

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Isla de Cozumel (2305),
Estado de Quintana Roo***

Publicada en el Diario Oficial de la Federación
20 de abril de 2015

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "PENÍNSULA DE YUCATÁN"

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					

ESTADO DE QUINTANA ROO

2305	ÍSLA DE COZUMEL	208.7	160.4	16.893612	8.2	31.406388	0.000000
------	-----------------	-------	-------	-----------	-----	-----------	----------

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

ACUIFERO 2305 ISLA DE COZUMEL

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	87	1	18.2	20	24	55.9	DEL 1 AL 2 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
2	86	55	53.1	20	33	3.7	DEL 2 AL 3 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
3	86	53	57.1	20	33	56.9	DEL 3 AL 4 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
4	86	51	59.2	20	32	21.6	DEL 4 AL 5 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
5	86	51	42.6	20	33	1.1	DEL 5 AL 6 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
6	86	48	18.6	20	33	22.1	DEL 6 AL 7 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
7	86	43	54.6	20	35	54.0	DEL 7 AL 8 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
8	86	45	52.9	20	30	51.3	DEL 8 AL 9 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
9	86	53	55.8	20	20	40.8	DEL 9 AL 10 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
10	86	59	37.2	20	15	55.9	DEL 10 AL 11 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
11	87	1	20.1	20	17	44.9	DEL 11 AL 12 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
12	87	1	52.4	20	21	49.7	DEL 12 AL 1 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
1	87	1	18.2	20	24	55.9	



Comisión Nacional del Agua

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica

*DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD
DE AGUA EN EL ACUÍFERO ISLA DE COZUMEL,
ESTADO DE QUINTANA ROO*

México, D.F., 30 de abril de 2002

CONTENIDO

1. GENERALIDADES PENÍNSULA DE YUCATÁN

- 1.1 Localización
- 1.2 Climatología
- 1.3 Hidrografía
- 1.4 Situación administrativa
- 1.5 Topografía
- 1.6 Fisiografía
- 1.7 Geología
- 1.8 Geofísica
- 1.9 Pruebas de bombeo
- 1.10 Distribución por uso
- 1.11 Unidades Hidrogeológicas

2. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA ISLA DE COZUMEL

3. BALANCE

4. DISPONIBILIDAD

ANEXOS

1. COORDENADAS GEOGRÁFICAS

2. MUNICIPIOS

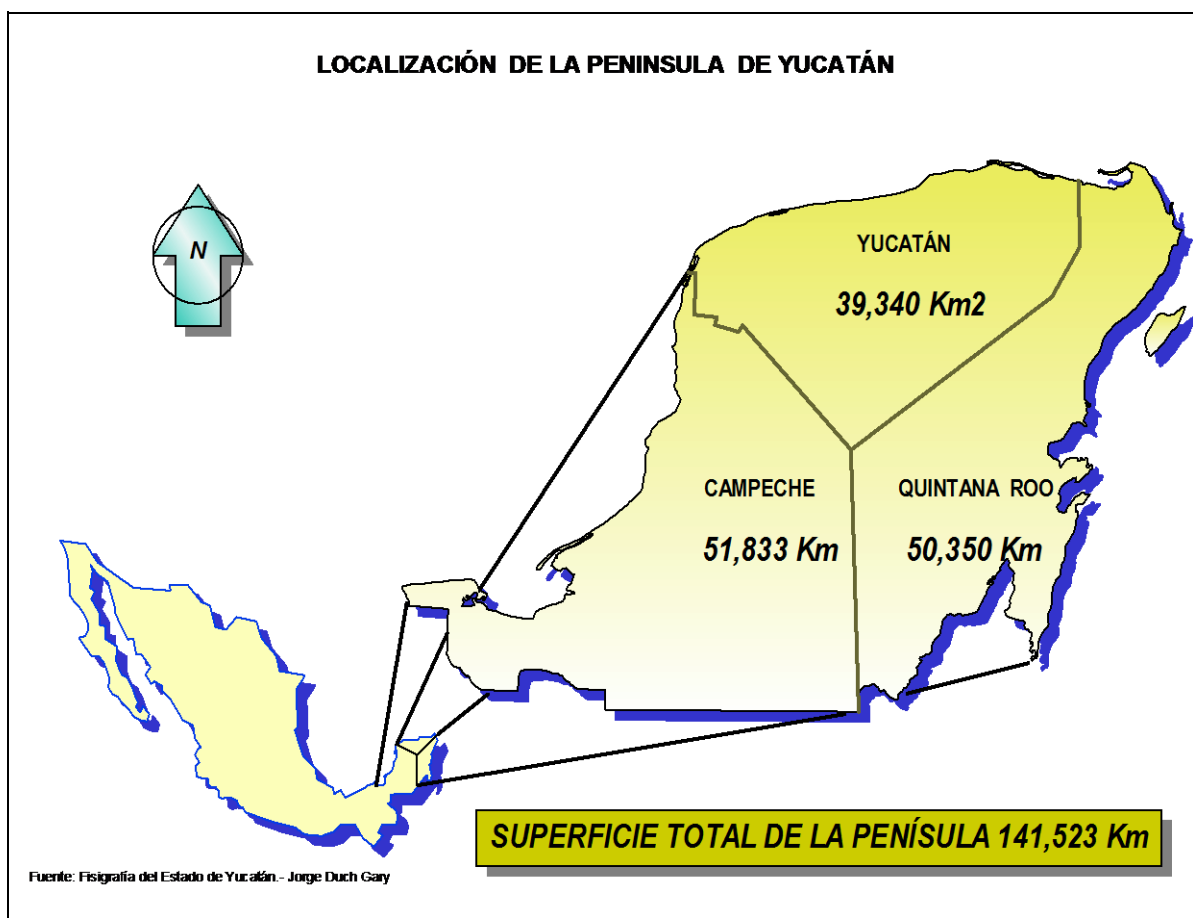
BIBLIOGRAFÍA

1. GENERALIDADES

PENÍNSULA DE YUCATÁN

1.1 Localización

La Península de Yucatán se ubica en la porción sureste de la República Mexicana y está comprendida entre las coordenadas geográficas 17° 49' 00" y 21° 36' 00" de Latitud Norte y 86° 45' 00" y 91° 20' 00" de Longitud Oeste; abarca una superficie de 141,523 km² conformada por la totalidad de los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán; limita al norte y al oeste con el Golfo de México, al sur con la República de Guatemala y Belice, al suroeste con el estado de Tabasco y al este con el Mar Caribe. En total consta de 125 municipios, 11 de los cuales pertenecen al estado de Campeche, 8 a Quintana Roo y 106 a Yucatán.

