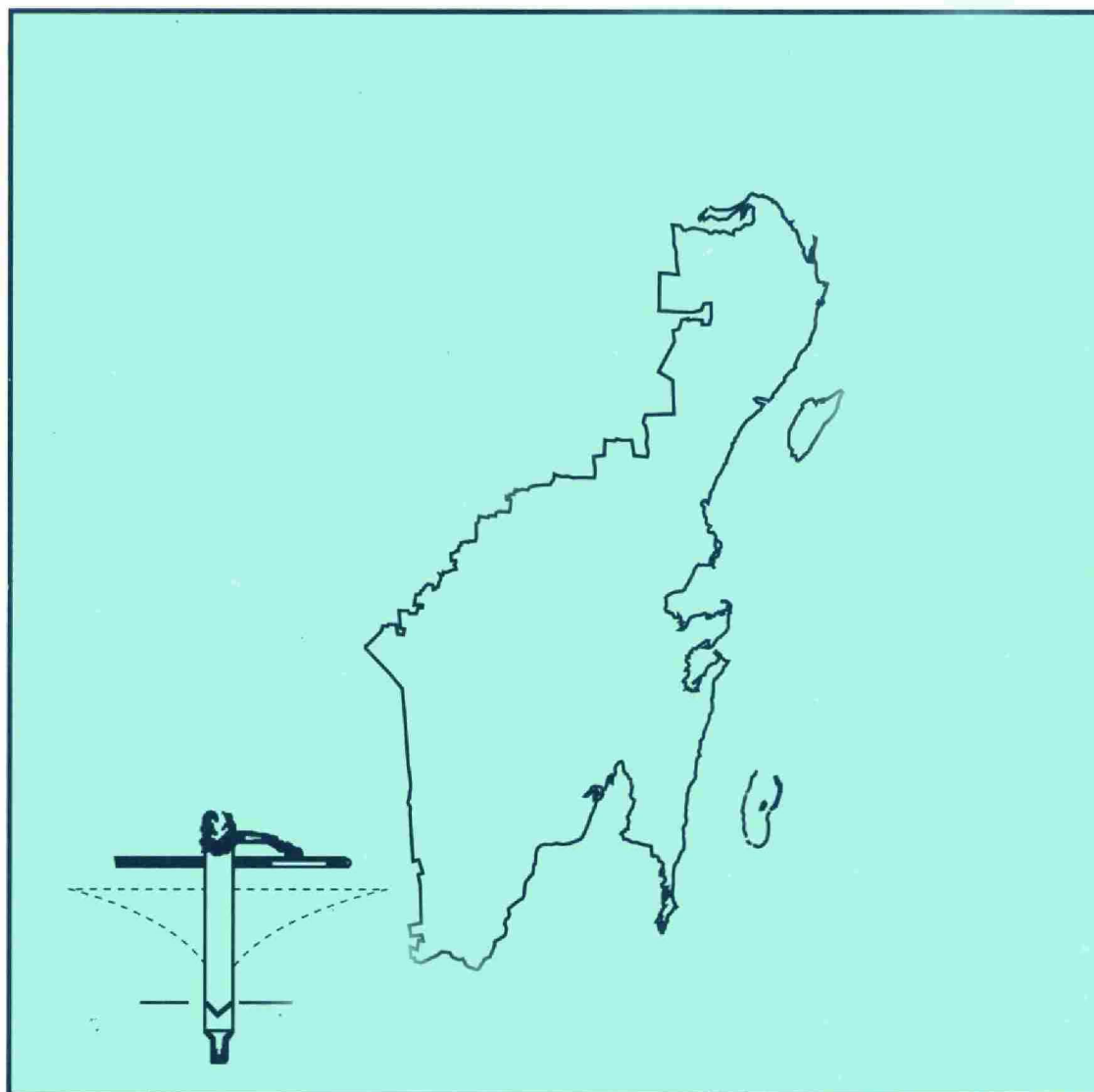


ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO



INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA
GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA



GOBIERNO DEL ESTADO DE
QUINTANA ROO



**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA
GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA**

ALMACEN CENTRAL
AV. HEROE DE NACÓZARI #2301 COL. JARDINES DEL PARQUE
AGUASCALIENTES
AGUASCALIENTES 20270

MOVIMIENTO DE ALMACEN

Número: K119970
Fecha: 14/05/2002
Clave Origen: K1
Clave Destino: 07
Hoja: 1 de 1

Tipo de Movimiento: 07
Donación Uso Interno

Datos Personales

Institución o Dependencia: INEGI - D. G. D.
Nombre del Solicitante: BIBLIOTECA CENTRO DE INF. INEGI
Cargo:
Domicilio: EDIFICIO CENTRO DE INFORMACIÓN
Ciudad: AGUASCALIENTES Estado: AGS. Código Postal: Teléfono:

Cantidad Solicitada	Cantidad Surtida	Clave del Producto	Descripción del Producto	Precio Unitario	Importe
2	2	702825224196	Estudio Hidrológico del Estado de Quintana Roo.	90.00	180.00

Observaciones:

Importe Total: \$ 180.00

Elaboró

ISIS ESQUIVEL
Nombre y Firma

Fecha: 14/05/2002

Autorizó

RICARDO REAL A.
Nombre y Firma

Fecha: 14/05/2002

Surtió

Nombre y Firma

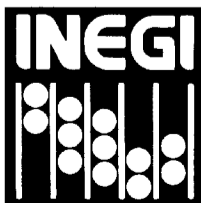
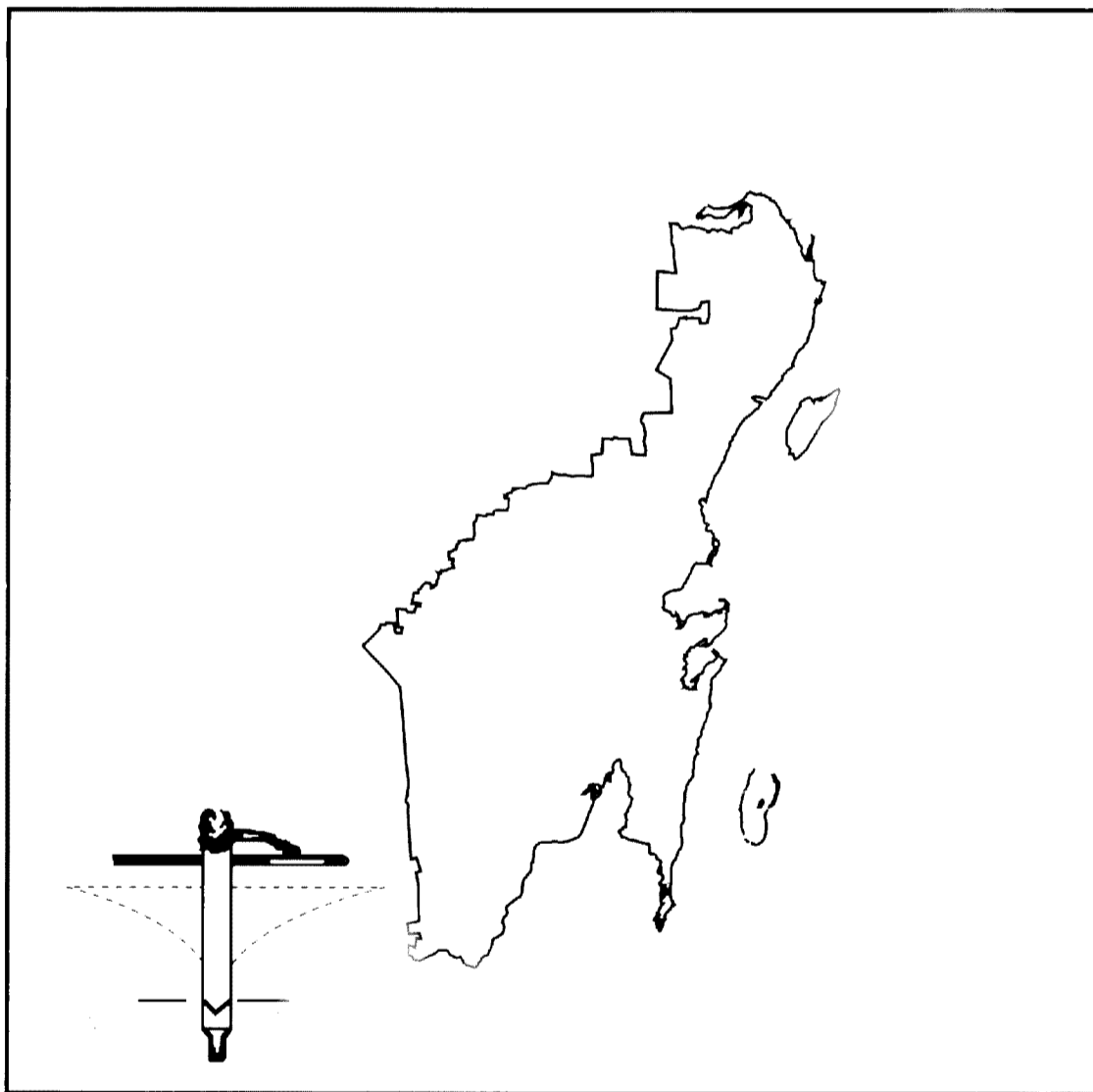
Fecha:

Recibió de Conformidad

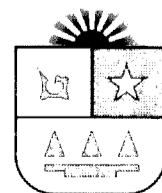
Nombre y Firma

Fecha:

ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO



INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA
GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA



GOBIERNO DEL ESTADO DE
QUINTANA ROO

Estudio Hidrológico del Estado de Quintana Roo.

Publicación única. Primera edición. 96 p.p. Conocer las condiciones del estado y su situación actual, así como las perspectivas en cuanto a las posibilidades del recurso hidráulico; información que es resumida y de forma gráfica, para su fácil comprensión y aplicación. Todo ello a través de los temas de generalidades, marco físico general, climas, geología, hidrología superficial y subterránea.

OBRAS AFINES O COMPLEMENTARIAS SOBRE EL TEMA: Anuarios Estadísticos.

SI REQUIERE INFORMACIÓN MÁS DETALLADA DE ESTA OBRA, FAVOR DE COMUNICARSE A:

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

Dirección General de Difusión

Dirección de Atención a Usuarios y Comercialización

Av. Héroe de Nacozari Núm. 2301 Sur

Fracc. Jardines del Parque, CP 20270

Aguascalientes, Ags. México

TELÉFONOS: 01 800 674 63 44 Y (449) 918 19 48

www.inegi.gob.mx

atencion.usuarios@inegi.gob.mx

DR © 2002, **Instituto Nacional de Estadística,
Geografía e Informática**

Edificio Sede

Av. Héroe de Nacozari Núm. 2301 Sur

Fracc. Jardines del Parque, CP 20270

Aguascalientes, Ags.

www.inegi.gob.mx

atencion.usuarios@inegi.gob.mx

Estudio Hidrológico del Estado de Quintana Roo

Impreso en México

ISBN 970-13-3737-9

Presentación

El **Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)** presenta la publicación del **Estudio Hidrológico del Estado de Quintana Roo**, documento que forma parte de una serie de estudios hidrológicos por entidades federativas estatales.

Esta publicación y la serie de estudios en su conjunto ofrecen información sobre los factores más importantes del Ciclo Hidrológico, la cual permite descender a un detalle particular y adecuado para poder planear estrategias en la optimización del recurso agua, complementándolo con una serie de cuadros, figuras y planos.

Estos estudios integran y difunden el conocimiento de las aguas superficiales y subterráneas en el país, debido a la necesidad de obtener este vital elemento con una mayor disponibilidad y una mejor calidad, tanto para el consumo doméstico como para el uso industrial y agrícola.

De esta forma el **INEGI** resume, por entidades federativas estatales, el cúmulo de información hidrológica que por 20 años ha elaborado; contando con tres versiones del panorama hidrológico nacional: la cartografía en escala 1: 1 000 000, la cartografía en escala 1: 250 000 y esta serie de Estudios Hidrológicos Estatales.

Esta publicación integra también información de diversas instituciones de gobierno por lo que se manifiesta un reconocimiento a ellas.

Instituciones que Proporcionaron Información

Siglas utilizadas

Comisión Nacional del Agua
Gerencia Regional Sureste
Gerencia en el Estado de Quintana Roo

(CNA)

Comisión Estatal de Agua Potable,
Alcantarillado y Saneamiento

(CEAPAS)

Índice General

Índice de Cuadros y Figuras	VII
Introducción	IX
Objetivos	XI
Metodología	XIII
1. Generalidades	1
1.1 Localización, Límites y Extensión	1
1.2 Panorama Demográfico	1
1.3 Las Comunicaciones	1
2. Marco Físico General	3
2.1 Unidades de Relieve	3
2.2 Tipos de Suelos: Características Generales y Grado de Permeabilidad	4
2.3 Aspectos Biogeográficos: Uso del Suelo y Vegetación	6
3. Clima	11
3.1 Distribución y Variación Climática	11
3.2 Distribución Espacial de los Climas	11
3.3 Temperaturas y Precipitaciones	11
3.4 Consecuencias Hidrológicas del Régimen Climático	12
4. Geología	13
4.1 Fisiografía	13
4.2 Estratigrafía	13
4.3 Geología Histórica	15
4.4 Geología Estructural	16
4.5 Unidades Geohidrológicas	16
5. Hidrología Superficial	19
5.1 Panorama General del Agua Superficial en el Estado de Quintana Roo	19
5.2 Región Hidrológica 32, Yucatán Norte (Yucatán)	19
5.3 Región Hidrológica 33, Yucatán Este (Quintana Roo)	20
5.4 Escurrimiento Superficial	21
5.5 Conclusiones y Recomendaciones	21
6. Hidrología Subterránea	23
6.1 Panorama General del Agua Subterránea en el Estado	23
6.2 Análisis y Panorama de las Características del Agua Subterránea en Cada Zona Geohidrológica	25
6.3 Usos del Agua Subterránea en las Zonas de Explotación	26
6.4 Conclusiones Geohidrológicas y Recomendaciones Derivadas del Impacto de Explotación, por Zona Geohidrológica	29

7. Conclusiones y Recomendaciones Hidrológicas para el Estado	31
7.1 Conclusiones	31
7.2 Recomendaciones	33
Fuentes Cartográficas y Estadísticas	35
Bibliografía	37
Anexos	39
A. Especies más Comunes de la Biocenosis del Estado de Quintana Roo	41
B. Volúmenes de Descargas de Aguas Residuales de Plantas de Tratamiento y Alcantarillado	43

Índice de Cuadros y Figuras

Cuadros

1.	Principales Localidades de 2 500 o más de Habitantes y Porcentaje de Población Municipal que Concentran	47
2.	Incremento de Población en el Período 1995-2000 y Porcentaje de Participación en el Total del Estado	47
3.	Densidad de Población por Municipio	48
4.	División Hidrológica	48
5.	Balance del Agua por Región Geohidrológica	49
6.	Profundidad, Abatimiento, Espesor y Profundidad Promedio del Acuífero	49
7.	Usos del Agua por Zona Geohidrológica	50
8.	Volúmenes de Extracción de Agua por Tipo de Aprovechamiento	50
9.	Estaciones Climáticas en el Estado de Quintana Roo, Promedio de Temperatura Media Anual, Precipitación Total Anual y Evaporación	51

Figuras

1.1	Localización Geográfica	55
1.2	División Geoestadística Municipal	56
1.3	Porcentajes de Distribución de la Población Estatal	57
1.4	Infraestructura para el Transporte	58
2.1	Orografía	59
2.2	Edafología	60
2.3	Agricultura y Vegetación	61
3.1	Climas	62
3.2	Isotermas e Isoyetas	63
3.3	Evapotranspiración Real	64
3.4	Déficit de Agua	65
4.1	Geología	66
4.2	Fisiografía	67
4.3	Unidades Geohidrológicas	68
5.1	División Hidrológica Superficial	69
5.2	Unidades de Escurrimiento Superficial	70
5.3	Corrientes y Cuerpos de Agua	71
6.1	Geohidrología	72
6.2	Zonas Geohidrológicas	73
6.3	Tipo de Veda Geohidrológica	74
6.4	Vulnerabilidad a la Contaminación	75
6.5	Profundidad del Nivel Estático	76
6.6	Elevación del Nivel Estático	77
6.7	Sólidos Totales	78
6.8	Condición Geohidrológica	79

Introducción

La extensión y diversidad geográfica del Territorio Nacional dan como resultado una distribución restrictiva e irregular del agua; restrictiva porque aproximadamente la mitad norte del país experimenta un déficit constante de precipitaciones, mientras en el sur y sureste, éstas son abundantes. Irregular porque los niveles de concentración demográfica y de los distintos sectores de actividad económica no se corresponden, por lo general, con las áreas favorecidas de mayor disponibilidad o facilidad en el aprovechamiento de este recurso.

Un bien indispensable, pero escaso y desigualmente repartido ha propiciado en México una constante y creciente explotación hidráulica, muchas veces en forma incontrolada e incluso perjudicial para la recuperación del equilibrio en el ciclo natural del agua.

La importancia extrema de esta problemática ha motivado la consideración del agua, entre otras, dentro de todo plan de desarrollo, en un apartado específico que responde a la política sectorial tendiente al óptimo aprovechamiento de este recurso.

Se requiere, sin duda, un conocimiento real y estricto del panorama y las condiciones de la mayor parte de los factores que intervienen en el comportamiento del agua y su renovación, así como la perspectiva espacial de todo ello a distintas escalas, de acuerdo con los requerimientos del planteamiento. Por esta razón, si bien es cierto que un estudio hidrológico no debiera circunscribirse a unidades espaciales con límite político-administrativos, porque la naturaleza marca los suyos propios, también es verdad que las necesidades del hombre para la buena gestión de los recursos que el medio ofrece, exigen establecer fronteras que permiten el estudio, conocimiento y toma de decisiones sobre un espacio determinado.

A lo anterior responde, precisamente, la serie de ESTUDIOS HIDROLÓGICOS ESTATALES que tienen la intención de ofrecer, a cualquier lector interesado en la problemática nacional del agua y sus variaciones, un acervo de información, sintetizada e integrada, sobre los elementos más importantes del ciclo y dinámica hidrológica, tanto físicos como humanos en nuestro país.

Un trabajo de esta naturaleza requiere de recopilación, análisis y síntesis de muy variada información que permite contemplar con rigor la situación de un espacio determinado - el Estado - respecto al comportamiento superficial y subterráneo del agua, para culminar en una serie de observaciones y recomendaciones, derivadas de las consecuencias hidrológicas de las particulares características de cada unidad de estudio, a fin de optimizar y buscar la mejor manera de

ejecutar las actividades de aprovechamiento del agua en cada Estado de la Federación.

El **INEGI**, como Servicio Cartográfico Nacional, da respuesta, de este modo, a las crecientes necesidades de investigación práctica y producción cartográfica para el mejor conocimiento de los problemas que de forma directa afectan al desarrollo equilibrado de nuestra Patria.

Se concreta, asimismo, en unidades político-administrativas el cúmulo de información hidrológica que a lo largo de casi veinte años ha venido elaborando esta Institución y que cubrirá los tres niveles básicos para el estudio, conocimiento y mejor administración del agua, así como para la concientización real respecto a su problemática: la cartografía 1: 250 000 que permite descender al detalle que escapa a la escala 1: 1 000 000, cuyo objetivo es la visión globalizante, se complementa ahora con el ESTUDIO HIDROLÓGICO ESTATAL que hace posible la caracterización y consiguiente tipificación de cada espacio, objeto de actuación estratégica, al tiempo que permite ofrecer al ciudadano una guía sintética y accesible respecto a las peculiaridades de cada Estado, dentro del marco de una gran profusión gráfica, como corresponde a una publicación de esta naturaleza.

Objetivos

Se han esbozado, hasta aquí, los objetivos generales de este trabajo, conviene ahora señalar, puntualmente, los propósitos específicos en que aquellos se concretan, desde dos perspectivas complementarias: la meta de producción y publicación cartográfica de la Dirección General de Geografía (DGG), y la finalidad última de una investigación hidrológica práctica.

Dada la importancia del agua en México y la urgencia de información precisa, a distintos niveles, el INEGI se ha propuesto ofrecer una publicación útil que permita:

1. Disponer, en un solo estudio, de la información hidrológica, realidades y perspectivas de gestión más importantes del agua en cada Estado.
2. Suministrar esta información-resultados de recopilación y análisis de manera sintética, accesible y gráfica para facilitar su comprensión y aplicación.
3. Proveer así de un compendio hidrológico estatal que satisfaga, en la medida de sus posibilidades, las necesidades del planeamiento, de la toma de decisiones y de concientización respecto a la problemática del agua en cada Estado y la obligada racionalización de su consumo.
4. Brindar una aportación al conocimiento geográfico del país y su cartografía.
5. Ofrecer un producto de utilidad a estudiantes de nivel medio y superior o a cualquier ciudadano interesado en conocer mejor su región.

En cuanto al estudio hidrológico en sí mismo, éste pretende:

1. Examinar de la manera más detallada posible, las condiciones generales de los factores que inciden de forma directa en el ciclo del agua en cada Estado, esto es, los componentes del medio físico y humano que actúan como variables interdependientes; se consideró de este modo, el crecimiento de la población, la estructura económica, los niveles de concentración y las comunicaciones (accesibilidad), en razón de la incidencia que contienen sobre el uso y distribución del recurso; se examinó al tiempo, el

impacto del relieve, el suelo, la vegetación, el clima y la geología sobre la disponibilidad del agua.

