

**UNIVERSIDAD DE SONORA**  
ESCUELA DE AGRICULTURA Y GANADERIA

DETECCION DE LA PRESENCIA DE BARIO EN EL AGUA  
SUBTERRANEA EN LA FRANJA COSTERA DEL VALLE  
DE GUAYMAS, SONORA.

**TESIS**

*George Feo. Montes de Oca Ponce de León*

MARZO DE 1989

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

DETECCION DE LA PRESENCIA DE BARIO EN EL AGUA SUBTERRANEA  
EN LA FRANJA COSTERA DEL VALLE DE GUAYMAS, SONORA

TESIS

Sometida a la consideración de la  
Escuela de Agricultura y Ganaderia

de la

Universidad de Sonora

por

Jorge Francisco Montes de Oca Ponce de León

Como requisito parcial para obtener  
el título de Ingeniero Agrónomo  
con especialidad en Irrigación.

Marzo de 1989

Esta tesis fué realizada bajo la dirección del consejo particular, aprobada y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

INGENIERO AGRUNONO EN:  
IRRIGACION

CONSEJO PARTICULAR

ASESOR: \_\_\_\_\_



Dr. José Castillo Gurrola

CONSEJERO: \_\_\_\_\_



M.C. Marco Antonio Huez López

CONSEJERO: \_\_\_\_\_



Ing. Francisco Antonio Preciado Flores

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sonora por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios profesionales.

Al Dr. José Castillo Gurroia por su apoyo, consejos y esfuerzo brindados para la realización de éste trabajo, gracias.

Al M.C. Marco Antonio Huez López por su apoyo brindado para la realización de éste trabajo.

Al Ing. Francisco Antonio Preciado Flores por la ayuda en la revisión de éste trabajo.

A la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos por las facilidades brindadas para la realización de este trabajo.

Al Buffete Tecnológico Universitario de la Escuela de Ciencias Químicas por las facilidades brindadas para la realización de este trabajo.

Al Centro de Calculo de la Universidad de Sonora por las facilidades brindadas para la realización de este trabajo.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en la realización de éste trabajo.

## DEDICATORIA

A mi padre, por todo su apoyo brindado a través de mi vida como estudiante y en especial en mi carrera profesional; por sus consejos, y esfuerzos realizados para la culminación de mi carrera, mil gracias.

A mi madre, por todo su apoyo y consejos; por alentarme siempre a seguir adelante, mil gracias.

A mis hermanos, Claudia y Julio por todo su apoyo brindado, gracias.

A Connie, por esos detalles que me motivaron siempre a seguir adelante, por todo su amor, gracias de todo corazón.

A mis maestros, amigos y compañeros gracias por todo.

## INDICE

	Página
I.-INTRODUCCION.....	1
1.1.-Objetivos.....	2
II.-LITERATURA REVISADA.....	3
2.1.-Importancia del agua subterránea.....	3
2.2.-La explotación del agua subterránea en México y en Sonora.....	5
2.3.-La calidad del agua subterránea.....	9
2.4.-La calidad química del agua subterránea.....	11
2.5.-Los elementos mayores, menores y trazas.....	14
2.6.-Los elementos menores y trazas.....	16
2.7.-Metales Alcalinotérreos.....	17
2.8.-Toxicidad y contaminación en el agua subterránea.....	21
2.9.-Muestreo, análisis e interpretación.....	30
III.-MATERIALES Y METODOS.....	33
3.1.-Localización geográfica.....	33
3.2.-Geología.....	41
3.3.-Hidrología.....	45
3.4.-Hidrogeología.....	46
3.5.-Metodología y materiales para el muestreo análisis e interpretación.....	52
IV.-RESULTADOS.....	54
V.-CONCLUSIONES.....	61
VI.-RECOMENDACIONES.....	62
VII.-BIBLIOGRAFIA.....	63

## INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro No.	Página
1 Los elementos mayores, menores y trazas en aguas potables.....	14
2 Elementos menores y trazas en aguas potables.....	15
3 Limites de toxicidad.....	28
4 Identificación de muestras.....	35
5 Temperaturas medias mensuales.....	37
6 Precipitaciones medias mensuales.....	39
7 Evaporaciones medias mensuales.....	40
8 Resultados de los análisis químicos.....	55
9 Resultados de los análisis físicos.....	57
10 Resultados de los análisis de Bario.....	59

### Figura No.

1 Localización geográfica del área de estudio.....	34
2 Isoyetas.....	38
3 Piezometría.....	51

## RESUMEN

El presente trabajo consistió en recabar, analizar y complementar la información existente de la franja costera del acuífero del Valle de Guaymas, Sonora.

Esto con el propósito de confirmar la presencia de Bario (Ba<sup>++</sup>) en el acuífero.

El Bario (Ba<sup>++</sup>) pertenece a los oligoelementos más abundantes de la litósfera superior, se caracteriza geoquímicamente, porque, a pesar de su abundancia bastante grande, no forma minerales independientes en las rocas ígneas más que en casos excepcionales.

El medio más abundante del Bario (Ba<sup>++</sup>) en las rocas ígneas es la estructura feldespática, como los feldespatos potásicos; y le siguen de importancia la moscovita y la biotita.

El Bario está concentrado a veces, en las cenizas de las plantas terrestres y acuáticas, puede sustituir en las plantas al calcio y al magnesio.

El Bario se encuentra tanto en los animales terrestres como en los marinos, sin embargo los animales no lo toman en concentraciones considerables; en grandes dosis, el Bario es venenoso para los animales superiores.

Se recolectaron al azar 34 muestras de agua, de los pozos y norias situados en la franja costera del Valle de Guaymas.

Se determinaron las características físico y químicas; se analizó Bario ( $Ba^{++}$ ) por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica, para verificar su presencia en el acuífero.

Según los resultados obtenidos de las muestras de agua, se puede afirmar que existe bario en el acuífero ya que en varias de las muestras se reporta concentraciones y algunas sobrepasan el límite establecido por el diario oficial de la federación.

## I.- INTRODUCCION

En algunas regiones del país, a falta de agua superficial, para suplir las necesidades agrícolas, industriales, domésticas y recreativas, se utilizan las aguas subterráneas. Es muy importante que esta explotación, se haga en una forma controlada de tal manera que no afecte la calidad y la cantidad de estas reservas que la naturaleza ha ido acumulando en millones de años y que, el hombre con un mal manejo puede acabar o degradar en un corto periodo de tiempo.

El desarrollo agrícola del Valle de Guaymas que se encuentra enclavado en una región semidesértica, casi carente de escurrimiento superficial tuvo que basarse en la explotación del único recurso hidráulico permanentemente disponible: el Agua Subterránea. Hasta 1940, el aprovechamiento de éste recurso era apenas incipiente; sólo existían algunas captaciones que operaban con fines domésticos y para abastecimiento de agua potable en las ciudades de Guaymas y Empalme. Para 1954, existían ya más de 100 pozos agrícolas.

Desafortunadamente, este vertiginoso desarrollo tuvo lugar sin un conocimiento previo de la potencialidad acuifera del valle, iniciándose una seria explotación del recurso hidráulico. Los efectos perjudiciales no se hicieron esperar: los niveles del agua subterránea, que en condiciones naturales se encontraban varios metros arriba

2

del nivel del mar, se abatieron rápidamente y para 1957 ya se encontraban abajo de dicho nivel en la mayor parte de la zona de riego; a su vez, esto trajo consigo el avance tierra adentro del agua del mar.

No obstante lo anterior, se continuó con la perforación de pozos, en 1967 existían más de 250 pozos. El descenso de los niveles de agua inutilizó numerosas captaciones, la intrusión salina fué invadiendo el acuífero, volviéndose práctica común la suspensión y relocalización de pozos por el exceso de salinidad del agua.

Castillo (1986), detectó la presencia de bario en el acuífero del Valle de Guaymas, en concentraciones mayores de los límites fijados por los organismos de salud pública.

#### 1.1.- Objetivos

Confirmar la presencia de Bario y observar sus concentraciones en el acuífero.

## II.- LITERATURA REVISADA

### 2.1.- Importancia del agua subterránea.

Los recursos hidráulicos se manifiestan como elementos del ciclo hidrológico, que comprende el agua contenida en la atmósfera, la tierra y los océanos.

La precipitación, el agua superficial y parte del agua subterránea se renueva anualmente; de esta última, otra parte que es susceptible de aprovecharse está formada por un volumen almacenado no renovable que puede emplearse solo una vez y que es producto de un almacenamiento de siglos.

En ocasiones, el uso de agua subterránea resulta preferible al uso del agua superficial, debido a su mejor calidad, disponibilidad uniforme a lo largo de todo el año, su amplia distribución en los acuíferos regionales y la posibilidad de hacer aprovechamientos graduales con inversiones iniciales reducidas. Sin embargo, su uso requiere tomar en cuenta la interrelación que tiene con el agua superficial ya que por un lado, la explotación de un acuífero implica en muchas ocasiones la disminución del flujo base de un río y de la descarga de manantiales que en zonas con escasez de agua se aprovechan ampliamente; y por otro lado, la intercepción del escurrimiento superficial mediante obras artificiales puede disminuir o cambiar la distribución de la recarga a los acuíferos, debido a la infiltración en los ríos y en las conducciones.

En México, el agua subterránea es un recurso hidráulico importante, ya que actualmente por medio de él se abastece el 70% de las demandas urbano-industriales y el 30% de las de riego. Desafortunadamente, su explotación en una buena parte del país se ha desarrollado en una forma anárquica sin que se hayan tomado en cuenta las consecuencias adversas que pueden derivarse de esa explotación, dando como resultado una explotación irracional destructiva que pone en peligro el suministro de agua.

Adicionalmente deben considerarse las repercusiones económicas que pueden acarrear la explotación inconsciente, ya que existen casos en que se han provocado efectos dramáticos como el abandono de costosas obras de infraestructura por la intrusión salina del mar, que contamina a los acuíferos; por el abatimiento de los niveles de agua, que inutiliza norias, galerías y manantiales, o por el hundimiento de terrenos, que afecta a las construcciones urbanas y a los sistemas de agua potable y alcantarillado.

En gran parte del territorio nacional el agua subterránea constituye, en materia de abastecimiento de agua, el recurso único complementario para satisfacer las diferentes demandas generadas por el desarrollo. (31).

## 2.2.- La explotación del agua subterránea en México y en Sonora.

El agua subterránea en México constituye uno de los recursos hidráulicos más importantes, principalmente para sus regiones áridas y semiáridas, que cubren más del 60% del área del país, motivo por el cual su aprovechamiento en dichas zonas se ha llevado a cabo en forma intensiva, siendo en muchos casos la base del auge económico alcanzado en ellas.

La explotación intensiva del agua subterránea en México se inició en 1950, año a partir del cual se crearon los más importantes distritos de riego del país; sin embargo en ese entonces no se contaba con la tecnología adecuada para determinar el comportamiento de los acuíferos y a raíz de ello su aprovechamiento se efectuó sin control, siguiendo únicamente la política de satisfacer las necesidades que generaba el desarrollo de las zonas agrícolas.

