



BOLETIN GEOHIDROLOGICO

SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA
DIRECCION GENERAL DE IRRIGACION Y CONTROL DE RIOS

DIRECCION DE GEOHIDROLOGIA Y DE ZONAS ARIDAS
DEPARTAMENTO DE INFORMACION Y CONTROL DE DATOS

BOLETIN No. 16

PUBLICACION PERIODICA DESTINADA A DIVULGAR LOS TRABAJOS Y ESTUDIOS
RELACIONADOS CON LA EXPLORACION, CUANTIFICACION Y APROVECHAMIENTO
DE LOS RECURSOS DEL AGUA SUBTERRANEA.

EL MANEJO DEL AGUA EN LA PENINSULA DE YUCATAN
ASPECTOS QUIMICOS Y DESARROLLO HISTORICO.

Por: DR. WILLIAM BACK (1)
ING. JUAN MANUEL LESSER I. (2)

RESUMEN.

El manejo del agua subterránea en Yucatán presenta dos aspectos críticos:

1) El abastecimiento de agua, tanto para la creciente población como para el turismo, el cual está basado en zonas arqueológicas y bellos paisajes costeros.

2) El control de la contaminación del agua subterránea que presenta un sistema muy sensitivo debido a las condiciones geológicas existentes.

La Península de Yucatán es una planicie constituida por caliza permeable, sobre la que se tiene una precipitación media anual mayor a mil milímetros. Esto, aunado con otras características de la zona hacen que exista una gran cantidad de agua subterránea. No obstante, el clima y la hidrología se han combinado para formar un sistema hidrológico con límites químicos que hacen que disminuya la cantidad de agua aprovechable.

El manejo del agua ha tenido influencia en el desarrollo cultural y económico de la Península. La cultura Maya del Noroeste de Yucatán, se desarrolló en relación con el uso del agua subterránea. La religión estuvo orientada hacia ella.

Los sacerdotes mayas oraban a Chac, dios del agua para que los asistiera y disminuyera la intensidad de las sequías. Los colonizadores españoles, llegaron a esa región en el año de 1507, e incrementaron el abastecimiento, excavando pozos, algunos de los cuales continúan siendo utilizados después de 300 años. Actualmente muchos pozos están contaminados por el depósito de desechos a través de fosas sépticas, construidas cerca de cada pozo donde se capta agua potable.

La fase moderna del manejo del agua, se inició en 1959, cuando diversos organismos, entre ellos la S.A.R.H., fueron encargados de efectuar, tanto investigaciones científicas como programas de desarrollo para el abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas negras.

- (1) U.S. Geological Survey, U.S.A.
(2) Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas, S.A.R.H., México.

INTRODUCCION.

El manejo del agua, ha tenido una gran influencia en el desarrollo económico y cultural de la Península de Yucatán. Existen dos aspectos críticos sobre su manejo, que son:

1. - El desarrollo regional de abastecimiento de agua, como resultado de la creciente demanda debido al incremento de población, así como a los amplios programas para promover el turismo, basados tanto en las ruinas arqueológicas como en las bellezas de sus costas, en especial las del Mar Caribe.

2. - El control de la contaminación del agua subterránea, el cual presenta un sistema fácilmente vulnerable, debido a las condiciones climatológicas, geológicas e hidrológicas existentes.

La Península de Yucatán se encuentra situada entre los paralelos 18° y 22° de Latitud Norte y los Meridianos 91° y 87° al Oeste de Greenwich, constituye el extremo Sureste de la República Mexicana y en ella se encuentran los Estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán. Mérida es la Capital del Estado de Yucatán y la principal Ciudad de la Península.

Se ha empezado a conocer el funcionamiento hidrológico de Yucatán, a través de proyectos institucionales, realizados en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos bajo los auspicios del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por parte de México y por diversas Universidades y Departamentos de Gobierno de los Estados Unidos, a través de la Fundación Nacional de Ciencias (NSF), bajo un acuerdo de colaboración científica México-Norteamericano, fechado en junio de 1972. Los colaboradores del proyecto son investigadores de la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, de la Universidad de Kansas, de la Universidad de Florida del Sur, de la Universidad de Alabama del Sur y del U.S. Geological Survey.

Para identificar las alternativas de solución del problema de abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas negras, deben aclararse y conocerse las características geológicas, químicas e hidrológicas del subsuelo.

