

CONSEJO DE CUENCAS DEL ALTO NOROESTE  
GRUPO DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN  
COMISION DE CUENCA DEL RIO CONCEPCION SONORA

## PROGRAMA DE GESTIÓN DEL AGUA PARA LA CUENCA DEL RIO CONCEPCION SONORA, A.C.

NOGALES  
IMURIS  
MAGDALENA  
SANTA ANA  
CABORCA  
BENJAMIN HILL  
TRINCHERAS  
ALTAR  
OQUITOA  
ATIL  
SARIC  
TUBUTAMA  
PITIQUITO

**Coordinador e integrador**

**M.A. Omri Flores Sánchez**  
**Jefe de Proyecto de Consejos de Cuenca**

## **DIRECTORIO**

### **Consejo de Cuencas del Alto Noroeste**

Grupo de Seguimiento y Evaluación  
Comisión de Cuenca del Río Concepción Sonora A.C.

Gobierno del Estado de Sonora

### **Comision Estatal del Agua**

Organismo de Cuenca Noroeste

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Procuraduría Federal de Protección del Ambiente

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

Secretaría de Desarrollo Social

Asociación de Usuarios del Distrito de Riego 037 Altar-Pitiquito-Caborca, A.C.

Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias

Distrito de Desarrollo Rural 139 Caborca

## **DIRECTORIO DEL CONSEJO DE CUENCAS DEL ALTO NOROESTE**

### **Lic. José Luis Luege Tamargo**

Director General de la Comisión Nacional del Agua, y  
Presidente del Consejo de Cuencas

### **Lic. Guillermo Padres Elías**

Gobernador Constitucional del Estado de  
Sonora, y Vocal Gubernamental

### **C.P. Enrique Martínez Preciado**

Director de la Comisión Estatal de Agua y  
Vocal Gubernamental Suplente

Vocal Titular del Uso Agrícola

Vocal Suplente del Uso Agrícola

Vocal Titular del Uso Público Urbano

Vocal Suplente del Uso Público Urbano

Vocal Titular del Uso Pecuario

Vocal Suplente del Uso Pecuario

Vocal Titular del Uso Industrial

Vocal Suplente del Uso Industrial

Vocal Titular del Uso en Acuicultura

Vocal Suplente del Uso en Acuicultura

Vocal Titular del Uso en Servicios

### **Ing. Gustavo Borquez Mexia**

Presidente de la Comisión de Cuenca del Río Concepción Sonora A.C.

### **Ing. Cesar Bleizeffer Vega**

Director General Organismo de Cuenca Noroeste  
Secretario Técnico del Consejo de Cuenca

## CONTENIDO

Directorio

Contenido

Presentación

1. Introducción
2. Directrices y objetivos del Programa
3. Acuíferos
  - 2605 Caborca
  - 2604 Arroyo Sahuaro
  - 2606 Los Chirriones
  - 2609 Busani
  - 2610 Coyotillo
  - 2611 La Tinaja
  - 2613 Los Alisos
  - 2614 Cocospera

Ámbito del Programa

  - Aspectos físicos naturales
  - Orografía y geomorfología
  - Escurrimientos
  - Clima
  - Hidrografía
  - Aprovechamientos
  - Lagunas, Esteros y Litorales
  - Infraestructura y Servicios
  - Agricultura y Ganadería
  - Aspectos Socioeconómicos
  - Aspectos Ecológicos
  - Vegetación
  - Fauna
4. Modernización
4. Modernización
  - 4.1 Modernización de Equipos de Bombeo del Distrito de Riego 037
  - 4.2 Integración de un Comité Técnico de Aguas subterráneas o una unidad de riego en la Zona norte.

- 4.3 Modernización de Equipos de Bombeo de la Zona Norte
- 4.4 Modernización de los Equipos de Bombeo del Organismo Operador de agua potable de Caborca, Nogales, Magdalena, Imuris, Santa Ana, Benjamin Hill, Trincheras, Altar, Oquitoa, Atil y Saric.
  
- 5. Proyecto de Cosecha de Lluvia en la Cuenca del Río Concepción y reforestación.
- 6. Tecnificación del Riego
- 7. Saneamiento
- 8. Acciones del programa
- 9. Bibliografía

# **PROGRAMA DE GESTIÓN DEL AGUA PARA LA CUENCA DEL RIO CONCEPCION SONORA**

## **PRESENTACIÓN**

En este documento se presenta el Programa de Gestión del Agua para la cuenca del Río Concepcion, como una respuesta que el Consejo de Cuencas del Alto Noroeste ofrece a los habitantes de la región para aliviar los problemas derivados de la falta de infraestructura hidraulica, agrícola y público urbana para el desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida y del ambiente de las comunidades ubicadas en esta cuenca.

Para el logro de tal objetivo es necesaria la concurrencia de los tres órdenes de gobierno, la participación decidida de los usuarios del agua y las formas organizadas de la sociedad, así como de las organizaciones gremiales e instituciones de investigación.

El Programa considera acciones de agua potable, desarrollo de infraestructura para la agricultura y la ganadería, así como infraestructura para el control de inundaciones en la partes bajas de la Cuenca. No puede omitirse que todas las acciones consideradas inducirán un cambio de actitud de los habitantes de la cuenca con respecto al valor social, ambiental y económico del recurso hidráulico.

El Programa se generó como una preocupación constante del Grupo de Seguimiento y Evaluación del Consejo de Cuencas del Alto Noroeste, cuerpo colegiado que instruyó la integración de una Comisión para la cuenca del Río Concepcion, para la discusión y realización de este documento, con el que se realizará la búsqueda de consensos para la construcción de acuerdos que conduzcan a la determinación de las metas de infraestructura para la cuenca del río Concepcion entre las diferentes dependencias, actores y sectores relacionados con el tema.

Una vez elaborado el Programa será aprobado en su oportunidad por consenso en el seno del Consejo de Cuencas del Alto Noroeste.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Constitución Política de México considera las aguas como un recurso propiedad de la Nación<sup>1</sup>, es decir, pertenece a todos los mexicanos y consecuentemente corresponde a todos, la responsabilidad de su buen uso y cuidado.

En este sentido, el objetivo nacional en materia de agua se puede resumir, en hacer un uso eficiente de este recurso que contribuya al desarrollo actual y futuro de la sociedad y mantenga la integridad del ciclo hidrológico y de los ecosistemas que dependen de él, La temática de manejo de cuencas está orientada a actuar, en forma coordinada sobre los recursos naturales de la misma, con el fin de recuperarlos, protegerlos y en general conservarlos, así como ejercer un control sobre la descarga de agua captada por la cuenca en cantidad, calidad y tiempo<sup>2</sup>.

Para el cumplimiento de este objetivo, el gobierno federal realiza esfuerzos para establecer una nueva forma de gestión del agua, acorde con los enfoques y principios que ha venido adoptando la comunidad internacional. Este nuevo esquema contempla a la cuenca hidrográfica como su unidad de gestión; reconoce al agua como un bien con valor económico, ambiental y social; y considera la necesidad de incorporar a la sociedad en la gestión del recurso.

En este contexto, el 30 de agosto de 2000, se instaló el Consejo de Cuencas del Alto Noroeste, de conformidad con lo dispuesto por la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento<sup>3</sup>. Para instrumentar, dar seguimiento y evaluar periódicamente los avances en la ejecución de las acciones y acuerdos del Consejo de Cuencas, se constituyó el Grupo de Seguimiento y Evaluación y en Diciembre del 2009 se instala la Comisión de Cuenca del Río Concepción Sonora<sup>4</sup>.

Desde la instalación del Consejo de Cuencas, en cada una de las reuniones del Grupo de Seguimiento y Evaluación y de la Comisión de Cuenca, sus integrantes, han manifestado y reconocido el papel fundamental del agua en el desarrollo de la región, por lo que declaran para la cuenca del Río Concepción, las siguientes premisa de la gestión del agua:

---

<sup>1</sup> Artículo 27 párrafos primer y quinto de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

<sup>2</sup> Participación de los Usuarios en la Administración del Agua por Cuenca Hidrológica.

<sup>3</sup> Artículos 11 fracción VII y 13 de la Ley de Aguas Nacionales y 15, 16 y 17 de su reglamento.

<sup>4</sup> Artículo 22 de las Reglas de Organización y Funcionamiento de los Consejos de Cuenca.

- Que el agua es un bien de dominio público, vital, finito y vulnerable; con valor económico, social y ambiental; cuya preservación en cantidad y calidad, así como su uso sustentable, son tareas fundamentales del Estado y la sociedad;
- Que la gestión de los recursos hídricos debe llevarse a cabo en forma integrada y con la participación directa de los actores locales en las acciones así como en la toma de decisiones.
- Que el agua es un recurso cada vez más escaso, situación agravada hoy día por la presencia de una intensa y prolongada sequía; y
- Que es necesario e impostergable promover el desarrollo de infraestructura para el aprovechamiento y control de inundaciones en la cuenca del Río Concepción.

Para atender estos aspectos, el Grupo de Seguimiento y Evaluación integró la Comisión de Cuenca del Río Concepción Sonora, A.C. con el propósito de formular un programa que integre la problemática y necesidades de infraestructura hidráulica de la cuenca, la sobreexplotación en acuíferos, contaminación por descargas agrícolas, industriales, pecuarias y municipales, daños a comunidades por inundaciones, el Abatimiento del Acuífero en el Distrito de Riego 037 Altar-Pitiquito-Caborca, la baja eficiencia de aprovechamiento del agua en las áreas de riego ubicadas fuera del Distrito de Riego 037, así como el deterioro en la cuenca por efectos de la actividad ganadera, y con esto dar cumplimiento al acuerdo del Consejo de Cuencas, referente a la formulación de un Plan o Programa de Gestión Integral del Agua, que sirva de instrumento para el cumplimiento de los objetivos del Consejo de Cuencas.

El trabajo coordinado de los Organismos Operadores de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de los municipios que integran la Cuenca, de la Comisión Estatal de Agua del Estado de Sonora, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de investigadores del INIFAP, del Organismo de Cuenca Noroeste, así como de los diferentes Ayuntamientos Municipales, Organizaciones de Productores Agrícolas, Ganaderos e Industriales y Usuarios de distintos usos del agua, dieron como resultado el "Programa de Gestión del Agua para la Cuenca del Río Concepción Sonora, A.C." que se presenta en este documento.



La ejecución de este programa aportará múltiples beneficios en las dimensiones económica, social y ambiental, a fin de coadyuvar al objetivo de mejorar la calidad de vida de los habitantes y el desarrollo de la cuenca.

En lo económico se aspira, entre otros, a que tanto la agricultura como la ganadería se realicen en un ámbito de mayor eficiencia y productividad principalmente para las zonas rurales, incrementando así sus posibilidades de mercado; la posibilidad de aprovechar más las aguas superficiales y subterráneas, así como el implementar programas de producción y cosecha de agua en las partes altas de la cuenca, contribuirá a reducir el estrés hídrico de la cuenca, siendo este el sentido del manejo de cuencas, que no es otra cosa que las actividades asociadas con acciones productivas, que permiten darle sustentabilidad ambiental a la cuenca<sup>5</sup>.

Entre los beneficios de tipo social está el de proteger la salud de los habitantes de la cuenca, asegurando a las localidades que se abastecen de las corrientes subterráneas la disposición de agua de mayor calidad y cantidad necesaria para el consumo humano; recuperar el espacio para la recreación y esparcimiento de las familias, al devolver a los ríos su entorno sano.

En el sentido ambiental, una aportación de este Programa es preservar los sitios vitales para especies migratorias; el repoblamiento en los cuerpos de agua con especies otrora abundantes y de especies de la fauna tradicional de otra época. Parte muy importante es preservar el agua que fluye por los acuíferos ya que estos son parte esencial en el surtimiento de agua hacia la Cuenca.

Este Programa aspira ser un instrumento orientador de las políticas y acciones en materia de desarrollo de la infraestructura en la cuenca del Río Concepción, que brinde congruencia y dirección a las acciones de los diferentes niveles de gobierno y sociedad, que será actualizado periódicamente por las reflexiones de los ejecutores y la sociedad, para que de esta manera cumpla mejor su objetivo y logre un mayor impacto en el desarrollo y conservación de la región.

El Programa contempla un horizonte de planeación de 10 años con revisiones cada 5 años, o antes si se identifican nuevas variables que obliguen a una reflexión más profunda. Lo anterior también implica que

---

<sup>5</sup> Participación de los Usuarios en la Administración del Agua por Cuenca Hidrológica.

conforme se vayan alcanzando las metas se podrán fijar nuevos objetivos cuyo único requisito será el ser congruentes con las directrices (maestras), que son el espíritu de este Programa, esto no limita la adición de objetivos por la intervención de otros actores que deseen colaborar en este esfuerzo.

## **2. DIRECTRICES Y OBJETIVOS DEL PROGRAMA**

El Programa de Gestión del Agua para la cuenca del Río Concepcion, contempla cuatro directrices, las que a su vez consideran una serie de objetivos.

Directriz 1. Realizar un mejor uso del agua en sus distintos secotres.

Objetivos:

1. Mejorar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura, uso público urbano e industrial.
2. Incrementar la capacidad de almacenamiento.
3. Detener la sobreexplotación de los acuíferos de los diferentes acuíferos de la Cuenca del Río Concepcion.
4. Tecnificación.

*Directriz 2. Contar con agua suficiente para las demandas actuales y futuras.*

Objetivos:

1. Conocer la disponibilidad natural base media de las cuencas.
2. Mejorar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura, uso público urbano e industrial en las cuencas.
3. Tener un mejor conocimiento de la distribución espacio - temporal del agua en las cuencas y sus alteraciones.
4. Incrementar la capacidad de almacenamiento de agua.
5. Detener la sobreexplotación de los acuíferos de los diferentes acuíferos de la Cuenca del Río Concepcion.

*Directriz 3. Lograr que el agua que se utilice, sea de buena calidad.*

Objetivos:

1. Incrementar el saneamiento de las aguas residuales.
2. Disminuir la contaminación.

Directriz 4. Evitar al máximo los riesgos que pudiera provocar la abundancia o escases del agua.

Objetivos:

1. Disminuir los riesgos actuales y potenciales de contaminación de agua.
2. Minimizar los efectos ocasionados por el desbordamiento de cauces y inundaciones.
3. Minimizar los efectos ocasionados por sequías.

### **3. ÁMBITO DEL PROGRAMA**

#### **Localización**

La cuenca del río concepción está ubicada en al noroeste del Estado de Sonora, donde abarca los municipios de Nogales, Imuris, Santa Ana, Magdalena, Caborca, Benjamin Hill, Altar, Pitiquito, Atil, Tubutama, Saric, Trincheras y Oquitoa.

Sus límites son por el oriente, la cuenca del río Sonora, al sur la cuenca del río San Ignacio, al norte la de Sonoyta y la de los ríos San Pedro y Santa Cruz que escurren hacia territorio de Estados Unidos.

Este río drena una superficie de 25,757 Km<sup>2</sup>, de los cuales 310 corresponden a territorio de Estados Unidos de Norteamérica.

#### **Escurrecimientos**

El Río Asunción tiene como afluentes principales en la parte alta a los arroyos Sasabe y Los Federicos, en la parte media al arroyo El Muchachito y río Altar y en la parte baja al arroyo El Coyote. Tiene una pendiente media de 0.30 % y su dirección general es de norte a sur en la parte alta y de este a oeste en la parte media y baja.

Los volúmenes escurridos reportados para el Río Concepción a la altura de la estación hidrométrica de Pitiquito, ubicada en la parte media de la cuenca, entre 1960 y 1985, promedian un volumen anual de 53.6 hm<sup>3</sup>/año, siendo 1983 el año de mayor escurrimiento con 218.6 hm<sup>3</sup>. En contraparte, 1968, apenas registró un volumen de escurrimiento de 9.3 hm<sup>3</sup>.

El periodo en que ocurren los escurrimientos son de Julio a Septiembre. Durante el resto del año prácticamente no existen escurrimientos en el Río Concepción, a excepción de aquellos provocados por lluvias temporales en la época de invierno. Los escurrimientos derivados por la temporada de lluvias de verano aportan en promedio el 81.6 % del total anual.

El período de estiaje (secas) es de abril a Junio. Las precipitaciones de invierno se dan en forma de equipatas, durante los meses de Diciembre y Enero, con un porcentaje de 5 a 10.2% de la precipitación total anual.

#### **Clima**

En la subregión de planeación Río Concepción, la temperatura media es de 20 oC con máximos de hasta 47 oC en las partes bajas y mínimos de -10.5 oC en las partes altas. El valor medio de evaporación es de 2 084 mm.

## **Hidrografía**

Río Magdalena. Recibe también los nombres de Mar, Asunción y Concepción. Tiene un curso de 384 Km. Nace en las sierras del N del mpio. de Imuris y corre al S atravesando la Canada de Imuris, en donde recibe la afluencia del Río Cocóspera que nace en la Sierra de la Mariquillo: continua su curso al SO recorriendo los pueblos de Terrenate, San Ignacio, Magdalena, Santa Ana y los ejidos de Son Lorenzo, Santa Marta, Coyotillo y El Claro. Se interna luego en el municipio de Trincheras; al SO de la Villa de Altar se le une el Río Altar, que a su vez obtiene la afluencia del Río Seco y riega los pueblos de Sáric, Tubutama, Oquitos y Altar. Sigue por Pitiquito y Caborca toma rumbo al O y se pierde en el Golfo de California.

## **Aprovechamientos**

### **Aspectos físicos naturales**

La cuenca del Río Concepción está ubicada al noroeste del Estado de Sonora, donde abarca los municipios de Nogales, Imuris, Santa Ana, Magdalena, Caborca, Benjamin Hill, Altar, Pitiquito, Atil, Tubutama, Saric, Trincheras y Oquitoa. Dentro de la Cuenca como aprovechamientos subterráneos se tiene presa Comaquito y Presa Cuauhtemoc y por parte de aprovechamientos subterráneos se tienen los acuíferos de Caborca, Los Chirriones, Arroyo Seco, Río Altar, Busani, Coyotillo, La Tinaja, Magdalena y Río Alisos.

Presa Comaquito:

Presa Cuauhtemoc:

## **Acuífero 2605 Caborca:**

El acuífero Caborca, definido con la clave 2605 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción noroccidental del estado de Sonora, entre las coordenadas geográficas 29°54' y 31°22' de latitud norte y 111°29' y 113°08' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 13,242 km<sup>2</sup>.

Colinda al oeste el Golfo de California, al norte colinda con los acuíferos Arroyo Sahuaro y Los Chirrones; al este con Arroyo Seco, Río Altar, Busani, Magdalena y Costa de Hermosillo; al sur con Puerto Libertad y Arivaipa; todos ellos pertenecientes al estado de Sonora (figura 1).

Geopolíticamente el acuífero comprende parcialmente los municipios Caborca, Pitiquito, Trincheras, Altar y Oquitoa.

El acuífero Caborca pertenece al Organismo de Cuenca Noroeste. El territorio completo que cubre el acuífero está cubierto por dos decretos de veda. El primero rige en la porción central y está sujeto a las disposiciones del *"Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona que comprende la región de Altar, Pitiquito y Caborca, estado de Sonora"*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 18 de Octubre de 1962. Este decreto es tipo III, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

El resto de su superficie está sujeto a las disposiciones del *"Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos del Estado de Sonora, en la parte oeste del meridiano 110° de Greenwich para el mejor control de las extracciones, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo, en dicha zona"*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 19 de Septiembre de 1978. Este decreto es tipo II, en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2010), los municipios de Caborca, Altar y Pitiquito, se encuentran en zona de disponibilidad 4, en tanto que Trincheras y Oquitoa se ubican en zona de disponibilidad 6. El principal usuario es el agrícola. En el acuífero se localiza el Distrito de Riego 037 "Altar-Pitiquito-Caborca. A la fecha no se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

### **FISIOGRAFÍA**

#### **Provincia fisiográfica**

El acuífero Caborca se ubica en la Provincia Fisiográfica Llanura

Sonorense (INEGI, 1997) Subprovincia Fisiográfica Sierras y Llanuras Sonorenses constituida por una amplia variedad de rocas, en cuanto a su edad y composición, que se caracteriza por la presencia de sierras aisladas de rumbo NW-SE y N-S, con alturas que varían de 200 a 1,400 msnm, sepultadas por suelos cuaternarios; entre ellas se ubican llanuras amplias hacia la costa y bajadas de aluviones.

## **Clima**

El 96 % del acuífero está representado por climas muy secos semi-cálidos. En los alrededores de la cabecera municipal se aprecia un clima muy seco cálido y hacia la porción sur en una pequeña zona se presenta un clima seco; su régimen de lluvias es de verano, pero con un porcentaje de lluvia invernal de 22% respecto a la media anual. De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García (1981) el tipo de clima es BS, KW (x') (8e'). La temperatura media anual para el Acuífero Caborca es de 21.2°, la precipitación media anual es de 269 mm/año, con una lámina mínima de 84.6 mm. El valor de evapotranspiración potencial, de acuerdo con los datos obtenidos de las estaciones, es de 262.9 mm, en tanto que el valor de la evaporación potencial media es de 2346 mm anuales.

## **Hidrografía**

El acuífero se ubica dentro de la Región Hidrológica 8 Sonora Norte, abarcando parte de las cuencas Desierto de Altar-Río Bámori, Río Concepción-Arroyo Cocóspera y Río San Ignacio y Otros. El río Asunción es la corriente más importante; drena una superficie de 25,757 km<sup>2</sup> de los cuales 310 corresponden a territorio de Estados Unidos de Norteamérica. Limita al oriente con la cuenca del río Sonora; al sur con la del río San Ignacio; al norte con la cuenca del río Sonoyta y las de los ríos San Pedro y Santa Cruz; al noroeste con las cuencas de las corrientes poco definidas que descargan directamente en el Golfo de California.

La topografía de la cuenca se caracteriza por grandes extensiones de terrenos planos en las zonas media y baja; tiene una altitud media de 700 msnm aproximadamente y una máxima de 2,530 msnm al norte de Cananea, Sonora. La formación montañosa más importante de la cuenca se extiende desde Magdalena, hasta los orígenes del colector general, abarcando además las cuencas de los ríos Babasac, Los Alisos, Coyotillo, Busani y Altar, afluentes del río Concepción.

El río Concepción nace con el nombre de río Casa de Piedra en el cerro Vereda, a 9 km al sureste de Santa Cruz, en el parteaguas con el río Santa Cruz. Su cauce sigue un rumbo suroeste, recibe por su margen



derecha al arroyo San Antonio a una altitud de 1,100 m y cambia su nombre al de arroyo Cocóspera; por su margen izquierda confluye el río Babasac a una altitud de 930 m. El arroyo Cocóspera recibe las aportaciones de su primer afluente importante, el arroyo Los Alisos, inmediatamente aguas abajo de Ímuris, por su margen derecha, y toma el nombre de río Los Alisos hasta las inmediaciones de Magdalena, donde el colector general fluye por zonas de topografía más suave y se inicia el aprovechamiento de sus escurrimientos. A partir de Magdalena, el colector general toma el nombre de esta población y continúa con curso hacia el suroeste; pasa por la población Santa Ana donde cruza la carretera Hermosillo-Nogales y aguas abajo, a la altura del ejido la Tinaja, recibe por su margen derecha el arroyo El Coyotillo.

Desde la confluencia anterior hasta Caborca, el río Magdalena sigue un curso poniente- norponiente, penetra a zonas de topografía suave donde su cauce se hace divagante y sus escurrimientos se aprovechan parcialmente por derivación. En este tramo los principales aportadores provienen de la margen derecha, como son el arroyo Busani y los ríos Altar y Seco.

A partir de la confluencia del río Altar, el Magdalena cambia su nombre por el de Asunción y a él confluye el río Seco, a una altitud de 300 m, ligeramente aguas arriba de la estación hidrométrica Pitiquito. Aguas abajo de Caborca, el río Asunción sigue con rumbo oriente hasta llegar a la sierra El Álamo, bordeándola por el norte para después tomar un curso surponiente y finalmente descargar sus aguas en el Golfo de California. En este tramo el arroyo Tesota confluye al río Asunción por la margen izquierda al oriente de la sierra El Álamo, a una altitud de 180 m. Aguas abajo recibe al arroyo Coyote por la margen derecha, al norte de la misma sierra, a una altitud de 130 m.

## **Geomorfología**

De acuerdo a la carta de unidades Geomorfológicas de México (Lugo, 1990), en el acuífero las unidades geomorfológicas presentes son las siguientes:

**Ladera Montañosa:** la condición principal de esta unidad morfogénica es una altura relativa mayor a 200 m; que, según Lugo Hubp (1989) se debe a procesos endógenos de plegamiento, magmatismo, vulcanismo y también puede ser originada por la disección de una estructura de formación endógena modelada.

**Lomerío:** el factor determinante es que su altura relativa sea menor a 200 m; se origina por la nivelación de montañas (endógeno modelado) o por la disección de una planicie inclinada (exógeno erosivo); sin

embargo, puede tratarse de relieve endógeno de baja altura, producto de tectónica cuaternaria (Córdova F. de A., 1988).

**Piedemonte:** constituye márgenes montañosas o zonas transicionales que se distinguen por cambio de pendiente y altura considerablemente menor, de 0 a 200 m, dependiendo del comportamiento del terreno; está compuesto de material detrítico y presenta drenaje fluvial.

**Planicie:** es una superficie de poca inclinación y diferencia altitudinal, corresponde al relieve exógeno acumulativo de depósitos aluviales, eólicos y costeros. Se consideró para su identificación el uso de suelo (agrícola y urbano), el cambio de pendiente y el patrón de drenaje.

## **GEOLOGÍA**

La geología regional está constituida por un basamento ígneo-metamórfico del Proterozoico inferior- medio, denominado Complejo Metamórfico Bámori (Longoria *et al.*, 1978) constituido por gneises y esquistos afectados por un granito micrográfico denominado Granito Aibó, fechado en 1,100 Ma por Anderson y Silver (1979); ambas unidades afloran en la porción sureste del área de estudio. Sobreyacen discordantemente sedimentos de edad proterozoica, representados por dolomías y areniscas, denominadas Capas Gamuza, que afloran en la porción oriental. Sobreponiéndose concordante y transicionalmente a dichas capas, se encuentran paquetes de calizas y areniscas; en la porción central Norte y Este, sobreyaciendo a estas rocas se encuentran discordantemente (hiato en el Cámbrico Superior) calizas y lutitas de facies de cuenca profunda de edad Ordovícico-Devónico.

Al Norte de Sierra El Álamo en la porción central del acuífero, afloran calizas y limolitas de la Formación Monos (Cooper, 1965) del Pérmico Superior, sobreyacidas discordantemente por calizas y lutitas del Pérmico Superior-Triásico Superior, seguidas discordantemente por una unidad de meta- areniscas y meta-lutitas de edad Triásico Superior, que a su vez es cubierta discordantemente por un paquete de areniscas y limolitas, calizas y areniscas, areniscas y conglomerados polimícticos del Jurásico, correlacionables con la Formación San Antonio (González, 1980). Estas unidades afloran principalmente en la Sierra El Antimonio.

En forma aislada afloran en la parte norte del acuífero rocas graníticas y granodioríticas de edad Jurásico Superior (Stewart, 1986). Cabalgando a rocas jurásicas, afloran rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Jurásico Medio, consistentes en riolitas, andesitas, areniscas y conglomerados deformados, que conforman casi la totalidad de Sierra La Gloria, en esta localidad cabalga a rocas

sedimentarias del Jurásico Inferior y del Cretácico-Terciario. En contacto por falla normal con esta unidad, se encuentra la unidad metasedimentaria de la misma edad, constituida por conglomerados polimícticos y areniscas deformadas expuestas en el Cerro El Álamo. En esta misma porción cabalga a la Formación Morita, constituida por lutitas y areniscas, de edad Aptiano y a su vez está en contacto por falla normal con una secuencia de riolitas y andesitas del Complejo Volcánico El Charro.

Cubriendo discordantemente a las rocas triásicas y jurásicas, aflora una secuencia volcanosedimentaria constituida por andesitas y areniscas del Cretácico Superior correspondientes a la Formación Tarahumara, que aflora en la Sierra El Álamo. Sobreyaciendo discordantemente y en contacto tectónico con las unidades del Jurásico Inferior, afloran en el flanco Sur occidental de la Sierra La Gloria y Cerro El Álamo, los conglomerados polimícticos rojos y areniscas de edad Cretácico Superior - Terciario Paleoceno.

Afectando en parte a las unidades anteriores, se presentan rocas intrusivas representadas por gabros, granitos, granodioritas y dioritas que se encuentran distribuidas en la mayor parte del área de estudio; estas unidades han sido fechadas por el método K-Ar, obteniendo edades que van de  $64.3 \pm 2$  Ma (Damon *et al.*, 1983) a  $80.9 \pm 1.8$  Ma (De Jong, 1988).

El Pleistoceno está representado por depósitos semiconsolidados y no consolidados de piedemonte, constituidos por conglomerados polimícticos, gravas y arenas y el Holoceno por materiales aluviales, depósitos eólicos, lacustres, palustres y aluvión.

## **Estratigrafía**

A continuación se hace una breve descripción de las unidades geológicas que se encuentran en el área de la más antigua a la más reciente:

**Precámbrico.** Dentro del área de estudio afloran rocas precámbricas metamórficas constituidas principalmente por esquistos micáceos, cuarcitas, gneis y un complejo metamórfico. Estos afloramientos se encuentran concentrados en la porción Sur del acuífero. Respecto a las rocas ígneas precámbricas se presentan en el área pequeños afloramientos de granito y granodiorita, localizados al suroeste y este de Bámori, respectivamente. El Precámbrico Superior está representado por secuencias de areniscas y calizas correlacionables con las rocas del Precámbrico Superior de la región de Caborca, que afloran al sur de la Ciudad del mismo nombre.

**Paleozoico.** Se encuentra representado por una secuencia detrítico-carbonatada que fue depositada en un ambiente de plataforma somera, cuyas edades varían del Cámbrico al Pérmico. Estas secuencias están constituidas de calizas y areniscas principalmente.

**Mesozoico.** Está representado por una secuencia marina, con depósitos calcáreos, arcillo-calcáreos y arcillo-arenosos. Afloran también rocas ígneas, intrusivas y extrusivas de composición ácida a intermedia, así como un complejo metamórfico. Una asociación de arenisca-toba intermedia de edad Triásico-Jurásico se encuentra aflorando al suroeste de Caborca. Respecto a rocas jurásicas, aflora una secuencia vulcanoclástica al sureste de Pitiquito. El Jurásico en el área está representado por dioritas, tonalitas y una asociación de riolita-toba ácida.

**Cenozoico.** Las rocas cenozoicas en el área están representadas por afloramientos de andesitas y de basaltos, así como extensos afloramientos de conglomerados, los cuales están diseminados sobre toda la superficie. Las rocas terciarias están representadas por rocas ígneas intrusivas y extrusivas. Al suroeste del área existen afloramientos de riolita-toba ácida y riolita-toba ácida, así como afloramientos dispersos de riolita, riolita y toba ácida. En el extremo norte del acuífero se encuentra un afloramiento de granito. Respecto a rocas sedimentarias terciarias, afloran secuencias de areniscas-limolitas al sureste.

Del **Cuaternario** se localizan depósitos lacustres, litorales y palustres. El depósito aluvial es el que ocupa mayor extensión en el acuífero, seguido de depósitos eólicos, localizados en la zona costera.

### **Geología estructural**

La estructura regional más sobresaliente en Sonora es la hipotética Megacizalla Mojave-Sonora de Anderson y Silver (1979), que corresponde a una estructura sinistral con un desplazamiento lateral de 700 a 800 km con orientación NW-SE, la cual fue interpretada como falla activa durante el Jurásico Temprano a Medio. El estilo de deformación de las rocas sobre la traza de la Megacizalla se manifiesta como fracturamiento, fallamiento y zonas de esquistosidad afectando a rocas del Jurásico Inferior y Medio. Superpuestas a este estilo de deformación, se tienen cabalgaduras, plegamientos y esquistosidad que afectan tanto a las rocas jurásicas como a las del Cretácico Inferior, atribuibles a la Orogenia Laramide. Durante el Cretácico Superior-Terciario Inferior se evidencia una etapa de intenso tectonismo en la cual las mayores estructuras son cabalgaduras y plegamientos en los

que las rocas del basamento proterozoico cristalino y rocas sedimentarias del Proterozoico Superior y Cámbrico cabalgan sobre rocas sedimentarias del Jurásico Inferior, como ocurre en las sierras La Víbora y La Joroba, donde el Precámbrico sedimentario se encuentra fuertemente plegado.

También se evidencian en algunos lugares fallas inversas como en el Cerro El Álamo, donde metaconglomerados cabalgan a rocas de la Formación Morita, que atestiguan la tectónica compresiva que los afectó. De Jong (1988), concluye que el cabalgamiento en el área de Caborca tuvo lugar durante el Cretácico Tardío entre 98 y 80 Ma, que corresponde a la Orogenia Laramide. La mayor parte de la configuración actual de la región se debe al fallamiento normal del Terciario Medio. La tectónica producida durante esta fase, trunca las estructuras preexistentes y las estructuras anteriores quedan en ocasiones completamente enmascaradas por este fallamiento regional de tipo normal, atribuido a la distensión de cuencas y sierras ("Basin and Range").

### **Geología del subsuelo**

De acuerdo con los SEV's realizados por las empresas TMI (1975) e ICG (1977), y los TEM's realizados por la CONAGUA (2007), es posible definir la presencia de un acuífero constituido en su porción superior por depósitos aluviales y en su porción inferior por gravas y arenas empacadas en arcillas. Hacia la zona de El Desemboque se presentan cuatro horizontes de distinta composición y granulometría. La capa más somera corresponde con gravas, arenas y arcillas, en la cual el contenido de arcillas disminuye hacia la parte costera, esta capa tiene un espesor que varía, de sureste a noroeste, de 50 a 150 m aproximadamente; debajo de esta capa se encuentra una capa de arcilla azul con un espesor mayor a 150 m, el cual se incrementa hacia la parte noroeste de El Desemboque. Subyaciendo a la arcilla azul se encuentra una arcilla de color marrón con gravillas, con un espesor aproximado de 100 m; y finalmente, a una profundidad aproximada de 250 m se encuentra la capa de cuarcita alterada.

Hacia el noreste del poblado El Coyote se ha reportado una capa de gravas y arenas con un espesor aproximado de 70 m. Subyaciendo a esta capa se encuentra otra de arenas y gravas con un espesor mayor a 150 m, la cual se acuña hacia el noreste; por último se tiene una capa arcillosa de la cual no se conoce espesor. Finalmente, se reporta hacia la parte norte de la costa, una capa superficial de gravas y arenas de espesor variable que subyace a una capa de arcilla azul de espesor desconocido. Los sondeos geofísicos permitieron identificar 6 litologías diferentes (figura 3), que de la más antigua a la más joven son: Caliza-

Arenisca de edad Paleozoica por su posición estratigráfica, Arenisca del Triásico Inferior, Metasedimentarias y Metavolcánicas del Triásico Superior, Granodiorita del Cretácico-Terciario y Depósitos aluviales del Cuaternario.

## **HIDROGEOLOGÍA**

### **Tipo de acuífero**

De acuerdo con las unidades hidrogeológicas identificadas y los sondeos geofísicos ejecutados, es posible definir que el acuífero es de **tipo libre**, con presencia de condiciones locales de semiconfinamiento debido a la presencia de estratos de arcillas, en el que se han identificado dos unidades diferentes en el valle:

La primera unidad está constituida por los materiales aluviales conformados por gravas y arenas intercaladas con materiales finos, derivados de materiales tobáceos, que presentan permeabilidad variable, dependiendo del contenido de arcillas. Estos materiales funcionan como acuífero libre cuyo espesor es variable, del orden de 60 m en el área de Pitiquito, 170 m en Caborca, 100 m en el área de Coyote Costa y hasta 400 m en la región de Bízani; presentan las características apropiadas de permeabilidad y porosidad para almacenar el agua de la subcuenca del Río Asunción, en el tramo comprendido entre Pitiquito y Caborca, constituyendo así la unidad geohidrológica más importante.

La segunda unidad se encuentra constituida por una capa de materiales clásticos (gravas y arenas) terciarios, empacados en una arcilla de color rojo, con un espesor reducido de tan solo 50 m, por lo que no representa una unidad acuífera importante.