2. Analizar en profundidad los elementos responsables del comportamiento, uso y calidades del agua, tanto superficial como subterránea; también se aplicaron los esquemas de análisis de Hidrología Superficial y Subterránea con objeto de:

- 2.1 Definir las condiciones naturales del agua en la superficie a partir del análisis de las cuencas, red hidrográfica y los patrones de avenamiento.

- 2.2 Considerar el aprovechamiento actual, a través de la infraestructura hidráulica existente y en proyecto.

- 2.3 Determinar los rangos definitivos del escurrimiento a fin de establecer, en conjunto, los niveles de disponibilidad de agua.

- 2.4 Describir las condiciones hidráulicas en el subsuelo respecto a la dirección de flujos, detección de áreas con mayores posibilidades de extracción de agua y caracterización del comportamiento natural e inducido de sus acuíferos.

- 2.5 Analizar el censo de aprovechamientos y con base en los niveles dinámico y estático obtenidos de los pozos de observación, establecer la evolución del balance hidráulico con la finalidad de conocer el grado de explotación de los acuíferos, sus congruencias y tendencia general.

3. En virtud de las consecuencias hidrológicas que comportan las características analizadas, una vez definido el panorama estatal en cuanto a disponibilidad y explotación, usos actuales y alternativas, así como calidades del agua, proporcionar recomendaciones y observaciones de tipo práctico que contribuyan a fomentar el óptimo aprovechamiento y cuidado de este recurso, ofrezcan opciones válidas ante los problemas existentes o permitan evitar su agravamiento y, en definitiva, prevenir que una gestión reiteradamente inadecuada conduzca a la escasez.

Metodología

Como ha sido costumbre en la elaboración de la cartografía Hidrológica, tanto superficial como subterránea, el Estudio Hidrológico Estatal conjuga, a un tiempo, el análisis de gabinete y el reconocimiento de campo, de acuerdo con los objetivos planteados; ambas actividades dieron como resultado un enorme esfuerzo de recopilación, análisis y síntesis de la información disponible, generada por diversas instituciones y fundamentalmente por la propia Dirección Regional Centro-Norte.

Esto permitió establecer los tres niveles cognoscitivos que implica un estudio Hidrológico: en primer lugar una descripción integrada de las condiciones y situación actual; en segundo término, una explicación fundamentada de la realidad, así como de las perspectivas futuras y, finalmente aportar recomendaciones encaminadas a la consecución del óptimo aprovechamiento de un bien escaso e indispensable como es el agua.

1. Generalidades

1.1 LOCALIZACIÓN, LÍMITES Y EXTENSIÓN

El estado de Quintana Roo está ubicado en el extremo este del país, ocupa la porción oriental de la península de Yucatán (figura 1.1). Sus límites naturales y geostadísticos están entre los paralelos 17° 54' y 21° 36' de latitud norte y entre los meridianos 86° 45' y 89° 10' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, tiene una extensión superficial aproximada de 42 535 km² (incluye a las Islas Mujeres y Holbox) que lo ubica en el vigésimo lugar nacional; esta área representa 2.19% de la República Mexicana, y 30.66% del territorio peninsular.

Limita al norte con Yucatán y el Golfo de México; hacia el este con el Mar Caribe; al sur con Belice y la Bahía de Chemal; al oeste colinda con los estados de Campeche y Yucatán.

1.2 PANORAMA DEMOGRÁFICO

La población total del estado de Quintana Roo según el XII Censo de Población y Vivienda de 2000 INEGI, es de 874 963 personas; de los cuales 51.24% (448 308) son hombres y 48.76% (426 655) son mujeres. Como consecuencia por el número de habitantes, Quintana Roo ocupa el vigésimo noveno lugar en relación con las 32 entidades del país.

Desde el punto de vista económico en el estado, 612 331 habitantes están en edad de laborar (personas con 12 años o más), de éstos, la población económicamente activa (PEA) es de 57.49%, la población económicamente inactiva (PEI) es de 42.19% y 0.32% no especifica su situación (económicamente activa o inactiva). La tasa de ocupación, población ocupada entre la económicamente activa expresado en porcentaje, es del 99.07% y la tasa de desocupación es del 0.93%.

De acuerdo con la actividad o sector económico, la población ocupada se distribuye de la siguiente manera: el sector más importante por el número de personas que lo forman es el terciario (comercio y servicios) al que le corresponde 71.11% por ser ésta la actividad predominante de la población (específicamente la atención al turismo); le sigue el sector secundario industrial) con el 16.01%, el primario (agropecuario, pesca, silvicultura y otros) abarca 10.66% y el 2.22% de la población no especifica su actividad.

El estado de Quintana Roo presenta una marcada heterogeneidad en la distribución de la población, pues

la concentración de los núcleos urbanos está íntimamente asociada con las fuentes de trabajo y de servicios; así tenemos que del total de habitantes con los que cuenta el estado, 721 538 personas (82.46%) se concentran en 20 localidades urbanas. El complemento, es decir, 153 425 personas (17.54%) se distribuyen en 2 147 localidades rurales. En el cuadro núm.1 en donde se muestran las principales localidades y su número de habitantes.

La tasa de crecimiento del estado en el período 1990-1995 fue de 6.48% como se observa en el cuadro 2, al compararla con la tasa de crecimiento de 1980-1990, que fue de 7.81%, se notará una disminución del 1.33%, como consecuencia de los programas de planificación familiar que se llevan a cabo en el estado, así como en todo el país.

El estado está dividido para su administración en ocho municipios (fig. 1.2); la población y la tasa de crecimiento en cada uno de ellos en el período 1990 y 1995 se muestran en el cuadro 2, en éste se observa que el municipio de Solidaridad es el que presenta mayor crecimiento con 19.32% le siguen: Benito Juárez 10.56%, Cozumel 6.27%, Felipe Carrillo Puerto 3.06% y José María Morelos 2.91%; en cambio los que han tenido menor crecimiento, incluso decremento, son: Isla Mujeres -3.44% y Lázaro Cárdenas con 2.45%.

La densidad de población (habitantes por kilómetro cuadrado) se muestra en el cuadro 3, donde se puede observar que las mayores densidades existen en los municipios de Benito Juárez, con una densidad de 192.63 habitantes por kilómetro cuadrado (hab/km²), Cozumel (120.49 hab/km²) Solidaridad 19.36 hab/Km² y Othón P. Blanco (14.24 hab/km²); y según el total de población del estado los municipios de Benito Juárez y Othón P. Blanco concentran el 71.77% de los habitantes, con el 47.98% y 23.79% respectivamente, distribuyéndose el 28.23% faltante en el resto de los municipios (fig. 1.3).

1.3 LAS COMUNICACIONES

El estado de Quintana Roo posee una infraestructura carretera de 5 302 km de las cuales 1 022 km son primarias o principales, 1 198 km secundarias y 3 082 km terciarias o vecinales (fig. 1.4); estas vías permiten el acceso a las principales localidades, puntos de interés turísticos y puertos del estado, además de permitir la intercomunicación entre sus diferentes municipios y estados vecinos.

Las carreteras principales son: la proveniente de Yucatán, México 180 con rumbo oeste-este que cruza por Nuevo Xcan, Leona Vicario y termina en Cancún; la México 307 que parte de Chetumal, atraviesa Bacalar, Felipe Carrillo Puerto, Tulum y llega a Cancún; la México 295 con rumbo norte-sur que proviene de Yucatán, cruza Tepich, Señor y entronca con la México 307 en Felipe Carrillo Puerto; la México 184 proveniente de Yucatán con rumbo noroeste - sureste cruza por Santa Rosa, José María Morelos, Polyuc y entronca con la 307 en Felipe Carrillo Puerto; la México 293 que parte de Polyuc sigue por Vallehermoso y entronca con la 307 en Pedro Antonio de los Santos y finalmente la México 186 que proviene de Campeche cruza Nicolás Bravo y entronca con la 307 a dos km al sur de Xul-Há. No cuenta con vías férreas ya que no se concretaron los proyectos para unir la ciudad de Chetumal con

Yucatán a través de la prolongación de la línea Mérida-Peto.

En Quintana Roo existen tres aeropuertos: uno en Cancún con una longitud de pista de 3 500 m, otro en Cozumel con dos pistas una de 2 700 m y otra de 2 500, 5 200 m de pista en total, y otro en Chetumal con 2 209 m; todos con destinos y procedencias de vuelos tanto nacionales como internacionales. Además, en el estado existen ocho aeródromos localizados en: Felipe Carrillo Puerto, Punta Pájaros, Isla Mujeres, Kantunilkín, Xcalak, Uvero, Playa del Carmen y Tulum.

La infraestructura para el transporte portuario está integrado por doce puertos de altura o de cabotaje localizados en Cancún, Cozumel, Chetumal, Chiquilá, Holbox, Isla Mujeres, Playa del Carmen, Puerto Juárez, Puerto Morelos, Punta Allen, Punta Sam y Xcalak.

2. Marco Físico General

2.1 UNIDADES DE RELIEVE

El estado de Quintana Roo se encuentra dentro de una sola provincia fisiográfica llamada Península de Yucatán que además, comprende los estados de Campeche y Yucatán y parte de los países de Guatemala y Belice.

Por pertenecer el estado a la provincia mencionada y a que ésta presenta una composición geológica más o menos homogénea en toda su extensión, es importante abordar la descripción y análisis de los aspectos relativos al relieve de la entidad, haciendo referencia a la expresión morfológica general del conjunto peninsular. Además, es relevante mencionar que las condiciones del relieve y las características del comportamiento hidrológico superficial y subterráneo, muestran una serie de relaciones recíprocas, que resulta prácticamente imposible hablar de uno sin hacer referencia al otro.

La mayor parte de esta provincia, está constituida por estratos calizos más o menos horizontales que hacen de ella una región relativamente plana, cuyas mayores alturas se acercan a los 300 metros sobre el nivel del mar (msnm) (fig. 2.1), hacia el centro de la península cerca del límite con Campeche, alrededor de Zoh Laguna, Campeche y en la parte suroeste del estado, extendiéndose esta zona con dirección aproximada norte - sur abarcando una extensión considerable, no pudiéndosele conceptuar como una sierra o algo parecido, pues tanto en su parte interior más alta como en sus porciones laterales la superficie del suelo es relativamente plana, casi tanto como en las planicies del norte de la península; y que va decreciendo hacia el norte y este hasta llegar al nivel del mar en las costas.

El paso de las partes altas de la región anterior a las bajas situadas al este de Quintana Roo, se realiza por una serie de escalones bruscos, que corresponden a líneas de fallas, mostrando las características de una meseta baja tectónica (horst), que se extiende hacia el sur, ya en las planicies del Petén en Guatemala. Esta zona presenta en su porción media y occidental, junto a las elevaciones, frecuentes depresiones y pequeñas cimas interrumpidas por grandes áreas de menor relieve, casi planas, con altitudes de 110 a 140 m y en el extremo oriental de 20 a 40 m.

Hacia el noroeste de la entidad el terreno desciende con una ligera pendiente hacia el oriente, presenta

alturas máximas de 22 msnm en su parte suroeste; muestra un relieve ondulado en el que se alternan crestas y depresiones, característico de la carsticidad de la roca caliza que lo conforma, representando desde oquedades minúsculas hasta grandes depresiones en donde se acumulan arcillas de descalcificación, en algunas de las cuales asoma la superficie freática (localmente denominados cenotes), presenta también áreas inundables, localizándose las más extensas de ellas en la porción norte del estado.

La parte centro oriental del estado se caracteriza por su relieve escalonado, descendente de poniente a oriente, con reducida elevación sobre el nivel del mar, en esta área existen cenotes de gran tamaño, varias lagunas y vastas áreas inundables, algunas de las cuales permanecen cubiertas por el agua casi todo el año.

La isla de Cozumel evidencia un relieve sensiblemente plano en casi todo su entorno, en donde se alternan áreas planas con lomeríos de escasa altura. El Banco Chinchorro, las islas Mujeres y Contoy son expresiones fisiográficas del desarrollo del Mar Caribe.

La parte sureste del estado está constituida por una llanura rocosa suavemente ondulada y con una altura sobre el nivel del mar poco significativa, en la que se han formado extensas zonas de inundación temporal, caracterizándose la franja litoral por presentar numerosas lagunas y áreas pantanosas. La línea de costa con frecuencia muestra puntas rocosas, cubiertas parcialmente por depósitos de litoral, paralela a ella se ha desarrollado una barrera arrecifal que delimita una extensa zona lagunar.

Las erosiones diferencial -en la superficie caliza- y de infiltración -en el subsuelo- son efectuadas por la acción horizontal de la primera y la disolución vertical o inclinada de la segunda al unir sus efectos, imponen el característico relieve calizo o cárstico peninsular yucateco, con diferencias de elevaciones menores de 100 m, observándose afloramientos de estratos y fragmentos calizos (de formas desiguales con aristas redondeadas), depresiones separadas por altos topográficos con dimensiones variables; contornos sinuosos, ovals u hoyadas.

Por lo que se observa se puede decir que las planicies de la península de Yucatán presentan una

microtopografía de interés, en la que la roca calcárea alterna en mayor o menor frecuencia con pequeñas hondonadas, lo que da lugar a una constante alternancia de caliza y diferentes tipos de suelos en los puntos más bajos. La peculiaridad de estas formaciones se debe a la carsticidad, madura característica, con particularidades ligadas a la altitud general y debido a la falta de verdaderos ríos; existe formación de cavernas y conductos subterráneos. En la región no son aplicables los ciclos de evolución fisiográfica que han sido señalados por diversos autores en las áreas de este tipo.

En el estado la conformación del territorio puede ser descrita en términos de las subprovincias fisiográficas que se encuentran en él, las cuales forman parte de la provincia Península de Yucatán, que son: Carso y Lomeríos de Campeche, Carso Yucateco y Costa Baja de Quintana Roo las cuales son descritas.

La primera subprovincia se extiende en la porción suroeste del estado, formada por lomeríos bajos alternados con depresiones y por grandes áreas casi planas (llanuras), que en muchos casos están inundadas temporal o permanentemente, las cuales presentan en la zona centro occidental altitudes entre 110 y 140 m y en su extremo oriental de 20 a 40 m.

En esta subprovincia las cotas máximas alcanzan alrededor de 230 msnm y las mínimas son del orden de 30 msnm con una pendiente general decreciente en sentido oeste-este, y en forma escalonada en su parte sur. La única corriente superficial notable es el río Hondo, que nace en Guatemala con el nombre de Azul; por lo demás, la red de drenaje superficial sólo consta de algunos arroyos efímeros de corto recorrido que fluyen hacia las depresiones topográficas.

La segunda ocupa las porciones centro y norte del estado, está formada en una losa calcárea cuya topografía se caracteriza por la presencia de carsticidad, ligera pendiente descendente hacia el oriente y hacia el norte hasta el nivel del mar; con un relieve ondulado en el que se alternan crestas y depresiones; conformada por elevaciones máximas de 22 m en su parte suroeste. Dada la solubilidad de las rocas, son frecuentes las dolinas y depresiones en donde se acumulan arcillas de descalcificación, muestran en términos generales una superficie rocosa con ligeras ondulaciones y carecen en casi toda su extensión de un sistema de drenaje superficial.

En su porción litoral son frecuentes las salientes rocosas, caletas, pequeños escarpes, cordones, espolones; así como, lagunas pantanosas intercomunicadas al mar por canales o bocas y extensas zonas de inundación con abundante concentración de manglar. Por otra parte, Cozumel presenta un relieve casi plano en su mayor parte y las islas Contoy y Mujeres son consideradas como zonas de lomeríos bajos.

La última subprovincia se extiende en el sureste del estado, a partir de su borde centro oriental, al norte de la Bahía de la Ascensión, hasta rodear la de Chemal, caracterizándose por su relieve escalonado que desciende de poniente a oriente. Esta porción del estado, es la que representa el menor relieve, está integrada por una llanura rocosa suavemente ondulada con altitudes poco significativas, en las que existen zonas de inundación temporal; en la franja litoral la conforman numerosas lagunas, áreas pantanosas, puntas rocosas y paralela a ella se ha desarrollado una barrera arrecifal que delimita una extensa zona lagunar. A lo largo de su borde sur y suroeste transita el río Hondo, única corriente superficial permanente de la entidad.

Por las características descritas puede señalarse, que el fenómeno cárstico en el estado, y en la península, se encuentra diferencialmente influenciado por la mayor o menor altitud que haya podido alcanzar el terreno a causa de su constante movimiento ascendente. Lo anterior significa que 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 inhibe la evolución del paisaje cárstico; y por ello, éste se manifiesta cada vez con mayor nitidez, partiendo de la periferia y avanzando hacia el sur y oeste del estado de Quintana Roo.

2.2 TIPOS DE SUELOS: CARACTERÍSTICAS GENERALES Y GRADO DE PERMEABILIDAD

El estado de Quintana Roo presenta en general suelos poco profundos y en asociaciones de dos o más tipos, donde predominan los litosoles y las rendzinas; los factores fundamentales de la formación, evolución y por ende, la diferenciación edáfica que se aprecia en la entidad, son producto de las influencias climáticas, la naturaleza geológica y el relieve, considerados en conjunto.

Desde el punto de vista edáfico la entidad se distingue por la predominancia de suelos someros y pedregosos, de colores que van del rojo al negro, pasando por diversas tonalidades de café. Así mismo, estos suelos muestran, en común, un abundante contenido de fragmentos de roca de 10 y 15 cm de diámetro, tanto en la superficie como en el interior de su perfil, además de que regularmente se ve acompañada de grandes y repetidos afloramientos de la típica coraza calcárea yucateca; otra característica, es común hallarlos en pequeñas asociaciones de dos o más tipos de suelos los que corresponden casi exactamente a la combinación de topofomas que configuran el relieve de cada lugar.

El conjunto de suelos presentes en el estado está conformado por los litosoles, rendzinas, gleysoles, luvisoles, vertisoles, solonchaks, regosoles y nitosoles

(fig. 2.2); en términos de extensión superficial, se aprecia la amplia predominancia de los dos primeros sobre los restantes.

Litsoles (I)- Se ubican principalmente en la parte centro y norte del estado, alternando con Rendzina y Luvisol crómico; también aparecen en los alrededores de la Bahía del Espíritu Santo con Rendzina y Solonchak órtico, de textura media y alta permeabilidad. Presentan abundante pedregosidad o afloramiento de la coraza calcárea, son suelos que varían en color de café claro a casi negro; su textura que en algunos casos se distingue por ser de migajón arenoso con apenas 10% de arcilla y en otras por ser migajón arcilloso con aproximadamente 30%; también sus contenidos de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y de más características que se pudieran considerar. La variación física, química y morfológica depende de su localización y de los suelos con los que se encuentren asociados. Los litsoles presentan fuertes restricciones para su utilización con propósitos agrícolas, pues su escaso espesor y su abundante pedregosidad afectan el crecimiento de las raíces de plantas cultivadas; sin embargo, presentan buen drenaje, que favorece la infiltración de las aguas meteorológicas.

Rendzinas (E)- Son suelos muy someros, por lo regular con espesores menores de 30 cm, reposando sobre el material calcáreo, 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 meq/100g de suelo. Estos presentan fase física (lítica somera), pero no química y tienen buen drenaje.

Se localiza en la porción norte del estado en asociación con Litosol, de textura media y con Luvisol crómico; en el sur alterna con Litosol y Nitosol de textura fina, aunque también se le encuentra con Vertisol pélico o con Gleysol vértico. En la isla de Cozumel se presenta con Litosol y Regosol calcárico, con una textura media y alta permeabilidad.

Gleysol (G)- Este tipo de suelo ocupa un área del extremo norte del estado en combinación con Rendzina y Litosol, tiene textura fina; en áreas inundables ubicadas al suroeste del estado y en los alrededores de las bahías de la Ascensión y del Espíritu Santo, predomina el Gleysol mólico, en combinación con el Gleysol eútrico, de textura media. Otras áreas con esta última variante se encuentran al este y norte de la Bahía de Chemal en combinación con el Solonchak mólico o con Gleysol eútrico de textura media, muestra acumulación de sales (fase salina) y baja permeabilidad.

Luvisol (Lc)- En el estado los luvisoles son poco variables en lo que toca a su morfología general, tienen un contenido de materia orgánica de 5 a 6%, son de textura fina con más de 40% de arcilla; tienden a la

neutralidad con valores un poco alcalinos o ácidos, por lo general existe buen drenaje.

El Luvisol crómico se encuentra principalmente en los límites con el estado de Yucatán en dos áreas: una en los alrededores de Dziuché al noroeste, en combinación con Litosol y Rendzina de textura fina y la otra en Kantunilkín, al norte, en alternancia con Vertisol pélico, sólo o asociado con Litosol; es de textura fina y alta permeabilidad.

