

CARACTERISTICAS HIDROGEOQUIMICAS DE UN -
ACUIFERO CALCAREO COSTERO EN LA PARTE NOR -
TE DE LA PENINSULA DE YUCATAN.

Por

ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

ING. ENRIQUE ESPINOSA AMADOR

NOVIEMBRE 1979.

PRESENTADO EN:
SEMINARIO SOBRE APROVECHAMIENTO Y
MANEJO RACIONAL DE LOS RECURSOS
HIDRAULICOS SUBTERRANEOS DE LA
PENINSULA DE YUCATAN.

R E S U M E N

La Península de Yucatán, esta caracterizada por constituir una extensa planicie que se eleva a alturas menores de 30 m.s.n.m., donde destaca la topografía cárstica y la ausencia de corrientes superficiales. Está formada por rocas calcáreas del Terciario que presentan una gran cantidad de conductos de disolución y fracturas las cuales permiten el movimiento y almacenamiento del agua subterránea.

La zona de estudio, se localiza en la parte central - norte de la Península de Yucatán. Tiene forma rectangular y una área de 3,400 Km².

A partir de análisis químicos, registros de salinidad y mediciones de conductividad, se obtuvo un conocimiento sobre la calidad del agua, tanto en la superficie del acuífero como a diferente profundidad, así como su variación con respecto al tiempo en el transcurso de un ciclo anual.

Los principales resultados obtenidos, son los siguientes:

En la porción Sur se tienen valores de salinidad de entre 400 y 1200 ppm de sólidos totales disueltos predominando el calcio y el bicarbonato. Al Norte, en una franja paralela a la línea de costa, de 25 Kms. de ancho, se presentan salinidades de entre 800 y 20,000 ppm de sales, lo cual es debido a la contami-

nación del acuífero por agua de mar, efecto que es facilitado por la gran permeabilidad que presentan las rocas.

Por lo que respecta a la calidad del agua a diferentes profundidades, se clasificó ésta de la siguiente manera:

Agua dulce o de buena calidad a la que presenta concentraciones menores de 1000 ppm de sólidos totales disueltos. Agua de mediana calidad a la que contiene entre 1000 y 1800 ppm de sólidos totales disueltos. Agua salada o de mala calidad a la que cuenta con más de 1800 ppm de sales.

Los registros continuos de conductividad eléctrica, -- indicaron que en la segunda quincena de Febrero existieron algunas lluvias aisladas, lo cual se manifiesta por variaciones en la conductividad eléctrica del agua. Posteriormente, se nota un período en el que la conductividad permanece prácticamente constante y por último, se observa una disminución notable en los valores medidos, debido al inicio de la temporada de lluvias, -- que diluye el agua del acuífero.

CREDITOS

El presente trabajo, es parte del conjunto de estudios que está efectuando el Plan Nacional Hidráulico de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos dentro del Programa de Desarrollo Rural Integrado del Trópico Húmedo (PRODERITH), estudios encomendados a Agrogeología, S. A.

LOCALIZACION

La zona estudiada se localiza en la parte Central Norte de la Península de Yucatán. (figura No. 1) Tiene forma rectangular y una área de 3400 Km². Está limitada hacia el Oeste y Sur por las Ciudades de Tizimín y Valladolid respectivamente, al Oeste por el poblado de Colonia Yucatán, al Norte por el Golfo de México y hacia el Sur por la Carretera Valladolid-Cancún.

CARACTERISTICAS CLIMATICAS

La zona se caracteriza por presentar un clima tropical, húmedo, en el cual las temperaturas medias mensuales fluctúan entre 27.3 y 28.1°C para los meses de Marzo y Mayo respectivamente.

Por lo que respecta a la lluvia, se tiene que se precipitan 1154 mm anuales, repartidos a lo largo del año. En los meses de Noviembre a Abril, ésta es de 30 mm mensuales, incrementándose hasta 195 mm en los meses de Junio y Septiembre o sea -- que la temporada de estiaje prácticamente no existe, ya que en todos los meses se registran lluvias. Estos datos, están basados en los registros de las estaciones climatológicas de Tizimin, el Cuyo y Valladolid en Yucatán y Kantunil-Kin en Quintana Roo, para un período de 22 años.

La distribución de la precipitación a lo largo de todo el año, es un factor importante, ya que ésta constituye la fuente

te de recarga del acuífero.

En la figura No. 2 se muestra un hietograma de lluvias con los valores promedio obtenidos.

G E O L O G I A

La Península de Yucatán está caracterizada por consti --
tuir una extensa planicie que se eleva a alturas menores de 30 m.
s.n.m., donde destaca la topografía cárstica y la ausencia de co-
rrientes superficiales.

En general, el área estudiada tiene una forma plana, --
con las mayores elevaciones, las cuales son de alrededor de 23 m.
s.n.m., hacia el Sur, de donde se establece una ligera pendiente
hacia el Norte, rumbo a la línea de costa, con un gradiente de --
0.03%. Esta superficie presenta una topografía cárstica típica,
donde el principal rasgo es la presencia de sumideros los cuales
tienen entre 10 y 100 m de diámetro y una profundidad del orden -
de 10 m. Debido a que el nivel del agua subterránea no es profun-
do, en ocasiones se presenta en estos sumideros, los cuales en es-
te caso, son conocidos como "Cenotes".

La región está formada por capas horizontales de rocas
calizas de Edad Terciaria, las cuales de acuerdo a trabajos ela-
borados (Butterlin y Bonet, 1958) pertenecen a la formación Ca--
rrillo Puerto, la cual fue descrita como sigue:

FORMACION CARRILLO PUERTO.- Los niveles inferiores están representados por coquinas, de alrededor de un metro de espesor, cubiertas por calizas duras, ricas en peneróplidas. Pasan más arriba -- a calizas cada vez más impuras, a veces arcillosas, de color amarillento o rojizo. Los niveles superiores están representados, por calizas blancas, duras y masivas. Los echados observados son débiles, a veces nulos. La edad de la fauna encontrada, es difícil de precisar, pero por su posición estratigráfica, entre la Formación Bacalar del Mioceno Superior a la que cubre claramente y las calizas de Moluscos del Pleistoceno, se deduce que deben corresponder esencialmente al Plioceno.

Con el objeto de obtener un conocimiento más preciso de la geología existente, se efectuaron recorridos de campo en el -- área estudiada a través de los cuales se lograron identificar cinco unidades de roca (figura No. 3) dentro de la Formación Carrillo Puerto, las cuales se denominaron informalmente como sigue:

UNIDAD TIXCANCAL (Ttx).- Corresponde a una caliza compacta, generalmente masiva y recristalizada, de color blanco y crema, que -- ocasionalmente presenta zonas arcillosas. Se considera equivalente a las Unidades X-Can y Santa Cecilia y se distingue de ellas -- por presentar intraclastos de corales. En los blancos de material para las carreteras, se encontró a estas rocas en la parte inferior, subyaciendo a las margas de la Unidad Colonia Yucatán. Sus mejores afloramientos se encuentran en los alrededores de Tixcancal. -- Sobre esta roca se ha desarrollado un suelo laterítico de color rojizo.

UNIDAD X-CAN (Tx).- Esta unidad está formada por calizas compactas generalmente masivas y recristalizadas, de color blanco y -- crema. Es equivalente a la Unidad Tixcancal y se distingue de -- ella por que además de presentar intraclastos de corales, se encuentra también una gran cantidad de macrofauna, principalmente_ bivalveos. Se encontró al Norte del poblado de X-can y aparente_ mente en una zona de transición entre las calizas con corales -- (Ttx) y la coquina de la Unidad Sta. Cecilia. Debido a que es -- la más inferior de las unidades, se desconoce su espesor.

UNIDAD STA. CECILIA.- Consta de calizas compactas, generalmente masivas y recristalizadas, de color blanco, con algunos horizontes arcillosos. Es equivalente a las unidades anteriores y se -- distingue por presentar gruesos horizontes de coquinas. Se les_ encontró en la mayor parte de los bancos de material labrados a los lados de los caminos de la parte Norte del área, donde forma el piso o parte inferior de ellos.

UNIDAD COLONIA YUCATAN, (Tcy).- Esta unidad, está formada por -- margas blancas, arcillosas, delesnables, las cuales afloran ha-- cia la porción Norte del área, en espesores que varían entre 1 y 5 m. Dado su carácter arcilloso, delesnable, es utilizado para la construcción tanto de casas como caminos. Los bñancos de material existentes a lo largo de un gran número de caminos explotan esta unidad, la cual es denominada en la región como Sascab. Sobreyace a la caliza dura, masiva de las unidades anteriormente descritas y de las cuales es fácilmente identificable. Se encuen_

tra cubierta por calizas duras, arcillosas, de la Unidad Tizimín.

UNIDAD TIZIMIN (Ttz).- Está formada por una caliza arcillosa, compacta, que presenta algunas zonas de caliza pura, recristalizada. Su coloración es pardo claro, en ocasiones ligeramente rojiza. Cubre a las margas de la Unidad Colonia Yucatán y se le llegó a observar un espesor de alrededor de 2 m. Esta unidad, podría constituir la parte superior de las margas Tcy, endurecidas y recristalizadas por procesos de intemperismo.

En la figura No. 4, se ilustra la posición de las Unidades descritas.

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

El acuífero en esta región, se encuentra en formaciones calcáreas que a través de conductos de disolución y fracturas permiten el movimiento y almacenamiento del agua subterránea. La profundidad al nivel del agua es menor de 4 m en la porción Norte, cerca de la línea de costa, aumentando hacia el Sur, donde llega a tener máximos de 19 m entre Tixcancal y Xmuquel. Esta profundidad está en relación a la topografía la cual es suave y con ligera pendiente hacia el mar.

Por lo que se refiere a la elevación del nivel estático, éste tiene máximos de 4 m.s.n.m. en la parte Sur, elevación que decrece hacia el Norte para llegar a su nivel de referencia que es el mar.

La permeabilidad del acuífero es muy grande, lo cual -

es evidenciado, entre otras cosas, por el bajo gradiente hidráulico que se establece.

La recarga se efectúa directamente de la lluvia, la que al precipitarse sobre el terreno, se infiltra sin permitir la formación de corrientes superficiales, las cuales no existen en esta región. Algunas mediciones y cálculos efectuados, permiten deducir que más del 50% de la precipitación se infiltra de manera casi inmediata hacia el acuífero.

El gradiente hidráulico existente, origina que el agua fluya de Sur a Norte, rumbo a la línea de costa. Las lluvias recargan al acuífero elevando su carga piezométrica, efecto que es transmitido al resto del acuífero, ocasionando su descarga hacia el mar.