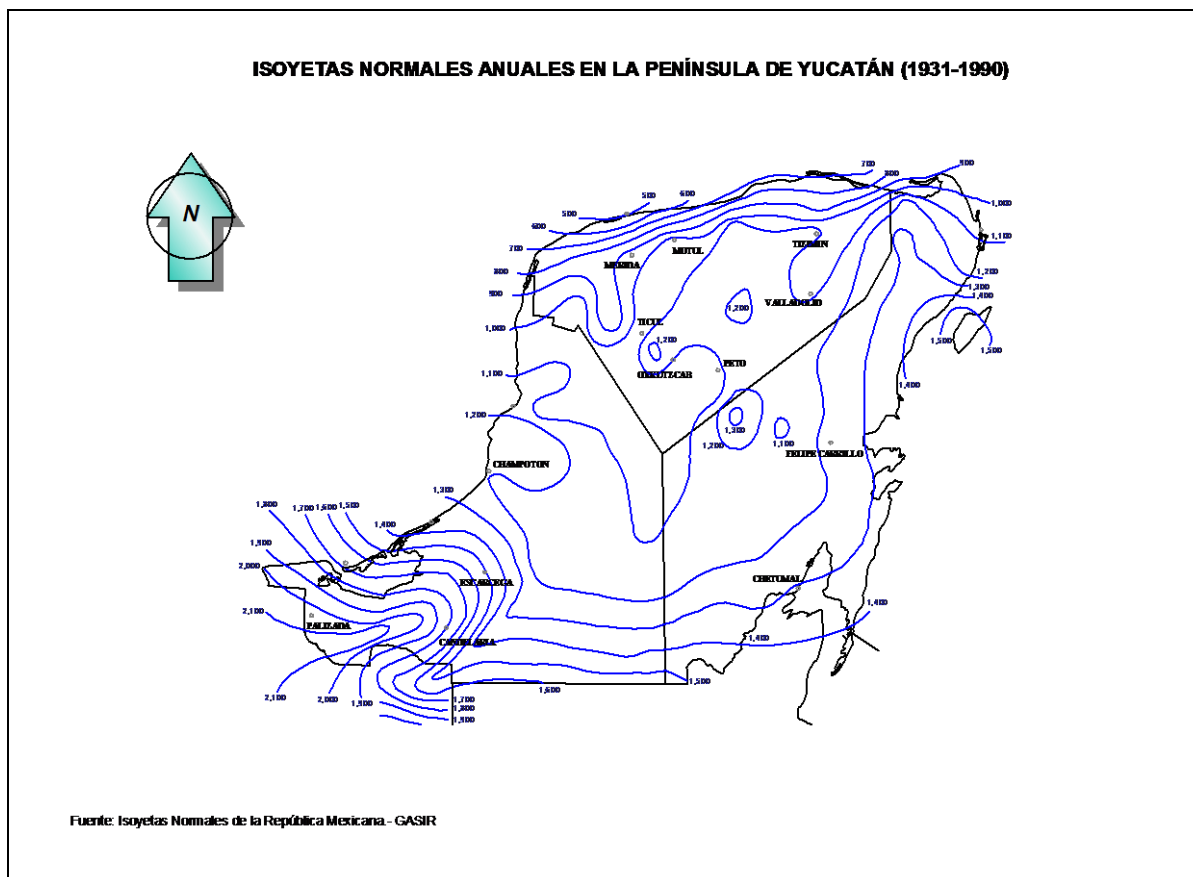


1.2 Climatología

Las características orográficas de la región propician que las variaciones de la precipitación en distintas áreas sean mínimas, lo cual se comprueba al comparar los valores de lluvia media anual en las distintas estaciones climatológicas del estado (entre 1,432.3 mm y 1,107.63 mm; calculado a partir del plano de Isoyetas para el período 1970-1996, según datos del Centro Regional de Pronóstico Meteorológico de la Comisión Nacional del Agua, Gerencia Regional Península de Yucatán) Las precipitaciones máximas se presentan en la parte sureste y suroeste, y las precipitaciones mínimas en la parte costera norte, observándose una distribución equitativa de la lluvia media en toda la zona localizada de suroeste y centro de la Península.

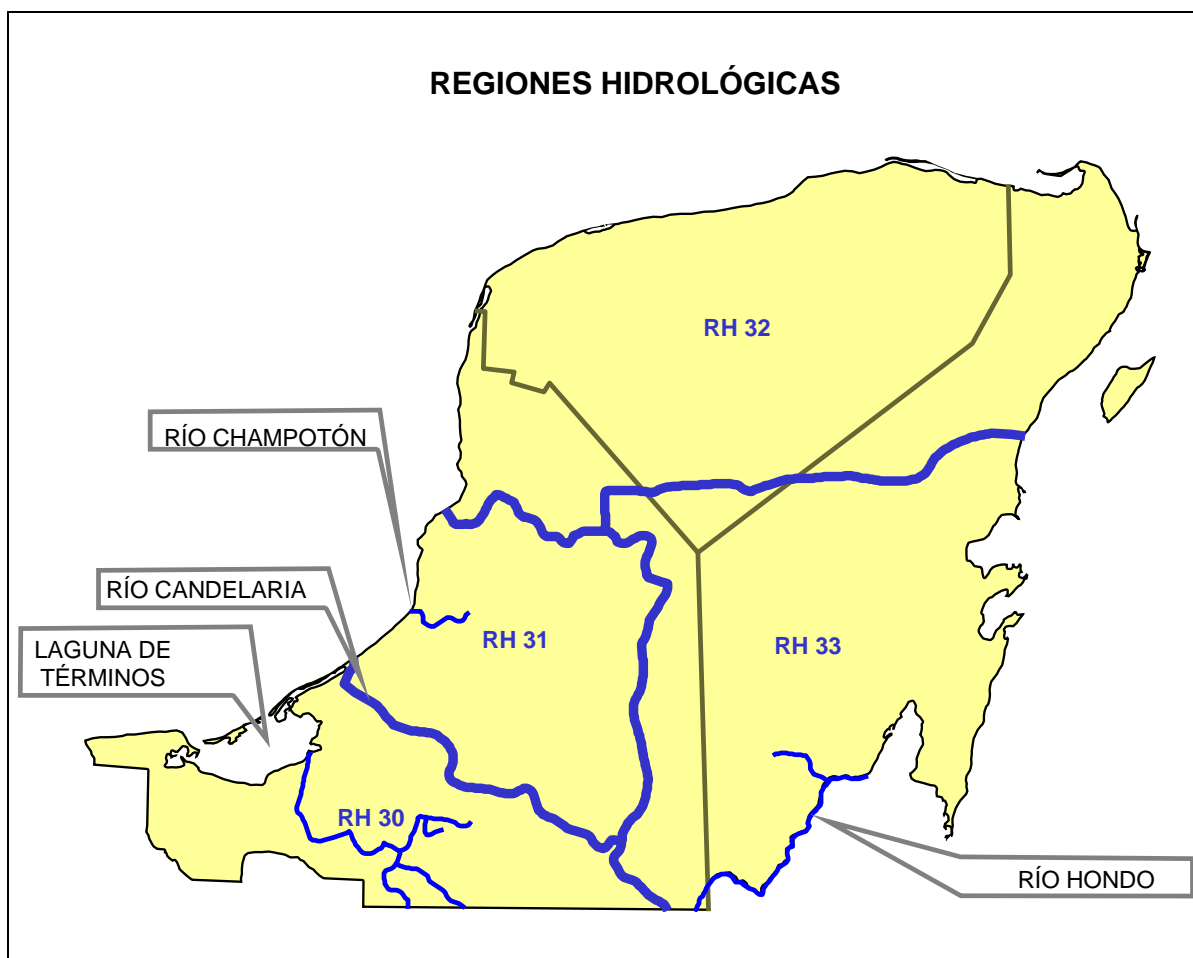
Los principales fenómenos meteorológicos que afectan año tras año a la Península de Yucatán están relacionados con la época: en el verano e invierno se observan los nortes o frentes fríos; y en los meses de abril y mayo se presenta un período relativamente seco. A partir del mes de mayo y hasta octubre, la situación meteorológica en la entidad se ve fuertemente influenciada por la presencia de ondas tropicales cuyo potencial de humedad es importante, se presenta entonces la temporada anual de lluvias, que son del tipo tropical.