Para este propósito se desarrollaron estudios, de tipo preliminar como detallados, para evaluar la interrelación entre hidrogeoquímica, hidrología y geología, esto, incluye una cuantificación preliminar del acuífero subterráneo (J.M. Lesser, 1976), el levantamiento de las características tectónicas y estratigráficas (Weidie, 1976), estudios de sedimentología (Brady, 1976; Ward y Brady 1976), elaboración de planos de la configuración del nivel estático con respecto al del nivel del mar y las direcciones de flujo del agua subterránea (J.M. Lesser, 1976) el mapeo de la distribución vertical y horizontal de

parámetros químicos (J.M. Lesser, 1976), y estudios de procesos como el origen de minerales (Ward, 1976; Choquette, 1976), intemperismo y formación de suelos (Isphording, 1976), formación del Carst (Stringfield y LeGrand, 1976; Back y otros, 1976). Otros artículos relacionados con estos temas, están siendo preparados y serán publicados como parte del proyecto conocido como CONACYT-NSF 704. El propósito de este trabajo es:

1) Hacer un resumen sobre los controles hidrogeológicos que afectan a los acuíferos con énfasis en las características químicas que influyen en el manejo del agua en la Península de Yucatán.

2) Proporcionar una breve descripción histórica relacionada con el uso y manejo de los recursos hidráulicos en la Península, desde los tiempos Mayas precolombinos, incluyendo el período de colonización española, hasta nuestros días.

CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS QUE INFLUYEN EN EL MANEJO DEL AGUA.

La parte Norte de la Península de Yucatán tiene cerca de 150 Kms. de ancho. Es una planicie cárstica, horizontal, que se eleva pocos metros sobre el nivel del mar. Está constituida por formaciones calcáreas del Terciario, principalmente calizas, margas y en menor proporción yesos.

Su elevación varía desde el nivel del mar, cerca de las costas, a alturas máximas de 30 Mts. S.N.M., en la parte central. Sobre la superficie del terciario, afloran calizas prácticamente sin cubierta, las cuales generalmente se encuentran carcomidas por depresiones originadas por solución (Stringfield y LeGrand, 1976). Esta planicie Yucateca, está limitada en su parte Sur, por una Sierra alargada (Sierra de Ticul) que se eleva alrededor de 150 Mts. S.N.M. El alto grado de carstificación ha causado problemas ecológicos y ambientales, similares a otros que se han encontrado en otras partes del mundo (LeGrand, 1973). El desarrollo de la carsticidad, se originó debido a la gran solubilidad que presentan las rocas calizas, aunada a la presencia de agua cargada con dióxido de carbono. El clima es un factor importante en la solubilidad de la caliza (Trauner y Heath, 1976; Drake y Wigley, 1975; Harmon y otros 1975).

Por ejemplo, una caliza en regiones frías o áridas, forma elevaciones topográficas debido a que la vegetación que es la principal fuente de dióxido de carbono está ausente y el agua prácticamente no se presenta en zonas áridas limitando la solución de las calizas. En regiones húmedas con temperaturas tropicales, la caliza es más fácilmente disuelta.

La estructura, la topografía y la presencia o ausencia de otras formaciones geológicas, juegan un papel importante en el desarrollo de las condiciones hidrogeológicas en áreas cársticas, debido tanto a lo antes expuesto como a los factores climáticos que controlan la permeabilidad y la formación del suelo. Por ejemplo, una caliza como la existente en Yucatán, al disolverse no deja residuos arcillosos que puedan formar suelos. El desarrollo de la permeabilidad es alto, con la siguiente porosidad en forma de canales abiertos y la ausencia de otro tipo de materiales que rellenen o taponen estos conductos.

Si en la Península, la caliza arriba del nivel estático tuviera una permeabilidad baja, como resultado de la existencia de sedimentos en los canales de disolución, entonces la carga hidráulica sería grande y la interfase agua dulce-agua salada, estaría apreciablemente lejos bajo nivel del mar. La presencia o ausencia de sedimentos granulares, es un factor importante en el desarrollo del drenaje superficial y causa de que en Yucatán, no se hayan formado corrientes superficiales.

En la Península de Yucatán, estos factores se han combinado, junto con las condiciones geológicas y fisiográficas regionales para dificultar el manejo del agua. Aunque la precipitación pluvial es alta (mayor de 1,500 mm anuales) esta requiere de un almacenamiento para ser usada durante el estiaje, ya que se presenta acumulada en pocos meses.