Debido a la perforación desmesurada de pozos, que provocó la extracción de grandes volúmenes de agua subterránea, en México existen más de 30 acuíferos con sobreexplotación, lo que a llevado a realizar el inventario de nuestros recursos hidráulicos subterráneos a través de estudios en los que se está aplicando la tecnología de agua subterránea moderna. Dichos estudios se iniciaron propiamente a partir del año 1968, contándose a la fecha

con más de 200 estudios a detalle, cuyos resultados apoyan a estudios regionales que cubren aproximadamente un 70% del área del país, siendo posible ahora implantar políticas de explotación que lleven al aprovechamiento del agua subterránea en forma racional mediante un manejo adecuado de la misma.

En México, como en otras partes del mundo, se considera que el agua subterránea está constituida por dos componentes principales, el volumen renovable ( recarga estacional de acuífero ) y el volumen no renovable ( almacenamiento del acuífero ); el manejo de ambos depende, entre otras cosas de la determinación potencial que tenga cada uno y además de la existencia o falta de fuentes alternativas que permitan realizar el uso conjunto de los recursos hidráulicos existentes.

El manejo del agua subterránea que hasta la fecha se ha hecho en México, responde, además de las diversas condiciones físicas del medio ( clima, hidrología, geología, etc.), a las presiones socioeconómicas producidas por el mismo desarrollo, lo que ha motivado que en algunas zonas el volumen extraído de los acuíferos rebase su recarga natural generando con eso que se presenten abatimientos progresivos en los niveles piezométricos, lo que trae como efectos colaterales incrementos en los costos de bombeo, intrusión de agua de mar en acuíferos costeros, asentamiento de terrenos.

Con el fin de que los problemas generados por la sobreexplotación no progresen, agravando cada vez más la economía de las zonas afectadas, ha sido necesario resolver graves problemas de manejo, mediante soluciones tales como reducción de las extracciones hasta un volumen del orden de la extracción permanente, y cuando ésta no es posible, por lo menos reducir la magnitud de los efectos indeseables con el fin de alargar la vida útil de los acuíferos aplicando medidas correctivas como implantación de vedas rígidas que no permitan el incremento de las extracciones en los aprovechamientos existentes ni perforación de nuevos pozos, redistribución de las captaciones para reducir la velocidad de abatimiento, incremento de la recarga mediante infiltración artificial, importación de aguas de cuencas vecinas y relocalización de captaciones a distancias mayores del litoral en el caso de acuíferos costeros. Una herramienta que cada vez se aplica más en México, es el uso de modelos de predicción del comportamiento de los acuíferos, ya que con ellos ha sido posible plantear alternativas de explotación que permitan definir las más convenientes, tanto en el aspecto geohidrológico como en el económico.

Dentro de los aspectos relacionados con el manejo del agua subterránea, existe otro tipo de problemas de carácter social y político que obligan a modificar las restricciones técnicas que se plantean para preservar el recurso; este tipo de problemas se han resuelto mediante campañas de

8

concientización en las que juega un papel muy importante la participación de los usuarios, de donde han surgido propuestas para establecer un reglamento legal y administrativo para la explotación de acuíferos. (30).

#### Explotación del agua subterránea en Sonora.

El agua subterránea desempeña un papel muy importante en el desarrollo económico y social de esta región, pues aún cuando en conjunto satisface sólo un 22% de la demanda total, se tiene algunos distritos de riego y abastecimientos de agua potable cuya fuente única de suministro lo constituye el recurso hidráulico subterráneo. Este recurso no siempre se ha manejado en forma adecuada, y es necesario dictar las medidas que permitan en algunos casos evitar y en otros minimizar los desastrosos efectos nocivos de la explotación.

La mayor parte de los acuíferos principales de esta región cuenta con estudios detallados en distinto grado de avance, por lo que la evolución de disponibilidad puede considerarse con un mejor apoyo constituido por dichos estudios, que en otras regiones del país. (31).

La extracción de aguas subterráneas en esta zona hasta 1987 se llevaba a cabo mediante unos 7167 pozos, de los cuales un 60% estaban destinados a la agricultura, un 17% para abrevadero, 3% para abastecimiento urbano, 8% para fines domésticos y un 6% sin uso determinado.

\* Comunicación personal: C. M. Urrutia. SARH. (1988).

2.3.- Calidad del agua subterránea

La calidad del agua subterránea, es el resultado de todos los procesos y reacciones que tiene acción en el agua desde el momento en que el agua es condensada en la atmósfera hasta que es descargada por un pozo o manantial. (4).

Esta calidad esta intimamente relacionada con la calidad de la zona de no saturación excesiva, con el agua de la superficie que se infiltra y con la calidad del agua de precipitación. (12).

La calidad total del agua subterránea en un punto dado en el tiempo y el espacio está compuesta por tres grupos de factores: Materiales, Transporte y procesos de conversión.

Estos tres factores están interconectados y a su vez cada uno se divide como sigue:

El factor de transporte contiene las siguientes subdivisiones: flujo permanente o de transición, bajo condiciones laminares o turbulentas, flujo convectivo, dispersivo y difusivo.

El factor de materiales contiene una gran variedad de suelos subsuperficiales, tipos de rocas y su composición química.

El factor de conversión contiene un amplio rango de procesos físicos, químicos y biológicos. (33).

En términos generales puede decirse que las aguas subterráneas, en comparación con las aguas superficiales, son de mayor calidad bacteriológica y de peor calidad química. Son también, generalmente, mucho más claras, desprovistas de color y de una temperatura más constante a lo largo de las variaciones estacionales de temperatura ambiente. Por su calidad bacteriológica y también por su claridad son generalmente preferibles las aguas subterráneas a las superficiales para abastecimientos de agua destinados al consumo humano. Así como un exceso de sales disueltas pueden hacer las aguas más o menos desagradables e inadecuadas para sus usos domésticos, es la contaminación bacteriológica lo verdaderamente peligroso de los usos del agua para la alimentación del hombre. En abastecimientos de agua para la utilización humana, es siempre interesante al considerar la filtración natural del agua a través de un acuífero, aunque éste sea recargado directamente por una corriente superficial o un lago o laguna inmediatamente próximo a la captación. En estos casos es, generalmente, infinitamente más económico el efectuar la filtración natural a través de los materiales del acuífero, que el ir a una estación depuradora con filtros artificiales, floculación, etc. (3,15).

#### 2.4.- La calidad química del agua subterránea.

Las características químicas y biológicas del agua determinan su utilidad para los usos, industriales, agrícolas y domésticos. El estudio de la composición química de las aguas proporciona indicaciones importantes acerca de la historia geológica de las rocas que la contienen, de su velocidad y dirección de flujo, así como sobre la eventual presencia de yacimientos minerales ocultos. (11).

El más leve estudio hidrológico muestra claramente la relación de dependencia que, existe entre la calidad de las aguas subterráneas y la naturaleza de las formaciones geológicas que en su circulación atraviesan; esta acción es mayor a medida que aumenta la temperatura y presión a que el agua esta sometida, y crece también con la solubilidad de los minerales que integran el terreno y con la duración de su contacto con el líquido. (26).

Los terrenos naturales contienen sales más o menos solubles. Ciertos minerales, por otra parte, se alteran al contacto del agua; es el caso particular de las micas que se alteran liberando calcio y magnesio. Además, antes de infiltrarse las aguas, se encuentran en contacto con los suelos y las tierras vegetales ricas en compuestos solubles de origen orgánico o mineral. Como resultado, las aguas subterráneas están siempre más o menos cargadas de sustancias disueltas.

El residuo seco es el estado de salinización total del agua. Es el paso subsistente después de la evaporación completa. Bajo los climas húmedos, el residuo seco de las aguas subterráneas no muy profundas, no supera el gramo por litro, pero en las regiones áridas, las concentraciones pueden ser mas grandes, pudiendo alcanzar muchos gramos o incluso muchas decenas de gramos por litro. A partir de 6 o 7 gr/l, las aguas son impropias para todo uso. (28).

Todas las aguas subterráneas suelen contener una proporción de sales disueltas relativamente elevada. Generalmente, se encuentran mayores proporciones de sales disueltas en las aguas subterráneas que en las superficiales, ya que aquéllas han estado expuestas durante su curso, entre los materiales de los acuíferos, a una mayor disolución de las materias químicas existentes en las rocas que componen éstos. La mayor parte de las sales solubles encontradas en las aguas subterráneas provienen, pues, de la solución de los materiales existentes en las rocas en contacto con ellas. Este fenómeno alcanza su grado máximo en las aguas llamadas "fósiles", en donde el hecho de haber estado las aguas subterráneas en contacto con los terrenos que la contienen desde los tiempos de formación geológica del terreno, hace que los contenidos de sales de estas aguas sean muy elevados. También pueden las aguas subterráneas absorber gases de origen geológico que contribuyen a la disolución de los productos minerales de las rocas que las rodean. (3,8).

Las aguas subterráneas que atraviesan rocas ígneas suelen disolver sólo pequeñas cantidades de sustancias minerales, debido a la escasa solubilidad de estas rocas. El agua de lluvia, al caer sobre la superficie del terreno, generalmente contiene cantidades elevadas de ácido carbónico recogidas de la atmósfera, que contribuyen a aumentar su acción disolvente. Los minerales silíceos de las rocas ígneas son generalmente muy poco solubles y, por tanto, las aguas subterráneas encontradas en ellos son de mayor pureza química. (3).

Por otra parte, las rocas sedimentarias son más solubles que las rocas ígneas y, por tanto, a causa de esta solubilidad elevada y el hecho de que las rocas sedimentarias son generalmente más abundante, hace que las sales obtenidas del contacto con ellas constituyan la mayor proporción de las encontradas en las aguas subterráneas.

Los cationes más comunmente presentes en las aguas subterráneas son el sodio y el calcio; los aniones correspondientes son bicarbonato, carbonato y sulfato. Los cloruros aparecen generalmente en menor proporción, excepto en aquellas zonas en que existen yacimientos de sal gema u otros cloruros; si no es éste el caso, generalmente los cloruros provienen de contaminación de aguas residuales o por intrusión de agua del mar. Los nitratos están presentes sólo en casos excepcionales; pueden provenir de disolución mineral y oxidación de aguas residuales. (3,9).

## 2.5.- Los elementos mayores, menores y trazas.

Las aguas superficiales y subterráneas contienen siempre en estado natural una serie de sales disueltas. Estas sales se originan por el contacto del agua en movimiento con los diversos materiales del suelo y subsuelo.

De la misma forma el agua, recoge materia orgánica de las hojas, hierbas y vegetación en diversos estados de biodegradación y, diluye gases atmosféricos. El resultados de estos contactos es que el agua acumula ciertas cantidades de impurezas por disolución. Estos procesos naturales de mineralización son de gran importancia en regiones áridas. (22).

Por otra parte hay una relación de dependencia entre la calidad de las aguas subterráneas y la naturaleza de las formaciones geológicas que en su circulación atraviesan; esta acción es mayor a medida que aumenta la temperatura y presión a que el agua esta sometida, y crese tambien con la solubilidad de los minerales que integran el terreno y con la duración de su contacto con el líquido.

En el cuadro 1, se muestran los sólidos disueltos en las aguas potables (Davis y De Wiest 1971).

Cuadro 1 Sólidos Disueltos en las Aguas Potables.