HIDROGEOQUIMICA

En la zona de Yucatán, parte del agua de lluvia que se precipita sobre la superficie se evapora, el resto se infiltra al subsuelo para formar los acuíferos. El agua de lluvia, presenta un bajo contenido de sales en solución, entre las cuales predominan el sodio y los bicarbonatos. Al infiltrarse y circular a través de las rocas, disuelve las sales y minerales con las que tiene contacto, incrementando su contenido salino en el cual predominarán los elementos que constituyan el tipo de rocas que forman el acuífero. Por lo tanto, la composición química del agua, está en relación directa a la composición de las rocas existen--

tes.

Hacia el norte del área estudiada, en la zona costera, al encontrarse el agua de mar, un medio permeable hacia tierra adentro, tiende a invadir el acuífero, fenómeno conocido como "Intrusión Salina". La presencia del agua de mar, que constituye una fuente de sales modifica la composición química del acuífero, cuyas aguas se caracterizan por contener altos valores de salinidad y predominar en ella los iones de sodio y cloro.

Los factores mencionados, explican la relación existente entre la composición química del agua y el medio acuífero en que se mueve, en la región norte de Yucatán, por ello, se realizaron análisis químicos del agua subterránea, cuyos resultados fueron interpretados para obtener un mejor conocimiento del acuífero existente.

MUESTREO Y ANALISIS DEL AGUA SUBTERRANEA

En la región tratada, existen un gran número de afloramientos de agua subterránea entre los cuales y de acuerdo a su distribución espacial, se seleccionaron 159, a los que se les obtuvo una muestra de agua.

La localización de los aprovechamientos muestreados se presenta en la figura No. 5 y los resultados de los análisis en los cuadros de la figura No. 6

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

El agua "Pura", no es conductora de electricidad, son_ las sales disueltas en ella, las que permiten el paso de esta co_ rriente. Mientras mayor sea la cantidad de sales disueltas, ma_ yor será la conductividad eléctrica.

Se midió la conductividad del agua de 221 aprovechamien_ tos distribuídos en toda la zona, la cual representa las condi-- ciones químicas de la parte superior del acuífero. También se _ corrieron registros de conductividad en 43 cenotes, a partir de_ los cuales se formaron perfiles que muestran las características verticales de la composición del agua. Por otra parte para deter_ minar la variación de la conductividad eléctrica con respecto al tiempo, se midió esta tres veces por semana, durante un período_ de meses, en 12 aprovechamientos previamente seleccionados.

Con los datos obtenidos se formaron una configuración_ perfiles de conductividad y gráficas de la conductividad respec_ to al tiempo, lo cual se describe a continuación.

CONFIGURACION DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

Con el objeto de conocer la cantidad de sales que con_ tiene el acuífero en su parte superior, se midió la conductivi-- dad eléctrica del agua de 221 aprovechamientos estratégicamente ubicados a partir de los cuales se elaboró una configuración la cual es presentada en la figura No. 7.

En dicha configuración, se aprecia que existe una variación gradual en los valores medidos, los cuales van de 500 a 26 000 MMHOS/cm.

Los valores más bajos, de entre 500 y 750 MMHOS/cm., - que corresponden a salinidades del orden de 400 ppm de sólidos - totales disueltos, se ubican al Sureste del poblado de Tixcancal región hacia la cual debe de encontrarse una zona de recarga importante. Esta zona, podría estar influida por la presencia de rocas calcáreas de mayor permeabilidad, que permitieran una mayor y más fácil infiltración del agua de lluvia.

Hacia el Norte y Noroeste de Tixcancal, se encuentran conductividades de entre 1000 y 1500 MMHOS/cm., las cuales equivalen a salinidades de entre 800 y 1200 ppm de sales totales disueltas. Este aumento en concentración salina, respecto a la parte Sureste, refleja condiciones geológicas ligeramente diferentes. Estas diferencias pueden ser (1) la presencia de unidades litológicas diferentes, (2) un cambio de facies entre las calizas de ambas zonas.

Las rocas del Norte y Noroeste de Tixcancal, deben presentar una menor permeabilidad, lo cual ocasiona una disminución en la recarga por lluvia, la que podría diluir la concentración de las aguas subterráneas o; presentar rocas de más fácil disolución lo cual explicaría la relativa mayor concentración de sales en esa zona.

Al Norte de Colonia Yucatán, el agua se comienza a -- cargar rápidamente de sales, como se muestra en la configura -- ción de 1 000 a 26 000 MMHOS/cm lo cual equivale a entre 800 a 20 000 ppm respectivamente. La posición de las curvas, es lige -- ramente paralela a la línea de costa y los valores se incremen -- tan hacia el mar. Esto es ocasionado por la intrusión de agua -- salina de mar hacia el acuífero, debido a la gran permeabilidad que presentan las rocas, lo cual no permite que se establezca una carga piezométrica alta en el acuífero, que desplace al -- agua marina.

En general, se aprecia un incremento en los valores -- de conductividad, de Sur a Norte lo cual ratifica que el agua -- del acuífero se mueve de Sur a Norte para descargar al mar.

PERFILES DE CONDUCTIVIDAD

El agua subterránea de acuerdo a su densidad, la cual es proporcionada por su contenido salino, se estratifica, encon -- trándose la más salada hacia las partes bajas y la menos salada flotando sobre la primera.

Este fenómeno se presenta, en forma notable, en acuí -- feros como el de la región estudiada, debido a los enormes hue -- cos de disolución que presentan las rocas, así como a la exis -- tencia de fuentes de sales.

Para determinar la calidad del agua del acuífero a di

ferentes profundidades, se corrieron 43 registros de conductividad eléctrica en un número igual de cenotes, ya que éstos, son los únicos aprovechamientos que cuentan con una profundidad aceptable. El resto de los aprovechamientos existentes, consisten en norias o pozos a cielo abierto, los cuales tienen tirantes de agua de alrededor de 1 m.

Durante el registro, se anotaron los valores de conductividad detectados desde la superficie del agua de los cenotes hasta su profundidad total, a partir de los cuales se formaron los perfiles que se presentan en la figura No. 8.

Al no existir pozos profundos en la región, la profundidad a la cual se pueden estudiar y conocer las características químicas del acuífero, queda supeditada a la profundidad de los sumideros, que en forma natural existen en esta región, en donde son denominados cenotes.

De los 43 cenotes visitados y medidos, se encontró que la mayoría tienen un tirante muy corto de agua. El 63 % de ellos tienen tirantes entre 2 y 10 m, el 26% cuentan con entre 10 y 25 m. y sólo el 11% restante tiene entre 25 y 45 m. de agua. De este último 11% la mitad no tiene datos confiables por problemas durante el registro pero dada la escasa información de cenotes profundos, estos datos fueron incluidos, tomando en cuenta su posible falla.

De lo anterior, se concluye que se logró registrar y determinar las condiciones de salinidad del acuífero, en los 45m

superiores y con gran detalle en 25 m.

Con el objeto de facilitar su explicación conjunta, se clasificó el agua en los tres tipos siguientes:

- _ Agua dulce o de buena calidad, a la que presenta valores de conductividad eléctrica menores de 1 250 MMHOS/cm, lo cual equivale a concentraciones de menos de 1 000 ppm de sólidos totales disueltos.
- _ Agua de mediana calidad, a la que presenta valores de conductividad eléctrica entre 1 250 y 2 250 MMHOS/cm, lo cual equivale a concentraciones de entre 1 000 y 1 800 ppm de sólidos totales disueltos.
- _ Agua salada o de mala calidad, a la que presenta valores de conductividad eléctrica mayores de 2 250 MMHOS/cm, lo cual equivale a concentraciones de más de 1 800 ppm de sólidos totales disueltos.

Hacia el extremo norte del área los cenotes 479, 480 y A-1, son los únicos que presentan agua salada, debido a que se localizan en las cercanías de la costa, en una zona influenciada por el agua de mar. Cercanos a estos cenotes, hacia el Sur, se tienen otros con agua de mediana calidad como son el 605 y el A-3, así como los números 397 y 429, los cuales presentan, en el fondo, agua de mediana calidad y hacia la parte superior y flotando sobre ella, agua dulce.

Esta zona Norte, con agua salada y de mediana calidad, coincide con la delimitación mostrada por medio de la configuración del inciso anterior.

En el resto del área estudiada, predomina el agua dulce hasta la profundidad máxima medida, de 45 m, con excepción de algunos puntos locales en los que bajo el agua dulce se detectó agua de mediana calidad.

A aproximadamente 10 kilómetros al Este de Tizimín, en la zona detectada por la configuración de conductividades, con valores altos, por medio del perfil del cenote No. 20 se ratifica la existencia de agua de mediana calidad. De igual manera, en los aprovechamientos 59 y 124, se detectó agua dulce flotando sobre agua ligeramente salada, lo cual aunado a los datos de la configuración indica que en la zona oriente del trabajo el espesor de agua dulce es más reducido que en el resto del área (excepto el norte) y tiene forma irregular ya que en ocasiones el límite entre el agua de buena y de mediana calidad aflora, en otras ocasiones se detectó a entre 5 y 14 m de profundidad.

Con los valores de los perfiles, se formaron las secciones hidrogeoquímicas ilustrativas A-B-C, D-B-E y C-E, las cuales se muestran en las figuras Nos. 9, 10 y 11, en las cuales se observa claramente la distribución de los diferentes horizontes salinos.

Se elaboró también el diagrama isométrico de la figura

No. 12 que muestra la calidad del agua, notandose que hacia la parte Norte es la única zona donde se encuentra agua salada y -- que en la porción Occidental se tiene agua de mediana calidad, -- sobre la cual flota una capa de agua dulce de hasta 15 m de espe sor.

Hacia la porción Oriental y Sur de la zona en cues--- tión, el espesor de agua medido es de buena calidad.

EFECTO DE LAS LLUVIAS EN LA CALIDAD DEL AGUA

Los registros de conductividad, fueron corridos entre los días 5 y 11 de mayo, fecha en la que se produjeron abundan-- tes precipitaciones pluviales, con el objeto de conocer el efec-- to producido por estas sobre la calidad del agua.

En los mencionados perfiles de conductividad, se de-- tectó que de 2 a 4 metros de la parte superior del acuífero pre-- sentan agua con un menor contenido salino, lo cual indica que es ta porción del acuífero, ha sido diluida por el agua de lluvia, de donde se deduce que la infiltración y recarga al acuífero es in-- mediata a la precipitación. Este efecto, se encontró en todos -- los cenotes estudiados excepto en la porción Occidental, en los alrededores de Tizimín, lo cual sugiere que las rocas existentes tienen una menor permeabilidad y posiblemente que corresponda -- a una unidad litológica diferente.

