

INTRUSION SALINA Y CARACTERISTICAS DE UN ACUIFERO  
COSTERO EN LA ZONA HORTICOLA DEL ESTADO DE YUCATAN.

Por: Ing. Juan Manuel Lesser I.

RESUMEN:

La zona hortícola del Estado de Yucatán se localiza a 60 km al Noreste de la Ciudad de Mérida. En ella, se encuentran un gran número de pequeñas parcelas calculadas en más de 2,000, las cuales son cultivadas con el auxilio de aguas subterráneas, cuya extracción se lleva a cabo por medio de pozos someros existiendo uno en cada parcela. Los pozos someros tienen tirantes de agua de alrededor de 1.5 m y su profundidad total varía de alrededor de 3 m en las cercanías de la línea de costa, a aproximadamente 10 m en la porción Sur del área de trabajo. Prácticamente cada uno de los aprovechamientos mencionados, es explotado por una pequeña bomba que rinde un caudal de alrededor de 0.5 litros por segundo. El bombeo se ejerce principalmente en la época de estiaje y operando un promedio de 6 horas por día.

Prácticamente en toda el área el acuífero presenta una distribución homogénea de sales, a excepción de la porción Central Norte correspondiente al área hortícola, en donde se presentan concentraciones altas que han motivado que las curvas de salinidad se flexionen hacia el Sur denotando una clara influencia de intrusión salina, provocada por la explotación que se realiza en esta zona. La salinidad del agua varía de menos de 500 ppm en la porción Sur a más de 10,000 en las cercanías de la línea de costa. En los diferentes planos formados como son la configuración de conductividad eléctrica, cloruros y familias de agua, es clara y notoria la invasión de aguas salinas de origen marino.

LOCALIZACION Y VIAS DE COMUNICACION.

La zona en estudio se ubica dentro del Estado de Yucatán. Tiene una extensión de 4,000 Km<sup>2</sup> y una forma rectangular. Se localiza a 60 Km al Noreste de la Ciudad de Mérida, Capital del Estado, entre los paralelos 21°00' y 21°34' de latitud Norte y los meridianos de 88°30' y 89°26' de longitud Oeste (Figura No. 1).

Se encuentra limitada por los poblados de Dzilam Bravo al Este; Motul de Felipe Carrillo Puerto al Oeste y General Bravo al Sur.

El límite Norte del área de trabajo lo constituye la línea de costa.

La zona es cruzada por un gran número de caminos, entre los cuales se encuentran carreteras pavimentadas que comunican a Motul con Telchac Puerto, Suma, Dzidzantum, Dzilam de González y Temax.

En la línea de costa existe un camino que comunica a los poblados Telchac Puerto con Dzilam de Bravo, a lo largo del cual se ha establecido una zona turística ejidal a la cual acuden principalmente los pobladores de la Ciudad de Mérida.

A partir de estas carreteras, parten brechas y terracerías transitables durante todo el año, las cuales dan acceso a las parcelas de la Zona Hortícola.

La región no cuenta con comunicación aérea o ferroviaria. El aeropuerto más cercano corresponde al ubicado en la Ciudad de Mérida.

En la zona costera se encuentran pequeños poblados cuyos habitantes se dedican a la pesca. En Dzilam Bravo existe un puerto de abrigo para pequeñas embarcaciones pesqueras.

### METODO DE TRABAJO.

Para llevar a cabo el presente trabajo, se efectuaron actividades tanto de campo como de gabinete. La metodología seguida para ello fué la siguiente:

Las actividades de campo, incluyeron un censo de aprovechamientos de agua subterránea, se efectuaron recorridos geohidrológicos por medio de los cuales se determinaron las características hidrológicas de las formaciones y se obtuvieron muestras de agua para análisis químicos. Se corrieron también registros de salinidad en los principales cenotes existentes, así como sondeos geofísicos.

### HIDROGEOLOGIA.

El área de estudio se encuentra cubierta por rocas calizas de edad terciaria cuyas características geológicas e hidrológicas se resumen a continuación:

La Formación Carrillo Puerto es la que aflora. Está constituida por calizas arcillosas de color blanco con bandas rojizas. Presentan fracturas y conductos de disolución que permiten la infiltración directa del agua de lluvia. Por su espesor el cual es de alrededor de 2 metros y debido a que se encuentran ubicadas en la zona no saturada, se considera que funcionan como un medio de infiltración y recarga al acuífero.