Los valores medios anuales de evapotranspiración, según datos del Centro Regional de Pronóstico Meteorológico, calculados para toda la región son de 1,236.46 mm, con una variación con valores medios mínimos de 1,056 mm, a medios máximos de 1,100 mm.



1.3. Hidrografía

La elevada precipitación pluvial, aunada a la gran capacidad de infiltración del terreno y la reducida pendiente topográfica, favorece la renovación del agua subterránea de la península, por lo que prácticamente toda el área funciona como zona de recarga propiciando que los escurrimientos superficiales sean escasos o de muy corto recorrido, éstos se desarrollan principalmente en la subregión Candelaria, la cual queda comprendida entre las coordenadas $89^{\circ} 27'$ y $92^{\circ} 05'$ de longitud oeste y $17^{\circ} 49'$ y $19^{\circ} 00'$ de latitud norte y colinda al norte con la Laguna de Términos, el Golfo de México y la subregión Campeche (o RH 31); al este con la RH 31 y al sur y suroeste limita con Guatemala y el Estado de Tabasco.



El río Candelaria es el principal escurrimiento de tipo perenne y desemboca en la Laguna de Términos, con un patrón de drenaje dentrítico.

Dentro de la RH 30, localizada al suroeste de la región, se encuentran los ríos mas caudalosos de la Península de Yucatán: Chumpán, Candelaria y Mamantel y al sureste, dentro de la RH 33, se localiza el Río Hondo el cual funge como límite internacional con el vecino país de Belice y se origina a partir de la confluencia del Arroyo Azul y el Río Bravo, es navegable en toda su longitud de 121 km, su cuenca tributaria es cercana a los 13,500 km² estando su mayor parte en Belice.

1.4 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA

Con relación a la condición administrativa legal del acuífero de la Península de Yucatán, a lo largo del tiempo se han decretado cuatro vedas para la extracción de agua del subsuelo

con la finalidad de preservar, controlar o proteger su cantidad y calidad; estas vedas han sido publicadas como:

- Veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona que comprende la Delegación de Payo Obispo, en el territorio de Quintana Roo, decretada el 17 de marzo de 1964 y publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 7 de mayo del mismo año.
- Veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de aguas del subsuelo en los municipios de Benito Juárez y Cozumel, Quintana Roo decretada el 11 de marzo de 1981 y publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de marzo del mismo año.
- Decreto que declara de Interés Público la conservación de los mantos acuíferos en la zona comprendida dentro de los límites geopolíticos del Estado de Campeche, decretada el 25 de agosto de 1975 y publicada el día 10 de diciembre del mismo año.
- Decreto por el que se declara de Interés Público la conservación de los mantos acuíferos y se establece Veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en la parte que corresponde a los límites Geopolíticos del estado de Yucatán, decretada el 13 de septiembre de 1984 y publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 20 de septiembre del mismo año.

Por lo anterior, con base en el artículo 18 de la Ley de Aguas Nacionales el alumbramiento, uso, aprovechamiento y explotación de las aguas del subsuelo comprendidas dentro de las zonas vedadas requiere de autorización de la CNA, la cual es expedida mediante Título de Concesión.

Adicional al proceso administrativo, en cumplimiento de las atribuciones conferidas a la Comisión Nacional del Agua en la fracción XII del artículo 9º de la Ley de Aguas Nacionales en lo referente al proceso de Normalización, con fecha 3 de febrero de 1997 se publicó en el D.O.F. la Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996 denominada “Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos” y posteriormente, el 8 de agosto del mismo año se publicó Norma Oficial Mexicana NOM-004-CNA-1996 “Requisitos para la protección de pozos de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general“. Ambas normas son de aplicación nacional y de cumplimiento obligatorio y siendo la protección de la calidad de las aguas del subsuelo, su objetivo principal, la verificación de su cumplimiento resulta de vital importancia para la preservación de la prácticamente única fuente de captación de agua dulce de la región.

1.5.Topografía

La altitud de la Península es en general inferior a los 100 m y el punto mas elevado es la colina de San Felipe, situada en las proximidades de la frontera de Guatemala que alcanza más de 400 m de altitud. La topografía de la región es muy suave, asociadas a formas kársticas de absorción.

Existen gran cantidad de dolinas, cenotes, microcúpulas kársticas, lagunas y llanuras de inundación, estas últimas con dimensiones de metros hasta kilómetros, presentando formas circulares, alargadas e irregulares; estas geoformas están asociadas a un fracturamiento manifestando hacia el área de Cobá, Yuc., el mayor grado de carsticidad, con una orientación muy variada, mientras que hacia la costa se manifiesta un lineamiento NE-SW.; en la línea de costa se presentan playas angostas y rocosas, playas semicirculares, caletas y manantiales marinos. (Ceballos-Flores, 1981)

1.6 Fisiografía

La Península de Yucatán es una plataforma parcialmente emergida, constituida por rocas carbonatadas y evaporíticas del mesozoico tardío y Cenozoico. Fisiográficamente ha sido dividido en dos áreas principales:

1. Una gran plataforma sumergida limitada por escarpes
2. Una plataforma emergida limitada por las costas dividida por:
 - a). Una Planicie interior al norte y al este
 - b). Un área de elevaciones (cerros y lomas) que se extiende hacia el sur

PLATAFORMA SUMERGIDA:

La somera y amplia plataforma submarina que forma el banco de Yucatán-Campeche, corresponde a la porción de la plataforma masiva carbonatada de la Península.

La Península de Yucatán ha sido caracterizada por Logan et al (Isophording, 1975), como inclinada de sur a Norte y limitada sobre sus tres lados, por pendientes continentales y escalonadas que caen bruscamente en las profundidades abisales del Golfo de México. La característica principal es la presencia de arrecifes de coral, alojados en la periferia y la presencia de terrazas sumergidas relacionadas con antiguas líneas de costa.