Estas unidades se encuentran divididas por una capa de arcilla de color gris-azul, con fósiles marinos, prácticamente impermeable y con un espesor de 230 m en la zona costera. Debido a su baja permeabilidad se encuentra confinando parcialmente a la segunda unidad acuífera. El basamento geohidrológico se encuentra constituido por rocas intrusivas y metamórficas. En función de las propiedades físicas de las distintas litologías, es posible definir las siguientes unidades hidrogeológicas:

**Material consolidado con posibilidades bajas.** Rocas impermeables o de baja permeabilidad, de origen ígneo, sedimentario, volcanosedimentario y metamórfico. Sin embargo, el fracturamiento intenso de poca profundidad que predomina en las sierras altas, favorece la infiltración que se manifiesta por la presencia de pequeños manantiales que desaparecen en el periodo de estiaje.

**Material no consolidado con posibilidades altas.** Se encuentra

distribuida en las porciones central, centro-occidental, noreste y norte del área de estudio. Está constituida por conglomerados semiconsolidados del Terciario y Pliocuaternario, así como aluviones, depósitos eólicos y de piedemonte, acumulados en los valles.

**Material no consolidado con posibilidades medias.** Esta unidad se localiza dispersa en el occidente y en la porción sureste del área, los materiales que lo constituyen son conglomerados del Terciario y Cuaternario, que en ocasiones se encuentran cementados. Presentan posibilidades de constituir acuíferos de tipo libre. Se explota mediante norias que presentan niveles estáticos que oscilan entre 3 a 8 m.

**Material no consolidado con posibilidades bajas.** Está constituida por un conglomerado polimíctico, formado con fragmentos redondeados de rocas volcánicas de composición ácida y, básica, así como rocas y sedimentarias, incluidos en una matriz arcillo-arenosa ligeramente cementada. Conforman una unidad con posibilidades bajas debido a la poca extensión de sus afloramientos, a su reducido espesor y escaso fracturamiento.

## **Piezometría**

La información de piezometría se tomó del "Atlas de Aguas Subterráneas y de la Red de Monitoreo Piezométrico del Estado de Sonora", correspondiente a los años 2004 y 2007. Para la descripción del comportamiento de los niveles del agua subterránea, únicamente se describirán las configuraciones para el año 2007.

## **Comportamiento hidráulico**

El Acuífero Caborca presenta una topografía que se caracteriza por la distribución de bloques levantados y caídos correspondientes a la tectónica Basin and Range del Terciario y eso hace que la geometría del acuífero sea sumamente irregular y compleja. Por lo mismo, existe un patrón hidrogeológico de recarga y flujo también complejo, que requiere de estudios más detallados para su definición. Se definieron tres zonas dentro del acuífero:

**La Zona Este** geológicamente se caracteriza por ser una fosa angosta de orientación NW asociada a fallamiento profundo de edad mesozoica.

**La Zona Centro** de geología compleja, caracterizada por la interacción de fallamiento terciario en dirección NW que genera cuencas y sierras, con fallas dirección en dirección E. Esta interacción genera una cuenca profunda por donde pasa el actual Río Concepción. Es en esta

zona en donde se localiza el mayor número de aprovechamientos y las mayores profundidades al nivel estático.

**La Zona Costera** separada de la Zona Centro por medio de un parteaguas subterráneo, se caracteriza por ser un delta acotado por la paleotopografía, donde actualmente se presenta un proceso incipiente de intrusión marina.

### **Profundidad al nivel estático**

De acuerdo con la configuración de la profundidad al nivel estático (figura 4), los valores en el acuífero varían de 10 a 133 m. Las menores profundidades se registran hacia la zona costera, aumentando gradualmente por efecto de la topografía hacia las porciones más altas.

En la zona costera los valores oscilan entre 10 y 100 m, en tanto que en la opción central del acuífero se registran profundidades que varían entre 30 y 133. Finalmente, en la región de Pitiquito, la profundidad varía de 20 a 112 m.

### **Elevación del nivel estático**

Con respecto a la elevación del nivel estático para el año 2007, se observa que sus valores varían de 450 a -5 msnm, mostrando que el flujo subterráneo tiene una dirección preferencial de este a oeste, con alteraciones en las zonas de concentración de pozos.

En la Zona Pitiquito, las elevaciones al nivel estático oscilan en un rango de 122 a 400 msnm; las mayores hacia las elevaciones topográficas, que se localizan en la parte este, en los alrededores de Sierra La Víbora. Para la Zona Central las elevaciones oscilan en el rango de 10 a 155 msnm; las menores se localizan en el Ejido Morelos y las mayores al suroeste. Por otra parte, en la zona costera los valores de elevación varían de - 5 a 0 msnm.

### **Evolución del nivel estático**

Respecto a la evolución del nivel estático, la figura 6 presenta la configuración para el periodo 2004- 2007, en la que se puede observar que se registran valores de abatimiento de 1 hasta 6 m, que representan un ritmo anual de 0.25 a 1.5 m. Adicionalmente, se observan valores locales de recuperación de hasta 4 m en dicho periodo; es decir 1.0 metros anuales. Como es de esperar, en las zonas costera y centro se registran los mayores abatimientos, ocasionados por la concentración del bombeo y/o la cercanía con el nivel medio del mar. En la zona costera se muestran indicios de intrusión marina.



## **Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea**

Como parte del estudio realizado en el 2007, se tomaron muestras de agua en 24 aprovechamientos para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, dureza total, elementos traza y sólidos totales disueltos.

Tomando en cuenta los resultados de los análisis físicoquímicos, se puede observar que los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) varían de 700 a 4100 mg/l. En cuanto a la conductividad eléctrica, el agua varía de dulce a salobre, de acuerdo al criterio establecido por la American Potability and Health Association (APHA, 1995), ya que sus valores varían de 860 a 5030  $\mu$ S/cm. Las mayores concentraciones de STD se registran en la zona costera y las menores en la zona de Pitiquito, ubicada al este del acuífero, lo cual demuestra la trayectoria preferencial del flujo subterráneo hacia el oeste, en dirección del mar.

Con respecto a la temperatura, en la porción costera es donde se presenta la temperatura más alta, con un valor de 35.5 oC la cual se presenta en el Ejido Último Esfuerzo. La zona central presenta temperatura promedio de 27.7 oC; con las temperaturas mínimas más bajas en las zonas aledañas a la Sierra el Álamo. La zona de Pitiquito es la que registra las temperaturas más bajas, de 22 a 25.0°C, debido a la profundidad más somera de los aprovechamientos.

Todos los valores de pH en el área de estudio se encuentran entre los LMP que marca la NOM (6.5 – 8.5).

La calidad del agua en el acuífero Caborca, se definió mediante los parámetros físico-químicos analizados en función de los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 para uso y consumo humano. Los aprovechamientos que se localizan en la región costera son los que presentan concentraciones por arriba del LMP con respecto a Ca, Na, Cl, SO<sub>4</sub> y dureza total. Las dos regiones restantes (Centro y Pitiquito) se encuentran dentro de los LMP para consumo humano, pero se detectaron altas concentraciones de Bromuro en cinco aprovechamientos (67-74, 69-27, 82-11, 82-15 y 83-18) que se localizan entre estas dos regiones, cercanos a la ciudad de Caborca, posiblemente debido a la utilización de insecticidas agrícolas a base de bromuro de metilo.

## **CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA**

De acuerdo con el censo más reciente del acuífero, existe un total de 738 aprovechamientos de aguas subterráneas, de los cuales 396 son norias (53.7%), y los 342 restantes pozos (46.3 %).

El volumen de extracción calculado es de **321.2 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 298.7 hm<sup>3</sup> (93 %) se destina al uso agrícola, 19.9 hm<sup>3</sup> (6.2 %) al uso público-urbano para dotación de agua potable y los 2.6 hm<sup>3</sup> restantes (0.8 %) para satisfacer las necesidades doméstico-abrevadero.

## **BALANCE DE AGUA SUBTERRÁNEA**

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de masa}$$

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento del acuífero:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

El balance se definió para el periodo 2004-2007 en una superficie de 2,758 km<sup>2</sup>, que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos. De esta manera la ecuación de balance propuesta para éste acuífero es la siguiente:

$$\text{Eh} + \text{Rv} + \text{Rr} - \text{B} = \pm \Delta\text{V(S)} \quad (1)$$

Donde: **Eh**= Entrada por flujo horizontal subterráneo;

**Rv**= Recarga vertical;

**Rr**= Retornos de riego;

**B**= Bombeo;

**ΔV(S)**= Cambio en el volumen almacenado;

### **Entradas**

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe el acuífero (Rt) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración a lo largo de los escurrimientos de

los arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y por flujo subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; del agua residual de las descargas urbanas y de las pérdidas en la redes de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri), para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes, sólo se consideran los retornos del riego agrícola (Rr).

### **Recarga vertical (Rv)**

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento ( $\Delta V$ ), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance (1).

De esta manera, despejando la recarga vertical (Rv) se obtiene lo siguiente:

$$Rv = B \pm \Delta V(S) - Eh - Ri \quad (2)$$

### **Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)**

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tienen su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

### **Salidas**

La descarga del acuífero ocurre únicamente por bombeo (B). No existen salidas subterráneas horizontales (Sh), descargas por evapotranspiración, flujo base ni manantiales. Por lo que **Sh = 0**.

### **Bombeo**

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **321.2 hm<sup>3</sup>/año**, destinando en su mayor parte al uso agrícola.

## **Acuífero 2604 Arroyo Sahuaro:**

El acuífero Arroyo Sahuaro, definido con la clave 2604 del Sistema de Información Geográfica para el manejo del Agua Subterráneas (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza al noroeste del estado de Sonora, entre las coordenadas geográficas 30° 56' y 31° 30' de latitud norte y 112° 21' y 113° 18' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 3051 km<sup>2</sup>.

Colinda al oeste con el Golfo de California; al norte colinda con el acuífero Sonoyta-Puerto Peñasco y al sur con el acuífero Caborca, todos ellos pertenecientes al estado de Sonora (figura 1).

Geopolíticamente comprende parte de los municipios de Caborca, Puerto Peñasco y General Plutarco Elías Calles (Sonoyta).

El acuífero Arroyo Sahuaro pertenece al Organismo de Cuenca "Noroeste". Su territorio se encuentra sujeto a las disposiciones de tres decretos de veda. La porción sur del acuífero se encuentra sujeta a las disposiciones del *"Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona que comprende la Región Altar, Pitiquito y Caborca, Estado de Sonora"*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 18 de octubre de 1962. Este decreto es de tipo III que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

La porción norte del acuífero se encuentra sujeta a las disposiciones del *"Decreto que declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la zona conocida como Sonoita, Sonora"*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 7 de abril de 1976. Este decreto es tipo II, en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite la extracción para usos domésticos.

La porción central del acuífero por el *decreto que declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos del estado de Sonora, para el mejor control de las extracciones, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en dicha zona* (parte oeste del meridiano 110° de Greenwich), publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 19 de septiembre de 1978. Este decreto es tipo II, en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite la extracción para usos domésticos.

De acuerdo a la Ley Federal de Derechos en Materia de Aguas 2010, los municipios de Caborca, Puerto Peñasco y General Plutarco Elías Calles se localizan en la zona de disponibilidad 4. El usuario principal del agua es el agrícola. En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguno, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

## **FISIOGRAFÍA**

### **Provincia fisiográfica**

Según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), el área se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica Llanura Sonorense dentro de las subprovincias Desierto de Altar y Sierras y Llanuras Sonorenses (Manuel Álvarez Jr., 1958).

Las principales formas fisiográficas que se presentan en el acuífero, son: *llanuras, grandes bajadas con lomerío y sierras escarpadas*, que cubren el 50%, 37% y 11% respectivamente, del área total del acuífero. Otras fisioformas de menor extensión son los *lomeríos complejos, campos de dunas y playas*, que cubren el 2% del área restante.

### **Clima**

El clima que prevalece en la región según la clasificación climática de Köppen, modificada por Enriqueta García (1964), para las condiciones de la República Mexicana, es el BWhw(x'), que corresponde a un clima muy seco con lluvias en verano, semi-cálido con un invierno fresco y presencia de lluvia invernal; es decir, la que ocurre en los primeros meses del año y ésta supera los 10.2 mm. La temperatura media anual es mayor a los 18oC.

Para el análisis climatológico, se consideró la información de cuatro estaciones climatológicas, todas ellas administradas por la Comisión Nacional del Agua: Sonoyta, Puerto Peñasco, Pitiquito y Altar.

La temperatura media en las estaciones no presenta grandes variaciones, ya que la media anual máxima se registra en la estación Puerto Peñasco, en la región costera, con 22.5°C, mientras que la media mínima es de 21.4°C, en Sonoyta. La temperatura media anual en todo el acuífero es de 22.0°C.

La temperatura media máxima se registra en los meses de julio y agosto, con 10.5°C y 10.6°C, respectivamente, mientras que las temperaturas medias mínimas se presentan en los meses de diciembre y enero, con 4.4°C y 4.3°C.

El régimen pluvial presenta en términos generales dos períodos de ocurrencia: uno de julio a septiembre correspondiente a la temporada de verano y otro de lluvias invernales que abarca de diciembre a febrero, con precipitaciones menos significativas provocadas por los frentes fríos que afectan la región.

Con base en el análisis climatológico se obtuvo una lámina de precipitación media anual de 135.0 mm para el acuífero. La mayor lámina se presenta en el mes de septiembre con un valor de 23.0 mm. Considerando la ocurrencia de la lluvia en cada una de las estaciones

analizadas, en Pitiquito se registra el valor medio máximo, con 251.9 mm anuales, seguido por la estación Sonoyta con 200.6 mm y Puerto Peñasco, que registra la precipitación media mínima de 61.2 mm anuales.

Los valores correspondientes a la evaporación potencial son elevados debido a las condiciones climatológicas de la región. Los valores más altos se registran en Sonoyta, con una evaporación media anual de 2,642.6 mm, seguida por Pitiquito con 2,566.3 mm, y la estación Puerto Peñasco, con 2,211.8 mm anuales. La evaporación potencial media anual en el acuífero es de 2,428.2 mm.

## **Hidrografía**

El acuífero Arroyo Sahuaro se encuentra en la Región Hidrológica 8 Sonora Norte, dentro de la cuenca del Río Sonoyta (C) y subcuenca Costa Rica (d). En el acuífero prevalecen condiciones extremas de aridez con grandes extensiones cubiertas de arenas, donde los cauces de las corrientes no están bien definidos y sus escurrimientos superficiales son prácticamente nulos. Al presentarse las escasas precipitaciones, el agua escurre en las partes bajas formando diferentes cauces e infiltrándose en las arenas del desierto, por lo que el agua llega excepcionalmente al Golfo de California en volúmenes reducidos.

## **Geomorfología**

De acuerdo a la carta de unidades Geomorfológicas de México (Lugo *et al.*, 1990), el área se caracteriza por presentar cuatro geoformas: ladera montañosa, lomeríos, pie de monte y planicies, las cuales están clasificadas con base en su forma, altura, pendiente, litología y edad. Las planicies predominan en más del 90% de la superficie del acuífero de manera que su topografía es suave, con pendiente general uniforme hacia el suroeste. Las principales formaciones montañosas dentro de la cuenca tienen altitudes comprendidas entre 400 y 1,200 m. Las pendientes fuertes se presentan en la cercanía de los afloramientos de las rocas intrusivas.

## **GEOLOGÍA**

Las características geológicas y estructurales presentes en el noroeste de Sonora, particularmente en la región del Desierto de Altar, determinan una evolución tectónica que está dada por un conjunto de eventos magmático-estructurales que han operado continuamente desde el Jurásico Tardío hasta el reciente (Staude y Barton 2001), que dejan clara una serie de eventos sobrepuestos cuya resultante principal es una

fuerte dispersión de afloramientos orientados NW-SE que dan lugar a la morfología típica de la Provincia Fisiográfica Llanuras Sonorenses y de la Subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses.

El orden de ocurrencia de estos eventos, no permite definir con claridad la tectónica anterior al Cretácico, sin embargo, muchos autores han logrado poner en evidencia la ocurrencia de dos grandes bloques Proterozoicos yuxtapuestos durante el Jurásico mediante un sistema de estructuras corticales de movimientos transpresivos sinestrales de grandes desplazamientos laterales conocido como *Megacizalla Mojave-Sonora* (Anderson & Silver 2005, y referencias incluidas), cuya influencia estructural muestra una traza continua desde Sonora Central hasta el oeste de Arizona. Posiblemente estos desplazamientos corticales dan origen a la configuración actual dispersa del basamento Proterozoico, registrado en diversas partes del Estado mediante cuerpos ígneo-metamórficos segmentados (zócalo estructural) y secuencias sedimentarias marinas detrítico-carbonatadas (cobertura estructural), también del Proterozoico (Rodríguez-Castañeda 1984; Longoria et al. 1978).

La reciente controversia generada por tratar de demostrar la existencia de la *Megacizalla Mojave-Sonora* (Silver & Anderson 1974; Anderson & Silver 2005, y referencias incluidas) ha generado una gran cantidad de trabajos descriptivos y geocronológicos que a su vez ha llevado a la comprobación de dos basamentos estructuralmente yuxtapuestos: El Complejo Metamórfico del este, que corresponde al bloque Norteamérica y El Complejo Metamórfico del oeste, que corresponde con el bloque Caborca (Anderson & Silver 1979). Ambos están conformados por rocas metaplutónicas del Paleoproterozoico, las cuales ocurren como gneises y esquistos que presentan grados metamórficos de facies anfíbolita, aunque sus protolitos y edades de metamorfismo son distintos (Nourse et al. 2005). El límite entre ambos basamentos está trazado al este del Cerro Las Norias. Esta estructura regional es de gran importancia, ya que modifica la composición y estructura del basamento y puede dar lugar a fuertes heterogeneidades estructurales y litológicas que afecten el comportamiento del acuífero generando parteaguas subterráneos.

## **Estratigrafía**

El acuífero Arroyo Sahuaro cuenta con 20 unidades litoestratigráficas que varían en edad del Proterozoico al Cuaternario (reciente) y están representadas por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, así como amplias planicies aluviales y ambientes costeros que forman depósitos sedimentarios de distinto origen.

## ***Proterozoico Inferior-Medio***

Está representado por augengneises con grados de metamorfismo de facies anfibolita y esquistos micáceos cortados por diques aplíticos y dioríticos (pTmGn-E). Estas unidades están cortadas por intrusivos anorogénicos que poseen edades K-Ar de 1,450 Ma (Anderson y Roldán-Quintana 1979). Se caracterizan por tener una composición que varía de granito a granodiorita de feldespato potásico y mostrar un metamorfismo que genera una foliación moderada (pTmGr). La relación de corte con los gneises y esquistos del Proterozoico Inferior-Medio se observa al sur de Sierra Prieta. Aunque los ambientes genéticos de todas las unidades que componen este basamento han sido determinadas (Iriondo 2001; Anderson y Silver 2005), la actual disposición de los afloramientos está fuertemente controlada por la tectónica distensiva del Basin and Range. Sin embargo, su distribución delimita con cierta exactitud la traza de la Megacizalla Mojave-Sonora. Al sur de ésta ocurren afloramientos de rocas antiguas, mientras que al norte son escasos y/o son unidades más recientes. También es definida por la presencia de las masas ígneas del Jurásico.

## ***Cámbrico***

Representando la cobertura estructural de las unidades metamórficas del Proterozoico, ocurren secuencias carbonatadas del Cámbrico que forman afloramientos aislados y poco extensos caracterizados por una alternancia de calizas, dolomías y areniscas ortocuarcitas (CimCz-Ar). Por lo general se encuentran plegadas y su base estratigráfica es estructural (cabalgaduras) con las secuencias ígneo-metamórficas del Proterozoico. Esta unidad posee afloramientos dispersos ubicados al sureste de Sierra Prieta, sin embargo al este del área del acuífero la unidad se vuelve mucho más abundante y con afloramientos que muestran secuencias litológicamente mejor conservadas. Estas secuencias del Cámbrico han sido intensamente estudiadas debido a que su contenido fósil en ocasiones contiene las formas de vida que posiblemente pertenezcan al Pre- Cámbrico.

## ***Jurásico Inferior***

Esta unidad está representada por areniscas y limolitas fuertemente deformadas (JiAr-Lm) que son correlacionables con la Formación San Antonio (González 1980), la cual aflora principalmente al norte y al suroeste de Caborca. Sus afloramientos son muy escasos; ocurren solamente al sureste de los límites del acuífero y por el modo de ocurrencia no es muy clara la relación de contacto con las unidades con



que se relaciona.

### ***Jurásico Medio-Jurásico Superior***

Asociada a los procesos de subducción, ocurre una unidad ligeramente metamórfica compuesta por unidades metavolcánicas y metasedimentarias. Se compone de rocas coherentes y piroclásticas de composición riolítica, dacítica y andesítica intercaladas con metareniscas y metaconglomerados (Jm?MV-MS), todas del Jurásico Medio-Superior con edades U-Pb (Iriondo 2001; Anderson y Roldán- Quintana 1979). Estas unidades afloran ampliamente al sureste del acuífero en el Cerro Las Norias. Poseen un intenso plegamiento, foliación y fallamiento del rumbo NW-SE, y cuentan con abundantes recursos minerales, albergando una gran cantidad de zonas de alteración y mineralización, contexto típico de rocas asociadas a subducción.

En relación cortante intrusiva sobre las unidades metavolcánicas y metasedimentarias ocurren cuerpos intrusivos del Jurásico Medio de composición granítica (JmGr) que ocurren mayormente en la Sierra La Espuma y en afloramientos dispersos. Estos cuerpos fueron datados Stewart et al.(1984) e Iriondo (2001) en 177 y 165 Ma, respectivamente.

De forma aislada, al sur del acuífero ocurren cuerpos intrusivos del Jurásico Superior (JsGr-Gd) de composición mineralógica similar a los intrusivos del jurásico Medio pero que posee edades radiométricas de 153 Ma (Stewart et al. 1984). A pesar de la fuerte dispersión de afloramientos, sirve como posible criterio para poder correlacionar ambas unidades a un mismo evento tectonomagmático.

### ***Cretácico Superior-Paleógeno***

Hacia el centro-este, norte y sur de los límites del acuífero Arroyo Sahuaro afloran masas ígneas del Cretácico Superior-Paleógeno (KsTpaGr-Gd) que constan de rocas de composición granítica-granodiorítica fechadas entre 97 y 67 Ma por los métodos U-Pb y K-Ar (Anderson y Silver 1974; Iriondo 2001). Ocurren en relación cortante intrusiva con las secuencias Proterozoicas y con las unidades del Jurásico, además también se encuentran segmentadas por los sistemas estructurales del *Basin and Range*, por lo que su cronología relativa de eventos tectónicos les define claramente. La composición mineralógica de estas unidades plutónicas son las típicas encontradas en la mayoría del Estado, de manera que pueden asociarse directamente al evento de subducción, además de que las edades radiométricas también son consistentes.

## ***Paleógeno***

Dentro del área que abarca el acuífero el Paleógeno está representado en su mayoría por rocas ígneas volcánicas e intrusivas. Los cuerpos intrusivos están representados por granitos de dos micas (muscovita + biotita) y granate, los cuales ocurren con afloramientos de considerable dimensión (TeGr) principalmente al oeste del área y cortando las unidades ígneo-metamórficas del Proterozoico. Sin embargo en algunos lugares parecen estar en contacto estructural mediante fallas de alto ángulo.

Aunque no poseen una aparente relación genética, durante el Eoceno-Oligoceno es depositada una secuencia de rocas piroclásticas y coherentes de composición andesítica (TeoA-TA) que son reportadas en la cartografía del Servicio Geológico Mexicano, que ocurre al sur de los límites del acuífero con afloramientos muy dispersos y de poca extensión.

## ***Mioceno***

Sobreyaciendo discordantemente a las unidades intrusivas de la región y en afloramientos dispersos se encuentran unidades volcánicas del Mioceno (TmA-B, TmR-Rd, TmTR-R) que mayormente ocurren al este de los límites del acuífero. Estas unidades se caracterizan por su diferente composición y naturaleza, con edades K-Ar entre 14 y 12.7 Ma (Gastil et al. 1979) lo que permite inferir que pertenecen a un mismo evento tectonomagmático (Vidal Solano 2005). Estas unidades ocurren en forma de mesetas basculadas, poniendo en evidencia que fueron anteriores a la tectónica distensiva. Se presentan discordantes sobre el basamento cristalino ígneo-metamórfico y es evidente que su emplazamiento fue favorecido por estructuras ya que en general, los afloramientos de estas unidades volcánicas están restringidos a los márgenes de las sierras. Cuando estas unidades ocurren en los amplios valles formados por las planicies aluviales, siempre afloran linealmente de tal forma que es posible que representen estructuras cubiertas por los sedimentos recientes.

## ***Cuaternario, Pleistoceno y Holoceno***

Las unidades consideradas del Cuaternario han sido catalogadas en diversos tipos según el ambiente genético sedimentario en el que fueron depositadas.

La unidad QptCgp, se desarrolla en los piedemonte de manera regular, y se componen de conglomerados-brecha granulométricamente mal clasificados cuya composición varía según la zona de la cual

derivan. Por lo general, se forman por procesos de intemperismo mecánico ocasionado por las temperaturas extremas y el viento.

La unidad Qptgv-ar se conforma por sedimentos conglomeráticos no consolidados que ocurren principalmente hacia el sur del acuífero. Se relaciona más a las zonas de llanura costera y por lo general su ambiente de depósito es aluvial-fluvial, por lo que su granulometría es moderadamente bien clasificada con clastos redondeados. Ya que su ambiente aluvial-fluvial no permite el desarrollo de mineralogía autigénica, esta unidad no posee cementante.

La unidad Qhoar-lm ocurre principalmente en las llanuras intermontanas y en las planicies costeras. Aunque su distribución es muy amplia, su ambiente de depósito no es muy claro ya que puede corresponder con depósitos aluviales-fluviales o puede corresponder con unidades formadas en su totalidad por procesos aluviales, siendo en este último caso, solo una remoción de material sedimentario por cualquier agente erosivo y de transporte.

Por las características climáticas de la región, la unidad Qhoeo representa la actividad eólica resultante del medio árido-desértico. Una de las principales formas de actividad erosiva de las zonas desérticas es la presencia de dunas y mantos de arena granulométricamente bien clasificada que puede llegar a formar amplias zonas. Dado su origen genético, su distribución está controlada por la capacidad de transporte del viento, lo cual causa que sean móviles. El espesor de esta unidad puede variar desde unos cuantos metros, hasta algunas decenas, sin embargo, es posible que llegue a formas de algunas centenas.

Hacia la parte oeste y suroeste del acuífero, ocurren sedimentos depositados en ambientes lacustres que determinan la unidad Qhola, y que se constituye de sedimentos finos (limos y arcillas) con estratificación laminar y limitados a pequeñas cuencas cerradas distribuidas paralelamente o sobre la línea de costa. Probablemente se deban a zonas de baja permeabilidad que permiten el almacenamiento de agua superficial ya sea estacionalmente o de forma casi permanente, cuya disposición está parcialmente controlada por la interacción mar-continente. Pueden representar lugares de descarga subterránea o superficial de agua dulce.

La unidad Qhopa constituye las zonas de interacción agua dulce-agua salada para dar lugar al desarrollo de zonas de manglares y lugares en los que la vegetación y la fauna están muy bien desarrolladas. Por lo general son sedimentos muy finos cuya abundancia de organismos hace que sean sedimentos carbonosos y ricos en fragmentos fósiles. Por su ambiente de depósito, se restringen únicamente a la línea de costa. Pueden representar lugares de descarga subterránea o superficial de agua dulce.

La unidad Qholi representa ambientes típicamente costeros (de litoral) que principalmente se genera por la actividad marítima de oleaje y marea, siendo el medio causante de la formación de barras de arena y demás geofomas típicas de estos ambientes. Sus sedimentos se constituyen de arenas y limos que por su fácil arrastre y transporte pueden ser constantemente modificados.

La unidad Qhoal representa al material aluvial típico que puede encontrarse como sedimentos de arroyos y que solamente representa sedimentos en proceso de transporte fluvial.

Aunque existen una gran cantidad de ambientes sedimentarios, por la abundante intensidad de los procesos eólicos, todas las unidades anteriormente mencionadas pueden estar sujetas a procesos de transporte eólico, siendo el proceso sedimentario más dominante

## **Geología estructural**

Los distintos eventos tectónicos que han sido documentados generan sistemas estructurales que se sobre imponen y mezclan entre sí. Como resultado de esta mezcla, las fallas y fracturas desarrollan patrones complejos que al final determinan las características de afloramiento de las unidades a nivel regional y local. Así, el análisis de los rasgos fisiográficos y geomorfológicos principales permite observar en términos generales sierras alargadas y orientadas NNW-SSE separados por amplias planicies aluviales y eólicas.

Esta distribución está controlada por fallas principales o maestras con una misma distribución general NNW-SSE con buzamientos al NE y al SW que en algunas ocasiones muestran lineamientos secundarios representados por fallas y fracturas orientadas NNE-SSW (ortogonales al sistema estructural principal). Esto es, que las sierras están delimitadas por estructuras limítrofes que le otorgan su orientación general, lo que ayuda concebir la presencia de altos y bajos estructurales (*horst* y *graben*), tal como se presenta en la Sierra La Espuma y el Graben de Altar. Estas relaciones cortantes mediante estructuras limítrofes primarias pueden ser observadas en la distribución cartográfica de los intrusivos de composición granítica-granodiorítica del Cretácico Superior-Eoceno, que son anteriores a la tectónica extensiva y que presentan sistemas de fracturamiento y foliación paralelos a las tendencias estructurales regionales.

Aunque no afloran dentro del área que abarca el acuífero Arroyo Sahuaro, el emplazamiento de lavas basálticas al noroeste (Campo Volcánico El Pinacate), habla de la presencia de estructuras de alto ángulo y de gran profundidad en la región.

La presencia de grandes extensiones de coberturas sedimentarias no permite realizar especulaciones acerca de la situación estructural del

basamento; sin embargo, las características de los afloramientos disponibles proporcionan información suficiente para establecer que los patrones pueden mantenerse a profundidad, notando que quizá una de las variaciones estructurales principales en área que abarca el acuífero Arroyo Sahuaro, la presencia de la traza de la Megacizalla Mojave-Sonora.

En general, las tendencias estructurales forman patrones NNW-SSE muy bien definidas y que están en su mayor parte determinadas por los sistemas extensivos del evento tectónico que generó la provincia morfotectónica del *Basin and Range*, la cual domina en gran parte la geología del noroeste del Estado de Sonora.

La mayoría de las unidades antiguas (anteriores al Terciario) presentan algún tipo de deformación penetrativa (pliegues y esquistosidad) y metamorfismo. Sin embargo, su participación dentro de los patrones estructurales primarios es mínima.

## **Geología del subsuelo**

De acuerdo con los resultados de las exploraciones geofísicas realizadas por la empresa Planeación, Sistemas y Control, S. A. de C. V en 1992, que ejecutó 9 sondeos electromagnéticos (TEM's) en la parte centro - sur del acuífero, es posible definir la presencia de un acuífero, constituido en su porción superior por depósitos aluviales y en porción inferior por conglomerado compacto altamente resistivo que presenta baja permeabilidad.

El espesor de los depósitos aluviales no saturados varía hasta 80 m (unidad I), en tanto que el espesor que presentan los depósitos granulares saturados de agua salobre - dulce llega hasta 200 m (unidad II). No se determinó el espesor del conglomerado (unidad III) debido a que los sondeos no detectaron el basamento.

## **HIDROGEOLOGÍA**

### **Tipo de acuífero**

De acuerdo con las unidades hidrogeológicas identificadas, es posible definir que el acuífero es de **tipo libre**, formado por una secuencia de depósitos aluviales constituidos principalmente por boleos, gravas y arenas no consolidadas, de alta permeabilidad y semiconsolidadas, que contienen horizontes de agua salada - salobre. Su explotación se localiza principalmente en el cauce de los arroyos principales. Debajo de esta secuencia el acuífero está conformado por conglomerados que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

## **Profundidad al nivel estático**

De acuerdo con la configuración de la profundidad al nivel estático en 2009 (figura 4), los valores varían de 9.0 a 116.5 m. En las zonas cercanas a las sierras ubicadas al norte y este del acuífero se encuentran los niveles menos profundos, con valores de 10.5 m a 28.5 m y en la parte suroeste cercanos a la costa se presentan los niveles más profundos, que varían entre 43.5 m y 116.5 m.

## **Elevación del nivel estático**

Con respecto a la elevación del nivel estático para el año 2009 (figura 5), los valores muestran el reflejo de la topografía, evidenciando de esta manera que el flujo subterráneo presenta una dirección preferencial noreste –suroeste en la planicie aluvial, mostrando que no se han producido alteraciones de las condiciones naturales.

Los valores registrados varían desde -1.4 msnm hasta 486.0 msnm, presentándose las menores elevaciones en la parte suroeste del acuífero, cerca de la línea de costa, y las mayores al noreste. La dirección de flujo subterráneo es similar a la del drenaje superficial, con una tendencia general noreste- suroeste.

## **Evolución del nivel estático**

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita su configuración. Las escasas mediciones piezométricas recabadas en estudios previos, como los reportados en el Atlas de aguas subterráneas del estado de Sonora, reflejan variaciones puntuales tanto positivas como negativas y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero, pues solo se pudo obtener la evolución en tres de ellos. Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático no demuestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos y/o del bombeo.

Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

## **Acuífero 2606 Los Chirriones:**

### **Localización**

El Acuífero Los Chirriones se localiza en la porción noroeste del Estado de Sonora y cubre una superficie de 2438 km<sup>2</sup>, la cual corresponde al 1.3% de la superficie total del estado.

### **Fisiografía**

#### **Provincias fisiográficas**

De acuerdo a la clasificación realizada por el INEGI (1997), la zona de estudio se encuentra ubicada dentro de la Provincia Fisiográfica Llanura Sonorense, constituida por una amplia variedad de rocas, en cuanto a su edad y composición. De acuerdo a la misma clasificación, el área también queda incluida en la Subprovincia Fisiográfica Sierras y Llanuras Sonorenses, misma que se caracteriza por sus amplias llanuras rodeadas por serranías alargadas, ubicadas en dirección sensiblemente NW-SE y constituidas por rocas de composición variable.

### **Clima**

Con base en los datos históricos de precipitación, temperatura y evaporación de las estaciones climatológicas que cubren la zona de estudio, y con apoyo en la carta de climas, se observa que el área del acuífero está caracterizada por dos tipos de climas: **Bwh**, que corresponde a un clima muy seco y semicálido, que es el que tiende a predominar en toda el área de estudio y, **BW(h')** correspondiente a un clima muy seco, muy cálido y cálido, el cual se encuentra en una pequeña parte en el centro del área. Estos climas son característicos de zonas áridas, los cuales presentan escasas lluvias, con una concentración en el verano entre el 25 y 34%, muy altas temperaturas de verano, baja humedad y muy elevada evaporación.

#### **Temperatura media anual**

La temperatura media anual en todo el valle, fluctúa entre los 18 y 22° C, predominando los 21° C; la insolación es abundante durante todo el año, principalmente en los meses de mayo, junio y julio, correspondiendo a enero el mes más frío. El número de horas sol al mes y al año es elevado con relación a los días nublados.

#### **Precipitación media anual**

La precipitación promedio anual, según datos de estaciones climatológicas, es de 228 mm, siendo los meses de julio a septiembre

los de mayor precipitación, el periodo de lluvias comienza en el mes de agosto, y termina en el mes de octubre, presentándose lluvias intermitentes en los meses de diciembre o enero.

### **Evaporación potencial media anual**

La evaporación potencial media anual es del orden de 2000 mm; el mes con índice mayor de evaporación es julio, y el de menor corresponde a enero.

### **Hidrografía**

El área corresponde a una cuenca limitada en la parte noreste por la Sierra del Humo, al sur por el Cerro Alamo y al sureste por la Sierra La Gloria; se encuentra disectada por el Río El Coyote, el cual nace en la estribación de la Sierra El Durazno, y corre en una dirección NW-SE, a esta corriente, se le une el Arroyo El Palomo, en donde a partir de su unión cambia su sentido hacia el SW. La otra corriente que atraviesa el área de estudio, corresponde con el Río Seco, el cual nace en la frontera con los Estados Unidos, a partir de la cual corre en una dirección NE-SW.

### **Región Hidrológica**

El Acuífero Los Chirriones pertenece a la Región Hidrológica No. 8 "Sonora Norte".