No solamente la alta permeabilidad origina una disminución en la cantidad de agua dulce aprovechable, sino que también, hace que el acuífero sea susceptible a la contaminación por desechos domésticos y municipales, así como por la descomposición natural de la abundante vegetación, la cual es acelerada por el medio ambiente húmedo y caluroso. Si la caliza estuviera cubierta por sedimentos menos permeables, como es el caso de Florida. (Back y Hanshaw, 1970), los sedimentos podrían servir como un filtro. Este, tendería a purificar el agua al disminuir la velocidad del flujo e incrementar el tiempo de estancia del agua en el subsuelo.

En resumen, el clima caluroso viene a facilitar el crecimiento de bacterias nocivas en el agua contaminada. La contaminación por desechos, han ocasionado enfermedades de origen hídrico (Doehring y Butler, 1974).

La intrusión del agua de mar que bordea la Península es otro serio problema que afecta a esta zona. La gran conductividad hidráulica, junto con el escaso gradiente del acuífero, permite que el agua de mar se encuentre bajo el agua dulce de la Península, principalmente en la parte Este de ella.

Estimaciones hechas a partir del principio de Ghyben Herzberg indican que el lente de agua dulce que constituye el acuífero de la Península tiene un espesor máximo aproximado de 160 m. (J.M. Lesser, 1976) en la parte central disminuyendo hacia las costas.

Los cuerpos naturales de agua que permiten su explotación en Yucatán, son aquellos situados en las aberturas y oquedades formadas por la solución de la caliza y por la actividad tectónica. La mayoría de estos afloramientos de agua son sumideros los cuales son mejor conocidos en esta región como cenotes. Existen también aprovechamientos de agua en cavernas así como en depresiones someras cubiertas por arcilla, las cuales se denominaban aguadas. A lo largo de la Costa Oriental, existen afloramientos de agua cuyo origen es tectónico. Esto es debido a la presencia de una depresión topográfica originada por fallas que se extienden desde la Laguna de Yahuilá al Norte, hasta el Río Hondo al Sur en dirección NE-SW, en la misma dirección en que se presentan alineadas las bahías de Chetumal y la Ascención, así como la Laguna de Bacalar y el Río Hondo. A lo largo de esta depresión, el nivel freático se encuentra muy somero, y en ocasiones aflora dando origen a una serie de pequeñas lagunas nominadas "Sabanitas".

Por otra parte, las características químicas del agua subterránea en Yucatán son controladas por tres procesos:

1. - La mezcla del agua de lluvia con el agua salada del subsuelo.
2. - La disolución de calizas y yeso
3. - La contaminación por materia orgánica y drenaje (Back y Hanshaw, 1976).

En resumen, el conjunto de las características de Yucatán, debería de originar la existencia de una gran cantidad de agua pero los factores climatológicos e hidrogeológicos se han combinado formando un sistema hidrológico en el cual, en muchos casos el agua dulce es difícil de obtener y donde sus características químicas restringen su aprovechamiento. Estos factores incluyen: 1o. - La existencia de una superficie cárstica que permite una rápida infiltración del agua de lluvia y evita la formación de corrientes superficiales; la rápida descarga del agua del acuífero al mar, que evita que se establezca un gradiente suficiente para dar margen a un almacenamiento adecuado y que por otra parte, permitan a el agua de mar estar suficientemente alejada del acuífero; 2o. - la acumulación de lluvia en un corto período y 3o. - la contaminación por fuentes orgánicas e inorgánicas.

DESARROLLO HISTÓRICO DEL USO Y MANEJO
DEL AGUA EN LA PENINSULA DE YUCATÁN

La parte Norte de la Península, presenta un medio ambiente que modificó las costumbres de los primeros habitantes de esta zona, costumbres que continúan hasta nuestros días. La ausencia de suelo fértil, la falta de agua potable y la carencia de otros recursos naturales hacen de esta tierra una sofisticada civilización (Thompson 1966, pag. 26). En los pequeños poblados donde se cultivaba frijol, calabaza y en ocasiones maíz el suelo era transportado desde áreas donde se acumulaba algunas veces y llevado a zonas donde era más conveniente llevar a cabo los cultivos.