Se hace notar que algunos cenotes fueron medidos un --

día anterior al inicio de las lluvias, razón por la cual el efecto mencionado no se observa en sus perfiles.

EVOLUCION DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA RESPECTO AL TIEMPO.

La composición química del agua subterránea, en especial su contenido de sales disueltas, tiene variaciones cíclicas anuales, las cuales están en relación con las recargas que recibe por la infiltración del agua de lluvia.

Durante el estiaje, el agua del acuífero disuelve las sales de las rocas y produce un incremento en su contenido salino. La cuantía de este aumento está en relación al tipo de rocas con que tiene contacto, si éstas son de fácil disolución, el aumento de sales durante el estiaje puede ser notable mientras que si el acuífero está constituido por rocas de difícil disolución, entonces el incremento será inapreciable. Por otra parte, las lluvias que recargan el subsuelo, prácticamente no contienen sales lo que provoca una disolución del agua del acuífero la cual será más rápida y notoria si el terreno consiste de rocas fracturadas o calcáreas con conductos de disolución, como es el caso de la zona estudiada. En materiales granulares, los efectos de disolución por lluvia son menos notables, debido al mayor tiempo que requiere el agua para atravesar la zona insaturada y llegar al acuífero.

Tomando en cuenta lo anterior, se seleccionaron 12 aprovechamientos en los cuales se midió, tres veces por semana,

la conductividad del agua, durante los meses de Febrero a Agosto de 1979. Con los datos obtenidos, se formaron las gráficas de la figura No. 13.

Tres son las observaciones más notables encontradas en las gráficas de evolución.

Primeramente entre los días 16 de Febrero y 16 de Marzo, existieron algunas lluvias, lo cual se manifiesta por variaciones de la conductividad en prácticamente todas las gráficas.

Posteriormente se nota un período en el que los parámetros medidos permanecen prácticamente constante y por último debido al inicio de la temporada de lluvias que diluye el agua del acuífero (15 Abril) se observa una disminución en los valores de conductividad.

En la misma gráfica, se muestra la variación del nivel estático para las mismas fechas, cuya evolución coincide con la de conductividades. En el período hasta el 6 de Marzo que existieron lluvias, se aprecian altas y bajas tanto en lo que se refiere al nivel estático como a la conductividad. Del 16 de Marzo a fines de Abril, el nivel estático tiene un pequeño y gradual abatimiento, mientras que la conductividad permanece constante ya que no existen factores que logren influenciarlo. A partir del 5 de Mayo, se registraron fuertes lluvias lo cual afectó tanto a los niveles estáticos los cuales inmediatamente ascendieron, como al contenido salino de la parte superior del acuífero. Este efecto es más

típico y notable, en los pozos 161, 165, 167 y 527, de los -
cuales, los primeros cuatro se encuentran prácticamen te juntos
indicando que la zona en particular en la cual se encuentran em-
plazados tiene una mayor y más homogénea permeabilidad.

FAMILIAS DE AGUA

El tipo de sales que contiene en solución el agua, re-
flejan tanto la composición de las rocas a través de las cuales
circula, como procesos químicos que se pudieran haber llevado a
cabo.

Para clasificar el agua de acuerdo a su contenido quí-
mico y a partir de ello inferir los tipos de roca existentes así
como los procesos que han modificado su composición, se utilizó
el método de diagramas triangulares, en el cual se obtiene el
anión y catión predominant e que definen el tipo o familia de
agua a que pertenece cada muestra analizada.

La clasificación obtenida por medio de los diagramas,
fué vaciada en el plano de la figura 14, en donde se delimitaron
las zonas que presentan diferentes familias de agua.

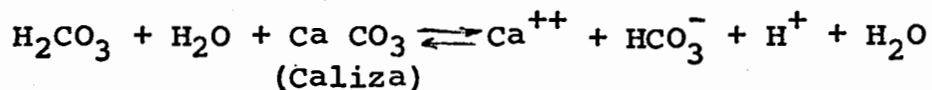
Se encontraron tres diferentes familias de agua de
acuerdo a la composición química del agua, éstas son:

Familia Cálcico - Bicarbonatada

Familia Sódico - Clorurada

Familia Mezcla Sódico - Clorurada y Cálcico-Bicarbonatada.

El agua de la Familia Cálcico-Bicarbonatada, se encuentra en la mayor parte de la zona. El predominio de los iones -- mencionados, en solución, es debido a la existencia de rocas calizas que conforman el acuífero de la región, las cuales son atacadas por el ácido carbónico del agua, disolviéndolas, de acuerdo a la siguiente reacción.



Al norte del área, en una franja costera de alrededor de 10 Kms., el agua pertenece a la familia Sódico-Clorurada, debido a la influencia del agua de mar que ha intrusionado e invadido al acuífero, debido principalmente a la gran permeabilidad de las rocas, lo cual no permite que se establezca una suficiente - carga hidráulica que impida la intrusión del agua marina.

Al sur de la zona con agua Sódico-Clorurada, se delimitó una franja paralela a la anterior que a su vez esencialmente paralela a la línea de costa, en la cual se encuentra una mezcla de agua de mar y agua de calizas, lo cual corresponde a una zona de transición entre el acuífero calizo de aguas dulces y -- la zona costera con intrusión salina.

En algunos aprovechamientos aislados, se encontró el agua de calizas, influenciada por agua de mar, la cual podría -- ser debido a la presencia de aguas saladas inferiores que se encuentran cerca de la superficie piezométrica.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la litología de las rocas aflorantes, se diferenciaron cinco unidades, dentro de la formación Carrillo -- Puerto.

Las rocas calcáreas de esta región permiten la circulación y almacenamiento de agua subterránea, la cual se recarga por la infiltración de la precipitación pluvial y circula de Sur a Norte, para descargar al mar.

El acuífero tiene una alta permeabilidad la cual ocasiona que el gradiente hidráulico sea muy bajo.

La permeabilidad del acuífero no es homogénea y está en relación con la litología de las rocas existentes.

Durante todo el año se registran lluvias, siendo éstas mínimas, del orden de 45 mm/mes en Enero y máximas de alrededor de 195 mm/mes en Junio.

Se obtuvieron 159 muestras de agua las cuales se analizaron químicamente y a partir de ello se determinó la calidad del agua en la parte superior del acuífero.

En la porción Central y Sur del área, el agua presenta bajos contenidos de sales, menores de 1200 ppm de S.T.D. en los cuales predominan los iones de calcio y bicarbonatos, siendo esta agua típica del acuífero calizo.

Hacia la línea de costa, se presenta una franja de 10 Km. de ancho, con agua entre 800 y 20 000 ppm de S.T.D. en la cual predominan los iones de sodio y cloro, debido a la intrusión de agua de mar que contamina el acuífero.

Mediante registros de salinidad se conoció la calidad del agua a diferentes profundidades, clasificandose ésta en agua dulce, agua de mediana calidad y agua salada, la cual se encuentra estratificada de acuerdo a su densidad, la más salada en la parte inferior y la de mejor calidad hacia la superficie.

Con registros continuos de conductividad se determinó la variación de la calidad del agua con respecto al tiempo, observandose que en los meses con pocas lluvias se registran leves incrementos en la salinidad del agua, mientras que durante los meses de alta precipitación, la cantidad de sales en el acuífero disminuye notablemente debido a que se diluye ésta, con el agua de lluvia.

El efecto de recarga de la precipitación pluvial sobre el acuífero es prácticamente inmediato.

En la porción Sur del área estudiada, es factible extraer volúmenes considerables de agua subterránea.

En una franja de 30 Km. de ancho, paralela a la línea de costa, la extracción de agua subterránea puede ocasionar la invasión de aguas saladas inferiores. Los volúmenes factibles de explotarse son reducidos y para ello deben de tomarse medidas especiales con el objeto de controlar su salinización.

BIBLIOGRAFIA

Back William and Bruce Hanshaw, 1967, Hydrogeology of the Northern Yucatan Peninsula, Mexico, 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, Volumen X, No. 4.

Butterlin Jacques y Federico Bonet, 1960, Las Formaciones Cenozoicas de la parte Mexicana de la Península de Yucatán, Instituto de Geología, U.N.A.M.

Lesser Illades Juan Manuel. 1976, "Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de la Península de Yucatán, Dirección de Geohidrología y de Zonas Aridas de la S.A.R.H.

Stringfield V. T. and A. W. Legrand, 1974, Karst Hydrology of Northern Yucatan Peninsula, Mexico, New Orleans Geological Society.