### **Geomorfología**

Las unidades geomorfológicas más relevantes por su extensión, son las unidades constituidas por los valles y la zona de transición con las sierras.

El conjunto de sierras que definen el marco geológico de la subcuenca del acuífero, se encuentran las zonas de recarga, en donde la infiltración se realiza a través del patrón de fallas y fracturas; la mayor parte de estas prominencias topográficas, se encuentran constituidas por rocas ígneas y metamórficas y presentan una topografía moderada; en tanto que en la zona del valle, la recarga ocurre a través del cuerpo de sedimentos, en los espacios abiertos entre la granulometría de sus constituyentes.

La provincia de Sierras y Llanura presenta una tectónica de bloques afallados que se encuentra en una etapa de madurez dentro de su ciclo geomorfológico. Algunas de estas montañas pueden estar formadas por rocas precámbricas metamorfozadas, sedimentos carbonatados del Paleozoico o por cuerpos intrusivos. La estructura interna de los bloques puede ser simple o compleja dependiendo de las deformaciones que tuvieron lugar antes de efectuarse los esfuerzos tensionales que originaron la disposición actual de la topografía.



## **Geología**

El área de estudio se encuentra incluida dentro de una región que geológicamente presenta una gran complejidad, ya que presenta afloramientos de rocas de edades precámbricas, mesozoicas y cenozoicas, de origen sedimentario, ígneo intrusivo y extrusivo, las cuales a través de su historia geológica han sido afectadas por una gran diversidad de eventos tectónicos.

## **Estratigrafía**

Regionalmente este sector del Estado de Sonora formó parte de una zona tectónicamente estable, sobre la cual se depositó, durante el Precámbrico Posterior, una potente secuencia constituida por intercalaciones de rocas clásticas y dolomías que sobreyacen indistintamente al Esquistos Pinal o el Granito Aibó.

Durante el Paleozoico la estabilidad tectónica de la región permitió que la plataforma que se formó durante el Precámbrico, persistiera durante gran parte de esta era, de tal forma que el depósito de carbonatos continuó, conformando un prisma de rocas calcáreas de espesor considerable, de la cual la Formación Monos del Permiano, es la que se encuentra expuesta en el área de estudio.

En el Mesozoico cambia radicalmente el patrón de sedimentación, en el Triásico-Jurásico Inferior se deposita la Formación Antimonio, representada por una secuencia mayor de 1000 m de espesor, compuesta por intercalaciones de areniscas, lutitas y calizas. Posteriormente en el Cretácico, el área empieza a manifestarse la actividad magmática de arco marginal; traducido en forma de intrusiones y vulcanismo.

Durante el Cenozoico se presentan importantes eventos volcánicos silíceos, máficos e intermedios, desde la parte final del Terciario hasta el Reciente se manifiestan los depósitos de materiales clásticos en ambientes fluviales y aluviales.

## **Geología estructural**

La configuración estructural de las rocas que afloran en el área de estudio es muy compleja, debido en gran parte a la falta de continuidad de sus afloramientos y a la intensa erosión a que ha estado sujeta la región, así mismo, se considera la región se comportó como una zona tectónicamente estable es decir, sus rocas no manifestaron deformación intensa, sino que su comportamiento fue a manera de bloques, o sea formando altos y bajos estructurales. Ahora bien los episodios de deformación ocurridos durante el mesozoico y cenozoico definitivamente son los que quedarían impresos en las estructuras de las rocas.

De tal forma, se interpreta que la última etapa de extensión cortical, que

sufrió el área, está estrechamente asociada con la apertura del Golfo, formándose una serie de fosas tectónicas, que fueron rellenadas por considerables volúmenes de sedimentos clásticos, producto de los procesos erosivos de las partes altas.

Finalmente el patrón estructural dominante corresponde con un sistema de fallas y fracturas que tiene un rumbo preferencial NW-SE, consistente con la orientación de la sierra.

### **Geología del subsuelo**

El subsuelo del valle del Acuífero Los Chirriones, está conformado por una secuencia clástica, de ambientes de abanicos aluviales, y de tipo fluvial, en donde se espera que ocurran cambios laterales de facies en distancias relativamente cortas, de tal forma que los cuerpos con mayores valores de permeabilidad corresponderán con los sedimentos derivados de los flujos de detritos provenientes de las partes altas de las sierras, así como los provenientes de los cauces de los canales de las corrientes fluviales, las cuales desde el punto de vista geohidrológico son los que revisten mayor importancia.

### **Hidrogeología**

#### **Tipo de Acuífero**

Los materiales aluviales depositados en esta cuenca, presentan características apropiadas de permeabilidad y porosidad para almacenar el agua proveniente de los Ríos El Coyote, El Palomo y Seco, así como de sus arroyos tributarios y de la infiltración del agua de lluvia. El acuífero es de tipo libre, aunque llega a presentar zonas con un porcentaje de materiales arcillosos, que hace que disminuya la permeabilidad; en el área de Coyote-Desemboque éstos llegan a tener hasta 100 m de espesor.

#### **Censo de aprovechamientos e hidrometría del bombeo**

El censo de aprovechamientos hidráulicos subterráneos, reportado, reveló la existencia de 118 aprovechamientos activos, que en conjunto extraen un volumen de 54.2 Mm<sup>3</sup>/año, los cuales son destinados para uso agrícola.

#### **Disponibilidad**

Para el cálculo de la disponibilidad de las aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece que se determina por medio de la expresión siguiente:

Disponibilidad media anual de agua subterránea en una = unidad  
hidrogeológica

Recarga total media anual -

Descarga natural comprometida -

Volumen anual de aguas subterráneas.....(4) concesionado e inscrito en  
el REPDA

### **Recarga total media anual**

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural, más la recarga inducida, que para este caso es de 30.0Mm<sup>3</sup>/año.

### **Descarga natural comprometida**

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes. Para el caso de la zona en estudio la descarga natural comprometida se considera para este acuífero de 2'000,000 m<sup>3</sup>/año.

### **Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA**

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, al 30 de abril de 2002, es de 29,780,920 m<sup>3</sup> /año.

### **Disponibilidad de aguas subterráneas**

La disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la norma referida, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA, que de acuerdo con la expresión (4) resultó ser de -1,780,920 m<sup>3</sup>/año:

$$\mathbf{-1,780,920 = 30,000,000 - 2,000,000 - 29,780,920}$$

La cifra indica que no existe volumen disponible para nuevas concesiones en la unidad hidrogeológica denominada Acuífero Los Chirriones, Sonora.

## **Acuífero 2607 Arroyo Seco :**

### **Localización**

El acuífero Arroyo Seco quedó designado con la clave 2607. El área del acuífero comprende una superficie aproximada de 2,485 km<sup>2</sup>, localizada en la porción norte del estado de Sonora, limita al norte con los Estados Unidos de Norteamérica. Dentro del área de la República Mexicana colinda al sur con el acuífero de Caborca, al este con el de Río Altar mientras que al oeste colinda con los acuíferos de Sonoyta y Los Chirriones.

Según las coordenadas geográficas reportadas en la tabla No. 1, se localiza entre los paralelos 30°40'36.1" y 31°29'46.4", y entre los meridianos 111°20'18.2" y 112°02'46.1" al oeste de Greenwich.

Los municipios involucrados en el área del acuífero, en forma parcial son: Altar, Oquitoa, Saric y Tubutama.

Entre las principales poblaciones que se localizan en el área, en el municipio de Altar se encuentra prácticamente el 50% de la cabecera municipal denominada Altar, así como las poblaciones de: San Marcos, San Plácido, Las Delicias y La Laguna entre otros, respecto al municipio de Saric, se encuentran: La Mojonera, El Sasabe, La Ladrillera, Luisillo y La Nopalera, en general se puede considerar que la población de este municipio solo participa dentro del área en aproximadamente un 50%. En el municipio de Tubutama se localizan los poblados de San Juan y El Mezquite. En cuanto al municipio de Oquitoa en esta área están conformadas por zonas con poblaciones que deben ser muy pequeñas.

### **Situación administrativa del acuífero**

Dentro de los límites del acuífero se localizan dos zonas de veda, la primera publicada el 18 de octubre de 1962, mediante el decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de agua del subsuelo en la zona que comprende la región de Altar, Pitiquito y Caborca.

En su artículo segundo menciona que la veda a que se refiere dicho decreto, queda comprendida en la tercer clasificación del artículo 11 del reglamento de la ley de 29 de diciembre de 1958 en materia de aguas del subsuelo.

Excepto cuando se trate de alumbramiento de aguas para usos doméstico, desde la vigencia de este Decreto, nadie podrá extraer aguas del subsuelo dentro de la zona vedada ni modificar los aprovechamientos existentes sin previo permiso escrito de la autoridad del agua.

Esta dependencia podrá conceder el permiso únicamente en los casos en que de los estudios relativos se advierta que no se causarán los perjuicios que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse.

La segunda veda publicada el 19 de septiembre de 1978, en el Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos del estado de Sonora, para el mejor control de las extracciones, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en dicha zona.

Excepto cuando se trate de extracciones para uso doméstico y de abrevadero que se realicen por medios manuales, desde la vigencia del presente Decreto nadie podrá efectuar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada, sin contar previamente con el correspondiente permiso de construcción otorgado por la autoridad del agua, ni extraer o aprovechar las mencionadas aguas, sin la concesión o asignación que expida también, según el caso, la propia autoridad.

El acuífero Arroyo Seco pertenece a la Región Administrativa II Noroeste, así como al Consejo de Cuenca 3-Alto Noroeste, no cuenta con un Comité Técnico de Aguas Subterráneas.

## **FISIOGRAFÍA**

### **Provincia fisiográfica**

El acuífero Arroyo Seco se encuentra contenido en la provincia fisiográfica denominada Llanura Sonorense y en la Subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses.

### **Clima**

El clima de la región donde se localiza el acuífero de Arroyo Seco es del tipo BSh seco semicálido, asimismo, presenta hacia la zona suroeste un clima de tipo Bwh muy seco semicálido.

En la tabla No. 3 se presenta la precipitación y la temperatura media anual de la única estación climatológica localizada dentro del acuífero, y que se ubica en el extremo norte. Como puede apreciarse en esta tabla el período de observación es muy limitado, por lo que para obtener la temperatura y precipitación medias anuales se utilizarán el mapa de isotermas y el mapa de isoyetas normales de la CNA, de acuerdo con lo establecido en la Norma para el cálculo de la disponibilidad.

### **Hidrografía**

La principal corriente superficial la forma el río Seco, que se forma de la unión de varios ríos, entre el más importante se encuentra el

arroyo Sásabe y El Fresnal, los cuales escurren desde la frontera con Estados Unidos de Norteamérica; el río Seco continua su escurrimiento hasta las inmediaciones del poblado de Pitiquito, donde ligeramente aguas arriba de las estaciones hidrométricas Pitiquito I y II, a una altitud de 300 m desemboca al río Asunción, el cual a su vez es tributario del río Concepción. Otro cauce que converge al río Seco en el área es el río San Juan.

La topografía de la cuenca del río Seco es suave salvo en la zona de sus orígenes. La cuenca es árida y prácticamente carente de vegetación. De acuerdo con los criterios de la hidrología superficial, el acuífero Arroyo Seco pertenece a la Región Hidrológica No. 8 Sonora Norte. Pertenece a la Subregión 8 B, Río Concepción. Cuenca del Río La Concepción.

En el área existen algunos canales y obras afines para el riego, no se tiene algún vaso de almacenamiento de importancia, adicionalmente existen aprovechamientos de agua subterránea consistentes en pozos.

### **Geomorfología**

El área que incluye este acuífero es principalmente dominada por lomeríos suaves y una zona plana en la porción centro-sur; sin embargo, en la zona centro se tienen elevaciones importantes con una orientación NW-SE que adelgazan la zona acuífera al sur del poblado de San Rafael. En la zona norte también se tiene zonas escarpadas en el área del poblado de La Constitución; mientras que en la porción sur, también sobresalen algunas elevaciones importantes donde predominan rocas sedimentarias.

Dentro de la zona plana del sur sobresalen las localidades de Los Gavilanes, San Enrique, San Bernardo, San Marcos, Estiguar, El Pinito, entre otros.

### **GEOLOGÍA**

En este apartado se abordan los levantamientos geológicos que integran la estratigrafía regional, la geología estructural y del subsuelo.

#### **Estratigrafía**

Los afloramientos litológicos presentes en el área que abarca este acuífero comprenden rocas desde el Mesozoico y hasta el Reciente, así como unidades semiconsolidadas y no- consolidadas que representan el cuerpo del mismo. Figura No. 4.

#### **Mesozoico**

Las rocas correspondientes a esta Era dentro del área tienen afloramientos ampliamente distribuidos, sobre todo en los límites de ésta.

Por una parte, en la esquina noroccidental se presentan localmente gneisses mesozoicos; mientras que por otra, en la porción sur, aflora una secuencia volcanoclástica ácida Jurásica. También en la porción sur afloran rocas sedimentarias mesozoicas, principalmente areniscas, lutitas y calizas, pertenecientes al Grupo Bisbee del Cretácico.

Las rocas ígneas mesozoicas están representadas por un cuerpo intrusivo de composición granítica que predomina en el límite centro oriental del área, principalmente en el rancho El Batamote; así como por rocas volcánicas intermedias (andesitas-dacitas) que afloran en las inmediaciones de Rancho Nuevo.

### **Cenozoico**

Las rocas cenozoicas comprendidas dentro del acuífero Arroyo Seco corresponden a afloramientos de rocas volcánicas intermedias y ácidas terciarias, cuyos afloramientos locales se distribuyen a lo largo de toda el área, sobre todo al norte de San Rafael. En la parte alta del área, al norte del poblado La Constitución, se presentan una serie de afloramientos de basaltos cenozoicos asociados a lavas andesíticas de la misma edad.

Los sedimentos Plio-Cuaternarios representan gran parte de la superficie del área y representan las zonas de mayor importancia en la conformación de este acuífero.

Estos están constituidos por arenas, gravas, limos y arcillas, los cuales han sido incluidos en dos unidades. Por un lado se tienen sedimentos gruesos (conglomerado cenozoico) asociados a los depósitos de bajada que se tienen en la porción norte del área y que reflejan la actividad erosiva en las principales elevaciones.

Por otro, se tienen los depósitos fluviales (aluvión del Cuaternario) donde dominan las arenas y las gravas que han sido transportadas y depositadas por las diferentes corrientes superficiales del área. Éstos últimos predominan en la porción sur.

### **Geología Estructural.**

Los principales eventos tectónicos que han afectado a través del tiempo geológico al estado de

Sonora se pueden considerar en orden cronológico los siguientes:

La Orogenia Mazatzal, de edad Proterozoico Temprano, que se corresponde con un proceso de metamorfismo regional (Complejos metamórficos Bámori e indiferenciado).

La depositación de la secuencia carbonatada-clástica del Proterozoico Tardío en zonas de plataforma de aguas someras y la prolongación hacia el sur del Geosinclinal Cordillerano.

Posteriormente, viene una estabilidad tectónica durante el Paleozoico,

depositándose secuencias sedimentarias de facies de plataforma en distintas partes del Estado.

Como fase subsecuente sobrevino una despositación de cuenca ligada a un arco magmático, originado como consecuencia de la subducción de litósfera oceánica en el margen occidental de Norteamérica, durante el Triásico Tardío-Jurásico Temprano, produciendo un evento de metamorfismo regional que transforma la secuencia durante el Jurásico Medio-Tardío.

Durante el Cretácico Inferior se inicia una transgresión marina, con una fase compresiva durante el Cretácico Medio, que provoca el plegamiento de la secuencia del Cretácico Inferior y terrenos de la franja volcánogena Jurásica.

En el intervalo del Cretácico Inferior al Terciario Inferior se presenta la Orogenia Laramide, con una etapa magmática asociada. Este evento origina el emplazamiento de un importante conjunto volcano-plutónica durante el Terciario Temprano-Cretácico Tardío.

La tectónica distensiva que origina la apertura del Golfo de California y la formación de la Provincia de Sierras y Valles Paralelos se considera del Mioceno Temprano.

La denudación tectónica con eventos compresivos menores, erupciones por fisuras profundas y acción continúa de fuerzas exógenas, producen el desarrollo de depósitos no consolidados de aluviones y terrazas del Mioceno hasta el Reciente.

Las estructuras más antiguas presentes en la región están caracterizadas por fallas de cabalgadura de edad mesozoica y probablemente de mayor edad, que sobreponen unidades más antiguas sobre otras más jóvenes.

Estas cabalgaduras tienen vergencias predominantemente hacia el noreste y han sido identificadas principalmente en las sierras del sur del área donde afloran rocas precámbricas, paleozoicas y mesozoicas.

El área se caracteriza por sierras y valles paralelos producidos por la distensión terciaria (Basin and Range). En este contexto, se generaron cuencas de graben y semi-graben que son limitadas por fallas normales de ángulo alto (65° - 85°) con una orientación predominante NNW- SSE.

Otras estructuras importantes son las fallas normales de ángulo bajo (15°) o fallas de Detachment que se manifiestan principalmente en la sierra La Madera al oriente del poblado de Imuris, así como en la sierras al oeste de Magdalena. Estas estructuras son resultado del evento distensivo del "Metamorphic Core Complex".

Estos dos últimos eventos geológicos han producido un fracturamiento importante en las rocas pre-terciarias.

Si bien es cierto que no se tienen identificadas estructuras recientes que afecten los sedimentos cenozoicos del área, los cauces de los ríos



podieran corresponder al lineamiento de estructuras sepultadas.

## **HIDROGEOLOGÍA**

### **Tipo de acuífero.**

La interpretación y análisis de información disponible de cortes litológicos, se concluyó que el acuífero se encuentra contenido principalmente en materiales granulares no consolidados. Este acuífero funciona como libre.

Debajo de las capas granulares, se encuentran estratos de conglomerados no consolidados que representan la segunda unidad hidrogeológica de interés. Por el contenido arcilloso, el acuífero contenido en estas formaciones funciona localmente como acuífero semiconfinado y se caracteriza por existir aprovechamientos con gastos no mayores a 15 l/s, por lo que se puede asignar de acuerdo con los materiales una transmisividad de 0.001 m<sup>2</sup>/s.

### **Piezometría**

Con base en la información en el área del acuífero se distinguió entre los diferentes comportamientos de niveles.

Una vez analizada la potencimetría, fue posible separar aquellos pozos que muestran el comportamiento típico del acuífero superior, apoyado principalmente en norias y pozos someros, así como en la freaticimetría de la parte Alta y Media de la cuenca Río Concepción-A. Cocóspera.

Igualmente se seleccionó una muestra representativa de pozos que bombean el acuífero regional y que muestran un comportamiento característico, a esta se le denominó Red de Monitoreo Piezométrico. Para obtener la red de monitoreo se discretizó el área con un mallado que se fue ajustando, de acuerdo con la cantidad y calidad de la información piezométrica.

### **Comportamiento hidráulico.**

El análisis del comportamiento hidráulico del almacenamiento subterráneo comprende las configuraciones del nivel estático.

### **Profundidad al nivel estático**

Se observa que la profundidad del nivel estático más somero se encontró, en una pequeña área, en la parte media-alta al noreste del acuífero con 5 m de profundidad, y el más profundo en la parte media-baja al suroeste del acuífero con 48 m de profundidad, concentrándose de manera importante en la zona de mayor extracción de agua para uso en la agricultura en el área de las localidades de San Enrique, El Tetabiate, Campo Oslo y Campo Palo Fierral.

## **Elevación del nivel estático**

A partir de determinar las cotas de los diferentes aprovechamientos en el acuífero, la máxima elevación del nivel estático se localiza en el ejido Las Ladrilleras en la parte media-alta al norte del acuífero con 1064 msnm y la más baja se tiene en la parte baja, al sur del rancho Los Olivos con 397 msnm.

Por otro lado se observa un cono entre el ejido Los Molinos y el rancho Los Ortiz con una elevación del nivel estático de 420 msnm en la parte media-baja del acuífero, que aunque la concentración y explotación de los pozos en esa zona no son excesivas, se desarrolla este cono debido a la permeabilidad baja del material presente.

## **CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA**

No se tiene información de censo, sólo se dispone de la información del REPDA donde se tiene que hay un volumen registrado de 28.9 m<sup>3</sup>/año al 31 de diciembre de 2005.

## **BALANCE HIDROMETEOROLÓGICO**

El orden de magnitud del coeficiente de infiltración por lluvia se obtuvo través de un balance de agua superficial, para el cual se aplicó la siguiente expresión:

Infiltración = precipitación – evapotranspiración - escurrimiento

## **Acuífero 2708 Río Altar:**

### **LOCALIZACIÓN**

El acuífero Río Altar está designado con la clave 2608. El área del acuífero comprende una superficie aproximada de 2,801 km<sup>2</sup>, localizada en la porción norte del estado de Sonora, limita al norte con los Estados Unidos de Norteamérica, en el área de la República Mexicana colinda al sur con el acuífero Caborca, al este con los acuíferos Río Alisos, Magdalena y Busani, al oeste colinda con el acuífero Arroyo Seco.

Según las coordenadas geográficas reportadas en la tabla No. 1 se localiza entre los paralelos 30°37'23.2" y 31°25'1.9", y entre los meridianos 111°00'8.2" y 111°53'28.2" al oeste de Greenwich.

Los municipios involucrados en el área del acuífero, y que prácticamente se encuentra en forma total son el municipio de Atil, mientras que en forma parcial aparecen los municipios de Altar, Oquitoa, Tubutama, Saric y Nogales.

Entre las principales poblaciones que se localizan en el área,

correspondientes al municipio de Atil se encuentran: Atil, El Represo de Los González y Los Pilares, respecto al municipio de Oquitoa se localizan: Oquitoa y San Isidro, en el municipio de Tubutama se encuentran: Tubutama, La Reforma, y La Pasión, en cuanto al municipio de Altar sólo se localiza la cabecera municipal, la cual participa en aproximadamente un 50% de su población; en cuanto al municipio de Saric, donde se localizan Saric y El Nogalito, también se puede considerar que sólo participa cerca del 50 % dentro del área del acuífero.

En el municipio de Nogales se encuentran pocos poblados siendo en su cabecera municipal donde se tiene la mayor parte de su población, sin embargo ésta se localiza fuera del área.

## **SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO**

Dentro de los límites del acuífero se localizan dos zonas de veda, la primera publicada el 18 de octubre de 1962, mediante el decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de agua del subsuelo en la zona que comprende la región de Altar, Pitiquito y Caborca.

En su artículo segundo menciona que la veda a que se refiere dicho decreto, queda comprendida en la tercer clasificación del artículo 11 del reglamento de la ley de 29 de diciembre de 1958 en materia de aguas del subsuelo.

Excepto cuando se trate de alumbramiento de aguas para usos doméstico, desde la vigencia de este Decreto, nadie podrá extraer aguas del subsuelo dentro de la zona vedada ni modificar los aprovechamientos existentes sin previo permiso escrito de la autoridad del agua.

Esta dependencia podrá conceder el permiso únicamente en los casos en que de los estudios relativos se advierta que no se causarán los perjuicios que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse.

La segunda veda publicada el 19 de septiembre de 1978, en el Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos del estado de Sonora, para el mejor control de las extracciones, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en dicha zona.

Excepto cuando se trate de extracciones para uso doméstico y de abrevadero que se realicen por medios manuales, desde la vigencia del presente Decreto nadie podrá efectuar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada, sin contar previamente con el correspondiente permiso de construcción otorgado por la autoridad del agua, ni extraer o aprovechar las mencionadas aguas, sin la concesión o asignación que expida también, según el caso, la propia

autoridad.

El acuífero Río Altar, pertenece a la Región Administrativa II Noroeste, así como al Consejo de Cuenca 3 Alto Noroeste, no cuenta con un Comité Técnico de Aguas Subterráneas.

### **ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD**

Actualización de los Datos de la Red de Medición Piezométrica de los Acuíferos: Río Altar, Arroyo Seco, Busani, Coyotillo, La Tinaja, Magdalena y Río Alisos. Universidad de Sonora, Departamento de Geología (2004).

El objetivo principal es conocer de manera exacta la posición actual del nivel estático de los acuíferos que forman parte del área de estudio; así como el establecer una red de monitoreo simplificada y confiable para la obtención de información hidrogeológica y piezométrica de los acuíferos; así como el censo de aprovechamientos existentes, para disponer de una red de pozos de monitoreo de niveles para establecer un programa anual para futuros estudios piezométricos en la misma.

Se presenta el estudio piezométrico y una propuesta de Red de Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos: 2608 Río Altar, 2607 Arroyo Seco, 2609 Búsani, 2610 Coyotillo, 2611 La Tinaja, 2612 Magdalena y 2613 Río Alisos, ubicados en la parte media y alta de la Cuenca Río Concepción–Arroyo Cocóspera, en el extremo noroeste del estado de Sonora, México.

Incluye la piezometría de un total de 244 aprovechamientos, ubicados en los acuíferos mencionados, así como estadísticas del uso del agua, tipo de aprovechamiento, profundidad de los pozos y diámetro de descarga. Con la información piezométrica se elaboraron los planos de configuración de profundidad y elevación del nivel estático.

Fisiográficamente el área forma parte de la Provincia Basin and Range. En la región se presenta una columna litológica muy completa con rocas metamórficas del Precámbrico en la base, seguidas de rocas sedimentarias del Paleozoico; volcánicas y sedimentarias del Mesozoico y volcánicas del Terciario Inferior. La parte alta de la columna la constituyen rocas sedimentarias clásticas del Terciario y Cuaternario, que a su vez alojan las zonas acuíferas del área.

### **FISIOGRAFÍA PROVINCIA FISIOGRÁFICA**

El acuífero Río Altar se encuentra contenido en la provincia fisiográfica denominada Llanura Sonorense y en la subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses.

## **CLIMA**

El clima de la región donde se localiza el acuífero Río Altar es del tipo BSh seco semicálido, asimismo presenta hacia la zona suroeste un clima de tipo Bwh muy seco semicálido.

En las figuras Nos. 2 y 3 se muestra la localización de las estaciones climatológicas ubicadas dentro del acuífero y en la tabla No. 3 se incluyen la precipitación y temperatura medias anuales para cada estación, así como el número de años con información.

## **Acuifero 2609 Busani:**

### **GENERALIDADES**

#### **LOCALIZACIÓN**

El acuífero Busani ocupa un área de 1,019 km<sup>2</sup>, incluyendo el área de recarga, la subcuenca a la que pertenece es la del arroyo Busani, la cual colinda al norte con la subcuenca del Río Altar, al sur con la subcuenca del Río Concepción, al oriente con la subcuenca del arroyo El Coyotillo y al poniente con la subcuenca del Río Altar y la continuación del Río Concepción.

#### **Coordenadas**

El acuífero Busani se encuentra localizado en la porción noroccidental del Estado de Sonora, esta área queda comprendida dentro de la cuenca del Río Magdalena y subcuenca del arroyo El Busani.

#### **Municipios**

Abarca parcialmente los municipios de Nogales, Atil, Altar, Santa Ana, Trincheras, Tubutama y Oquitoa.

#### **Población**

En este acuífero no se encuentran grandes ciudades; el poblado más importante es el Ocuca y los ejidos San Manuel y La Sangre así como rancherías menores las cuales se distribuyen a lo largo del cauce del arroyo. El número de habitantes en esta cuenca es del orden de las 1000 personas en total.

### **SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO.**

#### **Decretos de Veda**

Una parte del acuífero Busani se encuentra dentro de la zona de veda del Distrito de Riego 037 Altar-Pitiquito-Caborca, publicada en el Diario Oficial de la Federación de fecha 5 de agosto de 1968. Esta disposición fue ratificada con la veda del Meridiano 110° 00', decretada el 11 de Septiembre de 1978 y publicada en el Diario Oficial de la

Federación del 19 de septiembre de 1978 y entró en vigor el 20 de Septiembre de 1978.

### **Decretos de reserva o Reglamento**

Aparte de la disposición oficial señalada en el inciso anterior, no existen declaratorias de reserva o reglamentos internos.

### **Zonas de disponibilidad**

El acuífero Busani abarca parcialmente los municipios mencionados en el punto 1.1.2., de los cuales los tres primeros se encuentran dentro de la Zona de Disponibilidad 4 y los cuatro restantes se encuentran dentro de la zona 6, respecto de la clasificación de la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua.

### **Organización de Usuarios**

Los usuarios del acuífero Coyotillo son en su mayoría ejidales; encuentran afiliados a Organizaciones Campesinas como la CCI, CNC, etc. La SAGAR, brinda apoyo Técnico agropecuario a estos usuarios en forma permanente a través Centros de apoyo. Por otra parte, la Comisión Nacional del Agua, ha venido sosteniendo reuniones con los distintos usuarios del agua para la Integración del Consejo de Cuenca el cual forma parte del Consejo del Alto Noroeste.

### **Distritos y Unidades de Riego**

La zona de este acuífero queda dentro de la jurisdicción del Distrito de Desarrollo Rural No 140.-Magdalena, dependiente de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Estructuralmente, la SAGAR cuenta con la oficina del distrito de Desarrollo Rural con sede en la ciudad de Magdalena, además de Centros de Apoyo Técnico en Santa Ana.

### **Usuarios mayores de agua subterránea**

Los usuarios mayores de agua subterránea son los del sector agrícola, seguidos con los del uso pecuario y doméstico.

## **FISIOGRAFIA**

### **PROVINCIA FISIOGRÁFICA**

El área de estudio queda dentro de la Provincia Fisiográfica de la Zona Desértica de Sonora (Manuel Alvarez Jr. 1958). Por su morfología, también puede clasificarse dentro de una subprovincia de sierras y valles paralelos.

Las Sierras están formadas principalmente por rocas metamórficas del Paleozoico y Precámbrico, siguiéndoles en importancia las rocas volcánicas del Mesozoico y Terciario. Sobre estas rocas, se encuentran descansando los sedimentos del Terciario y Cuaternario que colman los

actuales valles. Estos sedimentos, están constituidos por boleos, gravas, arenas y arcillas.

La zona tiene como dren principal al arroyo El Busani, el cual es tributario por la margen derecha del Río Magdalena.

La fisiografía de la región puede definirse a grandes rasgos, como un sistema de sierras y valles paralelos labrados y comunicados entre sí por arroyos de régimen torrencial y su colector general, que son los responsables principalmente de haber originado el retroceso hacia los escarpes de las sierras, de las amplias terrazas de erosión expuestas en el área.

## **CLIMA**

El Clima imperante en esta región es de tipo semidesértico con un período de lluvias definido entre los meses de Julio a Septiembre. Las más altas precipitaciones anuales se presentan entre Magdalena y la Sierra de Santa Rosalía o de La Madera oscilando entre 500 y 600 mm. En el resto del área la precipitación anual varía entre 225 y 500 mm. La temperatura media varía desde 15° C en la cabecera de la cuenca hasta 22° C en el valle de Llano Blanco.

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Koppen modificado por E. García en 1964, para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana (cartas de climas, Comisión de Estudios del Territorio Nacional), prevalece un clima seco-templado con verano cálido, muy extremoso, pues su oscilación es de 18° C, con temperatura media anual es de 17.8° C, la más fría de 9° C y la más caliente de 27° C; su régimen de lluvias es de verano, pero con un porcentaje de lluvia invernal de 22% respecto a la media anual, su clasificación es BS, KW (x') 8e'); en su curso inferior, que ocupa la mayor extensión del área de estudio, prevalece un clima más seco, semicálido con invierno fresco, extremoso, su oscilación es de 17.6° C, la temperatura media anual es de 20.2° C, la más fría de 11.5° C y la más caliente de 29.2° C, con régimen de lluvia de Verano, pero con un porcentaje de lluvia invernal de 17% respecto a la media anual, su clasificación es BS hw (x') (e'). En la parte baja y sur del área de estudio (Llano Blanco), predomina el clima muy seco o desértico, cálido y extremoso, pues la temperatura oscila en 19.5°, su temperatura media anual es de 20.3° C y la del más frío de 11.3° C y el más caliente de 30.8° C con régimen de lluvia intermedio entre verano e invierno, su clasificación es BWhw (x') (e').

### **Temperatura media anual**

La temperatura media anual del área es de 20.7° C, siendo muy similares a las temperaturas medias anuales, tanto en las zonas montañosas como en la planicie.

La temperatura máxima anual en el período de análisis 1966-1976, fue de 22.3° C y correspondió al año de 1968 y la mínima anual fue de 19° C para el año de 1974.

### **Precipitación Media Anual**

La precipitación media anual en la subcuenca del arroyo El Coyotillo, para el período 1966- 1976 fue de 333.3 mm. La lluvia mínima anual en el área fue de 162 mm y se presentó en el año de 1974, la máxima anual fue de 474.1 mm y ocurrió en 1967.

Evaporación Potencial media anual

La evaporación potencial media anual es de 2,328 mm.

## **HIDROGRAFÍA**

### **Región hidrológica**

El acuífero Busani queda comprendido dentro de la Región Hidrológica RH 8- Sonora Norte.

### **Subregión**

De acuerdo con la clasificación hidrológica que se dispone para esta zona, no se tiene información sobre subregiones hidrológicas.

### **Cuenca**

El acuífero Busani, se ubica dentro de la cuenca 8D-Río Concepción o Magdalena. Dentro de esta gran cuenca hidrográfica del Río Magdalena se encuentra el Río Magdalena el cual inicia el labrado de su cuenca al Noroeste de Cananea, a una altura de casi 2,000 metros sobre el nivel del mar, por una corriente que desde este punto hasta el poblado de Magdalena, lleva el nombre de Río de los Alisos. De Magdalena a Caborca, la corriente toma el nombre de Río Magdalena; de esta ciudad. Hasta la confluencia con el arroyo El Coyote se conoce como Río Asunción y de este lugar hasta su desembocadura en el Golfo de California, recibe el nombre de Arroyo de la Concepción.

Los límites de la cuenca son: al oriente, la Cuenca del Río Sonora; al sur, la Cuenca del Río Sonora; al sur, la Cuenca del Río San Ignacio y Zanjón; al norte, las Cuencas de los Ríos Santa Cruz, San Pedro y Puertecito, que escurren hacia el territorio de los Estados Unidos de Norteamérica; al noroeste, las cuencas de corrientes poco definidas que descargan directamente al Golfo de California. Políticamente, forman parte de ella los municipios de Imuris, Magdalena, Santa Ana, Trincheras, Altar, Tubutama, Sáric, Banjamín Hill, Pitiquito, Nogales y Atil.

El Río Magdalena ó Concepción, es la corriente más importante de la Región Hidrológica No. 8, ya que drena una superficie de 25,757



kilómetros cuadrados.

La topografía de la cuenca se caracteriza por grandes extensiones de terrenos planos en las zonas medias y bajas. Tiene una altitud media de 700 metros aproximadamente y máxima de 2,530 metros al norte de Cananea.

El río Magdalena nace con el nombre del Río Casa de Piedra (fuera del área de estudio) en el Cerro Vereda, a una altitud de 2,000 metros sobre el nivel del mar 9 kilómetros al sureste de Santa Cruz, en el parteaguas del Río Santa Cruz que escurre hacia los Estados Unidos de Norteamérica. Su cauce sigue un rumbo sureste, recibe por su margen derecha al Arroyo San Antonio, a una altitud de 1,100 metros todavía fuera del área de estudio y cambia su nombre por el de Arroyo Cocóspera.

El arroyo Cocóspera recibe las aportaciones de su primer afluente importante, el Río de los Alisos, inmediatamente aguas debajo de Imuris, por su margen derecha, a una altitud de 840 metros y toma el nombre de Río Los Alisos hasta las inmediaciones de Magdalena, donde el colector general fluye por zonas de topografía más suave y se inician los aprovechamientos de sus escurrimientos.

A partir de Magdalena, el colector general toma el nombre de esta población y continúa con curso suroeste; pasa por la población de Santa Ana, cruza la Carretera Hermosillo-Nogales y aguas abajo, a la altura del Ejido La Tinaja, recibe por su margen derecha al Arroyo Coyotillo y más abajo recibe por la misma margen las aportaciones del Arroyo Búsani.

### **Subcuenca**

La subcuenca hidrológica a la que pertenece este acuífero es la 8D-5, Río de las Pedradas o Arroyo Busani.

### **Infraestructura hidráulica**

La infraestructura hidroagrícola en esta región consiste de pozos profundos y norias como obras de captación. Los sistemas de riego son del tipo de canales de tierra tradicionales, aunque existen algunos sistemas de riego presurizado y canales revestidos.