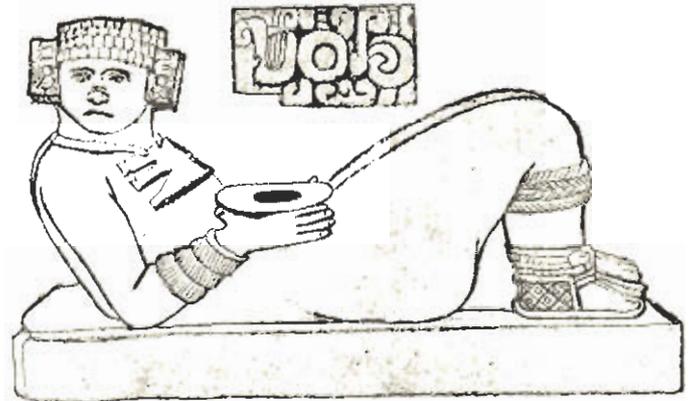
La necesidad de agua fue constante y su mala-distribución tanto por temporada de lluvias como en áreas de precipitación, ocasionó que los sacerdotes Mayas y la gente común dedicara gran tiempo y esfuerzo en proveerse de este líquido. El constante esfuerzo para obtener agua es sugerido por el nombre de un gran número de lugares los cuales, terminan con las palabras chen (pozo), ha (agua), d'znot (cenote). Por ejemplo Kanachen significa necesidad de pozo, Tamchen significa pozo muy profundo, Nacheha significa lugar en donde el agua está distante y Yocdzonot significa en el fondo del cenote, etc.

Stephans (1843), dió muchos ejemplos sobre las dificultades que la gente encontraba para obtener agua". la misma ausencia de agua aún continúa. - " El Rancho se encuentra abandonado; no tiene pozo de ninguna clase, ya sea antiguo ó moderno y los habitantes procuran su propio abastecimiento de la Villa de Sabachshe que se encuentra a dos millas de distancia, este abastecimiento también se hacía diariamente por un grupo de gentes que acarreaban cargando recipientes sobre sus espaldas, pero otra vez la tierra está árida y sólo existen evidencias de la antigua población, otra desolada ciudad en ruinas" (pag. 19, Vol. II).

Yucatán sería una planicie sin agua superficial, - si no fuera por algunos lagos ó sabanitas que existen a lo largo de la costa, así como por los cenotes y cuevas que contienen agua subterránea y por las escasas aguadas en donde se acumula la agua de lluvia en algunas épocas del año. Los Mayas pertenecieron a una de las pocas civilizaciones que utilizaron extensivamente el agua subterránea. Por ejemplo, el sitio arqueológico de Dzibichaltun, ubicado 15 Kms. al Norte de Mérida, tiene un cenote cuyo nivel de agua se encuentra pocos centímetros arriba del nivel del mar, donde una pequeña capa de agua dulce, flota sobre agua salada (Back y Hanshaw, 1974 pag. 47). Esta, - fué la fuente de agua potable para un centro de población de varios miles de habitantes. La elevación de Dzibichaltun es de solamente 2 ó 3 metros arriba del nivel del mar. En contraste, el cenote sagrado de Chichen-Itzá tiene una forma elíptica y - diámetros de entre 50 y 70 metros.

El nivel del agua se encuentra alrededor de 20 - Mts. bajo la superficie. Esta gran profundidad y las paredes verticales hicieron que el agua de este cenote fuera prácticamente inobtenible, los habitantes de Chichen-Itzá utilizaron para su abastecimiento otro cenote cercano el cual, tiene pendientes suaves sobre las cuales se construyeron escalones para su acceso. Estos pozos naturales suplementados con las aguadas, fueron la única fuente de agua, en la mayor parte del Norte de Yucatán, en donde vivió una población considerable (Thompson 1966). Esto no ocurrió en el Noroeste de Yucatán, que por largos períodos ha estado prácticamente inhabitado.

Al igual que como en otras antiguas civilizaciones, entre los Mayas el manejo del agua estuvo íntimamente ligado con la religión. Su principal Dios, Chac, era el Dios del agua a quien los sacerdotes Mayas oraban y ofrecían rituales y sacrificios para que los asistiera, principalmente a sobrepasar las severas sequías. El Dios Chac, es representado en los Códigos Mayas, en esculturas sobre edificios y pinturas, con-



Kimich-ke kimé

una larga nariz. Sus ojos en forma de T llenos de lágrimas, - representan a la lluvia. En el Códice Dresden, el Dios Chac se encuentra sentado sobre una cola de vibora resguardando un depósito de agua en el cual se sumerge para salpicar la tierra en forma de lluvia (Thompson, 1966). Los Mayas, fueron los primeros hombres en América que realizaron trabajos para controlar el agua (Irigoyen, 1970 pag. 18).