La Formación Bacalar, subyace a la Formación Carrillo Puerto y está constituida por margas. Su carácter arcilloso, hace que presente una baja permeabilidad, sin embargo las fallas, fracturas y en general dislocaciones que incluye, aunadas a su bajo espesor de entre 1 y 5 metros, permiten que el agua de lluvia se infiltre y circule a profundidades mayores.

La Formación Estero Franco corresponde a calizas masivas y subyace a la Formación Bacalar. Presenta una gran cantidad de fracturas y conductos de disolución y permite la formación del extenso acuífero de gran permeabilidad de la Península de Yucatán.

Los conductos y cavernas que se forman por disolución, en ocasiones llegan a presentar tamaños considerables originando que la cubierta de las Formaciones Bacalar y Carrillo Puerto se colapse formando sumideros conocidos en esta región como cenotes.

Cuando el espesor de la Formación Bacalar es grande, los cenotes presentan forma de bóveda mientras que en los lugares donde dicha formación no existe o se presenta en espesores muy delgados, las paredes de los cenotes son verticales.

#### FUNCIONAMIENTO DEL ACUIFERO.

El subsuelo de la zona de trabajo se encuentra constituido por rocas calcáreas que presentan una gran permeabilidad a través de conductos de disolución y fracturas, lo que permite el movimiento y almacenamiento de agua subterránea. Hacia la parte Norte, el acuífero se encuentra limitado por el Golfo de México y por un frente de intrusión salina, mientras que hacia el Este, Oeste y Sur, presenta continuidad hidráulica.

A profundidad, el acuífero en cuestión se encuentra limitado por una serie de horizontes arcillosos calcáreos, posiblemente del Cretácico Superior, los cuales de acuerdo a la información obtenida a través de pozos exploratorios tanto de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos como de Petróleos Mexicanos, deben de encontrarse a una profundidad del orden de 100 a 200 m, lo cual viene a constituir el espesor del acuífero.

El nivel de terreno va del nivel del mar en la porción Norte, a elevaciones máximas del orden de 20 m en el límite Sur del área de trabajo. Por lo que se refiere a la profundidad al nivel estático, ésta fluctúa de cero metros en las cercanías de la costa donde llega a florar, a profundidades máximas de 10 metros en la parte Suroriental del área de trabajo.

La permeabilidad del acuífero es muy grande, ya que se establece a través de conductos de disolución y fracturas que llegan a formar ríos subterráneos.

La ausencia de corrientes superficiales, es otra evidencia de la gran permeabilidad que presentan las rocas en su parte superior.

La recarga del acuífero proviene tanto del agua de lluvia que se infiltra directamente sobre la superficie, como de un flujo subterráneo proveniente de la porción Sur y que circula rumbo al mar.

Algunas mediciones y cálculos efectuados en trabajos anteriores, permiten deducir que más del 50% de la precipitación se infiltra de manera casi inmediata hacia el acuífero. La carga piezométrica que ejerce esta infiltración, es transmitida al resto del acuífero ocasionando una descarga prácticamente inmediata hacia el mar.

#### GEOQUIMICA.

#### INTRODUCCION.

La península de Yucatán, al estar constituida en su parte superior por rocas permeables de gran solubilidad, ha permitido la formación de corrientes subterráneas interconectadas que constituyen un acuífero calcáreo de gran potencialidad.

Dada su alta permeabilidad, el gradiente hacia el mar es bajo y por lo tanto su movimiento mínimo, lo cual ocasiona que las características químicas del agua estén influenciadas por sus condiciones locales más que por su flujo.

Por otra parte, bajo las aguas dulces que constituyen al acuífero actualmente en explotación, se encuentran aguas salobres las cuales han sido detectadas a través de diversos métodos. Aunado a ello, la zona de trabajo se encuentra limitada en su porción Norte por el Golfo de México y, debido a que las rocas que constituyen la Península presentan continuidad hidráulica hacia el mar, permiten que las aguas de mar penetren hacia tierra adentro.