---

 Constituyentes principales ( 1.0 - 10,000 ppm )

Sodio	Bicarbonato
Calcio	Sulfato
Magnesio	.Cloruro

## Silice

## Constituyentes secundarios ( 0.01 - 10.0 ppm )

Hierro	Carbonato
Estroncio	Nitrato
Potasio	Fluoruro

## Constituyentes menores ( 0.0001 - 0.1 ppm )

Aluminio	Litio
Arsénico	Manganeso
Bario	Molibdeno
Bromo	Niquel
Plomo	Fosfato
Cobre	Uranio
Yodo	Zinc
Cobalto	Cadmio
Selenio	Vanadio

## Constituyentes trazas ( menor de 0.001 ppm )

Berilio	Indio
Bismuto	Platino
Oro	Radio
Plata	Estaño

---

## 2.6.- Elementos menores y trazas.

El estudio de la presencia en las aguas de los llamados constituyentes menores es importante por tres razones siguientes:

1.- En bajas concentraciones, éstos elementos pueden afectar la salud de las plantas y de los animales.

2.- La presencia de grandes cantidades de ciertos metales en el agua puede constituir un procedimiento de prospección de minerales.

3.- Muchos de estos elementos tienen una importancia potencial para el conocimiento de la historia geológica de las aguas.

En el cuadro 2, se muestra los principales elementos menores y metales pesados en el agua de beber y su concentración recomendada y/o permitida en mg/l. (1).

Cuadro 2. Elementos Menores y Trazas en el Agua de Beber

Constituyente	Concentración límite permitida en mg/l
Fierro	0.3
Manganeso	0.05
Cobre	1.0
Zinc	5.0
Aluminio	0.05
Boro	1.0

Cuadro 6. Continuación

Constituyente	Concentración Límite permitida en mg/l
Arsénico	0.05
Bario	1.0
Cadmio	0.01
Cromo	0.05
Selenio	0.01
Antimonio	0.01
Plomo	0.05
Mercurio	0.002
Plata	0.05
Fluor	0.08-1.7
Cianuro	0.2
Nitrato	45.0

### 2.7.-Metales Alcalino-Térreos.

Los metales alcalinotérreos pertenecen a la segunda columna del Sistema Periódico. El calcio, estroncio y bario forman un grupo muy coherente por lo que respecta a sus propiedades químicas y a su forma de presentación en la naturaleza.

El calcio en los meteoritos silicatados tiene una abundancia de 17300 gr/ton, y en las rocas ígneas 36300 gr/ton; el estroncio tiene una abundancia de 26 gr/ton en los meteoritos silicatados y 150 gr/ton en las rocas ígneas y el bario tiene una abundancia de 9 gr/ton en los

meteoritos silicatados y 250 gr/ton en las rocas igneas. El calcio es uno de los 8 elementos principales en la litosfera superior. Su abundancia es casi el doble en las rocas igneas que en los meteoritos silicatados. Tanto el estroncio como el bario son mucho más abundantes en las rocas igneas que en los meteoritos silicatados.

El bario en las rocas igneas.

el bario pertenece a los oligoelementos más abundantes de la litosfera superior. Se caracteriza geoquímicamente, porque, a pesar de su abundancia bastante grande, no forma minerales independientes en las rocas igneas más que en casos excepcionales. La mayor parte del bario está oculta en los minerales petrográficos de las rocas igneas. El bario no sustituye, en general, al calcio puro, pero sí al potasio en gran escala. La causa de que el bario no sustituya al calcio en las rocas igneas se debe a el tamaño iónico.

El ion  $Ba^{++}$  es demasiado grande (radio  $1.38 \text{ \AA}$ ) para ocupar el lugar del ion  $Ca^{++}$  (radio  $0.99 \text{ \AA}$ ) en las estructuras minerales y por la misma razón no puede sustituir al  $Mg^{++}$  (radio  $0.65 \text{ \AA}$ ) y al  $Fe^{++}$  (radio  $0.70 \text{ \AA}$ ); El bario puede sustituir al potasio porque el radio de este (radio  $1.33 \text{ \AA}$ ), es muy similar.

El medio más importante del bario en las rocas igneas es la estructura feldespática como los feldespatos

potásicos, se han encontrado 170 gr/ton en la amazonita y 6900 gr/ton de bario en la anortoclasa. Los minerales de las rocas ígneas que siguen en importancia por su contenido de bario son la moscovita y la biotita.

En la moscovita bárica puede existir hasta 9% de bario. Las biotitas báricas pueden llevar hasta 6.16 % de bario.

El bario en la biosfera.

El bario está concentrado, a veces, en las cenizas de las plantas terrestres y acuáticas. Puede sustituir en las plantas al calcio y al magnesio. El suelo contiene 300-5000 gr/ton de bario, ( 24 ). Se ha encontrado hasta 0.09- 0.27 gr/ton de Ba en las cenizas de las hojas de robles; en las cenizas del carbon hay como máximo 0.9-2.7 gr/ton de Ba.

El bario se encuentra tanto en los animales terrestres como en los marinos, sin embargo los animales no lo toman en concentraciones considerables. El bario no puede sustituir al calcio en los huesos, que constan de hidroxilapatito. En grandes dosis, el bario es venenoso para los animales superiores.

Es probable que el bario, no sea más que un acompañante del calcio sin demasiada importancia fisiológica.

### Ciclo de bario.

Durante la meteorización el bario se disuelve en forma de carbonatos, cloruros y sulfatos. Pueden emigrar en forma de bicarbonato y de cloruro, pero también de sulfato. Aunque el sulfato bórico es muy poco soluble en el agua destilada, su solubilidad aumenta cuando existe en la disolución ácido clorhídrico o cloruros de metales alcalinos. Los sulfatos y carbonatos de bario son menos solubles que las sales cálcicas correspondientes.

El bario puede separarse de las soluciones que resultan de la meteorización en forma de sulfato bórico por evaporación o neutralización de las aguas (por las calizas) o por un aumento en la concentración del anión sulfato. Las aguas minerales contienen hasta 10-12 gr/l de bario. El sulfato bórico que se deposita en las areniscas, en las calizas y en las dolomíticas pueden originar grandes yacimientos de barita. También se puede precipitar el bario en forma de carbonato a partir de las soluciones que pierden dióxido de carbono. Las soluciones de bicarbonato pueden precipitar sulfato bórico por la acción de las aguas que contienen sulfato.

El bario transportado al mar se separa ya, en gran parte durante la formación de sedimentos hidrolizados, no quedando en el agua del mar más que una pequeña parte.

La extracción del bario por la arcilla es debida a su

radio y potencial ionicos. por lo que respecta a sus propiedades de absorción, el radio ionico del bario es mayor que el del estroncio y por tanto el potencial ionico del bario es menor, y la cantidad absorbida por las arcillas es mayor para el bario. El bario es absorbido con tal intensidad en los sedimentos costeros, que solo llega a altamar una cantidad despreciable. En algunos casos raros los yacimientos marinos contienen cantidades notables de bario en forma de barita, que pueden contener hasta 82% de  $BaSO_4$  y se forma probablemente por precipitación Química.  
(21).

#### 2.8.- Toxicidad y contaminación en el agua subterránea.

Los cambios en la calidad de las aguas subterráneas son causados, bien por la introducción de sustancias químicas o biológicas en el medio ambiente subterráneo debido a la actividad humana, por la interferencia cuantitativa con los esquemas naturales de circulación o por procesos completamente naturales.

Las filtraciones a partir de vertederos de basura, los residuos producidos por explotaciones ganaderas concentradas o las fugas en los tanques de almacenamiento de una industria petroquímica, son ejemplo de fuentes materiales correspondientes a la primera categoría.

Los pozos y sondeos de explotación son ejemplo de interferencia cuantitativa, redistribuyendo los compuestos

químicos naturales o introducidos por el hombre de una forma que no sería posible más que por efecto de la extracción de agua.

En la tercera categoría, los procesos naturales, se incluyen la mineralización natural de las aguas subterráneas y los procesos naturales de intrusión de agua del mar en los acuíferos costeros.

Existen otras formas naturales de agua de baja calidad. A lo largo de las costas existen lugares donde el agua subterránea dulce en su movimiento hacia el océano, se encuentra con el agua salada. Conforme se va acercando al océano se produce un equilibrio dentro de la formación permeable, dando lugar a una zona de mezcla agua dulce-agua salada. Esta interfase entre agua dulce y agua salada puede moverse hacia el continente o hacia el océano en respuesta a cambios naturales en la hidrología y clima de la zona.

También existen en depósitos sedimentarios antiguos, aguas "fósiles" cargadas de sales, que quedaron atrapadas en los sedimentos cuando éstos eran depositados, o bien cuando el mar se retiró. No es raro que estos depósitos de aguas saladas se encuentren inmediatamente debajo de acuíferos de agua dulce y en conexión hidráulica con ellos. Tanto en estos acuíferos como en los conectados con el mar, el bombeo de agua subterránea produce la redistribución de las aguas salinas. El resultado puede llegar a ser el abandono de los sondeos debido a la intrusión del agua

salada.

El hombre introduce elementos extraños en los acuíferos subterráneos a través de un gran número de actividades. En lo que se refiere a las prácticas agrícolas, el empleo de plaguicidas y pesticidas puede resultar a largo plazo muy peligroso para las aguas superficiales y subterráneas, así mismo la utilización de cantidades excesivas de abonos y fertilizantes puede plantear serios problemas debido a la acumulación de nutrientes en el agua. (13).

La contaminación agrícola es debido al agua de riego o a la lluvia que acarrea hacia abajo los fertilizantes, minerales, sales, herbicidas y pesticidas. (16).

De todas las actividades del hombre, que tienen influencia en la calidad del agua subterránea, la agricultura es probablemente la más importante; el uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos son la principal actividad agrícola que ocasiona degradación de la calidad del agua subterránea. (1).

No obstante, el problema más importante, especialmente en regiones áridas y semiáridas, es la creciente mineralización de las aguas subterráneas, debido a los procesos de disolución de sales y a las prácticas de irrigación.

En cuanto a su distribución, la mayor parte de estas formas de contaminación se distinguen por su carácter no

puntual, ya que sus efectos se extienden sobre amplias zonas.

En contraste con las anteriores, existen otras formas de contaminación de tipo agrícola que pueden ser consideradas como fuentes puntuales; entre ellas se encuentran los excrementos de ganado, sobre todo los producidos bajo régimen de estabulación, el almacenamiento de fertilizantes y pesticidas, los restos de cosecha etc.

La actividad industrial produce otra serie de productos contaminantes. La mayor parte de las fuentes de contaminación debido a la industria, son de tipo puntual, es decir, bien localizadas en un área reducida. En muchas ocasiones, las aguas residuales industriales se eliminan mediante pozos de inyección, estanques o bolsas de infiltración, etc. Muy a menudo tienen lugar infiltraciones no previstas en estanques de evaporación u oxidación, o bien se produce una lixiviación de materiales contaminantes en vertederos y depósitos de residuos. Por otra parte los procesos de producción, almacenamiento y transporte, se asocian a una serie de accidentes, tales como fugas, rotura de tuberías, etc., que pueden producir contaminación de las aguas subterráneas.

Los residuos domésticos en áreas rurales o urbanas, pueden plantear también problemas para las aguas subterráneas. El uso de aguas residuales domésticas, tratadas o no para irrigación puede ser, si no se ejerce un

control adecuado, causa de contaminación de los mantos acuíferos. De igual forma los sistemas individuales de eliminación, tales como pozos negros, e incluso las fosas sépticas y otros sistemas similares pueden producir problemas. Los residuos sólidos concentrados en vertederos no apropiadamente situados y controlados, producen filtraciones de elementos contaminantes hacia el acuífero. (13).