Construyeron pequeños acueductos y canales que fueron utilizados para conducir el agua hacia las zonas pobladas. Construyeron también aguadas de diferentes dimensiones, a las que denominaban Chultuns y servían para almacenar agua. Consistían en depresiones naturales poco profundas, generalmente circulares de fondo plano, algunas de las cuales, fueron cubiertas con piedras y arcilla impermeable (estuco) para impedir que el agua se infiltrara al subsuelo. Stephen en 1843 observó aguadas cuyos fondos fueron cubiertos por capas de piedras planas y las juntas rellenas con arcilla rojiza y de color café (pag. 140 Vol. II). En ocasiones eran construídos pozos en las partes bajas de las aguadas, con el objeto de obtener agua durante las temporadas de estiaje cuando las aguadas se encontraban secas (Vol. II pag. 150 Fig. 9).



La mayoría de los Chultuns, se encuentran bajo los centros ceremoniales de poblados pequeños, principalmente hacia la parte Sur de Yucatán. La capacidad de muchos Chultuns es de 30 mil litros. De acuerdo a cálculos basados en lluvias mensuales y tomando en cuenta el consumo de agua por individuo, un Chultun podría abastecer alrededor de 25 personas por un año. Las poblaciones grandes requerían de abastecer entre 2 mil y 6 mil gentes (Morley y Brainerd, pag. 264, 265).

Los primeros habitantes que llegaron a Yucatán, migraron del Sur y cruzaron la región de la Sierrita de Ticul, para llegar a la planicie costera del Norte.

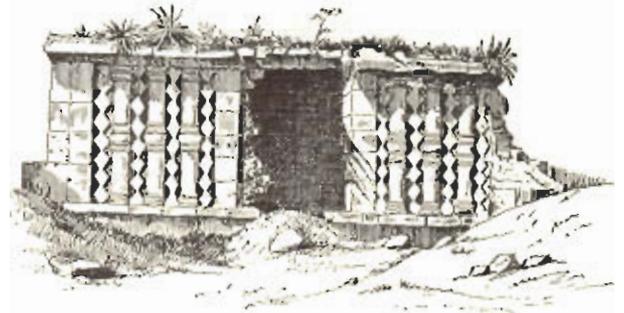
En esta región las cuevas y cavernas fueron la fuente de agua y los mayas examinaron cada una de ellas. Muchos de los primeros arqueólogos que trabajaron esta zona se hacían la pregunta que de dónde se abastecían los Mayas antes de que fueran construídos pozos.

Los primeros inmigrantes que llegaron a esta región en la época de sequía, no encontraron un abastecimiento satisfactorio sobre la superficie. Ellos debieron-

haber descubierto las cavernas y éstas fueron su fuente de agua. (Mercer 1896, pag. 430-44).

Los Mayas desarrollaron abastecimientos a partir de las muchas cuevas y cavernas, construyeron accesos en los lados de ellas desde la parte alta, por donde el agua era acarreada en jarras de barro. En muchas ocasiones Stephen (1843), habló de descender a las cavernas para observar el abastecimiento de agua de los indígenas. En el fondo de las laderas existía una plataforma que funcionaba como sitio de descanso para facilitar el paso tanto de los que ascendían como de los que bajaban.

Como en muchas religiones primitivas, el arte y las ceremonias se llevan a cabo en honor de los dioses. Los Mayas honraban a Chac por medio de la pintura y la escultura, ofreciéndole joyas, objetos de arte y sacrificios humanos en los cenotes sagrados.



Los Mayas tenían una reverencia especial para el maíz, el cual era parte de su religión. Practicaban la agricultura de "sembrar y quemar", en la cual un campo era limpiado de árboles y plantado por algunos años, hasta que el suelo perdía su fertilidad por la quema periódica. Ritos religiosos especiales que precedían a la limpia del terreno, que se hacía cuando se encontraba seco. Típico del contexto religioso del año de la agricultura, son las ceremonias al Dios Chac, las cuales aún se llevan a cabo en algunos poblados. Los pobladores asistían a esta ceremonia, donde la primera tarea era obtener el agua necesaria para la preparación de las ofrendas. Esta, necesitaba ser agua virgen extraída de cuevas ó cenotes sagrados, donde las mujeres nunca entraban durante ese tiempo.



Después de dos primeros días, de ceremonias preliminares y al final del tercer día, se ofrecían trece jcaras grandes y dos pequeñas de balché (miel fermentada) a los dioses y a los guardianes de los campos de maíz. Algunos niños representaban ranas y hacían ruidos imitándolas, anunciando la proximidad de una tormenta. Se seleccionaba a un anciano para personificar a Chac el cual, era reverenciado en un sitio localizado a pocos metros al Este del altar. Este, sostenía una calabaza y un cuchillo de madera. De la calabaza se simulaba salpicar agua que era lluvia. El cuchillo de madera representa el implemento con el cual se producían rayos. De tiempo en tiempo el personaje emitía sonidos de truenos y empujaba el cuchillo de madera.