Vertisol (Vp)- Presentan contenidos de arcilla superiores a 60%, mismos que aumentan hasta 70% conforme la profundidad es mayor; sus espesores son de un metro o más, a través de los cuales no se manifiesta la presencia de clastos, y tampoco se presentan en su superficie; así mismo se mantiene libre de afloramientos rocosos; sobreyase directamente al sahcab o a algún otro material calizo de aspecto similar. Estos suelos tienen un desarrollo estructural en forma de bloques angulares bien definidos cuando están secos, pero que se torna masiva al humedecerse; sus valores de pH son ligeramente alcalinos, en los primeros 20 cm, que aumenta con la profundidad. Son pobres en materia orgánica, pues su contenido en el horizonte superficial es menor a 3%, disminuyendo a menos de 1% después de los 30 cm; la capacidad de intercambio catiónico, coincide con valores notablemente elevados, a casi 60 meq /100g de suelo, probablemente a causa de la alta proporción de arcilla de naturaleza montmorillonítica.

Se presenta como Vertisol pélico al oeste de la laguna de Bacalar en alternancia con Rendzina y Litosol; es de textura fina y alta permeabilidad, cuando están secos, pero va disminuyendo en la medida que aumenta la saturación en su perfil.

Solonchak (Zo)- Se extienden a lo largo de la costa y en sus inmediaciones, motivo por el cual destaca en la morfología de su perfil la influencia del agua; el nivel freático se encuentra a 30 cm de la superficie, y la alta salinidad que es una de sus características más importantes. Estos suelos presentan baja permeabilidad, valores de conductividad eléctrica alrededor de los 20 mmhos/cm (como regla general) a 60 mmhos/cm. Son alcalinos, con valores de pH que varían entre 8 y 9, ricos en calcio y magnesio y relativamente bajos en fósforo. Existen dos variantes, uno de textura gruesa con 80% de contenido de arena y 2% de materia orgánica, con capacidad de intercambio catiónico muy baja; y la otra de textura fina con contenido de arena menor a 40% y contenido de materia orgánica de 7.5% en el estrato más superficial; su denominación completa es Solonchak órtico.

El Solonchak órtico se encuentra distribuido principalmente en la costa en sus partes norte, centro y

sur, en alternancia con el Regosol calcárico con fase salina y baja permeabilidad.

Regosol (Rc)- Aparecen dos variantes de este tipo de suelos, la primera de ellas corresponde a los depósitos arenosos de la costa, con profundidades mayores de un metro, de textura gruesa, con más de 90% de arena, sin estructura y escaso contenido de materia orgánica (menor de 1%) y relativamente alcalinos. Son suelos que a pesar de su cercanía al mar se mantienen libres de sales solubles, aunque no así en el caso del sodio que llegan a ocupar poco más de 20% de la capacidad de intercambio catiónico; pues sus valores por lo regular son muy bajos, menores de 3 meq/100 g de suelo con una saturación de bases del orden de 100%, destacando el calcio como el elemento más abundante, seguido del magnesio; son poco fértiles y presentan buen drenaje. La segunda variante muestra espesores no mayores de 50 cm y textura franca o de migajón arcilloso; manifiestan ya un ligero desarrollo en su estructura, con un contenido de materia orgánica entre 4.5 y 15.8% en la parte más superficial. Presenta fase lítica, salina y sódica, es denominado como Regosol calcárico, con alto contenido de carbonato de calcio activo en el perfil y con deficiente drenaje.

Aflora en Isla Holbox en asociación con Solonchak órtico con textura gruesa y fase química sódica; y al sureste del estado en los límites con Campeche, en agrupación con Rendzina y Litosol o con Vertisol pélico, de textura media y permeabilidad baja o media.

2.3 ASPECTOS BIOGEOGRÁFICOS: USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN (fig. 2.3)

Agricultura de Riego

Se localiza en el estado de Quintana Roo dentro del municipio de Othón Pompeyo Blanco, en los márgenes del río Hondo, en esta zona el cultivo de mayor importancia es la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), aunque también se cultiva: arroz (*Oryza sativa*), girasol (*Helianthus annuus*) y maíz (*Zea mays*). Esta área abarca aproximadamente 4 500 hectáreas a una altitud promedio de 65 msnm, con una precipitación total anual que va de 1 000 a 1 200 mm, predominando un clima del tipo A(w) de humedad media o alta, los suelos sobresalientes son predominados por rendzinas y litosoles sobre un sustrato de calizas del Paleoceno (Terciario Inferior); ésta área pertenece a la unidad de riego Álvaro Obregón del distrito de riego 102 Río Hondo. En el centro quintanarroense existe el «Corredor Citrícola de Limones», y el «Corredor Frutícola Polyuc» donde producen naranja (*Citrus sinensis*), mango (*Mangifera indica*) y papaya (*Carica papaya*) principalmente. En Chunhuhub se cultiva maíz con riego por aspersión.

Agricultura de Temporal

Las áreas de cultivo de este tipo pueden clasificarse, dependiendo de la forma como se practique la actividad,

como: Agricultura de Temporal sin mezclarse con la vegetación, mezclada con algún tipo secundario y la Agricultura Nómada. La agricultura del primer tipo corresponde a aquellas áreas con una cobertura bastante considerable, donde la superficie agrícola domina el paisaje, el principal cultivo es el maíz (*Zea mays*), pero dependiendo de la zona, los cultivos dominantes varían, ya que se tienen grandes áreas de temporal dominadas por el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). La segunda variante se encuentra en el centro estatal, donde existen superficies regulares de mosaicos entre la selva mediana subperennifolia y la agricultura de cítricos de temporal. En Pedro Antonio de los Santos se ha establecido, el cultivo de la piña (*Ananas comosus*) que surte los mercados locales. Y por último la agricultura nómada, que es una práctica agrícola tradicional sustentada en el método conocido como: «Roza, tumba y quema», en donde los cultivos de mayor importancia son el maíz (*Z. mays*), el frijol (*Phaseolus vulgaris*) y la calabaza (*Cucurbita pepo*) en todas sus variedades.

Ganadería

En el estado la actividad pecuaria está representada por ganado mayor (bovinos) y menor (porcinos, ovinos, aves y abejas); este tipo de uso se ha superado tecnológicamente y se ha diversificado, estableciendo incluso áreas ganaderas bien localizadas como la de Nohbec. Otra zona con esta actividad se encuentra en el tramo Nuevo Xcan-Chiquilá con bovinos que se alimentan con zacate elefante. De Nohbec a Chacchobén hay pastos de estrella africana y taiwan con bovinos que utilizan la palma corozo para sombra. La avicultura por su parte se ha desarrollado intensamente en la producción para engorda, principalmente en la zona norte de la entidad.

Pastizal Inducido

Al norte de Cancún, se ha beneficiado este tipo de vegetación por los continuos desmontes, sobrepastoreos o quemas. Las principales especies de este pastizal son: *Bouteloua simplex*, ek'chim (*Paspalum notatum*), *Cenchrus spp.* y *Lycurus phleoides* entre otras. Esta comunidad surgió al ser eliminada la asociación vegetal original por medio del desmonte e incendios que son los principales favorecedores del crecimiento de la carpeta de gramíneas.

Silvicultura

Según las estadísticas en el PIB (producto interno bruto) agrosilvopecuario y pesquero de Quintana Roo, la silvicultura ocupa el primer lugar y está enfocada a la extracción de las maderas preciosas, como es el caso del centro y sur quintanarroense donde existen aserraderos forestales; aunque actualmente están explotando ramas, trozas y puntas porque han disminuido los árboles de buena talla; los árboles utilizados son: tsalam (*Lysiloma bahamensis*), che'echen (*Metopium spp.*),

chaca' blanco (*Bursera aff. simaruba*), chaca' rojo (*Bursera simaruba*), pero sobre todo cedro rojo (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*). Al norte de Felipe Carrillo Puerto se observa actividad maderera enfocada a la elaboración de durmientes ferrocarrileros con che'echen, katal ox (*Swartzia cubensis*), ja'abin (*Piscidia communis*) y chakte' (*Sickingia salvadorensis*). Otro uso maderable es el de construcción de palapas de restaurantes o centros de recreo turístico o para las viviendas en el medio rural en donde se aprovechan: el huano, varios zacates, el chakte', el chulul (*Apoplanesia paniculata*), el coxche' (*Croton glabellu*), el bojón (*Cordia alliodora*), el sac-nak-che' (*Colubrina reclinata*) y el chukum (*Pithecellobium albicans*), entre otras. También con fines de delimitación de terrenos se extrae la madera de árboles para construir cercas vivas de potreros y maizales, principalmente del chaka' (*Bursera simaruba*) y del ciruelillo. En cuanto a la explotación de resinas aún se nota la actividad chiclera basada en chico zapote (*Manilkara zapota*) en el centro quintanarroense.

Selva Mediana Subperennifolia

Esta selva está ampliamente distribuida abarcando casi por completo a Quintana Roo, con excepción de las áreas inundables de la costa sur del estado. También se distribuye en la mayor parte de la isla de Cozumel. Actualmente esta entidad vegetal ha perdido una gran proporción de su cobertura original lo que es más, en la mayor parte de su área de distribución se presenta como una vegetación secundaria en fase arbórea (principalmente) de regeneración. La selva mediana subperennifolia limita principalmente con la selva mediana subcaducifolia; otros límites importantes son con la vegetación acuática y manglares en las zonas inundables de la costa sur del estado y las costas sur y norte de la isla de Cozumel. Esta selva está dominada en el estrato arbóreo de los 12 a 30 metros por: Chicozapote (*Manilkara zapota*), ramón (*Brosimum allicastrum*), amapola (*Pseudobombax ellipticum*), caoba (*Swietenia macrophylla*), huaya (*Talisia olivaeformis*); en el estrato de los 7 a 12 metros están los elementos de: ts'its'ilche (*Gymnopodium antigonoides*), box catsim (*Acacia gaumeri*), chaka' (*Bursera simaruba*), y en los estratos menores a 5 metros abundan: cordoncillo (*Piper sp.*), palma xiat (*Chamaedorea sp.*), huano (*Sabal sp.*) y k'askat (*Luehea speciosa*) indicadora de disturbios. Cuando se encuentra bien conservada y/o en condiciones de humedad propicia se presenta sobre los árboles el heno (*Tillandsia polystachia*). En el estrato arbustivo están: bop (*Coccoloba sp.*), tanche' (*Ardisia escallonioides*), ik'iche' (*Erythroxylum rotundifolium*) que es una planta endémica de la península. En el estrato herbáceo abundan los helechos (*Pteridium aquilinum*). Las asociaciones más comunes en esta entidad vegetativa son: los «ramonales» (*Brosimum allicastrum*) con elementos de chico zapote (*Manilkara zapota*), chaka' (*Bursera simaruba*), amapola (*Pseudobombax*

ellipticum); otra asociación importante es la de ya'axnik (*Vitex gaumeri*) con chico zapote (*Manilkara zapota*), tsalam (*Lysiloma bahamensis*), amapola (*Pseudobombax ellipticum*). Otras plantas encontradas son pixoy (*Guazuma ulmifolia*), ja'abin (*Piscidia communis*).

PETENES.- Son comunidades incluyen dentro de la selva mediana subperennifolia debido a que muchos de sus elementos arbóreos son típicos de ella. Estos son un conjunto de poblaciones vegetales típicas de manglar y selvas (baja inundable y mediana subperennifolia) en formas arbóreas, arbustivas y herbáceas cuya estructura y distribución les dan una fisonomía de isla rodeada por comunidades herbáceas o de manglar chaparro; las diferentes poblaciones vegetales se distribuyen en círculos concéntricos de tal modo que el tular, manglar o zacate de marisma quedan en la periferia y en el centro una mezcla de elementos selváticos con manglares, convergiendo casi siempre sobre un cuerpo de agua. Se concentran estas áreas en la península de Xcalak. En el estrato arbóreo destacan mangle colorado (*Rhizophora mangle*) y tsakolkom (*Laguncularia racemosa*) con alturas de 15 a 20 m, (*Cedrela sp.*), (*Sabal sp.*) y chico zapote (*Manilkara zapota*); en el estrato arbustivo sobresalen (*Sabal sp.*), (*Rhizophora sp.*), cicadáceas y (*Agave sp.*); las principales especies epífita-herbáceas son: helecho (*Acrostichum aureum*), chak k'ana (*Achmea bracteata*), (*Tillandsia sp.*) y awoche' (*Brassavola nodosa*). Los principales elementos de selva baja inundable son el pukte' (*Bucida buceras*), la jícara (*Crescentia cujete*), el chechem (*Metopium brownei*) y el tinto (*Haematoxylum campechianum*). De los de la selva mediana subperennifolia sobresalen: álamo (*Ficus yucatanensis*), (*Manilkara sp.*), hulub (*Bravaisia tubiflora*), palma chit (*Thrinax radiata*), chuh o gallitos (*Tillandsia fasciculata*) y chak k'ana (*Achmea bracteata*). La vegetación acuática está conformada por ninfas. La destrucción de estas comunidades se ha debido principalmente a la construcción de caminos sobre su área; sin embargo, actualmente están más o menos conservadas.

Selva Mediana Subcaducifolia

En la mayor parte de su superficie se presenta como una selva secundaria, principalmente en fases arbórea y arbustiva con agricultura nómada. En el estrato arbóreo con altura de 9 a 12 m existen: sak itza (*Neomillspaughia emarginata*), tsalam (*Lysiloma bahamensis*), beeb o uña de gato (*Pisonia aculeata*), kilinche', chukum (*Pithecellobium albicans*). En la zona central de su distribución llega a dominar el ramón (*Brosimum allicastrum*) formando los ramonales. Otras especies son: k'askat (*Luehea speciosa*) que aparece en disturbio, chechem, chaka' (*Bursera simaruba*), pichiche' (*Psidium sartorianum*), belsinikche' o palo de hormigas (*Alvaradoa amorphoides*). Al norte de su

distribución se notan en el estrato arbóreo: pixoy (*Guazuma ulmifolia*), (*Cecropia* sp.), (*Lysiloma* sp.), caimito (*Chrysophyllum mexicana*), (*Bursera* sp.), jabin (*Piscidia communis*) y (*Cedrela* sp.); en el estrato arbus-tivo: subin (*Acacia cornigera*), caimito (*Chrysophyllum mexicana*), (*Lysiloma* sp.), sak'katsim (*Mimosa bahamensis*), bop (*Coccoloba spicata*), x-majagua (*Hampea trilobata*) y en el estrato herbáceo: x-maja-gua y (*Euphorbia* sp.). En el centro de Quintana Roo se encuentra combinada con agricultura de temporal citrícola.

Selva Baja Subperennifolia

La distribución de estas selvas (también llamadas selvas bajas inundables) está dada por las características geomorfológicas, esto es, se encuentran en las zonas bajas y planas que en época de lluvias sufren cierto grado de inundación. Estas zonas se concentran al suroeste del estado y en la costa del Golfo de México. El principal límite que tiene esta selva es con la Selva Mediana Subperennifolia. Los manchones que se ubican en las zonas inundables de la costa sur, incluyendo la península de Xcalak en donde llega a dominar el che'chem (*Metopium brownei*), limitan con la vegetación acuática (popal y tular) y los manglares. Dentro del estrato de los 10 metros de altura las especies dominantes son: tsit'silché (*Gymnopodium antigonoides*), pukte' (*Bucida buceras*) indicador de zonas inundables y siricote (*Cordia dodecandra*); en el estrato de los 5 metros la dominancia está dada por: chaiquistan (*Hyperbaena winzerlingii*), tzakatzin (*Mimosa bahamensis*), chit (*Thrinax radiata*) y chechem; y en los estratos más bajos de los 2 metros dominan: perescutz (*Croton reflexifolius*), chaksik (*Jacquinia aurantiaca*), subín (*Acacia cornigera*), xhiat (*Chamaedora graminifolia*), palma tasiste (*Acoelora pte wrightii*), en el estrato herbáceo existe el helecho (*Pteridium* sp.); entre las epifitas están orquídeas y bromeliáceas como (*Tillandsia* sp.). Las asociaciones en general están dadas por el tinto (*Haematoxylon campechianum*) junto con chechem negro (*Metopium brownei*), otra asociación es la de chechem negro con chaka' (*Bursera simaruba*) y chico zapote (*Manilkara zapota*). Una de las especializaciones más importantes de esta entidad vegetativa y a su vez poco común, es la de pino (*Pinus caribea*) que sólo se encuentra en el sur del estado. Este tipo de selvas no sufre grandes modificaciones debido principalmente a que se desarrollan en zonas bajas y sujetas a inundaciones que le confieren características climáticas y edafológicas que no permiten el establecimiento de actividades agrícolas y pecuarias.

Selva Baja Subcaducifolia

Se localiza un pequeño manchón entre los poblados de Felipe Carrillo Puerto y Tulum, en la costa centro de Quintana Roo. Esta selva limita principalmente con la selva mediana subperennifolia con vegetación

secundaria arbórea, la selva baja subperennifolia y con la vegetación acuática. El estrato superior típico lo componen elementos con 5 a 6 metros de altura como: chechem negro (*Metopium brownei*), tzalam (*Lysiloma bahamensis*), pomol ché (*Jatropha gaumeri*), chaká (*Bursera simaruba*), chico zapote (*Manilkara zapota*); en el estrato intermedio corresponde a elementos de 2 a 3 metros de altura como: nancen (*Byrsonimia crassifolia*), flor de mayo (*Plumeria rubra*), ts'ipil (*Beaucarnea* sp.), palma kuka' (*Pseudophoenix* sp.); y en el estrato inferior se encuentran especies de 1 a 2 metros de altura como: subin (*Acacia cornigera*), pata de vaca (*Bahuinia divaricata*), subin'che (*Platymicium yucatanum*). La variante más común en la selva baja subcaducifolia es el «chechenal» (*Metopium brownei*) siempre asociada con tzalam (*Lysiloma bahamensis*) y chaka (*Bursera simaruba*). Una de las modificaciones más claras en esta selva es el establecimiento de la carretera que comunica a la capital con otras ciudades y por lo tanto el establecimiento de pequeñas localidades que abren áreas para cultivos y ganadería. Otra modificación ha sido causada por la cercanía a la zona de incendios forestales del norte de Quintana Roo.

Selva Baja Caducifolia

Actualmente no existen áreas puras de este tipo de selva, toda se encuentra en fases secundarias de regeneración donde dominan las leguminosas y en mucha de ella se practica la agricultura nómada con maíz. En la fase secundaria arbórea (con altura de 5-6 m) se notan: tzalam (*Lysiloma bahamensis*), ja'abin (*Piscidia comunis*), (*Metopium* sp.), chaka' (*Bursera simaruba*), poco chimay (*Pithecellobium duce*), (*Prosopis* sp.) y (*Acacia* sp.). En la fase secundaria arbustiva domina (*Lysiloma* sp.), con poco pich (*Enterolobium cyclocarpum*).

Manglar

En Quintana Roo se distribuye en toda la zona inundable de la costa sur, limita principalmente con la selva baja subperennifolia y Vegetación Acuática. Al sur de Tulum se encuentra una angosta franja de manglar rojo y al norte del estado se observan franjas paralelas a la costa de mangle botoncillo. En el estrato de los 7 metros de altura se encuentran las especies de mangle más comunes como: botoncillo (*Conocarpus erectus*), mangle negro (*Avicenia germinans*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y el uvero (*Coccoloba uvifera*); en los estratos más bajos, se puede hallar chabxa' am (*Cyperus* sp.), tule (*Typha latifolia*), boxcatsim (*Mimosa pigra*), (*Egletes viscosa*), (*Suaeda* sp.), (*Salicornia* sp.), zacate borreguero (*Eragrostis cilianensis*).

Vegetación Acuática

Al norte de Quintana Roo existen franjas paralelas a la costa de vegetación acuática en dirección norte-sur. Otra parte abundante cobertura (la mayor en la

península de Yucatán) se localiza en las zonas inundables del sur del estado, en la península de Xcalak y las costas norte y sur de la isla de Cozumel; en la península de Xcalak presenta bosquecillos de palo de tinte (tintales), palma tasiste (*Acoelorrhaphe wrightii*) formando los llamados tasistales y elementos de jícara (*Crescentia cujete*), zacate navajita, mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*), che'chem, tule (*Typha latifolia*) y tule (*Typha domingensis*). La dominancia de este tipo de vegetación está dada por las especies de tule de aproximadamente 1 a 1.5 metros de altura. Debido a esta dominancia, a la comunidad en general, se le conoce como «tular». En general son pocas las modificaciones que sufre esta entidad vegetativa debido a que no es óptima para el establecimiento de actividades agrícolas y pecuarias, no obstante, el deterioro que han sufrido algunas zonas ha sido por causas de perturbación o daño ambiental, que para el caso de Quintana Roo, es por la gran actividad turística.

Vegetación de Dunas Costeras

En la costa central quintanarroense, cerca de Punta Allen, se encuentran en el estrato arbustivo (de 1 a 2 m): (*Dodonaea viscosa*), pantsil (*Suriana maritima*) y uvero (*Coccoloba uvifera*); otras especies son: siricote o chak k'opte' (*Cordia dodecandra*), (*Borreria verticillata*), (*Canavalia maritima*), (*Lantana involucrata*), (*Alomia* sp.), (*Ernodea littoralis*) y (*Chiococca alba*). En Isla Mujeres se concentra principalmente al sureste, sobre relieve rocoso de pequeños acantilados con (*Coccoloba uvifera*)

en estrato arbustivo, (*Opuntia* sp.) de 40 cm en estrato herbáceo y algunas bromeliáceas del éste, entre otras; ver anexo A de las especies más comunes de la biocenosis en el estado.