### **GEOMORFOLOGÍA**

En términos generales, el área de estudio es alta. La elevación media del angosto valle del río Magdalena, es de 535 metros. Hacia ambos márgenes, las terrazas fluviales y de erosión, aumentan paulatinamente en elevación hasta llegar a una altitud promedio de 700 metros en los escarpes litológicos y estructurales de las sierras que circundan el valle, así como las de las sierras interiores.

La región vista de conjunto, puede calificarse como una subprovincia fisiográfica formada por un sistema de sierras y valles

paralelos. Las sierras están compuestas por rocas ígneas intrusivas, volcánicas y metamórficas de edades Precámbricas a Cuaternarias, en tanto que los valles con sus correspondientes formas secundarias, están constituidas por sedimentos clásticos Terciarios y Cuaternarios.

Tal como corresponde a los paisajes de estas zonas áridas, la morfología del área se acentúa bien en cada una de sus unidades orográficas y de formas menores, haciendo resaltar la evolución de los extensos pie de monte a terrazas aluviales y de éstas últimas a cauces fluviales. Estas unidades morfológicas son de una gran importancia en la recepción y transmisión del agua que interviene en el ciclo hidrológico del área; dependiendo de sus características litológicas y del grado de compactación de sus elementos constituyentes, pueden representar áreas de infiltración, almacenamiento, transmisión, retención temporal o solamente de escurrimiento del agua de precipitación. De entre estas características, la correspondiente a la infiltración puede ser evidencia en principio, mediante la observación, medida e interpretación de los diferentes tipos de drenaje superficial del área. La densidad de drenaje por ejemplo, es uno de los parámetros en que se apoya en análisis hidrogeológico y se desprende de uno de los apartados más importantes de la fisiografía.

Dentro de la región, las áreas impermeables ocupan la mayor superficie y están representadas por una alta densidad de drenaje de tipo arborecente o dendrítico, desarrollado principalmente en las partes altas o de taludes y terrazas de fuerte pendiente; en tanto que hacia las partes planas, la densidad de drenaje disminuye y el arroyo es de tipo ordenado y paralelo. Los arreglos de drenaje mencionados, aportan los escurrimientos superficiales a los colectores principales de la margen derecha del Río Magdalena, como son los Arroyos Búsani, Coyotillo y Río de los Alisos, a través de sus cuencas tributarias. Los arroyos de la margen izquierda del colector general, tienen una importancia secundaria en relación con los de la margen opuesta, evidenciada por los caudales escurridos y los conos de deyección observados, cuyas masas no han alcanzado a ser removidas completamente. Esta capacidad de volumen transportados y fuerza de trabajo de corte y remoción de masa, puede ser puesta para una altura de precipitación pluvial similar, en función del área de captación, siendo la mayor de la margen derecha en 1.5 veces aproximadamente, en relación con la de la margen izquierda.

En resumen, el área estudiada puede calificarse como una provincia fisiográfica de sierras y valles paralelos; ambas unidades morfológicas están orientadas en una dirección sensiblemente norte - sur y con desniveles topográficos entre los valles, que oscilan de 200 a 800 metros.

Las sierras y formas sobresalientes, están constituidas por

sedimentos Precámbricos y Paleozoicos, rocas metamórficas del Mesozoico y rocas intrusivas y volcánicas de Cretácico, Terciario y Cuaternario.

Las áreas peneplaneadas, están a su vez formadas por sedimentos clásticos, Terciarios y Cuaternarios.

Los valles aluviales y fluviales, están intercomunicados superficialmente por el Río Magdalena que recoge los escurrimientos superficiales de los mismos. Las diversas etapas de erosión que han prevalecido en el área han devastado las prominencias topográficas y han dado lugar a la formación de unidades construccionales secundarias, que confieren al área un paisaje de juventud tardía.

## **GEOLOGIA ESTRATIGRAFÍA.**

La secuencia estratigráfica de las rocas que afloran en el área, forma una columna geológica, cuya edad comprende desde el Precámbrico Inferior hasta el Reciente. A continuación, se describen estas unidades, desde la más antigua a la más joven.

### **Precámbrico y Paleozoico**

Agrupadas en las rocas de Edad Precámbrica y Paleozoica, se encuentran: calizas con pedernal, calizas, areniscas, dolomitas y algunas formaciones metasedimentarias del Cámbrico.

Todos los afloramientos de esta unidad, representan remanentes de erosión que aún subsisten a pesar de su antigüedad y al fuerte trabajo de degradación al que se han visto sujetos.

Los afloramientos pertenecientes a esta unidad geológica, quedan distribuidos en toda el área de estudio, ocupando el 50% en lo que respecta a superficie de afloramiento de unidades rocosas, representando por consiguiente en gran proporción, el marco geológico de la cuenca estudiada.

### **Mesozoico.**

Las rocas correspondientes a la era Mesozoica, tienen dentro del área de estudio, una extensa distribución horizontal. A través de las edades del Triásico, Jurásico y Cretácico, puede observarse una secuencia de rocas intrusivas y metamórficas que corresponden a granitos y granodioríticas, así como a unidades de roca indiferenciadas y emisiones de rocas volcánicas producidas a finales de esta era geológica.

Las rocas intrusivas tienen sus mayores expresiones al sur de Trincheras, formando los Cerros Redondo y Boludo.

Finalmente y como última evidencia de los acontecimientos registrados

en esta Era, se localizan las rocas volcánicas emitidas a finales del Cretácico, las cuales siguieron atravesándose durante la Era Cenozoica, a principios del Terciario. Las rocas expuestas corresponden a materiales volcánicos no diferenciados y derrames lávicos de composición riolítica, andesítica y latítica. Existen otros afloramientos en la porción central y suroccidental de los cuales destacan la Sierra Prieta y Cerros del Arituaba, del Tecolote y Rajón, todos ellos de composición andesítica y latítica.

### **Cenozoico Terciario.**

Las rocas comprendidas dentro de la subcuenca hidrográfica, correspondientes a este período, forman parte de las mismas emisiones registradas a fines del Cretácico, las cuales continúan hasta el Reciente. Las rocas expuestas corresponden a rocas volcánicas, representadas en su mayoría por riolitas, andesitas, latitas y tobas. Estas últimas, en la porción suroeste se encuentran mezcladas con sedimentos fluviales y aluviales del Cuaternario, ocupando los depósitos tobáceos, pié de monte o depósitos de talud y terrazas erosionales y fluviales.

La última evidencia de los acontecimientos ocurridos durante este período, se registra al final del Terciario y principios del Cuaternario, siendo las representantes las emisiones basálticas, las cuales se encuentran distribuidas en los alrededores de la población de Trincheras y al sureste del área en la Sierra del Otate.

Cuaternario.

Comprendidas dentro del Cuaternario, se encuentran las rocas que ocupan la mayor superficie dentro del área estudiada. Las rocas Cuaternarias están divididas en volcánicas y sedimentarias. En el grupo de las volcánicas, son las emisiones basálticas las representantes de las sedimentarias que, por su distribución y por su naturaleza, representan para el caso del estudio geohidrológico que nos ocupa, la unidad geológica de mayor importancia.

Formadas por arenas, gravas, limos y arcillas, se encuentran distribuidas en tres grandes grupos: depósitos aluviales, fluviales y erosionales. Los depósitos aluviales, ocupan las áreas peneplaneadas o áreas de valle, correspondiendo a los depósitos fluviales, las terrazas excavadas por las corrientes superficiales que descienden hacia la planicie aluvial y a los erosionales, los productos de desintegración física, mecánica y de remoción de masas depositadas en los sedimentos de sierras y cerros aledaños.

Aunque la distribución horizontal de los sedimentos clásticos ocupa la mayor superficie de la subcuenca, solamente en la porción central del área, entre Trincheras y Pitiquito, existen espesores entre 75 y 100 metros de promedio de aluviones en el resto del área, solamente en los pequeños valles labrados por ríos y arroyos, se depositan algunas

decenas de metros de estos sedimentos, existiendo en la mayor parte una delgada cubierta de estos materiales aluviales.

La discusión de las características de estos sedimentos aluviales y fluviales, inherentes a su espesor y distribución en el subsuelo, así como sus características físicas que tienen relación con el agua subterránea, se realizará en parte en el inciso correspondiente a geología del subsuelo y el complemento en el capítulo correspondiente a hidrología subterránea.

### **Geología estructural**

La Cuenca del Río Magdalena, pertenece a la cuenca geológica "Cuenca de Sonora". Esta cuenca geológica está limitada al Este, por la estructura del Gran Geoanticlinal Occidental; al Sur, por el Flanco de Sinaloa y al Occidente por la Fosa de Cortés.

Esta cuenca se caracteriza por la presencia de afloramientos Precámbricos y Paleozoicos, representado por rocas sedimentarias, metasedimentarias e intrusivas.

### **GEOLOGÍA DEL SUBSUELO**

Tomando en cuenta el resultado del levantamiento fotohidrogeológico en combinación con la nomenclatura propuesta en el trabajo denominado "Areal Geology and Petrology of the igneous Rocks of the Santa Ana Region, Northwest Sonora" por G.A. Salas, publicado en el boletín de la sociedad Geológica Mexicana, Vol. 23 No 1 (1968-1970), fue posible identificar formaciones desde el Precámbrico hasta el Reciente. El resultado de esta interpretación se resume como sigue:

**Precámbrico.-** Las rocas de esta edad están representadas por formaciones metasedimentarias del tipo esquistos, mármol y gneises graníticos con intrusiones graníticas metamorfoseadas y rocas metamórficas del grupo Coyotillo, del tipo filitas, cuarcitas y metaconglomerados intrusionados localmente por diques andesíticos. Debido a su alto grado de metamorfismo, estas rocas se consideran impermeables y compactas.

**Cretácico.-** Las rocas pertenecientes a esta edad, son de la formación Represo, de facie calcárea, en donde predominan fundamentalmente calizas en estratos gruesos asociados a rocas intrusivas. Le sigue la formación Represo, facie clástica, que contiene principalmente grauvacas, limolitas y lutitas, y por último existe un grupo de andesitas no diferenciadas asociadas con calizas muy recristalizadas con colores rojizos. Todas estas formaciones son totalmente impermeables y únicamente constituyen fronteras al flujo del agua subterránea.

**Terciario.-** En las rocas de esta edad se identificaron rocas volcánicas no diferenciadas consistentes de andesitas, brechas volcánicas, basaltos y tobas. Otra formación Terciaria es el Conglomerado Rojo que se observa compacto formado por fragmentos de rocas metamórficas y volcánicas cementados en matriz arenosa rojiza y arcillosa. La formación más reciente del Terciario, es la formación Baucarit que está constituida por rellenos aluviales antiguos localmente estratificados formados por gravas, arenas y arcillas parcialmente consolidados. De estas tres formaciones, la de mayor importancia es la formación Baucarit que está representada en la zona como la unidad de mayor extensión y que tiene características de una formación parcialmente permeable, mientras que las otras dos formaciones se consideran impermeables.

**Cuaternario.-** Los materiales pertenecientes a esta edad están constituidos principalmente por gravas y arenas producto de la erosión y depósito de la formación Baucarit y de las demás rocas circundantes, habiéndose podido diferenciar los acarreos fluviales recientes de las terrazas fluviales. Estos materiales representan los acuíferos más importantes del valle del Río Magdalena.

Desde el punto de vista hidrogeológico, las únicas formaciones de importancia son los materiales del Cuaternario, representados por los aluviones y terrazas antes indicadas. Estos materiales descansan a su vez parcialmente sobre los depósitos clásticos de la formación Baucarit que es de mucho menor permeabilidad aparente y en algunas partes sobre el relieve sepultado de las rocas más antiguas tanto del Cretácico como del Precámbrico. Esta diferencia de compacidad relativa entre la formación Baucarit y los remanentes de las rocas más antiguas, dio lugar a la división del valle del Río Magdalena en varios tramos separados por estrechamientos constituidos por las formaciones más antiguas que restringen la sección de flujo del agua subterránea en los acuíferos. Esta serie de rocas impermeables ha provocado la separación del valle longitudinal en una serie de tramos perfectamente definidos que funcionan como unidades hidrogeológicas independientes y que se describen a continuación:

## **GEOFÍSICA**

Con el objeto de poder definir la delimitación vertical y lateral de los materiales acuíferos recientes se llevó a cabo en el año de 1974 una investigación por medio de 120 sondeos eléctricos verticales de resistividad, que se localizaron sobre 23 secciones transversales al valle del Río Magdalena.

Estos sondeos se hicieron empleando el método Schlumberger con tendidos máximos entre los electrodos de corriente de 320 m. Para la interpretación de estos sondeos se emplearon dos criterios

fundamentales. El primero correspondió a la interpretación de los tramos entre los umbrales aparentes que se mencionan en el inciso anterior y el otro fue el aplicado para la interpretación de las secciones localizadas en los umbrales. Para el caso de las zonas intermedias de los umbrales se tomó en cuenta un cambio de una resistividad alta hacia una menor, que debe coincidir con el contacto entre el material aluvial y los depósitos del tipo que evidentemente se encuentran más empacados con materiales arcillosos, por lo que su resistividad debe ser menor. En la zona de los umbrales o estrechamientos, el criterio de interpretación fue el de identificar de una resistividad menor hacia una mayor, o bien infinita, un cambio de acuerdo con la existencia de rocas compactas en la base de los materiales acuíferos aluviales. En ambos casos no se contó con calibraciones y por lo tanto las interpretaciones que se presentaron deben de considerarse como tentativas.

Los espesores de las capas acuíferas en las partes intermedias variaron entre 10 y 30 m aproximadamente, mientras que a la altura de los estrechamientos estos fueron muy reducidos del orden de 5 a 6 m. Las resistividades registradas en las capas acuíferas fueron muy variables desde valores alrededor de 30 ohms-m hasta máximos de alrededor de 400 ohms-m. La resistividad del horizonte más arcilloso, que se interpretó como perteneciente a la Formación Baucarit fue variable entre 7 y 30 ohms-m.

En el tramo El Sifón - El Claro los valores de la profundidad de la base acuífera varían de mínimos de 10 m hasta máximos de 30 m, los cuales son correlacionables con el área de El Coyotillo.

## **HIDROGEOLOGIA**

### **TIPO DE ACUÍFERO**

En toda cuenca hidrológica, el conocimiento de su potencialidad hidráulica es indispensable para planear su desarrollo económico. La evaluación de los recursos hidráulicos subterráneos con que cuenta una cuenca dada, está basada en medidas directas de la variación en el tiempo y en el espacio de los niveles de agua subterránea. Los datos obtenidos de estas medidas u observaciones, se analizan conjuntamente por guardar una estrecha relación, con la ocurrencia de la lluvia dentro de la cuenca, así como de los volúmenes que han sido tomados artificialmente de los mantos acuíferos.

Dependiendo del tipo de cuenca por cuantificar y de su situación geográfica, pueden hacerse intervenir en el análisis una serie de datos o elementos que complementan el sistema hidráulico de la misma y decidir por tanto el método de investigación: en una cuenca endorréica limitada hidrogeológicamente por rocas impermeables, no se hacen intervenir en el análisis aportes o descargas subterráneas desde o hacia cuencas vecinas y sí en cambio, es muy importante tomar en cuenta la

evaporación de cuerpos de agua y la evapotranspiración de niveles freáticos someros; en cuencas situadas en latitudes altas, la altura de las capas de nieve y el estudio del funcionamiento de los deshielos hacen intervenir un término más en la expresión de igualdades de volúmenes de agua.

Para las cuencas situadas en zonas donde los regímenes de precipitación originan la formación de ríos caudalosos y de escurrimiento permanente, el análisis hidrológico superficial puede ser más importante que el del agua subterránea. En cambio, las cuencas ubicadas en zonas donde la precipitación pluvial es escasa y por ende donde los escurrimientos superficiales son también escasos ó nulos, los recursos hidráulicos de la misma estarán supeditados al volumen de agua subterráneo almacenado y al de su recarga anual.

La cuenca alta del Río Magdalena, se ubica dentro de este último tipo de cuenca, es decir, para su desarrollo económico basado principalmente en la agricultura, depende casi exclusivamente de la explotación del agua subterránea, por lo que la cuantificación de estos recursos es imprescindible, puesto que sirve de base para la planificación correcta de las actividades generadoras de su economía.

La información con que se cuenta sobre el espesor de estos materiales granulares es escasa; algunos pozos de la porción norte del arroyo tienen profundidades menores a 100 metros. A lo largo de la zona del Arroyo El Busani, se pudieron identificar las unidades hidrogeológicas descritas en los capítulos anteriores. De la interpretación y análisis de la información disponible de cortes litológicos, se concluyó que el acuífero en estudio se encuentra contenido principalmente en materiales granulares no consolidados depositados por el Río. Este acuífero funciona como Libre. Debajo de las capas granulares, se encuentran estratos de conglomerados no consolidados que representan la segunda unidad hidrogeológica de interés. Por el contenido arcilloso de estos materiales, el acuífero contenido en estas formaciones funcionan localmente como acuífero semiconfinado.

## **PARÁMETROS HIDRÁULICOS**

Con el objeto de complementar el conocimiento de las características de transmisividad y almacenamiento de los acuíferos aluviales del río Magdalena, en el estudio realizado en 1976 por la compañía Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A., se efectuaron 4 pruebas de bombeo, obteniéndose los siguientes resultados: La transmisividad varía de 3.2 a 50.7 x 10<sup>-3</sup> m<sup>-2</sup> x s. El coeficiente de almacenamiento fue de 0.23.



## **PIEZOMETRÍA**

En este acuífero, existe escasa información piezométrica ya que solamente en la fecha de los estudios se han levantado datos. Posteriormente a estas fechas, la información es aislada y no abarca a todo el acuífero. La más reciente corresponde al año de 1994 en la zona de El Ocuca, que es la parte central del acuífero y en donde se origina la mayor concentración del bombeo.

## **COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO**

### **Profundidad de los Niveles Estáticos.**

En el mes de Septiembre de 1976, se llevó a cabo un recorrido de piezometría, sondeándose 28 aprovechamientos distribuidos en toda la subcuenca. La profundidad del nivel estático varió entre 15 y 45 m, detectándose los más someros en las partes baja y alta del acuífero y los más profundos en la parte media, en la zona del Ocuca y el ejido La Sangre.

### **Elevación del nivel estático.**

La elevación del nivel estático en el mes de junio de 1976 muestra que la máxima elevación en la parte alta del acuífero es de 600 msnm y la mínima de 550 msnm se dio en la zona sur, hacia la salida aguas abajo del cruce con la carretera Santa Ana Caborca. Con esta pendiente se elaboraron planos con el trazo de la dirección del flujo subterráneo. Este flujo presenta una dirección sensiblemente norte-sur, con una deflexión en la parte media, hacia una zona de concentración de pozos en la región del ejido San Manuel donde se distorsiona la dirección del flujo hacia esa zona de pozos. Aguas debajo de esta zona, la dirección del flujo, sigue la tendencia del curso del Arroyo, es decir, ligeramente noreste-suroeste.

### **Evolución del nivel estático**

Con información piezométrica de los meses de junio y octubre de 1976, se obtuvo la evolución en este período el cual no muestra abatimiento en los niveles, por el contrario, se observan recuperaciones en un rango entre 0.5 y 3.5 m, siendo los más valores más altos en la zona de El Ocuca.

En cambio, con información disponible de elevación del nivel estático de los meses de noviembre de 1974 y junio de 1976, se determinó la evolución en este período. El plano con la configuración de la evolución de niveles muestra una zona con abatimientos de 2.0 y 3.0 m en la zona de mayor concentración de pozos que corresponde al ejido San Manuel, en El Ocuca y hacia la salida del acuífero.

Lo anterior puede dar idea de la magnitud y sensibilidad del acuífero en las zonas centrales, donde se reflejan abatimientos y

recuperaciones marcadamente en los períodos analizados, lo cual puede ser atribuible a la granulometría de los materiales del acuífero y a la incidencia en las áreas de recarga.

Tomando en cuenta que los efectos son cíclicos, es decir, recuperaciones en los períodos lluviosos y descensos en las épocas de riego o de sequías prolongadas, se infiere que el acuífero en lo general se mantiene estable.

### **HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.**

La hidrogeoquímica es empleada como un auxiliar de la geohidrología y tiene dos aplicaciones prácticas principales: la primera consiste en ayudar a conocer en forma cualitativa, el funcionamiento de los acuíferos y la segunda en poner de manifiesto la calidad del agua de los mismos.

La composición química del agua, está en relacionada con el funcionamiento general del acuífero, ya que la concentración, tanto de sales totales como de cada elemento, dependen del tipo de material, a través del cual circula; de la permeabilidad y porosidad del medio, del tiempo de contacto entre el agua y las rocas y de la longitud de recorrido, entre otros factores. Es por ello que a partir de su composición, es posible conocer, en forma aproximada, la dirección del flujo subterráneo, la ubicación de las zonas de recarga y en forma cualitativa, algunas características físicas del acuífero.

Por otra parte, con los análisis químicos se puede deducir la calidad del agua para usos agrícolas, ganaderos, agropecuarios, potables, turísticos e industriales.

En el mes de Julio de 1976, el estudio realizado por la empresa TMI recolectó muestras de agua de 13 aprovechamientos de la subcuenca del Arroyo El Busani, habiéndose realizado los análisis con los resultados que a continuación se describen.

Concentraciones iónicas.

Los iones analizados fueron bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Estos se encuentran en concentraciones promedio de 3.48, 0.77 y 0.41 me/l, respectivamente. Con respecto a los cationes calcio, magnesio y sodio, estos tienen concentraciones medias de 2.11, 0.74 y 2.71 me/l.

Los iones que predominan son el sodio y el bicarbonato, según se muestra en las relaciones siguientes, formadas a partir de los promedios  $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$  5.5.1  $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$

De lo anterior, se infiere que el agua es de reciente infiltración, dado que las relaciones son similares a las correspondientes al agua de lluvia.

### **Sólidos Totales Disueltos y Conductividad Eléctrica.**

Los sólidos totales disueltos es una medida cualitativa del grado de ataque de las rocas por el agua y sus valores son directamente proporcionales a la conductividad eléctrica del agua.

Los sólidos totales disueltos se presentan en concentraciones mínimas de 243, máximas de 640 ppm y en un promedio de 371 ppm. No se tomó en cuenta el valor de 2,150 ppm del pozo 1065 ya que su alta concentración se debe a condiciones locales o a error de muestreo y/o laboratorio, sin embargo, se recomienda verificar esta situación mediante un análisis reciente.

De acuerdo con la configuración de isovalores de sólidos totales disueltos, se observa que en la parte norte del acuífero se tienen concentraciones de 400 ppm, los cuales disminuyen hacia la parte baja del acuífero por lo cual se deduce la existencia de una aportación lateral de agua en esa zona.

Al sur, la cantidad de sales en solución aumenta a más de 500 ppm, indicando que el agua subterránea continúa disolviendo sales conforme avanza.

### **Calidad del agua.**

Se dedujo a partir de los resultados de los análisis practicados a las muestras de agua de la zona, la calidad del agua para uso potable y para riego, lo cual se comenta en los siguientes párrafos.

#### **Agua potable.**

Al comparar los resultados de los análisis químicos con las normas de calidad del agua potable, se deduce que ésta era de muy buena calidad y apta para utilizarse como potable, ya los índices analizados están por debajo de las normas establecidas.

#### **Agua para riego.**

En los resultados de los análisis se reporta la relación de sodio y la conductividad eléctrica, a partir de las cuales se obtuvo la clase de agua para riego, de acuerdo a la clasificación de Wilcox. Las muestras pertenecían a las clases C2-S1 (9 muestras), C3-S1, (3 muestras) y 1 muestra a la clasificación C4-S1. Esta agua es de muy buena calidad para riego, utilizable en cualquier tipo de terreno, sin peligro de salinización y sodificación del suelo.

#### **Diagramas Triangulares**

En el diagrama triangular se advertía un grupo de aguas que cambiaba de mixta a sódico – bicarbonatada. El agua mixta corresponde al extremo norte de la zona. Esta es agua de reciente infiltración y ratifica la ubicación de la zona de recarga. Aguas abajo el agua se hace

sódica – mixta – bicarbonatada, encontrándose este tipo de agua en la parte central del valle.

## **Acuífero 2610 Coyotillo:**

### **LOCALIZACIÓN**

#### **Coordenadas**

El acuífero Coyotillo se encuentra localizado en la porción noroccidental del Estado de Sonora, entre las coordenadas geográficas de 30°25' a 31°00' de latitud Norte y de 111°00' a 111°25' de longitud Oeste; esta área queda comprendida dentro de la cuenca del Río Magdalena y subcuenca del arroyo El Coyotillo. El acuífero ocupa un área de 178.64 km<sup>2</sup> y una zona de 1189.65 km<sup>2</sup>, incluyendo el área de recarga.

La subcuenca del arroyo El Coyotillo colinda al norte con la subcuenca del Río Alisos, al sur con la subcuenca del arroyo La Tinaja, al oriente con la subcuenca de la zona Comaquito y al poniente con la subcuenca del arroyo del Busani.

#### **Municipios**

Abarca parcialmente los municipios de Santa Ana, Magdalena y Trincheras, dentro de los cuales se encuentran las poblaciones del mismo nombre.

#### **Población**

En este acuífero no se encuentran grandes ciudades, únicamente se localizan rancherías las cuales se distribuyen a lo largo del cauce del arroyo. El número de habitantes es del orden de las 1000 personas en total.

### **SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO.**

#### **Decretos de Veda**

El acuífero Coyotillo se encuentra dentro de la zona de veda Meridiano 110° 00', decretada el 11 de Septiembre de 1978, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 19 de septiembre de 1978 y entró en vigor el 20 de Septiembre de 1978.

#### **Decretos de reserva o Reglamento**

Aparte de la disposición oficial señalada en el inciso anterior, no existen declaratorias de reserva o reglamentos internos.

#### **Zonas de disponibilidad**

El acuífero Coyotillo abarca parcialmente los municipios mencionados en el punto 1.1.2., los cuales se encuentran dentro de la

Zona de Disponibilidad 6, respecto de la clasificación de la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua.

### **Organización de Usuarios**

Los usuarios del acuífero Coyotillo son en su mayoría ejidales; encuentran afiliados a Organizaciones Campesinas como la CCI, CNC, etc. La SAGAR, brinda apoyo Técnico agropecuario a estos usuarios en forma permanente a través Centros de apoyo. Por otra parte, la Comisión Nacional del Agua, ha venido sosteniendo reuniones con los distintos usuarios del agua para la Integración del Consejo de Cuenca el cual forma parte del Consejo del Alto Noroeste.

### **Distritos y Unidades de Riego**

La zona de este acuífero queda dentro de la jurisdicción del Distrito de Desarrollo Rural No 140.- Magdalena, dependiente de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Estructuralmente, la SAGAR cuenta con la oficina del distrito de Desarrollo Rural con sede en la ciudad de Magdalena, además de Centros de Apoyo Técnico en Santa Ana.

### **Usuarios mayores de agua subterránea**

Los usuarios mayores de agua subterránea son los del sector agrícola, seguidos con los del uso pecuario y doméstico.

## **FISIOGRAFIA**

### **PROVINCIA FISIAGRÁFICA**

El área de estudio queda dentro de la Provincia Fisiográfica de la Zona Desértica de Sonora (Manuel Alvarez Jr. 1958). Por su morfología, también puede clasificarse dentro de una subprovincia de sierras y valles paralelos.

Las Sierras están formadas principalmente por rocas metamórficas del Paleozoico y Precámbrico, siguiéndoles en importancia las rocas volcánicas del Mesozoico y Terciario. Sobre estas rocas, se encuentran descansando los sedimentos del Terciario y Cuaternario que colman los actuales valles. Estos sedimentos, están constituidos por boleos, gravas, arenas y arcillas.

La zona tiene como dren principal al arroyo El Coyotillo, el cual es tributario por la margen derecha del Río Magdalena.

La fisiografía de la región puede definirse a grandes rasgos, como un sistema de sierras y valles paralelos labrados y comunicados entre sí por arroyos de régimen torrencial y su colector general, que son los responsables principalmente de haber originado el retroceso hacia los escarpes de las sierras, de las amplias terrazas de erosión expuestas en el área.

## **CLIMA**

El Clima imperante en esta región es de tipo semidesértico con un período de lluvias definido entre los meses de Julio a Septiembre. Las más altas precipitaciones anuales se presentan entre Magdalena y la Sierra de Santa Rosalía o de La Madera oscilando entre 500 y 600 mm. En el resto del área la precipitación anual varía entre 225 y 500 mm. La temperatura media varía desde 15° C en la cabecera de la cuenca hasta 22° C en el valle de Llano Blanco.

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por E. García en 1964, para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana (cartas de climas, Comisión de Estudios del Territorio Nacional), prevalece un clima seco-templado con verano cálido, muy extremo, pues su oscilación es de 18°C, con temperatura media anual es de 17.8° C, la más fría de 9° C y la más caliente de 27°C; su régimen de lluvias es de verano, pero con un porcentaje de lluvia invernal de 22% respecto a la media anual, su clasificación es BS, KW (x') 8e'); en su curso inferior, que ocupa la mayor extensión del área de estudio, prevalece un clima más seco, semicálido con invierno fresco, extremo, su oscilación es de 17.6° C, la temperatura media anual es de 20.2°C, la más fría de 11.5° C y la más caliente de 29.2° C, con régimen de lluvia de Verano, pero con un porcentaje de lluvia invernal de 17% respecto a la media anual, su clasificación es BS hw (x') (e'). En la parte baja y sur del área de estudio (Llano Blanco), predomina el clima muy seco o desértico, cálido y extremo, pues la temperatura oscila en 19.5°, su temperatura media anual es de 20.3° C y la del más frío de 11.3° C y el más caliente de 30.8° C con régimen de lluvia intermedio entre verano e invierno, su clasificación es BWhw (x') (e').

### **Temperatura media anual**

La temperatura media anual del área es de 20.7° C, siendo muy similares a las temperaturas medias anuales, tanto en las zonas montañosas como en la planicie.

La temperatura máxima anual en el período de análisis 1966-1976, fue de 22.3° C y correspondió al año de 1968 y la mínima anual fue de 19° C para el año de 1974.

### **Precipitación Media Anual**

La precipitación media anual en la subcuenca de l arroyo El Coyotillo, para el período 1966- 1976 fue de 333.3 mm.

La lluvia mínima anual en el área fue de 162 mm y se presentó en el año de 1974, la máxima anual fue de 474.1 mm y ocurrió en 1967.

## **Evaporación Potencial media anual**

La evaporación potencial media anual es de 2,328 mm.

## **HIDROGRAFÍA**

### **Región hidrológica**

El acuífero Coyotillo queda comprendido dentro de la Región Hidrológica RH 8- Sonora Norte.

### **Subregión**

De acuerdo con la clasificación hidrológica que se dispone para esta zona, no se tiene información sobre subregiones hidrológicas.

### **Cuenca**

El acuífero Coyotillo, se ubica dentro de la cuenca 8D-Río Concepción o Magdalena. Dentro de esta gran cuenca hidrográfica del Río Magdalena se encuentra el Río Magdalena el cual inicia el labrado de su cuenca al Noroeste de Cananea, a una altura de casi 2,000 metros sobre el nivel del mar, por una corriente que desde este punto hasta el poblado de Magdalena, lleva el nombre de Río de los Alisos. De Magdalena a Caborca, la corriente toma el nombre de Río Magdalena; de esta ciudad. Hasta la confluencia con el arroyo El Coyote se conoce como Río Asunción y de este lugar hasta su desembocadura en el Golfo de California, recibe el nombre de Arroyo de la Concepción.

Los límites de la cuenca son: al oriente, la Cuenca del Río Sonora; al sur, la Cuenca del Río Sonora; al sur, la Cuenca del Río San Ignacio y Zanjón; al norte, las Cuencas de los Ríos Santa Cruz, San Pedro y Puertecito, que escurren hacia el territorio de los Estados Unidos de Norteamérica; al noroeste, las cuencas de corrientes poco definidas que descargan directamente al Golfo de California. Políticamente, forman parte de ella los municipios de Imuris, Magdalena, Santa Ana, Trincheras, Altar, Tubutama, Sáric, Banjamín Hill, Pitiquito Nogales y Atil.

El Río Magdalena ó Concepción, es la corriente más importante de la Región Hidrológica No. 8, ya que drena una superficie de 25,757 kilómetros cuadrados

La topografía de la cuenca se caracteriza por grandes extensiones de terrenos planos en las zonas medias y bajas. Tiene una altitud media de 700 metros aproximadamente y máxima de 2,530 metros al norte de Cananea.

El río Magdalena nace con el nombre del Río Casa de Piedra (fuera del área de estudio) en el Cerro Vereda, a una altitud de 2,000 metros sobre el nivel del mar 9 kilómetros al sureste de Santa Cruz, en el parteaguas del Río Santa Cruz que escurre hacia los Estados Unidos de Norteamérica. Su cauce sigue un rumbo sureste, recibe por su margen

derecha al Arroyo San Antonio, a una altitud de 1,100 metros todavía fuera del área de estudio y cambia su nombre por el de Arroyo Cocóspera.

El arroyo Cocóspera recibe las aportaciones de su primer afluente importante, el Río de los Alisos, inmediatamente aguas debajo de Imuris, por su margen derecha, a una altitud de 840 metros y toma el nombre de Río Los Alisos hasta las inmediaciones de Magdalena, donde el colector general fluye por zonas de topografía más suave y se inician los aprovechamientos de sus escurrimientos.

A partir de Magdalena, el colector general toma el nombre de esta población y continúa con curso suroeste; pasa por la población de Santa Ana, cruza la Carretera Hermosillo-Nogales y aguas abajo, a la altura del Ejido La Tinaja, recibe por su margen derecha al Arroyo Coyotillo a una altura de 550 metros sobre el nivel del mar.

### **Subcuenca**

La subcuenca hidrológica a la que pertenece este acuífero es la 8D-4, Arroyo Coyotillo.

### **Infraestructura hidráulica**

La infraestructura hidroagrícola en esta región consiste de pozos profundos y norias como obras de captación. Los sistemas de riego son del tipo de canales de tierra tradicionales, aunque existen algunos sistemas de riego presurizado y canales revestidos.

### **GEOMORFOLOGÍA**

En términos generales, el área de estudio es alta. La elevación media del angosto valle del río Magdalena, es de 535 metros. Hacia ambos márgenes, las terrazas fluviales y de erosión, aumentan paulatinamente en elevación hasta llegar a una altitud promedio de 700 metros en los escarpes litológicos y estructurales de las sierras que circundan el valle, así como las de las sierras interiores.

La región vista de conjunto, puede calificarse como una subprovincia fisiográfica formada por un sistema de sierras y valles paralelos. Las sierras están compuestas por rocas ígneas intrusivas, volcánicas y metamórficas de edades Precámbricas a Cuaternarias, en tanto que los valles con sus correspondientes formas secundarias, están constituidas por sedimentos clásticos Terciarios y Cuaternarios.

Tal como corresponde a los paisajes de estas zonas áridas, la morfología del área se acentúa bien en cada una de sus unidades orográficas y de formas menores, haciendo resaltar la evolución de los extensos pié de monte a terrazas aluviales y de éstas últimas a cauces fluviales. Estas unidades morfológicas son de una gran importancia en la recepción y transmisión del agua que interviene en el ciclo hidrológico



del área; dependiendo de sus características litológicas y del grado de compactación de sus elementos constituyentes, pueden representar áreas de infiltración, almacenamiento, transmisión, retención temporal o solamente de escurrimiento del agua de precipitación. De entre estas características, la correspondiente a la infiltración puede ser evidencia en principio, mediante la observación, medida e interpretación de los diferentes tipos de drenaje superficial del área. La densidad de drenaje por ejemplo, es uno de los parámetros en que se apoya en análisis hidrogeológico y se desprende de uno de los apartados más importantes de la fisiografía.

Dentro de la región, las áreas impermeables ocupan la mayor superficie y están representadas por una alta densidad de drenaje de tipo arborecente o dendrítico, desarrollado principalmente en las partes altas o de taludes y terrazas de fuerte pendiente; en tanto que hacia las partes planas, la densidad de drenaje disminuye y el arroyo es de tipo ordenado y paralelo. Los arreglos de drenaje mencionados, aportan los escurrimientos superficiales a los colectores principales de la margen derecha del Río Magdalena, como son los Arroyos Búsani, Coyotillo y Río de los Alisos, a través de sus cuencas tributarias. Los arroyos de la margen izquierda del colector general, tienen una importancia secundaria en relación con los de la margen opuesta, evidenciada por los caudales escurridos y los conos de deyección observados, cuyas masas no han alcanzado a ser removidas completamente. Esta capacidad de volumen transportados y fuerza de trabajo de corte y remoción de masa, puede ser puesta para una altura de precipitación pluvial similar, en función del área de captación, siendo la mayor de la margen derecha en 1.5 veces aproximadamente, en relación con la de la margen izquierda.