PLANO DE LOCALIZACION

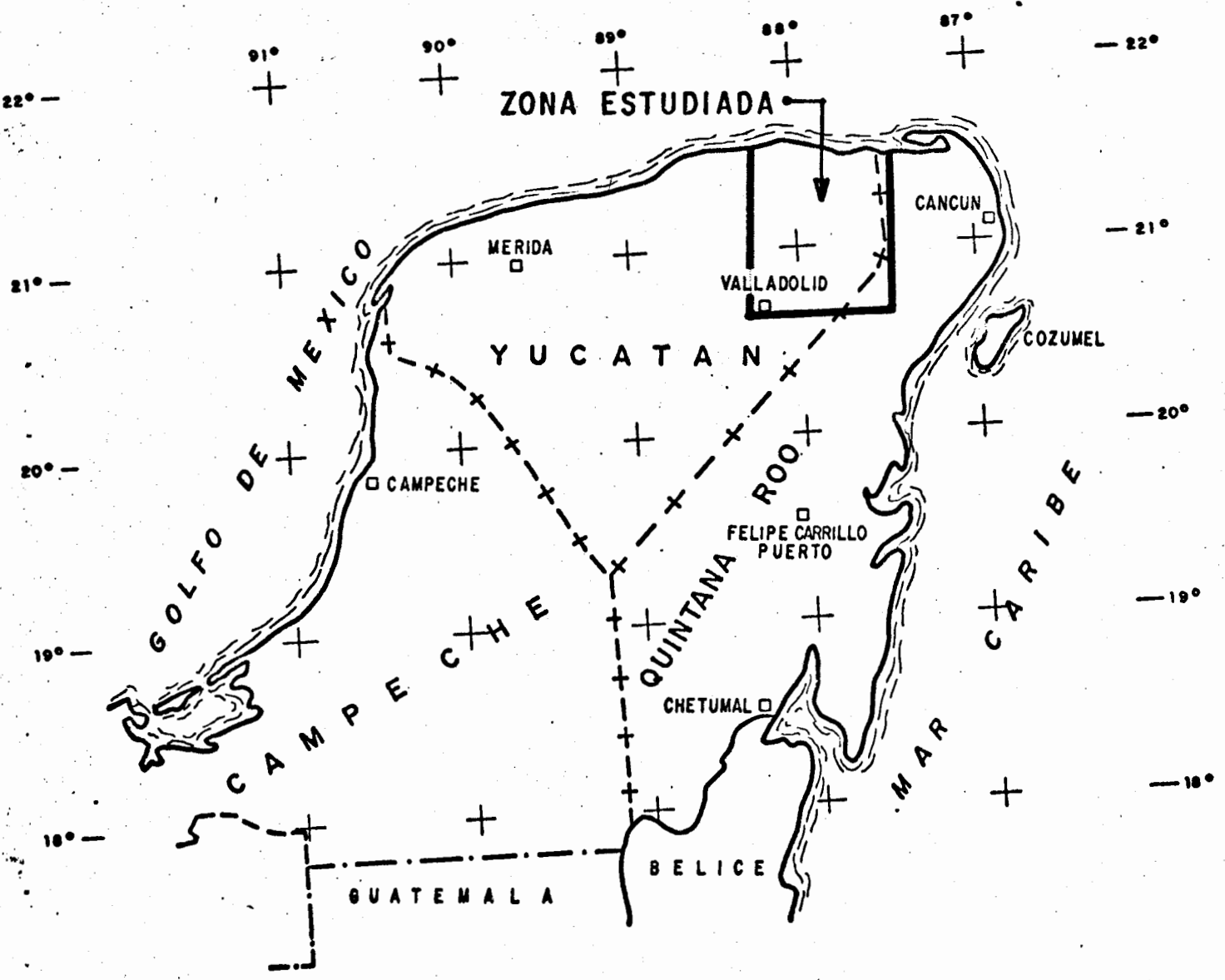


FIGURA No. 1

ZONA TIZIMIN - TIXCANAL, YUC.

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL

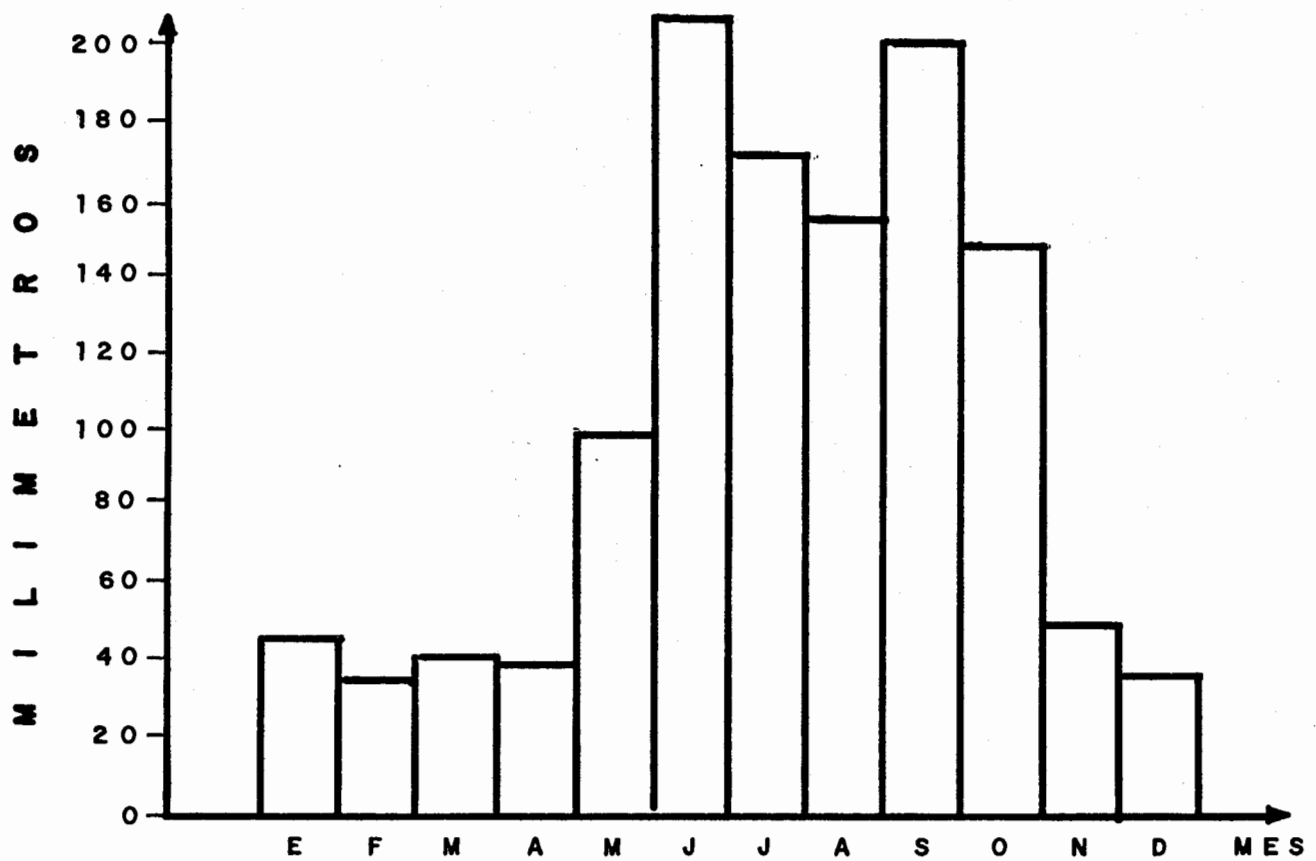


FIGURA No. 2

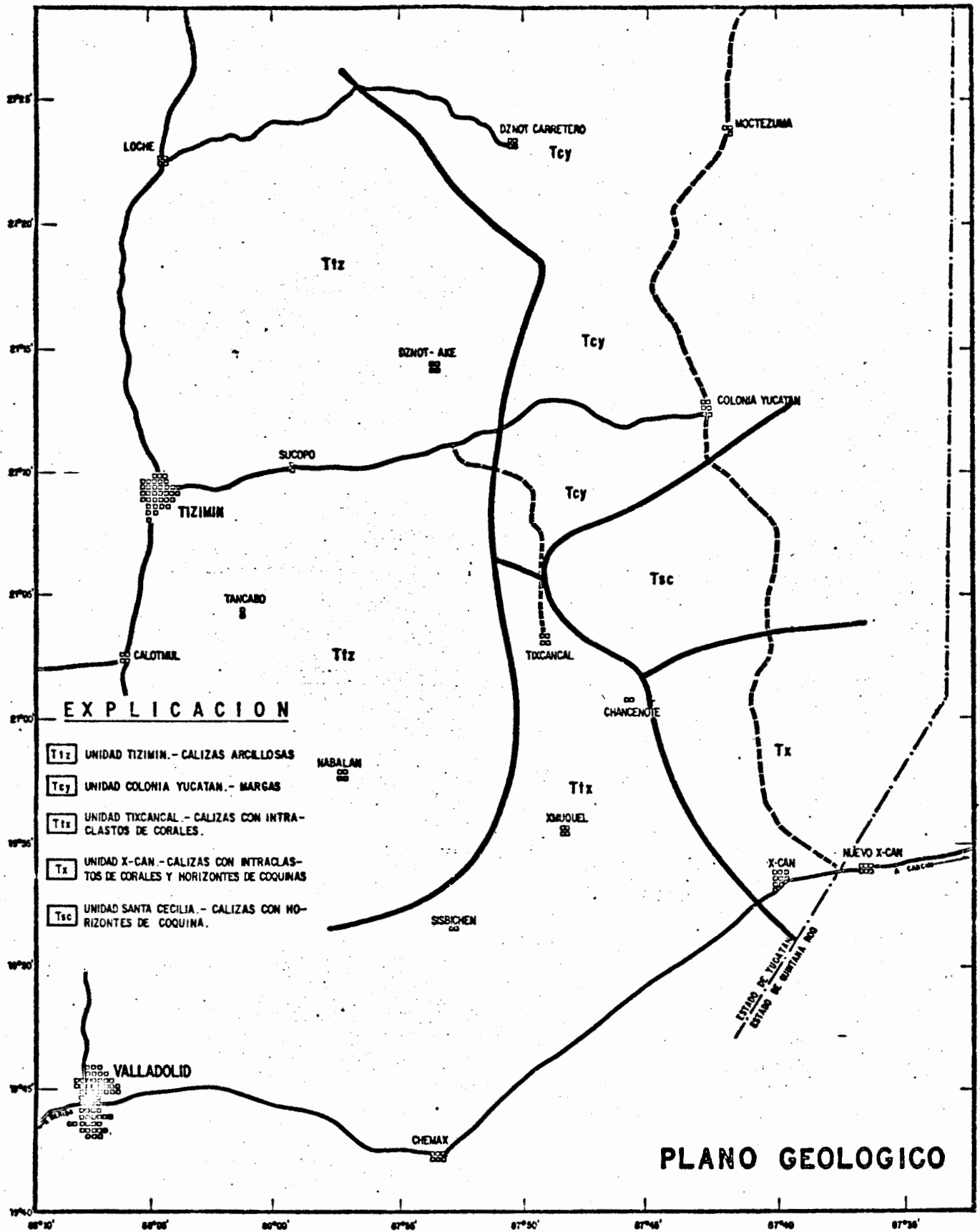
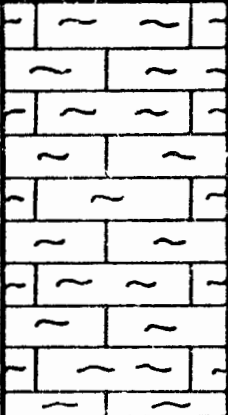
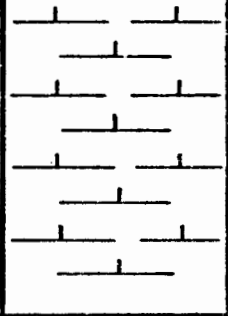
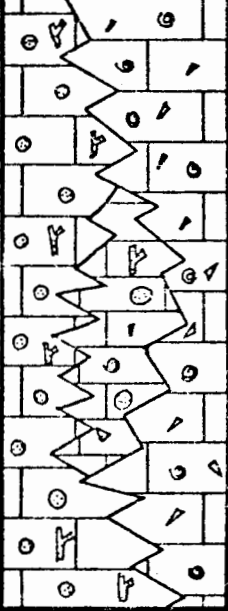


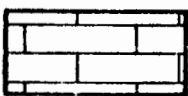
FIGURA No. 3

ZONA DE TIZIMIN

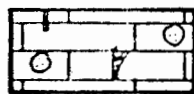
COLUMNA ESTRATIGRAFICA

EDAD	FORMACION	DESCRIPCION LITOLOGICA	SIMBOLOGIA
T E R C I A P L I O C E N O S U P E R I O R	UNIDAD TIZIMIN (Ttz)	CALIZA ARCILLOSA COMPACTA, CON ZONAS DE CALIZA PURA RECRISTALIZADA. PRESENTA COLORACION PARDO CLARO, EN OCACIONES LIGERAMENTE ROJIZO EN FORMA DE BANDAS DE POCOS MILIMETROS DE ANCHO. TIENE UN ESPESOR DE ± 2 m	
	UNIDAD COLONIA YUCATAN (Tcy)	MARGA BLANCA, ARCILLOSA, DELESNABLE, AMPLIAMENTE CONOCIDA EN LA REGION, COMO SASCAB. TIENE UN ESPESOR DE 1 a 5 m.	
	UNIDAD TIXCANCAL U-X-CAN (Tx) UNIDAD STA. CECILIA (Tsc)	CALIZA COMPACTA, GENERALMENTE MASIVA Y RECRISTALIZADA. OCACIONALMENTE CON ZONAS ARCILLO-CALCAREAS. PRESENTA COLORES BLANCO Y CREMA. TIENE UN CONTENIDO FAUNISTICO, HACIA EL NORTE, DE CONCHAS QUE EN OCACIONES FORMAN BANCOS DE COQUINAS. HACIA EL SUR PRESENTA INTRACLASTOS DE ARRECIFE.	