OTROS USOS Y SU IMPACTO

En cuanto al uso urbano la ciudad con mayor índice de crecimiento es Cancún, a causa del turismo, que ha ido desplazando al manglar y a la vegetación de dunas costeras. Otras localidades con índices de crecimiento mediano son: Isla Mujeres que ya ocupa más de la mitad de la isla sobre la que se asienta siempre a causa del turismo. La ciudad de Chetumal no ha tenido esta intensidad de crecimiento, pero el área que ocupa es considerable tomando en cuenta que su forma de crecimiento es de tipo horizontal. En lo que se refiere al uso minero, en la península únicamente se explotan materiales derivados de roca caliza como los bancos de préstamo tipo sahkaberías de donde se extraen en el ámbito comercial canteras, grava, bloques y polvo de tierra que son llevadas a las principales ciudades de la zona para construcción o para su transformación industrial en cal y cemento. En cuanto al uso turístico, éste se ha desarrollado intensamente en el corredor Cancún-Tulum con el establecimiento de hoteles, centros recreativos, cabañas, centros culturales y restaurantes de diferentes categorías, desplazando la vegetación de dunas costeras y la agricultura de temporal del coco. Por último, el uso conservacionista de la tierra se puede observar en la reserva de Sian Ka'an en la costa central quintanarroense.

3. Clima

3.1 DISTRIBUCIÓN Y VARIACIÓN CLIMÁTICA

El estado por estar situado dentro de la zona intertropical mundial se caracteriza por la presencia de todo un conjunto de condiciones generales, las que comparte con las demás áreas que comprende esta porción del globo terrestre. Presenta un régimen climático del tipo cálido subhúmedo, característica general de toda la península; aunque son también importantes los factores locales como son las influencias marinas, por su vecindad con las aguas del Mar Caribe al este y con el Golfo de México al norte; la reducida elevación sobre el nivel del mar o la ausencia de prominencias orográficas que puedan causar modificaciones importantes en los rasgos macroclimáticos.

Otros factores que no por ser poco frecuentes dejan de ser importantes, son las depresiones tropicales y los ciclones, que se manifiestan durante los meses de junio a octubre, ya que la península se halla cerca de 4 regiones matriciales de huracanes: El Golfo de Tehuantepec, la Sonda de Campeche, el Caribe Oriental y la Región Atlántica, aunque los ciclones con vientos entre 150 a 300 km/h que más le afectan vienen principalmente de las 2 últimas regiones. La mayor parte entran por la costa oriental quintanarroense, de allí que es en el estado donde pegan con mayor fuerza y poder destructivo, y salen por las costas yucatecas y campechanas, aumentando el caudal de las rías yucatecas o creando nuevos bancos arenosos. Entre los huracanes más recordados están "Janet" (1955), "Carmen" (1974), "Hallie" (1966), "Dorothy" (1970), "Eloise" (1975), "Gilberto" (1988) y "Ópalo" y "Roxane" en 1995.

3.2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS CLIMAS

El comportamiento de la precipitación y la temperatura, en términos de sus características a través del tiempo, además de otros elementos como evaporación, humedad relativa, etc., son la base para la clasificación de los diversos tipos y subtipos climáticos que rigen en Quintana Roo y que a continuación se describen (fig. 3.1).

En el extremo norte del estado, entre Puerto Morelos y Chiquilá; y en otras dos pequeñas zonas, una localizada al oeste de Felipe Carrillo Puerto y la otra, al oeste de la laguna de Bacalar, se manifiesta el subtipo climático cálido subhúmedo Aw0, que es el más seco de los cálidos subhúmedos con régimen de lluvias de verano, tiene una temperatura media anual de 26.6 °C,

con una variación de la media mensual entre el mes más frío y el más caliente, menor a 5 °C, por lo que es isotermal y tiene un promedio de precipitación anual de 1 012.87 mm.

El subtipo climático Aw1 de humedad intermedia entre los cálidos subhúmedos, ocupa la mayor extensión del estado, se presenta al oeste y se prolonga en los estados de Campeche y Yucatán. Manifiesta una temperatura media anual de 25.5 °C, con diferencias de la temperatura media mensual entre el mes más caliente y el más frío, de 5 °C y 7 °C, que lo ubica entre isotermal o con poca variabilidad. Por otro lado la precipitación promedio anual es de 1 224.7 mm.

En la franja costera occidental, desde Puerto Morelos hasta Xcalak, rige el más húmedo de los cálidos subhúmedos, el subtipo Aw2, con temperatura media anual de 25.8 °C, isotermal, con una precipitación mensual de 1 288.2 mm.

Finalmente en la isla de Cozumel se presenta el tipo climático Am que corresponde a los cálidos húmedos con abundantes lluvias en verano; tiene una temperatura media anual de 25.5 °C, es isotermal y la precipitación promedio anual es de 1 504.3 mm.

La canícula, parte de la época lluviosa (fines de junio o principios de agosto) en la que disminuyen las precipitaciones, sólo se manifiesta en áreas pequeñas ubicadas al suroeste de la laguna de Chichancanab, en las cercanías del margen del río Hondo y en la península de Xcalak.

3.3 TEMPERATURAS Y PRECIPITACIONES

En general en el estado se presenta un clima uniformemente cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 26 °C (fig. 3.2), siendo enero el mes menos caluroso y el más cálido puede caer antes o después del solsticio de verano, o sea mayo, junio, julio o incluso agosto, pues se observa una uniformidad en las temperaturas muy marcada en todas las estaciones consultadas (cuadro 9); los meses más calientes son de mayo a septiembre con temperaturas que van de 25° a 29 °C; los más fríos van de diciembre a febrero fluctuando entre los 21° y 24°C. La época de lluvias comprende los meses de mayo a octubre, aunque a veces se prolonga hasta noviembre. La precipitación anual varía entre los 800 a 1 500 mm, con tendencia

creciente en sentido norte-sur y oeste-este, teniéndose las mayores precipitaciones en la costa este en una franja de aproximadamente 35 km de ancho, que va desde Playa del Carmen hasta la península de Xcalak.

La temporada seca del año engloba de noviembre a abril, pudiendo dividirse esta época a su vez en dos subperíodos, uno que va de noviembre a febrero o también llamado época de nortes, ocasionado por masas de aire y nubes con vientos polares de esa dirección con rachas violentas y temperaturas bajas, y otra de franca sequía que comprende los restantes meses del año, o sea febrero y abril. La evaporación potencial media anual es de 1 7336.7 mm, con una variación mensual entre 104.9 mm en diciembre a 192.9 mm en el de mayo.

La cantidad de evapotranspiración real media anual es similar a la precipitación y varía en igual sentido (norte noroeste- sur sureste) pues va de 800 a 1 200 mm (fig. 3.3); por el contrario la variación del déficit de agua (fig. 3.4) se comporta en sentido inverso, va de 200 a 800 mm de (SSE-NNW); abarcando once meses en el extremo norte hasta poco más de tres meses en la zona con mayor precipitación, particularmente en el clima Aw2.

3.4 CONSECUENCIAS HIDROLÓGICAS DEL RÉGIMEN CLIMÁTICO

Como efecto directo de su posición latitudinal, el estado de Quintana Roo se ve sometido a una intensa radiación solar durante el año, lo que motiva la ocurrencia de altas temperaturas diurnas; sin embargo, recibe menor radiación durante invierno ya que el ángulo de incidencia de los rayos solares acusa una mayor inclinación dando como resultado que la intensidad de la radiación térmica sea menor que durante la primavera y el verano.

Por lo que respecta a la variabilidad del régimen térmico, a causa de la vecindad del estado con los mares que lo circundan, se pone de manifiesto que los efectos son diferenciales, dependiendo de que tan lejos o que tan cerca del litoral hacia tierra adentro se encuentre una determinada localidad. En ese orden de ideas se puede señalar que aquellos lugares ubicados sobre el cordón litoral o en sus proximidades, muestran por lo

regular temperaturas máximas diarias más bajas que las del resto de la entidad, mientras que las mínimas son ligeramente más elevadas, en consecuencia la franja costera se distingue por una menor variabilidad térmica en el transcurso del año.

Debe considerarse también, la influencia de las brisas marinas sobre el comportamiento del régimen pluvial, debido a que ellas suelen ser responsables del desplazamiento horizontal que sufren las formaciones nubosas hacia el SW, antes de agotar su carga de humedad, modificándose en ese sentido la trayectoria normal de la circulación de las masas de aire húmedo, que al entrar a tierra por las costas de Quintana Roo siguen un curso sensiblemente orientado de ESE a WNW. Lo anterior explica en parte las características del patrón de distribución territorial de la precipitación en la entidad, el cual se distingue por el despliegue de un gradiente en el monto anual, que disminuye conforme se avanza en la misma dirección que ha sido señalada para la trayectoria de los vientos dominantes.

El régimen pluvial en el estado muestra un acentuado contraste en su distribución anual, el cual se manifiesta en una clara diferenciación de tres épocas de humedad en el transcurso del año: a) el temporal o época de lluvias regulares, de mayo a octubre, con precipitaciones de tipo convectivo (aguaceros); b) los nortes o época de lluvias escasas de tipo pertinaz, de noviembre a febrero; c) la época de seca con lluvias ocasionales y aisladas, de marzo y abril.

Las características distintivas y el comportamiento del régimen pluvial obedecen a la dominancia de elevadas temperaturas diarias durante el año, a las condiciones generales de la circulación atmosférica, especialmente de los vientos alisios, los nortes, como se mencionó antes y las tormentas tropicales; mediante los cuales son transportadas hacia tierra adentro, las masas de aire que se cargan de humedad al pasar sobre las aguas oceánicas vecinas y finalmente, a la ausencia de grandes estructuras orográficas, lo que impide la ocurrencia de alteraciones significativas en el desarrollo normal de los fenómenos atmosféricos propios de la región peninsular.

4. Geología

En el estado de Quintana Roo la evolución y características geológicas están estrechamente relacionadas a la historia de toda la península de Yucatán, que abarca también los estados de Campeche y Yucatán, además de la parte norte de Guatemala y noreste de Belice, con los que forma una sola unidad. Esto hace imposible hablar de las características del estado sin hacer mención de las de toda la península.

La composición geológica superficial consiste en rocas sedimentarias (carbonatos autigénicos y anhidritas). Es importante mencionar que en todo el estado, y en la península, presenta unos cuantos afloramientos representativos, debido al material de caliche reciente, producto de la transformación de los éstos o consolidación del material suelto, cuyo espesor de 2 a 10 metros cubre casi todas las rocas, del Terciario.

4.1 FISIOGRAFÍA

La península de Yucatán se formó por sedimentación calcárea, encontrándose en un principio cubierta por un mar de poca profundidad, que fue emergiendo poco a poco, unos centímetros cada siglo, adquiriendo una forma de relieve plana, con escasa elevación sobre el nivel del mar y una ligera inclinación general de sus pendientes y de sus leves contrastes topográficos; llegando a conformar parte de la provincia fisiográfica conocida como Península de Yucatán, que en el estado está dividida en tres subprovincias: 63 Carso y Lomeríos de Campeche, 62 Carso Yucateco y 64 Costa Baja de Quintana Roo (fig. 4.2).

La morfología dominante en el estado es el resultado de un intenso intemperismo que actúa sobre las rocas calcáreas del Terciario, las que debido a la intensa precipitación, al clima y a su posición estructural sufren de una intensa disolución ocasionando una superficie rocosa cárstica ligeramente ondulada; en donde el relieve más marcado se encuentra en la parte suroeste del estado, predominando los cerros dómicos, las dolinas y en general el relieve cárstico, con modificaciones causadas por la disolución, alteración de las rocas y por la acumulación en las partes bajas de arcillas de descalcificación.

La parte centro este y norte del litoral, inició su desarrollo geomorfológico durante el Terciario Superior, con la formación de una planicie calcárea, modelada posteriormente por una intensa disolución, manifestada

por la presencia de rasgos de disolución: dolinas, acumulación de arcillas de descalcificación y los cenotes. Durante el Cuaternario esta planicie es modificada por la formación de pantanos y lagunas, así como por la acumulación de abundantes depósitos de litoral, litificación de depósitos eólicos y por la formación reciente de dunas arenosas.

De acuerdo con las características morfológicas del área, se puede situar en una etapa geomorfológica de madurez para una región calcárea en clima cálido subhúmedo.

4.2 ESTRATIGRAFÍA

Las unidades litológicas superficiales en el estado están compuestas por rocas sedimentarias originadas desde el Terciario (Paleoceno) hasta el Cuaternario, aflorando las más antiguas en el suroeste y conforme se avanza rumbo al norte y este se van haciendo más jóvenes (fig. 4.1). De acuerdo con lo anterior las unidades se describen por tipo de material y ordenadas de la más antigua a la más joven.

Rocas Sedimentarias

La litología del estado está formada principalmente por calizas, yesos, margas y dolomías, de una edad que varía del Terciario al Cuaternario, predominan las calizas del Terciario.

PALEOCENO Tpal(cz), en esta unidad quedan comprendidas las rocas del Paleoceno-Eoceno No Diferenciado y las de la formación Icaiché del Paleoceno(?)- Eoceno Inferior.

Corresponden al Paleoceno-Eoceno No Diferenciado (66 millones-52 millones de años) un grupo de calizas de color blanco o amarillo, dispuestas en capas medianas y delgadas con un echado casi horizontal; macro y microcristalinas, recristalizadas, silicificadas o dolomitizadas con probables moldes de fauna bentónica, contienen en ocasiones nódulos de pedernal y a veces se intercalan con capas de brecha sedimentaria, constituidas por fragmentos calcáreos. Presentan también fragmentos mal conservados de algas calcáreas *Amphiroe*, moluscos y posiblemente serpulidos que indican el origen marino. Las relaciones estratigráficas con la formación Icaiché, de la que se distingue únicamente por la presencia de yeso, y con la formación Chichén Itzá, indican que son de la misma edad o una facie lateral de ellas.

La formación Icaiché, está constituida por calizas microcristalinas con yeso y anhidrita, calizas dolomitizadas o silicificadas, margas y estratos medianos y gruesos de yeso; la fauna de ésta se reduce a moldes externos de lamelibranquios no determinables y de formaciones tubulares que pueden corresponder a tubos de *Serpulidae*.

Esta unidad se ubica al sur del estado con afloramientos en las inmediaciones del poblado de Nicolás Bravo y con que presentan un espesor hasta de varios cientos de metros, en algunos pozos de exploración pasa de 500 metros.

EOCENO, Te(cz), unidad formada por calizas de color blanco, blanco crema o amarillas; espáticas y recristalizadas en algunos afloramientos; muy solubles, de facies de plataforma somera, en estratos delgados y medianos, en otras ocasiones compactas, sumamente fracturadas o muy deleznales, con un echado casi horizontal. Se intercalan con las calizas, presentan capas gruesas de brecha sedimentaria calcárea cementada o con nódulos de caliza silicificada. El contenido fosilífero consiste en *Quinqueloculina* sp., fragmentos de miliólidos, ostrácodos y algas calcáreas, además, reportan para este miembro de la formación Chichén Itzá, abundantes foraminíferos y moldes externos e internos de moluscos.

Esta parte de la formación Chichén Itzá, miembros Pisté y Chumbec, se localiza en la porción centro-este del estado, aparentemente descansa sobre el miembro Xbacal, que no aflora en éste y sobre las unidades paleocénicas. Esta unidad tiene un espesor promedio de 185 m.

OLIGOCENO. Existe un hiato considerable entre la formación Chichén Itzá, cuya cima corresponde al Eoceno Medio o Superior, y las suprayacentes, de las cuales la más antigua (Bacalar), corresponde al Mioceno Superior. Hay una discordancia que comprende probablemente todo o parte del Eoceno Superior, el Oligoceno y el Mioceno Inferior. Debe advertirse que este notable hiato no existe en el subsuelo del extremo norte de la península, ya que en las perforaciones profundas efectuadas en Yucatán, parece estar completa la columna del Terciario, es más, la fauna correspondiente es completamente distinta a la del resto de ella, indicando facies de mares más profundos.

MIOCENO, Tm(cz), en esta unidad quedan comprendidas las formaciones Bacalar del Mioceno Superior, localizada en las inmediaciones de la laguna del mismo nombre, y la Estero Franco del Mioceno Superior(?)- Plioceno(?) (11 millones-2 millones de años), localizada en la margen izquierda del río Hondo.

La primera formación se compone de calizas poco compactas, de color blanco, o amarillo, en capas

delgadas o medianas y margas, descansando discordantemente sobre la formación Icaiché. Su parte superior se encuentra constituida por una capa calcárea endurecida de color oscuro, su fauna se reduce a corales, lamelibranquios, gasterópodos y pelecípodos.

La formación Estero Franco está constituida por caliza formada por calcita diseminada, arcilla y trazas de dolomita de color blanco o amarillo con espesor aproximado menor a 100 m, en estratos delgados con echado casi horizontal que al parecer son un equivalente lateral de la Carrillo Puerto, muestra una sección plegada al poniente de la ciudad de Chetumal, que forma una estructura sinclinal y parecen recubrir a la Bacalar. Las calizas de esta formación presentan trazas de moldes de foraminíferos, que tal vez pertenezcan a miliólidos.

TERCIARIO SUPERIOR, Ts(cz), unidad en la que quedan comprendidas las rocas calcáreas de la formación Carrillo Puerto, asignada al Mioceno Superior-Plioceno, formada por calizas microcristalinas y de diferentes texturas: biomicrita, biospatita, ooespatita, oolítica o biocalcarenita, de facies de plataforma somera y color café claro, amarillo, rojo y blanco. Su estratificación no es claramente observable, aunque aparentemente es de estratos medianos y gruesos, de echado casi horizontal; está constituida por una calcirrudita fosilífera de aproximadamente un metro de espesor que contiene abundantes fragmentos de corales, equinodermos, pelecípodos y gasterópodos, además de foraminíferos, entre ellos *Pyogo* sp., *Textulariella* aff., *T. augusta* y *Planulina* sp., algas como *Lithophyllum* sp., gasterópodos y corales, minerales como calcita diseminada, trazas de yeso y aragonito; también se encuentran calizas compactas con *Peneroplidae* del género *Archaias*, considerado como fósil índice de esta formación y calizas arcillosas que al alterarse producen arcillas rojas lateríticas.

Esta formación descansa concordante con la del Estero Franco sobre la de Bacalar o en discordancia sobre las rocas del Eoceno, esta unidad se localiza desde la Bahía de Chemal hasta casi llegar al litoral norte del estado, cubriendo la mayor parte de éste.

PLIOCENO, Tpl(cz), esta unidad parece corresponder a la parte superior de la formación Carrillo Puerto, la parte inferior de lo expuesto está formada por un cuerpo masivo coquinífero, poco compacto, cubierto por calizas laminares con estratificación cruzada que presenta dos buzamientos diferentes con ángulos distintos de inclinación. Estas calizas de texturas ooespatíticas, bioespatíticas y bioesparrudíticas, están formadas por fragmentos de conchas de pelecípodos y gasterópodos y por algunos restos de corales y esponjas.

La parte superior de esta unidad está conformada por calizas de textura ooespatita, bioespatita y

biomicrita, dispuestas en capas delgadas y medianas, de color blanco, con un echado horizontal. Contienen foraminíferos de los géneros *Archaias* sp., y *Globigerinoides* aff., *G. Trilobus*, algas verdes, dacycladaceas del género *Halimeda*, gasterópodos de varias especies, pelecípodos, ostrácodos, hexacorales e icnofósiles.

El ambiente de depósito es de plataforma de aguas poco profundas, aflora esta unidad en parte de las islas Cozumel, Contoy y Mujeres, en una estrecha franja del litoral frente a la primera isla desde el sur de Tulum hasta cerca de Cancún y en pequeñas zonas al sur de la laguna Conil.

CUATERNARIO, Q(s).- Está representado por calizas coquiníferas de ambiente de litoral y eolianitas pleistocénicas, así como depósitos recientes sin consolidar; suelos de origen aluvial, lacustre y palustre que muchas veces sobreyacen discordantes a las rocas calcáreas expuestas.

Los depósitos y suelos mencionados se pueden clasificar de la siguiente manera:

Suelos

LITORAL. Representado por los depósitos litorales de arena fina a gruesa constituidas principalmente por fragmentos, espículas de equinodermos, moluscos, ostrácodos, briozoarios y esponjas, además de miembros de microforaminíferos bentónicos y planctónicos, en algunos sitios se tienen coquinas mal consolidadas del mismo ambiente.

Estos sedimentos están bien clasificados, y en algunos lugares, además, tienen acumulaciones de grava y bloques de corales así como restos completos de moluscos. Se encuentran formando una franja angosta y plana, ligeramente inclinada, asociada a las dunas o suavemente ondulada; cubren parcialmente a calizas del Terciario Superior o a las eolianíticas del Pleistoceno.

PALUSTRE. Compuesto por lodos calcáreos y materia orgánica en descomposición de color oscuro y olor fétido, acumulada en la franja litoral; sustenta un manglar muy denso y está comunicado al mar por medio de canales.

LACUSTRE. Acumulación de material calcáreo arcilloso, limoso o arenoso en lagunas someras abiertas o restringidas, formadas en la zona litoral las primeras o en pequeñas cuencas endorreicas con inundación temporal. Se caracteriza por presentar islotes con abundante vegetación.