En resumen, el área estudiada puede calificarse como una provincia fisiográfica de sierras y valles paralelos; ambas unidades morfológicas están orientadas en una dirección sensiblemente norte - sur y con desniveles topográficos entre los valles, que oscilan de 200 a 800 metros.

Las sierras y formas sobresalientes, están constituidas por sedimentos Precámbricos y Paleozoicos, rocas metamórficas del Mesozoico y rocas intrusivas y volcánicas de Cretácico, Terciario y Cuaternario.

Las áreas peneplaneadas, están a su vez formadas por sedimentos clásticos, Terciarios y Cuaternarios.

Los valles aluviales y fluviales, están intercomunicados superficialmente por el Río Magdalena que recoge los escurrimientos superficiales de los mismos. Las diversas etapas de erosión que han prevalecido en el área han devastado las prominencias topográficas y han dado lugar a la formación de unidades construccionales secundarias,

que confieren al área un paisaje de juventud tardía.

## **GEOLOGIA ESTRATIGRAFÍA.**

La secuencia estratigráfica de las rocas que afloran en el área, forma una columna geológica, cuya edad comprende desde el Precámbrico Inferior hasta el Reciente. A continuación, se describen estas unidades, desde la más antigua a la más joven.

### **Precámbrico y Paleozoico**

Agrupadas en las rocas de Edad Precámbrica y Paleozoica, se encuentran: calizas con pedernal, calizas, areniscas, dolomitas y algunas formaciones metasedimentarias del Cámbrico.

Todos los afloramientos de esta unidad, representan remanentes de erosión que aún subsisten a pesar de su antigüedad y al fuerte trabajo de degradación al que se han visto sujetos.

Los afloramientos pertenecientes a esta unidad geológica, quedan distribuidos en toda el área de estudio, ocupando el 50% en lo que respecta a superficie de afloramiento de unidades rocosas, representando por consiguiente en gran proporción, el marco geológico de la cuenca estudiada.

### **Mesozoico.**

Las rocas correspondientes a la era Mesozoica, tienen dentro del área de estudio, una extensa distribución horizontal. A través de las edades del Triásico, Jurásico y Cretácico, puede observarse una secuencia de rocas intrusivas y metamórficas que corresponden a granitos y granodioríticas, así como a unidades de roca indiferenciadas y emisiones de rocas volcánicas producidas a finales de esta era geológica.

Las rocas intrusivas tienen sus mayores expresiones al sur de Trincheras, formando los Cerros Redondo y Boludo. Finalmente y como última evidencia de los acontecimientos registrados en esta Era, se localizan las rocas volcánicas emitidas a finales del Cretácico, las cuales siguieron atravesándose durante la Era Cenozoica, a principios del Terciario. Las rocas expuestas corresponden a materiales volcánicos no diferenciados y derrames lávicos de composición riolítica, andesítica y latítica. Existen otros afloramientos en la porción central y suroccidental de los cuales destacan la Sierra Prieta y Cerros del Arituaba, del Tecolote y Rajón, todos ellos de composición andesítica y latítica.

### **Cenozoico Terciario.**

Las rocas comprendidas dentro de la subcuenca hidrográfica,

correspondientes a este período, forman parte de las mismas emisiones registradas a fines del Cretácico, las cuales continúan hasta el Reciente. Las rocas expuestas corresponden a rocas volcánicas, representadas en su mayoría por riolitas, andesitas, latitas y tobas. Estas últimas, en la porción suroeste se encuentran mezcladas con sedimentos fluviales y aluviales del Cuaternario, ocupando los depósitos tobáceos, pié de monte o depósitos de talud y terrazas erosionales y fluviales.

La última evidencia de los acontecimientos ocurridos durante este período, se registra al final del Terciario y principios del Cuaternario, siendo las representantes las emisiones basálticas, las cuales se encuentran distribuidas en los alrededores de la población de Trincheras y al sureste del área en la Sierra del Otate. Cuaternario.

Comprendidas dentro del Cuaternario, se encuentran las rocas que ocupan la mayor superficie dentro del área estudiada. Las rocas Cuaternarias están divididas en volcánicas y sedimentarias. En el grupo de las volcánicas, son las emisiones basálticas las representantes de las sedimentarias que, por su distribución y por su naturaleza, representan para el caso del estudio geohidrológico que nos ocupa, la unidad geológica de mayor importancia.

Formadas por arenas, gravas, limos y arcillas, se encuentran distribuidas en tres grandes grupos: depósitos aluviales, fluviales y erosionales. Los depósitos aluviales, ocupan las áreas peneplaneadas o áreas de valle, correspondiendo a los depósitos fluviales, las terrazas excavadas por las corrientes superficiales que descienden hacia la planicie aluvial y a los erosionales, los productos de desintegración física, mecánica y de remoción de masas depositadas en los sedimentos de sierras y cerros aledaños.

Aunque la distribución horizontal de los sedimentos clásticos ocupa la mayor superficie de la subcuenca, solamente en la porción central del área, entre Trincheras y Pitiquito, existen espesores entre 75 y 100 metros de promedio de aluviones en el resto del área, solamente en los pequeños valles labrados por ríos y arroyos, se depositan algunas decenas de metros de estos sedimentos, existiendo en la mayor parte una delgada cubierta de estos materiales aluviales.

La discusión de las características de estos sedimentos aluviales y fluviales, inherentes a su espesor y distribución en el subsuelo, así como sus características físicas que tienen relación con el agua subterránea, se realizará en parte en el inciso correspondiente a geología del subsuelo y el complemento en el capítulo correspondiente a hidrología subterránea.

## **GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

La Cuenca del Río Magdalena, pertenece a la cuenca geológica

“Cuenca de Sonora”. Esta cuenca geológica está limitada al Este, por la estructura del Gran Geoanticlinal Occidental; al Sur, por el Flanco de Sinaloa y al Occidente por la Fosa de Cortés.

Esta cuenca se caracteriza por la presencia de afloramientos Precámbricos y Paleozoicos, representado por rocas sedimentarias, metasedimentarias e intrusivas.

## **GEOLOGÍA DEL SUBSUELO**

Tomando en cuenta el resultado del levantamiento fotohdrogeológico en combinación con la nomenclatura propuesta en el trabajo denominado “Areal Geology and Petrology of the igneous Rocks of the Santa Ana Region, Northwest Sonora” por G.A. Salas, publicado en el boletín de la sociedad Geológica Mexicana, Vol. 23 No 1 (1968-1970), fue posible identificar formaciones desde el Precámbrico hasta el Reciente. El resultado de esta interpretación se resume como sigue:

**Precámbrico.-** Las rocas de esta edad están representadas por formaciones metasedimentarias del tipo esquistos, mármol y gneises graníticos con intrusiones graníticas metamorfoseadas y rocas metamórficas del grupo Coyotillo, del tipo filitas, cuarcitas y metaconglomerados intrusionados localmente por diques andesíticos. Debido a su alto grado de metamorfismo, estas rocas se consideran impermeables y compactas.

**Cretácico.-** Las rocas pertenecientes a esta edad, son de la formación Represo, de facie calcárea, en donde predominan fundamentalmente calizas en estratos gruesos asociados a rocas intrusivas. Le sigue la formación Represo, facie clástica, que contiene principalmente grauvacas, limolitas y lutitas, y por último existe un grupo de andesitas no diferenciadas asociadas con calizas muy recristalizadas con colores rojizos. Todas estas formaciones son totalmente impermeables y únicamente constituyen fronteras al flujo del agua subterránea.

**Terciario.-** En las rocas de esta edad se identificaron rocas volcánicas no diferenciadas consistentes de andesitas, brechas volcánicas, basaltos y tobas. Otra formación Terciaria es el Conglomerado Rojo que se observa compacto formado por fragmentos de rocas metamórficas y volcánicas cementados en matriz arenosa rojiza y arcillosa. La formación más reciente del Terciario, es la formación Baucarit que está constituida por rellenos aluviales antiguos localmente estratificados formados por gravas, arenas y arcillas parcialmente consolidados. De estas tres formaciones, la de mayor importancia es la formación Baucarit que está representada en la zona como la unidad de mayor extensión y que tiene características de una formación parcialmente permeable, mientras que

las otras dos formaciones se consideran impermeables.

**Cuaternario.-** Los materiales pertenecientes a esta edad están constituidos principalmente por gravas y arenas producto de la erosión y depósito de la formación Baucarit y de las demás rocas circundantes, habiéndose podido diferenciar los acarreos fluviales recientes de las terrazas fluviales. Estos materiales representan los acuíferos más importantes del valle del Río Magdalena.

Desde el punto de vista hidrogeológico, las únicas formaciones de importancia son los materiales del Cuaternario, representados por los aluviones y terrazas antes indicadas. Estos materiales descansan a su vez parcialmente sobre los depósitos clásticos de la formación Baucarit que es de mucho menor permeabilidad aparente y en algunas partes sobre el relieve sepultado de las rocas más antiguas tanto del Cretácico como del Precámbrico. Esta diferencia de compacidad relativa entre la formación Baucarit y los remanentes de las rocas más antiguas, dio lugar a la división del valle del Río Magdalena en varios tramos separados por estrechamientos constituidos por las formaciones más antiguas que restringen la sección de flujo del agua subterránea en los acuíferos. Esta serie de rocas impermeables ha provocado la separación del valle longitudinal en una serie de tramos perfectamente definidos que funcionan como unidades hidrogeológicas independientes y que se describen a continuación:

### **Geofísica**

Con el objeto de poder definir la delimitación vertical y lateral de los materiales acuíferos recientes se llevó a cabo en el año de 1974 una investigación por medio de 120 sondeos eléctricos verticales de resistividad, que se localizaron sobre 23 secciones transversales al valle del Río Magdalena.

Estos sondeos se hicieron empleando el método Schlumberger con tendidos máximos entre los electrodos de corriente de 320 m. Para la interpretación de estos sondeos se emplearon dos criterios fundamentales. El primero correspondió a la interpretación de los tramos entre los umbrales aparentes que se mencionan en el inciso anterior y el otro fue el aplicado para la interpretación de las secciones localizadas en los umbrales. Para el caso de las zonas intermedias de los umbrales se tomó en cuenta un cambio de una resistividad alta hacia una menor, que debe coincidir con el contacto entre el material aluvial y los depósitos del tipo que evidentemente se encuentran más empacados con materiales arcillosos, por lo que su resistividad debe ser menor. En la zona de los umbrales o estrechamientos, el criterio de interpretación fue el de identificar de una resistividad menor hacia una mayor, o bien infinita, un cambio de acuerdo con la existencia de rocas compactas en

la base de los materiales acuíferos aluviales. En ambos casos no se contó con calibraciones y por lo tanto las interpretaciones que se presentaron deben de considerarse como tentativas.

Los espesores de las capas acuíferas en las partes intermedias variaron entre 10 y 30 m aproximadamente, mientras que a la altura de los estrechamientos estos fueron muy reducidos del orden de 5 a 6 m. Las resistividades registradas en las capas acuíferas fueron muy variables desde valores alrededor de 30 ohms-m hasta máximos de alrededor de 400 ohms-m. La resistividad del horizonte más arcilloso, que se interpretó como perteneciente a la Formación Baucarit fue variable entre 7 y 30 ohms-m.

En el tramo El Sifón-El Claro los valores de la profundidad de la base acuífera varían de mínimos de 10 m hasta máximos de 30 m, los cuales son correlacionables con el área de El Coyotillo.

## **HIDROGEOLOGIA**

### **TIPO DE ACUÍFERO**

En toda cuenca hidrológica, el conocimiento de su potencialidad hidráulica es indispensable para planear su desarrollo económico. La evaluación de los recursos hidráulicos subterráneos con que cuenta una cuenca dada, están basadas en medidas directas de la variación en el tiempo y en el espacio de los niveles de agua subterránea. Los datos obtenidos de estas medidas u observaciones, se analizan conjuntamente por guardar una estrecha relación, con la ocurrencia de la lluvia dentro de la cuenca, así como de los volúmenes que han sido tomados artificialmente de los mantos acuíferos.

Dependiendo del tipo de cuenca por cuantificar y de su situación geográfica, pueden hacerse intervenir en el análisis una serie de datos o elementos que complementan el sistema hidráulico de la misma y decidir por tanto el método de investigación: en una cuenca endorreica limitada hidrogeológicamente por rocas impermeables, no se hacen intervenir en el análisis aportes o descargas subterráneas desde o hacia cuencas vecinas y sí en cambio, es muy importante tomar en cuenta la evaporación de cuerpos de agua y la evapotranspiración de niveles freáticos someros; en cuencas situadas en latitudes altas, la altura de las capas de nieve y el estudio del funcionamiento de los deshielos hacen intervenir un término más en la expresión de igualdades de volúmenes de agua.

Para las cuencas situadas en zonas donde los regímenes de precipitación originan la formación de ríos caudalosos y de escurrimiento permanente, el análisis hidrológico superficial puede ser más importante que el del agua subterránea. En cambio, las cuencas ubicadas en zonas donde la precipitación pluvial es escasa y por ende donde los escurrimientos superficiales son también escasos ó nulos, los recursos

hidráulicos de la misma estarán supeditados al volumen de agua subterráneo almacenado y al de su recarga anual.

La cuenca alta del Río Magdalena, se ubica dentro de este último tipo de cuenca, es decir, para su desarrollo económico basado principalmente en la agricultura, depende casi exclusivamente de la explotación del agua subterránea, por lo que la cuantificación de estos recursos es imprescindible, puesto que sirve de base para la planificación correcta de las actividades generadoras de su economía.

La información con que se cuenta sobre el espesor de estos materiales granulares es escasa; algunos pozos de la porción norte del arroyo tienen profundidades menores a 100 metros. A lo largo de la zona del Arroyo El Coyotillo, se pudieron identificar las unidades hidrogeológicas descritas en los capítulos anteriores. De la interpretación y análisis de la información disponible de cortes litológicos, se concluyó que el acuífero en estudio se encuentra contenido principalmente en materiales granulares no consolidados depositados por el Río. Este acuífero funciona como Libre. Debajo de las capas granulares, se encuentran estratos de conglomerados no consolidados que representan la segunda unidad hidrogeológica de interés. Por el contenido arcilloso de estos materiales, el acuífero contenido en estas formaciones funciona localmente como acuífero semiconfinado.

## **PARÁMETROS HIDRÁULICOS**

Con el objeto de complementar el conocimiento de las características de transmisividad y almacenamiento de los acuíferos aluviales del río Magdalena, en el estudio realizado en 1976 por la compañía Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A., se efectuaron 3 pruebas de bombeo, obteniéndose los siguientes resultados: La transmisividad varía de 2.93 a  $18.3 \times 10^{-3} \text{ m}^{-2} \times \text{s}$ . El coeficiente de almacenamiento fue de 0.0049 a 0.33.

## **PIEZOMETRÍA**

En este acuífero, existe escasa información piezométrica ya que solamente en la fecha de los estudios se han levantado datos. Posteriormente a estas fechas, la información es aislada y no abarca a todo el acuífero.

## **COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO**

### **Profundidad de los Niveles Estáticos.**

En los meses de Junio a octubre de 1976, se llevaron a cabo 5 recorridos mensuales de piezometría, sondeándose 28 aprovechamientos distribuidos en toda la subcuenca. Estos aprovechamientos tienen una elevación de brocal ubicada entre los

623.168 y 720.826 msnm. La profundidad de los niveles estáticos, es de gran utilidad, pues define áreas de descarga por evapotranspiración; proporciona una idea de la profundidad mínima que deben tener los pozos, y permite seleccionar áreas apropiadas para la explotación, desde el punto de vista de costos de bombeo.

La profundidad de los niveles estáticos en el mes de Octubre de 1976 en la zona denominada como Coyotillo Norte varió entre los 7.0 y 17.0 m; los más someros se registraron en la parte baja de la cuenca, en las cercanías al cauce del Río Magdalena y los más profundos en la parte alta del acuífero; en la parte media, los niveles estáticos, se encontraban entre los 12.0 y 15.0 m. Según la configuración de profundidad de niveles estáticos para Octubre de 1976, la máxima profundidad se detectó hacia el norte de la cuenca. En la zona identificada como Coyotillo Sur, la mínima profundidad era de 0.0 m y la máxima fue de 8.0 m.

### **Elevación del nivel estático.**

Con apoyo en los datos de niveles del agua referidos al nivel del mar, se trazaron curvas de igual elevación del nivel estático,. Las configuraciones así obtenidas permiten definir las direcciones del flujo subterráneo: en el subsuelo el agua sigue trayectorias normales a las curvas de igual elevación del nivel estático y en el sentido en que decrece la carga hidráulica.

La configuración de la elevación del nivel estático para Octubre de 1976 muestra que la máxima elevación se dio en la zona Coyotillo Norte con un valor de 700 msnm, mientras que la mínima fue de 625 msnm; en la zona del Coyotillo Sur, continua descendiendo de 635 msnm a 625 msnm. Las curvas de igual elevación señalan que el flujo va de norte a sur, siguiendo el cauce del arroyo El Coyotillo.

### **HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

La hidrogeoquímica es empleada como un auxiliar de la geohidrología y tiene dos aplicaciones prácticas principales: la primera consiste en ayudar a conocer en forma cualitativa, el funcionamiento de los acuíferos y la segunda en poner de manifiesto la calidad del agua de los mismos.

La composición química del agua, está en relacionada con el funcionamiento general del acuífero, ya que la concentración, tanto de sales totales como de cada elemento, dependen del tipo de material, a través del cual circula; de la permeabilidad y porosidad del medio, del tiempo de contacto entre el agua y las rocas y de la longitud de recorrido, entre otros factores. Es por ello que a partir de su composición, es posible conocer, en forma aproximada, la dirección del flujo subterráneo, la ubicación de las zonas de recarga y en forma



cualitativa, algunas características físicas del acuífero.

Por otra parte, con los análisis químicos se puede deducir la calidad del agua para usos agrícolas, ganaderos, agropecuarios, potables, turísticos e industriales.

En el mes de Julio de 1976, el estudio realizado por la empresa TMI recolectó muestras de agua de 14 aprovechamientos de la subcuenca de El Coyotillo, las cuales se analizaron en los laboratorios del Distrito de Riego 51 de la Costa de Hermosillo.

### **Concentraciones iónicas.**

Los iones analizados fueron el bicarbonato, el cloruro, el sulfato, el calcio, el magnesio y el sodio. Los primeros tres corresponden a los iones con carga negativa, cuyas concentraciones promedio fueron de 4.50, 1.06 y 1.15 me/l, respectivamente. Los tres iones restantes son los de carga positiva y los promedios con que se encontraron fueron de 2.24, 9.53 y 3.91 me/l.

Los iones que predominan son el sodio y el bicarbonato, según se muestra en las relaciones siguientes, formadas a partir de los promedios  $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$  5.5.1  $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$

El predominio de los bicarbonatos y el sodio, aunado a las bajas concentraciones mencionadas, confirma que esta agua es meteórica de reciente infiltración.

### **Sólidos Totales Disueltos y Conductividad Eléctrica.**

Los sólidos totales disueltos es una medida cualitativa del grado de ataque de las rocas por el agua y sus valores son directamente proporcionales a la conductividad eléctrica del agua.

Los sólidos totales disueltos se presentan en concentraciones mínimas de 174, máximas de 809 ppm y en un promedio de 424 ppm.

Se observaron concentraciones menores de 200 ppm en el extremo norte, correspondiendo esta parte a la zona de recarga por agua de lluvia. Las concentraciones se incrementaban hacia el sur, confirmando la dirección del flujo subterráneo.

En los pozos 1107, 1130 y 1137, localizados en las desembocaduras de arroyos secundarios, se advertían aportes laterales de agua de mas reciente infiltración, que al mezclarse con la del acuífero la diluye, por lo cual en dichas zonas las concentraciones de sólidos totales son mas bajas.

### **Calidad del agua.**

Se dedujo a partir de los resultados de los análisis practicados a las muestras de agua de la zona, la calidad del agua para uso potable y para riego, lo cual se comenta en los siguientes párrafos. Agua potable. Al comparar los resultados de los análisis químicos con las normas de

calidad del agua potable, se deduce que ésta era de muy buena calidad y apta para utilizarse como potable, ya que ninguno de los índices analizados sobrepasó a las normas establecidas.

Agua para riego. En los resultados de los análisis se reporta la relación de sodio y la conductividad eléctrica, a partir de las cuales se obtuvo la clase de agua para riego, de acuerdo a la clasificación de Wilcox. Las muestras pertenecían a las clases C2-S1 y C3-S1, que corresponden a agua con media salinidad y bajo contenido de sodio intercambiable, utilizable en casi cualquier tipo de terreno, sin riesgo de provocar efectos nocivos.

### **Diagramas Triangulares**

En el diagrama triangular se advertía un grupo de aguas que cambiaba de mixta a sódico – bicarbonatada. El agua mixta corresponde al extremo norte de la zona. Esta es agua de reciente infiltración y ratifica la ubicación de la zona de recarga. Aguas abajo el agua se hace sódica –mixta – bicarbonatada, y hacia el sur se convierte en agua claramente sódico – bicarbonatada, debido a la disolución de los minerales que constituyen los aluviones de la zona (arenas).

Los pozos 1107 y 1137, que correspondían a las zonas en las que se dedujeron aportes laterales de agua al acuífero, tienen agua mixta, o sea del mismo tipo que la que caracteriza a la zona de recarga al norte del área, ratificando que estas zonas constituyen alimentaciones laterales de agua de reciente infiltración.

## **Acuífero 2611, La Tinaja:**

### **LOCALIZACIÓN**

El acuífero La Tinaja quedó designado con la clave 2611. El área del acuífero comprende una superficie aproximada de 1,825 km<sup>2</sup>, localizado en la porción centro-noroeste del estado de Sonora, limitando con los acuíferos de Magdalena al norte, con Río Zanjón por el sur, con Río San Miguel al este, y por el oeste con parte de Magdalena y Costa de Hermosillo.

Según las coordenadas geográficas reportadas en la tabla No. 1 se localiza entre los paralelos 29°52'33.6" y 30°28'33.6", y entre los meridianos 110°47'2.4" y 111°23'2.4" al oeste de Greenwich.

Los municipios que se localizan en el área del acuífero, prácticamente casi la totalidad de Benjamín Hill, mientras que en forma parcial aparece el municipio de Santa Ana, y en una muy pequeña proporción los municipios de Carbó, Cucurpe, Magdalena, Opodepe, todos ellos del estado de Sonora.

Entre las principales poblaciones que se localizan en el área,

correspondientes al municipio de Benjamín Hill se encuentran: Benjamín Hill, Las Ánimas, El Remolino, Las Flores y El Carrizo, en cuanto al municipio de Santa Ana se localizan las poblaciones: Fátima, El Ajuage y Estación Llano.

El municipio de Benjamín Hill, según las estadísticas de la CONAPO, para el año 2005 tenía del orden de 5,906 habitantes. Asimismo, la misma institución señala que para el municipio de Santa Ana la población para ese año era del orden de 14,761, cabe señalar que de esta población corresponden al poblado de Santa Ana del orden de 10,000 habitantes, y para la población del El Claro son alrededor de 1,000, estos dos poblados quedan fuera de la zona, sin embargo, en la población de Estación del Llano se asientan cerca de 1,000 habitantes.

De lo anterior se puede considerar que dentro del área, prácticamente se asienta toda la población del municipio de Benjamín Hill, mientras la correspondiente al municipio de Santa Ana debe ser un poco más que la que habita en la localidad de Estación del Llano, del orden de 3,000 habitantes, por lo que la población total dentro de los límites del acuífero es del orden de 9,000 habitantes.

No se incluye el número de habitantes de los municipios restantes por encontrarse sólo una pequeña área de ellas en el área.

### **SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO**

Todos los municipios que cubren el área donde se localiza el acuífero La Tinaja, cuentan con veda para extracción de agua subterránea tipo 1, de acuerdo con la clasificación del Artículo 11 del Reglamento de la Ley de fecha 29 de diciembre de 1956, en materia de Aguas del Subsuelo.

El decreto fue publicado el 19 de septiembre de 1978 en el Diario Oficial de la Federación, en el artículo primero declara de interés público la conservación de mantos acuíferos del Estado de Sonora, en la parte oeste del meridiano 110° de Greenwich, del estado de Sonora, para el mejor control de las extracciones, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en dicha zona, que no quedaron incluidos en las vedas impuestas en los ordenamientos señalados en el considerando primero de este Decreto.

Artículo Segundo. Por causa de interés público se establece veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de aguas del subsuelo en la región meridional en el artículo que antecede.

Artículo Tercero. Excepto cuando se trate de extracciones para uso doméstico y de abrevadero que se realicen por medios manuales, desde la vigencia del presente decreto, nadie podrá efectuar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada, sin contar previamente con el correspondiente permiso de construcción

otorgado por la autoridad el agua, ni extraer o aprovechar las mencionadas aguas, sin la concesión o asignación que expida también, según el caso, la propia Autoridad.

El acuífero La Tinaja, pertenece a la Región Administrativa II Noroeste, así como al Consejo de Cuenca 3 Alto Noroeste, no cuenta con un Comité Técnico de Aguas Subterráneas.

## **FISIOGRAFÍA**

### **PROVINCIA FISIOGRÁFICA**

El acuífero La Tinaja se encuentra contenido en la provincia fisiográfica denominada Llanura Sonorense y en la subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses.

### **CLIMA**

El clima de la región donde se localiza el acuífero La Tinaja es del tipo tipo Bwh muy seco semicálido.

### **HIDROGRAFÍA**

En el área existen diversos arroyos siendo la principal corriente superficial el arroyo de la Tinaja que se forma de la unión de varios arroyos, entre el más importante se encuentra el arroyo El Carrizo, entre los arroyos que convergen al arroyo El Carrizo se encuentran el arroyo Las Clementinas y el arroyo El Potrerito, el arroyo de Tinaja recibe por su margen derecha las aportaciones del arroyo el Álamo.

El arroyo de la Tinaja fuera del área, desemboca en el río de los Alisos, al cual también desembocan otros ríos como el arroyo del Soto, arroyo del Coyotillo y arroyo Busani, para formar el río Magdalena.

La zona que drena el arroyo La Tinaja es de topografía suave, salvo en el parteaguas nororiental, al noreste de Benjamín Hill, Son. y en el centro occidental donde se tienen altitudes de 1780 y 1240 m respectivamente.

De acuerdo con los criterios de la hidrología superficial, el acuífero La Tinaja pertenece a la Región Hidrológica No. 8 Sonora Norte. Pertenece a la Subregión 8 B Río Concepción. Cuenca del Río La Concepción. En el área existen algunos canales y obras afines para el riego, no se tiene ningún vaso de almacenamiento de importancia, adicionalmente existen aprovechamientos de agua subterránea consistentes en pozos.

### **GEOMORFOLOGÍA**

La superficie que determina el perímetro del Acuífero La Tinaja es muy irregular, pero mantiene una orientación general NE-SW, aún y cuando la hidrología marca una dirección predominante de las corrientes hacia el noroeste, tiene una longitud aproximada de 70 km y una

amplitud promedio de 17 km.

Las elevaciones topográficas más importantes se presentan en la porción noreste con altitudes por encima de los 1700 msnm, y en las sierras localizadas al poniente de la población de Benjamín Hill, donde las altitudes oscilan entre los 1400 y 1500 msnm.

La parte central del acuífero está dominada por una amplia zona plana y de lomeríos suaves con cerros pequeños, lo que hace que la zona acuífera tenga una amplitud de hasta 15 km.

## **GEOLOGÍA**

En este apartado se abordan los levantamientos geológicos que integran la estratigrafía regional, la geología estructural y del subsuelo.

### **ESTRATIGRAFÍA**

Si bien es cierto que en el área del acuífero predominan los sedimentos Plio-Cuaternarios, dentro de ésta se tienen afloramientos importantes de rocas con edades desde el Precámbrico hasta el Reciente.

#### **Precámbrico y Paleozoico**

Las rocas de esta edad afloran en la porción media del área, al poniente de la ciudad de Benjamín Hill. Están representadas por gneisses bandeados cuarzo-feldespáticos precámbricos que se encuentran bajo una secuencia metasedimentaria carbonatada del Paleozoico.

#### **Mesozoico**

En la misma localidad donde se observan afloramientos de rocas precámbricas y paleozoicas, se presentan rocas mesozoicas sedimentarias cubriéndolas discordantemente. Estas rocas están caracterizadas por las litologías detríticas y carbonatadas características del Grupo Bisbee.

Rocas metamórficas mesozoicas también se presentan en las inmediaciones del poblado Estación Llano, donde gneisses y esquistos están asociados a vetas de cuarzo-turmalina mineralizadas, así como a riolitas cretácicas (Riolita Gauna) que afloran en el predio de la Mina San Francisco del mencionado poblado.

Como parte de las rocas mesozoicas que afloran en el área se tienen a los intrusivos graníticos, cuyos afloramientos dominan la porción oriental, y algunos más restringidos donde se observa que están intrusionando a las litologías más antiguas.

#### **Cenozoico**

Las rocas comprendidas dentro del área que enmarca este acuífero y que corresponden a este período, afloran en las partes topográficamente

altas del límite más nororiental de la misma. Están representadas por tobas ácidas, riolitas y dacitas del terciario que cubren discordantemente a rocas ígneas intrusivas mesozoicas.

Comprendidas dentro del Cuaternario, se encuentran los sedimentos que ocupan la mayor superficie dentro del área. Estos sedimentos están constituidos por arenas, gravas, limos y arcillas, distribuidos en tres grandes grupos: depósitos aluviales, fluviales y erosionables. Los depósitos aluviales, ocupan las áreas de valle, los depósitos fluviales las terrazas excavadas por las corrientes superficiales que descienden hacia la planicie aluvial y los depósitos erosionables, productos de desintegración física, mecánica y de remoción de masas depositadas de sierras y cerros aledaños.

Es importante mencionar que en gran parte del área, los sedimentos Plio-Cuaternarios tienen una distribución espacial muy amplia, lo que genera que la zona acuífera en esta porción se incremente, sobre todo en el cuadrángulo formado por las localidades de Benjamín Hill, La Sandía, El Picacho y Estación Llano.

## **GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Los principales eventos tectónicos que han afectado a través del tiempo geológico al estado de Sonora se pueden considerar en orden cronológico los siguientes:

La Orogenia Mazatzal, de edad Proterozoico Temprano, que se corresponde con un proceso de metamorfismo regional (Complejos metamórficos Bámori e indiferenciado).

La depositación de la secuencia carbonatada-clástica del Proterozoico Tardío en zonas de plataforma de aguas someras y la prolongación hacia el sur del Geosinclinal Cordillerano.

Posteriormente, viene una estabilidad tectónica durante el Paleozoico, depositándose secuencias sedimentarias de facies de plataforma en distintas partes del Estado.

Como fase subsecuente sobrevino una depositación de cuenca ligada a un arco magmático, originado como consecuencia de la subducción de litósfera oceánica en el margen occidental de Norteamérica, durante el Triásico Tardío-Jurásico Temprano, produciendo un evento de metamorfismo regional que transforma la secuencia durante el Jurásico Medio-Tardío.

Durante el Cretácico Inferior se inicia una transgresión marina, con una fase compresiva durante el Cretácico Medio, que provoca el plegamiento de la secuencia del Cretácico Inferior y terrenos de la franja volcánogena Jurásica.

En el intervalo del Cretácico Inferior al Terciario Inferior se presenta la Orogenia Laramide, con una etapa magmática asociada. Este evento origina el emplazamiento de un importante conjunto volcano-plutónico

durante el Terciario Temprano-Cretácico Tardío.

La tectónica distensiva que origina la apertura del Golfo de California y la formación de la Provincia de Sierras y Valles Paralelos se considera del Mioceno Temprano. La denudación tectónica con eventos compresivos menores, erupciones por fisuras profundas y acción continua de fuerzas exógenas, producen el desarrollo de depósitos no consolidados de aluviones y terrazas del Mioceno hasta el Reciente.

Las estructuras más antiguas presentes en la región están caracterizadas por fallas de cabalgadura de edad mesozoica y probablemente de mayor edad, que sobreponen unidades más antiguas sobre otras más jóvenes.

Estas cabalgaduras tienen vergencias predominantemente hacia el noreste y han sido identificadas principalmente en las sierras del sur del área donde afloran rocas precámbricas, paleozoicas y mesozoicas.

El área se caracteriza por sierras y valles paralelos producidos por la distensión terciaria (Basin and Range). En este contexto, se generaron cuencas de graben y semi-graben que son limitadas por fallas normales de ángulo alto (65o - 85o) con una orientación predominante NNW- SSE.

Otras estructuras importantes son las fallas normales de ángulo bajo (15o) o fallas de Detachment que se manifiestan principalmente en la sierra La Madera al oriente del poblado de Ímuris, así como en las sierras al oeste de Magdalena. Estas estructuras son resultado del evento distensivo del "Metamorphic Core Complex".

Estos dos últimos eventos geológicos han producido un fracturamiento importante en las rocas pre-terciarias, lo cual debe ser considerado en un futuro para posibles estudios de acuíferos en roca. Si bien es cierto que no se tienen identificadas estructuras recientes que afecten los sedimentos cenozoicos del área, los cauces de los ríos pudieran corresponder al lineamiento de estructuras sepultadas.

## **HIDROGEOLOGÍA**

### **TIPO DE ACUÍFERO**

La interpretación y análisis de información disponible de cortes litológicos, permitió concluir que el acuífero se encuentra contenido principalmente en materiales granulares no consolidados depositados por las diferentes corrientes presentes en la zona, principalmente por el arroyo La Tinaja, el cual presenta una planicie de inundación muy amplia.

Este acuífero funciona como libre, presentando por debajo de las capas granulares una serie de estratos de conglomerados semi-consolidados y gravas que representan una segunda unidad hidrogeológica de interés.

## **PIEZOMETRÍA**

Con base en la información disponible, primero se distinguió entre los diferentes comportamientos de niveles.

Una vez analizada la potenciometría, fue posible separar aquellos pozos que muestran el comportamiento típico del acuífero superior, apoyado principalmente en norias y pozos someros, así como en la freaticimetría de la parte Alta y Media de la cuenca Río Concepción-Arroyo Cocóspera.

Igualmente se seleccionó una muestra representativa de pozos que bombean el acuífero regional y que muestran un comportamiento característico, a esta se le denominó Red de Monitoreo Piezométrico. Para obtener la red de monitoreo se discretizó el área con un mallado que se fue ajustando, de acuerdo con la cantidad y calidad de la información piezométrica.

## **COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO**

El análisis del comportamiento hidráulico del almacenamiento subterráneo comprende las configuraciones del nivel estático.

### **Profundidad al nivel estático**

La profundidad al nivel estático más somero obtenido en este trabajo es de 4 m y se tiene en la parte alta al norte del acuífero, en las inmediaciones del rancho El Aguaje, aunque en áreas muy pequeñas, según se puede observar en la figura No. 5. Por otra parte, el nivel más profundo obtenido fue de 63 m, y se ubica en la parte baja ligeramente hacia el suroeste del acuífero dentro de la propiedad del rancho Buenos Aires.

### **Elevación del nivel estático**

La elevación del nivel estático más alto obtenido se sitúa en el rancho Remolino en la parte media-alta al este de acuífero con 854 msnm; mientras que la elevación menor se presenta en el rancho Santa Eulalia en la parte media-baja al oeste del acuífero con 588 msnm.

En la parte central del acuífero se observó que el flujo subterráneo es hacia el noroeste, en la misma dirección del cauce del arroyo principal que drena el acuífero. Las entradas por flujo subterráneo provienen del noreste y oeste, marcadas con los números 2 y 3 en la figura No. 6, una salida se observa en la porción media con dirección poniente en la parte central del acuífero.

### **Evolución del nivel estático**

Con la simple observación de las curvas de elevación del nivel estático, se presume que no existe abatimiento de los niveles, además de que el



flujo se concentra en las partes bajas, con niveles muy someros, aunque en áreas muy reducidas. Lo anterior indica que no existe minado del acuífero.