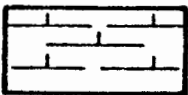
S I M B O L O G I A



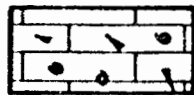
CALIZA ARCILLOSA



CALIZA CORALIFERA



MARGAS



COQUINA

FIGURA No. 4

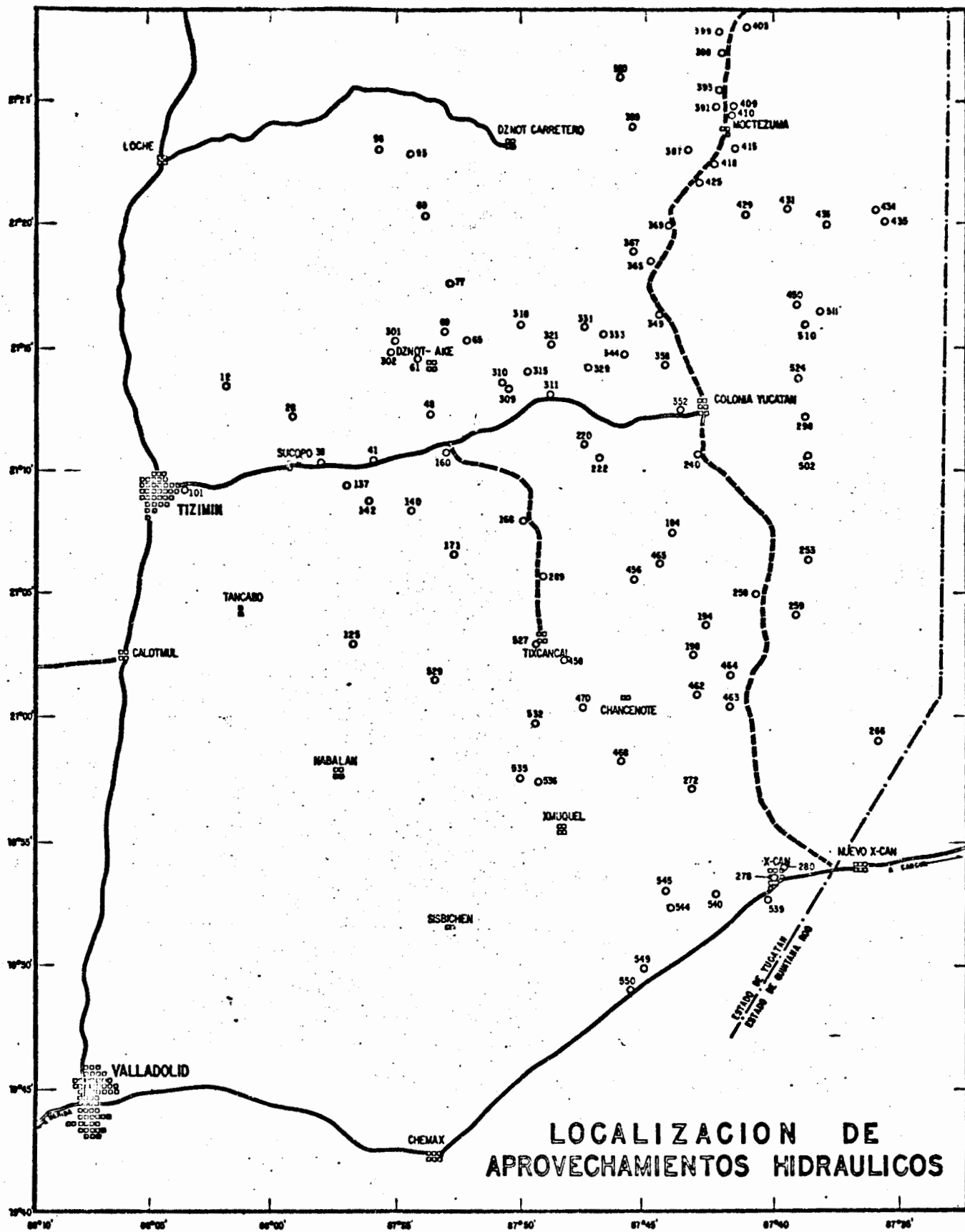


FIGURA No. 5

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA

ZONA TIXCACAL - TIZIMIN, EDO. DE YUCATAN

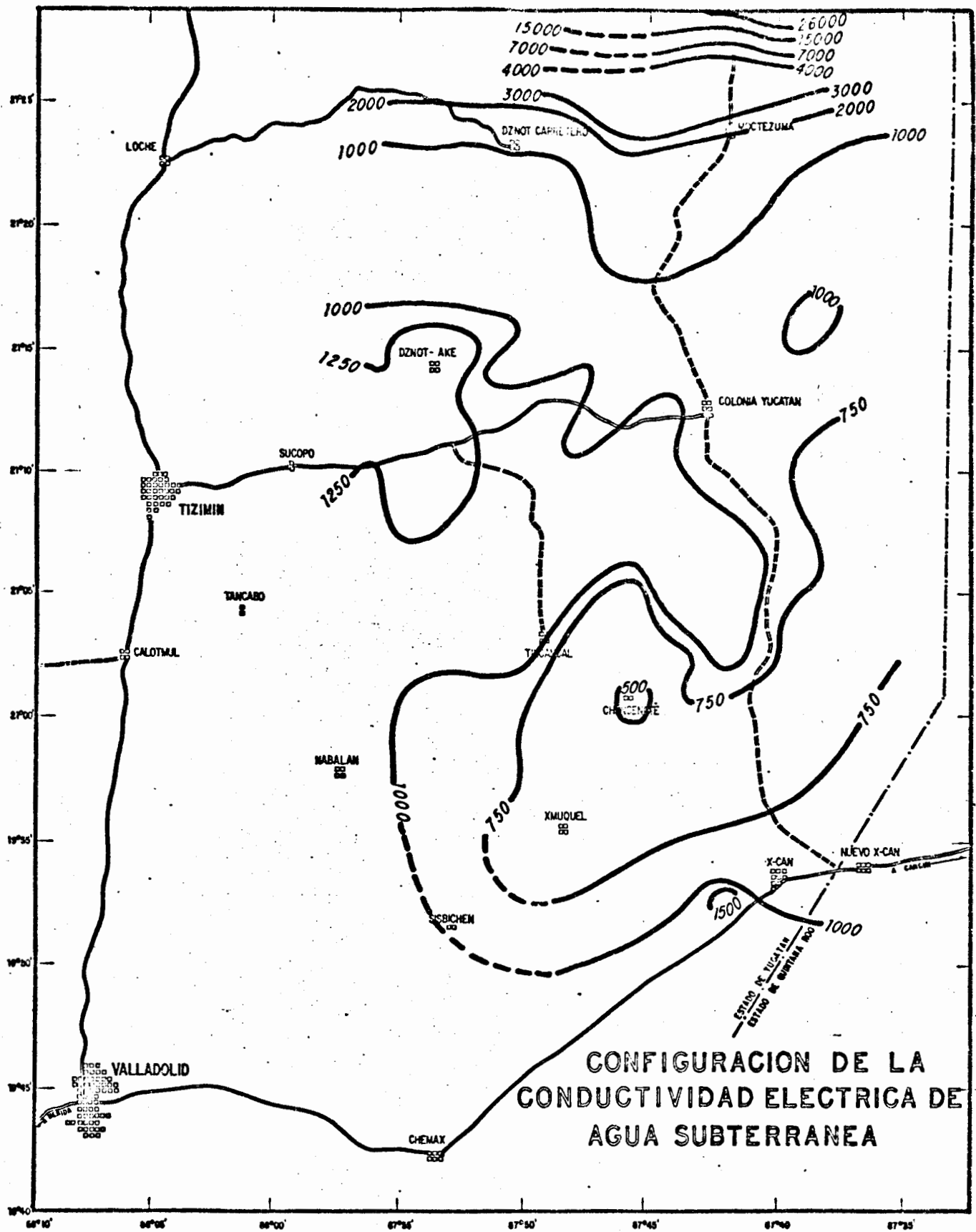
NOMBRE	TEMP °C	PH Lab	C.E. MMHOS/CM	ALCALINIDAD TOTAL PPM	DUREZA TOTAL PPM	DUREZA CALCIO PPM	DUREZA MAGNESIO PPM	S.T.D. PPM	Co PPM	Mg PPM	Na PPM	HCO ₃ PPM	CO ₃ PPM	CO ₃ ME/L	CI PPM	CI ME/L	SO ₄ PPM	SO ₄ ME/L				
545		7.40	940	367	350	295	55	715	118	5.88	13	1.06	58	2.54	468	7.34	0	0.00	71	2.00	7	0.14
399		7.12	11200	387	2500	1120	1380	5850	448	22.35	335	27.55	1178	51.25	472	7.73	0	0.00	3017	85.10	400	8.32
352		7.36	1200	390	240	390	0	729	156	7.78	0	0.00	37	1.62	475	7.78	0	0.00	48	1.35	13	0.27
535		7.35	780	322	310	280	30	625	112	5.58	7	0.57	47	2.06	393	6.44	0	0.00	56	1.57	10	0.20
272		7.92	640	274	295	250	45	499	100	4.99	11	0.90	22	0.97	294	4.81	19	0.63	45	1.26	8	0.16
544		7.68	760	381	365	240	125	697	96	4.79	30	2.46	46	2.02	464	7.60	0	0.00	55	1.55	6	0.12
20		7.80	1160	270	395	155	240	835	62	3.09	58	4.77	115	5.02	329	5.39	0	0.00	251	7.08	20	0.41
289		7.42	1200	396	435	345	90	913	138	6.88	21	1.72	95	4.16	483	7.91	0	0.00	161	4.54	15	0.31
266		7.62	990	292	375	220	155	740	88	4.39	37	3.04	77	3.38	356	5.83	0	0.00	163	4.59	19	0.39
540		7.36	1500	445	465	300	165	1219	120	5.28	40	3.22	195	8.49	543	8.89	0	0.00	296	8.35	25	0.52
398		7.55	3500	382	600	320	280	2244	128	6.38	68	5.59	552	24.04	466	7.63	0	0.00	940	26.51	90	1.87
536		7.62	680	300	270	230	40	568	92	4.59	9	0.74	48	2.12	366	5.99	0	0.00	49	1.38	4	0.08
259		8.05	600	292	300	175	125	518	70	3.49	30	2.46	37	1.63	281	4.60	37	1.23	55	1.55	10	0.20
12		7.60	1500	540	490	315	175	1293	126	6.28	42	3.45	196	8.54	658	10.78	0	0.00	252	7.10	19	0.39
318		7.55	1000	439	450	310	140	847	124	6.18	34	2.79	56	2.47	536	8.78	0	0.00	88	2.43	9	0.18
393		7.78	1900	444	480	340	140	1532	136	6.78	34	2.79	309	13.48	541	8.86	0	0.00	479	13.51	33	0.68
240		7.90	790	277	387	260	127	639	104	5.18	30	2.46	35	1.53	338	5.53	0	0.00	122	3.44	10	0.20
311		7.65	1000	517	500	320	180	983	128	6.38	43	3.29	78	3.42	631	10.34	0	0.00	83	2.34	20	0.41
358		7.70	1280	408	450	290	160	1038	116	5.78	38	3.12	139	6.05	497	8.14	0	0.00	225	6.34	23	0.47
527		7.35	1700	459	485	435	50	1300	174	8.69	12	0.98	208	9.07	559	9.16	0	0.00	319	8.99	28	0.58
500		7.82	820	387	380	280	100	717	112	5.58	24	1.97	44	1.91	472	7.73	0	0.00	53	1.49	12	0.24
401		7.40	26000	396	4125	800	3325	18274	320	15.96	808	66.46	5418	235.68	483	7.91	0	0.00	10295	290.42	950	19.77
398		7.63	950	408	340	237	103	803	94	4.69	25	2.05	91	3.97	497	8.14	0	0.00	78	2.20	18	0.37
45		7.58	1420	507	465	370	95	1203	148	7.38	23	1.89	172	7.48	618	10.12	0	0.00	218	6.14	24	0.49
309		7.62	1215	471	490	318	172	1040	127	6.33	41	3.37	111	4.86	574	9.40	0	0.00	172	4.85	15	0.31
278		8.10	830	300	390	240	150	590	96	4.79	36	2.96	10	0.47	366	5.99	0	0.00	72	2.03	10	0.20
41		7.63	1130	532	500	350	150	1035	140	6.98	36	2.96	91	3.98	649	10.63	0	0.00	111	3.13	8	0.16
321		7.55	980	447	405	325	80	1011	130	6.48	19	1.56	135	5.91	545	8.93	0	0.00	168	4.73	14	0.29
468		7.52	705	277	340	310	30	517	124	6.18	7	0.57	1	0.04	338	5.53	0	0.00	40	1.12	7	0.14