ALUVIAL. Constituido por el depósito de materiales finos, principalmente arcillas plásticas y escasas gravas,

de color café oscuro y rojo que se encuentran en las partes más bajas de las depresiones; en ocasiones presentan inundación temporal.

EOLÍTICO. Integrado por eolianitas pleistocénicas cementadas que forman cantiles en el Mar Caribe; presentan ubicaciones que corresponden a moldes de raíces, formando montículos de poca altitud paralelos a la línea de costa. Su textura es de ooespatitas con los núcleos de los oolitos constituidos por fragmentos de moluscos, microforaminíferos bentónicos o planctónicos, por placas de algas en cloroficias o coralináceas, o pelets.

En esta clasificación se incluyen también los depósitos eólicos recientes sin cementar conformados por arena mediana bien clasificada, formada de fragmentos de moluscos, corales, equinodermos y foraminíferos esencialmente.

4.3 GEOLOGÍA HISTÓRICA

El territorio de la península es una enorme plataforma calcárea emergida del mar debido a un continuo movimiento ascendente, que va poniendo lentamente al descubierto el fondo marino con dirección norte, esta emersión se efectúa actualmente a un ritmo de 2 a 3 cm por año, lo que significa que la edad geológica del material tiende a aumentar hacia el sur; es decir hacia la base de la península.

Hace más de 230 millones de años en la era Paleozoico Superior (Pérmico-Pensylvánico) gran parte de la península era de carácter platafórmico, y estuvo emergida hasta el Triásico-Jurásico, como lo indica la presencia de capas rojas (formación Todos Santos) en los distintos pozos perforados. Esta gran masa de rocas evaporíticas que comprende la península de Yucatán y el Banco de Campeche, no sufrió movimientos de gran intensidad durante el Mesozoico, sólo se presentó una continua sumersión.

A partir del Cretácico Inferior hace unos 130 millones de años, se inicia el depósito de grandes masas de evaporitas, llegando a realizarse en ocasiones una evaporación total, que dio lugar a la formación de masas salinas que aparecen en el subsuelo en la república de Guatemala; sin embargo, en el resto de la península que corresponde a México y Belice, no se ha encontrado sal y tal parece que la sedimentación de las evaporitas (yesos y anhídritas) se inicia a fines de esta misma época en el Aptiano-Albiano (Comancheano) hace unos 100 millones de años; prevaleciendo estas condiciones de depósito durante el Cretácico Superior, en la parte media y sur de la plataforma peninsular, y en casi todo el Terciario.

Es interesante hacer notar que el Cretácico Superior y el Terciario Inferior en la parte norte de la península,

es muy calcáreo-arcilloso, indicando una cierta profundización de los mares.

La Península de Yucatán aparece durante el Terciario Medio y Superior como una plataforma sumergida, con oscilaciones a poca profundidad, y en la que predominantemente se depositaron calizas litorales y neríticas.

Al final del Plioceno y Pleistoceno, la península adquiere la forma actual, no obstante, que siguen desarrollándose grandes alineaciones de arrecifes de tipo biostromal al norte de la plataforma yucateca, el cual está formado esencialmente de material calcáreo, ya que la carencia de ríos en la península limita al máximo la presencia de material terrígeno.

Inmediata a la costa actual se formó una franja paralela de arrecifes de varios kilómetros de ancho donde están grandes conjuntos de moluscos como *Arca* sp. y *Chione quedradillesis*.

La tectónica de placas no ha sido precisada en esta zona porque la única referencia observable es el cambio de rumbo actual de los pliegues de la Sierra Madre de Chiapas NW- SE, al sistema de plegamientos y fallas al norte de Guatemala y Honduras Británicas que es NE- SW; indica que pudo haber tenido una rotación de la península desde el este de su posición actual.

4.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Como se ha mencionado las rocas expuestas, carbonatadas del Terciario y Cuaternario que han permanecido prácticamente sin deformar, son parte del gran banco calcáreo que descansa sobre el basamento de rocas metamórficas del Paleozoico, y el mayor plegamiento se localiza al poniente del río Hondo donde las calizas de la formación Estero Franco constituyen una estructura sinclinal.

Los rasgos estructurales más notables se exhiben en dos direcciones: una que corresponde principalmente a fracturas pero que presenta la falla de mayor extensión, que se alinea de noroeste a sureste, y otra, con una orientación de noreste a suroeste, muestra claramente fracturas de dimensiones diversas y fallas normales como la evidenciada por la alineación del río Hondo y la laguna de Bacalar, además que por regla general los cenotes se encuentran en estos accidentes o en su intersección.

La primera alineación, que está en rocas Eocénicas pudiera relacionarse a la orogénesis del Eoceno Superior durante una fase tectónica compresiva que afectó notablemente a las islas antillanas y en Yucatán sólo produjo un pequeño abombamiento y mínimas deformaciones; la segunda orientación ligada a la orogénesis Mio- Pliocénica fase distensiva, alteró a esta

región de México produciendo la segunda alineación de rasgos estructurales que se mencionaron en el párrafo anterior.

Es necesario hacer notar la relación de toda la península con sus límites geomorfológicos del sur o sea el relieve positivo del arco de la Libertad, que incluye el Pe-tén de Guatemala y las montañas Maya de Belice. La mayor parte de la cuenca de Cobán entre la charnela y la plataforma de Yucatán, estuvo dividida en dos porciones profundas, separadas por un alto estructural pre Cretácico llamado como se mencionó al principio del párrafo Arco de la Libertad, que es parte del gran bloque fallado de las montañas Maya. Este arco aparentemente continuó activo hasta el Terciario. Este geosinclinal del Mesozoico es parte del sistema Cordillerano de América del Norte y en el Norte de América Central, por lo menos, no hay apariencia de eugeosinclinal, posiblemente el Jurásico Superior- Cretácico Medio de Cuba, sea una prolongación hacia el Oeste.

Geología Económica

Los recursos geológicos de mayor relevancia en esta región peninsular por lo general, son las rocas calizas y yesos útiles como materia prima en la elaboración de materiales para la industria de la construcción. Otro recurso es el agua subterránea alojada en el acuífero calizo con su nivel freático relativamente cercano a la superficie

4.5 UNIDADES GEOHIDROLÓGICAS

Se presentan cuatro unidades geohidrológicas (fig. 4.3), de acuerdo con sus características físicas e hidrológicas de los materiales. Se clasifican en dos grupos: consolidados y no consolidados, y conforme con su factibilidad de funcionar como acuífero en tres grupos: con posibilidades altas, medias y bajas.

Unidad de material consolidado con posibilidades altas

Se encuentra ampliamente distribuida en toda el área, está constituida por caliza de textura mudstone, wackstone, packstone y grainstone; en estratos delgados, gruesos y masivos; en ocasiones se presenta coquina, con contenido fosilífero abundante y variado, e intercalaciones de horizontes y lengüetas arcillosas en estratificación cruzada, en posición casi horizontal y fracturamiento moderado; en esta unidad se han desarrollado cavernas por disolución y como consecuencia, la permeabilidad secundaria es alta. En ella se encuentra un acuífero libre, cuya recarga se lleva a cabo por la infiltración directa del agua de lluvia. La calidad del agua extraída es tolerable, a excepción de la zona costera donde es salada y dulce en la parte norte del estado. Las familias químicas del agua que se encuentran son: mixta bicarbonatada con tendencia a sódica-clorurada en la zona noreste, en la que se ve influenciado el acuífero por las zonas de inundación e intrusión salina; la mixta bicarbonatada con tendencia

a magnésica sulfatada en la zona que comprenden las poblaciones de Xul-ha' y Gonzáles Ortega por la presencia de yesos en la parte suroeste del estado; y la cálcica bicarbonatada a magnésica sulfatada en la zona del ingenio Álvaro Obregón.

Unidad de material consolidado con posibilidades medias

Localizada en la costa norte del estado formada por calizas del Cuaternario de texturas boundstone y grainstone, presentando estratos masivos a delgados, con abundantes fósiles, fracturamiento escaso y con cavernas de disolución; su permeabilidad es alta. Por su posición estructural y su cercanía al mar es una zona sujeta a inundación, por lo que se infiere que el acuífero está contaminado por agua salada.

Unidad de material consolidado con posibilidades bajas

Se halla diseminada en toda el área cercana a las bahías Ascensión y Espíritu Santo, al este de la Bahía

Chetumal, en la península de Xcalak, en el Banco Chinchorro y en las Islas Contoy y Mujeres. Lo forman calizas del Terciario Superior y del Cuaternario, de textura microcristalina y cristalina con abundantes fósiles. Están sujetas a inundación temporal y que por su cercanía a las costas no son aptas para el desarrollo de acuíferos.

Unidad de material no consolidado con posibilidades bajas

Se encuentra distribuida ampliamente en los municipios de Othón P. Blanco y Felipe Carrillo Puerto y en las costas del estado, corresponde a las zonas lagunares, palustres, litorales, fluviales y áreas de inundación; está compuesta por depósitos detríticos cuaternarios formados por arcillas, limos, arenas, gravas, gran contenido de materia orgánica y lodo calcáreo, sus espesores son reducidos, por lo que no son capaces de conformar acuíferos. Esta unidad se encuentra sobreyaciendo a las rocas calcáreas que funcionan como acuíferos de tipo libre.

5. Hidrología Superficial

En los capítulos anteriores fueron definidos los factores y elementos físicos de la entidad, el clima y el panorama demográfico; corresponde ahora efectuar la descripción del comportamiento del agua superficial; sin embargo, antes es preciso ubicar al estado dentro de un marco de referencia adecuado, que en este caso, es la división hidrológica de la República Mexicana, realizada por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), hoy Comisión Nacional del Agua (CNA) desconcentrada de la primera, y adecuada por la Dirección General de Geografía del INEGI.

5.1 PANORAMA GENERAL DEL AGUA SUPERFICIAL EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO

En el estado de Quintana Roo se encuentran dos regiones hidrológicas (RH): la RH32 Yucatán Norte (Yucatán) y la RH33 Yucatán Este (Quintana Roo) (fig. 5.1), esta última es de carácter internacional, ya que se prolonga hasta la república de Guatemala y Belice.

La entidad es uno de los estados de la zona tropical del sureste del país, en donde las precipitaciones son abundantes, mayores de 1 000 mm; se caracteriza al igual que los demás del resto de la península, por la inexistencia de corrientes superficiales relevantes; la excepción de esta particularidad lo constituye el río Hondo, que sirve de límite natural entre nuestra República y Belice. Además del río mencionado, que se encuentra al sur, es en esta misma región donde se presentan algunos arroyos intermitentes de poca importancia; las lagunas y las áreas de inundación temporal o permanente, dados por las características edáficas y la naturaleza del subsuelo, que le confieren una cierta impermeabilidad; en las porciones central y norte del mismo es nula la presencia de las corrientes hídricas superficiales, debido a la naturaleza calcárea del terreno que presenta una mejor permeabilidad y al relieve del terreno, que es sensiblemente plano.

Al no poderse desarrollar las corrientes superficiales, la porción del agua de precipitación que resta a la evaporación es absorbida por las plantas y suelos, y el resto satura el terreno, colma el bajo relieve y se infiltra en el subsuelo, dando origen a las aguas subterráneas en cavernosidades de desarrollo muy complicado, trabajo efectuado por las propias aguas infiltradas y regidas según las zonas de menor resistencia de las rocas y por las fracturas existentes; favorecido además este fenómeno por el pequeño

espesor de los suelos y la espesa cobertura vegetal; de manera que todos los sitios que reciben la lluvia, constituyen zonas de recarga del acuífero, es decir toda la superficie estatal.

A continuación se describe con su ubicación y sus características hidrológicas cada RH y cada una de sus cuencas.

5.2 REGIÓN HIDROLÓGICA 32, YUCATÁN NORTE (YUCATÁN)

Esta región abarca, además del estado de Quintana Roo parte de Yucatán y Campeche, con una superficie total de 56 443 km²; en el estado comprende la porción norte, cubre un área que equivale a 31.77% estatal; sus límites en la entidad son: al norte el Golfo de México, al este el Mar Caribe, al sur la Región Hidrológica 33 (RH33) y al oeste el estado de Yucatán donde continúa. Presenta dos cuencas denominadas: 32A Quintana Roo y 32B Yucatán, aunque de esta última sólo abarca una pequeña área.

5.2.1 Cuenca 32A Quintana Roo

Se ubica al norte del estado, ocupa 31.00% de su superficie estatal e incluye las islas de Cozumel, Mujeres y Contoy; tiene como límites, al norte el Golfo de México, al este el Mar Caribe, al sur la división con la RH33 que coincide aproximadamente con el paralelo 20° de latitud norte y al oeste con el límite de Yucatán donde continúa, excepto en una pequeña porción que corresponde a la cuenca 32B.

La temperatura media anual es de 26°C con una precipitación que va de 800 mm en el norte a más de 1 500 al sureste de la cuenca y con un rango de escurrimiento de 0 a 5% (fig. 5.2) que la abarca prácticamente toda, excepto en las franjas costeras que tienen de 5 a 10% o 10 a 20% debido a la presencia de arcillas y limos.

Como ocurre en casi toda la península, no existen corrientes superficiales en esta porción del estado por las características particulares de alta infiltración en el terreno y escaso relieve, así como tampoco cuerpos de agua de gran importancia; sólo pequeñas lagunas como la de Cobá, Punta Laguna, La Unión; lagunas que se forman junto al litoral como son la de Conil, Chakmochuk y Nichupté (fig 5.3) así como, aguadas. El uso que se les da es recreativo.

5.2.2 Cuenca 32B Yucatán

La mayor parte de esta cuenca se encuentra en el estado de Yucatán, en Quintana Roo ocupa únicamente 0.77% de la superficie estatal, ubicándose al noroeste de la entidad; colinda al oriente con la cuenca 32A.

Tiene una temperatura media anual de 26°C, una precipitación que varía de 1 300 a 1 500 mm y un escurrimiento superficial con rango de 0 a 5%.

Como ocurre con las anteriores cuencas no existen corrientes superficiales y tampoco hay cuerpos de agua de importancia.

5.3 REGIÓN HIDROLÓGICA 33, YUCATÁN ESTE (QUINTANA ROO)

Abarca los tres estados de la península de Yucatán con una superficie total de 39 579 km² en México, pero continúa en la república de Guatemala y Belice. Tiene la mayor extensión del estado ya que ocupa el equivalente a 68.23% de su superficie, ubicada desde poco más al norte de la parte media hasta el sur de la entidad; limita al norte con la región hidrológica 32, al este con el Mar Caribe y la Bahía de Chemal, al sur con Belice y Guatemala, al oeste con Campeche, colindando con la RH31 y al noroeste con el estado de Yucatán.

Esta región está conformada por dos cuencas la 33A Bahía de Chemal y Otras y la 33B Cuencas Cerradas.

5.3.1 Cuenca 33A Bahía de Chemal y Otras

Se ubica al sureste del estado, abarcando una superficie que equivale a 34.76% de su total, limita al este con el Mar Caribe y la Bahía de Chemal, al sur con Belice y Guatemala y al noroeste con la cuenca 33B.

La temperatura media anual es de 26°C, la precipitación oscila desde 1 100 hasta 1 500 mm y en ella se presentan cuatro rangos de escurrimiento superficial: de 0 a 5% que ocupa mayor porcentaje de superficie y distribuida en toda la cuenca; de 5 a 10% principalmente alrededor de las bahías del Espíritu Santo, Ascensión y Chetumal; de 10 a 20% y 20 a 30% al suroeste y sur de la cuenca, respectivamente.

Prevalecen en esta zona las mismas condiciones generales de la península de Yucatán, pero con modificaciones de importancia en lo que respecta a la cobertura vegetal, que es más abundante y a la formación de numerosas zonas pantanosas hacia el oriente y sur de la cuenca.

Carece de corrientes superficiales de importancia, la excepción son algunos arroyos intermitentes como el Escondido y Ucum, pero abundan las lagunas y lagunetas, entre las que sobresalen las de Bacalar, San Felipe, Mosquitero y Chile Verde.

A pesar de lo anterior, sí existe una corriente perenne importante bien definida y que también sirve como límite internacional entre México y Belice: el río Hondo, nace en la república de Guatemala con el nombre de Azul, con una longitud de 145 km, orientado de suroeste a noreste y escurrimiento medio anual de 1 500 millones de metros cúbicos (Mm³), estimándose que 15% es generado en la temporada de lluvias, durante los cuales conduce caudales de 40 a 60 m³/seg; el otro 85% de su volumen escurrido procede del subsuelo, que le aporta un caudal base de 20 a 30 m³, el cual es vertido en el Mar Caribe o de las Antillas a través de la Bahía de Chemal. El agua del río tiene una salinidad del orden de las 700 partes por millón (ppm) directamente relacionada con la cantidad de sólidos disueltos.

El río Hondo después de su nacimiento en la república de Guatemala, fluye de sur a norte, después de entrar a territorio mexicano continúa su recorrido con dirección noreste, recibiendo por su margen izquierda aportaciones de algunos afluentes generados en México, a partir de las coordenadas 17° 55' de latitud norte y 89° 10' longitud oeste del meridiano de Greenwich, se convierte en límite natural entre México y Belice, luego sigue hacia el este describiendo un arco de círculo, donde también recibe aportaciones por ambos lados.

Al llegar a un sitio de nombre La Lagunita, a poco más de dos kilómetros al este de La Unión, entra el río Booths procedente de Belice, después de este afluente ya se le llama Hondo; luego sigue en dirección noreste recibiendo más aportaciones en ambos lados como la del río Ucum, el cual afluye a unos cuatro kilómetros al sureste del cruce de las carreteras que van hacia Escárcega y La Unión, ese mismo río se llama Escondido a veinte kilómetros antes de ese punto final de su recorrido; por último sigue en dirección este hasta desembocar en la Bahía de Chemal.

5.3.1 Cuenca 33B Cuencas Cerradas

Se ubica al suroeste del estado, ocupa una área que equivale a 33.47% de su superficie; limita al norte con la RH32 con una línea sinuosa que sigue aproximadamente el paralelo 20° de latitud norte, al sureste con la cuenca 33A de la RH33, al oeste con el límite de Campeche y con la RH31 y al noroeste continúa en Yucatán.

La temperatura media es de 26°C, la precipitación varía desde 1 000 al oeste, hasta 1 500 mm al noreste y el rango de escurrimiento superficial predominante es el de 0 a 5% debido a la alta permeabilidad de las rocas, a la escasa pendiente y a la abundante vegetación, que origina que la lluvia al caer se infiltre en poco tiempo. En ella se encuentran esparcidas algunas unidades con rango de escurrimiento de 5 a 10% que ocupan las partes más bajas donde la acumulación de

aguas es frecuente o permanente, también existe el rango de 10 a 20% en suelos impermeables con cubierta vegetal media o escasa.

No existen corrientes superficiales pero abundan las lagunas y las lagunetas como la de Chunyaxché, Campechén, Chichancanab, Paytoro y Nohá.

5.4 ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

Por la ausencia de corrientes superficiales de importancia es obvia la ausencia de una red de estaciones hidrométricas; sin embargo, estuvo en operación una sobre el río Hondo, llamada Subteniente López y localizada cerca de la localidad del mismo nombre, situada a 20 km aguas arriba de la desembocadura

Los cálculos del escurrimiento se basan en la metodología de las Cartas de aguas superficiales escala 1:250 000 que nos muestran que el rango de escurrimiento predominante es de 0 a 5%, distribuida en todo el estado; el rango de 5 a 10% se encuentra distribuida en pequeñas áreas, principalmente en las franjas litorales del Golfo de México y del norte de las del Mar Caribe (fig. 5.2). Otras áreas de esta unidad se encuentran dispersas en el centro-oeste del estado; en los alrededores de las bahías del Espíritu Santo y Ascensión, dentro de una franja de ancho de 40 km, a partir de la costa, hasta la península de Xcalak, en esta zona no ocurren propiamente escurrimientos en sí, pero sí acumulaciones de agua con vegetación semidensa; además existen otras pequeñas áreas dispersas en todo el sur de la entidad. Las precipitaciones están entre 1 400 y 1 500 mm.

El rango de escurrimiento de 10 a 20% se encuentra distribuido de la siguiente manera: algunas unidades en la costa norte, áreas de medianas dimensiones en

la parte centro-oeste, principalmente en zonas que se inundan temporalmente y en los alrededores de las lagunas existentes; también en las zonas aledañas de las bahías de la Ascensión y Espíritu Santo, donde la acumulación del agua es mayor que en el anterior rango propiciando la presencia de pantanos; otros elementos que caracterizan a esta unidad es la cubierta vegetal que varía de media a escasa y las precipitaciones que van del orden de 1 500 mm. El relieve plano con muy poca elevación sobre el nivel del mar que aunado con la cercanía a este último, ocasiona que se relacionen también con la influencia de las mareas. Otra zona donde se presentan áreas con este rango de escurrimiento se encuentra al sur del estado entre las localidades de Lázaro Cárdenas, La Unión y Felipe Carrillo Puerto.

Finalmente el escurrimiento de 20 a 30% se localiza en zonas donde existen inundaciones permanentes en los alrededores de las bahías de la Ascensión, Espíritu Santo y Chetumal, en estas zonas en ocasiones se presentan pantanos, tienen vegetación semidensa. Otras unidades se encuentran al sur del estado en las inmediaciones del río Hondo y entre las localidades de Tomás Garrido, Nueva Esperanza y Sergio Butrón Casas.