Las aguas que constituyen el acuífero, tienden a circular rumbo al mar y la presión que ejercen impiden la entrada de las aguas de origen marino.

Al disminuir los volúmenes de agua dulce por su explotación para riego, se disminuye la carga hidráulica que contrarresta la intrusión salina.

Para conocer la influencia actual de la intrusión y obtener un conocimiento más preciso del funcionamiento del acuífero, se obtuvieron y analizaron 70 muestras de agua.

#### CONFIGURACION DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA.

La conductividad eléctrica, es directamente proporcional al contenido salino del agua. Se midió este parámetro en 217 aprovechamientos y se elaboró una configuración la cual es mostrada en el plano número 2.

En dicho plano, se observa que las conductividades varían de valores de alrededor de 600 micromhos/cm, a más de 10,000 micromhos/cm, encontrándose los valores bajos hacia el Sur y los mayores en las cercanías de la línea de costa.

En la porción Central Sur, entre los poblados de Tekanto, Temax y - - - Buctzotz, corresponde al área con conductividades eléctricas más bajas, menores de 800 micromhos/cm.

De Motúl hacia el Norte, se encuentran conductividades que se incrementan ligeramente y entre los poblados de Telchac y Sinanche, se presenta una disminución, lo cual se sugiere que pueda ser ocasionada por los siguientes factores:

- 1.- La infiltración de agua de lluvia precipitada en los días inmediatos anteriores al muestreo en dicha zona, lo cual diluye levemente la concentración de sales en el acuífero y por lo tanto su conductividad eléctrica.
- 2.- La existencia de rocas de mayor permeabilidad que permita un flujo más rápido y por lo tanto menor tiempo de contacto agua-roca.
- 3.- La existencia de rocas de menor solubilidad con permeabilidad por fracturamiento.

Al Norte de Dzidzantun correspondiente a la principal área hortícola, -- donde se encuentran un gran número de pozos, se observa que la conductividad eléctrica del agua se incrementa en forma notable de 800 a 4,000 micromhos/cm. Este incremento representa un aumento en la salinidad del agua y es ocasionada por el bombeo existente el cual disminuye la carga piezométrica que el acuífero de agua dulce ejerce sobre el agua de mar.

En algunos aprovechamientos muestreados a lo largo de la línea de costa, se detectaron conductividades de entre 7,000 y 13,000 micromhos/cm., correspondiente a aguas salobres.

### CONFIGURACION DE CLORUROS.

El tipo de elementos disueltos en el agua subterránea, están en relación tanto con la composición de las rocas a través de las cuales circula, como con algún tipo de contaminante. En el caso del presente trabajo, el contaminante corresponde al agua de mar que en la porción costera se encuentra mezclada con el agua del acuífero. Las rocas que constituyen el subsuelo son principalmente sedimentos calcáreos en los cuales el cloruro se encuentra ausente o en -- concentraciones mínimas, mientras que en el agua de mar este elemento es uno de los principales constituyentes. Por ello, se elaboró una configuración de cloruros en el agua subterránea, la cual se muestra en el plano número 3 observándose que en la porción Sur y Sureste del área de estudio, se presentan las concentraciones más bajas las cuales no sobrepasan las 100 ppm.

Se detectó un ligero incremento de la zona mencionada anteriormente -- rumbo al Norte, donde el agua llega a presentar hasta 200 partes por millón indicando un flujo de agua en la misma dirección que el incremento, la cual circula de Sur a Norte para desembocar al mar.

En prácticamente toda el área, la distribución de cloruros es baja y se puede considerar homogénea, a excepción de la porción Central Norte correspondiente al área hortícola, en donde se presentan concentraciones de hasta 600 ppm de cloruros, motivando que las curvas se flexionen hacia el Sur y denotando una clara influencia de aguas de origen marino, lo cual es provocado por la explotación que se realiza en esta zona.

### DIAGRAMAS TRIANGULARES.

Se denomina familia de agua a la composición química representada por el principal catión y el principal anión en solución.

Existen varios métodos a partir de los cuales es factible deducir la familia de agua a que pertenece cada muestra. Para el presente trabajo, se utilizó el método de diagramas triangulares, el cual consiste en graficar en 2 triángulos equiláteros a los aniones y cationes respectivamente.