La contaminación doméstica es acarreada al acuífero por: la infiltración de lluvia a través de:

- Depósitos sanitarios de desperdicios.
- Accidentes, como el rompimiento de tanques sépticos. (16).

Esto trae como consecuencia una contaminación química mineral de disolución de sales en el agua, tales como: Cloruros, Sulfatos y Nitratos, pero los contenidos son relativamente bajos en relación a los que se pueden encontrar en las aguas usadas industrialmente. (2).

Finalmente, la producción, almacenamiento, transporte, empleo y eliminación de materiales radiactivos, pueden representar una amenaza para los recursos hídricos subterráneos.

De acuerdo a lo expuesto, las actividades industriales, agrícolas y domésticas, así como el empleo de sustancias radiactivas, constituyen las principales fuentes de elementos químicos y de microorganismos que pueden amenazar

la calidad natural de las aguas subterráneas. Dicha calidad puede verse amenazada además por la contaminación del agua de los ríos en conexión hidráulica con los mantos acuíferos, por la recarga artificial del acuífero con agua de baja calidad, y por la infiltración de aguas de lluvia contaminada por la polución atmosférica.

La entrada de los agentes contaminantes en el manto acuífero subterráneo, puede tener lugar de muy diversas maneras. Los materiales que, como se ha visto, inician su trayectoria en la superficie del terreno, están sujetos a una serie de procesos entre los que se encuentran la lixiviación, la infiltración a través de la zona no saturada del terreno y a la llegada al nivel saturado, es decir al acuífero. Algunos materiales pueden llegar al acuífero inmediatamente, como en el caso de inyección directa de aguas residuales.

Una vez incorporado el agente contaminante al sistema hidráulico subterráneo, se desplaza siguiendo el flujo general del agua subterránea y en muchos casos su efecto se ve atenuado con la distancia, dependiendo de una larga serie de factores, tanto físicos (difusión, dispersión mecánica etc. ) como químicos (precipitación-disolución, oxidación-reducción, etc.), y biológicos (degradación, oxidación, etc.).

Uno de los efectos más importantes es sin duda el que puede tener sobre la salud pública, ya que las aguas

subterráneas son una importante fuente de agua para abastecimiento de poblaciones. La contaminación biológica del agua subterránea de abastecimiento, es históricamente la más antigua causa de problemas de sanidad asociados al agua. Hoy día este problema es secundario frente a otros tipos de contaminación más difícilmente eliminables (13). Por ejemplo, el bario en concentraciones muy bajas de 1 mg/l puede afectar seriamente al corazón, a las arterias y a los nervios. (2,4).

Los  $\text{NO}_3$  en concentraciones relativamente altas de 45 mg/l<sup>3</sup> puede producir hemoglobinemia en los recién nacidos. También los compuestos orgánicos o inorgánicos provenientes de la agricultura (por ejem. pesticidas), de la industria o de la propia gestión inadecuada de los recursos subterráneos, puede causar problemas. Algunos como los cloruros pueden causar problemas de sabor, pero otros, como algunos pesticidas, son tóxicos llegando a producir la muerte. Los contaminantes radiológicos no solo son radiactivos, sino que pueden ser además muy tóxicos.

Después de la salud pública, el efecto más importante se hace sentir en el agua subterránea usada en la agricultura. El riego con aguas subterráneas es practicado ampliamente en muchas partes, y es bien conocido el hecho de que un exceso de sales disueltas en el agua, puede producir una disminución en la producción de la cosecha. Algunos elementos como, el boro, por ejemplo, son muy

perjudiciales para algunas plantas, en este caso los cítricos. Por otra parte los animales pueden verse seriamente afectados al beber aguas contaminadas.

Finalmente, la industria se provee con frecuencia de agua subterránea para sus necesidades. Ciertos compuestos del agua pueden producir corrosión, incrustaciones y otros problemas afectando el equipo y maquinaria industrial. La mayor parte de las veces, estos problemas son debidos a la natural composición de las aguas, mas que a productos introducidos por la acción humana (13).

A continuación, en el cuadro 3, se muestra los principales contaminantes, tóxicos y no tóxicos, los efectos que ocasiona en el hombre y su concentración máxima permitida en mg/l (2,4).

Cuadro 3. Límites de Toxicidad

CONSTITUYENTE	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO mg/l	EFFECTOS EN EL HOMBRE
ELEMENTOS TOXICOS		
Plata	0.05	Coloración gris-azulosa en la piel y los ojos y reduce la elasticidad de las fibras del cuerpo.
Arsénico	0.05	Se acumula en los tejidos y ocasiona problemas en el hígado, riñones e intestinos.
Bario	1.0	Puede afectar seriamente al corazón a las arterias y a los nervios.
Cadmio	0.01	Es de gran toxicidad, esta relacionado con la hipertensión.

Cuadro 3. Continuación

CONSTITUYENTE	LIMITE MAXIMO PERMITIDO mg/l	EFFECTOS EN EL HOMBRE
Fluor	0.8-1.7	Es conocido por preservar las caries, en concentraciones altas durante años produce cambios en los huesos.
Plomo	0.05	Se considera un veneno acumulativo; y ocasiona una afeccion llamada saturnismo.
Selenio	0.01	Es cancerigeno y puede favorecer caries dentales. Sus efectos son similares al arsénico.
ELEMENTOS NO TOXICOS		
Aluminio	0.05	En concentraciones mayores de 0.05 mg/l puede ocasionar precipitaciones.
Cobre	1.0	Es un elemento esencial en el metabolismo pero en exceso puede ocasionar daños al higado.
Fierro	0.3	Da coloración rojiza al agua y mal sabor.
Manganeso	0.05	Da coloración negra al agua y un sabor amargo.
Magnesio	125.0	Tiene efectos laxantes en concentraciones mayores de 500 ppm, y mal sabor al agua.
Cloruros y Sulfatos	250.0	Tienen efecto laxante y en cantidades altas dan mal sabor al agua.
Nitratos	45.0	Ocasiona la Metehemoglobina en recién nacidos.

## 2.9.- Muestreo, análisis e interpretación.

### Muestreo del Agua.

La mayor parte de los materiales con que se trabaja en hidrogeoquímica son heterogéneos y anisótropos, por lo que pueden encontrarse considerables diferencias en la composición química del agua tanto vertical como horizontalmente en los almacenamientos de agua subterránea. La obtención de muestras representativas dependerá grandemente de la técnica de muestreo.

Los principales factores a considerar en un programa de muestreo de agua para análisis químicos, exceptuando limitaciones de carácter administrativo son; importancia y la calidad del estudio, extensión superficial, cantidad y calidad de datos disponibles, zonas con existencia de agua de mala calidad, número de pozos disponibles, así como el número de acuíferos de acuerdo con los cortes litológicos de los aprovechamientos con que se cuenten, cantidad de trabajo de laboratorio y condiciones locales de la zona. (11,33).

Con respecto a cada muestra individual es necesario que sea obtenida con los siguientes cuidados: el recipiente donde se colocará la muestra deberá ser de vidrio o polietileno; el volumen de la muestra deberá ser de uno a dos litros; el recipiente deberá enjuagarse con agua de la fuente a muestrear y deberá llenarse completamente para

evitar gasificación; cuando la fuente a muestrear sea un pozo de bombeo equipado es necesario que el tiempo transcurrido entre la toma y el inicio del bombeo sea por lo menos dos horas; los recipientes deberán numerarse en el campo y localizarse en un plano; y determinar los valores de pH, temperatura y la conductividad eléctrica. Cuando la fuente de muestreo carece de equipo de bombeo, es necesario utilizar aparatos para la toma de las muestras, los cuales una vez colocados a la profundidad deseada, son abiertos dejando que el agua penetre en el envase, una vez lleno el depósito es obturado e izado a la superficie. (6,11,20).

#### Tipos y Formas de Expresión de Análisis.

En un estudio hidrogeoquímico, los análisis que se llevan a cabo son de tipo físico, químico y bacteriológico.

El primero tiene por objeto efectuar algunas determinaciones de carácter físico como son: temperatura, color, olor, turbiedad y sabor.

Los análisis químicos normales del agua usualmente reportan los cationes: como Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio; los aniones: como Carbonatos, Bicarbonatos, Sulfatos y Cloruros; en ocasiones Nitratos. (22). Además otras características como Sólidos Totales Disueltos (STD), Conductividad Eléctrica (CE), dureza y pH. (4,22,23). Y en los análisis más detallados Fluor, Bromuro, Silicio (usualmente SiO<sub>2</sub>), gases disueltos y elementos trazas

cuando su influencia en la calidad del agua es considerada de importancia. (17).

Los resultados de los análisis químicos practicados en las muestras de agua, son expresados en las siguientes unidades. (19,20).

ppm = partes por millon

mg/l = miligramos por litro

meq/l = miliequivalentes por litro

eqm = equivalentes por millon

La diferencia entre ppm y miligramos por litro es insignificante en el uso del agua, pero llega a ser significativa en agua salobre ó con mucho STD y en las aguas termales. (4,14,20).

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1.- Localización geográfica.

La zona estudiada se encuentra localizada en la porción Sur-Occidental del Estado de Sonora, entre las coordenadas geográficas de  $27^{\circ} 55'$  a  $28^{\circ} 30'$  de latitud Norte y de  $110^{\circ} 30'$  a  $110^{\circ} 50'$  de longitud Oeste; dicha zona queda comprendida dentro de la cuenca hidrográfica del Río Mátape.

La localización y ubicación de la zona estudiada se muestra en la figura 1.

#### Climatología.

El clima imperante en la región es de tipo semidesértico y con lluvias deficientes en todas las estaciones del año.

La temperatura media anual es de  $23^{\circ}\text{C}$ . En la zona montañosa los valores registrados son de  $18.3^{\circ}\text{C}$ ; en las porciones intermedias se registran  $22.5^{\circ}\text{C}$  y en las zonas bajas son de  $25.1^{\circ}\text{C}$ .

La temperatura media mensual varía entre  $15^{\circ}\text{C}$ , en los meses de Diciembre, Enero y Febrero, y  $30^{\circ}\text{C}$  en los meses de Julio, Agosto y Septiembre decreciendo entre dos y cuatro grados hacia las partes altas.