PLATAFORMA EMERGIDA

La plataforma emergida de la península de Yucatán ha sido descrita como una plataforma masiva de calizas horizontalmente estratificadas y subdividida por varios autores en dos regiones fisiográficas: una planicie al Norte y una región de colinas al Sur que se extiende

hasta el Norte de Guatemala. No existe drenaje superficial, toda el agua de lluvia que no se evapora en la superficie del terreno se infiltra a través de las dolinas y de otras aberturas que se encuentran en el terreno rocoso, el suelo se encuentra en pequeños y delgados manchones y como relleno en las fisuras de las rocas. Sin embargo, soporta una vegetación tropical muy densa compuesta de árboles altos, maleza y plantas trepadoras.

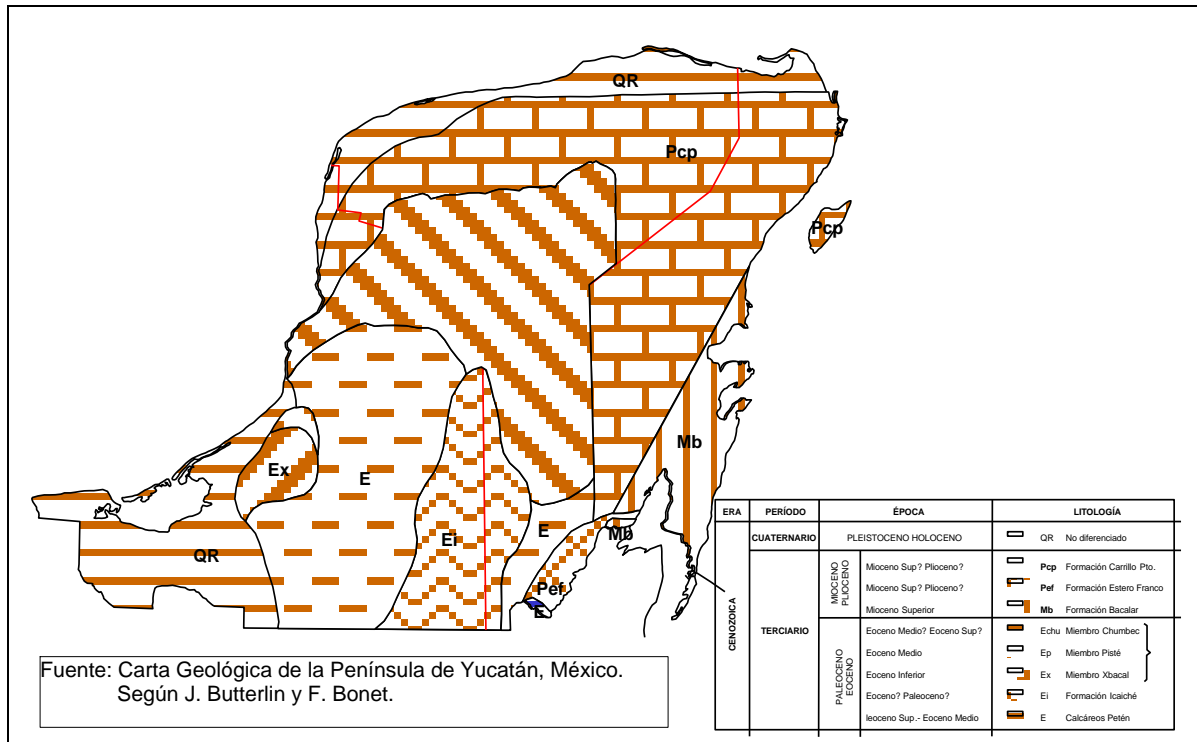
1.7. Geología

La Península de Yucatán está constituida por sedimentos calcáreos de origen marino del periodo Terciario y Reciente (Butterlin y Bonet, 1960); las rocas más antiguas se localizan al sur del estado de Yucatán y corresponden a rocas de la época del Paleoceno-Eoceno Indiferenciado, que se encuentran dolomitizadas, silicificadas o recrystalizadas, dentro de las que se incluyen a las rocas evaporitas de la formación Icaiché, constituidas por yeso, anhidrita y halita, ricas en sulfatos y cloruro de sodio respectivamente.

Los principales ejes estructurales presentan una orientación ONO-ESE y NNE-SSO, que se asocian con la Sierrita de Ticul, Yuc., y el Sistema Bacalar-Río Hondo, Q. Roo, respectivamente. Las calizas que ocupan una gran área, y de mejores características acuíferas, son las del Eoceno y Mio-Plioceno, las cuales están relacionadas con el Miembro Pisté de la Formación Chichén Itzá y la Formación Carrillo Puerto respectivamente. A continuación se presenta la Columna Estratigráfica prevaleciente:

ESTRATIGRAFÍA DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN		
EDAD	PORCIÓN NORTE	PORCIÓN SUR Y CENTRO
HOLOCENO	RECIENTE ARENAS DE PLAYA ARCILLAS Y TURBAS	RECIENTE SUELOS RESIDUALES
PLEISTOCENO	SUELOS RESIDUALES CALIZAS DE MOLUSCOS	
PLIOCENO		
MIOCENO	CARRILLO PUERTO	INDIFERENCIADO
OLIGOCENO	SIN NOMBRE (LUTITAS,CALIZAS, MARGAS)	INDIFERENCIADO
EOCENO	MIEMBRO CHUMBEC (CALIZAS)	MIEMBRO CHUMBEC (CALIZAS)
PALEOCENO	MIEMBRO PISTÉ (CALIZAS)	MIEMBRO PISTÉ (CALIZAS)
CRETÁCICO SUPERIOR		F. ICAICHÉ (CALIZA,DOLOMITA,EVAPORITA) PETÉN (?) (CALIZAS)

Fuente: Velázquez Aguirre Luis (1986)



Los "*cenotes*" y "*dolinas*" son manifestaciones kársticas, típicas de esta parte del país, varían en diámetro desde unos cuantos metros hasta más de 100 m, fueron formados principalmente por la acción vertical de la disolución y paso del agua hacia niveles profundos del nivel estático durante los períodos glaciales y revelan que las calizas han estado sujetas a significativa disolución vertical, siendo las "*cavernas*" o "*grutas*", la manifestación más espectacular y se encuentran de diversos tamaños y extensión en función de la edad de la roca e incidencia de los aspectos geológicos estructurales.

En la costa occidental de Celestún, Yuc., a Isla del Carmen, Camp., existen calizas que afloran o se encuentran a poca profundidad, excepto en sitios como Ciudad del Carmen, Campeche, donde el espesor de suelos arenosos calcáreos es importante. En términos generales, puede considerarse que se trata de una zona extensa, casi totalmente inundada, cubierta parcialmente por manglares, donde existen suelos arenosos y limosos sueltos, con áreas pantanosas de reducido espesor que yacen sobre la plataforma caliza.