En la figura No. 4 se presentan los diagramas triangulares elaborados para las muestras de agua analizadas, observándose que predominan, entre los cationes el calcio mientras que entre los aniones el bicarbonato.

Las familias de agua obtenidas para cada una de las muestras analizadas, fueron vaciadas sobre el plano número 5 en él se delimitaron zonas que presentan familias de agua similares.

En gran parte del área de trabajo, principalmente en la porción Sur, -- la familia de agua a que pertenecen las muestras analizadas es calcico-bicarbonatada, debido a que el único factor que ha influido en la química del agua es la -- disolución de las rocas carbonatadas que constituyen el subsuelo.

En la franja paralela y ubicada al Norte de la anterior, la cual se -- acuña hacia el Oeste, se encuentra una zona con agua mixta, considerándose que -- corresponde a una área de transición entre el agua cálcico-bicarbonatada típica -- del acuífero calizo y el agua de la porción costera que se encuentra influenciada por sales de origen marino.

En el extremo Noroccidental entre los poblados de Baça, Dzemul y -- Telchac Puerto, se delimitó una zona en la cual predomina el agua de la fami-- lia sódico-bicarbonatada, la cual podría ser efecto de agua de lluvia de recién te infiltración.

A lo largo de la línea de costa se encuentra agua de la familia sódico-clorurada en una franja de alrededor de 3 kilómetros de ancho, correspondiente en su mayoría a la zona costera pantanosa, a excepción de la zona hortícola al Norte de Dzidzantun, en donde el área con agua sódico-clorurada llega a encontrarse a distancias de hasta 9 kilómetros de la línea de costa.

La presencia de agua de la familia sódico-clorurada en especial en la zona hortícola, indica una clara influencia de la invasión de aguas marinas producto de la explotación del acuífero ahí existente.

#### INTRUSION SALINA.

A lo largo de la línea de costa, es común encontrar al agua de los -- acuíferos descansando sobre agua de mar. Este efecto se lleva a cabo cuando las rocas del continente presentan una permeabilidad que se continúa hacia el fondo del mar. El agua que se infiltra en las rocas del continente, tiende a circular hacia posiciones topográficas más bajas, o sea rumbo al mar. Por otra parte, al presentar permeabilidad el fondo de los océanos en la zona costera, el agua de mar tiende a entrar rumbo a tierra adentro, invadiendo al acuífero, fenómeno que se conoce como intrusión salina.

La intrusión salina es un fenómeno común de las zonas costeras permeables. En el área de trabajo, este efecto es más notable debido a la gran permeabilidad de las rocas que constituyen el subsuelo.

En los diferentes planos formados, como son la configuración de conductividad eléctrica, cloruros y el plano de familias de agua, es clara y notoria la invasión de aguas salinas de origen marino, en especial en la denominada zona hortícola ubicada al Norte de Dzidzantun.

Este efecto está evidenciado por un incremento en la salinidad, en especial en lo que se refiere a cloruros, además de la existencia de agua de la -- familia sódico-clorurada en contraste con la mayor parte del área de trabajo en donde se encuentra agua cálcico-bicarbonatada.

#### CONCLUSIONES:

1.- La Formación Estero Franco, se encuentra en el subsuelo a profundidades de alrededor de 7 metros. Presenta una gran cantidad de fracturas y conductos de disolución y permite la formación del extenso acuífero de gran permeabilidad de la Península de Yucatán.

2.- La ausencia de corrientes superficiales, es otra evidencia de la gran permeabilidad que presentan las rocas en su parte superior.

3.- La recarga del acuífero proviene tanto del agua de lluvia que se infiltra directamente sobre la superficie, como de un flujo subterráneo proveniente de la porción Sur y que circula rumbo al mar.

4.- Algunas mediciones y cálculos efectuados en trabajos anteriores, - permiten deducir que más del 50% de la precipitación se infiltra de manera casi - inmediata hacia el acuífero.

5.- La carga piezométrica que ejerce la infiltración de aguas de lluvia, es transmitida al resto del acuífero ocasionando una descarga prácticamente inmediata hacia el mar.

