ángulo de

fricción varía entre 1 y 30 grados correspondiendo el máximo a arena fina prácticamente limpia.

El contenido de agua natural en las arcillas varía entre 70 y 75%, en las arenas es del 30% y en la material orgánica (turba) alcanza valores de 500%.

En el fondo de roca caliza, a 17 m de profundidad, la resistencia varía entre 700 y 2600 ton/m² con un valor promedio de 1800 ton/m².

Al sur de la ciudad de Cancún se encuentra la zona conocida como la Riviera Maya en ella predominan dos poblaciones principalmente Puerto Morelos y Playa del Carmen, siendo esta última la ciudad de mayor crecimiento en dicha franja turística; del lado del mar, el fondo rocoso esta cubierto por arenas calcáreas de reducido espesor, según se deduce de la geología superficial y de algunas cimentaciones de estructuras marinas. La superficie de roca esta formada por una capa muy compacta cuyo espesor varia de 0 a 4 m, alcanzando en ocasiones espesores mayores. Probablemente las condiciones de sedimentación en un ambiente epinerítico y de evaporación total contribuyeron al endurecimiento de esta capa respecto a las mas profundas.

En un gran número de cortes de caminos, banco de materiales, y otras excavaciones, se observa el material conocido y ya antes estudiado sascab que es una roca calcárea no consolidada, cuya característica y consistencia parece indicar que el lodo calcáreo del cual procede se depositó como calcite, y por tanto no ocurrió la recristalización de aragonita a calcite, proceso necesario para la consolidación de esta roca. También se les denomina sascab a algunas calizas y coquinas cretosas de consistencia análoga a la mencionada.

El espesor de sascab usualmente observado es de 2 a 4 metros siendo en ocasiones mayor o menor. Cuando se le localiza generalmente subyace a la capa superficial de la caliza compacta, descansando sobre caliza suave. En algunos sitios aparece interestratificado con capas delgadas de calizas como se observa en las paredes del cenote sagrado de Chichén Itzá y en otras localidades aflora en la superficie, como ocurre en una vasta región del sureste de la Península.

Frente a la costa oriental de la Península de Yucatán a 17 km se encuentra la isla de Cozumel mide 15 km de anchura por 45 km de longitud, siendo esta isla la mas grande del territorio nacional y el punto de partida del crecimiento de lo que hoy se denomina de la Riviera Maya.

Por tratarse de uno de los centros turísticos mas importantes de la región y del país, en los últimos años se ha presentado un incremento en la construcción de hoteles, infraestructura necesaria para el funcionamiento de estos, y obras marítimas para el transporte de pasajeros; el desarrollo urbano ocurre principalmente en la costa occidental, donde se ubica la población de la isla de Cozumel ubicada frente a Playa del Carmen debido a la tranquilidad de las aguas y baja profundidad del fondo marino, cubierto por una capa de arena de poco espesor.



Roca Caliza Sana en Playa del Carmen



Zapata Aislada sobre roca Sana (sobre estrato de Sascab) en Playa del Carmen



Sascab Extraído de la excavación de la zapata superior

Estratigrafía y propiedades

En la superficie de la isla existe una capa de roca caliza resistente, de espesor variable, a la que subyacen sascab, calizas suaves y dolomitas, excepto en ciertos tramos de la franja costera occidental, donde la caliza está cubierta por sedimentos marinos y suelos pantanosos, propios de ciénagas y esteros, siendo blandos y de baja resistencia al corte, donde se desarrollan manglares que hacen posible la existencia de suelos orgánicos. En gran parte del camino perimetral se desarrolla este tipo de suelos, de los cuales no se cuenta con información, sin embargo han mostrado buen comportamiento ante factores de viento principalmente. Otros tramos de la franja costera, están cubiertos por una capa delgada e irregular de suelos arenosos como se observa en algunos lugares de la isla aunque generalmente el ancho de esta franja es reducida, por lo que la existencia de playas es prácticamente nula. En los tramos restantes aflora la roca como ocurre en la costa oriental.



Estratificación común en la Riviera Maya (Obsérvese los 60 cm aproximados de sascab sobre la roca sana y la prácticamente nula capa vegetal)

En los párrafos anteriores se ha presentado el entorno de la principal región en estudio, explicando con detalle el proceso Geológico que formó la configuración del relieve actual en la Península, también se presentaron las principales características del subsuelo, formaciones y características de la roca caliza (confortantes del subsuelo de la Península) como son: ríos subterráneos, cenotes, formaciones kársticas como estalactitas, estalagmitas, columnas la roca no consolidada sascab etc.

Ahora con la información anterior claramente comprendida este trabajo será encaminado al estudio en laboratorio de los subsuelos en la Península de Yucatán, dichos estudios estarán enfocados a la región Cancún-Riviera Maya que comprende el litoral del Caribe, ya que en esta zona es donde se obtuvo información importante e interesante que complementará este capítulo; además de ser la zona de mayor relevancia en la Península para la construcción debido al auge económico y crecimiento de estas ciudades que ha incitado a las compañías constructoras nacionales y extranjeras para realizar inversiones importantes en cuestión habitacional y turística que comprende desde casas de interés social, edificios habitacionales, hasta grandes complejos residenciales, condominios de lujo, centros comerciales, centros recreativos, naves industriales y los llamados resorts que son complejos hoteleros cuya

finalidad es que el huésped tenga todo el confort dentro del mismo, sin tener la necesidad de salir de él por ende la magnitud de estas construcciones son de gran relevancia.

En los ejemplos de las siguientes paginas será donde se mostrarán las pruebas de laboratorio efectuadas a las muestras de suelo, pruebas que pudimos conocer en nuestras clases de mecánica de suelos, comprenden la distribución granulométrica de un suelo, sistemas de clasificación de suelos, relaciones peso – volumen, compacidad relativa, limites de Atterberg, pruebas de permeabilidad, esfuerzos en suelos, consolidación, asentamientos, resistencia al corte (pruebas de corte directo, prueba triaxial, prueba de compresión no confinada, ángulo Φ); pruebas conocidas por todos los estudiantes de Ingeniería Civil analizadas en clases durante la carrera, sin embargo será muy importante ver estas pruebas aplicadas en el campo laboral, como funcionan realmente para considerar algún tipo de cimentación y ver que tan factible es usarla para el suelo estudiado.