## **Acuífero 2612, Magdalena:**

### **LOCALIZACIÓN**

#### **Coordenadas**

El acuífero Magdalena se encuentra localizado en la porción noroccidental del Estado de Sonora, comprendido dentro de la porción alta de la cuenca del Río Magdalena y cubren una superficie total de unos 9,000 km<sup>2</sup>, distribuidos de la siguiente forma.

La porción alta de la cuenca del Río Magdalena, colinda al norte con la cuenca del Río Santa Cruz, al sur y oriente con la correspondiente al Río Sonora y al poniente con la porción baja de la cuenca del Río Magdalena ó Asunción

#### **Municipios**

Abarca parcialmente los municipios de Imuris, Magdalena y Santa Ana dentro de los cuales se encuentran las poblaciones de Imuris, San Ignacio, Magdalena, La Misión, Santa Ana, El Claro y Trincheras.

#### **Población**

En esta región, se encuentran cuatro grandes núcleos de población: Imuris, Magdalena, Santa Ana y otros de menor importancia, tales como: San Ignacio, Terrenate, Ejido El Claro, Trincheras y El Ocuca. Además existen un buen número de rancherías y poblados muy pequeños distribuidos principalmente a lo largo del Río Magdalena y sus afluentes.

Por ser cabeceras municipales, Imuris, Magdalena y Santa Ana, son las ciudades principales con una población aproximada de unos 20, 40 y 30,000 habitantes respectivamente. Las otras localidades como el ejido El Claro cuenta con una población menor a 5,000 habitantes en tanto que el resto de las comunidades no son mayores a 2,500 habitantes.

### **SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO.**

#### **Decretos de Veda**

El acuífero Magdalena se encuentra dentro de la zona de veda publicada en el Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación del 19 de septiembre de 1978, para la apertura de nuevos aprovechamientos de aguas subterráneas.

## **Decretos de reserva o Reglamento**

Aparte de la disposición oficial señalada en el inciso anterior, no existen declaratorias de reserva o reglamentos internos.

### Zonas de disponibilidad

El acuífero Magdalena abarca parcialmente los municipios mencionados en el punto 1.1.2., los cuales se encuentran dentro de la Zona de Disponibilidad 6, respecto de la clasificación de la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua.

### Distritos y Unidades de Riego

La zona de este acuífero queda dentro de la jurisdicción del Distrito de Desarrollo Rural No 140.-Magdalena, dependiente de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Estructuralmente, la SAGAR cuenta con la oficina del distrito de Desarrollo Rural con sede en la ciudad de Magdalena, además de Centros de Apoyo Técnico en Santa Ana. La propia Dependencia ha organizado a los usuarios del sector agrícola en Unidades de Riego, las cuales se benefician con aguas de la presa El Comaquito, tomas directas y obras de aguas subterráneas como norias y pozos someros.

## **Usuarios mayores de agua subterránea**

Los usuarios mayores de agua subterránea son los del sector agrícola, seguidos con los del uso público urbano, doméstico, industrial, servicios y pecuario.

## **FISIOGRAFIA**

### **PROVINCIA FISIOGRÁFICA**

El área de estudio queda dentro de la Provincia Fisiográfica de la Zona Desértica de Sonora (Manuel Alvarez Jr. 1958) 1. Por su morfología, también puede clasificarse dentro de una subprovincia de sierras y valles paralelos. Se puede observar que tanto las sierras como los valles, tienen una orientación predominante norte-sur; la elevación de las sierras alcanza hasta los 1,500 metros en la cabecera de la cuenca y de 800 metros aproximadamente en la porción sur de la misma. La elevación de los valles es de 1000 metros para los ubicados en el norte de la cuenca, (Río de Los Alisos), disminuyendo paulatinamente hasta los 300 en el valle de Llano Blanco.

Las Sierras están formadas principalmente por orcas metamórficas del Paleozoico y Precámbrico, siguiéndoles en importancia las rocas volcánicas del Mesozoico y Terciario. Sobre estas rocas, se encuentran descansando los sedimentos del Terciario y Cuaternario que colman los actuales valles. Estos sedimentos, están constituidos por boleos, gravas, arenas y arcillas. En la porción nororiental del área, existen aflorando

además, grandes espesores de conglomerados que forman las terrazas de los valles del Río de los Alisos y de los valles de Magdalena y Santa Ana.

La zona tiene como dren principal al Río Magdalena, el cual recibe a sus más importantes tributarios por la margen derecha como son: el Río de Los Alisos, Arroyo Coyotillo, Búsani y Río Altar. Por la margen izquierda confluyen a él los arroyos de la Tinaja y El Sotol.

La fisiografía de la región puede definirse a grandes rasgos, como un sistema de sierras y valles paralelos labrados y comunicados entre sí por arroyos de régimen torrencial y su colector general, que son los responsables principalmente de haber originado el retroceso hacia los escarpes de las sierras, de las amplias terrazas de erosión expuestas en el área.

## **CLIMA**

El Clima imperante en esta región es de tiempo semidesértico con un período de lluvias definido entre los meses de Julio a Septiembre. Las más altas precipitaciones anuales se presentan entre Magdalena y la Sierra de Santa Rosalía o de La Madera oscilando entre 500 y 600 mm. En el resto del área la precipitación anual varía entre 225 y 500 mm. La temperatura media varía desde 15° C en la cabecera de la cuenca hasta 22° C en el valle de Llano Blanco.

El Río Concepción se origina en las montañas al noreste de la zona de estudio, que corresponde a la zona montañosa norte centro del Estado, donde de acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por E. García en 1964, para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana (cartas de climas, Comisión de Estudios del Territorio Nacional), prevalece un clima seco-templado con verano cálido, muy extremo, pues su oscilación es de 18° C, con temperatura media anual es de 17.8° C, la más fría de 9° C y la más caliente de 27° C; su régimen de lluvias es de verano, pero con un porcentaje de lluvia invernal de 22% respecto a la media anual, su clasificación es BS, KW (x') 8e'); en su curso inferior, que ocupa la mayor extensión del área de estudio, prevalece un clima más seco, semicálido con invierno fresco, extremo, su oscilación es de 17.6° C, la temperatura media anual es de 20.2° C, la más fría de 11.5° C y la más caliente de 29.2° C, con régimen de lluvia de Verano, pero con un porcentaje de lluvia invernal de 17% respecto a la media anual, su clasificación es BS hw (x') (e'). En la parte baja y sur del área de estudio (Llano Blanco), predomina el clima muy seco o desértico, cálido y extremo, pues la temperatura oscila en 19.5°, su temperatura media anual es de 20.3° C y la del más frío de 11.3° C y el más caliente de 30.8° C con régimen de lluvia intermedio entre verano e invierno, su clasificación es BWhw (x') (e').

El análisis climatológico del área, efectuó por medio de datos disponibles de precipitación pluvial, temperatura y evaporación potencial, registrada en 9 estaciones climatológicas, de las cuales, tres se localizan dentro de los límites del área y seis fuera de ella, en su periferia.

El período común más reciente y con datos completos de las observaciones en estas estaciones fue de 11 años y corresponden al intervalo de 1966-1976.

El análisis de precipitación, temperatura y evaporación potencial del área de estudio se realizó para el período común de registro, empleándose el método de polígonos de Thiessen.

El análisis de precipitación pluvial se llevó a cabo para la superficie total del área de estudio y parcialmente para las subcuencas hidrográficas tributarias de los valles más importantes de esta zona, desde el punto de vista geohidrológico. Estos valles son; Llano Blanco, Búsani, Coyotillo, Benjamin Hill, Comaquito-El Claro y Los Alisos.

### **Temperatura media anual**

La temperatura media anual del área es de 20.7° C, siendo muy similares a las temperaturas medias anuales, tanto en las zonas montañosas como en la planicie.

La temperatura máxima anual en el período de análisis 1966-1976, fue de 22.3° C y correspondió al año de 1968 y correspondió al año de 1968 y la mínima anual fue de 19° C para el año de 1974.

### **Precipitación Media Anual**

La precipitación media anual del área de estudio para el período 1966-1976 fue de 323.9 mm. Como puede observarse, la altura de precipitación promedio registrada en las estaciones climatológicas, varió entre 227.8 mm y 547.0 mm, presentándose las más altas precipitaciones en las partes montañosas y las más bajas en las planicies.

De acuerdo con el número y distribución de las estaciones climatológicas de la cuenca, la denominada Santa Ana, es la más representativa, debido a que en ella se registran las precipitaciones anuales más próximas a la media anual de la cuenca. Esta estación se localiza en la porción central del área de estudio.

La lluvia mínima anual en el área fue de 162 mm y se presentó en el año de 1974, la máxima anual fue de 474.1 mm y ocurrió en 1967. En la subcuenca del Río Los Alisos la precipitación media anual fue de 474.1 mm y ocurrió en 1967.

En la subcuenca del Río Los Alisos la precipitación media anual fue de 409.7 mm. La precipitación media anual en la subcuenca del Arroyo Coyotillo fue de 333.3 mm. En la Zona de Comaquito-El Claro 369.0

mm; en la subcuenca del Arroyo La Tinaja (Benjamin Hill) la precipitación media anual fue de 348.4 mm; en la subcuenca del Río Busani (Valle del Ocuca) fue de 319.4 mm y en la zona de Llano Blanco y Trincheras la precipitación media anual fue de 264.7 mm, Como puede observarse, en el área de estudio las precipitaciones más altas se presentan en la subcuenca hidrográfica del Arroyo Los Alisos y la más baja en la planicie (Pitiquito).

### **Evaporación Potencial media anual**

La evaporación potencial media anual es de 2,328 mm.

## **HIDROGRAFÍA**

### **Región hidrológica**

El acuífero Magdalena queda comprendido dentro de la Región Hidrológica RH 8- Sonora Norte.

### **Subregión**

De acuerdo con la clasificación hidrológica que se dispone para esta zona, no se tiene información sobre subregiones hidrológicas.

Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero Magdalena, Son.

### **Cuenca**

El acuífero Magdalena, se ubica dentro de la cuenca 8D-Río concepción o Magdalena. Dentro de esta gran cuenca hidrográfica del Río Magdalena se encuentra el Río Magdalena el cual inicial el labrado de su cuenca al Noroeste de Cananea, a una altura de casi 2,000 metros sobre el nivel del mar, por una corriente que desde este punto hasta el poblado de Magdalena, lleva el nombre de Río de los Alisos. De Magdalena a Caborca, la corriente toma el nombre de Río Magdalena; de esta ciudad. Hasta la confluencia con el arroyo El Coyote se conoce como Río Asunción y de este lugar hasta su desembocadura en el Golfo de California, recibe el nombre de Arroyo de la Concepción.

Los límites de la cuenca son: al oriente, la Cuenca del Río Sonora; al sur, la Cuenca del Río Sonora; al sur, la Cuenca del Río San Ignacio y Zanjón; al norte, las Cuencas de los Ríos Santa Cruz, San Pedro y Puertecito, que escurren hacia el territorio de los Estados Unidos de Norteamérica; al noroeste, las cuencas de corrientes poco definidas que descargan directamente al Golfo de California. Políticamente, forman parte de ella los municipios de Imuris, Magdalena, Santa Ana, Trincheras, Altar, Trubutama, Sáric, Banjamín Hill, Pitiquito Nogales y Atíl.

El Río Magdalena ó Concepción, es la corriente más importante de la Región Hidrológica No. 8, ya que drena una superficie de 25,757 kilómetros cuadrados, de los cuales, 10,052 km<sup>2</sup>, corresponden el área

de este estudio.

La topografía de la cuenca dentro del área de estudio, se caracteriza por grandes extensiones de terrenos planos en las zonas medias y bajas. Tiene una altitud media de 700 metros aproximadamente y máxima de 2,530 metros al norte de Cananea.

El río Magdalena nace con el nombre del Río Casa de Piedra (fuera del área de estudio) en el Cerro Vereda, a una altitud de 2,000 metros sobre el nivel del mar 9 kilómetros al sureste de Santa Cruz, en el parteaguas del Río Santa Cruz que escurre hacia los Estados Unidos de Norteamérica. Su cauce sigue un rumbo sureste, recibe por su margen derecha al Arroyo San Antonio, a una altitud de 1,100 metros todavía fuera del área de estudio y cambia su nombre por el de Arroyo Cocóspera.

En el Arroyo Cocóspera se efectuaron observaciones del nivel del río en la estación Comaquito, actualmente suspendida. El arroyo Cocóspera recibe las aportaciones de su primer afluente importante, el Río de los Alisos, inmediatamente aguas debajo de Imuris, por su margen derecha, a una altitud de 840 metros y toma el nombre de Río Los Alisos hasta las inmediaciones de Magdalena, donde el colector general fluye por zonas de topografía más suave y se inician los aprovechamientos de sus escurrimientos.

A partir de Magdalena, el colector general toma el nombre de esta población y continúa con curso suroeste; pasa por la población de Santa Ana, cruza la Carretera Hermosillo-Nogales y aguas abajo, a la altura del Ejido La Tinaja, recibe por su margen derecha al Arroyo Coyotillo a una altura de 550 metros sobre el nivel del mar.

### **Subcuenca**

La subcuenca hidrológica a la que pertenece este acuífero es la 8D-3, Río Alisos en su parte media y baja.

### **Infraestructura hidráulica**

La infraestructura hidráulica que se tiene en este acuífero consiste de una presa de almacenamiento El Comaquito, que se ubica en la parte alta del acuífero. De esta presa salen los canales de riego revestidos y de tierra que benefician las zonas de riego en su mayoría ejidal, que se localizan en ambos márgenes del río. Por otra parte, existen obras de captación del agua subterránea a través de pozos y norias equipados en su mayoría con motores eléctricos y en menor proporción (5%) con motores de combustión interna además de una cantidad mínima de norias de operación manual. De acuerdo con los gastos de operación la potencia de los motores varía de 5 a 50 HP. Los sistemas de riego son generalmente a base del sistema tradicional de riego por gravedad, existiendo superficies pequeñas con riego por aspersión.

## **GEOMORFOLOGÍA**

En términos generales, el área de estudio es alta. La elevación media del angosto valle del río Magdalena, es de 535 metros. Hacia ambas márgenes, las terrazas fluviales y de erosión, aumentan paulatinamente en elevación hasta llegar a una altitud promedio de 700 metros en los escarpes litológicos y estructurales de las sierras que circundan el valle, así como las de las sierras interiores.

La región vista de conjunto, puede calificarse como una subprovincia fisiográfica formada por un sistema de sierras y valles paralelos. Las sierras están compuestas por rocas ígneas intrusivas, volcánicas y metamórficas de edades Precámbricas a Cuaternarias, en tanto que los valles con sus correspondientes formas secundarias, están constituidas por sedimentos clásticos Terciarios y Cuaternarios.

Tal como corresponde a los paisajes de estas zonas áridas, la morfología del área estudiada se acentúa bien en cada una de sus unidades orográficas y de formas menores, haciendo resaltar la evolución de los extensos pie de monte a terrazas aluviales y de éstas últimas a cauces fluviales. Estas unidades morfológicas son de una gran importancia en la recepción y transmisión del agua que interviene en el ciclo hidrológico del área; dependiendo de sus características litológicas y del grado de compactación de sus elementos constituyentes, pueden representar áreas de infiltración, almacenamiento, transmisión, retención temporal o solamente de escurrimiento del agua de precipitación. De entre estas características, la correspondiente a la infiltración puede ser evidencia en principio, mediante la observación, medida e interpretación de los diferentes tipos de drenaje superficial del área. La densidad de drenaje por ejemplo, es uno de los parámetros en que se apoya en análisis hidrogeológico y se desprende de uno de los apartados más importantes de la fisiografía.

Dentro del área estudiada, las áreas impermeables ocupan la mayor superficie y están representadas por una alta densidad de drenaje de tipo arborecente o dendrítico, desarrollado principalmente en las partes altas o de taludes y terrazas de fuerte pendiente; en tanto que hacia las partes planas, la densidad de drenaje disminuye y el arroyo es de tipo ordenado y paralelo. Los arreglos de drenaje mencionados, aportan los escurrimientos superficiales a los colectores principales de la margen derecha del Río Magdalena, como son los Arroyos Búsani, Coyotillo y Río de los Alisos, a través de sus cuencas tributarias. Los arroyos de la margen izquierda del colector general, tienen una importancia secundaria en relación con los de la margen opuesta, evidenciada por los caudales escurridos y los conos de deyección observados, cuyas masas no han alcanzado a ser removidas completamente. Esta capacidad de volumen transportados y fuerza de trabajo de corte y

remoción de masa, puede ser puesta para una altura de precipitación pluvial similar, en función del área de captación, siendo la mayor de la margen derecha en 1.5 veces aproximadamente, en relación con la de la margen izquierda.

En resumen, el área estudiada puede calificarse como una provincia fisiográfica de sierras y valles paralelos; ambas unidades morfológicas están orientadas en una dirección sensiblemente norte-sur y con desniveles topográficos entre los valles, que oscilan de 200 a 800 metros.

Las sierras y formas sobresalientes, están constituidas por sedimentos Precámbricos y Paleozoicos, rocas metamórficas del Mesozoico y rocas intrusivas y volcánicas de Cretácico, Terciario y Cuaternario.

Las áreas peneplaneadas, están a su vez formadas por sedimentos clásticos, Terciarios y Cuaternarios.

Los valles aluviales y fluviales, están intercomunicados superficialmente por el Río Magdalena que recoge los escurrimientos superficiales de los mismos. Las diversas etapas de erosión que han prevalecido en el área han devastado las prominencias topográficas y han dado lugar a la formación de unidades construccionales secundarias, que confieren al área un paisaje de juventud tardía.

## **GEOLOGIA ESTRATIGRAFÍA.**

La secuencia estratigráfica de las rocas que afloran en el área, forma una columna geológica, cuya edad comprende desde el Precámbrico Inferior hasta el Reciente. A continuación, se describen estas unidades, desde la más antigua a la más joven.

### **Precámbrico y Paleozoico**

Agrupadas en las rocas de Edad Precámbrica y Paleozoica, se encuentran: Calizas con pedernal, calizas, areniscas, dolomitas y algunas formaciones metasedimentarias del Cámbrico.

Todos los afloramientos de esta unidad, representan remanentes de erosión que aún subsisten a pesar de su antigüedad y al fuerte trabajo de degradación al que se han visto sujetos.

Los afloramientos pertenecientes a esta unidad geológica, quedan distribuidos en toda el área de estudio, ocupando el 50% en lo que respecta a superficie de afloramiento de unidades rocosas, representando por consiguiente en gran proporción, el marco geológico de la cuenca estudiada.

En la porción noroeste forman la estribación sur la Sierra de Guacomea, el Cerro La mesa, San Blas y Las Sierras Las Jarrillas y del Picacho. Al noroeste los Cerros Colorado, La Cuchilla, Cabeza Colgada,



del Arituaba y Carnero. Al sureste, existe un remanente alargado formado por los Cerros El Claro y Santa Julía. En la porción sur, forman los Cerros Dividido, del Cabrillo y del Dieciseis y finalmente, en el límite suroccidental, forman las Sierras de San Blas y Santa Rosa y los Cerros Clemente, El Chino y Cerro Prieto. Las rocas agrupadas en esta unidad, forman el basamento regional del área.

### **Mesozoico.**

Las rocas correspondientes a la era Mesozoica, tienen dentro del área de estudio, una extensa distribución horizontal. A través de las edades del Triásico, Jurásico y Cretácico, puede observarse una secuencia de rocas intrusivas y metamórficas que corresponden a granitos y granodioríticas, así como a unidades de roca indiferenciadas y emisiones de rocas volcánicas producidas a finales de esta era geológica.

Las rocas intrusivas tienen sus mayores expresiones al sur de Trincheras, formando los Cerros Redondo y Boludo y la Sierra del Caracahuí al noreste de Benjamín Hill. Otros afloramientos de menor extensión se observan al oriente de Imuris, representado por el Cerro Agua Caliente.

Descansando sobre estos cuerpos intrusivos, se localizan algunos afloramientos formados por sedimentos no diferenciados, teniendo una reducida área de exposición. Estos se presentan únicamente en los alrededores de Benjamín Hill y la Ranchería de Aguacaliente, localizada en el tramo medio del Río de los Alisos.

Finalmente y como última evidencia de los acontecimientos registrados en esta Era, se localizan las rocas volcánicas emitidas a finales del Cretácico, las cuales siguieron extravasándose durante la Era Cenozoica, a principios del Terciario. Las rocas expuestas corresponden a materiales volcánicos no diferenciados y derrames lávicos de composición riolítica, andesítica y latítica. Generalmente, estas rocas se encuentran distribuidas en la parte norte de la zona estudiada, formando sierras de gran extensión, como la de Cuacomea, Cibuta y Los Pinitos, representadas por derrames riolíticos y el Cerro Candelaria formado por rocas volcánicas indiferenciadas. En la porción sureste alcanza expresiones algo considerables, como son las Sierras de la Lámina y del Otate y Cerro La Bandera. Existen otros afloramientos de menor importancia en la porción central y suroccidental de los cuales destacan la Sierra Prieta y Cerros del Arituaba, del Tecolote y Rajón, todos ellos de composición andesítica y latítica.

### **Cenozoico -Terciario.**

Las rocas comprendidas dentro de la subcuenca hidrográfica, correspondientes a este período, forman parte de las mismas emisiones

registradas a fines del Cretácico, las cuales continúan hasta el Reciente. Las rocas expuestas corresponden a rocas volcánicas, representadas en su mayoría por riolitas, andesitas, latitas y tobas. Estas últimas, en la porción suroeste se encuentran mezcladas con sedimentos fluviales y aluviales del Cuaternario, ocupando los depósitos tobáceos, pié de monte o depósitos de talud y terrazas erosionales y fluviales, los depósitos fluviales Cuaternarios, cortan a los depósitos de tobas en los cauces de los enumerables arroyos que descienden principalmente por la margen izquierda, como el Arroyo del Tecolote, del Sotol y el de La Tinaje, para confluir en el Río Magdalena.

La última evidencia de los acontecimientos ocurridos durante este período, se registra al final del Terciario y principios del Cuaternario, siendo las representantes las emisiones basálticas, las cuales se encuentran distribuidas en los alrededores de la población de Trincheras y al sureste del área en la Sierra del Oate.

### **Cuaternario.**

Comprendidas dentro del Cuaternario, se encuentran las rocas que ocupan la mayor superficie dentro del área estudiada. Las rocas Cuaternarias están divididas en volcánicas y sedimentarias. En el grupo de las volcánicas, son las emisiones basálticas las representantes de las sedimentarias que, por su distribución y por su naturaleza, representan para el caso del estudio geohidrológico que nos ocupa, la unidad geológica de mayor importancia.

Formadas por arenas, gravas, limos y arcillas, se encuentran distribuidas en tres grandes grupos: depósitos aluviales, fluviales y erosionales. Los depósitos aluviales, ocupan las áreas peneplaneadas o áreas de valle, correspondiendo a los depósitos fluviales, las terrazas excavadas por las corrientes superficiales que descienden hacia la planicie aluvial y a los erosionales, los productos de desintegración física, mecánica y de remoción de masas depositadas en los sedimentos de sierras y cerros aledaños.

Aunque la distribución horizontal de los sedimentos clásticos ocupa la mayor superficie de la subcuenca, solamente en la porción central del área, entre Trincheras y Pitiquito y en los Valles de Santa Ana y Magdalena, existen espesores entre 75 y 100 metros de promedio de aluviones en el resto del área, solamente en los pequeños valles labrados por ríos y arroyos, se depositan algunas decenas de metros de estos sedimentos, existiendo en la mayor parte una delgada cubierta de estos materiales aluviales. En cambio el espesor medido en el conglomerado Cuaternario (Qcg) que aflora desde Santa Ana a Nogales, es del orden de los 800 metros.

La discusión de las características de estos sedimentos aluviales y fluviales, inherentes a su espesor y distribución en el subsuelo, así como

sus características físicas que tienen relación con el agua subterránea, se realizará en parte en el inciso correspondiente a geología del subsuelo y el complemento en el capítulo correspondiente a hidrología subterránea.

## **GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

La Cuenca del Río Magdalena, pertenece a la cuenca geológica "Cuenca de Sonora". Esta cuenca geológica está limitada al Este, por la estructura del Gran Geoanticlinal Occidental; al Sur, por el Flanco de Sinaloa y al Occidente por la Fosa de Cortés.

Esta cuenca se caracteriza por la presencia de afloramientos Precámbricos y Paleozoicos, representado por rocas sedimentarias, metasedimentarias e intrusivas.

## **GEOLOGÍA DEL SUBSUELO**

Tomando en cuenta el resultado del levantamiento fotohidrogeológico en combinación con la nomenclatura propuesta en el trabajo denominado "Areal Geology and Petrology of the igneous Rocks of the Santa Ana Región, Northwest Sonora" por G.A. Salas, publicado en el boletín de la sociedad Geológica Mexicana, Vol. 23 No 1 (1968-1970), fue posible identificar formaciones desde el Precámbrico hasta el Reciente. El resultado de esta interpretación se resume como sigue:

**Precámbrico.-** Las rocas de esta edad están representadas por formaciones metasedimentarias del tipo esquistos, mármol y gneises graníticos con intrusiones graníticas metamorfoseadas y rocas metamórficas del grupo Coyotillo, del tipo filitas, cuarcitas y metaconglomerados intrusionados localmente por diques andesíticos. Debido a su alto grado de metamorfismo, estas rocas se consideran impermeables y compactas.

**Cratácico.-** Las rocas pertenecientes a esta edad, son de la formación Represo, de facie calcárea, en donde predominan fundamentalmente calizas en estratos gruesos asociados a rocas intrusivas. Le sigue la formación Represo, facie clástica, que contiene principalmente grauvacas, limolitas y lutitas, y por último existe un grupo de andesitas no diferenciadas asociadas con calizas muy recristalizadas con colores rojizos. Todas estas formaciones son totalmente impermeables y únicamente constituyen fronteras al flujo del agua subterránea.

**Terciario.-** En las rocas de esta edad se identificaron rocas volcánicas no diferenciadas consistentes de andesitas, brechas volcánicas, basaltos y tobas. Otra formación Terciaria es el Conglomerado Rojo que se observa compacto formado por fragmentos de rocas metamórficas y

volcánicas cementados en matriz arenosa rojiza y arcillosa. La formación más reciente del Terciario, es la formación Baucarit que está constituida por rellenos aluviales antiguos localmente estratificados formados por gravas, arenas y arcillas parcialmente consolidados. De estas tres formaciones, la de mayor importancia es la formación Baucarit que está representada en la zona como la unidad de mayor extensión y que tiene características de una formación parcialmente permeable, mientras que las otras dos formaciones se consideran impermeables.

**Cuaternario.-** Los materiales pertenecientes a esta edad están constituidos principalmente por gravas y arenas producto de la erosión y depósito de la formación Baucarit y de las demás rocas circundantes, habiéndose podido diferenciar los acarrees fluviales recientes de las terrazas fluviales. Estos materiales representan los acuíferos más importantes del valle del Río Magdalena.

Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero Magdalena, Son.  
Desde el punto de vista hidrogeológico, las únicas formaciones de importancia son los materiales del Cuaternario, representados por los aluviones y terrazas antes indicadas. Estos materiales descansan a su vez parcialmente sobre los depósitos clásticos de la formación Baucarit que es de mucho menor permeabilidad aparente y en algunas partes sobre el relieve sepultado de las rocas más antiguas tanto del Cretácico como del Precámbrico. Esta diferencia de compacidad relativa entre la formación Baucarit y los remanentes de las rocas más antiguas, dio lugar a la división del valle del Río Magdalena en varios tramos separados por estrechamientos constituidos por las formaciones más antiguas que restringen la sección de flujo del agua subterránea en los acuíferos. Esta serie de rocas impermeables ha provocado la separación del valle longitudinal en una serie de tramos perfectamente definidos que funcionan como unidades hidrogeológicas independientes y que se describen a continuación:

#### **Tramo: Comaquito-Imuris**

Este tramo se limita entre la salida del Arroyo del Babasac de la Sierra de la Madera y un estrangulamiento a la altura del poblado de Imuris. Lateralmente queda encajonado por depósitos clásticos de la Formación Baucarit encontrándose en algunas partes - las Terrazas 1 y 2 en ambos márgenes. A la altura del estrechamiento de Imuris afloran sobre la margen izquierda rocas metamórficas, que producen un levantamiento en el subsuelo que provocó la salida de agua subterránea en las tomas denominadas El Bacerán, Agua Caliente 1 y 2, San Isidro y la del Río Bambuto. Este tramo tiene - una longitud de 11 km con un ancho medio del cauce aluvial reciente de 600 m.

Las entradas a este tramo provienen de la Toma Babasac en su

parte alta, de la infiltración por los escurrimientos de avenidas y las lluvias directas que caen sobre la parte acuífera. Puede existir otra recarga más lenta proveniente de los materiales elásticos semiconsolidados de la Formación Baucarit en ambos márgenes del valle. Las salidas están constituidas por las tomas antes indicadas, con excepción de la del Bambuto y el flujo subálveo que puede existir en el estrangulamiento.

### **Tramo: Imuris-San Ignacio.**

Queda limitado lateralmente por rocas metamórficas del Precámbrico que bordean ambos márgenes del tramo y forman un estrechamiento angosto a la altura de las tomas de la Isla y el - Ranchito, con un ancho máximo de 200 m. Sólo sobre la margen derecha se encuentran algunas terrazas, mientras que sobre la margen izquierda casi no existen. El largo total este tramo es de 10.5 km con un ancho de medio en la parte media del acuífero aluvial reciente de 500 m.

Las entradas a este tramo corresponden a las salidas del tramo Comaquito-Imuris y a las aportaciones de la toma del río Bambuto, así como de los arroyos de Agua Zarca y Piedra de Amolar. El resto de las entradas proviene de los escurrimientos de avenida y la infiltración de la lluvia sobre la parte plana del valle. No deben existir aportaciones de las rocas metamórficas. La salida está constituida por las descargas de las tomas de la Isla y El Ranchito y probablemente el flujo subálveo debe ser prácticamente nulo.

### **Tramo San Ignacio-Magdalená.**

En su parte alta queda enmarcado por el estrechamiento a la altura de las tomas El Ranchito y la Isla, y hacia aguas abajo por un estrechamiento geológico a la altura de la población de Magdalena. Sobre su margen izquierda queda bordeado por los depósitos clásticos parcialmente consolidados de la formación Baucarit y sobre la derecha por rocas metamórficas del Precámbrico. La longitud de este tramo es del orden de 10 km con un ancho medio de 1000 m. El estrechamiento de la salida a la altura de Magdalena está formado por afloramientos en el cauce de rocas metamórficas del Precámbrico y sobre su margen izquierda por un pequeño afloramiento de Conglomerado Rojo compacto e impermeable del Terciario.

Las entradas a la zona están formadas por las salidas del tramo Imuris-San Ignacio y las aportaciones del Arroyo de Tacicuri. Deben existir además aportaciones por infiltración de los escurrimientos de avenida y la infiltración por lluvia, así como escurrimientos lentos provenientes de los materiales elásticos de la formación Baucarit desde la margen izquierda. La salida del valle está formada por la Toma de La

Misión y la descarga de la Toma La Angostura aguas abajo del estrechamiento de Magdalena.

### **Tramo Magdalena-La Galera**

El tramo superior de esta zona queda delimitado por - el estrechamiento a la altura de Magdalena y hacia aguas abajo por - otro estrechamiento a la altura de Santa Martha. En este último estrechamiento se observan en ambas márgenes afloramientos de lutitas y areniscas de la Formación Represo, que funcionan como levantador del agua subterránea. Lateralmente el valle queda formado sobre su margen izquierda en la primera mitad por rocas volcánicas andesíticas asociadas con calizas y en la segunda parte por materiales elásticos de la Baucarit. Sobre la margen derecha colinda en su primer tramo también con las rocas volcánicas antes indicadas y hacia abajo con los materiales elásticos de la Formación Baucarit. La longitud total de este tramo es de 10.5 km con ancho medio del valle aluvial reciente del orden de 1,250 m. Las aportaciones a este tramo provienen de las salidas del tramo San Ignacio-Magdalena, así como de la infiltración de los escurrimientos de avenida que transitan por esta zona y la infiltración de lluvia directa sobre el valle aluvial. Deben existir también aportaciones lentas de la Formación Baucarit en ambas márgenes. Las salidas están representadas por las tomas de la Galera y Santa - Martha

### **Tramo: La Galera - El Sifón**

Este tramo, que es el más amplio y más largo, queda - delimitado aguas arriba por el estrechamiento de la Galera y hacia aguas abajo por la zona de El Sifón El Claro, que se encuentra enmarcado lateralmente por rocas metamórficas del Precámbrico del grupo - Coyotillo. La margen izquierda está formada principalmente por rocas elásticas de la Formación Baucarit, con algunos afloramientos aislados de calizas y areniscas de la Formación Represo y en su parte cercana al Sifón El Claro afloran únicamente areniscas y lutitas de esta formación. La margen derecha está formada casi exclusivamente por los depósitos elásticos de la Formación Baucarit, con excepción del tramo cercano al Sifón El Claro. El valle tiene una longitud total de 14 km y un ancho medio en su parte aluvial reciente de 2,000 m. Las entradas al valle están formadas por las salidas del tramo anterior y por otro lado por la infiltración que ocurre durante los escurrimientos de avenidas y la proveniente de la lluvia - directa sobre el valle. La Formación Baucarit debe constituir también una aportación de importancia, debido a su gran extensión que con el valle aluvial reciente. Las salidas están representadas por los caudales que salen a través del tajo y Sifón El Claro en el estrechamiento del mismo nombre.

### **Tramo: El Sifón-Ejido El Claro**

Este tramo, que es el último de la zona de estudio, está limitado únicamente en la parte alta por el Sifón El Claro y en su parte baja no existe una delimitación geohidrológica, sino que el valle es abierto extendiéndose unos 5 km aguas abajo del poblado Ejido El Claro. Con excepción de la zona del estrechamiento del Sifón El Claro ambas márgenes de este tramo quedan formadas por los depósitos elásticos de la Formación Baucarit.

Las aportaciones a esta zona quedan representadas por los escurrimientos del Tajo y Sifón El Claro, los escurrimientos de avenida que lleguen a infiltrarse durante su tránsito en este tramo y la lluvia directa sobre la parte plana del valle. Debe existir -- también una aportación importante pero lenta de los depósitos clásticos de la formación Baucarit en ambas márgenes. Este tramo tiene un largo total de 9.5 km con un ancho medio de 1,500 m. Las salidas del valle son únicamente subterráneas, ya que no existen tomas ni derivaciones en esta zona.

### **Geofísica**

Con el objeto de poder definir la delimitación vertical y lateral de los materiales acuíferos recientes se llevó a cabo en el año de 1974 una investigación por medio de 120 sondeos eléctricos verticales de resistividad, que se localizaron sobre 23 secciones transversales al valle del Río Magdalena.

Estos sondeos se hicieron empleando el método Schlumberger con tendidos máximos entre los electrodos de corriente de 320 m. Para la interpretación de estos sondeos se emplearon dos criterios fundamentales. El primero correspondió a la interpretación de los tramos entre los umbrales aparentes que se mencionan en el inciso anterior y el otro fue el aplicado para la interpretación de las secciones localizadas en los umbrales. Para el caso de las zonas intermedias de los umbrales se tomó en cuenta un cambio de una resistividad alta hacia una menor, que debe coincidir con el contacto entre el material aluvial y los depósitos del tipo que evidentemente se encuentran más empacados con materiales arcillosos, por - lo que su resistividad debe ser menor. En la zona de los umbrales o estrechamientos, el criterio de interpretación fue el de identificar de una resistividad menor hacia una mayor, o bien infinita, un cambio de acuerdo con la existencia de rocas compactas en la base de los materiales acuíferos aluviales. En ambos casos no se contó con calibraciones y por lo tanto las interpretaciones que se presentaron deben de considerarse como tentativas.