En la ciudad de Campeche, a diferencia de otras ciudades y sitios de la Península, se distinguen cuatro zonas principales caracterizadas por diferentes tipos de rocas y de suelos, denominadas como; zonas rocosas, rellenos, sascab y acalché. Debajo de la zona de rellenos se encuentra una delgada capa de roca caliza y enseguida sascab de compacidad variable e incluso en estado suelto. El acalché se identifica como una arcilla de alta plasticidad, que es susceptible a experimentar cambios volumétricos al variar el contenido de agua de la misma.

En la costa norte de la Península, desde su extremo poniente en Celestún, Yuc., hasta Cabo Catoche, Q. Roo, existe un cordón litoral angosto, producto de acarreo marino, separado de tierra firme por ciénagas, marismas y lagunas pantanosas de agua salobres e hipersalinas en época de estiaje, que forman una franja en general también angosta. Estas áreas de agua están sujetas a los efectos de las mareas, lo que se observa en algunas partes de la costa oriental, tal como en zonas localizadas entre Cabo Catoche y Cancún, así como también entre Tulúm y Chetumal, localidades todas del estado de Quintana Roo.

La Isla de Cancún es una barra costera de reciente formación, la configuración típica de esta zona nororiental de la Península, está representada por sucesivas dunas de arena endurecida que descansan sobre rocas calizas 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 ancho y 12 m de espesor, conocida como

Isla Cancún, pero que 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. Los cordones litorales mencionados están constituidos por una subestructura de antiguas dunas de arena cementada, contra los que se acumula actualmente la arena. Bajo estas formaciones arenosas se encuentra un horizonte de roca caliza que corresponde a la prolongación de la plataforma hacia el fondo marino. Esta condición se observa a lo largo de toda la costa de la Península

1.8. Geofísica

En la Península de Yucatán se han realizado más de 100 estudios de exploración geofísica mediante Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), sin embargo por tratarse de estudios en proyectos de pequeñas dimensiones no se plasmaron en el mapa correspondiente. Sin embargo, por considerarse los más relevantes por la importancia para los programas Hidroagrícolas de la Península de Yucatán, cabe destacar en el estado de Campeche, el estudio realizada en el valle de “Yohaltún”, “Zona Cañera” en el estado de Quintana Roo y el estudio de “Ayim-Blanca Flor” en Yucatán. Con estos estudios se definieron las características del subsuelo en forma indirecta y con base a ello se determinaron las unidades que presentan condiciones favorables de permeabilidad y aquellas en las que prevalece material arcilloso con condiciones poco favorables o nulas en cuanto a permeabilidad.

1.9. Pruebas de bombeo

Se tienen antecedentes de aforos de pozos que datan del año de 1992 en la zona de Cancún, Q. Roo y de 1996 y 1998 en el proyecto Ayim Blanca Flor, y Oriente del estado de Yucatán, con los cuales se buscó conocer el comportamiento hidráulico del acuífero, determinar las pérdidas de carga de entrada al pozo, la variación de la salinidad del agua antes de ingresar a éste y el ascenso vertical del agua bajo el pozo, provocado por el bombeo. Cabe destacar que el comportamiento general del acuífero en cuanto a los abatimiento de los niveles estáticos fueron mínimos y sus recuperaciones instantáneas con gastos que varían de 40 a 90 lps.

1.10. Distribución por usos.

El acuífero de la Península de Yucatán se explota por medio de miles de captaciones, la mayoría de las cuales están emplazadas en las porciones norte, oriental y sur poniente. Se han estimado aproximadamente 16,165 aprovechamientos, siendo las norias o pozos

excavados los más numerosos, con los cuales se extraen pequeños caudales (entre 1 y 5 l/s), principalmente para usos agrícola, doméstico y abrevadero y representan el 53% del número total de éstos.

En número mucho menor, se extrae el agua mediante pozos perforados con profundidades entre 40 y 100 metros, éstos suministran gastos del orden de 50 l/s en promedio a los principales núcleos de población. En algunos cenotes se extrae agua mediante bombas instaladas para diversos usos con caudales promedio entre 10 y 30 l/s.

En la Península se extraen aproximadamente 1,300 Millones de $m^3/año^*$, volumen que se distribuye de la siguiente manera: cerca de 819 Miles de $m^3/año$ se destinan a la actividad agropecuaria, a los núcleos de población y uso doméstico se les suministran anualmente un poco más de 402 Miles de m^3 y poco más de 79 Miles de m^3 son utilizados cada año en las instalaciones industriales y de servicios. En la distribución por estado, en Yucatán se extrae del orden de los 758 Millones de $m^3/año$, lo que representa un 58% del volumen total, seguido por Campeche con 323 Millones de $m^3/año$, equivalente a un 25%. y el estado de Quintana Roo con aproximadamente 219 Millones de m^3 que representan el 17 %.

* FUENTE: Inventario de Aguas Subterráneas de la Subgerencia Regional Técnica de la GRPY.

1.11. Unidades Hidrogeológicas

El área descrita con anterioridad se refiere a la totalidad de la Península de Yucatán, sin embargo dentro de la Regionalización Administrativa actual, la Península de Yucatán está definida como Región Hidrológica XII, esta Región Hidrológica comprende la totalidad de los estados de Quintana Roo, Yucatán y el estado de Campeche exceptuando el municipio de Palizada, de acuerdo al Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación de fecha 18 de mayo de 1998 y modificado el 18 de enero de 1999, en los cuales se listan los municipios de la circunscripción territorial de la Gerencia Regional de la Península de Yucatán, lo que le asigna una superficie total de 139,451.30 km^2 .

Se considera a la Península de Yucatán como una Unidad Regional denominada “Acuífero Península de Yucatán”, conformada por ocho Unidades Hidrogeológicas denominadas: Costera, Círculo de cenotes, Planicie interior, Cerros y Valles, Cuencas Escalonadas, Costas bajas, X’pujil e Isla Cozumel.

Para la publicación de la disponibilidad de las aguas subterráneas en el Diario Oficial de la Federación, se realizaron balances hidráulicos por cada Unidad Hidrogeológica identificada en cada Estado que conforma la Península de Yucatán.

En el presente documento se pretende justificar la disponibilidad de aguas subterráneas de la Unidad Hidrogeológica denominada Isla de Cozumel que se ubica en el estado de Quintana Roo.