5.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el estado no existen corrientes de agua superficial, excepto el río Hondo, a causa de la ausencia de relieve prominente y de la alta permeabilidad del substrato geológico, consistente principalmente de roca caliza, y al poco espesor del suelo.

Los cuerpos de agua son principalmente costeros y los que se ubican hacia el interior, se encuentran principalmente en el sur del estado y cuyo uso es casi siempre doméstico, acuícola o recreativo.

6. Hidrología Subterránea

Como se hizo notar en el capítulo anterior la totalidad del flujo hidrológico es subterráneo, a pesar de las abundantes precipitaciones pluviales, de aquí la vital importancia de utilizar y conservar el agua, pues es la única fuente permanente, la que complementa a las aguas meteóricas para la agricultura, sustenta el desarrollo de los demás sectores productivos y es fuente de abastecimiento para el consumo humano.

En este capítulo se proporcionarán los elementos necesarios, para entender la situación y comportamiento hidráulico de los depósitos subterráneos de agua, en función de las características del medio y de la influencia del hombre.

Para poder llegar al objetivo de este capítulo se proporcionará un panorama general de la cuantificación de los volúmenes de recarga y descarga del agua subterránea, además del uso a que se destina, la distribución de los aprovechamientos, las configuraciones de la elevación y profundidad de los niveles estáticos, así como del total de sólidos disueltos en partes por millón del contenido iónico del agua, con la finalidad de determinar los flujos subterráneos y la situación hidrológica de los acuíferos.

En el análisis por zonas de explotación geohidrológica definidas por la Comisión Nacional del Agua (CNA) se detallarán las características que las definen, ubicándolas en su marco geográfico y destacando las particularidades geohidrológicas de mayor importancia, los caracteres físicos y humanos que constituyen e intervienen en la explotación del acuífero, su tipo, características del agua (familia, calidad y temperatura), las recargas, flujos subterráneos y detalles de los aprovechamientos.

Otro punto que se tomará en cuenta es la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, con base en la evaluación del conjunto de características de este medio (efectuado por la CNA) que determinan, cuanto podría ser afectado por la descarga de un contaminante o como la respuesta, del medio acuífero al agente externo, el cual está expresado en términos de:

1.- El período de atraso para el acceso de contaminantes ocasionado por: la conductividad hidrológica de la zona no saturada, el tipo de acuífero, profundidad del nivel estático y condición de explotación.

2.- La capacidad de reacción físico química y retención del contaminante o sea la respuesta del medio una vez que el agente ha penetrado, interviniendo: la estratificación del acuífero, el tipo de materiales que lo conforman (litología global) y la conductividad hidráulica.

3.- El potencial general de dilución del medio hidrogeológico, que es el resultado de los agentes externos que de alguna manera influyen en el amortiguamiento del efecto del contaminante como son: la precipitación pluvial, origen de la recarga (infiltración directa hacia el manto acuífero, cuerpos de agua, ríos, etc.) y dimensión más corta del acuífero.

El acuífero de Quintana Roo es de tipo costero, que al iniciarse el bombeo y alterar las condiciones naturales que previamente existían, se produce una reducción del flujo de agua dulce hacia el mar y como consecuencia, el avance tierra adentro de las aguas marinas, fenómeno conocido como intrusión salina. Por esta razón, es importante controlar la cantidad, distribución y gasto máximo permisible de los aprovechamientos para reducir a un mínimo aceptable los efectos nocivos de la contaminación producida por el avance tierra adentro del agua del mar. En general cualquier variación en las condiciones de flujo al interior del acuífero de agua dulce origina movimientos en la interfase salina.

Por lo expresado anteriormente y para evitar que el alumbramiento, extracción y aprovechamiento del acuífero ponga en riesgo la calidad de las aguas subterráneas o de sobrepasar su capacidad explotable, cuya conservación y protección es de interés público, se establecieron vedas por tiempo indefinido en el estado de Quintana Roo el 17 de marzo de 1964 en las zonas denominadas «Payo Obispo» al sur de la entidad y el 11 de marzo de 1981 en el norte del estado mediante decretos publicados en el Diario de la Federación el 07 de mayo de 1964 y el 23 de marzo de 1981 respectivamente (fig. 6.3).

6.1 PANORAMA GENERAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ESTADO

El acuífero se encuentra en rocas calizas del Terciario y Cuaternario y depósitos de litoral de este último período, con permeabilidad alta en material consolidado en la mayor parte de la entidad, excepto en su área suroeste que es de permeabilidad media; así como también en una pequeña franja al norte en material no consolidado (fig. 6.1).

Se trata de un acuífero de tipo freático con marcada heterogeneidad respecto a sus características hidráulicas. La mayor parte de la superficie del estado, son de llanuras, que presentan notable desarrollo cárstico al que debe su gran permeabilidad secundaria, manifestándose en la superficie en forma de cenotes; en tanto que en el área de lomeríos, la red de drenaje subterráneo está menos desarrollada que en la llanura y no muestra manifestaciones importantes en la superficie del terreno.

El acuífero se explota por medio de cientos de captaciones, la mayoría de las cuales están emplazadas en las porciones centro oriental y norte de la entidad, agrupados en 11 zonas de explotación que comprenden 40% de la superficie estatal, con balance geohidrológico positivo desde el punto de vista cuantitativo; sin embargo, la calidad del agua presenta serios problemas en algunas porciones.

En el estado se localizaron 869 aprovechamientos, las norias son las más numerosas y extraen pequeños caudales para uso agrícola, doméstico y abrevadero; en número mucho menor, pozos con profundidades de 40 a 100 m que suministran gastos de 30 a 70 lps (litros por segundo) para los principales núcleos de población; así como bombas instaladas en algunos cenotes, sacan agua para diversos usos.

Por su importancia destacan las baterías que abastecen a los desarrollos turísticos de Cancún y Cozumel, cuya construcción se llevó a cabo con especial cuidado para prevenir la intrusión salina vertical. La zona de Cancún es alimentada por varias baterías, que en conjunto constan de 75 pozos y suministran un caudal del orden de 900 lps. En la isla de Cozumel la población y la zona turística reciben agua de una batería de 100 pozos, con profundidades de 10 a 15 m, y aportan gastos de 1 a 3 lps cada uno.

Del subsuelo se extraen actualmente alrededor de 354 millones de metros cúbicos al año ($Mm^3/año$), volumen que es distribuido como sigue; 215 $Mm^3/año$ se destinan al riego de 17 100 ha; 85 $Mm^3/año$ son suministrados a los núcleos de población y desarrollos turísticos, 15 $Mm^3/año$ para satisfacer las necesidades de agua de la población rural y 16 $Mm^3/año$ son utilizados para las industrias. La extracción total apuntada representa apenas poco más de 3% de la recarga del acuífero, por lo que está considerado como subexplotado, aunque existe el riesgo de salinización, principalmente en la zona del litoral con asentamientos de población o establecimientos turísticos importantes y en la isla de Cozumel.

A pesar de que el acuífero recibe abundante recarga, su aprovechamiento intensivo está relativamente restringido por el riesgo que implica el

deterioro de la calidad del agua; en efecto, la presencia de la cuña de agua marina que subyace al agua dulce en los acuíferos costeros, impone severa limitación a los abatimientos permisibles en los pozos y por tanto, a sus caudales de extracción, desaprovechándose así, en parte, la gran capacidad transmisora de las calizas acuíferas.

La calidad del agua es en razón del total de sólidos disueltos en miligramos por litro, dependiendo de los aniones y cationes (calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfato, carbonato, bicarbonato, nitrato y cloro) que contengan y se clasifica de la manera que sigue: agua dulce con menos de 1 000 miligramos por litro, tolerable entre 1 000 y 2 000, y salada con más de 2 000.

La cantidad total de sólidos disueltos en el agua subterránea varía en la entidad dentro del rango de 300 a 2 950 partes por millón (ppm), decreciendo gradualmente de la costa hacia tierra adentro; es mayor que 1 500 ppm en una faja de cinco kilómetros a partir del litoral, y de 450 a 2 000 en el resto del estado (fig. 6.7).

El espesor saturado de agua dulce decrece hacia la costa: es menor que 60 m en una franja de 40 km a partir de aquella, de 50 a 100 m en el resto de la llanura y del orden de 160 m en el área de lomeríos.

Atendiendo a la cantidad y por el tipo de sales disueltas, en la llanura predomina el agua de tipo cálcica-magnésica-bicarbonatada, procediendo los dos primeros elementos de la disolución de los carbonatos constituyentes de las rocas calcáreas; en el área de lomeríos es más común el agua magnésica-sulfatada, las evaporitas (como yesos) son las fuentes del sulfato; por último, en las proximidades del litoral algunos pozos extraen agua sódico-clorurada-sulfatada, procedente de la zona de mezcla.

Las condiciones que prevalecen en la entidad y que propician la contaminación del agua subterránea son: por un lado, las oquedades del terreno cárstico, los amplios conductos del acuífero y la ausencia de material filtrante, facilitan el acceso de todo tipo de contaminantes al subsuelo y su rápida propagación en él; y por otro lado, la dureza y la pequeña pendiente topográfica de la losa calcárea, hacen prácticamente imposible la instalación de redes de alcantarillado en los núcleos de población. Así las aguas residuales, descargadas directamente al terreno o a fosas sépticas mal construidas, aportan a la fuente de abastecimiento grandes cantidades de organismos fecales, materia orgánica, nitrógeno, compuestos químicos, detergentes.

Por otra parte, las características hidráulicas y la copiosa alimentación del acuífero favorecen el rápido tránsito subterráneo de los contaminantes, evitando su acumulación; pero como en los núcleos de población,

las descargas y las captaciones están intercaladas, gran parte del agua residual infiltrada, circula hacia éstas bajo los efectos de bombeo, en lugar de seguir las trayectorias naturales del flujo; por fortuna las características que hacen al acuífero tan vulnerable a la contaminación y a la salinización, también permiten que estos fenómenos sean reversibles; gracias a ello, en las áreas donde la calidad del agua se ha deteriorado puede recuperarse a corto plazo la calidad original al cesar la causa que produjo el deterioro.

A continuación se describirán cada una de las zonas de explotación geohidrológicas propuestas en la reglamentación del acuífero de Quintana Roo por la Comisión Nacional del Agua (CNA).

6.2 ANÁLISIS Y PANORAMA DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN CADA ZONA GEOHIDROLÓGICA

Existen cuatro zonas geohidrológicas propuestas en la reglamentación del acuífero en el estado de Quintana Roo las cuales son: Cerros y Valles, Cuencas Escalonadas, Planicie Interior y Costas Bajas, además la isla de Cozumel.

6.2.1 Cerros y Valles

Se encuentra al suroeste del estado, dentro de los municipios de Othón P. Blanco, José María Morelos y Felipe Carrillo Puerto, colinda al norte con la zona geohidrológica Planicie Interior, al este y sur con las Cuencas Escalonadas y al oeste y norte continúa en los estados de Campeche y Yucatán, la superficie que abarca representa 16.23% del total estatal.

Por su mayor elevación y relieve es la más compleja, está conformada por calizas y dolomías del Paleoceno y Eoceno con alto grado de fracturamiento y disolución; presenta una morfología de lomeríos alineados y con una altura que va de 60 a 70 metros respecto al terreno circundante y que en ocasiones rebasan los 200 msnm.

El acuífero en esta zona es libre y se explota por medio de 49 aprovechamientos que extraen un volumen de 1.61 millones de metros cúbicos al año ($Mm^3/año$) que son utilizados para agua potable, y 34 aprovechamientos extraen $13.3 Mm^3/año$ para uso agrícola. En total ambos tipos de usos nos dan una extracción total de $14.94 Mm^3/año$ que si la comparamos con la recarga total que es $3\ 200 Mm^3/año$, tenemos una disponibilidad de $3\ 185.25 Mm^3/año$ de agua por lo que se tiene un acuífero subexplotado.

La dirección del flujo subterráneo de agua en esta zona es hacia el este y norte, el acuífero tiene un espesor medio de 80 m que disminuye en la misma dirección que el flujo al igual que la profundidad respecto a la superficie, que va de 50 a 100 m, y la elevación del nivel estático con respecto al msnm que en algunas zonas rebasa los 30 m.

En términos generales se tiene un agua de buena calidad en términos de sólidos totales disueltos, con familias de agua predominantes magnésica sulfatada, las evaporitas y yesos son las fuentes de sulfatos. En la parte suroeste de esta zona en donde se encuentran calizas con intercalaciones de margas y yesos pertenecientes a la formación Icaiche, no se ha podido encontrar agua de buena calidad debido a la presencia de los yesos que le confieren al agua un sabor amargo y no apto para el consumo humano, como lo indican los pozos perforados en Zoh Laguna, Campeche y Guillermo Prieto.

6.2.2 Cuencas Escalonadas

Se encuentra al sureste del estado, abarca desde el norte de la Bahía del Espíritu Santo hasta los límites con Belice, engloba una superficie que representa 14.97% del estado, colinda al norte con la Planicie Interior, al este con el Mar Caribe y la zona Costas Bajas, al sur con Belice y con las Costas Bajas y al oeste con la zona Cerros y Valles. En ella se encuentran los municipios de Othón P. Blanco, Felipe Carrillo Puerto y Solidaridad.

Está conformada por rocas calizas de un color blanco del Paleoceno, Mioceno (formación Estero Franco) y Terciario Superior con finas láminas de yeso, que en ocasiones se presentan semiconsolidadas y muy deleznales, llamadas localmente «sah cab». Se encuentran muy influenciadas por un sistema de fallas y facturas que tienen una dirección preferente al noreste-suroeste; que ocasiona que la roca presente un gran fracturamiento y que en la morfología de la zona se vea una serie de escalones orientados hacia esa misma dirección; además las rocas tienen una gran disolución que es característica de las calizas.

En esta zona el acuífero es de tipo libre que se explota por medio de 284 aprovechamientos que extraen un total de $62.4 Mm^3/año$, que se distribuye de la siguiente manera; 107 aprovechamientos extraen $34.24 Mm^3/año$ para agua potable, 155 explotan $25.9 Mm^3/año$ para usos agropecuarios y domésticos, 13 son industriales con un volumen de $2.2 Mm^3/año$ y 9 son utilizados para servicios con $0.04 Mm^3/año$. La recarga del acuífero es del orden de $4\ 582 Mm^3/año$ y que comparada con la extracción nos dan un acuífero subexplotado.

La dirección del flujo del agua subterránea es hacia el este, tiene una profundidad promedio del nivel estático entre 20 y 50 m, aunque cerca de las costas es hasta de un metro, el espesor medio del acuífero es de 50 m y la elevación del nivel estático va de los 20 m hasta casi cero en las costas; presenta un abatimiento anual estacional insignificante, seis centímetros.

El agua extraída presenta buena calidad con relación a los sólidos totales disueltos, con familias

predominantes sódico clorurada- sulfatada, sin embargo existen fuentes contaminantes como son el ingenio Álvaro Obregón, la embotelladora de Chetumal, ambas industrias en el municipio de Othón P. Blanco, que descargan grandes cantidades de materia orgánica y químicos, cuyo cuerpo receptor es el acuífero. Otras fuentes de contaminantes lo constituyen las clínicas y hospitales que descargan sus aguas residuales al acuífero, en la actividad agrícola debido a los agroquímicos, por desgracia no existen estudios que permitan conocer la magnitud de la contaminación; por último son las descargas municipales y domésticas como las de la ciudad de Chetumal.

6.2.3 Planicie Interior

Se ubica al norte del estado dentro de los municipios de José María Morelos, Felipe Carrillo Puerto, Solidaridad, Lázaro Cárdenas, Benito Juárez e Isla Mujeres con una extensión que equivale a 40.84% del estado. Colinda al norte con la zona Costas Bajas, al este con el Mar Caribe y Costas Bajas, al sur con las zonas Cuencas Escalonadas y Cerros y Valles, y al oeste continúa en el estado de Yucatán.

Las rocas que lo conforman son calizas de origen marino pertenecientes a la formación Felipe Carrillo Puerto de edad Mioceno Superior-Plioceno, también se encuentran rocas del Terciario Superior. Las calizas presentes manifiestan gran fracturamiento, alta disolución y permeabilidad, por lo que constituyen un buen acuífero.

El acuífero que se encuentra es libre, se explota por medio de 314 aprovechamientos un total de 60.04 Mm³/año de agua, de los cuales 7.77 Mm³/año son captados por 34 aprovechamientos para uso agrícola, 0.37 Mm³/año son captados por 13 aprovechamientos para doméstico y abrevadero, 51.9 Mm³/año son obtenidos por 266 aprovechamientos para agua potable y 0.004 Mm³/año son extraídos por un pozo para uso industrial. Si se compara el agua captada con el agua recargada que es de 4 080 Mm³/año se tiene un acuífero subexplotado.

La dirección de flujo del agua subterránea es hacia el este en su parte media, al oeste cerca de Yucatán y al norte en los municipios de Kantunilkin e Isla Mujeres. La profundidad del nivel estático va de 20 a 50 metros hacia su interior y disminuye a menos de un metro en las costas; tiene un espesor medio de 19 metros y un abatimiento medio de -0.15 m en la época seca del año.

El agua tiene buena calidad, excepto en las costas donde los sólidos totales muchas veces rebasan las 4 000 ppm, la familia de agua predominante es cálcica magnésica-bicarbonatada y sódico-clorurada. El acuífero recibe la descarga de aguas residuales de la ciudad de Cancún, de la población de los municipios

de José María Morelos y de Solidaridad; así como de los hospitales ubicados en ellos.

6.2.4 Costas Bajas

Se ubica en los alrededores de las Bahías de Chetumal, Espíritu Santo y Ascensión, también comprende las áreas de playa que va desde Playa del Carmen hasta Cancún y de la costa norte del estado. Colinda al sur del estado con las Cuencas Escalonadas y al norte con la Planicie Interior. Cubre una superficie que representa 26.81% del estado.

Está compuesta por calizas del Mioceno, Terciario Superior y del Cuaternario, e incluye depósitos recientes sin consolidar tales como arenas de playa, arcillas, turbas y calizas de moluscos. Estas zonas se consideran de alta permeabilidad donde se manifiesta un espesor delgado de agua dulce sobre la salada, que al parecer en algunos puntos está presente la intrusión salina.

Se tiene un acuífero libre del que se extraen 5.35 Mm³/año de agua a través de 68 aprovechamientos, de los cuales 11 son para uso doméstico y abrevadero con un volumen de extracción de 0.01 Mm³/año, para agua potable se tienen 36 de ellos que extraen 4.9 Mm³/año y 21 obtienen 0.45 Mm³/año para empleo industrial. En total se tiene una recarga del acuífero de 1 960 Mm³/año que al compararlo con la extracción 1 954 Mm³/año, se considera que está en equilibrio.

Tiene una dirección de flujo subterráneo hacia las costas y bahías de donde se encuentran, la profundidad del acuífero va de cinco a diez metros pero también se localiza hasta de un metro de la superficie y su espesor medio es del orden de 19 m.

Las familias de aguas predominantes son las sódico-cloruradas y sódico clorurada-sulfatada.

Ésta es la más crítica del estado pues presenta las condiciones más adversas del medio acuífero como son: la alta permeabilidad de las calizas, la poca altitud y el delgado espesor del agua dulce por encima del nivel del mar, da como resultado que forme un lente muy delgado sobreyacente a la interfase salina.

6.3 USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LAS ZONAS DE EXPLOTACIÓN

23-01 Cancún

Esta zona es la que se localiza más al norte del estado en los municipios de Benito Juárez, Isla Mujeres y Lázaro Cárdenas, ocupa aproximadamente 282.4 km² de superficie y que corresponde a 0.72% del total estatal.

El área está constituida de roca caliza y dolomía del Terciario Superior y Cuaternario, en estratos que varían de delgados a medianos con fracturamiento

moderado y alta solubilidad, presenta cavernas producidas por este fenómeno, que indica permeabilidad alta en materiales consolidados.

El acuífero es libre y la profundidad del nivel estático varía de 10 a 15 m (fig. 6.5 y 6.6), con dirección de flujo subterráneo noroeste-sureste. Presenta riesgo de intrusión salina si no se establece un control adecuado; tiene una condición de subexplotado (fig. 6.9) ya que la recarga es del orden de 461 Mm³/año; el volumen total extraído es de 35 Mm³/año, que se realiza por medio de una batería que consta de 75 pozos, localizada junto a la carretera Cancún-Mérida a nueve kilómetros al sureste de Cancún, para satisfacer principalmente las necesidades de agua potable y domésticas de Cancún e Isla Mujeres; por lo que existe una disponibilidad potencial de 426 Mm³/año.

La calidad del agua es dulce-tolerable con un total de sólidos disueltos entre 525 y 1 400 mg/l (miligramos por litro), la familia de agua predominante es la cálcica, sódica, magnésica-clorurada, bicarbonatada.

23-02 Cancún- Tulum

Se encuentra ubicada en la franja costera Cancún-Tulum, al noreste del estado, ocupa parte de los municipios de Solidaridad y Benito Juárez. La superficie de explotación es de 244.3 km², que es aproximadamente 0.62 % del estado.

Esta zona la constituyen rocas sedimentarias del Terciario Superior y Cuaternario de naturaleza calcárea, en estratos delgados a gruesos; en ocasiones presenta conchas o restos de ellas (coquina).