Los espesores de las capas acuíferas en las partes intermedias variaron entre 10 y 30 m aproximadamente, mientras que a - la altura de los estrechamientos estos fueron muy reducidos del orden de 5 a 6

m. Las resistividades registradas en las capas acuíferas fueron muy variables desde valores alrededor de 30 m hasta máximos de alrededor de 400 m. La resistividad del horizonte más arcilloso, que se interpretó como perteneciente a la Formación Baucarit fue variable entre 7 y 30 m. Partiendo de las interpretaciones de los perfiles individuales, se efectuó una correlación longitudinal del valor de la profundidad de la capa acuífera aluvial reciente, llegándose a establecer configuraciones de la profundidad a la base acuífera. En el tramo Comaquito- Imuris los valores máximos de profundidad variaron entre 10 y 45 m, notándose la presencia de un umbral somero a la altura del poblado de Imuris. En el tramo Imuris - San Ignacio la configuración relativa a la profundidad de la base acuífera mostró variaciones desde valores mínimos de 5 m hasta máximos de 30 m. En el tramo San Ignacio - Magdalena los valores máximos de la profundidad variaron entre 30 y 40 m, con reducciones fuertes a la altura de las tomas del Ranchito, la Isla y cerca del poblado de Magdalena. La profundidad aproximada de los materiales del acuífero, en el tramo Magdalena - La Galera varió entre 10 y 15 m, y mínimo de 8 m a la altura del estrechamiento de La Galera. Se encontraron valores máximos de la profundidad del material acuífero de 40 y 50 m en el tramo La Galera - Sifón - El Claro, que se reducen en general a valores entre 10 y 15 m en la mayor parte de la zona. En el tramo El Sifón - El Claro los valores de la profundidad de la base acuífera varían de mínimos de 10 m hasta máximos de 30 m.

## **HIDROGEOLOGIA**

### **TIPO DE ACUÍFERO**

A lo largo de la zona del Río Magdalena, se pudieron identificar las unidades hidrogeológicas descritas en los capítulos anteriores. De la interpretación y análisis de información disponible de cortes litológicos, se concluyó que el acuífero en estudio se encuentra contenido principalmente en materiales granulares no consolidados depositados por el Río. Este acuífero funciona como Libre. Debajo de las capas granulares, se encuentran estratos de conglomerados no consolidados que representan la segunda unidad hidrogeológica de interés. Por el contenido arcilloso de estos materiales, el acuífero contenido en estas formaciones funciona localmente como acuífero semiconfinado.

Partiendo de las interpretaciones de los estudios geofísicos y tomando en cuenta la profundidad media de los niveles estáticos, fue posible definir el volumen aproximado de los sedimentos saturados, así como el espesor medio saturado de los acuíferos para cada tramo individual. Los valores obtenidos resultaron ser como sigue:

Tramo Comaquito - Imuris; 128 millones de m<sup>3</sup>, espesor medio saturado, 16.4 m. Tramo Imuris - San Ignacio; 158 millones de m<sup>3</sup>,



espesor medio saturado, 16.7 m. Tramo San Ignacio - Magdalena; 156.7 millones de m<sup>3</sup>, espesor medio saturado, 14.5 m. Tramo Magdalena - La Galera; 149.6 millones de m<sup>3</sup>, espesor medio saturado, 5.9 m. Tramo La Galera - El Sifón; 438.6 millones de m<sup>3</sup>, espesor medio saturado, 11.1 m. Tramo El Sifón - El Claro; 94.4 millones de m<sup>3</sup>, espesor medio saturado, 5.6 m.

### **PARÁMETROS HIDRÁULICOS**

Con el objeto de complementar el conocimiento de las características de transmisividad y almacenamiento del acuífero Magdalena, en el estudio realizado en 1975 por la compañía Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados se efectuaron 12 pruebas de bombeo, obteniéndose los siguientes resultados: La transmisividad varía de 0.44 a  $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^{-2} \times \text{s}$ . El coeficiente de almacenamiento fue de  $49.1 \times 10^{-4}$  a  $3300 \times 10^{-4}$  algunas pruebas contaron con pruebas de observación.

### **HIDROLOGIA SUBTERRANEA**

En toda cuenca hidrológica, el conocimiento de su potencialidad hidráulica es indispensable para planear su desarrollo económico. La evaluación de los recursos hidráulicos subterráneos con que cuenta una cuenca dada, está basada en medidas directas de la variación en el tiempo y en el espacio de los niveles de agua subterránea. Los datos obtenidos de estas medidas u observaciones, se analizan conjuntamente por guardar una estrecha relación, con la ocurrencia de la lluvia dentro de la cuenca, así como de los volúmenes que han sido tomados artificialmente de los mantos acuíferos.

Dependiendo del tipo de cuenca por cuantificar y de su situación geográfica, pueden hacerse intervenir en el análisis una serie de datos o elementos que complementan el sistema hidráulico de la misma y decidir por tanto el método de investigación: en una cuenca endorreica limitada hidrogeológicamente por rocas impermeables, no se hacen intervenir en el análisis aportes o descargas subterráneas desde o hacia cuencas vecinas y sí en cambio, es muy importante tomar en cuenta la evaporación de cuerpos de agua y la evapotranspiración de niveles freáticos someros; en cuencas situadas en latitudes altas, la altura de las capas de nieve y el estudio del funcionamiento de los deshielos hacen intervenir un término más en la expresión de igualdades de volúmenes de agua.

Para las cuencas situadas en zonas donde los regímenes de precipitación originan la formación de ríos caudalosos y de escurrimiento permanente, el análisis hidrológico superficial puede ser más importante que el del agua subterránea. En cambio, las cuencas ubicadas en zonas donde la precipitación pluvial es escasa y por ende donde los escurrimientos superficiales son también escasos ó nulos, los recursos

hidráulicos de la misma estarán supeditados al volumen de agua subterráneo almacenado y al de su recarga anual.

La cuenca alta del Río Magdalena, se ubica dentro de este último tipo de cuenca, es decir, para su desarrollo económico basado principalmente en la agricultura, depende casi exclusivamente de la explotación del agua subterránea, por lo que la cuantificación de estos recursos es imprescindible, puesto que sirve de base para la planificación correcta de las actividades generadoras de su economía.

## **PIEZOMETRÍA**

En este acuífero se tiene información piezométrica que fue tomada durante el período de realización de los estudios anteriormente señalados que fueron en 1975, 1976 y 1981. Por las características del acuífero puede considerarse una cierta estabilidad en el comportamiento de los mismos.

## **COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO**

### **Profundidad de los Niveles Estáticos.**

La profundidad de los niveles estáticos, es de gran utilidad, pues define áreas de descarga por evapotranspiración; proporciona una idea de la profundidad mínima que deben tener los pozos, y permite seleccionar áreas apropiadas para la explotación, desde el punto de vista de costos de bombeo.

La profundidad a la que se encuentran los niveles estáticos en 1976 varía entre 1.4 y 55 metros, aumentando gradualmente desde la confluencia de los ríos Altar y Magdalena hacia los bordes norte y oriental de la zona.

Para tener una idea aproximada de la profundidad a que se encontraban los niveles estáticos en condiciones naturales, se investigó en la jefatura del Distrito de Riego No.37, el nivel estático original de los pozos más antiguos; este nivel corresponde al de la fecha de perforación de esos pozos.

Los datos obtenidos corresponden a un intervalo de tiempo, comprendido entre el año de 1948 y el año de 1954. Con base en estos datos, se elaboraron planos, en los que puede apreciarse que en ese intervalo de tiempo la profundidad a los niveles estáticos variaba entre 10 y 55 metros, aumentando gradualmente en el sentido contrario del cauce del río Magdalena y del cauce de este mismo río hacia los bordes norte y oriental del valle. Las profundidades menores (entre 10 y 20 metros) se encontraban al occidente, en las cercanías de la confluencia del Río Altar con el río Magdalena. Las profundidades mayores, entre 40 y 55 metros, se encontraban en las partes altas, al oriente y norte de la zona.

### **Elevación del nivel estático.**

Con apoyo en los datos de niveles del agua referidos al nivel del mar, se trazaron curvas de igual elevación del nivel estático. Las configuraciones así obtenidas permiten inferir las direcciones del flujo subterráneo: en el subsuelo el agua sigue trayectorias normales a las curvas de igual elevación del nivel estático y en el sentido en que decrece la carga hidráulica.

Para los años de 1966, 1970, 1971, 1972 y 1976, se trazaron curvas de igual elevación del nivel estático, obteniéndose una gran similitud entre estas configuraciones que muestran, desde 1966, prácticamente el mismo esquema de flujo subterráneo. Por esta razón, en este informe sólo se presentan las configuraciones correspondientes al inicio y al final del período de observaciones del nivel estático.

Además, con el propósito de obtener un esquema de flujo subterráneo representativo de las condiciones naturales, es decir, las que existían antes de que se iniciara la explotación intensiva de los acuíferos, se infirió una configuración de curvas de elevación del nivel del agua, con apoyo en los datos de niveles estáticos de los pozos perforados en los años de 1948 a 1954. En ese tiempo la dirección predominante del flujo subterráneo era de oriente a poniente; las elevaciones del nivel estático aumentaban gradualmente desde unos 310 metros sobre el nivel del mar en las inmediaciones de la población de Pitiquito, Son., hasta unos 360 metros sobre el mismo nivel en el límite oriental del Distrito de Riego No. 37 Altar-Pitiquito-Caborca; el gradiente medio del flujo era de 1.7 al millar, En esta configuración, todavía no se reflejan los efectos de una explotación intensiva, por lo que, en términos generales este comportamiento puede proporcionar una idea aproximada de la elevación del nivel estático en condiciones naturales.

La configuración de elevación del nivel estático correspondiente al inicio de las observaciones en el año de 1966, refleja la dirección dominante del flujo subterráneo era todavía en general de este a oeste pero con algunas excepciones locales, debidas a efectos causados por el bombeo. Las elevaciones del nivel estático variaban entre 860 en la zona del Comaquito hasta 610 en la zona de El Claro y 355 msnm en la zona de Llano Blanco con un gradiente medio de flujo de 2.2 a 4.0 al millar.

En las porciones central y occidental de la zona, se formaron conos de abatimientos con elevaciones mínimas de 325 y 306 msnm, respectivamente la explotación había interceptado ya la totalidad de la recarga natural, iniciándose desde esa fecha o un poco antes la sobreexplotación del acuífero.

En la configuración de niveles estáticos en Octubre de 1976. El esquema del flujo subterráneo es esencialmente el mismo que el

mostrado en la configuración anterior, con la diferencia de que las elevaciones de los niveles son notablemente menores, ahora varía entre 300 y 350 msnm, con un gradiente medio de flujo de 2.4 al millar.

En la porción central de la zona, los conos de abatimientos se han profundizado y extendido lateralmente; las elevaciones mínimas son ahora de 323 y 321 msnm y en la porción occidental las elevaciones del nivel del agua son ahora de 300 metros sobre el nivel del mar.

### **Evolución del Nivele estático Hidrógrafos de Pozos.**

El comportamiento de niveles de agua observados en 31 pozos distribuidos en la zona estudiada corresponden al intervalo 1966 a 1976. Puesto que estas observaciones fueron realizadas con frecuencia anual, los hidrógrafos no muestran el comportamiento estacional de los niveles de agua pero sí reflejan claramente los efectos de la sobreexplotación.

La mayoría de los pozos observados, muestran un descenso progresivo del nivel; la velocidad de abatimiento depende de la ubicación del pozo, siendo hasta de 1 metro por año en los pozos localizados en las áreas de mayor concentración del bombeo y de más o menos 30 centímetros por año en los localizados en la periferia de los mismos.

Los hidrógrafos de los pozos Nos. 885, 892, 896, 899, 924, 931, 935, 936, 97 y 1976 ubicados en la porción central de las áreas de bombeo son los que presentan mayor velocidad de abatimiento. Por otro lado en los pozos 926, 954, 976, 994 y 1001 que se encuentran mas alejados de los centros de bombeo, los niveles de agua fluctúan mas suavemente.

Los hidrógrafos de los pozos ubicados en las cercanías del cauce del río Magdalena y el borde oriental de la zona, donde tiene lugar la recarga del acuífero por la infiltración de la lluvia, mostraron recuperaciones del nivel entre 0.5 y 1.5 metros, en el año de 1971, lo que indica que en ese año ocurrió una recarga máxima al acuífero, por tratarse de un año con precipitación anormalmente alta; en efecto, la precipitación media anual de la subcuenca de Llano Blanco en el período 1966-1976 fue de 265 mm, mientras que en el año de 1971 la lluvia alcanzó 347 mm de altura de precipitación. Después de los años 1971 y 1972, los niveles del agua continuaron abatiéndose progresivamente en todos los pozos de la zona.

Del comportamiento del acuífero observado en los hidrógrafos de los pozos y de la disponibilidad y calidad de la información, se definieron los siguientes intervalos de tiempo para plantear el balance de agua subterránea: 1970-1971, 1972-1976 y 1966-1976.

Para ilustrar la evolución de los niveles de agua en el área y calcular los cambios de almacenamiento experimentados por el acuífero, se trazaron curvas de igual evolución del nivel estático para los intervalos de tiempo antes mencionados.

La evolución de los niveles estáticos en el período 1970-1971, en la porción oriental de la zona se presentaron recuperaciones del nivel entre 1 y 2 metros, en el resto del área los niveles del agua se abatieron entre 40 centímetros y 1 metro. Mediante esa configuración se obtuvo que en toda la superficie estudiada, el acuífero experimentó un abatimiento medio de 21 centímetros.

La evolución de los niveles estáticos en el período 1972-1976, en este intervalo de tiempo los niveles estáticos se abatieron entre 1 y 6 metros, presentándose los máximos abatimientos en las porciones central y occidental de la zona, donde el bombeo es más intenso. El abatimiento medio en ese intervalo de tiempo, fue de 2.9 metros en toda la superficie analizada, equivalente a un abatimiento medio anual de 0.81 metros.

La evolución de los niveles del agua en el intervalo 1966 a 1976, refleja claramente los efectos de la sobreexplotación en toda el área. Los abatimientos provocados varían entre 3 y 9 metros. El abatimiento medio en este intervalo de tiempo fue de 6.1 metros; equivalente a un abatimiento medio de 0.61 metros/año en toda la superficie estudiada.

En términos generales, el comportamiento de los niveles de agua anteriores, es compatible con la distribución del bombeo y pone de manifiesto la sobreexplotación del acuífero de esta zona.

## **HIDROGEOQUÍMICA**

La hidrogeoquímica es empleada como un auxiliar de la geohidrología y tiene dos aplicaciones prácticas principales: la primera consiste en ayudar a conocer en forma cualitativa, el funcionamiento de los acuíferos y la segunda en poner de manifiesto la calidad del agua de los mismos.

La composición química del agua, está en íntima relación con el funcionamiento general del acuífero, ya que la concentración, tanto de sales totales como de cada elemento, dependen del tipo de material, a través del cual circula; de la permeabilidad y porosidad del medio, del tiempo de contacto entre el agua y las rocas y de la longitud de recorrido, entre otros factores. Es por ello que a partir de su composición, es posible conocer, en forma aproximada, la dirección del flujo subterráneo, la ubicación de las zonas de recarga y en forma cualitativa, algunas características físicas del acuífero.

Por otra parte, con los análisis químicos se puede deducir la calidad del agua para usos agrícolas, ganaderos, agropecuarios, potables, turísticos e industriales.

## **Sólidos Totales Disueltos y Conductividad Eléctrica.**

Los sólidos totales disueltos en el agua subterránea de esta zona, varían de 194 a 1280 partes por millón (ppm), con un promedio para

todas las muestras de 498 ppm.

Se graficó la conductividad eléctrica contra los sólidos totales con el objeto de corregir los valores de sólidos totales disueltos, que posteriormente fueron utilizados en la elaboración de la configuración. En esta configuración, se observa que los valores más bajos, se localizan al este del área, indicando que esta región constituye, probablemente, la principal zona de recarga del acuífero. En general, las sales en solución, van aumentando hacia el noroeste, mostrando un flujo del agua hacia esta dirección.

La distribución espacial de los sólidos disueltos es irregular y las causas de ello se comentan a continuación:

En la parte central del área, se tiene una zona en donde disminuyen los valores a menos de 400 ppm, debido a una entrada lateral de agua que contiene concentraciones bajas de sales y que al mezclarse con la propia del acuífero la diluye. Hacia el noroeste, la cantidad de sales en solución vuelve a incrementarse, dando lugar a la formación de domos con valores altos en sus partes centrales. La primera zona se encuentra en las inmediaciones del poblado de Llano Blanco, donde se delineó la curva cerrada de 500 ppm y la segunda en el extremo noroeste donde se forma un domo con valores de hasta 1,200 ppm. Lo anterior, es originado por la intensiva extracción de agua subterránea que es usada en riego en estas zonas, provocándose la acumulación de sales en los suelos y en consecuencia en el agua subterránea.

A lo largo del Río Magdalena, existe una zona donde el agua subterránea tiene los contenidos de sales más bajos, debido a la presencia de materiales fluviales con mayor permeabilidad. Alejándose de esta zona, los materiales aluviales contienen mayor cantidad de sedimentos argiláceos, lo que origina una disminución en la permeabilidad de los mismos, por lo que la región inmediata al Río, constituye una zona preferente de flujo del agua subterránea, donde al circular con mayor velocidad, el tiempo de contacto agua-roca disminuye y por tanto, la disolución de sales también.

### **Evolución de Sólidos Totales Disueltos 1973-1976**

Los pozos de la Zona de Llano Blanco, han sido muestreados y analizados químicamente durante cinco ocasiones, desde 1973 hasta 1976. Los sólidos totales disueltos determinados en algunos de ellos, durante los cinco muestreos, así como el valor de la evolución encontrada del primer muestreo en Agosto de 1973, al más reciente de Julio de 1976.

### **Diagramas Triangulares**

A partir de las concentraciones en miliequivalentes por litro, de los principales iones determinados en los análisis químicos, se clasificó el

agua por método de diagramas triangulares.

Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero Magdalena, Son.

Las muestras correspondientes a esta zona, se graficaron en tres diagramas. En ellas se observa que el agua es mixta y mixta sódica bicarbonatada, debido a que los principales minerales que disuelve, son feldespatos que forman las gravas producidas por la erosión y el intemperismo de las rocas ígneas y metamórficas que afloran en los bordes del valle.

### **CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

Con el tipo de análisis efectuados, es factible dictaminar sobre la calidad química del agua y a partir de ello, elaborar recomendaciones respecto a su uso.

#### **Agua Potable.**

Respecto a los índices analizados, estos en general cumplen con los requisitos establecidos, a excepción de los pozos 902, 903 y 906, los cuales contienen 1,239, 1,280 y 1,024 ppm de sólidos totales disueltos, respectivamente, así como el pozo 987 que tiene 1,444 ppm, pero se cree no sea representativo y su concentración se deba a las condiciones locales o posiblemente a un error de muestreo y/o laboratorio.

Con respecto a los bicarbonatos, en algunos casos se encuentran sobrepasando la norma de calidad, aunque en términos generales el agua es de muy buena calidad para uso potable.

#### **Agua para Riego.**

Se calculó la relación de adsorción de sodio y se midió la conductividad eléctrica, basándose en lo cual se obtuvo la clase de agua para riego, por el método de Wilcox.

De las 49 muestras analizadas, 28 pertenecen a la clase C2-S1, 20 a la clase C3-S1 y una muestra a la clase C4-S1, de lo cual se deduce que el agua es en general de buena calidad y apropiada para utilizarse en riego y sólo en algunos casos deben tomarse precauciones en su manejo.

### **Acuífero 2613, Río Los Alisos:**

#### **Localización**

El acuífero Río Alisos, definido con la clave 2613 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción norte del estado de Sonora, entre las coordenadas geográficas 30° 50' y 31° 20' de latitud norte y 111° 05' y 110° 45' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 893 km<sup>2</sup> (figura 1).

Colinda al norte con el acuífero Nogales, al sur con el acuífero Magdalena, al este con los acuíferos Río Santa Cruz y Cocóspera, y al oeste con el acuífero Río Altar, todos ellos pertenecientes al estado de Sonora.

Geopolíticamente, abarca parcialmente los municipios de Imuris y Nogales.

## **FISIOGRAFÍA**

### **Provincias fisiográficas**

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), el acuífero Río Alisos se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental, subprovincia Sierras y Valles del Norte.

La principal forma fisiográfica que predomina en el acuífero es la sierra alta, seguida por el valle intermontano. La primera cubre el 74% del área total del acuífero y se manifiesta en las sierras que rodean al acuífero; la segunda abarca el 16% restante y se presenta en la parte central, que corresponde a las zonas topográficamente más bajas.

### **Clima**

En el acuífero Río Alisos se manifiestan tres tipos de clima según la clasificación climática de Köppen, modificada por Enriqueta García (1964):

1. *BS1 kw (x')*. Este tipo de clima es el que predomina en el acuífero y se presenta en las zonas de mayor elevación topográfica. Corresponde a un clima templado con verano cálido, lluvias en verano, manifestándose en los meses de julio y agosto, temperatura media anual entre 12 y 18 °C.

2. *BS1 hw (x')*. Clima semiseco, con régimen de lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal mayor de 10.2. Semicálido con invierno fresco, con temperatura media anual mayor a 18oC. Este clima se manifiesta en zonas topográficamente más bajas que el clima anterior, principalmente en el valle comprendido entre el Ejido Cíbuta y Estación Cumeral.

*Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Río Alisos, Estado de Sonora*

3. *BSo hw (x')*. Corresponde al clima e seco, con régimen de lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal mayor a 10.2. Semicálido con invierno fresco, con temperatura media anual de 18 oC. Se manifiesta en la parte sur del acuífero, a partir del poblado Estación Cumeral.

Para el análisis climatológico, se recopiló la información de tres estaciones climatológicas, todas ellas administradas por la Comisión Nacional del Agua: Cumeral, Nogales y El Fresnal. Solo la primera se encuentra dentro de los límites del acuífero, mientras las dos restantes



se encuentran al norte y sur, respectivamente. La temperatura media anual en el acuífero es de 18.3 °C. Con base en el análisis climatológico, se obtuvo una precipitación media anual en el acuífero de 509.5 mm. La evaporación potencial media anual en el acuífero es de 1814.0 mm.

### **Hidrografía**

El acuífero Río Alisos se localiza en la Región Hidrológica 8 "Sonora Norte", dentro de la cuenca del Río Asunción o Concepción (B) y de la subcuenca Río de los Alisos (e). El acuífero presenta una topografía accidentada, con escasos aprovechamientos superficiales. El Río Los Alisos tiene sus orígenes en el parteaguas con el Río Santa Cruz en la Sierra Pajarito, a una altitud de 1,600 m. Su curso general es hacia el sur y confluye al colector general por su margen derecha, ligeramente aguas abajo de la población de Imuris, a una altitud de 840 m.

### **Geomorfología**

En el Acuífero Alisos se presentan nueve formas morfológicas, incluyendo la zona urbana. La forma que predomina en el 57% del área es la *ladera montañosa*, que se encuentra formada por rocas volcánicas del Jurásico Inferior y del Terciario Mioceno. La segunda forma que predomina es el *Lomerío estable*, pues ocupa el 30% del área total, manifestándose como un lomerío de pendiente estable de conglomerado polimíctico del Cuaternario Pleistoceno. Las planicies representan el 11% del área del acuífero, y se forman por gravas, arenas, limos y arcillas del Cuaternario Holoceno. El área restante es ocupada por las formas fisiográficas de menor extensión: piedemonte estable, zona cultivada de origen antropogénica y zona urbana. La primera está constituida por conglomerado polimíctico del Cuaternario Pleistoceno, mientras la segunda, consiste en gravas, arenas, limos y arcillas del Cuaternario Holoceno.

### **GEOLOGÍA**

Las rocas precámbricas forman dos grupos, uno con edades entre 1800 y 1700 Ma en el noroeste del Estado y el otro con edades entre 1700 y 1600 Ma en el noreste, separados por la falla de desplazamiento lateral izquierdo Mojave-Sonora, que se extiende desde las montañas Inyo-Mojave en el suroeste de Estados Unidos, atravesando el desierto de Sonora hasta la región de Tuape en Sonora Central. Posteriormente se incorporan al basamento precámbrico dos periodos de plutonismo: el más antiguo, cuya edad se ubica en el intervalo de 1460-1410 Ma (Anderson y Silver, 1981), consiste de granito-granodiorita megacrystalino que generalmente no está deformado y se considera que forma parte de una serie de plutones anorogénicos y cogenéticos que se extienden por el suroeste de Arizona y norte de Sonora, donde se le

conoce como Granito Cananea. El segundo periodo de plutonismo genera rocas graníticas conocidas como Granito Aibó, litológicamente diferentes, con textura micrográfica y con una edad de 1100 Ma.

Durante el Precámbrico Superior hasta el Paleozoico Superior la margen occidental del cratón de Norteamérica registra una historia de sedimentación continua en una margen continental del tipo pasivo, donde se desarrolló una cuenca de tipo geosinclinal. A partir del Triásico el régimen tectónico de la margen oeste de Norteamérica cambió de pasivo a activo al presentarse un proceso de convergencia de placas litosféricas. La Cordillera de Norteamérica se desarrolló por acreción de terrenos, magmatismo y deformación compresiva dirigida hacia el interior del continente, produciéndose durante el Mesozoico las deformaciones Nevadiana, Sevier y Laramide. De esta manera, en la margen oeste de Norteamérica y noroeste de México la actividad tectónica durante el Jurásico se relaciona con el inicio de un arco magmático continental con orientación noroeste-sureste, formado por un complejo volcánico-plutónico calcoalcalino y volcanosedimentario. La actividad relacionada con este arco es interrumpida por la megacizalla Mojave-Sonora con un desplazamiento lateral izquierdo que probablemente ocurrió en el Jurásico Medio-Tardío (Anderson y Silver, 1979).

El ambiente tectónico de este tiempo en el noroeste de Sonora está dominado por esta falla transcurrente que yuxtapone dos bloques tectónicos con características diferentes: el bloque Caborca (Campa y Coney, 1983) con rocas que corresponden al basamento proterozoico con edades entre 1800 y 1700 Ma, y el bloque Pápago (Haxel *et al.*, 1984) donde las rocas más antiguas pertenecen al arco magmático Jurásico con edades dentro de un intervalo aproximado entre 180 y 170 Ma. Los afloramientos de rocas proterozoicas son escasos o están ausentes, sin embargo se considera parte del cratón de Norteamérica.

Durante el Mesozoico, la polaridad de la sedimentación cambió hacia el oriente desde las nuevas regiones emergidas, formándose gruesas secuencias sinorogénicas de sedimentos continentales las cuales se interdigitaron con los depósitos marinos del Cretácico Inferior, mostrando sus efectos los episodios de deformación de esta época. Por lo tanto, se puede considerar que la deformación compresiva que afecta a las rocas del Cretácico Inferior en la mayor parte de Sonora, presenta un estilo similar de deformación Sevier (González-León *et al.*, 1992). En la región noreste de Sonora se registra una historia de sedimentación y deformación muy similar a la del sureste de Arizona, con levantamiento de basamento, produciéndose cuencas tectónicas asociadas con un estilo típicamente laramídico, rellenadas con los sedimentos del Grupo Cabullona del Cretácico Superior.

De esta manera inicialmente en el Jurásico había un régimen

tectónico compresivo asociado a la convergencia de placas, después una tectónica transcurrente; posteriormente depósitos sinorogénicos y actividad magmática calcoalcalina cretácicas y volcánicas terciarios, que indican la presencia de un arco magmático originado por una tectónica de convergencia de placas que persistió hasta al menos el Oligoceno Superior, que es cuando se inicia un régimen tectónico distensivo de horst y graben asociado a la apertura del Golfo de California, y que ha seguido actuando hasta el Reciente.

### **Estratigrafía**

El acuífero Río Alisos cuenta con 10 unidades litoestratigráficas que varían en edad del Jurásico Inferior-Medio al reciente, y están representadas por rocas ígneas, volcánicas y sedimentarias (figura 2), que a continuación se describen en un orden cronológico de la más antigua a la más reciente:

#### ***Proterozoico Medio (pTm(?)D)***

Esta unidad corresponde con cuerpos intrusivos de composición diorítica que afloran como pequeños remanentes fuera de los límites del acuífero, hacia la porción noreste. Están representados por pequeños afloramientos que ocurren de forma dispersa en el noroeste del Estado. La importancia hidrogeológica de estas unidades está a profundidad, ya que funcionan como límites o barreras impermeables.

#### ***Jurásico Inferior-Medio (JimR-Ar)***

Las rocas del Jurásico Inferior-Medio se encuentran ampliamente distribuidas en las porciones centro y norte del acuífero. Se presentan como afloramientos continuos que constituyen el macizo principal de las sierras paralelas orientadas noroeste-sureste, provocadas por la tectónica distensiva terciaria que produce una alternancia de bloques tipo horst y graben.

Las principales exposiciones se encuentran en las sierras El Pinito, Cíbuta, Las Avispas y Guacomea. Existen afloramientos menos extensos en la sierra San Antonio. Estas rocas han sido asociadas a la actividad de un arco magmático continental desarrollado a lo largo de la margen oeste de Norteamérica, durante el Jurásico Inferior-Medio (Anderson y Silver, 1979; Tosdal *et al.*, 1989). Esta unidad consiste de derrames y tobas de composición riolítica con intercalaciones de arenisca. La mayor parte de los afloramientos presentan plegamiento provocado por el intenso fallamiento que afecta a esta unidad, originando en ocasiones zonas cizalladas. Presentan alteración hidrotermal como silicificación, oxidación, argilización y sericitización.

#### ***Jurásico Medio (JmGr)***

Intrusionando a las unidades anteriores se presentan afloramientos

de cuerpos plutónicos graníticos, principalmente en el flanco occidental de la sierra Guacomea, en la porción noroeste de la sierra San Antonio (Simons, 1974), y en la región de Nogales. El contacto es cortante y por falla normal con las unidades volcánicas del Jurásico e intrusivas del Proterozoico (?), y cubiertas discordantemente por las unidades volcánicas y sedimentarias más recientes.

El intrusivo granítico presenta una coloración rosa con variaciones a café rojizo y grisáceo, y su textura varía de fanerítica, equigranular de grano medio-grueso, a porfídica. Se constituye de cuarzo, ortoclasa, microclina albita-oligoclasa y minerales de alteración como sericita y hematita. La biotita es escasa o se encuentra ausente en la roca. Cuando los afloramientos son extensos desarrolla un relieve de topografía baja, presenta un fracturamiento y fallamiento intenso, silicificación y ocasionales vetillas de cuarzo-turmalina.

### ***Cretácico Superior (KsVs)***

En el noreste de Sonora la secuencia sedimentaria del Grupo Cabullona fue estudiada primeramente por Taliaferro (1933), quien la divide en cinco formaciones, de la base a la cima: Snake Ridge, Camas Sandstone, Packard Shale, Upper Red Beds y Rhyolite Tuff, con un espesor aproximado de 2500 m, y propone una edad tentativa Cretácico Superior. Posteriormente, González-León (1994) realiza un estudio detallado de las formaciones que constituyen el grupo proponiendo a la formación Conglomerado El Cemento como un equivalente lateral de las formaciones Packard Shale y Lomas Coloradas. En el área de estudio la secuencia de rocas vulcanosedimentarias asignadas tentativamente al Cretácico Superior afloran en el extremo noroeste, y están constituidas de arenisca, lutita, toba riolítica, limolita, conglomerado y ocasionalmente andesita. Desarrollan un relieve topográfico de lomeríos y cerros de poca elevación.

### ***Terciario-Paleoceno (KsTpaGr-Gd)***

Fue Lindgren (1915) el primero en reconocer la transgresión hacia el oriente de los plutones del Cretácico al Paleógeno dentro del oeste de los Estados Unidos. Posteriormente, Anderson y Silver (1974), Coney y Reynolds (1977) extendieron este concepto a Sonora, y reconocen que la transgresión del arco volcánico se extendió 1000 km tierra adentro y regresó a la costa Pacífica durante el Neógeno. Damon *et al.* (1983) define al Batolito Laramide de Sonora (90-40 Ma) incluyendo los granitos peraluminosos de dos micas que son anatexíticos y post-arco volcánico. Estas rocas representan la continuación hacia el sur del cinturón batolítico del oeste norteamericano.

Las intrusiones batolíticas de composición granítica-granodiorítica se encuentran ampliamente distribuidas en el área de estudio en las

sierras El Chivato y San Antonio y en ambos flancos de la sierra El Pinito. Se encuentran afectando a las unidades pre-terciarias, principalmente a las rocas volcánicas y metamórficas del intervalo Jurásico-Cretácico, y cubiertas discordantemente por las volcánicas y sedimentarias del Terciario y Cuaternario. El batolito presenta variaciones en el color de gris claro-blanquecino a gris-verdoso y rosa, su textura es porfídica y fanerítica de grano medio, y se constituye de feldespato potásico, albita-oligoclasa, cuarzo, biotita, con minerales de alteración como sericita, clorita y hematita.

### **Terciario Mioceno (TmCgpTR-R)**

Diversos autores que han trabajado estas zonas (Till *et al.*, 2007; Mora-Álvarez, 1992; Mora-Álvarez y McDowell, 2004), han definido que las secuencias volcánicas de composición riolítica del Mioceno son una expresión de un cambio de régimen tectónico compresivo (subducción) a un régimen extensivo (*Basin and Range*). Sin embargo, es un volcanismo con características químicas y mineralógicas que muestran que aún existía influencia de los procesos de subducción. A diferencia de las rocas volcánicas del Oligoceno asociadas a la Sierra Madre Occidental, estas unidades por lo general no muestran algún tipo de alteración ya que no cuentan con cuerpos intrusivos extensos que provoquen este tipo de efectos secundarios en las unidades.

Representa unidades litológicas conformadas por riolitas, ignimbritas y tobas riolíticas que corresponden a eventos volcánicos post-subducción que se asocian a los eventos de transtensión asociados a los cambios de régimen tectónico; estas se caracterizan por intercalaciones de tobas riolíticas y riolitas con ocasionales flujos de lava mayormente de composición dacítica.

### **Terciario-Mioceno (TmCgpAr-B)**

Lucarelli (1969) en el estudio fotogeológico regional de Sonora escala 1:100 000 menciona a las rocas sedimentarias del área de Tubutama como Terciario y Cuaternario indiferenciados. Posteriormente, Gómez -Caballero *et al.* (1981) propone informalmente el nombre de formación Tubutama para designar a una secuencia de rocas sedimentarias con horizontes de boratos y volcánicas intercaladas, depositadas en una paleocuenca terciaria continental de origen tectónico, cuya localidad tipo se localiza al norte del poblado de Tubutama, ubicada en los alrededores del rancho La Salada (fuera del área de estudio).

En esta región la secuencia consiste de la base a la cima, de arenisca de grano fino, derrames de basalto, lutita y arenisca con boratos, arenisca de grano grueso y conglomerado. La arenisca es de grano fino, color café-rojizo y presenta estratificación delgada. Está

constituida de cuarzo, feldespato y ferromagnesianos en una matriz calcárea con intercalaciones de lutita calcárea. Los derrames de basalto están intercalados en los sedimentos lacustres, localmente presentan estructura almohadillada, de los cuales se obtuvo una edad de 22.3 Ma, K-Ar (Gómez-Caballero *et al.*, 1981).

En la porción centro oriental de Sonora, se le asigna a la Formación Báucarit una edad cuyo límite inferior es de 27 Ma, que corresponde con rocas oligocénicas de la región de Ónavas sobre las cuales descansa discordantemente esta formación. El límite superior indica una edad de 10 Ma obtenida sobre un derrame de andesita-traquiandesita de la Formación Lista Blanca que sobreyace concordantemente a estos conglomerados. McDowell y Roldán-Quintana (1991) sitúan a la Formación Báucarit en el Mioceno Inferior-Medio. Al sur del poblado de Sáric se fechó por el método Ar-Ar un derrame de basalto intercalado en conglomerados de un afloramiento no cartografiable, obteniéndose una edad de  $17.3 \pm 2.8$  Ma (Paz-Moreno, 1992).

### **Cuaternario-Pleistoceno (QptCgp)**

La unidad se encuentra ampliamente distribuida en la parte central del acuífero y está constituida por sedimentos continentales de naturaleza litológica variable, que granulométricamente consisten de grava, arena y limo, que en algunas ocasiones presentan estratificación débilmente marcada. Estos sedimentos se presentan rellenando valles orientados noroeste-sureste y norte-sur, y zonas de piedemonte. Cubren discordantemente a las rocas más antiguas, en algunas localidades el contacto es por falla normal, como se observa en el valle de Cíbuta.

### **Cuaternario-Holoceno (Qhoal)**

Los sedimentos superficiales cuaternarios se encuentran rellenando los cauces de ríos y arroyos principales. Consisten de material suelto constituido de grava, arena, limo y arcilla, como resultado de la erosión de rocas preexistentes. Estos materiales son transportados por las corrientes fluviales y depositados sobre el cauce de los ríos y en las planicies de inundación.