Las temperaturas medias mensuales de la zona de

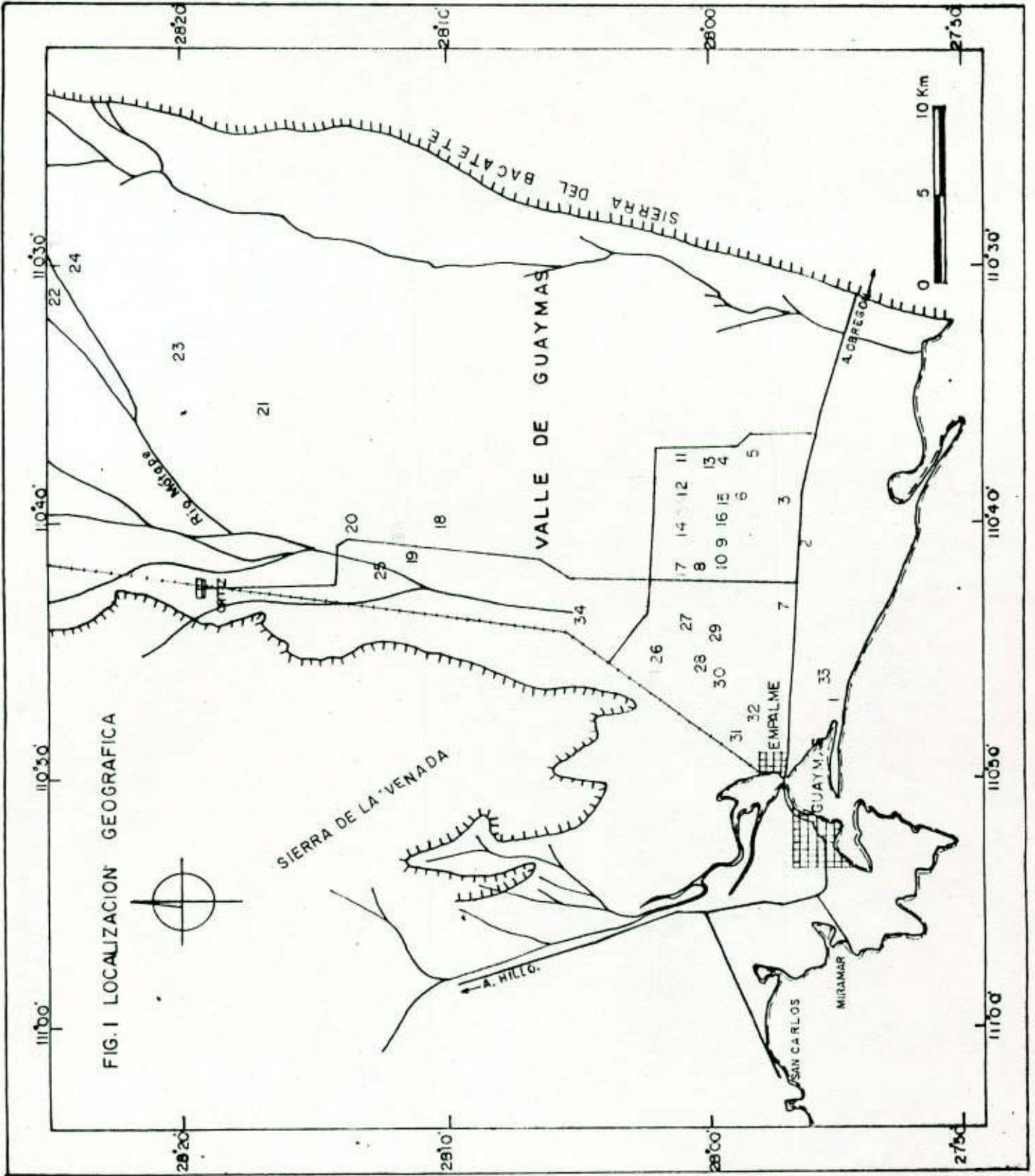


FIG. 1 LOCALIZACION GEOGRAFICA

A continuación se expone la relación del número de muestras y su identificación.

Cuadro 3. Identificación de muestras de agua de los pozos del acuífero de Guaymas, Sonora, México.

Muestra	Nombre de la captación
1	Pozo Cochorit
2	Noria Prov. Avícola km 103
3	Noria Prov. Avícola # 4
4	Pozo 19
5	Pozo Los Chiltepines Papalote
6	Pozo 33 CP
7	Pozo ( Mercurio )
8	Pozo 34
9	Pozo 32
10	Pozo 30
11	Pozo 22
12	Pozo 20
13	Pozo 23
14	Pozo 26
15	Pozo 32 CP
16	Pozo 34 CP
17	Pozo 28
18	Pozo JMM4
19	Pozo 110
20	Pozo Ejido Graciano Sanchez
21	Pozo Felipe Angeles
22	Pozo La Misa
23	Pozo Ejido Lazaro Cardenas
24	Pozo Morua
25	Pozo 106 Sta. Rosa
26	Pozo 72
27	Pozo 58
28	Pozo 70
29	Pozo 68
30	Pozo 66
31	Noria Ladrillera Norte
32	Noria Ladrillera Sur
33	Noria Sn Humberto
34	Pozo Maytorena

estudio en grados centígrados se presentan en el cuadro 5.

La precipitación media mensual es de 26.9 mm.

Entre los meses de Julio a Septiembre tiene lugar la temporada de lluvias y durante estos meses ocurre la mayor parte de la precipitación anual.

El mes mas lluvioso es Agosto con precipitación media de 67.6 mm en la planicie (Estación Guaymas) y de 117.4 mm en la zona montañosa (Estación Punta de Agua). Como puede apreciarse la precipitación aumenta de las partes altas hacia la planicie.

Hay otra temporada de lluvias de poca importancia que se presenta entre los meses de Diciembre y Enero con precipitaciones medias de 25.5 mm y 21 mm respectivamente. En los meses restantes del año la lluvia es prácticamente nula.

En el cuadro 6, se presenta las precipitaciones medias mensuales en (mm) de la zona de estudio.

La evaporación potencial media anual es de 2498 mm en la estación climatológica La Colorada y de 2560 mm en la de Punta de Agua.

En el cuadro 7, se presenta las evaporaciones medias mensuales (mm).

CUADRO 5. TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES (°C), DE LA ZONA DE ESTUDIO EN GUAYMAS, SONORA.

AÑOS	TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES (°C )											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1978	17.9	17.6	22.1	23.0	25.9	32.1	32.0	30.3	31.1	27.4	16.2	20.3
1979	14.4	17.3	19.0	23.5	25.4	30.8	32.7	31.0	31.1	27.4	20.5	17.7
1980	17.4	20.2	19.4	23.4	24.2	32.6	33.2	30.2	31.0	26.0	21.2	19.6
1981	17.9	19.7	19.1	23.9	25.3	30.0	30.8	32.0	30.3	25.9	22.4	19.3
1982	17.0	18.8	20.4	24.9	25.2	29.6	31.7	30.7	30.4	25.7	20.3	16.0
1983	17.0	17.3	18.8	20.5	26.2	29.7	32.1	30.2	30.0	25.7	19.9	18.0
1984	16.9	18.2	20.9	22.4	28.6	29.9	29.0	29.3	30.6	23.7	19.9	16.9
1985	15.3	19.9	19.9	23.8	27.1	31.1	31.4	30.4	28.7	24.7	19.4	17.5
1986	20.0	18.6	21.5	25.9	26.4	30.7	30.0	31.2	29.5	25.7	20.9	16.0
1987	15.9	16.9	18.5	23.7	24.8	31.0	32.9	31.0	30.4	29.1	20.3	16.1
1988	17.4	19.8	20.2									
SUMA	187.1	204.3	219.8	235.0	259.1	307.5	315.8	306.3	303.1	261.3	201.0	177.4
MEDIA	17.0	18.6	20.0	23.5	25.9	30.8	31.6	30.6	30.3	26.1	20.1	17.7

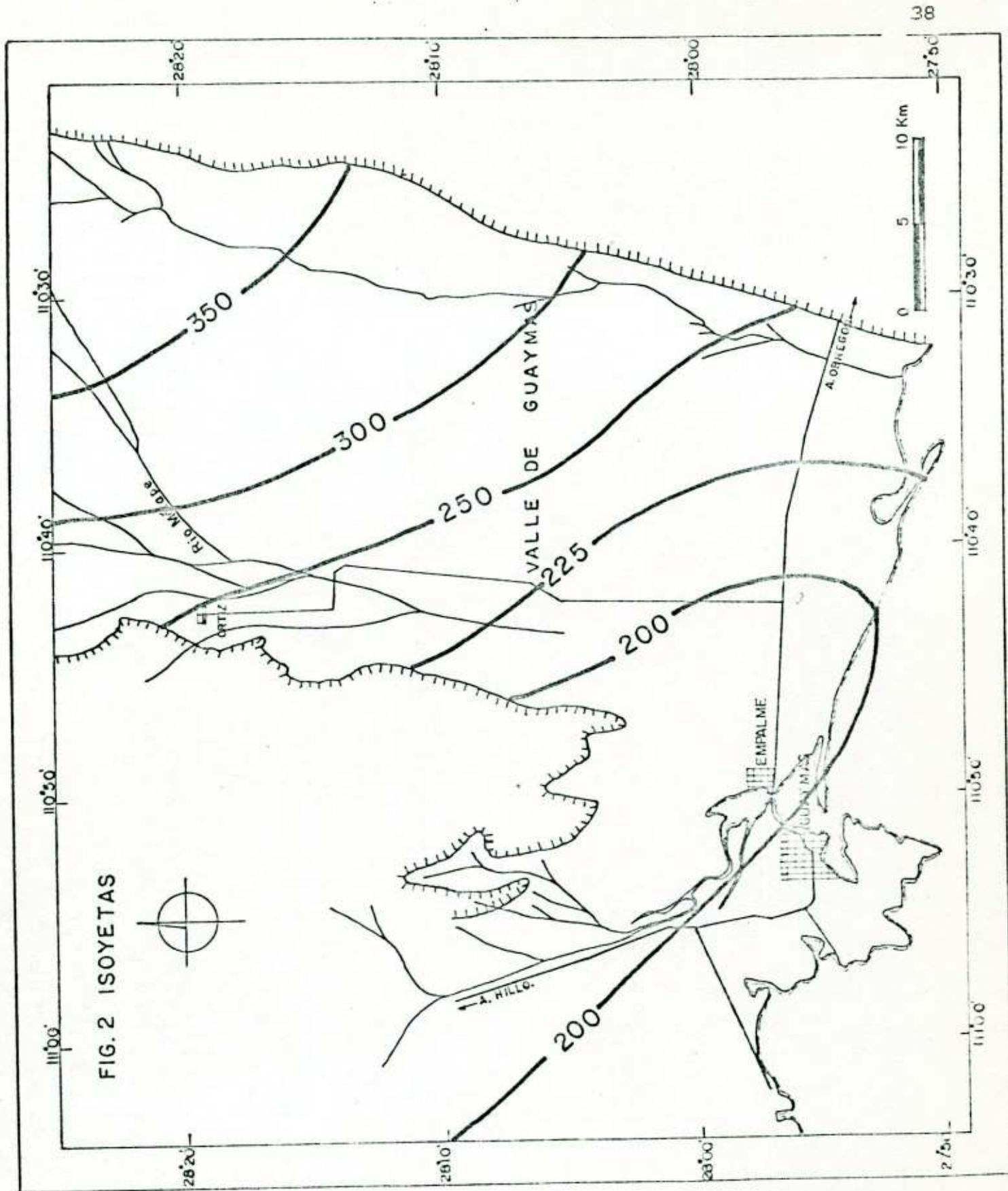


FIG. 2 ISOYETAS

CUADRO 6. PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES (mm) DE LA ZONA DE ESTUDIO EN GUAYMAS, SONORA (1978-1988).