6.- En la Zona Hortícola del Estado de Yucatán, se encuentran un gran número de pequeñas parcelas calculadas en más de 2,000, las cuales son cultivadas con el auxilio de aguas subterráneas.

7.- La extracción de agua subterránea se lleva a cabo por medio de pozos someros de los cuales existe uno en cada parcela.

8.- Los pozos someros tienen tirantes de agua de alrededor de 1.5 m y su profundidad total varía de alrededor de 3 m en las cercanías de la costa, a -- aproximadamente 10 m en la porción Sur del área de trabajo. .

9.- Cada uno de los aprovechamientos mencionados es explotado por una pequeña bomba que rinde un caudal de alrededor de 0.5 litros por segundo.

10.- Los equipos de bombeo trabajan casi exclusivamente en la época de estiaje, entre enero y abril, periodo en el que operan un promedio de 6 horas -- por día.

11.- La salinidad del agua varía de menos de 500 partes por millón en - la porción Sur a más de 10,000 en las cercanías de la línea de costa.

12.- En la mayor parte del área de trabajo, el agua es cálcica-bicarbonatada y presenta bajas concentraciones salinas, correspondiendo ésta a agua típica del acuífero calizo.

13.- Hacia la línea de costa se encuentran aguas de la familia sódico--clorurada, con concentraciones medias y altas de sales, la cual está influenciada por intrusión salina.

14.- Prácticamente toda el área presenta una distribución homogénea de sales en el agua, a excepción de la porción Central Norte correspondiente al - - área hortícola, en donde se presentan concentraciones mayores que han motivado -- que las curvas de salinidad se flexionen hacia el Sur denotando una clara influencia de intrusión salina provocada por la explotación que se realiza en esta zona.

15.- En los diferentes planos formados como son la configuración de conductividad eléctrica, cloruros y el plano de familias de agua es clara y notoria la invasión de aguas salinas de origen marino, en especial en la denominada zona hortícola, ubicada al Norte de Dzidzantun.

16.- Las zonas favorables para la perforación de pozos, se encuentran -- limitadas por la presencia de agua salina principalmente en la porción costera, -- por lo que mientras más retiradas se encuentren las captaciones de la línea de costa, se obtendrán mejores resultados.

17.- A fin de no inducir la intrusión de las aguas saladas inferiores, - es conveniente que la explotación del agua dulce se lleva a cabo en la parte superior del acuífero, ya sea a través de pozos someros o cenotes.

18.- Se recomienda impulsar el desarrollo hortícola basado en la utilización de aguas subterráneas en zonas alejadas alrededor de 15 km de la costa.