El agua para las ceremonias religiosas era obtenida de las cavernas, ya que creían que el agua que chorreaba dentro de las cuevas era agua virgen, no contaminada, que nunca había sido tocada por el hombre. Para ello, eran puestos jarrones con agua en las cuevas con el objeto de almacenar los escurrimientos. Mientras más inaccesibles eran estos lugares, eran más sagrados. Se han encontrado jarrones en profundas cuevas, cubiertos con costras calcáreas, los cuales fueron abandonados hace cientos de años.

Las cuevas fueron utilizadas extensivamente por los mayas para efectuar rituales religiosos particularmente en honor del dios de la lluvia.

En los rincones de las cavernas más ocultos, húmedos e inaccesibles, frecuentemente se encuentran gran número de jarrones completos o fragmentos de cerámica de ellas, en ocasiones cubiertas por capas calcáreas y estalactitas (Thompson pag. 268).

Los tres grandes logros de la civilización maya fueron, el diseño y la construcción de centros ceremoniales, el desarrollo de un preciso calendario perpetuo independientemente del de los indios y, el uso del concepto del cero; en ellos, el agua es un tema dominante. Por ejemplo, los símbolos que representan el agua como son tortugas, conchas de mar y jarrones, son un ornato arquitectónico común. El Maya entendió el concepto del año del agua. Su calendario basado en conocimientos astronómicos, les permitió determi-

nar el principio y el final de la temporada de lluvias lo cual, permitía llevar a cabo las siembras y cosechas de maíz en el mejor tiempo posible (Back y Hanshaw, 1974 pag. 46).

Al igual que los mayas, los conquistadores españoles encararon serios problemas de abastecimiento de agua a su llegada a la Península, en 1517. El largo período (20 años) requerido por los españoles para conquistar Yucatán se debió entre otras cosas, a las tremendas dificultades que tuvieron para obtener adecuados abastecimientos (Irigoyen - 1970, pag. 57). Los españoles venían de una tierra de ríos y de lagos y no conocían la forma de satisfacer sus necesidades de agua en esta tierra, donde la única fuente era la del subsuelo. Durante la conquista, muchos de los combates fueron del tipo de guerrillas. Los mayas quemaban sus casas y tapaban los pozos con piedras; acarreaban jarrones de agua y se iban a la selva donde ellos obtenían agua de las cavernas.

Los españoles se fatigaban rápidamente al viajar a través de este difícil terreno y sufrían durante 3 ó 4 días que les llevaba en reparar los pozos, algunos de los cuales se encuentran aún en operación.

La construcción de pozos de agua excavados a pico y pala, ha continuado a través de muchos años hasta los tiempos modernos.

Algunos de los pozos fueron equipados con grandes ruedas de madera a las cuales se les amarraban cubetas para obtener el agua. En ocasiones se utilizaban burros ó mulas para hacer girar la rueda (Irigoyen, 1970 pag. 66). Mercer (1893, pag. 65), habla de haber observado uno de estos pozos en Muna, el cual era similar a los antiguos pozos de Persia. El agua extraída por la rueda, caía dentro de un tanque al que acudían las mujeres a llenar sus jarros. El acceso a esos pozos por los españoles, revolucionó los sistemas de riego, permitiendo el desarrollo de la industria agrícola y ganadera. La construcción de norias se extendió por toda la parte Norte de Yucatán y permitió la formación de numerosas haciendas cuyos dueños eran personas acaudaladas y en donde los peones que trabajaban en ellas, eran descendientes de los Mayas. Esta forma de trabajo, basada en el cultivo del henequén y cría de ganado, mantuvo oprimidos a los indios, hasta la revuelta de los años 1847 a 1855 (Redd, 1964).



FASE MODERNA DEL USO Y DEL MANEJO DE AGUA EN LA PENINSULA DE YUCATAN.



La fase moderna del manejo del agua en la Península de Yucatán, se inició en el año de 1959, cuando la Secretaría de Recursos Hidráulicos fué la encargada de llevar a cabo tanto las investigaciones científicas requeridas como el desarrollo de los programas de construcción.