AÑOS	PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES (mm)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1978	0.3	1.5	0.8	0.0	0.0	0.1	3.4	4.2	1.5	1.3	3.3	1.1
1979	2.4	1.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.8	2.2	2.2	0.0	0.0	0.3
1980	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	4.4	1.4	1.4	0.1	0.1
1981	2.1	0.2	0.8	0.4	0.1	0.9	4.3	1.4	1.8	0.1	0.2	0.0
1982	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	4.7	1.3	0.0	1.9	2.4
1983	0.9	1.1	0.8	0.3	0.0	0.0	3.5	1.6	4.7	1.2	0.3	0.5
1984	1.8	0.0	0.0	0.4	0.2	1.7	4.7	6.4	0.3	1.1	0.6	2.0
1985	1.3	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	3.8	3.1	1.5	2.9	1.4	0.0
1986	0.0	1.1	0.0	0.0	0.4	0.3	5.6	2.1	1.6	0.1	0.5	1.6
1987	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	3.3	1.1	0.0	0.0	0.3
1988	0.1	0.0	0.2	1.20	0.70	3.00	33.20	33.40	17.40	8.10	8.30	8.30
SUMA	9.10	6.60	2.90	0.12	0.07	0.30	3.32	3.34	1.74	0.81	0.83	0.83
MEDIA	0.83	0.60	0.26									

CUADRO 7. EVAPORACIONES MEDIAS MENSUALES, DE LA ZONA DE ESTUDIO EN GUAYMAS, SONORA (1978-1988).

AÑOS	EVAPORACIONES MEDIAS MENSUALES (mm)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1978	4.66	5.40	7.57	10.51	12.03	13.38	11.06	7.93	7.59	7.27	2.86	3.83
1979	2.30	4.38	6.41	10.15	10.32	12.37	10.69	8.95	7.69	8.79	6.04	4.60
1980	4.16	6.00	7.73	11.04	11.55	14.04	10.13	6.15	7.23	5.93	5.39	4.21
1981	3.16	5.35	6.37	9.44	10.10	10.30	7.73	7.91	6.84	6.35	5.53	4.16
1982	4.22	5.69	7.50	10.73	11.20	12.50	9.70	7.59	7.68	8.00	3.68	2.52
1983	2.92	4.38	6.06	8.43	11.63	12.91	10.30	7.98	5.78	4.98	3.85	3.22
1984	3.26	5.55	7.79	9.32	11.90	9.65	6.47	6.28	6.98	5.03	4.54	2.32
1985	2.47	4.20	6.26	8.52	11.00	11.43	8.70	6.15	7.46	5.30	4.48	3.48
1986	5.12	5.18	7.76	9.78	11.37	10.84	7.13	6.57	7.03	5.85	4.65	3.02
1987	3.95	5.14	7.34	8.90			8.34	6.81		6.33	4.92	3.68
1988	4.35	5.04	7.00									
SUMA	40.57	56.31	77.79	96.82	101.10	107.42	90.25	72.32	64.28	63.83	45.94	35.04
MEDIA	3.69	5.12	7.07	9.68	11.23	11.94	9.03	7.23	7.14	6.38	4.59	3.50

### 3.2.- Geología

Según Técnicas Modernas de Ingeniería ( T M I ) , en el Valle de Guaymas existen dos unidades acuíferas constituidas por materiales granulares, las cuales están separadas por un estrato arcilloso de origen marino. La primera unidad conocida como "acuífero superior" tiene un espesor promedio de 160 metros y está constituida por capas intercaladas de boleos, gravas, arenas y arcillas, dispuestas en una errática distribución. Dentro de este acuífero existe una lenticula de arcilla de origen continental; llamada arcilla café, cuya continuidad lateral es mayor que la de las otras capas mencionadas.

La segunda unidad, denominada "acuífero inferior", está constituida por intercalaciones de gravas, arenas, arcillas y conglomerados, tiene unos 180 metros de espesor y descansa sobre rocas ígneas y metamórficas que constituyen el basamento impermeable de la región.

La capa que separa a ambos acuíferos, está constituida por arcillas azules intercaladas con lentes de grava y arenas, predominando los depósitos de microfósiles en su parte superior. su espesor es de unos 160 metros en las proximidades del litoral, acunándose hacia aguas arriba hasta alcanzar un espesor de unos 30 metros en la parte alta de la zona de riego; se cree que el límite superior de esta capa se encuentra en las inmediaciones del Bordo Ortiz, límite supuesto de la antigua cuenca marina. Aguas arriba

de este los acuíferos superior e inferior se confunden en una sola unidad acuifera, constituida por gravas, arenas y conglomerado, intercalados con corrientes de basalto.

La geología del subsuelo del Valle de Guaymas está formada por las siguientes unidades o formaciones geológicas:

- Depósitos aluviales, fluviales, lacustres (Cuaternario).

Esta unidad corresponde a los depósitos aluviales del Cuaternario y constituyen los rellenos del Valle.

Consisten en boleos, gravas, arenas, arcilla y caliche en capas o lenticulas intercaladas. La distribución de estas capas es caótica, tanto horizontal como verticalmente y no presentan por lo tanto una continuidad lateral definida. Las capas de arcilla y de caliche, cambian de facies lateralmente a capas arenosas, acufiándose dentro de cuerpos de gravas y boleos.

Dentro de esta unidad existe un estrato arcilloso, cuya continuidad puede seguirse lateralmente algunas centenas de metros, antes de ser interrumpida por un cambio de facies representado por arenas o caliche.

En la porción sur del valle, esta unidad y el estrato arcilloso, representativos de una misma época geológica de depósito y de medios ambientes similares, se agrupan en una

sola, cuyo espesor es de 160 metros. Esta unidad se extiende a todo lo largo del valle hasta el poblado de La Misa, en el extremo Norte del valle.

- Depósitos Marinos (Mioceno).

Subyaciendo los depósitos Cuaternarios, se encuentra un estrato de origen marino, formado por arcillas azules y lentes de arenas y gravas. En la parte superior de este cuerpo, existe un depósito de microfósiles empacados en la arcilla.

Este depósito se extiende en el subsuelo, cubriendo prácticamente la mitad Sur del valle; su espesor en las proximidades de la línea costera es de 160 metros, decreciendo hacia aguas arriba del valle, 9 kilómetros aguas abajo del Bordo Ortiz, donde se acuña con una potencia de 40 metros.

- Aluviones y conglomerados del Terciario.

En la mitad Sur del valle, y por debajo de la unidad descrita anteriormente, se encuentra un depósito de materiales clásticos que probablemente corresponda al conglomerado de Baucari, de los cortes geológicos de exploración, se sabe que esta unidad está compuesta hacia aguas arriba del valle, de arenas y gravas; en tanto que al Sur de la Carretera Internacional predomina un conglomerado, cuyo espesor total atravesado es de 200 metros.

- Derrames Basálticos (Terciario)

En la porción Noroccidental del valle, alledaño al poblado de La Misa, El pozo de exploración puso de manifiesto la existencia de derrames basálticos a una profundidad de 318 metros.

Por otra parte, en el extremo Norte del Valle de Cruz de Piedra, otro pozo de exploración, el pozo PGB-11, también cortó una capa basáltica a la profundidad de 360 metros.

Entre ambos pozos no existe punto de apoyo, que permita delinear una continuidad entre ambos derrames basálticos. Sin embargo, dada la génesis del valle, es posible suponer, que los derrames basálticos pudieron ser emitidos, entre otros focos, por fracturas mayores emplazadas en la cabecera de la cuenca y que los escurrimientos lávicos pudieron cubrir gran parte de la antigua topografía.

Según Herrera, (1984) se descarta por completo la existencia del llamado "acuifero inferior". La mezcla de la arcilla con los materiales granulares dio lugar a formaciones poco permeables y a la presencia en algunas zonas de formaciones lenticulares saturadas con aguas mineralizadas. (18).

### 3.3.- Hidrologia

#### Localización hidrológica del área.

El área de estudio se localiza en la porción Suroccidental del Estado de Sonora y pertenece a la región hidrológica No. 9 Sonora Sur "Cuencas de los ríos Sonora, Yaqui, Mayo".

#### Corrientes principales.

Las corrientes principales que drenan el área de estudio son el río Mátape y el arroyo Chicuroso.

El río Mátape nace cerca del poblado del mismo nombre, su rumbo es hacia el Sur y desemboca en el Golfo de California por el oriente de la Bahía y puerto de Guaymas. Sus principales tributarios son los arroyos el Hecho y el Seco, que confluyen su cauce unos kilómetros aguas abajo de la presa Punta de Agua.

La cuenca de esta corriente desde Punta de Agua hasta su desembocadura tiene una área de 3530 km<sup>2</sup> y se encuentra entre la cuenca hidrográfica del arroyo de San José de Guaymas al occidente y la subcuenca del arroyo Chicuroso al oriente.

El arroyo Chicuroso pertenece a la cuenca del río Mátape y define su propia subcuenca a partir de la estación hidrométrica Punta de Agua. Nace en la estribación Noroccidental de la Sierra del Bacatete a unos tres

kilómetros de dicha estación hidrométrica, su rumbo es hacia el Sur y desemboca en la bahía de Yasicori.

### 3.4.- Hidrogeología.

Desde el punto de vista geohidrológico las rocas expuestas en el área fueron divididas en cuatro unidades.

- Derrames Basálticos.
- Depósitos Cuaternarios.
- Conglomerado Báucari.
- Rocas graníticas, andesíticas y tobas puniticas y aluviales.

#### - Derrames Basálticos:

Superficialmente, estos derrames tienen una alta permeabilidad a su intenso fracturamiento que presentan y a su textura vesicular.

Su mayor área de recarga se encuentra en la porción Suroccidental del área, donde afloran en la Sierra de Bacatete. En esta zona, sobreyacen en la mayor parte de su superficie a rocas andesíticas y tobas de naturaleza impermeable, por lo que sólo una área reducida de estos derrames funciona como zona de recarga a los depósitos granulares y al basalto mismo a profundidad.

#### - Depósitos Cuaternarios

Estos materiales debido a su composición heterogénea

de arenas, gravas y boleos y en menor proporción finos, constituyen un depósito de alta permeabilidad. Dentro del área, toda la superficie de los Valles de Guaymas, Cruz de Piedra y San José, representan el área de recarga de estos materiales. Sin embargo, dentro de ellos existen estructuras superficiales, como los cauces y llanuras de inundación del Río Mátape y arroyo Chicuroso, que representan las mejores áreas y canales de permeabilidad por donde la alimentación del agua de lluvia a los acuíferos es inducida.

Lateralmente, esta formación permeable está limitada por formaciones impermeables como las andesitas terciarias y Cretácicas de la zona oriental.

- Conglomerado de Báucari.

Los depósitos de este conglomerado, están formados por una intercalación de capas areniscas, arcillas y gravas medianamente cementadas.

Estas características físicas, le confieren un grado de mediana permeabilidad, ya que la infiltración en esta unidad, solo puede llevarse a cabo a través de los planos de estratificación que presenta.

Por otra parte, sus áreas de afloramientos son muy reducidas y sobreyacen en todos los casos a formaciones impermeables.

ESTADO DE SONORA

- Andesitas Cretácicas y Terciarias, Granito, Tobas Pumíticas y Eluviales.

Estas rocas tienen la característica de una casi nula propiedad para transmitir ó almacenar agua.

Su extensa área de afloramiento, funciona como zona de captación del agua de precipitación pluvial, la cual es colectada por el extenso sistema de drenaje que en ellas se desarrolla, para escurrir hacia las áreas de contacto con el material aluvional donde cierto porcentaje de estos escurrimientos superficiales se infiltra.

#### Tipos de Acuíferos.

##### - Derrames Basálticos.

Estos derrames representan un Acuífero Semiconfinado de alta transmisibilidad.