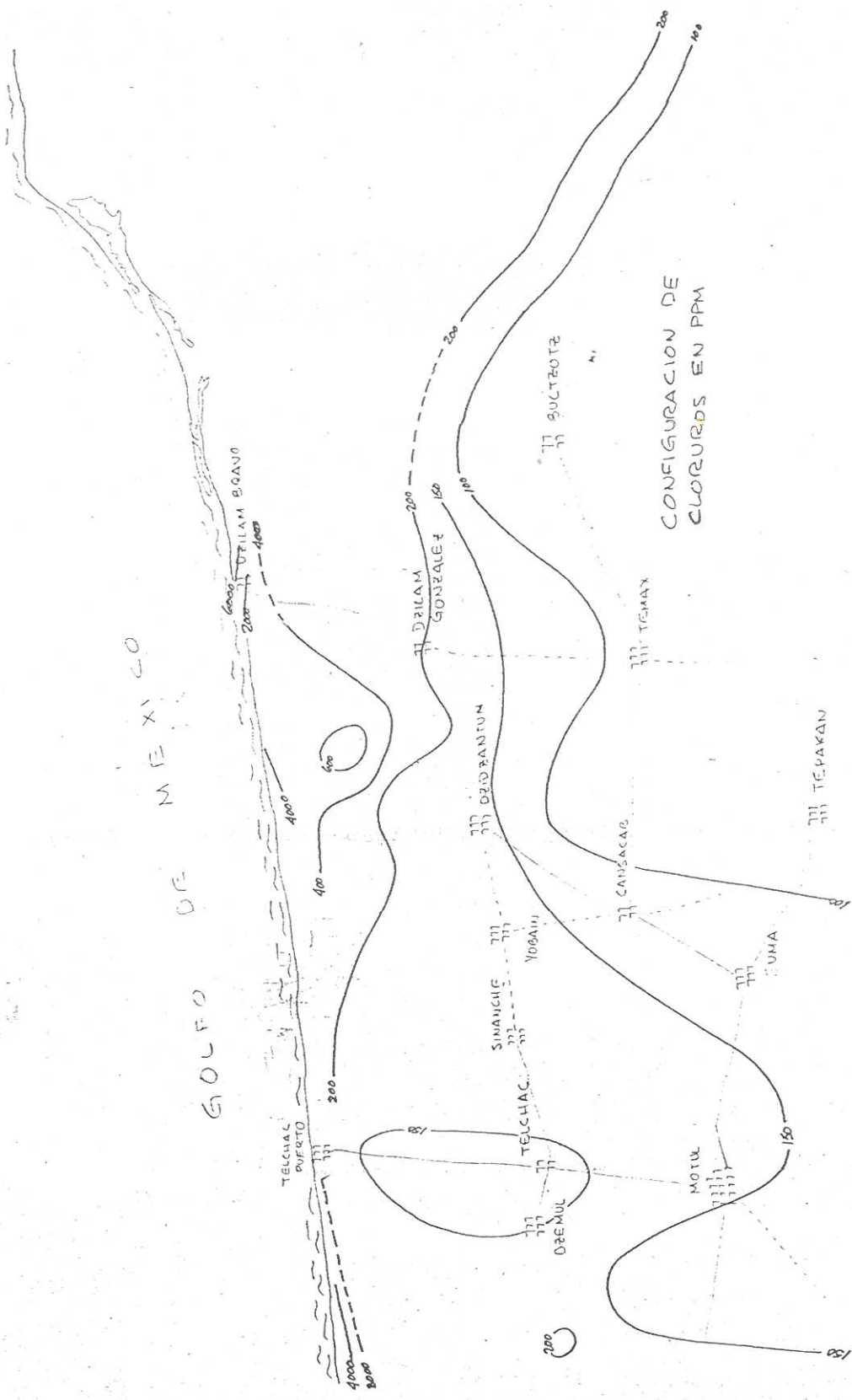
19.-La forma como actualmente se extrae el agua subterránea en base a pozos someros y caudales reducidos, previene la rápida invasión de aguas saladas por lo que se considera que este método debe de continuarse llevando a cabo.

#### REFERENCIAS.

- Alvarez Manuel, 1961, Provincias Fisiográficas de la República Mexicana. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XXIV, No. 2
- Back William and Bruce Hanshaw, 1967, Hydrogeology of the Northern Yucatan Peninsula, México. In: Yucatan Field Trip Guide Book, Second Edition. New Orleans Geological Society.
- Back William and Bruce Hanshaw, 1970, Comparison of Chemical Hydrogeology of the Carbonate Peninsulas of Florida and Yucatan. Journal of Hydrology, Volúmen X, No. 4.
- Back William and Bruce Hanshaw, 1974, Hydrogeochemistry of the Northern Yucatan Peninsula, México, with a Section on Mayan Water Practices. In: Field seminar on water and Carbonate rocks of the Yucatan Peninsula México. New Orleans Geological Society.
- Bonet Federico, and Jacques Butterlin, 1967, Stratigraphy of the Northern part of the Yucatan, Peninsula, In: Yucatan, Field Trip Guide Book, Second Edition. New Orleans Geological Society.
- Stringfield V.T. and A.E. Legrand, 1974, Karst Hydrology of Northern Yucatan Peninsula, México, New Orleans Geological Society.
- Lesser Illades Juan Manuel, 1976, Estudio Hidrogeológico de la Península de Yucatán. S.A.R.H. Proyecto CONACYT NSF-704.
- Lesser Illades Juan M. y Enrique Espinosa Amador, 1979, Características Hidrogeoquímicas de un acuífero calcáreo costero, en la parte norte de la Península de Yucatán. Seminario sobre los aprovechamientos y manejo racional de los Recursos Hidráulicos Subterráneos de la Península de Yucatán. FIRA.