La permeabilidad de las rocas que la constituyen es alta, debido a su misma composición y naturaleza, cuya característica importante es su alta vulnerabilidad a la disolución, manifestado por cavernas ocasionadas por este fenómeno; presenta fracturamiento moderado en su estructura. En esta zona dio lugar a que se forme un acuífero libre; con niveles estáticos someros (de 0.5 a 20 m); dirección de flujo noroeste-sureste hacia el litoral y como en la zona anterior también presenta riesgo de intrusión salina. Con buen potencial, cuya condición es de subexplotado; tiene una recarga del orden de 199 Mm³/año; una extracción total de 23 Mm³/año, que se realiza con 35 aprovechamientos, -pozos y norias- para satisfacer las necesidades de agua potable y domésticas y en menor grado las de la agricultura; por lo que se tiene una disponibilidad potencial de 176 Mm³/año.

La calidad del agua es generalmente tolerable con un total de sólidos disueltos superior a 1 500 mg/l, con predominancia de la familia de agua sódica-clorurada.

23-03 Zona Maya

Se localiza en el centro-oeste del estado en los municipios de Felipe Carrillo Puerto y José María

Morelos, tiene una extensión de 1 810.8 km, corresponde aproximadamente 4.60 % del total estatal.

La zona está conformada por roca caliza del Eoceno y Terciario Superior; en posición horizontal y en estratos delgados a gruesos; con fracturamiento moderado y permeabilidad alta en materiales consolidados, en el que se ha formado un acuífero libre con niveles estáticos de 10 a 30 m y flujo subterráneo sur-norte o sureste-noroeste.

La situación en que se encuentra el acuífero es de subexplotación; ya que la recarga es del orden de 689 Mm³/año y se extrae un volumen del orden de 7 Mm³/año de agua, por medio de 47 aprovechamientos, principalmente norias, y son los que se utilizan para satisfacer las necesidades de agua potable, agrícolas y domésticas, por lo que existe una disponibilidad potencial de 682 Mm³/año del vital líquido.

La calidad del agua que se extrae es predominantemente tolerable y en menor grado dulce, dominan las familias de agua mixta-clorurada, bicarbonatada y mixta con tendencia cálcica.

23-04 Los Lirios

La zona se ubica al oeste del estado, en los municipios de José María Morelos, Othón P. Blanco y Felipe Carrillo Puerto con una extensión aproximada de 1 502.7 km², y que corresponde a 3.82 % de la superficie estatal.

El área está constituida de calizas microcristalinas del Eoceno, en estratos delgados a gruesos; en ocasiones con nódulos de pedernal e intercalaciones de brecha sedimentaria. Manifiesta fracturamiento moderado y permeabilidad alta en materiales consolidados.

El acuífero es libre con espesor teórico máximo del manto de agua dulce de 160 m y niveles estáticos de 12 a 124 m; el flujo subterráneo es de sursuroeste-noroeste o suroeste-noreste. Está subexplotado; la recarga es de 1 369 Mm³/año; se extraen un total de 12 Mm³/año por medio de 103 aprovechamientos existentes, la mayoría pozos y algunas norias, cuyo uso principalmente es para agua potable y agrícola y en menor grado doméstico; por lo que se tiene una disponibilidad potencial de 1 357 Mm³/año.

En esta zona existen aguas de los tres tipos de calidad: dulce, salada y tolerable; la familia de agua predominante es la mixta.

23-05 Felipe Carrillo Puerto

Se encuentra ubicada al centro-sureste del estado la mayor parte en el municipio del mismo nombre y una pequeña porción en el de Othón P. Blanco, ocupa una superficie aproximada de 1 027.9 km² que equivale a 2.61 % del total estatal.

Las rocas que constituyen al acuífero son calizas con estratos delgados, gruesos o masivos; en ocasiones con mezclas de coquina y lentes arcillosos, en posición casi horizontal y fracturamiento moderado en la parte sur de esta zona; en el resto de la superficie presenta intercalaciones de nódulos de pedernal y esporádicamente brecha sedimentaria; tiene permeabilidad alta en material consolidado.

El acuífero es libre con nivel estático que va de 3 a 20 m, dirección de flujo noroeste-sureste o oestenoeste-estesureste. En la parte sur hay peligro de intrusión salina por su mayor cercanía a la costa. El acuífero está subexplotado; en una recarga de 744 Mm³/año, se extraen 6 Mm³/año por medio de 65 aprovechamientos, principalmente norias y algunos pozos, para satisfacer las necesidades industriales, agua potable y domésticas; por lo que se cuenta con una disponibilidad potencial de 738 Mm³/año.

La calidad del agua va de dulce a salada, predominando la tolerable en la mayor parte de la zona y la salada en el sur; las familias de agua predominantes son la mixta con tendencia cálcica en una gran porción de la zona y mixta-bicarbonatada con tendencia a sódica-clorurada por la influencia de las zonas sujetas a inundación e intrusión salina en el sur.

23-06 Valle Hermoso- Tampak

Ubicada al centro del estado en los municipios de Felipe Carrillo Puerto, José María Morelos y Othón P. Blanco; abarca una superficie de 1 915.7 km² y corresponde aproximadamente a 4.86 % del total estatal.

El acuífero está constituido por caliza del Paleoceno, Eoceno, Mioceno y Terciario Superior; que se presenta en estratos gruesos a masivos y fracturamiento moderado con presencia de cavernas que debido su alta permeabilidad, es de tipo libre cuyos niveles estáticos tienen en promedio 50 m (van de 2 a 80 m) y dirección de flujo es noroeste-sureste hacia el litoral.

El acuífero está subexplotado, ya que de la recarga de 438 Mm³/año se extrae únicamente un volumen de 36 Mm³/año por medio de 111 aprovechamientos, la mayoría pozos; principalmente para uso agrícola, en menor grado para el suministro de agua potable y doméstico; por lo que se tiene disponibilidad de 402 Mm³/año.

La calidad del agua va de dulce a salada predominando la tolerable, sobresalen las familias mixta-bicarbonatada con tendencia a sódica-clorurada y la mixta con tendencia cálcica.

23-07 Lázaro Cárdenas

Ubicada en el sur-sureste del estado en el municipio de Othón P. Blanco con una extensión superficial de

390.8 km², corresponde aproximadamente a 0.99% de la superficie estatal.

La zona tiene caliza margosa poco compacta del Terciario Superior, en estratos gruesos a masivos con fracturamiento moderado y cavernas de disolución, que indica alta permeabilidad; el acuífero es de tipo libre con niveles estáticos someros con dirección de flujo noroeste-sureste, y su condición es subexplotado. La recarga es de 976 Mm³/año; se extraen en promedio 15 Mm³/año por medio de 89 aprovechamientos, la mayoría pozos, principalmente para uso agrícola, potable y doméstico; por lo que se cuenta con una disponibilidad potencial de 961 Mm³/año.

La calidad del agua va de tolerable a salada predominando la familia de agua mixta bicarbonatada con tendencia a sódica clorurada, influenciada por las zonas sujetas a inundación e intrusión salina.

23-08 Arrollo Ucum

Zona ubicada al sur-sureste del estado en el municipio de Othón P. Blanco, con una extensión de 463.8 km² y que corresponde aproximadamente a 1.18% de su superficie.

Esta zona está formada por caliza del Paleoceno, Mioceno y Terciario Superior; de grano fino en capas medianas a gruesas y fracturamiento moderado, con presencia de cavernas de disolución lo que indica su alta permeabilidad. En esta área se formó un acuífero de tipo libre cuyos niveles estáticos se encuentran desde 6 hasta 95 m; la dirección del flujo subterráneo es sureste, hacia el litoral, su condición es subexplotado con una recarga de 702 Mm³/año, se extraen solamente 4 Mm³/año de agua por medio de 81 aprovechamientos, la mayoría norias y pozos. El uso que se le da es de tipo industrial, agrícola, potable y doméstico; por lo que se tiene una disponibilidad potencial de 698 Mm³/año.

La calidad del agua va de tolerable a salada, en donde la familia de agua es mixta-bicarbonatada con tendencia a magnésica-sulfatada.

23-09 Río Hondo (Álvaro Obregón)

La zona se ubica al sur del estado en el municipio de Othón P. Blanco, abarca una superficie de explotación de 220.5 km², correspondiendo aproximadamente a 0.56% de la superficie estatal.

El acuífero está constituido por caliza y dolomía en estratos que varían de delgados a medianos con fracturamiento moderado; es de tipo libre con un nivel estático promedio de 20 m de profundidad y los gastos son de 80 lps, aproximadamente; la dirección del flujo subterráneo es suroeste-noreste. Está subexplotado, pues de una recarga de 150 Mm³/año extraen solamente 127 Mm³/año por medio de 150 aprovechamientos,

pozos y algunos cenotes, para uso agrícola principalmente, por lo que se tiene una disponibilidad de 23 Mm³/año.

En esta zona se encuentra la unidad de riego Álvaro Obregón que pertenece al distrito de riego número 102 Río Hondo en donde se tienen 42 pozos para el riego de 3 141 hectáreas de caña de azúcar.

La calidad del agua extraída es tolerable a excepción de la zona colindante al cauce del río Hondo, donde es salada y ocasionalmente dulce, la familia de agua predominante es cálcica-bicarbonatada con tendencia a magnésica-sulfatada.

23-10 Cozumel

Zona que se ubica en la isla Cozumel, abarca 122.0 km² que representan 0.31% de la superficie del estado; está conformada por caliza del Cuaternario que se presenta en forma masiva con fracturamiento moderado, su permeabilidad es alta. Es un acuífero de tipo libre con nivel estático entre 1 a 5 m, el espesor saturado de agua dulce del acuífero es más grueso hacia el centro, de 20 m, adelgazándose en los extremos, descansa sobre el agua salada.

El acuífero se encuentra subexplotado con una recarga de 144 Mm³/año; la extracción es del orden de 10 Mm³/año que se hace por medio de una batería de 102 aprovechamientos que abastecen la ciudad y cuyo uso es principalmente potable y doméstico y la disponibilidad remanente es de 134 Mm³/año.

La parte central de la isla tiene agua de buena calidad, es de dulce a tolerable, y pertenece a la familia de agua cálcica, sódica-bicarbonatada, clorurada; por su situación de isla y por otras características analizadas, existen problemas de intrusión salina.

23-11 Resto del Estado

Esta porción complementaria representa una superficie de 31 517.1 km², que indica 79.73 %, distribuido en forma irregular en todo el estado.

El acuífero se ubica en calizas del Terciario y Cuaternario, es de tipo libre y está subexplotado; de la recarga de 7 600 Mm³/año sólo se extraen 72 Mm³/año, que se realiza por medio de 11 pozos por lo que la disponibilidad potencial es de 7 528 Mm³/año.

6.4 CONCLUSIONES GEOHIDROLÓGICAS Y RECOMENDACIONES DERIVADAS DEL IMPACTO DE EXPLOTACIÓN, POR ZONA GEOHIDROLÓGICA

6.4.1 Cerros y Valles

Presenta el mayor espesor del acuífero, conformado por rocas del Paleoceno de alta permeabilidad, con dirección del flujo subterráneo del agua hacia el norte y

este, manifiesta un abatimiento cíclico anual de -0.25 m del nivel estático, esto durante la época de menor precipitación.

El espesor medio que representa la zona saturada es de 175 m con la mayor elevación del nivel estático respecto al del mar. El mayor problema de este acuífero lo constituye la presencia de yesos en su esquina suroeste del estado que contaminan de forma natural al acuífero, por lo que no es posible su utilización.

La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación es alta en términos generales por las características de la propia roca; sin embargo, por la profundidad de los niveles estáticos y la alta precipitación, se tiene una atenuación de los efectos nocivos de algún contaminante, que pudiera verse en la superficie o en el subsuelo.

6.4.2 Cuencas Escalonadas

Es el que registra el mayor volumen de extracción en el estado, abastece la ciudad de Chetumal y otras localidades comprendiendo rocas calizas del Cuaternario y del Terciario Superior con alta permeabilidad debido a su carsticidad.

Presenta una dirección preferencial del flujo de agua subterránea hacia el este, regido por fracturas, canales de disolución y la pendiente topográfica. Tiene un abatimiento cíclico anual del nivel estático de -0.06 m durante el estiaje que se recupera durante la época de lluvias.

El problema de esta zona es la causada por la utilización de agroquímicos en el distrito de riego 102 Río Hondo y del Ingenio Álvaro Obregón, por lo que se debe vigilar más de cerca la influencia de estas fuentes de contaminación por medio de análisis químicos de los pozos cercanos a ellos, poder hacer una evaluación del estado actual y de su posterior control por medio de monitoreos frecuentes.

En esta zona la vulnerabilidad a la contaminación es alta, debido al tipo de roca, a las fallas existentes en esta zona y al pequeño espesor de la zona no saturada.

6.4.3 Planicie Interior

Está conformada de materiales del Terciario Superior y del Eoceno en estratos medianos a gruesos con alta permeabilidad, debido al fracturamiento y solubilidad de las calizas que lo constituyen.

La dirección general del flujo subterráneo es hacia el norte, este y hacia el noroeste con abatimiento del nivel estático durante la época de secas de -0.10 m.

El acuífero en esta zona tiene vulnerabilidad alta a la contaminación, por el pequeño espesor de la capa

no saturada, a los suelos someros que sobreyacen a la roca, y a sus mismas características de las rocas que conforman al acuífero. Por lo que se debe tener un mejor control de esta zona por medio de análisis físico-químicos y bacteriológicos para detectar cualquier flujo de contaminantes hacia él, antes de que estos puedan causar mayores problemas a la población en general.

6.4.4 Costas Bajas

Constituye el acuífero más susceptible a la contaminación y a la intrusión salina en el estado, se conforma de materiales no consolidados y consolidados del Cuaternario, de origen sedimentario, los primeros consisten principalmente de arena, arcillas y limos con permeabilidad baja media y los consolidados presentan permeabilidad alta.

La dirección del flujo subterráneo del agua es hacia las costas y bahías en las que se encuentran, regido principalmente por los canales de disolución y las pequeñas diferencias altimétricas. Durante el período de estiaje sufre ligero abatimiento, -0.15 m, que se recupera durante las épocas de lluvias.

La vulnerabilidad a la contaminación de esta zona es extrema debido a que el espesor del acuífero es muy pequeño, el de la zona no saturada también lo es, los suelos son someros, están formados por material de textura gruesa o incluso no existen. Más aún es la zona que tiene mayor influencia del mar, por su cercanía a él; por esto se deben tomar aquí todos los controles posibles para protegerla de cualquier tipo de contaminación, así como controlar el volumen de las extracciones, para evitar el avance de agua de mar hacia

el acuífero, lo que se conoce como intrusión salina, como ha ocurrido en algunas de sus áreas.

PARA TODO EL ESTADO

En el estado de Quintana Roo, los problemas son principalmente de calidad y no de cantidad del agua subterránea, debido a la contaminación por introducción de sustancias químicas o de microorganismos a causa de la actividad humana y por la interferencia cuantitativa en los esquemas naturales de circulación a que da lugar el bombeo de las aguas subterráneas; favorecidas por las condiciones naturales expuestas.

El acuífero de Quintana Roo es altamente vulnerable a la contaminación, debido al gran fracturamiento y abundancia de oquedades de disolución de las rocas que lo constituyen, su alta conductividad hidráulica, el escaso espesor de los suelos y de la zona no saturada, propician la casi inmediata respuesta del medio hidrogeológico al agente externo (aguas residuales, agroquímicos, efluentes industriales y materia orgánica); así mismo, el acuífero es susceptible a degradación por el movimiento de la interfase salina a consecuencia de cualquier variación en las condiciones de flujo (entradas y salidas) del agua a su interior.

PLANTAS DE TRATAMIENTO

En el estado existen alrededor de plantas de tratamiento y lagunas de oxidación (Anexo B), que descargan en total, principalmente al acuífero, 105 234 507.45 m³/año de agua residual tratada, por medio de pozos de absorción o de inyección; provenientes principalmente de las áreas urbanas como son: Cancún, Isla Mujeres, Cozumel y Chetumal; otras descargas provienen de la industria, los servicios y el sector pecuario.

7. Conclusiones y Recomendaciones Hidrológicas para el Estado

7.1 CONCLUSIONES

7.1.1 Generalidades

En el estado se presenta el fenómeno de la urbanización de la población, como en la mayor parte de la República, pues del total de los habitantes 82.46% está concentrado únicamente en 20 localidades, que por tener 2 500 habitantes o más se consideran urbanas, las cuales requieren importantes volúmenes de agua para cubrir sus necesidades (Cuadro 8) y que además son las que generan el mayor volumen de aguas residuales, las cuales son descargadas directamente al terreno o a fosas sépticas mal construidas y poco conservadas, aportando a la fuente de abastecimiento grandes cantidades de sustancias, organismos fecales y otros contaminantes. Esto ocurre porque en la mayoría de las localidades no existe sistema de alcantarillado, las excepciones que, aunque parcialmente, tienen este servicio, son las ciudades de Chetumal, Cozumel y Cancún.

Por otro lado la población rural que representa 17.54% está distribuida en 2 147 localidades, que por su amplia e irregular distribución, dificulta dotarlos de infraestructura y servicio de agua, así como del alcantarillado.

7.1.2 Base Económica

El sector que predomina por número de personas es el de servicios al que le corresponde 71.11% de la población ocupada, le sigue el sector industrial con 16.01% y por último el agropecuario que abarca 10.66% y 2.22% de la población no especifica su actividad. En cuanto a la dotación de agua que se extrae del acuífero, 66.31% se destina para usos público urbano y rural, 31.26% para uso agrícola y 2.43% para la industria.

MARCO FÍSICO

7.1.3 Vegetación

La influencia de los elementos antillanos (esencialmente neotropicales) se observa en la flora de la península de Yucatán más que en cualquier otro sitio del país, hecho fácilmente explicable en virtud de su cercanía con las islas antillanas como Cuba. Así, entre los géneros antillanos están *Acoelorrhaphe*, *Cameraria*, *Coccothrinax*, *Drejerella*, *Enthalis*, *Ernodea*, *Metopium*, *Pseudophoenix*, *Rachicallis*, *Strumpfia* y *Thrinax* de las familias *Rubiaceae* o *Palmae*.

Por otra parte, en la zona existe un número elevado de endemismos a pesar de la edad relativamente joven de la península. Con el análisis de todos estos elementos se reconocen en la zona 2 provincias florísticas: Costa del Golfo de México y Península de Yucatán. Entre los géneros típicos de la primera están *Dialium*, *Pimenta*, *Scheelea* y *Vochysia*. En cuanto a la segunda, que posee un mayor número de endemismos, tenemos a *Asemnanthe*, *Beltrania*, *Goldmanella*, *Harleya*, *Plagiolophus* y el pino (*Pinus caribea*).

7.1.4 Clima

El clima predominante en el estado es el cálido subhúmedo con lluvias en verano, de cuyos tres subtipos se presentan el de mayor humedad en la costa este y el de menor humedad en la costa norte; con humedad intermedia entre las dos anteriores y en pequeñas áreas bien localizadas. Los meses más cálidos van de mayo a septiembre con temperaturas medias entre 25 a 29°C; los más fríos son de diciembre a febrero, fluctuando su media entre los 21 y 24°C. La época de lluvias comprende mayo a octubre, en pequeñas zonas localizadas cerca de la laguna de Chichancanab y al sureste del estado en la península de Xcalak; en las cercanías del margen del río Hondo se presenta el fenómeno de «canícula». La temporada seca va de diciembre a abril.

Ocasionalmente se presentan tormentas tropicales y ciclones entre junio y noviembre, debido a que Quintana Roo se encuentra en las zonas ciclónicas del Caribe (Antillas).

La influencia diferencial que se le atribuye a la vecindad marítima, radica en el efecto modificador que conlleva el régimen de vientos, el cual se debe a su vez, a la localización de la entidad sobre la trayectoria general de los vientos alisios y de los llamados «nortes».

7.1.5 Geología

Las rocas aflorantes en el área son predominantemente calizas y yesos de una antigüedad que va del Paleoceno al Cuaternario, las más antiguas se encuentran al suroeste del estado y conforme se avanza al norte y al oeste se van haciendo más jóvenes.

Paleoceno (Pal).- Se ubica al suroeste del estado con afloramientos cerca de Nicolás Bravo con rocas del Paleoceno a Eoceno no Diferenciado y de la

formación Icaiche del Paleoceno - Eoceno Inferior, las rocas son calizas de color blanco o amarillo, dispuestas en estratos medianos y delgados, la diferencia entre los dos grupos de rocas es únicamente por la presencia de yesos en el segundo. La aparición de yesos al suroeste del estado, de donde parte el flujo subterráneo y se dirige de manera regional hacia el norte, ocasiona que en algunos lugares el agua contenga cantidades apreciables de sulfatos y que ocasionalmente le da un sabor amargo y la hace no apta para el consumo humano.

Eoceno.- Se ubica en la porción centro este del estado, descansando aparentemente sobre el miembro Xbacal, tiene un espesor promedio de 185 m y está constituido por calizas blancas, cremas o amarillas; las cuales son espáticas y recristalizadas, se presentan en estratos delgados y medianos.