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA

NOMBRE	TEMP °C	PH Leb	C.E. MMHOS/CM	ALCALINIDAD TOTAL ppm	DUREZA TOTAL ppm	DUREZA CALCIO ppm	DUREZA MAGNESIO ppm	S.T.O. ppm	Ca ppm	Ca me/l	Mg ppm	Mg me/l	Na ppm	Na me/l	HCO ₃ ppm	HCO ₃ me/l	CO ₃ ppm	CO ₃ me/l	Cl ppm	Cl me/l	SO ₄ ppm	SO ₄ me/l
470		7.38	705	412	400	320	80	749	128	6.38	19	1.56	42	1.85	503	8.24	0	0.00	51	1.43	6	0.12
28		7.75	1600	495	640	395	245	1166	158	7.88	59	4.85	93	4.05	604	9.89	0	0.00	224	6.31	28	0.58
280		7.55	940	367	490	308	182	667	123	6.13	44	3.61	0	0.00	448	7.34	0	0.00	42	1.18	10	0.20
511		7.32	1300	435	470	380	90	1064	152	7.58	21	1.72	131	5.72	530	8.68	0	0.00	211	5.95	19	0.39
464		7.42	810	387	400	310	90	730	124	6.18	21	1.72	41	1.81	472	7.73	0	0.00	66	1.06	6	0.12
463		7.38	710	393	320	315	5	741	136	6.28	1	0.08	73	3.18	479	7.85	0	0.00	56	1.57	6	0.12
502		7.52	680	352	320	290	30	666	116	5.78	7	0.57	53	2.32	430	7.04	0	0.00	53	1.49	7	0.14
482		7.47	820	300	380	280	10	625	112	5.58	24	1.97	25	1.09	366	5.99	0	0.00	85	2.39	13	0.26
510		7.32	1250	385	490	428	62	1026	171	8.33	15	1.23	116	5.05	470	7.70	0	0.00	248	6.99	6	0.12
188		7.43	1150	409	450	390	60	960	156	7.78	14	1.15	102	4.45	499	8.17	0	0.00	174	4.90	15	0.31
160		8.08	695	367	340	340	0	695	136	6.78	0	0.00	50	2.18	448	7.34	0	0.00	49	1.38	12	0.24
140		7.52	1250	450	480	390	90	1017	156	7.78	21	1.72	106	4.64	549	8.99	0	0.00	177	4.99	8	0.16
302		7.62	1050	442	420	360	60	1086	144	7.18	14	1.15	157	6.86	539	8.93	0	0.00	209	5.89	23	0.47
349		7.80	740	232	325	225	100	511	90	4.49	24	1.97	18	0.79	283	4.63	0	0.00	86	2.42	10	0.20
549		7.45	1140	447	475	300	175	1040	120	5.98	42	3.45	122	5.33	545	8.93	0	0.00	195	5.50	16	0.33
184		7.90	1150	292	405	320	85	826	128	6.38	20	1.64	94	4.12	356	5.93	0	0.00	213	6.00	15	0.31
333		7.75	860	292	360	325	35	676	130	6.48	8	0.65	52	2.28	356	5.93	0	0.00	120	3.38	10	0.20
137		7.82	1100	412	440	362	78	904	144	7.18	19	1.56	85	3.71	503	8.24	0	0.00	140	3.24	13	0.27
198		7.80	660	294	390	360	30	625	144	7.18	7	0.57	18	0.78	358	5.86	0	0.00	87	2.45	11	0.22
142		7.42	980	469	440	315	125	960	125	6.28	30	2.46	98	4.30	572	9.37	0	0.00	120	3.38	14	0.29
194		7.60	1040	477	450	315	131	959	126	6.20	32	2.63	93	4.06	582	9.53	0	0.00	131	3.11	15	0.31
532		7.58	575	300	280	275	5	551	110	5.48	1	0.08	34	1.51	366	5.99	0	0.00	35	0.98	5	0.10
65		7.55	1300	525	490	278	212	1141	111	5.53	51	4.19	141	6.16	640	10.48	0	0.00	173	4.88	25	0.52
529		7.52	620	273	280	305	0	526	122	6.08	0	0.00	18	0.80	333	5.45	0	0.00	46	1.29	7	0.14
329		7.62	1100	426	410	350	60	964	140	6.98	14	1.15	119	5.20	512	8.39	0	0.00	165	4.65	14	0.29
315		7.76	860	472	475	350	125	861	140	6.98	30	2.46	44	1.94	576	9.44	0	0.00	64	1.80	7	0.14
331		7.72	880	420	420	305	115	882	122	6.08	28	2.30	85	3.70	512	8.39	0	0.00	120	3.18	15	0.31
550		7.45	1040	444	390	300	90	981	120	5.98	21	1.72	132	5.77	541	8.86	0	0.00	154	4.34	13	0.27
69		7.35	1250	393	510	320	190	904	128	6.38	46	3.78	64	2.80	479	7.95	0	0.00	166	4.68	21	0.41