Para obtener información hidrológica que permita determinar los problemas que se pueden presentar en el uso y manejo del agua, los estudios se han encaminado a delimitar y configurar el lente de agua dulce que descansa sobre la salada, por medio de la medición de perfiles de conductividad eléctrica en pozos y cenotes; obtención de datos climatológicos de temperatura, precipitación y evaporación en 43 estaciones; elaborar planos con la profundidad al nivel del agua así como con la elevación del nivel estático sobre el nivel del mar a partir de los primeros bancos de nivel de precisión instalados en la Península; formar planos que muestren las características químicas del agua subterránea y su interpretación; estimar el consumo actual de agua subterránea. Con los datos obtenidos, se calculó la precipitación media anual, la cual resultó ser de 1,050 mm y la evotransporación de aproximadamente 900 mm. Asumiendo que la diferencia entre la lluvia y la evaporación que son 150 mm, da una base para estimar la recarga, dicho valor multiplicado por los 62,240 Kms² de la mitad Norte de la Península, dan una recarga aproximada de agua al acuífero de 9,000 millones de metros cúbicos por año.

El primer pozo público para abastecimiento de agua potable en Yucatán, fué perforado en la Villa de Tekax y puesto en servicio el 22 de noviembre de 1825. El agua de las norias públicas, era sacada por medio de cuerdas que sujetaban a cubetas tiradas por la persona que la necesitaba y en ocasiones con la ayuda de algún animal de tiro.

En los últimos años del siglo pasado, el incremento de la población, como resultado de la gran demanda mundial de henequén, propició la construcción de miles de pozos. Las primeras bombas mecánicas operadas con máquinas de vapor, fueron introducidas en el año de 1865. En 1880 fué instalado el primer papalote o veleta en el patio de una casa de la Ciudad de Mérida. Este hecho constituyó un aspecto histórico importante en el uso del agua en Yucatán ya que el papalote vino a ser extremadamente popular para obtener agua.

En el año de 1950, Mérida, con más de 20 mil veletas dentro de los límites de la Ciudad ya era conocida como la Ciudad de los papalotes. Estos, han sido abandonados en su mayor parte, debido a la contaminación producida por los dispositivos de desecho como son las fosas sépticas, generalmente adyacentes a cada papalote.

En el año de 1903, la Ciudad de Mérida empezó a llevar a cabo la instalación de un abastecimiento público de agua potable bajo el contrato de una firma norteamericana. Los trabajos se iniciaron en el año de 1906 e inmediatamente tropezaron con obstáculos, ya que se requería de un sitio para el tanque de almacenamiento en una parte topográficamente alta, de tal manera que la presión de distribución de agua pudiera ser mantenida. La única parte alta de este tipo era el terraplén de una antigua construcción maya, que no podía soportar el peso de la estructura de concreto, y por lo tanto fué necesario efectuar excavaciones de cimentación para soportar el tanque de agua.

Por muchos años, la mayor parte de la Ciudad fué abastecida por medio de carritos tirados por caballos, los que transportaban barriles con agua que era vendida a la población para satisfacer sus necesidades. En 1946 se inició el plan para su actual abastecimiento de agua y ahora la Ciudad de Mérida cuenta con un campo de pozos electrificados y un sistema de distribución de agua potable.





La extracción estimada fué de 350 millones de metros cúbicos por año, la cual fué obtenida en base a la población y al consumo por habitante. La diferencia entre la recarga y la extracción actual, sugiere que un gran volumen está siendo drenado hacia el mar y del cual podría obtenerse una fuente adicional. (Lesser, 1976).

Otro de los problemas que afronta la Península, es la localización de áreas y dispositivos para depositar las aguas negras de las principales Ciudades. Su eliminación se realiza por medio de pozos superficiales a través de los cuales las aguas de desecho se infiltran hasta el acuífero y lo contaminan. de esta manera se está acabando poco a poco con la única fuente existente de agua dulce para consumo humano. En varias ocasiones, se ha considerado la posibilidad de llevar las aguas negras de la Ciudad de Mérida al mar, a través de conductos que depositen esos desechos a varios kilómetros de la costa, donde el mar tenga una profundidad suficiente, pero esta obra es problemática y costosa.