Mioceno.- Aflora al sureste del estado en las cercanías de la laguna de Bacalar y en la margen izquierda del río Hondo, comprende las formaciones Bacalar del Mioceno Superior y la Estero Franco del Mioceno Superior - Plioceno, está conformado por calizas poco compactas, blancas o amarillas dispuestas en capas delgadas y que en ocasiones presenta trazas de dolomita.

Terciario Superior.- Se localiza desde la Bahía de Chetumal hasta el norte del estado, comprende rocas calizas recristalizadas de color café, de la formación Carrillo Puerto del Mioceno Superior - Plioceno, y se presentan microcristalinas de color café claro, amarillo, rojo o blanco.

Plioceno.- Aflora en las islas de Cozumel, Contoy y Mujeres; y en una estrecha franja del litoral oriente del estado desde Tulum hasta Cancún.

Cuaternario.- Se encuentra en todo el estado disperso en pequeñas áreas, muchas veces sobreyaciendo a las rocas de mayor edad, formadas por calizas coquiníferas y depósitos sin consolidar y de diferentes tipos de origen: aluvial, residual, lacustre y palustre.

La geología estructural presenta dos alineaciones perpendiculares entre sí, una que corresponde a fracturas con rumbo noroeste a suroeste y otra a fracturas y diversas fallas normales escalonadas, cuya orientación es casi paralela al litoral este, con un rumbo noreste-suroeste.

Las dos primeras formaciones predominantes, que dada la diferencia de antigüedad muestran fenómenos cársticos diferentes. La de edad eocénica en la porción meridional peninsular exhibe más colinas y tomas, poljes más amplios, colinas con suelos de mayor espesor y abundante vegetación; las grutas son muy desarro-

lladas, se observan algunas vías fluviales y lagunas (endorreísmo), indicio evidente que se trata de un estado cárstico senil freático. Algunas depresiones llegan al nivel estático, o bien el fondo sedimentario contiene humedad, no sin establecerse en la vecindad marginal escurrimientos laterales de carácter local en cuencas cerradas.

7.1.6 Agua Superficial

No hay cursos de aguas superficiales, a excepción del río Hondo y pequeñas corrientes intermitentes, las lluvias saturan el terreno, colman el bajo relieve y se infiltran en el subsuelo, dando origen a las aguas subterráneas en cavernosidades laberínticas y pluvimorfias.

Existen dos regiones hidrológicas: la RH32 Yucatán Norte, con las cuencas Quintana Roo y Yucatán y la RH33 Yucatán Este, con las cuencas Bahía de Chetumal y Otras Cuencas Cerradas. La mayoría con rango de escurrimientos menores a 10 mm, aunque se presentan áreas con rango entre 10 y 20% e incluso de 20 a 30%, pero de superficie reducida y localizadas en zonas que se mantienen inundadas temporal o permanentemente.

7.1.7 Agua Subterránea

En la mayor parte de la zona la permeabilidad del terreno es alta, en materiales consolidados, excepto la costa norte donde es baja en materiales no consolidados. Hacia el norte, donde se encuentra la ciudad de Cancún y la isla de Cozumel y al sureste en Chetumal se consideran los acuíferos en subexplotación. En el norte también es donde es más frecuente la presencia en el terreno de los típicos cenotes, los cuales son cavidades cársticas formadas por erosión hídrica interna o externa.

La península se formó por una emersión lenta de escasa elevación, con discreta tectónica tangencial, en material calizo de gran extensión; hay elevaciones y depresiones por el levantamiento diferencial con el consecuente fracturamiento de los estratos calizos, estableciéndose al principio áreas de cuerpos lacustres y entradas de aguas marinas, como la de Nichupté y las caletas en la costa este.

Los fenómenos de disolución al ejercer su acción por las líneas de fácil circulación en las fisuras, fracturas, fallas y los contactos estratigráficos, más o menos abiertos, estableció la cavernosidad. En la superficie se formaron las depresiones o antiguos valles cerrados o abiertos, que evolucionaron en dolinas y poljes. Un levantamiento discreto posterior, modificó ese primitivo relieve, pasando la segunda fase de disolución más extendida y profunda, dando origen a los sumideros, cenotes, cavernas y a las grutas, en el estado es posible encontrar incluso cavernas sumergidas bajo el nivel freático como la de Nohoch Nah Chich, en la que se han explorado aproximadamente 23 km.

En resumen el relieve calizo peninsular es una compleja resultante de: a) La acción disolvente de ácido carbónico CO_3H_2 , que al reaccionar con el carbonato de calcio CaCO_3 , da bicarbonato de calcio (CaHCO_3 muy soluble en el agua); b) de la tectónica que ha establecido una mayor facilidad para la circulación de las aguas en el subsuelo por las fisuras y c) de la precipitación y la temperatura, como factores principales.

En general, se pueden considerar en el carso los siguientes horizontes en la península:

1. Superficie caliza con diversos fenómenos de disolución, que facilitan la percolación de las aguas meteóricas.

2. Zona surcada por canalículos y cavernosidades diversas, que permiten el escurrimiento subterráneo o el almacenamiento del agua freática.

3. Zona de saturación con mayor o menor velocidad de circulación que desagua en el mar, en niveles de surgencia inferior a la baja marea o sea manantiales de tipo hipomarino.

4. Zona de aguas subterráneas a profundidad, generalmente con abundantes sales solubles.

Respecto a la geohidrología peninsular se apuntan los siguientes comentarios:

a) Si la cavernosidad es amplia, profusa y bien comunicada, las aguas circulan libremente, actuando la pendiente hidráulica por la recarga procedente de la parte meridional de la península, principalmente en la época de lluvias, donde son más abundantes. En este caso, la cavernosidad habrá llegado a su máxima profundidad, aunque los fenómenos de disolución se ampliarán lateralmente.

b) No se tiene información respecto a la profundidad de la cavernosidad subterránea, lo que se complica aún más, con el hecho de suponer en tiempos no remotos, una inestabilidad de la zona norte de la península, respecto al nivel del mar. Si el área de la península emergió a mayor altura que la presente, la cavernosidad debe tener mayor profundidad que lo que puede esperarse, a partir de la altura media actual del carso en la caliza de Yucatán con relación al nivel del mar, aunque es de admitir un azolvamiento en la profundidad cavernosa. En las depresiones y las que forman las pequeñas y grandes llanuras por la permeabilidad del subsuelo, las aguas se infiltran, provocando una erosión facilitada por el intemperismo y el acarreo, tanto en el sentido horizontal como vertical.

7.2. RECOMENDACIONES

Realizar un inventario actual y confiable de la totalidad de las obras subterráneas para la explotación del acuífero (pozos, norias, cenotes y manantiales), con

un control de los volúmenes anuales de extracción y descarga, para llevar a cabo la comparación o balance con los volúmenes de recarga.

Efectuar un inventario de las obras que descargan aguas residuales al acuífero o debajo de él, llevando un control de sus volúmenes y condiciones de las descargas, para detectar a tiempo por medio de monitoreos periódicos, las posibles anomalías en las que incurran los responsables de éstas.

Respetar el radio de influencia de cada pozo, en caso de nuevas perforaciones para explotación, determinándolo mediante pruebas de bombeo especialmente en la zona costera.

Tratar las aguas residuales que se descargan al acuífero de acuerdo con reglamentos adecuados y particulares para ello; en caso de que éstos no existan, serán fijados por los organismos o instituciones competentes.

Instalar sistemas de alcantarillado y tratamiento previo de las aguas colectadas, antes de ser vertidas en el subsuelo o al mar.

Realizar la infiltración de las descargas, a profundidades mayores de la interface salina, porque las aguas ahí son salobres e inadecuadas para consumo humano.

Hacer que se respeten sin concesión alguna, las zonas de veda, así como el reglamento para los pozos pluviales y las normas para la construcción de pozos de descarga de aguas residuales.

Efectuar las descargas acorde con lo establecido en la Ley de Aguas Nacionales y la Ley Federal de Derechos.

Seguir con el monitoreo que se realiza por las dependencias y organismos involucrados en controlar la calidad del agua, ampliando la red y enfocándose en los principales parámetros como son: demanda química de oxígeno (DQO), coniformes (totales y fecales), nitratos y los metales pesados (cromo, cadmio, plomo y fierro).

Verificar que las fosas sépticas y sistemas de tratamiento de aguas residuales tengan eficiencias aceptables por las normas, que además de económicas incluso puedan ser prefabricadas; esto cuando no se tenga otra opción.

Aplicar estrictamente sanciones a quien no cumpla con lo dispuesto en la Ley de Aguas Nacionales.

Fuentes Cartográficas y Estadísticas

- CGSNEGI.** Carta de climas Mérida. escala 1: 1 000 000, México, DF. 1980.
- CGSNEGI.** Carta de evapotranspiración real y déficit de agua Mérida. escala 1: 1 000 000, México, DF. 1983.
- CGSNEGI.** Carta de temperaturas medias anuales Mérida escala. 1: 1 000 000, México, DF. 1980.
- CGSNEGI.** Carta de precipitación total anual Mérida. escala 1: 1 000 000, México, DF. 1980.
- CGSNEGI.** Carta hidrológica de aguas superficiales Mérida. escala 1: 1 000 000, México, DF. 1981.
- CGSNEGI.** Carta geológica Mérida. escala 1: 1 000 000. México, DF. 1980.
- CGSNEGI.** Carta edafológica Mérida. escala 1: 1 000 000. México, DF. 1981.
- INEGI.** Carta hidrológica de aguas subterráneas Mérida. escala 1: 1 000 000, (actualizada, 1995. (inédita)).
- INEGI.** Carta de uso del suelo y vegetación Mérida. escala 1: 1 000 000, (actualizada, 1995. (inédita)).
- INEGI.** Carta fisiográfica Mérida. escala 1: 1 000 000. México, DF. 1981.
- INEGI.** Carta topográfica Mérida. escala 1: 1 000 000 (segunda edición). México, DF. 1983.
- INEGI.** Carta topográfica. escala 1: 250 000, hojas: f16-8 Cancún, f16-10 Mérida, f16-11 Cozumel, e16-1 Felipe Carrillo Puerto, e16-4-7 Chetumal y e16-2-5 Bahía Ascensión., México, DF. 1982.
- INEGI.** Carta geológica. escala 1: 250 000, hojas: f16-8 Cancún, f16-10 Mérida, f16-11 Cozumel, e16-1 Felipe Carrillo Puerto, e16-4-7 Chetumal y e16-2-5 Bahía Ascensión., México, DF. 1983-1984.
- INEGI.** Carta hidrológica de aguas superficiales. escala 1: 250 000, hojas: f16-8 Cancún, f16-10 Mérida, f16-11 Cozumel, e16-1 Felipe Carrillo Puerto, e16-4-7 Chetumal y e16-2-5 Bahía Ascensión., México, DF. 1984-1988.
- INEGI.** Carta hidrológica de aguas subterráneas escala 1: 250 000, hojas: f16-8 Cancún, f16-10 Mérida, f16-11 Cozumel, e16-1 Felipe Carrillo Puerto, e16-4-7 Chetumal y e16-2-5 Bahía Ascensión., México, DF. 1984-1988.
- INEGI.** Carta topográfica escala 1: 50 000. México, DF. 1985-1988.
- INEGI.** Marco geoestadístico, 1995. inédito.
- SCT.** Quintana Roo. infraestructura carretera, 1997. (inédita).
- SARH.** Código de Cuencas y Subcuencas, regiones 31, 32 y 33. escala 1: 500 00, subsecretaría de Planeación, Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. escala 1: 500 000. México, DF. 1976.

Bibliografía

- CNA.** *Resumen técnico de las condiciones geohidrológicas del estado de Quintana Roo.* Mérida, Yucatán, septiembre de 1995. (inédito).
- CNA.** *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento,* México, DF. 1996.
- INEGI.** *Metodología de elaboración de estudios hidrológicos estatales,* 1990. (inédita).
- INEGI.** *Anuario estadístico del estado de Quintana Roo,* Aguascalientes, Ags. 1994.
- INEGI.** *Resultados definitivos y tabulados básicos del conteo 95,* Aguascalientes, Ags. 1996.
- INEGI.** *Metodología de elaboración de la cartografía hidrológica de aguas superficiales. escala 1: 250 000,* México, DF. (inédita).
- INEGI.** *Catálogo de cultivos bajo riego en México. Folleto de orientación técnica III* México, DF. 1976.
- INEGI.** *Tabulados Básicos del XII Censo General de Población y Vivienda 2000,* Aguascalientes, Ags. 2001.
- SARH.** *Sinopsis geohidrológica del estado de Quintana Roo,* México, DF. Diciembre, 1990.
- Duch-Gary, Jorge.** *La conformación territorial del estado de Yucatán: Mérida, Universidad Autónoma de Chapingo, centro regional de la península de Yucatán,* 1988.
- Hernández-X, E.** *La agricultura en la península de Yucatán. Revista de geografía agrícola. Xolocotzia.* México, DF. tomo I, 1985.
- López Ramos E.** *Geología de México, 2a. edición volumen 3,* México, DF. 1983.
- Rzedowski, J.** *Vegetación de México. Editorial Limusa.* México, DF. 1978.
- Zizumbo, D., Rasmussen, Ch., Arias, I.M., Terán.** *La modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad.* cicydanida, Mérida, Yuc., Méx. 1992.

Anexos

A. ESPECIES MÁS COMUNES DE LA BIOCENOSIS DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

Continúa

Concepto	Nombre Científico	Nombre Local	Utilidad
AGRICULTURA			
	<i>Zea mays</i>	Maíz	Comestible
	<i>Sacharum officinarum</i>	Caña de azúcar	Industrial
	<i>Citrus sinensis</i>	Naranja	Industrial
	<i>Cucurbita pepo</i>	Calabaza	Comestible
	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Frijol	Comestible
	<i>Oryza sativa</i>	Arroz	Comestible
PASTIZAL			
cultivado	<i>Pennisetum purpureum</i>	Taiwan	Forraje
	<i>Panicum maximum</i>	Zacate guinea	Forraje
	<i>Cynodon plectostachyus</i>	Estrella africana	Forraje
inducido	<i>Bouteloa simplex</i>		Forraje
	<i>Paspalum notatum</i>		Forraje
componentes arbóreos	<i>Acacia farnesiana</i>	k'ank'ilixche	
	<i>Piscidia communis</i>	Ja'abin	Construcción
	<i>Bursera simaruba</i>	Chaka'	Leña
SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA			
estrato arbóreo	<i>Vitex gaumeri</i>	Ya'axnik	Ornamental
	<i>Brosimum alicastrum</i>	Ramón u ox	Forraje
	<i>Manilkara zapota</i>	Chico zapote	Comestible
	<i>Bursera simaruba</i>	Chaká	Leña
	<i>Gymnopodium antigonoides</i>	Ts'its'ilche'	Melífera
	<i>Lysiloma bahamensis</i>	Tsalam	Leña
	<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba	Leña
estrato arbustivo	<i>Coccoloba spicata</i>	Bop	Leña
	<i>Ardisia escallonioides</i>	Tanche'	
	<i>Erythroxylum rotundifolium</i>		
estrato herbáceo	<i>Pteridium aquilinum</i>	Helecho	Ornamental
SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA			
estrato arbóreo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Pixoy	Sombra
	<i>Cecropia obtusifolia</i>	Guarumbo	Medicinal
	<i>Lysiloma bahamensis</i>	Tsalam	Leña
	<i>Bursera simaruba</i>	Chaka'	Leña
	<i>Pithecellobium albicans</i>	Chukum	Leña
estrato arbustivo	<i>Acacia cornigera</i>	Subin	
	<i>Mimosa bahamensis</i>	Sak'katsim	Leña
	<i>Hampea trilobata</i>	X-majagua	Artesanal
estrato herbáceo	<i>Euphorbia</i> sp.	Boxchakah	Leña
SELVA BAJA SUBPERENNIFOLIA			
estrato arbóreo	<i>Gymnopodium antigonoides</i>	Ts'its'ilché	Melífera
	<i>Bucida buceras</i>	Pukte'	Construcción
	<i>Metopium brownei</i>	Chechem negro	Leña
	<i>Caesalpinia gaumeri</i>	Kitamche	Madera
	<i>Hyperbaena winzerlingii</i>	Chaiquistan	
	<i>Pinus caribea</i>	Pino	
estrato arbustivo	<i>Croton reflexifolius</i>	Perescutz	
	<i>Jacquinia aurantiaca</i>	Chaksik	
	<i>Chamaedora graminifolia</i>	Xiat	
	<i>Acoelorrhaphe wrightii</i>	Tasiste	
estrato herbáceo	<i>Pteridium aquilinum</i>	Helecho	Ornamental

A. ESPECIES MÁS COMUNES DE LA BIOCENOSIS DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

Conclusión

Concepto	Nombre Científico	Nombre Local	Utilidad
SELVA BAJA SUBCADUCIFOLIA			
estrato arbóreo	<i>Lysiloma bahamensis</i>	Tzalam	Leña
	<i>Jatropha gaumeri</i>	Pomol ché	
	<i>Bursera simaruba</i>	Chaká	Leña
estrato arbustivo	<i>Mettopium brownei</i>	Chechem negro	
	<i>Jatropha gaumeri</i>	Pomol ché	Madera
	<i>Byrsonimia crassifolia</i>	Nancen	Comestible
	<i>Acacia cornigera</i>	Subin	
estrato herbáceo	<i>Bahuinia divaricata</i>	Pata de vaca	
	<i>Platymicium yucatanum</i>	Subin'che	
	<i>Cnidocolus chayamansa</i>	Chaya	Comestible
SELVA BAJA CADUCIFOLIA			
estrato arbóreo	<i>Lysiloma bahamensis</i>	Tzalam	Leña
	<i>Piscidia communis</i>	Ja'abin	Construcción
	<i>Bursera simaruba</i>	Chaka'	Leña
	<i>Pithecellobium duce</i>	Chi'may	
	<i>Metopium brownei</i>	Chechen negro	Leña
estrato arbustivo	<i>Mimosa bahamensis</i>	Sak'katsim	Leña
	<i>Gymnopodium antigonoides</i>	Ts'its'ilche'	Melífera
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Pich	
estrato herbáceo	<i>Bromelia karatas</i>	Ch'om o piñuela	Comestible
MANGLAR			
estrato arbóreo	<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle colorado	Construcción
	<i>Conocarpus erectus</i>	Botoncillo-Kanché	Construcción
	<i>Laguncularia racemosa</i>	Tsakolkom	Construcción
	<i>Avicennia germinans</i>	Mangle negro-Xtauché	Leña
	<i>Coccoloba uvifera</i>	Uvero	Comestible
estrato arbustivo	<i>Cyperus sp.</i>	Chabxa'an	
	<i>Typha latifolia</i>	Tule	
	<i>Mimosa pigra</i>	Boxcatsim	Cerca
estrato herbáceo	<i>Eragrostis cilianensis</i>	Zacate borreguero	
VEGETACIÓN ACUÁTICA			
	<i>Typha domingensis</i>	Tule	
	<i>Typha latifolia</i>	Tule	
VEGETACIÓN DE DUNAS COSTERAS			
estrato arbóreo	<i>Pseudophoenix sargentii</i>	Palma kuka'	
estrato arbustivo	<i>Agave angustifolia</i>	Babki	
	<i>Coccoloba uvifera</i>	Uvero	Comestible
	<i>Thrinax radiata</i>	Palmas chit	
estrato herbáceo	<i>Sabal yapa</i>	Huano	Construcción
	<i>Acanthocereus pentagonus</i>	Pitaya	Comestible
	<i>Flaveria linearis</i>	K'anlolxiw	
	<i>Opuntia dillenii</i>	Pak'am	
	<i>Croton punctatus</i>	Sakchuhum	
	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Verdolaga de playa	

NOTA: Sólo se mencionan algunas especies útiles.

FUENTE: INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, 1:250 000.

CGSNEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, 1:1 000 000.

B. VOLÚMENES DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO Y ALCANTARILLADO

Municipio	Por Uso en m ³ /Año								Por Municipio	
	Indus- trial	Recep- tor	Público Urbano	Recep- tor	Ser- vicios	Recep- tor	Pecua- rio	Recep- tor	m ³ /Año	%
Cozumel	177,366.00	1	12,614,400.00	1	1,185,950.70	1			13,977,716.70	13.2824
Felipe Carrillo P.	1,092.00	1	365,000.00	1	1,507.45	1	3,766.80	1	371,366.25	0.3529
Isla Mujeres			4,181,075.00	3	9,922,678.30	1			14,103,753.30	13.4022
Othón P. Blanco	140,283.00	1	4,078,875.00	1	2,137,790.40	1			6,356,948.40	6.0407
Benito Juárez	731,814.00	1	41,590,207.95	1	17,235,997.15	1	357,524.80	3	59,915,543.90	56.9353
José M. Morelos	165.00	1							165.00	0.0002
Lázaro Cárdenas					459.90	1			459.90	0.0004
Solidaridad	182,391.00	1	4,798,395.85	1	5,527,768.05	1			10,508,554.90	9.9858
Total por Uso	1,233,111.00	1	67,627,953.80	1	36,012,151.95	1	361,291.60	1	105,234,508.35	100.0000

FUENTE: CNA. Inventario de Descarga de Aguas Residuales en Quintana Roo, 1998.

RECEPTOR PRINCIPAL: 1 Acuífero, 2 Mar Caribe, 3 Laguna de Oxidación.