La recarga de este acuífero, proviene de dos fuentes principales: de los afloramientos superficiales de la Sierra del Bacatete y de la porción Norte de la cuenca, a través de los sedimentos granulares que la sobreyacen en esta zona.

##### - Depósitos Cuaternarios

Estos depósitos constituyen un acuífero de medios granulares que regionalmente funciona como Acuífero Libre, en el Valle de Guaymas.

Dentro del cuerpo aluvional, existe un estrato de arcilla café semiconfinante, el cual provoca semiconfinamientos locales, a causa de la diferencia de carga hidráulica entre los estratos adyacentes que induce un flujo vertical a través de ella.

En la mitad Sur del Valle de Guaymas estos materiales Cuaternarios tienen una alta capacidad transmisora, la cual decrece hacia aguas arriba del valle en la porción Nororiental por la presencia de mayor contenido de materiales finos.

Lateralmente, esta unidad está limitada por fronteras impermeables representadas por rocas ígneas intrusivas y extrusivas. Inferiormente, está semiconfinada en la porción Sur del valle por el cuerpo de "arcilla azul", que separa a los materiales clásticos del Cuaternario y Terciario, en dos acuíferos llamados Acuífero Superior y Acuífero Inferior.

En la porción Norte del valle, al acuñarse la "arcilla azul", los dos acuíferos se confunden en uno solo.

#### - Depósitos Clásticos Terciarios

Estos materiales clásticos del Terciario, forman un Acuífero Semiconfinado en su parte superior. Su permeabilidad es menor que la de los materiales clásticos del Cuaternario, debido a la alternancia de cuerpos conglomeráticos cementados.

Sus fronteras laterales, están formadas por rocas ígneas intrusivas y extrusivas; inferiormente, está limitado por granitos y rocas metamórficas como pizarras.

Aprovechamiento de los recursos hidráulicos subterráneos:

Según el censo de pozos del valle en 1987, existen 276 captaciones de agua subterránea; 241 pozos, 34 norias y 1 mixto. Del total 270 están activos y 6 inactivos.

De las obras activas, 159 son para uso agrícola, 12 para agua potable y 105 para uso doméstico y abrevadero.

En el ciclo agrícola 1986-87 se efectuó una extracción de 141.4 millones de M<sup>3</sup> y la recarga total estimada que recibió el acuífero fue de 100 millones de M<sup>3</sup> por año; lo que ocasiona que los abatimientos en la posición del nivel estático continúe descendiendo.

#### Direcciones del Flujo Subterráneo.

Se obtuvo información en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos de los niveles estáticos referidos al nivel de mar, y se configuraron curvas de igual nivel, donde se puede observar que la tendencia de la dirección del flujo subterráneo, es de Norte a Sur siguiendo el curso del río Mátape y convergencia en el cono de abatimiento a la altura del poblado Maytoarena.

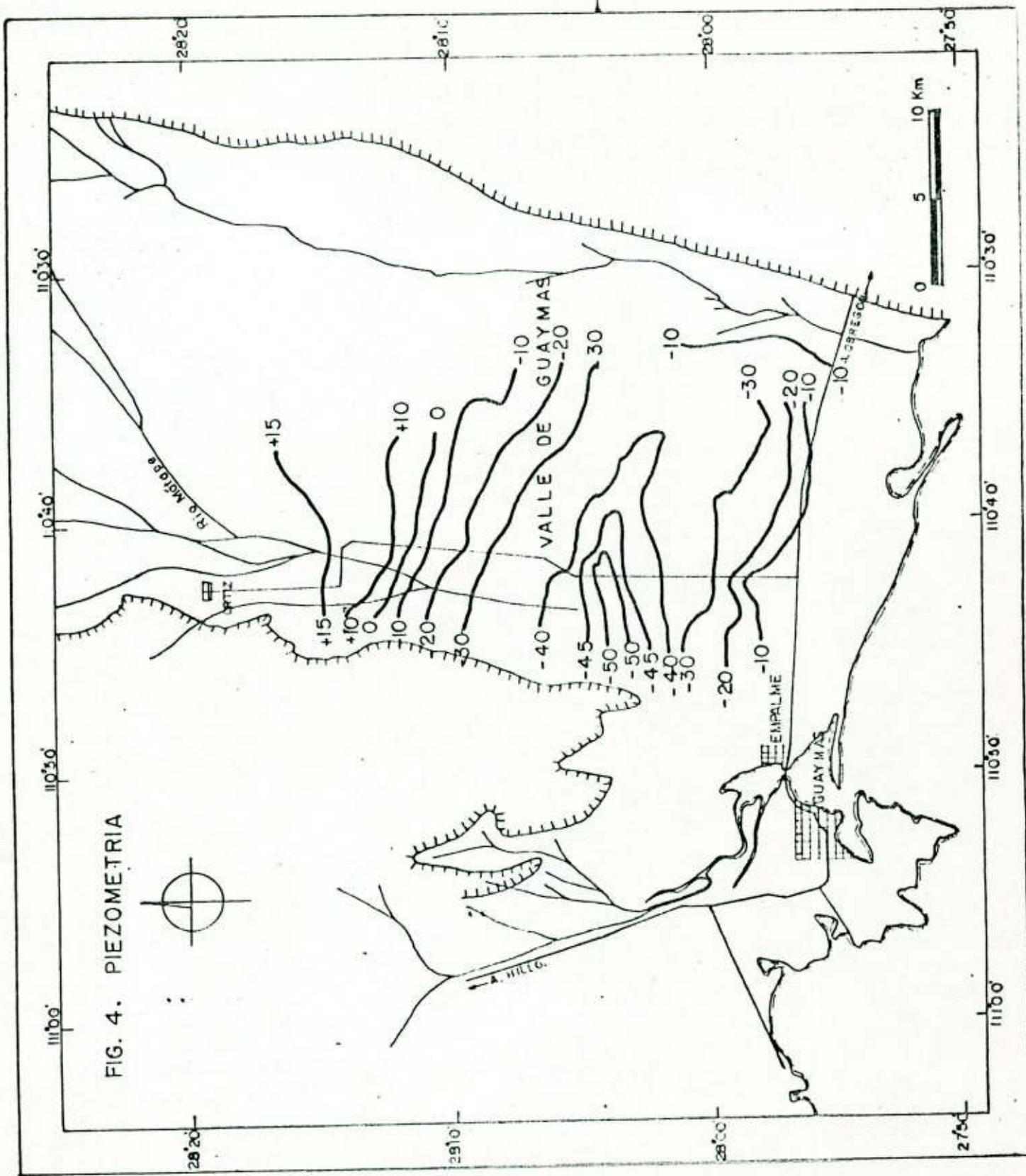


FIG. 4. PIEZOMETRIA

### 3.5.- Metodología y materiales para el muestreo, análisis e interpretación.

Con el fin de conocer las principales características fisico-químicas del agua subterránea de la zona de estudio, y con ello saber el comportamiento de las diferentes sales solubles encontradas en el agua subterránea, se llevó a cabo un muestreo de pozos obteniéndose un total de treinta y cuatro muestras de agua.

Las características físicas y químicas del agua que se determinaron fueron las siguientes:

#### Análisis físicos.

Sólidos Totales (ppm)  
 Turbidez (ppm SiO<sub>2</sub>)  
 Potencial de Hidrógeno  
 Conductividad Eléctrica (μ mhos)  
 Temperatura (°C)

#### Análisis químicos.

Carbonatos (ppm CO <sub>3</sub> )	Magnesio (ppm Mg)
Bicarbonatos (ppm HCO <sub>3</sub> )	Sodio (ppm Na)
Cloruros (ppm Cl <sup>-</sup> )	Potasio (ppm K)
Sulfatos (ppm SO <sub>4</sub> )	Calcio (ppm Ca)
Bario (ppm Ba)	

Se determinaron los análisis físico-químicos de las muestras de agua siguiendo las técnicas del manual de Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos.

Los análisis químicos que se determinaron fueron:

Los aniones tales como: Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros fueron obtenidos por el método Colorimétrico.

Los análisis físicos obtenidos fueron:

Potencial de Hidrógeno, Conductividad Eléctrica y Turbidez. (27).

Los cationes tales como: Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio y Bario fueron determinados por el método de Flamometría con un espectrofotómetro de absorción atómica PERKIN-ELMER modelo 3030.

Los Sulfatos fueron obtenidos por el método Turbidimétrico con un espectrónico 70.

Los Sólidos Totales Disueltos fueron obtenidos de acuerdo al Residuo Seco Evaporado.

Los análisis físico-químicos de las muestras de agua recolectadas en la zona de estudio en el Valle de Guaymas fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Escuela de Agricultura y Ganadería, y en la Escuela de Ciencias Químicas de la Universidad de Sonora.

#### IV.-RESULTADOS

En base a los resultados obtenidos en los análisis fisico-químicos, se procedió a efectuar la interpretación hidrogeoquímica correspondiente, utilizando para ello las técnicas de estudio antes mencionadas.

El contenido de Bario, en los diferentes muestreos que se realizaron varia entre 0.0 y 5.60 ppm, lo cual indica que en el acuífero hay cantidades significativas de este nocivo elemento.

Estos resultados podemos observarlos en los cuadros ( 8, 9 y 10 ). Los cuales nos muestran que estas aguas tienen un pH que varia entre 7.2 y 8.8 .

Se encontro que la Conductividad Eléctrica de estas muestras de agua varia entre 0.5 y 50 milimhos/cm.

Cuadro 8. Análisis químicos de las muestras de agua recolectadas en la zona de estudio en Guaymas, Sonora, 1988. (ppm).

Muestra	CO 3	HCO 3	Cl	SO 4	Ca ++	Mg ++	Na +	K +
1	0.8	183	15350	603	4166	2050	909	345
2	0.3	52	3680	26	976	450	100	40
3	0.2	78	2450	13	625	325	100	40
4	0.6	122	1450	279	685	125	160	80
5	0.4	128	659	51	168	138	60	10
6	0.1	110	103	240	99	27	40	30
7	0.0	97	17568	366	4563	372	340	80
8	0.0	97	6535	75	36539	213	160	40
9	2.39	54	6321	189	1957	1250	240	60
10	1.91	79	4350	85	1506	701	220	60
11	9.6	136	171	18	80	19	40	10
12	11.6	102	172	20	79	21	40	15
13	9.6	107	199	20	58	38	40	15
14	4.8	108	257	29	58	38	40	20
15	0.0	78	1581	45	750	58	146	91
16	0.0	68	3126	52	1731	96	180	60
17	14.4	161	206	30	67	29	45	15
18	12.0	160	103	41	29	19	55	35
19	12.0	151	104	62	40	17	55	5
20	12.0	190	102	51	18	28	55	10

Cuadro 8. Continuación

Muestra	= CO 3	- HCO 3	- Cl	= SO 4	++ Ca	++ Mg	+ Na	+ K
21	4.8	102	669	167	346	38	53	10
22	7.2	123	263	47	114	26	30	10
23	4.8	117	254	44	106	29	30	10
24	7.2	161	103	53	96	9.6	35	10
25	7.2	160	306	48	158	38	50	15
26	2.4	107	839	70	385	77	100	25
27	0.0	93	1906	55	827	163	120	60
28	0.0	175	769	46	375	67	75	25
29	0.0	136	3603	81	1981	154	200	40
30	0.0	102	1890	76	798	109	200	60
31	0.0	102	5350	535	2750	288	320	80
32	0.0	102	6589	8276	7212	96	380	100
33	7.2	136	15260	311	7115	529	983	105
34	9.6	146	309	87	106	28	60	10

Cuadro 9. Análisis físicos de las muestras de agua recolectadas en la zona de estudio en Guaymas, Sonora, 1988.