El Estado de Quintana Roo se localiza geográficamente en la parte oriental de la Península de Yucatán, entre los paralelos 17° 49' y 21° 35' de latitud norte y meridianos 86° 42' y 89° 25' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, limita al norte con el Golfo de México, al sur con el País de Belice, al este con el mar caribe, al noroeste con el estado de Yucatán y al suroeste con la República de Guatemala. Por su extensión territorial de 50,350 km², Quintana Roo ocupa el decimonoveno lugar del País. Se encuentra dividido políticamente en ocho municipios: Othón P. Blanco, Felipe Carrillo Puerto, José María Morelos, Cozumel, Benito Juárez, Isla Mujeres, Lázaro Cárdenas y Solidaridad. Dentro de las principales ciudades están: Cancún, Chetumal, Cozumel, Isla Mujeres, Playa del Carmen, Felipe Carrillo Puerto y Kantunilkín. La distribución de la población en el estado de Quintana Roo es irregular con presencia de alta densidad y despoblado en extensos territorios. A lo largo de la rivera del río hondo y las costas se localizan los principales centros de población mestiza, en la parte central se asientan los poblados indígenas mayas.

El clima predominante en el Estado, es de tipo tropical cálido subhúmedo, con lluvias en verano. La precipitación media anual varía de 900 mm. En sus posiciones nor-occidental y sur, con tendencias crecientes de la costa hacia esas porciones. La temporada de lluvia comprende de mayo a octubre; la precipitación más abundante tiene lugar en junio y septiembre, el estiaje comprende de noviembre a abril, La temperatura media anual es de 25 °C * y la evaporación potencial media anual de 1,650 mm.

* Datos del Centro Regional de Pronóstico Meteorológico de la GRPY.

El Estado de Quintana Roo por su ubicación geográfica se ve amenazado por ciclones tropicales durante la temporada comprendida de mayo a noviembre originados generalmente al este del Mar Caribe en el Océano Atlántico, y que viajan hacia el oeste rumbo al Golfo de México, la Florida, la costa del este de los Estados Unidos de Norteamérica o se disipan al llegar a las frías aguas del Atlántico norte. La mayor parte de estos fenómenos generados en esta zona, adquieren grandes magnitudes debido a que se desplazan grandes distancias sobre las cálidas aguas del Atlántico tropical, que entre otros factores alimentan de energía a dichos fenómenos y sus efectos suelen ser devastadores para las zonas que son alcanzadas.

Hidrográficamente el Estado cuenta con el Río Hondo, el cual se localiza en la región 33.2, siendo éste el único cuerpo superficial importante. Su cuenca tributaria tiene una extensión de 9,958 km², y tiene una extensión de 125 km y sirve de frontera entre México y Belice; tiene una profundidad promedio de 10 m y 50 m de ancho, sus aguas son depositadas en la Bahía de Chetumal, sus afluentes más importantes son el río Azul y los arroyos San Román y Ucúm.

Con respecto a las demás corrientes superficiales, la entidad cuenta con 51 lagunas siendo las más importantes la de Bacalar con 50 km de longitud, Chichancanab y el Sistema Lagunar Nichupté con 12 km.

La entidad queda comprendida en la provincia Fisiográfica denominada “Península de Yucatán”, la cual se caracteriza por ser una superficie sensiblemente plana, principalmente en la parte norte de la Península y en la parte sur-oriental del Estado se encuentran aflorando lomeríos prolongados de gran altura, que vienen a constituir el anticlinal, que limita los Estados de Campeche y Quintana Roo.

El marco geológico, está formado por rocas sedimentarias que fueron originadas en los períodos terciarios y cuaternario. Las rocas más antiguas son calizas dolomitizadas, silicificadas y recrystalizadas de coloración clara y con delgadas intercalaciones de margas y yeso, afloran en la porción sur del Estado y tienen espesor hasta de varios cientos de metros. Existen sedimentos arcillosos y depósitos evaporíticos; las rocas más jóvenes afloran en áreas dispersas: coquinas, calizas y depósitos de litoral areno-arcilloso en la franja costera, material residual arcilloso y celechoso, producto de alteración, de espesor reducido; las rocas presentan una disposición prácticamente horizontal en casi toda la entidad, excepto en las inmediaciones del río hondo, donde se encuentran plegadas y en la porción meridional la continuidad de los estratos es interrumpida por fallas normales que dan al terreno una configuración escalonada. Las fallas tienen longitud de varios kilómetros y se manifiestan en escarpes con desnivel de 10 a 100 m, en alguna de ellas han originado fosas gradualmente convertidas en pantanos, lagos y lagunas, siendo la mayor de ellas la Laguna de Bacalar.

De acuerdo con las características que presenta el recurso hidráulico, y con el propósito de realizar de manera adecuada el estudio de sus condiciones geohidrológicas, se dividió el estado en seis Unidades Hidrogeológicas : Costera, Planicie Interior, Cerros y Valles, Cuencas Escalonadas, Costas Bajas e Isla Cozumel, La Zona Hidrogeológica que nos compete en este documento se describe a continuación :

2. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA ISLA DE COZUMEL

La Unidad Hidrogeológica Isla de Cozumel se ubica en el Mar Caribe, a unos 20 km de la costa oriental de la península de Yucatán, abarca, dentro del estado de Quintana Roo, una superficie de 473 km², lo que corresponde al 100 % del total de la unidad hidrogeológica y al 1.1 % del estado de Quintana Roo. Sus fronteras están definidas por la poligonal cuyos vértices se listan en la tabla 1.

Según Raisz, E. 1964, esta Unidad Hidrogeológica tiene una forma irregular, alargada, con longitud media de 30 km y ancho medio de 16 km; Geomorfológicamente, la Isla presenta un relieve ligeramente ondulado en la mayor parte de la Isla, alternándose áreas planas con lomeríos de poca altura, relativamente plano en su porción occidental y escarpado en la faja costera norte y oriental.

El clima en esta zona es de tipo tropical húmedo, el período de lluvias se presenta en forma general de agosto a enero de cada año; En forma general los valores más bajos se registran durante los meses de febrero y marzo y los más altos en los de noviembre y diciembre.

Las rocas más antiguas en la zona son calizas y dolomías del Mioceno, muy compactas, de estratificación delgada y espesor total desconocido las cuales no afloran en la isla. Las formaciones correspondientes al Mioceno-Plioceno son calizas y lodolitas arenosas, con espesor total de unos 30 m, y expuestas en el borde noroccidental de la isla; calizas calcarenitas y arenas calcáreas de coloración crema con fósiles, algunas masivas y otras estratificadas, cuyo espesor total es del orden de 10 m, y que conforman el afloramiento más extenso; calizas y sedimentos calcáreos semicompactos de color crema, estratificados, que tienen espesor de unos 10 m, y que afloran en la faja costera oriental. Las rocas más jóvenes datan del Cuaternario y están representadas por gravas y arenas calcáreas, calcarenitas y fragmentos de conchas depositadas en forma discontinua a lo largo del litoral, y sedimentos de pantano depositados en las áreas costera norte y sur, inundadas por agua salobre. La Isla constituye la parte emergida de un pilar estructural (horst), limitado por dos grandes fallas normales paralelas al litoral oriental de la Península.