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA

NOMBRE	TEMP °C	PH Lab	C.E. MMHOSOM	ALCALINIDAD TOTAL ppm	DUREZA CALCIO ppm	DUREZA MAGNESIO ppm	S.T.D. ppm	Ca ppm	Ca me/l	Mg ppm	Mg me/l	Na ppm	Na me/l	HCO ₃ ppm	HCO ₃ me/l	CO ₃ ppm	CO ₃ me/l	Cl ppm	Cl me/l	SO ₄ ppm	SO ₄ me/l
171		7.53	1080	432	340	332	8	1019	132	6.58	2	0.16	165	527	8.63	0	0.00	177	4.99	16	0.33
539		7.60	485	270	240	172	68	502	68	3.32	16	1.31	44	329	5.39	0	0.00	40	1.12	5	0.10
524		7.47	740	322	300	300	0	622	120	5.98	0	0.00	48	393	6.44	0	0.00	53	1.49	8	0.16
61		7.65	1250	402	395	182	213	1058	72	3.59	51	4.19	176	490	8.03	0	0.00	248	6.99	21	0.43
403		7.52	7600	588	1085	320	765	4358	128	6.38	185	15.21	1181	534	8.75	0	0.00	2130	60.08	200	4.16
77		7.60	900	399	396	278	118	771	111	5.53	28	2.30	58	486	7.96	0	0.00	81	2.28	7	0.14
389		7.42	3500	442	1208	740	468	2341	296	14.77	113	9.29	328	539	8.83	0	0.00	994	28.04	71	1.47
418		7.35	1200	420	337	337	0	1035	134	6.68	0	0.00	175	512	8.39	0	0.00	198	5.59	16	0.33
307		7.31	1410	460	410	370	40	1190	140	7.30	0	0.74	199	471	9.15	0	0.00	240	6.99	21	0.47
125		7.62	1260	405	430	390	40	1011	156	7.78	9	0.74	130	494	8.09	0	0.00	201	5.67	21	0.43
425		7.68	970	360	406	406	0	913	162	8.08	0	0.00	108	439	7.19	0	0.00	186	5.24	18	0.37
456		7.62	620	292	2888	284	4	544	113	5.63	1	0.08	30	356	5.83	0	0.00	42	1.18	2	0.04
409		7.42	1650	288	470	375	95	996	150	7.48	23	1.89	132	351	5.75	0	0.00	310	8.74	30	0.62
358		7.55	940	273	406	350	56	651	140	6.98	13	1.06	28	333	5.45	0	0.00	131	3.69	6	0.12
220		7.70	930	287	380	312	68	800	124	6.18	16	1.31	75	472	7.73	0	0.00	97	2.73	16	0.33
429		7.60	1180	412	350	345	5	1001	138	6.88	1	0.08	157	503	8.24	0	0.00	186	5.24	16	0.33
253		7.55	900	382	360	295	65	832	118	5.88	15	1.23	97	466	7.63	0	0.00	124	3.49	12	0.24
434		7.42	550	255	225	185	40	543	74	3.69	9	0.74	67	311	5.09	0	0.00	76	2.14	6	0.12
436		7.35	980	288	400	400	0	642	160	7.98	0	0.00	18	351	5.75	0	0.00	94	2.65	19	0.33
461		7.48	480	277	240	220	20	503	88	4.39	5	0.41	38	338	5.53	0	0.00	32	0.90	2	0.04
95		7.95	1200	273	462	222	240	792	88	4.39	58	4.77	69	333	5.45	0	0.00	227	6.40	17	0.35
38		7.25	1600	570	300	300	0	1294	120	5.98	0	0.00	231	695	11.39	0	0.00	190	5.35	8	0.16
344		7.38	845	390	321	375	0	726	150	7.48	0	0.00	43	475	7.78	0	0.00	53	1.49	5	0.10
93		8.00	470	255	255	180	75	425	72	3.59	18	1.48	23	276	4.52	17	0.56	31	0.89	5	0.10
89		7.73	860	315	352	335	17	667	134	6.68	4	0.32	45	384	6.29	0	0.00	85	2.39	15	0.31
310		8.15	660	435	370	155	215	733	62	3.09	52	4.27	52	530	8.68	0	0.00	30	0.84	7	0.14
301		7.32	1450	457	510	400	110	1088	160	7.98	26	2.13	119	558	9.14	0	0.00	204	5.75	21	0.43
367		7.42	1150	693	490	470	20	862	188	9.38	4	0.32	47	479	7.85	0	0.00	124	3.49	20	0.41
365		7.75	1200	408	435	435	0	938	174	8.68	0	0.00	91	497	8.14	0	0.00	115	3.24	61	1.27



**CONFIGURACION DE LA
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DE
AGUA SUBTERRANEA**

FIGURA No. 7

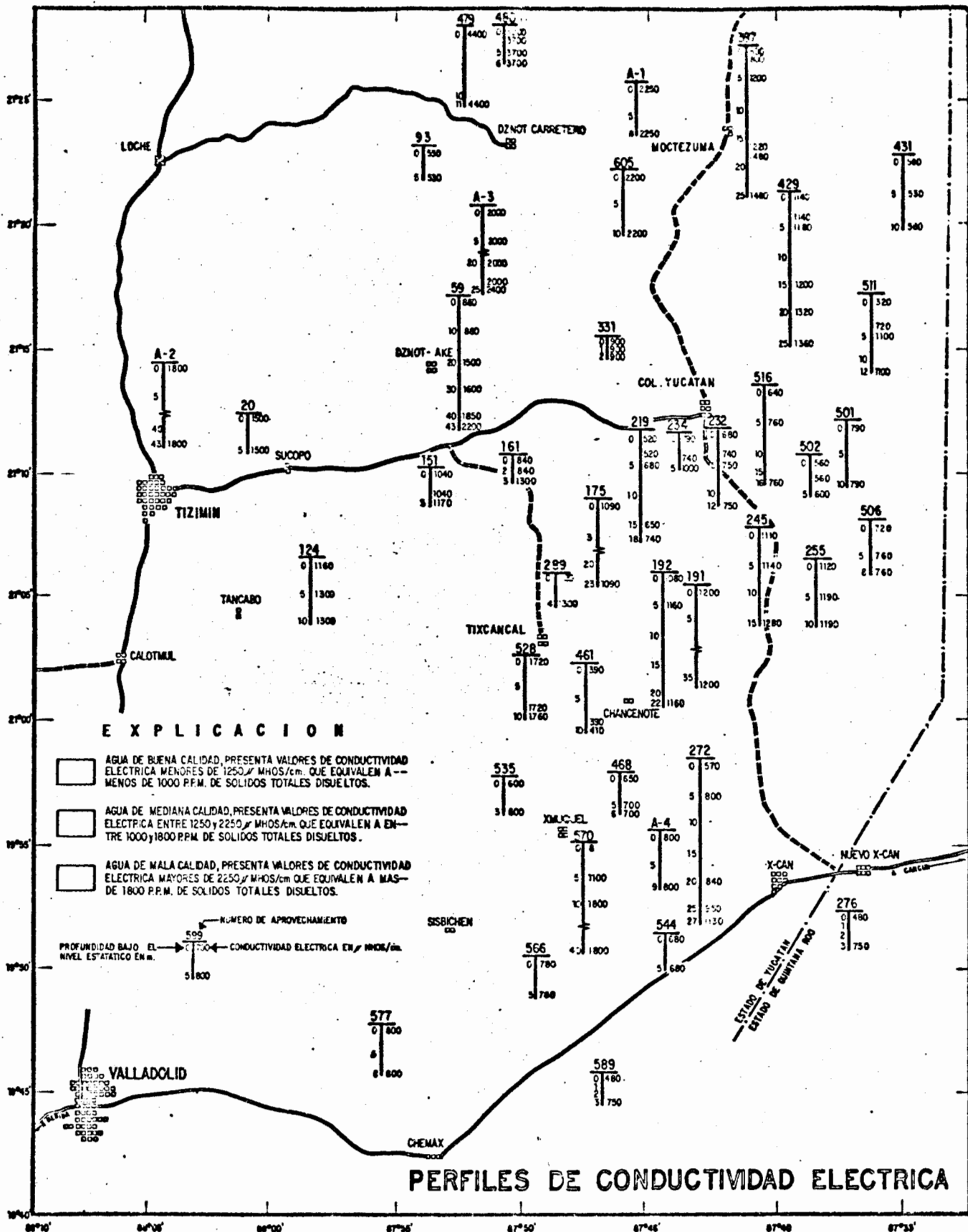
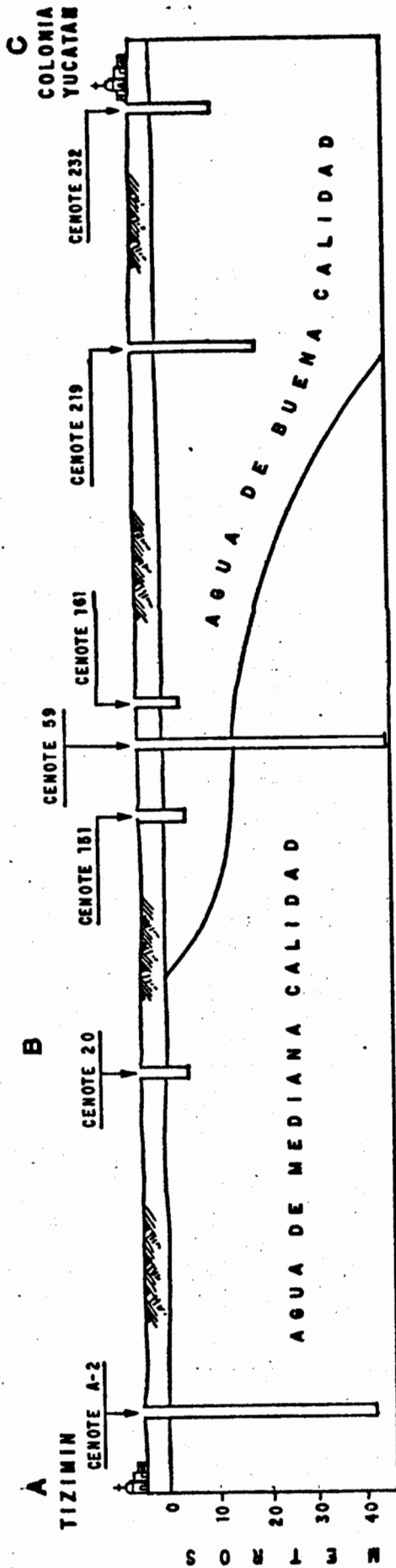


FIGURA. No. 8

SECCION HIDROGEOQUIMICA ILUSTRATIVA



E X P L I C A C I O N

- AGUA DE BUENA CALIDAD PRESENTA VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA MENORES DE 1200 μ MHOS/cm QUE EQUIVALEN A MENOS DE 1000 PPM. DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.
- AGUA DE MEDIANA CALIDAD PRESENTA VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA ENTRE 1200 Y 2200 μ MHOS/cm. QUE EQUIVALEN A ENTRE 1000 Y 1800 PPM. DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.
- AGUA DE MALA CALIDAD PRESENTA VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA MAYORES DE 2200 μ MHOS/cm. QUE EQUIVALEN A MAS DE 1800 PPM. DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.

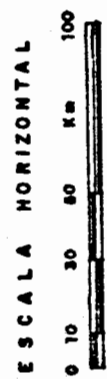
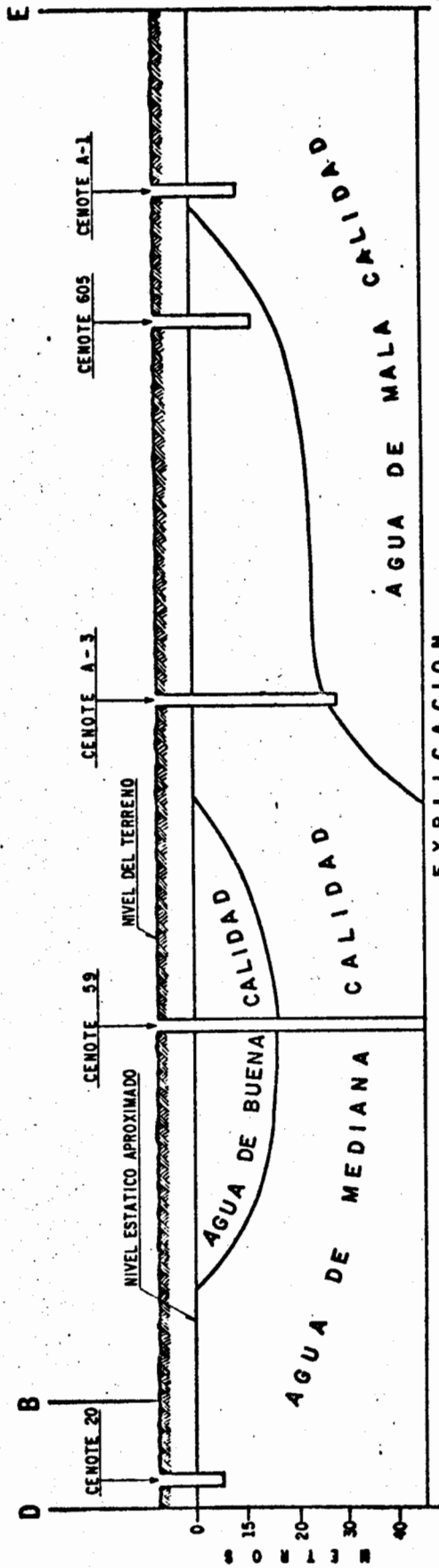


FIGURA No. 9

SECCION HIDROGEOQUIMICA ILUSTRATIVA



AGUA DE BUENA CALIDAD. PRESENTA VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA MENORES DE 1250 μ MHOS/cm QUE EQUIVALEN A MENOS DE 1000 ppm. DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.