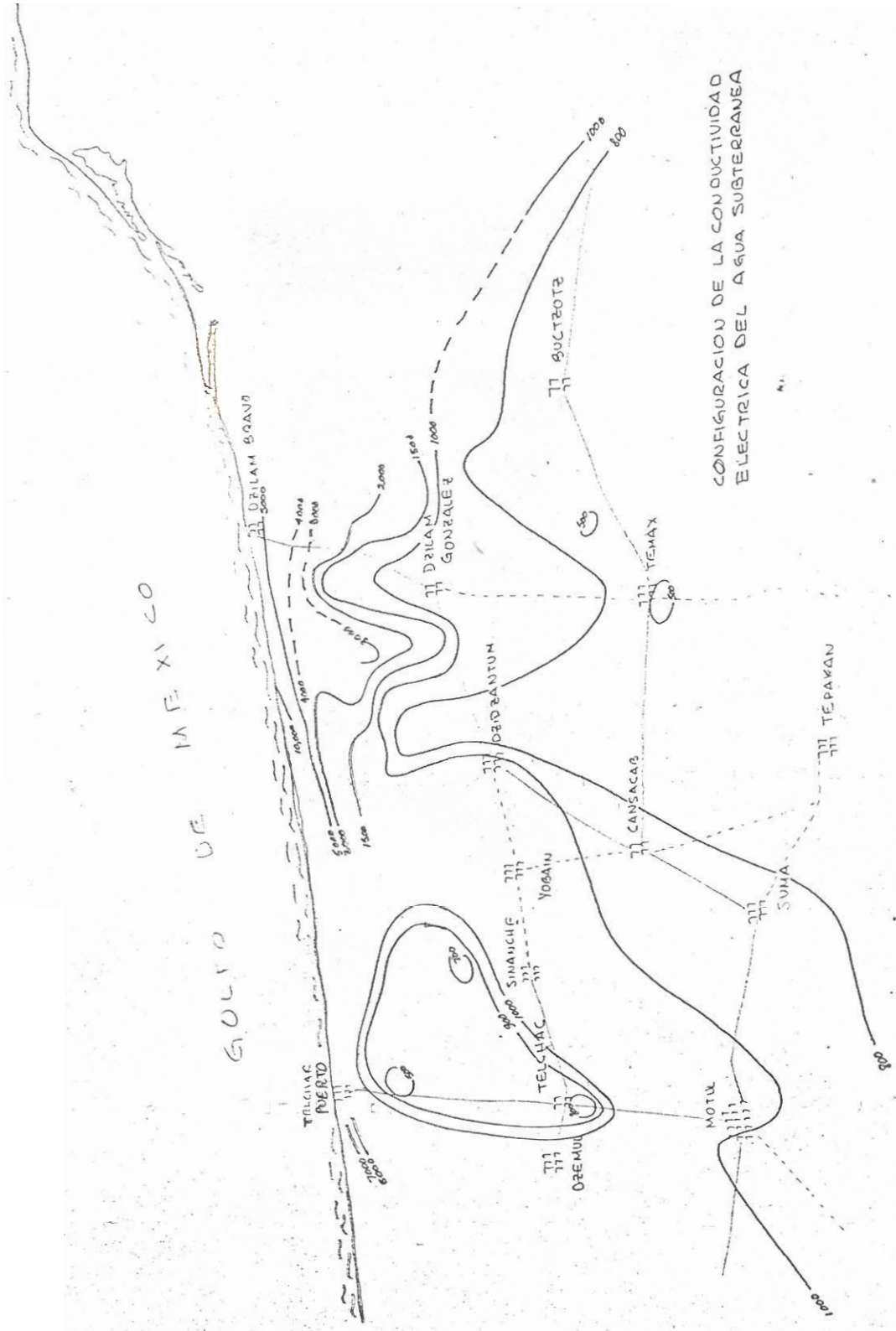


# GOLFO DE MEXICO



CONFIGURACION DE CLOSURDS EN PPM

MEXICO  
GULFO DE



CONFIGURACION DE LA CONDUCTIVIDAD  
ELECTRICA DEL AGUA SUBTERRANEA