Muestra	STD (ppm)	Turbidez (ppm SiO <sub>2</sub> )	pH	C.E. (μ mhos)	Temperatura °C
1	42123	1.0	7.8	50000	*
2	3245	2.0	7.8	9000	*
3	1868	1.0	8.0	4500	28
4	1613	1.0	8.2	1900	*
5	910	2.0	8.4	1900	32.5
6	378	2.0	8.2	850	33
7	18343	200	7.2	45000	*
8	7623	1.0	7.6	18000	31
9	7848	1.0	7.8	18000	32
10	6868	1.0	7.7	13500	32
11	358	2.0	8.5	650	34
12	318	1.0	8.4	680	34
13	365	2.0	8.4	750	33
14	213	2.0	8.3	780	*
15	2388	1.0	7.9	4900	33
16	4530	2.0	7.9	9900	*
17	268	2.5	8.6	600	*
18	285	1.0	8.6	720	36
19	363	2.0	8.7	550	38
20	323	0.5	8.8	500	37

Cuadro 9. Continuación

Muestra	STD (ppm)	Turbidez (ppm SiO <sub>2</sub> )	pH	C.E. ( $\mu$ mhos)	Temperatura oC
21	104	2.0	8.1	2000	*
22	420	2.0	8.3	850	38
23	398	1.0	8.3	820	*
24	308	1.0	8.4	650	*
25	498	1.0	8.4	1250	35
26	2500	1.0	8.1	2500	*
27	2553	1.0	7.9	5000	32
28	1483	6.0	8.2	2000	*
29	5520	2.0	7.9	12000	33
30	3520	100	7.9	5000	33
31	7848	200	7.9	15000	28
32	14818	200	7.7	20000	*
33	50538	625	7.8	40000	27
34	605	2.0	8.3	1000	*

\* no se determinó

Cuadro 10. Análisis sobre Bario de las muestras de agua recolectadas en la zona de estudio en Guaymas, Sonora.

Muestra	1987	1988	1989
1	0.4	0.05	0.2
2	4.1	0.9	0.1
3	N.A.	0.9	0.7
4	N.A.	0.2	N.A.
5	N.A.	0.1	0.3
6	1.8	0.2	0.3
7	2.0	0.0	0.0
8	2.1	0.4	1.4
9	5.6	0.2	0.4
10	N.A.	0.2	0.3
11	3.4	0.05	0.3
12	1.8	0.05	0.0
13	N.A.	0.01	0.3
14	0.8	0.01	0.0
15	3.4	0.3	0.4
16	1.6	0.4	N.A.
17	N.A.	0.1	0.005
18	N.A.	0.05	N.A.
19	N.A.	0.1	N.A.
20	N.A.	0.03	0.0
21	N.A.	0.02	N.A.

Cuadro 10. Continuación

Muestra	1987	1988	1989
22	N.A.	0.01	0.0
23	N.A.	0.01	0.0
24	N.A.	0.01	0.0
25	N.A.	0.05	0.0
26	N.A.	0.06	0.0
27	1.8	0.10	0.0
28	1.0	0.10	0.0
29	N.A.	0.05	0.0
30	1.3	0.10	0.001
31	2.3	0.05	0.0
32	1.1	0.05	0.2
33	0.4	0.1	N.A.
34	N.A.	0.1	0.001

\* N.A. no se analizó

## V. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye:

En tres muestreos que se realizaron: 1987, 1988 y 1989 se detecto la presencia de Bario (Ba<sup>++</sup>).

El contenido de Bario (Ba<sup>++</sup>) en el acuífero es significativo; ya que en los análisis de algunas muestras de agua, se obtuvo concentraciones por arriba del límite recomendado de agua para beber por las organismos de salud pública, que es de 1 mg/l.

De los tres resultados obtenidos de los análisis sobre Bario (Ba<sup>++</sup>), en los diferentes muestreos se encontraron algunas diferencias.

Este elemento es tóxico para el hombre, puede afectar al corazón, a las arterias y a los nervios cuando sus concentraciones están por arriba del límite recomendado por los organismos de salud; en grandes concentraciones es venenoso para los animales superiores.

Se presume que el Bario (Ba<sup>++</sup>) puede provenir de las minas de Barita (BaSO<sub>4</sub>), que se encuentran localizados en el Cobachi, Sonora, donde nace la cuenca del río Mátape. Esta área es drenada hacia el río Mátape por numerosos arroyos intermitentes, entre los que destacan el arroyo de la Leona y el Vaquero.

## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar este estudio, muestreando mayor número de pozos y a diferentes profundidades, una o dos veces por año para observar el comportamiento del Bario<sup>++</sup> (Ba<sup>++</sup>) y sus concentraciones en el acuífero.

Buscar el origen del Bario<sup>++</sup> (Ba<sup>++</sup>) en el acuífero, para poder establecer un programa en el que se dicten medidas de control.

Investigar sobre algún tratamiento al agua potable que permita eliminar este elemento nocivo para la salud.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- 1.- Allan, F.R. and J.Cherry. 1979.Groundwater. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, U.S.A. p.375-386, 388-442.
- 2.- Babot, Y. 1979. Caractéristiques Générales Des Alluvions de la Plaine D'Alsace. Boletin del B.R.G.M. Seccion 111 No.1. Strasbourg, France. p. 5-9.
- 3.- Benitez, A. 1972. Captación de Aguas Subterráneas. Ed. Dossat, S. A. Madrid, España. p. 579-582.
- 4.- Bouwer, H. 1978. Groundwater Hidrology. Consulting Editors. New York, U.S.A. p. 339-345.
- 5.- Carrasco, V.L. 1987. Estudio Hidrogeoquímico de la parte Central del Acuífero de Ures, Sonora. Tesis, de Licenciatura. Universidad de Sonora, E.A.G. p.8-10.
- 6.- Castany, G. 1975. Prospección y Explotación de las Aguas Subterráneas. Traducido del Frances por Juan Ramon Julia. Ed Omega. Barcelona, España. p. 280-294.
- 7.- Castillo, G. J. 1988. Hidrogeoquímica de la Franja Costera del Acuífero del Valle de Guaymas, Sonora, México. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora. (Inédito).
- 8.- Clarke, F. E. 1980. Corrosion and Encrustation in Water Wells. FAO Irrigation and Drainage paper No. 34. Rome, Italy. p. 7.

- 9.-Correu, G. y J.Andrade. 1974. Manual para el alumbramiento de aguas subterráneas. F.I.R.A. México D.F. p.78.
- 10.-David, W. J., R. John y J. Jurinak. 1982. Modern Irrigated Soils. Wiley Interscience. Utah, U.S.A. p. 170-171.
- 11.- Davis, S. N. y R. De Wiest. 1971. Hidrogeología. Editorial Ariel. Barcelona, España. p.138-161, 322-324.
- 12.- Engelen, G.B. 1981. A Sistem Approach to Groundwater Quality. Institute of Earth Sciences, Dpt. of Hidrogeology and Geographical Hidrology, Free University, Amsterdam, Netherlands. p.1-2.
- 13.-F.A.O. 1981. Contaminación del Agua Subterránea, Tecnología Economía, y Gestion. Roma, Italia. 1-5.
- 14.- Fetter, C. W. 1980. Applied Hidrogeology. Ed. Merril Publishing Co. U.S.A. p.14-30, 438-450.
- 15.- Fletcher, G. D. 1987. Groundwater and Wells (Second Edition). St. Paul, Minnesota, U.S.A. p. 107-114.
- 16.- Fried, J. J. 1975. Groundwater Pollution. Elsevier. Amsterdam, Netherlands. p.1-3, 311-312.
- 17.- Harril, J. R. 1986. Groundwater Storage Depletion in Pahromp Valley, Nevada, California, 1962-1975. Geological Survey Water Supply Paper 2279. California U.S.A. p. 3-6, 22-25.

- 18.- Herrera, R. I. ; et al. 1984. Ampliacion al Estudio Geofisico del Valle de Guaymas, Sonora. Universidad Nacional Autonoma de México. Instituto de Geofisica. México. p. 28-29.
- 19.- Hollet, K. J. 1985. Geohydrology and Water Resources of the Papago Forms-Great, Plain Area, Papago Indian Reservation, Arizona and the Upper Rio Sonoyta Area, Sonora, México. United St. Geological Survey Water Supply Paper 2258. p. 2-6, 17-18, 21-28.
- 20.- Johnson, E. E. 1975. El Agua Subterránea y los Pozos. Ed. Johnson, VOP, Inc. Mnniesota. p. 18, 72-75, 87.
- 21.- Kalervo, R. and Sahama, G. 1954. Geochemistry. the University of Chicago press. Chicago, Illinois. p.426-450.
- 22.- Low, J. W. 1966. Geologia de Campo. Editorial CECSA. México D.F. p. 25, 122-123, 186-187, 430.
- 23.- Margat, J. 1971. Seminario Sobre las Aguas Subterraneas. Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Granada, España. p.66-68.
- 24.- Mitchell, R. L. 1944. The Distribution of Trace Elements in Soils and Grasses. Proc. Nutrition Soc. Engl. and Scot. I, p.183.

- 25.- Montes, P. M. y Campillo, C. A. 1983. Tesis de licenciatura. Geología del Yacimiento de Barita de Cobachi, Sonora. Universidad de Sonora, Escuela de Ingeniería, Departamento de Geología. Hermosillo, Sonora, México. p.
- 26.- Murcia, V. A. 1976. Aguas Subterráneas Prospección y Alumbramiento para Riegos. Madrid, España. p.289-294.
- 27.- Personal del Laboratorio de Salinidad de los E.U.A. 1977. Diagnostico y Rehabilitación de los Suelos Salinos y Sódicos. p. 96.
- 28.- Pimienta, J. 1973. La Captación de Agua Subterráneas. Editores Tecnicos Asociados, S.A. Barcelona, España. p. 179-180.
- 29.- S.A.R.H. 1975. Interpretación de Datos y Determinación del Potencial Actual del Acuífero en la Costa de Guaymas, Sonora. Tecnicos Modernos de Ingeniería(TMI). p.II.1, II.2, III-1--III-4, V-39--V-42, V-47--V-56, VIII-1--VIII-8, VIII-17--VIII-20.
- 30.- Tinajero, G. J. 1982. Aspectos Fundamentales en el Estudio del Agua Subterránea (Geohidrología). México D. F. p. 218-228.
- 31.- Tinajero, G. J. 1977. Inventario Regional de Aguas Subterráneas. Comisión de Plan Nacional Hidráulico, S.A.R.H. México D. F. p. 17-26, 41-52.

- 32.- Van Duijvenbooden, W., P. Glasbergen and H. Van Lelyveld.  
1981. Quality of Groundwater. Elsevier.  
Noordwijkerhout, Netherlands. p. 1-2, 208-209.
- 33.- Verdugo, M. F. 1983. Los Recursos Geotérmicos del Estado  
de Sonora. Ed. Gobierno del Estado de Sonora. Pub. 4  
Sonora, México. p. 50-55.