Los elementos estructurales que conforman la Isla de Cozumel son los siguientes:

1. Anticlinal de Cozumel
2. Falla normal Occidental
3. Falla normal oriental

El anticlinal Cozumel presenta una orientación preferencial norte-sur, con ligera variación en la porción norte hacia el noreste sureste. En los bordes oriental y occidental se localizan fallas normales que propiciaron la formación de un Horst o pilar tectónico que al ir emergiendo dio origen a la Isla.

Durante el oligoceno se llevó a cabo el depósito de las rocas más antiguas conocidas en la Isla, calizas y dolomías, estas se acumularon en un ambiente de baja energía no muestran conductos de disolución lo que indica que nunca ha sido expuesta en la superficie la que se confirma por su contenido de agua salada.

En el Mioceno superior y a principios del Plioceno, la región pasó por una serie de movimientos tectónicos, los cuales dieron origen a las fallas normales que se observan en las costas oriental y occidental de la isla; esta inestabilidad provocó el levantamiento de la isla; para el Plioceno inferior, se depositó la lodolita arenosa que presenta la carsticidad en su parte superior, se han identificado fósiles que se le atribuyen a esta edad, recibiendo el nombre de Fm. Chancanab, misma que debido a movimientos ascendentes y descendentes presenta su cima a diferentes profundidades 7 y 21 m, y espesores del orden de los 20 m.

Durante el Plioceno medio, se acumuló la formación Abrigo, la cual consta de 3 miembros con diferentes características estructurales: el inferior sin estratificación, el segundo la tiene cruzada y el superior bien definido. Los dos primeros miembros corresponden a una calcarenita bien consolidada y el tercero a una arenisca calcárea muy consolidada. La cima de esta unidad, se le encuentra a diferentes profundidades que varían de 0 a 14 m. Aflora en la porción central y occidental de la isla; la posición de las unidades antes mencionadas muestra un cambio en los ambientes de depósito, en primer término se tiene un ambiente lagunar interno: paquete sin estratificación, posteriormente una zona cercana a la costa: estratificación cruzada y por último una estabilización general de la zona: estratificación bien definida. Lo anterior hace suponer que la Isla durante este pasado tuvo una actividad tectónica regular.

Para el Plioceno superior se depositó la formación Mirador, la cual consiste de dos miembros, el inferior son calizas y areniscas y el superior sedimento calcáreos compactos y suaves, presentan estratificación definida, sin fósiles; los afloramientos de esta unidad, se aprecian únicamente en la porción oriental de la Isla; el espesor de esta formación se ha observado por sondeos, siendo del orden de 13 m, regionalmente se considera 10 m en total.

En el Pleistoceno se produjo un movimiento emergente por lo que las formaciones descritas fueron expuestas a los agentes del intemperismo y erosión se produjo una infiltración en los conductos de disolución y fracturas, desplazando así al agua salada que contenían. Para este tiempo es probable que la formación Mirador se erosionara y por lo tanto quedara expuesta a la formación Abrigo y muy localmente la formación Chancanab.

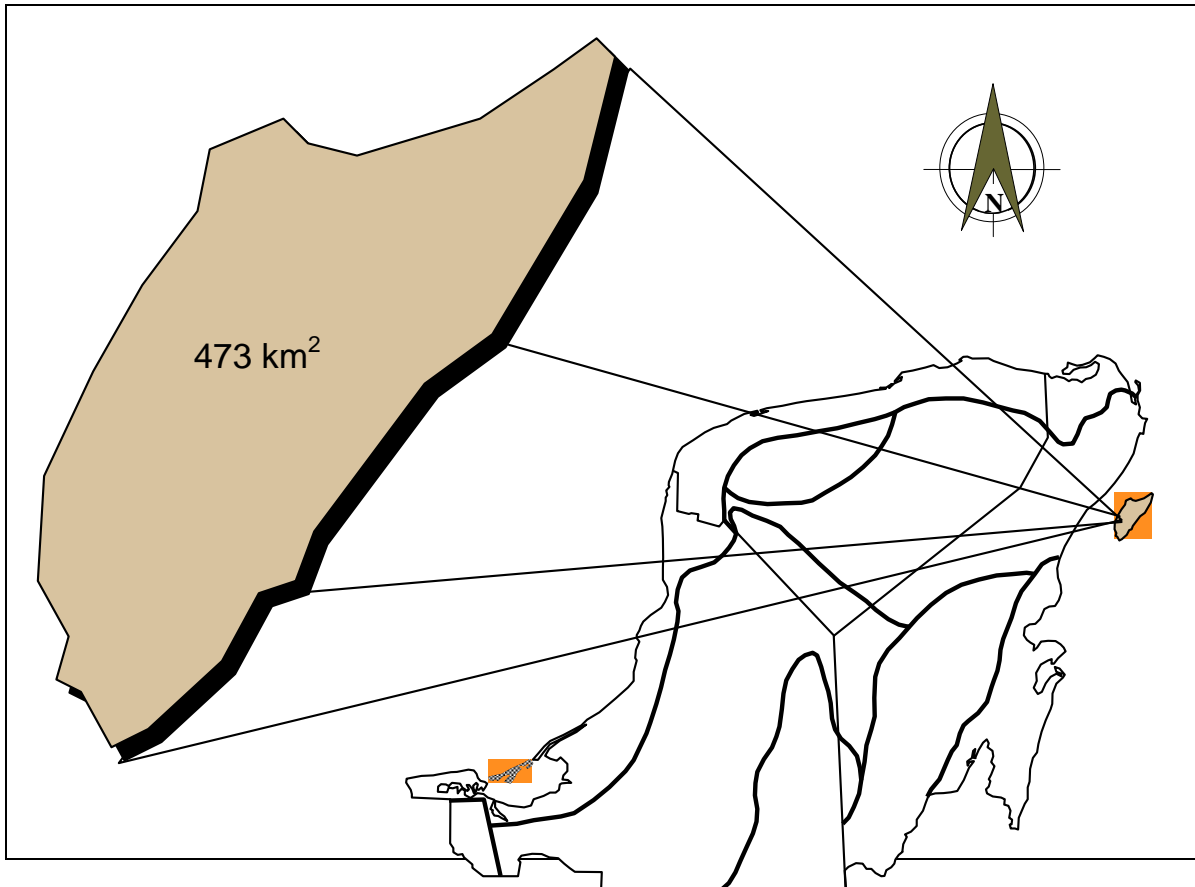
Debido a las características topográficas: relieve nulo; e hidráulicas: alta permeabilidad que predominan en la Isla, no se ha desarrollado algún tipo de drenaje que se pudiera considerar como una corriente superficial propiamente dicha; el agua que se precipita en la superficie del terreno se infiltra rápidamente o se acumula en las zonas de inundación, al norte y sur de la isla o en pequeños estanques temporales.