AGUA DE MEDIANA CALIDAD. PRESENTA VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA ENTRE 1250 Y 2250 μ MHOS/cm QUE EQUIVALEN A ENTRE 1000 Y 1800 ppm. DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.

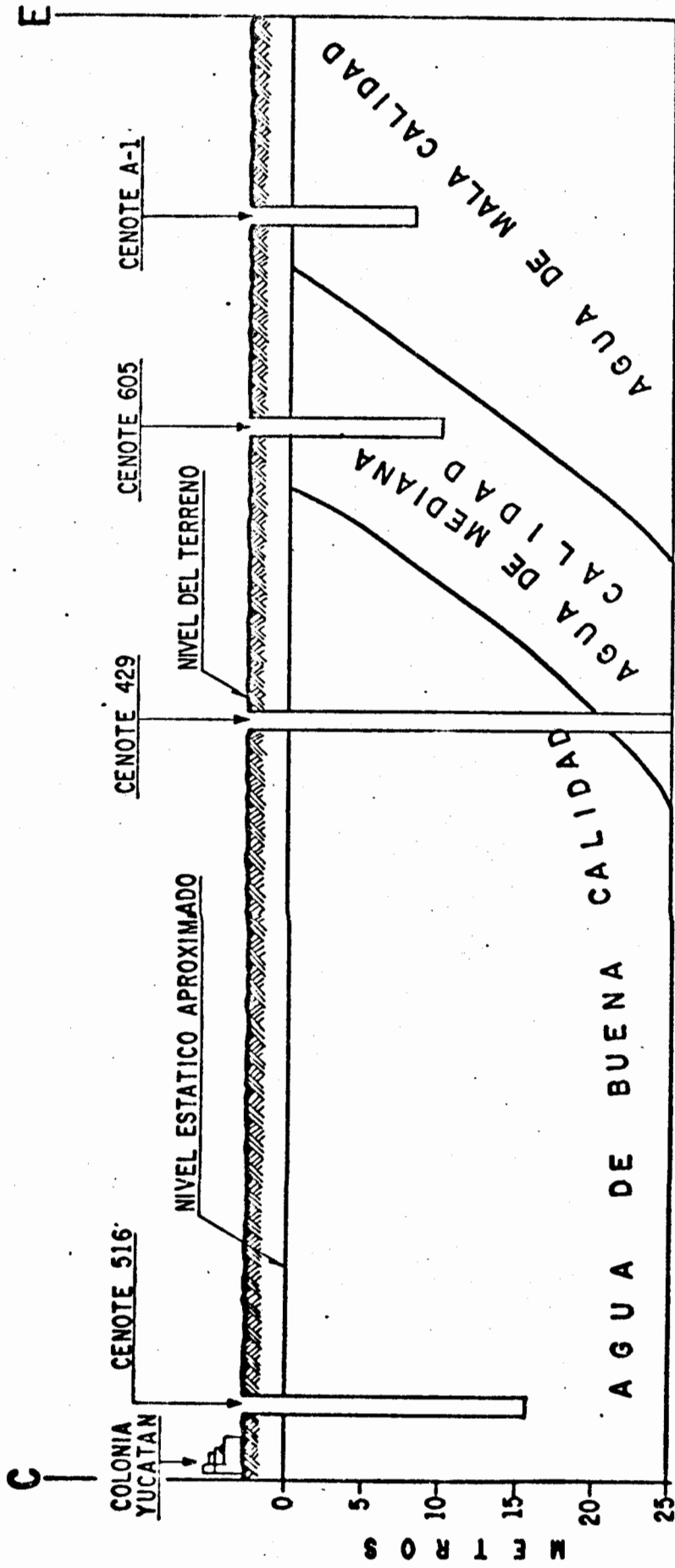
AGUA DE MALA CALIDAD. PRESENTA VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA MAYORES DE 2250 μ MHOS/cm QUE EQUIVALEN A MAS DE 1800 ppm. DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.

EXPLICACION




FIGURA No. 10

SECCION HIDROGEOQUIMICA ILUSTRATIVA



EXPLICACION


 AGUA DE BUENA CALIDAD. PRESENTA VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA MENORES DE 1250 μ MHOS/cm QUE EQUIVALEN A MENOS DE 1000 ppm DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.


 AGUA DE MEDIANA CALIDAD. PRESENTA VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA ENTRE 1250 Y 2250 μ MHOS/cm. QUE EQUIVALEN A ENTRE 1000 Y 1800 ppm DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.

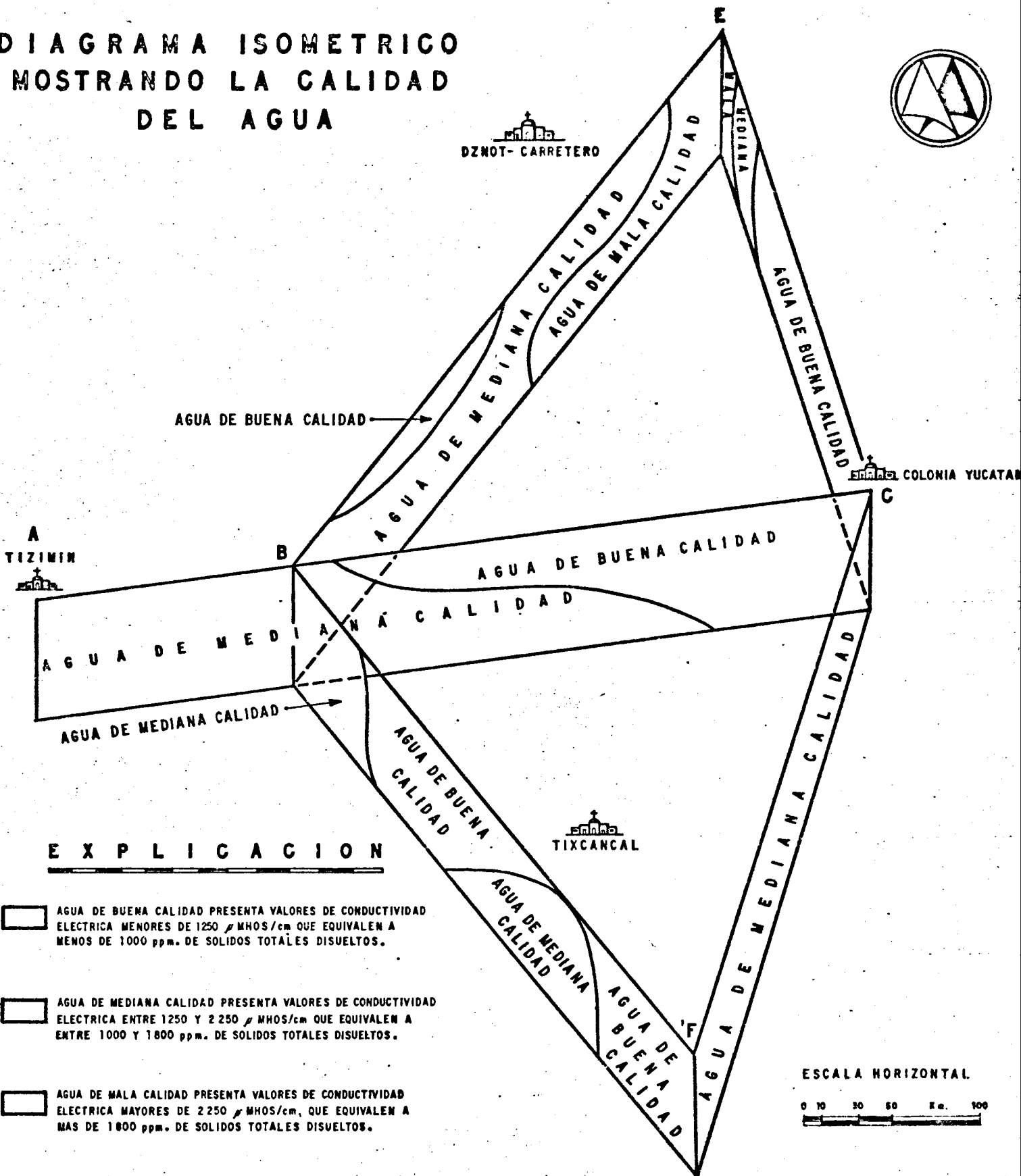

 AGUA DE MALA CALIDAD. PRESENTA VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA MAYORES DE 2250 μ MHOS/cm. QUE EQUIVALEN A MAS DE 1800 ppm. DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.

ESCALA HORIZONTAL






FIGURA No. II

DIAGRAMA ISOMETRICO MOSTRANDO LA CALIDAD DEL AGUA



EXPLICACION

-  AGUA DE BUENA CALIDAD PRESENTA VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA MENORES DE 1250 μ MHOS/cm QUE EQUIVALEN A MENOS DE 1000 ppm. DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.
-  AGUA DE MEDIANA CALIDAD PRESENTA VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA ENTRE 1250 Y 2 250 μ MHOS/cm QUE EQUIVALEN A ENTRE 1000 Y 1 800 ppm. DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.
-  AGUA DE MALA CALIDAD PRESENTA VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA MAYORES DE 2 250 μ MHOS/cm, QUE EQUIVALEN A MAS DE 1 800 ppm. DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.

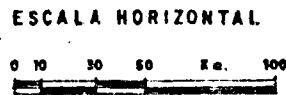


FIGURA No. 12