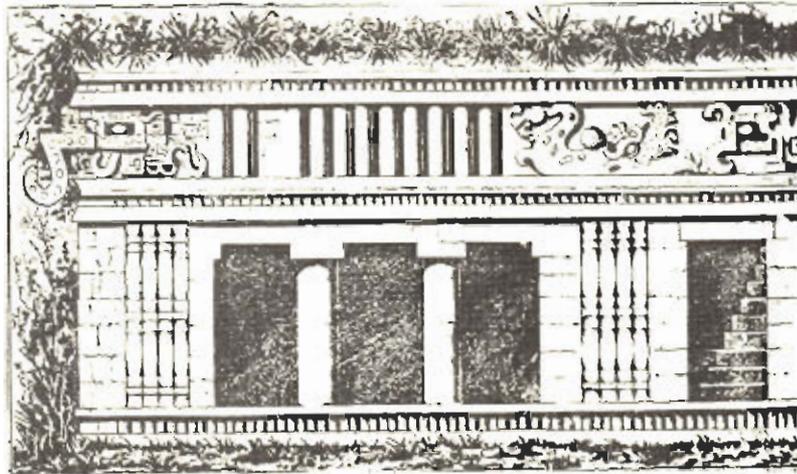


La solución que parece más factible para este problema, es el tratamiento de las aguas negras y la inyección de sus residuos en pozos de absorción a profundidades tales en que su salinidad supere las 2,000 p. p. m. donde los desechos, por su alta densidad pierden su tendencia a subir. La construcción de estos pozos es más recomendable a lo largo de las zonas costeras gradiente abajo de las zonas de extracción de agua dulce. Actualmente, la Ciudad de Mérida cuenta con cuatro pozos de inyección de residuos, uno perforado en 1960 a 200 mts. de profundidad y tres recientemente perforados (1977) a 263, 276 y 252 mts. de profundidad, los cuales servirán para continuar estudiando problemas relativos a la inyección de desechos.



El agua subterránea de la Península en general es de buena calidad con respecto a su contenido de materia orgánica, excepto en ciudades y poblados, donde las aguas municipales son infiltradas al acuífero por medio de fosas sépticas y cenotes. Su grado de contaminación aumenta mientras la población es mayor, así, en la Ciudad de Mérida, en donde Herrera (1960) al analizar las estadísticas de mortalidad infantil, observó que el 41% de las defunciones en niños menores de 6 años fueron ocasionadas por enfermedades hídricas. Actualmente, este porcentaje ha disminuido debido a que la Ciudad cuenta con un sistema de agua potable a través del cual los habitantes la obtienen de buena calidad misma que es extraída por medio de pozos situados al Sur de la Ciudad.





La mayor parte de la extracción de agua en las zonas costeras, principalmente en el Estado de Quintana Roo, se está iniciando por medio de pozos de diseño especial que llevan ademe ciego en toda su longitud y sellado en su fondo penetrando sólo unos pocos metros dentro del lente de agua dulce y permitiendo la entrada de ésta al pozo solamente en su parte superior a través de aberturas que se abren unos cuantos centímetros debajo del nivel freático. De esta manera el pozo funciona únicamente como cárcamo colector de agua dulce, sin permitir el descenso inconveniente del nivel freático que cuando se abata bajo el nivel medio del mar propiciará el ascenso de la interfaz salina. Usando este tipo de captación, es posible eliminar automáticamente la intrusión de agua salada hacia el pozo.



CONCLUSIONES.

A partir de los comentarios históricos narrados en este trabajo, se pone de manifiesto la existencia de problemas para el uso y manejo del agua desde antes de que los primeros pozos fueran perforados. Es igualmente evidente que dichos problemas continuarán. La contaminación del agua subterránea en una región como Yucatán demuestra la forma de como sus factores químicos controlan la explotación. Los problemas de manejo del agua dependen de las condiciones hidrológicas resultantes de los procesos químicos siguientes: a) solución de las rocas calizas para formar zonas cársticas, lo cual controla la hidrología, b) la contaminación por-

agua de mar que forma límites químicos en la base del sistema de agua dulce y c) la contaminación por descomposición orgánica que origina enfermedades.

Que pueden hacer los hidrogeólogos para controlar y dictaminar sobre las medidas que deben aplicarse en cualquier área ?

Primero, identificar los factores hidrogeológicos dominantes, así como los diferentes procesos y características químicas del agua.

Segundo, fijar la atención en el medio saturado del sistema poroso, en las zonas no saturadas, en las zonas de permeabilidad por fracturamiento y en las características de las zonas profundas de las formaciones.

Tercero, interpretar los resultados conjuntamente con los conocimientos de otras disciplinas como la química orgánica, la bacteriología, la virología, la petrología de rocas carbonatadas y sus reacciones cinéticas (Back y Cherry, 1977).

Noviembre de 1977