El agua aprovechable en esta Unidad Hidrogeológica está alojada en las rocas carbonatadas de las formaciones Chancanab y Abrigo: calizas fosilíferas, calcarenitas y areniscas calcáreas, que datan del Terciario. La primera de ellas, con un espesor medio de 20 m constituye la porción inferior del acuífero y, prácticamente no está expuesta: la formación Abrigo, con espesor de unos 9 m, aloja la parte superior del acuífero y aflora en la mayor parte de la isla. En las fajas costeras norte, oriental y sur de la misma, el acuífero está cubierto por las calizas de la formación Mirador y localmente por sedimentos del Reciente.

El “Acuífero dulce” está limitado superiormente por la superficie freática, inferiormente por la zona de transición que se forma en los sistemas insulares o costeros por la mezcla del agua dulce y el agua marina, y lateralmente por el litoral (al poniente) y por la Formación Mirador (al norte sur y oriente), que aflora en las áreas costeras empantanadas. Las fronteras verticales son dinámicas: presentan oscilaciones estacionales, provocadas por la recarga y la descarga natural o artificial.

Esta Unidad Hidrogeológica se caracteriza por su alta permeabilidad secundaria y por su marcada heterogeneidad con respecto a esa propiedad, características derivadas de la abundancia e irregular distribución espacial de las oquedades y conductos de disolución formados por el ataque químico del agua sobre las rocas carbonatadas. El volumen de extracción según el Registro Público de Derechos de Agua concesionado al 30 de abril de 2002 en esta zona suma un total de 8.2 Mm³/año.

UBICACIÓN DE LA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA ISLA DE COZUMEL EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO.



El volumen estimado de precipitación es de $777.46 \text{ Mm}^3/\text{año}$ y la temperatura promedio es de 24.7° C , por lo que mediante la aplicación del método de Turk se tiene una evapotranspiración de $568.73 \text{ Mm}^3/\text{año}$ y un Volumen de Infiltración de $208.73 \text{ Mm}^3/\text{año}$.

3.- BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ENTRADAS

Flujo Horizontal (Eh)	0.00	$\text{Mm}^3/\text{año}$
Recarga Natural (Rn)	208.7	$\text{Mm}^3/\text{año}$

SALIDAS

Salida Horizontal (Sh)	?
------------------------	---

Descarga Natural (Dn)	0.00 Mm ³ /año
Bombeo (B)	8.2 Mm ³ /año

Entradas - Salidas = 0

Eh+Rn-Dn-B-Sh=0

0+208.7-0-8.2 = Sh

Sh = 200.5

4- DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de las aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece que se determina por medio de la expresión siguiente:

Disponibilidad media de = Recarga Total - Descarga Natural - Volumen Concesionado de
 Agua Subterránea en una Media Anual Comprometida Aguas Subterráneas e
 unidad hidrogeológica inscrito en el REPDA

RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL (Rt)

La recarga total media anual corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural, más la recarga inducida. . En este caso, es la suma de la recarga vertical y las entradas horizontales. De esta manera la Recarga Total es de **208.7 Mm³/año**

DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA

La descarga natural comprometida de un acuífero, es la suma de los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos alimentados por una unidad hidrogeológica, que están comprometidos como agua superficial para diversos usos, y de las descargas subterráneas que se deben conservar para no afectar a las unidades hidrogeológicas (flujo horizontal que sirve de recarga para acuíferos aguas abajo) o destinadas para sostener el gasto ecológico (vegetación nativa e intrusión salina).

Bajo el concepto anterior, las descargas naturales comprometidas del Acuífero Isla de Cozumel son: 1) las descargas naturales que tienen lugar hacia el mar (Dn) y 2) la salida por flujo subterráneo (Sh). El volumen calcula es del orden de **108.0 Mm³/año**

VOLUMEN CONCESIONADO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, al 30 de abril de 2002, es de **8,571,010 m³/año**.

DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la norma referida, se obtiene de restar el volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA, que de acuerdo con la expresión anterior, resultó ser de **92,128,990 m³/año**.

$$92,128,990 = 208,700,000 - 108,000,000 - 8,571,010$$

La cifra indica que existe volumen disponible de 92,128,990 m³ anuales para nuevas concesiones en la unidad hidrogeológica denominada acuífero Isla de Cozumel.

TABLA 1

UBICACIÓN DE LA ZONA HIDROGEOLÓGICA ISLA DE COZUMEL EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO

Vértice	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	87	1	19.2	20	24	57.6	Del 1 al 2 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
2	86	55	51.6	20	33	3.6	Del 2 al 3 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
3	86	53	56.4	20	33	57.6	Del 3 al 4 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
4	86	51	57.6	20	32	20.4	Del 4 al 5 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
5	86	51	43.2	20	33	0.0	Del 5 al 6 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
6	86	48	18.0	20	33	21.6	Del 6 al 7 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
7	86	43	55.2	20	35	52.8	Del 7 al 8 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
8	86	45	54.0	20	30	50.4	Del 8 al 9 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
9	86	53	56.4	20	20	42.0	Del 9 al 10 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
10	86	59	38.4	20	15	57.6	Del 10 al 11 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
11	87	1	19.2	20	17	45.6	Del 11 al 12 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
12	87	1	51.6	20	21	50.4	Del 12 al 1 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
1	87	1	19.2	20	24	57.6	Del 1 al 2 por la línea de bajamar a lo largo de la costa

BIBLIOGRAFÍA

Bonet y Butterlin (1962) "Stratigraphy of the northern part of the Yucatán Península". New Orleans Geological Society, New Orleans, USA.

Butterlin, J. Y Bonnet, F. (1963) "Mapas Geológicos de la Península de Yucatán". Revista Ingeniería Hidráulica en México, México, D.F.

CNA, (1994) "Manual para evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos", Hidrolegro, S.C. (Editor), México, D.F.

CNA, (1996) "Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento", p 107, Impresos Quadratm de México, S.de R.L., de C.V., México D.F.

David Keith Todd,. (1959a), "Groundwater Hidrology", N.Y., p. 180, John Wiley & Sons, Inc. London, Chapman and Hall, Ltd.

Duch, J. (1989) "La conformidad Territorial del Estado de Yucatán", 211, Universidad Autónoma de Chapingo, Centro Regional de la Península de Yucatán.

Duch, J. (1991) "Fisiografía del estado de Yucatán, su relación con la Agricultura", Primera Edición, Universidad Autónoma de Chapingo, México, D.F.

Gobierno Federal, "Diario Oficial de la Federación" (1964); Publicación del 7 de mayo de 1964.

Gobierno Federal, "Diario Oficial de la Federación" (1975); Primera Sección, Publicación del 10 de diciembre de 1975.

Gobierno Federal, "Diario Oficial de la Federación" (1981); Publicación del 23 de marzo de 1981.

Gobierno Federal, "Diario Oficial de la Federación" (1984); Publicación del 20 de septiembre de 1984.

Méndez, R.R.(1991) "Modelo de comportamiento del acuífero en la ciudad de Mérida", Comisión Nacional del Agua. Mérida Yuc., Méx.

SARH, (1989). "Sinopsis Geohidrológica del Estado de Quintana Roo", Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. , México, D.F.