### **Geología estructural**

Los elementos estructurales más importantes que se presentan son fallas y pliegues, además de un patrón de lineamientos regionales bien marcados con una orientación preferencial noroeste-sureste, que la mayor parte de las veces corresponden a fallas normales de alto ángulo con buzamientos al noreste y suroeste, produciendo sierras paralelas a la orientación de las fallas. Como resultado se presenta un sistema de bloques levantados y hundidos tipo horst y graben, relacionado a la tectónica extensional del Terciario Superior. Los bloques levantados o

pilares tectónicos corresponden a las sierras Guacomea, Cíbuta-Las Avispas-La Esmeralda y El Pinito, constituidas principalmente por rocas volcánicas mesozoicas e intrusivos terciarios, las cuales están separadas por valles alargados rellenos principalmente con sedimentos continentales terciarios y cuaternario. Es en estos bajos estructurales donde generalmente se alojan los acuíferos de tipo granular. El sistema de lineamientos y fallas noreste-suroeste se manifiesta escasamente en esta región.

Los pliegues son comunes en las secuencias mesozoicas siendo notorios los pliegues de arrastre debido al intenso fallamiento en las rocas volcánicas, así como micropliegues y zonas de pliegues en rocas metamórficas.

### **Geología del subsuelo**

Como parte de las actividades contempladas en el estudio realizado en el 2009, se siete sondeos electromagnéticos (TEM's) en la parte central del acuífero donde se localiza la zona de mayor extracción de aguas subterráneas. Mediante ellos, la información de cortes litológicos y de la geología superficial, es posible definir la presencia de un acuífero constituido en su porción superior por depósitos aluviales y en su porción inferior por rocas ígneas extrusivas e intrusivas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las mismas rocas fracturadas constituyen las fronteras y basamento hidrogeológico cuando el fracturamiento desaparece.

## **HIDROGEOLOGÍA**

### **Tipo de acuífero**

De acuerdo con las unidades hidrogeológicas identificadas, es posible definir que el acuífero es de **tipo libre**, formado en su porción superior (unidad I) por una secuencia de depósitos aluviales de alta permeabilidad constituidos de gravas, arenas, limos y arcillas. Debajo de esta secuencia el acuífero está conformado por rocas volcánicas e intrusivas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

### **Acuífero 2614, Cocospera:**

#### **Localización**

El acuífero Cócóspera, definido con la clave 2614 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción norte del Estado de Sonora entre las coordenadas geográficas 30° 44' y 31° 07' de latitud norte y 110° 30' y 110° 46' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 650 km<sup>2</sup>.

Colinda al norte con el acuífero Río Santa Cruz, al este con el

acuífero Cuitaca, al sureste con el acuífero Río Bacanuchi, al suroeste con el acuífero Magdalena y al oeste con el acuífero Río Alisos, todos ellos pertenecientes al Estado de Sonora.

Geopolíticamente se encuentra ubicado parcialmente en los municipios de Ímuris, Santa Cruz, Cananea y Nogales.

## **FISIOGRAFÍA**

### **Provincias fisiográficas**

De acuerdo con la clasificación de Provincias Fisiográficas propuesta por E. Raisz (1964), el área que comprende el acuífero Cocóspera se encuentra ubicada dentro de dos Provincias Fisiográficas: Sierra Madre Occidental y Sierras y Llanuras del Norte. En el caso de la Provincia Sierra Madre Occidental se divide en dos subprovincias: Sierras y Valles del Norte y Sierras y Cañadas del Norte. La primera subprovincia está formada principalmente por sierras altas entre las cuales se localizan amplios valles paralelos con orientación preferente norte-sur, tal es el caso de las sierras La Juriquipa, La Sandía y El Pinito, mientras que la segunda subprovincia se caracteriza por sierras de laderas escarpadas, entre las cuales se localizan valles intermontanos constituidos principalmente por rocas volcánicas ácidas y grandes franjas basálticas orientadas norte-sur, dentro de las cuales se encuentran las sierras Pilares de Teras, El Tigre, Las Iglesias, El Baraino, La Rastrita y El Capulín.

Por otro lado, la Provincia Sierras y Llanuras del Norte sólo abarca una parte del área que está formada por valles aluviales entre los cuales se intercalan algunas sierras, tales como las mesas El Reparó, Los Paredones, Loma Las Lobera y el valle La Isla. En el acuífero se presentan tres geformas diferentes:

**Sierra Alta:** Forma los extremos occidente y sur del acuífero, por su litología opera como una barrera hidráulica que separa al área de estudio de los acuíferos Cuitaca, Bacanuchi y Río Alisos. Comprende más del 50% de la superficie del acuífero Cocóspera.

**Llanura aluvial:** Se ubica en el centro del acuífero, formando el valle que se extiende hasta el norte del acuífero con una orientación nor-noreste. Esta forma fisiográfica se extiende a los acuíferos Río Santa Cruz y Cuitaca.

**Sierra plegada:** comprende una pequeña área del acuífero y se localiza en el límite norte del acuífero, constituyendo la Sierra El Chivato.

### **Clima**

El análisis climatológico se realizó con la información de la estación Santa Ana. De acuerdo a la clasificación de INEGI (2003), en el acuífero



se pueden diferenciar dos tipos de climas:

**BS1kw(x'), (Semiseco, templado).** Su temperatura media anual varía entre 12 y 18o C, con una temperatura del mes más frío entre 3 y 1oC. Presenta verano cálido con lluvias y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.

**BS1hw(x'), (Semiseco, semicálido).** Aunque presenta invierno fresco, su temperatura media anual es mayor a 18oC, con una temperatura del mes más frío menor de 18o C. Registra lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal mayor a 10.2% del total anual. La temperatura media anual en el acuífero es de 21° C y la precipitación promedio anual es de 550mm. Por correlación con acuíferos vecinos, la evaporación potencial del acuífero es de 1700mm.

### **Hidrografía**

El acuífero Cocóspera se encuentra ubicado en la Región Hidrológica 8 "Sonora Norte", en la cuenca del Río Concepción- Arroyo Cocóspera. La cuenca del arroyo Cocóspera drena hacia el sur - suroeste, con pendiente general de moderada a fuerte, tiene sus orígenes en el parteaguas con el Río Santa Cruz que drena territorio de los Estados Unidos de América, en la sierra El Chivato, a una altitud de 1,800 m. Inicia con el nombre de arroyo El Carrizo, con curso general sur y confluye al arroyo Cocóspera para tomar rumbo suroeste hasta unirse al colector principal, el Río Magdalena, por su margen izquierda en las inmediaciones del poblado de Imuris, a una altitud de 840 m.

El arroyo Cocóspera recorre 15 kilómetros desde el noreste de la localidad del mismo nombre hasta el vaso de la presa El Comaquito. En su trayectoria mantiene una pendiente media de 0.004, con dirección general norte-sur, recibiendo como tributarios por la margen derecha los escurrimientos de los arroyos San Antonio, Los Chirriones, El Bolerío, El Alisal, El Apache y La Sota. Por la margen izquierda sobresalen los arroyos La Loba, El Amole, La Bellota, La Jaula, El Durazno, El Batamote, Los Janos y El Tasca.

### **Geomorfología**

En conjunto se aprecian tres rasgos geomorfológicos definidos, cuyas expresiones son:

Macizo Montañoso: formado por las siguientes sierras ubicadas al oriente de la zona de estudio Pilares Teras (2200 msnm), Las Delicias (2200 msnm), El Tigre (2200 msnm), Las Iglesias (1900 msnm), El Baraino (1700 msnm), La Rastrita (1300 msnm), El Capulín (1900 msnm). Todas ellas presentan una orientación preferente norte- sur, con

un decremento de altura hacia el sur. Al poniente se ubican las sierras El Pinito (1800 msnm) La Juriquipa (1700 msnm) y La Sandía (1200 msnm), con alturas menores a las sierras del flanco oriental, están constituidas principalmente por rocas ígneas extrusivas como tobas riolíticas, ignimbritas, tobas andesíticas.

**Mesetas y Terrazas:** Se localizan al norte y noroeste del acuífero, en forma plana y escalonada, formadas por depósitos conglomeráticos y arenas, tal es el caso de las mesetas El Repaso y Los Paredones (ubicadas al norte), La Planilla, Bonita, El Bajío de Los Quemados y La Lomas La Lobera (localizadas al noroeste).

**Valle Intermontano:** Su característica principal es la pendiente suave hacia el cauce del río Cocóspera, está orientado con una dirección preferente norte-sur, formado por depósitos fluviales y lacustres con rocas volcánicas, así como por material granular no consolidado, del tamaño de arenas y limos.

El drenaje que predomina en la zona es de tipo subparalelo y en algunas regiones el tipo rectangular, que es característico de zonas donde predominan rocas ígneas extrusivas.

## **GEOLOGÍA**

La zona donde se ubica el acuífero Cocóspera presenta una gran variedad de unidades litológica ígneas, sedimentarias y metamórficas, que representan un registro estratigráfico del Mesozoico hasta el Reciente (figura 2).

### **Estratigrafía**

A continuación se hace una breve descripción de las unidades geológicas que se encuentran en el área de la más antigua a la más reciente:

#### ***Jurásico inferior***

Como consecuencia del desarrollo de un arco volcánico-plutónico (relacionado con la fase de subducción de la Placa Paleopacífica) se produce un gran paquete de rocas volcano-sedimentarias de composición predominantemente ácida, representadas en las sierras del Pinito, Guacomea y Jucaral ((Ji? R-Ar). Esta unidad fue cartografiada primeramente por Gilmont (1978), quien propuso el nombre de riolita El Pinito para referirse a una secuencia vulcanoclástica cuyos afloramientos típicos se observan en la Sierra El Pinito. Posteriormente Morales M.M. (1984), en uno de sus trabajos de carácter regional, tendientes a la búsqueda de yacimientos de fierro, la menciona y con base en su posición estratigráfica la ubica en el Cretácico Superior. Nourse (1995), menciona que esta secuencia corresponde a un ambiente de arco

continental que existió durante el Jurásico Inferior y considera que corresponden a un protolito de rocas metamórficas de un núcleo complejo que existe en el área de Magdalena.

Esta secuencia se localiza formando parte de núcleos de estructuras anticlinales y se expone principalmente al norte del puerto La Bandera, en ambos lados del río Cocóspera, al noreste de la Sierra Azul, así como en las sierras Guacomea y Jucaral. La roca composicionalmente varía de riolita a riodacita, tiene textura porfídica-afanítica, con fenocristales de cuarzo subesferoidal y euedral o feldespatos fragmentados de hasta 6mm de diámetro dispersos en una matriz félsica de color blanco a gris claro. El contenido de fenocristales varía de 10% a 50%. La unidad está débilmente foliada pero generalmente no metamorfoseada y exhibe comúnmente bandeamiento de flujos primarios. Al sur de la Sierra de La Madera los fenocristales de cuarzo y la matriz están completamente recristalizados. Esta roca "cuarzo porfídica" presenta "ojos" de cuarzo residual rodeados por una textura sacarosa, dentro de una matriz félsica.

La secuencia está interdigitada con cuarzo arenitas de grano fino con 100 m de espesor y presenta afloramientos de formas prominentes. La estratificación está definida por delgadas bandas de minerales oscuros (Magnetita y zircón) y exhiben comúnmente estratificación cruzada en escalas de decímetros a metros (Gilmont, 1978). Los contactos con la riolita porfídica son angulares y la estratificación en las arenitas de cuarzo es concordante con las bandas de flujos en la riolita. La parte más baja de las capas de areniscas están más enriquecidas en granos de feldespatos derivados de la riolita porfídica.

La interestratificación riolita-cuarzoarenita está cubierta por un conglomerado polimíctico formado por cantos de riolita porfídica y cuarzoarenita, litológicamente idénticas a las unidades estratigráficamente inferiores. También en el conglomerado se observan clastos bien redondeados de cuarzo morado derivado probablemente de alguna secuencia de origen paleozoico. Estos clastos del conglomerado están englobados en una matriz arenosa lítica pobremente consolidada. Dentro de la porción metamorfozada de la sección norte del puerto El Mezquital y en la Sierra Azul la matriz está parcialmente recristalizada, y los clastos son significativamente alargados.

Nourse (1995), con base en un análisis geológico-estructural propone que el protolito de las secuencias metamórficas gnéisicas, corresponde a la riolita El Pinito que aflora en la zona del núcleo complejo, ubicándola en el Jurásico Inferior y las correlaciona con aquellas estudiadas por Anderson *et. al.*, (1988); Kitz y Anderson, (1988); Calmuset. *al.* (1992), al sur de Magdalena y al oeste de la misma población por Corona, (1979) y Jacques-Ayala *et. al.*, (1990).

### ***Cretácico Inferior***

Las rocas de esta edad están ampliamente distribuidas en el acuífero, pero solo en el terreno Norteamérica. El cretácico inicia con el depósito de un conglomerado basal conocido como Conglomerado Glance que es la base del Grupo Bisbee, constituido por rocas sedimentarias.

### ***Jurásico Superior-Cretácico Inferior (JsKiCgP-Ar)***

Ransome (1904) dio a esta unidad categoría de formación ubicándola como la base del Grupo Bisbee. En este trabajo se ha considerado a la Formación Conglomerado Glance como una unidad independiente, debido a sus características cartográficas de gran extensión y potencia, se restringe al terreno Norteamérica, principalmente en la porción sur - suroeste, donde forma parte de las sierras Azul y El Pinito y del cerro El Pelón.

Son rocas conglomeráticas polimícticas arenosas de aproximadamente doscientos metros de espesor. El conglomerado presenta fragmentos de ortocuarcita, granito y caliza con tamaños de 2 a 60cm, en una matriz principalmente arenosa. Su contacto superior está definido por el paso transicional a una serie de lutitas y areniscas calcáreas de la Formación Morita del Grupo Bisbee, cubierto discordantemente por rocas volcánicas terciarias en algunas localidades.

De acuerdo a sus relaciones estratigráficas se le determinó una edad que varía del Jurásico Superior (Tithoniano) al Cretácico Inferior (Neocomiano) y es correlacionable con rocas similares en edad y litología que afloran en el sur de Arizona y noreste de Sonora en el área de Cabullona.

### ***Cretácico Superior-Terciario Inferior (Ks ti Gr-qmz)(Te Gd. D)(To Gr) (ToPA)(toPR)***

Lindgren en 1915 fue el primero en reconocer la transgresión hacia el oriente de los plutones del Cretácico al Paleoceno dentro del oeste de los Estados Unidos. Posteriormente (Anderson y Silver, 1974) y (Coney y Reynolds, 1977) extendieron este concepto a Sonora; (Henry, 1975) a Sinaloa; (Clark y otros, 1978, 1979, 1982), (Damon, 1978), (Damon y otros, 1981) a través del norte de México; (Coney y Reynolds, 1977) fueron los primeros en reconocer que la transgresión del Arco Volcánico se extendió 1000km tierra adentro (debido a la disminución del ángulo de subducción de la placa oceánica). El trabajo de Damon (1983), definió al Batolito Laramide de Sonora como todos los plutones de Sonora asociados con la transgresión del arco magmático de la costa hacia el interior del Cretácico Tardío al Eoceno Tardío 90 a 40 Ma. El batolito incluye todas las intrusiones calcoalcalinas y granitos de 2 micas (peraluminosos). Aunque estos últimos son anatexíticos y post arco volcánico. Estas rocas representan la continuación hacia el sur del

cinturón batolítico del oeste norteamericano.

La forma y distribución de estos afloramientos, está controlada por la erosión y por los eventos tectónicos posteriores a su emplazamiento, principalmente la tectónica de extensión del Paleógeno y Neógeno. El nivel de erosión es más profundo hacia la costa y disminuye hacia el oriente, donde estos cuerpos se encuentran cubiertos por las rocas volcánicas de la Sierra Madre Occidental. En el área de estudio los principales afloramientos se observan al oriente del rancho El Amole.

El batolito no presenta grandes variaciones en composición, petrográficamente varía de granodiorita a cuarzomonzonita y granito de color blanco, grisáceo, de textura fanerítica, generalmente de grano medio, constituido esencialmente por cristales de plagioclasa sódica, feldespatos potásicos, cuarzo y biotita con alteraciones locales de cloritización y sericitización principalmente. Las rocas que constituyen el Batolito Laramide están afectadas por intrusivos terciarios y cuerpos subvolcánicos de naturaleza ácida a intermedia. A su vez, intrusiva y afecta a la mayor parte de las unidades litológicas preexistentes.

En general, Damon y otros (1983) han determinado que las edades radiométricas para las rocas que constituyen el Batolito Laramide varían de 40 a 90 Ma, sin embargo separan los cuerpos intrusivos del Eoceno de composición granodiorítica-diorítica y los granitos oligocénicos con base en la relación que guardan con el desarrollo de estructuras como el caso de los núcleos Complejos Ígneo- Metamórficos (Core Complex).

### **Cenozoico**

Las rocas del Paleógeno y Neógeno consisten de rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias. El conjunto plutónico-volcánico es responsable de las mineralizaciones de cobre diseminado, las rocas volcánicas varían en composición de andesíticas a riolíticas (PoA) (PoR-Ig) (PoA-Ig) y están generalmente ligadas a los cuerpos intrusivos que las afectan y mineralizan como en las regiones de Cananea y El Alacrán. Se localizan principalmente en la porción este - sureste del área en amplios afloramientos, cubriendo discordantemente a las rocas preterciarias. Durante el Neógeno toda la región estuvo afectada por una serie de fallamientos normales relacionados con la tectónica distensiva que dio origen a la provincia de sierras y valles que cortaron a todas las estructuras y unidades anteriores, dando como resultado un sistema de fallas noroeste-sureste y la consecuente formación de depresiones que fueron rellenadas por sedimentos detríticos continentales de la Formación Báucarit (PomCgp-B), unidad que está ampliamente distribuida en el área.

El conjunto de rocas cuaternarias se encuentra distribuido en gran parte del área y consiste de conglomerados polimícticos (Qp1CoP) que son remanentes de depósitos de pie de monte, de gravas y arenas.

Estos depósitos están compuestos de bloques, cantos y guijarros que presentan gran variedad litológica en grados de redondez y tamaño muy diversos, distribuidos caóticamente en una matriz arcillosa, estos depósitos se localizan principalmente en las depresiones intermontanas. Los sedimentos aluviales, cubren un pequeño porcentaje del área (Qal), son depósitos de acarreo y de relleno no consolidados, que se presentan en los cauces de arroyos y abanicos aluviales. Consisten de arcillas, limos, arenas y gravas de grano fino a grueso que rellenan las zonas bajas y planas.

### ***Paleógeno-Oligoceno (PoA) (ToA-Ig)***

Las andesitas son rocas de color gris verde o café oscuro, generalmente de textura porfírica, con fenocristales de plagioclasas intermedias oligoclasa-andesina y máficos como hornblenda y biotita, la mayoría de las ocasiones con remplazo total o parcial de los minerales por minerales arcillosos, calcita, clorita, cuarzo, óxidos de hierro y apatita; los principales afloramientos de andesitas e ignimbritas se encuentran coronando las sierras de la porción oriental – suroriental del área. Los espesores de estas rocas no se conocen ya que su base no se encuentra expuesta.

### ***Neógeno-Mioceno (NmCgP-B)***

Dumble (1900), la definió como división Báucarit y posteriormente King (1939) denominó Formación Báucarit a una secuencia poco consolidada de areniscas y conglomerados bien estratificados, con algunos horizontes arcillosos. En la parte inferior, donde la unidad tiene su desarrollo completo, existen además algunos flujos de basaltos y otras rocas volcánicas interestratificadas con los sedimentos.

Esta formación está constituida principalmente por conglomerados de color regularmente pardo claro que cambia por meteorización a pardo oscuro, generalmente está bien estratificado, la composición de los clastos es muy heterogénea, lo que indica la variación de la fuente de aporte. La composición de los clastos es de ignimbritas, riolitas, andesitas, granitos, arcosas, cuarcitas y menos común de rocas metamórficas. Dentro del conglomerado, se observan variaciones a arenisca conglomerática y arenisca, el segundo constituyente más importante lo forman los basaltos interestratificados con los conglomerados, aunque en algunas localidades se observan intercalados con tobas y conglomerados tobáceos, minoritariamente y principalmente hacia la base de esta formación se tienen en algunas localidades estratos delgados de lutitas y calizas.

En cuanto a los espesores, debido a la gran erosión y fallamiento, no se conoce la base de esta formación en la mayor parte de sus afloramientos y por lo que se desconoce su espesor, que debe ser del

orden de 100 m.

La Formación Báucarit prácticamente se encuentra cubriendo a todas las unidades de la columna del Cretácico Superior, pero en la mayor parte de los afloramientos no se conoce su límite inferior y regularmente estos contactos son por falla. Se encuentra cubierta indistintamente por coladas volcánicas principalmente basaltos del Cuaternario y por depósitos de talud y terrazas aluviales recientes. Han sido fechados en los alrededores de Magdalena basaltos interestratificados con los conglomerados en la base de esta formación, arrojando una edad del Mioceno, que se correlaciona con el Conglomerado Gila del sur de Arizona. Pertenece a un ambiente aluvial-volcánico-continental.

### ***Cuaternario Pleistoceno (QPICgp)***

Son remanentes de depósitos de sedimentos de gravas, conglomerados y arenas y compuestos de bloques, cantos, guijarros y clastos de gran variedad litológica, distribuidos caóticamente en una matriz arcillosa. Se localizan principalmente en llanuras intermontanas, formando lomeríos con pendientes suaves, así como terrazas y pequeños taludes. Sus afloramientos más importantes se localizan en la porción occidental del acuífero.

Estos depósitos por lo general se encuentran cubriendo a las rocas de la Formación Báucarit y en algunas localidades a otras rocas preterciarias y son sobreyacidos por todos los depósitos aluviales del cuaternario. Se depositaron en ambientes continentales producto de la erosión de los sedimentos del Paleógeno-Neógeno y de las rocas preexistentes.

### ***Cuaternario (Qhoal)***

Son depósitos aluviales que cubren gran parte de las superficies ocupadas por los cauces de ríos y arroyos. Se originan por el acarreo y relleno de material no consolidado en los cauces de arroyos y abanicos aluviales; consisten de arcillas, limos, arenas y gravas de grano fino a grueso que rellenan las zonas bajas y planas.

### **Geología estructural**

Desde el punto de vista estructural, el valle del Río Cocóspera representa un pequeño Graben orientado NNE – SSW originado por el proceso distensivo que originó la provincia Basin and Range. Las fallas son comunes, predominando el fallamiento normal en las formaciones del Jurásico al Reciente, que en esencia controlan el patrón de drenaje presente. El comportamiento estructural de la zona es producto de diversos eventos tectónicos como la Orogenia Laramide (Cretácico Tardío - Paleógeno), posteriormente ocurrió un evento distensivo

durante el Paleógeno Superior-Neógeno, responsable de la formación de la provincia "Basin and Range", característica del noroeste de México y del suroeste de Estados Unidos. Este episodio se manifiesta por la aparición de juegos de fallas normales y fracturas de distensión en varias direcciones.

Las características estructurales del área consisten en sierras altas alargadas de rumbo preferencial noroeste-sureste. El valle está delimitado por un sistema de fallas normales con dos direcciones preferentes: noroeste – sureste y noreste – suroeste; ambos sistemas son producto de la última etapa tectónica distensiva, iniciada a partir del Paleógeno Superior, la cual dislocó y fragmentó las unidades geológicas presentes, que desarrollaron el complicando panorama estructural de la zona. En la fosa tectónica que originó el sistema de fallas se depositó el material clástico que conforma el acuífero. La zona presenta una gran cantidad de fracturas orientadas en sentido noroeste-sureste y noreste-suroeste, que afectan a las rocas volcánicas de las sierras circundantes que constituyen las zonas de recarga al acuífero.

Otras manifestaciones de eventos tectónicos que afectaron al noroeste de México y suroeste de Estados Unidos, se manifiestan en la zona a través de discordancias angulares entre las secuencias paleozoicas y mesozoicas, asimismo existe plegamiento cerrado y fallamiento inverso debido a la Orogenia Mesocretácica, mientras la Orogenia Laramide está representada por un sistema de plegamiento y una fuerte presencia de fallas inversas.

### **Geología del subsuelo**

Como parte del estudio realizado en el 2006, se ejecutaron 11 sondeos electromagnéticos (TEM's) en la parte central del acuífero donde se localiza la zona de mayor extracción de aguas subterráneas, es posible definir la presencia de un acuífero constituido en su porción superior por depósitos aluvio- fluviales constituidos por gravas, boleos y arenas de alta porosidad y permeabilidad cuyo espesor varía de 10 a 60 m.

La porción inferior está alojada en un conglomerado semiconsolidado ha consolidado, areniscas y rocas volcánicas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento (figura 3). Las frontera al flujo subterráneo y el basamento están representados por rocas riolíticas y graníticas compactas, así como los mismos conglomerados y areniscas cuando desaparece el fracturamiento.

## **HIDROGEOLOGÍA**

### **Tipo de acuífero**

De acuerdo con las unidades hidrogeológicas identificadas, las evidencias geológicas, y geofísicas, es posible establecer la presencia de



un acuífero **tipo libre a semiconfinado**, heterogéneo y anisótropo, constituido por materiales granulares porosos, areniscas, rocas volcánicas fracturadas y productos piroclásticos. El medio granular está constituido por depósitos no consolidados y semiconsolidados de granulometría variada (gravas, arenas, limos y arcillas) que se depositaron en la planicie de inundación del cauce del Arroyo Cocóspera, de espesor limitado que varía entre 10 a m. El medio fracturado está conformado por areniscas y rocas volcánicas.

La fuente principal de recarga al acuífero es la infiltración de la lluvia sobre el valle, de los escurrimientos generados en las zonas serranas que delimitan el acuífero, así como el agua que se infiltra en las zonas topográficamente altas y que alimenta al acuífero en forma de flujos subterráneos.

### **Piezometría**

La definición de áreas de recarga y descarga, y consecuentemente trayectorias de flujo de agua subterránea, puede ser lograda mediante diversos indicadores, uno de ellos es la medición de los niveles piezométricos por medio de los cuales no solo es posible identificar estas zonas sino también componentes verticales de flujo subterráneo, ascendentes y descendentes. Únicamente se cuenta con información piezométrica correspondiente al año 2006.

### **Comportamiento hidráulico Profundidad al nivel estático**

En la figura 4 se muestra la configuración de profundidad al nivel estático para el año 2006 y en ella se puede observar que los valores varían de 4 a 25 m, registrándose los valores más altos en los pozos ubicados al norte de El Amole, localizados cerca del límite oriental del acuífero.

Los valores mínimos de profundidad, de 4 a 7 m, se encuentran entre El Vadito y El Aribabi, ubicados en el centro y suroeste del acuífero, siguiendo el cauce del Arroyo Cocóspera.

### **Elevación del nivel estático**

La configuración de curvas de igual elevación del nivel estático para 2006 (figura 5), presenta elevaciones que varían de 988 hasta 1170 msnm en El Aribabi y La Paz, respectivamente. Los valores máximos se presentan en la zona norte del acuífero, al sur de la Sierra San Antonio. Los valores mínimos se registran en los alrededores de El Aribabi, cerca del límite suroeste del acuífero.

De esta manera, se puede identificar que la dirección de flujo subterráneo muestra una trayectoria preferencial noroeste-sureste (hasta la confluencia de los arroyos Cuita y Cocóspera) y noreste-

suroeste, paralela a la dirección de escurrimiento del arroyo Cocóspera; con alimentaciones laterales provenientes de las sierras El Pinito y el cerro Guipuzcoana que delimitan el valle.

### **Evolución del nivel estático**

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita su configuración. Las escasas mediciones se encuentran dispersa en tiempo y espacio y no cubren la superficie total del acuífero. Aunado a ello, la configuración de la elevación del nivel estático no muestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos y/o del bombeo.

## **4. MODERNIZACION**

### **4.1 Programa de Modernización y automatización de quipos de bombeo del Distrito de Riego 037.**

El objetivo del proyecto modernización y mejoramiento de la eficiencia electromecánica para pozos del distrito de riego 037, es lograr mejorar la eficiencia actual y garantizar la operatividad mediante ahorros energéticos incluyendo energía eléctrica, recursos humanos, unidades de transporte y combustibles.

La propuesta refiere a equipamiento electromecánico con eficiencias superiores al 70% ayudando a reducir los costos operativos para el mejoramiento en la eficiencia, ahorro de energéticos y la optimización de recursos en pozos profundos del Distrito de Riego 037 Altar-Pitiquito-Caborca.

Con el objetivo de conocer el estado real operativo y las condiciones actuales del equipo de bombeo, la ASUDIR realizó, por medio de una empresa externa, un levantamiento de información y mediciones de flujo, nivel dinámico, parámetros eléctricos, etc., para poder determinar el porcentaje de carga y la eficiencia real del sistema de bombeo en pozos de agua profunda. El levantamiento arrojó una eficiencia final promedio de 40%.

Además de la baja eficiencia electromecánica se pudo apreciar el deterioro en el que se encuentran las instalaciones y equipamiento, concluyendo ya su vida útil y siendo necesaria la modernización y sustitución de estos equipos, como son: transformadores, postes, arrancadores, motores, sistema de tierra, bombas, y equipo de distribución eléctrica.

El proyecto global considera los 518 pozos en operación; debido a la magnitud de la inversión se programa en cuatro etapas, considerando a los 100 pozos como la primera. Actualmente se cuenta con un crédito autorizado por 50 millones de pesos para 72 pozos. Y para el presente proyecto se tiene contemplado otros 50 millones para 150 pozos.

El proyecto garantiza incrementar la eficiencia de los pozos de 39.38% a 77.21%, obteniendo un ahorro de energía anual promedio por pozo de 241,947.94 Kwh; considerando la Tarifa 9-N de \$ 0.46, se calcula un ahorro anual por pozo de \$111,296.05

Para fines de este proyecto se considera un ahorro anual total de \$22,259,210 pesos. Que es la suma del 50% de la primera fase y 50% de la segunda fase.

El impacto social y económico para quienes utilizan el agua de los acuíferos, se refleja en la reducción del caudal de los pozos, reducción en su vida útil, deterioro de la calidad del agua subterránea, disminución de la rentabilidad agrícola, abatimiento del nivel del agua subterránea, y por ende, incremento en los costos de extracción debido a mayores profundidades de extracción y consumo de energía eléctrica.

La prioridad de este proyecto es impulsar el desarrollo sustentable haciendo un mejor uso de la energía eléctrica, teniendo como resultado menor impacto ambiental, menores costos de producción y por ende, mayor utilidad para los productores y mejor calidad de vida para sus familias.

Este tipo de asociaciones de acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales y las Reglas de Operación de la CNA, son sujetas a apoyos dentro de los programas de Infraestructura Hidroagrícola. Para el ejercicio 2011 se tienen asignados 20 millones de pesos para Modernización y tecnificación de unidades de riego cuyo recursos son adicionales y se otorgara de manera individual a socios del Distrito que así lo requieran.

#### Estructura del Mercado:

Se trata de un mercado establecido directamente con los socios en donde la Asociación administra y suministra el agua al padrón de usuarios registrado, a través del título de concesión otorgado por CNA.

La dotación volumétrica de agua se administra de acuerdo a la capacidad de descarga de cada pozo, la cual es autorizada por la CNA en el título de concesión entregado a la Asociación y que a su vez se

mencionan en el punto anterior: Productos y Servicios. El precio unitario de venta, según sea la capacidad del pozo, es fijo y se aporta por el socio anualmente.

En caso de que el beneficiario del recurso no utilice la totalidad del agua o requiera más agua, se dirige a la ASUDIR para comprar o vender el agua, por medio del Banco de Agua.

La ASUDIR administra el Banco de Agua comprando el agua sobrante al socio a una cantidad de \$200 pesos y a su vez, vendiéndola al que requiera más insumo hídrico a \$210 pesos, obteniendo una utilidad por el servicio de administración de \$10 pesos, cantidad también mencionada en el punto anterior. Por lo anterior, cualquier socio puede obtener más agua de la autorizada en su pozo, siempre y cuando haya disponibilidad en el Banco de Agua de acuerdo a lo autorizado por CNA en el título de concesión.

#### Análisis de la Demanda:

El producto administrado y suministrado por la ASUDIR es el agua, por lo que la demanda está sujeta al volumen autorizado por CNA en el título de concesión.

La ASUDIR presenta a CNA su plan de riego, con el cual propone la superficie y cultivos a regar, considerando láminas de riego y tipo de cultivo.

Si algún socio no cubre sus necesidades con respecto a lo autorizado, se dirige al Banco de Agua para comprar o vender volumen, según sea el caso. La disponibilidad del insumo en el Banco de Agua, está sujeta al consumo de los mismos socios.

#### Perfil del consumidor:

La ASUDIR es la responsable de administrar y operar el Distrito de Riego 037 y cada uno de sus socios cuenta con derecho a explotación y uso del volumen de agua concesionado, según sea la dotación volumétrica de su pozo.

El beneficiario, socio de la ASUDIR, puede ceder, rentar o vender sus derechos según sus condiciones, considerando cuestiones económicas o conveniencia.

#### **4.2 Integración de un Comité Técnico de Aguas subterráneas o una unidad de riego en la Zona norte.**

Se cuenta en promedio con 150 pozos los cuales no están agrupados en lo que corresponde a la Zona norte. Estos pozos se encuentran fuera del Distrito de Riego 037 y por consiguiente no se encuentran agrupados, de tal manera que se pretende que se agrupen para que puedan empezar a obtener beneficios por parte de CONAGUA. El principal objetivo de la Comisión de Cuenca es que primero que nada se les ponga medidor volumétrico para que tengan un mejor control de sus extracciones, para posteriormente poder acceder a los programas hidroagrícolas para obtener apoyos en cuanto a tecnificación, etc.

#### **4.3 Programa de Modernización y automatización de equipos de bombeo de la Zona Norte.**

Se pretende manejar el mismo esquema que se planteó en el Distrito de Riego 037, con la diferencia de que aquí el total de los equipos a modernizar asciende a la cantidad de 150 pozos. Se plantea que en 3 fases de 50 pozos cada una modernizar la totalidad de esta zona.

#### **4.4 Programa de Modernización y automatización de equipos de bombeo del Organismo operador de agua potable de los municipios de Caborca, Nogales, Magdalena, Imuris, Santa Ana, Benjamín Hill, Trincheras, Altar, Oquitoa, Atil y Saric.**

Cabe mencionar que, aunque se han tenido avances significativos, aún existen carencias en la cobertura de los servicios así como en la calidad y eficiencia global. Las cifras que presenta la Comisión Nacional del Agua -CNA- indican que a finales del año 2000, de una población de 97.4 millones de habitantes, 12 carecen de servicio de agua potable y 26 no tienen alcantarillado. Adicionalmente se presenta baja eficiencia promedio de los organismos operadores. Un estudio realizado por la CNA indica una eficiencia global, resultante del producto de la eficiencia operativa por la comercial, de 30%. Esto implica que de cada 1000 litros de agua producida, los organismos operadores sólo reciben ingresos por 300 litros.

Por lo que se refiere al saneamiento se requiere de esfuerzos adicionales, no sólo en la construcción de plantas de tratamiento sino también en la rehabilitación de las existentes. De acuerdo con datos de la CNA, en el país se producen aproximadamente 200 m<sup>3</sup>/seg de aguas residuales municipales, de los cuales exclusivamente una cuarta parte

recibe algún tipo de tratamiento antes de su disposición final. Por lo tanto, los cuerpos receptores de agua del país reciben un sin número de descargas de aguas residuales municipales sin tratamiento. Estos resultados muestran que el saneamiento, es uno de los servicios con mayor déficit de cobertura en el sector.

El objetivo de este programa es funcionar como fuente adicional de recursos, condicionado a un esquema de cambio estructural, para fomentar la consolidación de los organismos operadores de agua; impulsar su eficiencia física y comercial; facilitar el acceso a tecnología de punta; fomentar que se alcance la autosuficiencia; y promover el cuidado del medio ambiente con proyectos de saneamiento, preferentemente ligados al reuso de las aguas residuales.

Para cumplir con lo anterior, se recomienda seguir los siguientes pasos:

### **Continuidad en la administración y planeación**

✓ Se requiere la continuidad en la planeación de las acciones establecidas en el Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral, para lo cual es necesario cumplir con los índices de gestión, las metas preestablecidas y proyección de las mismas, tales como: cobertura, micromedición, ingresos por servicio, macromedición, usuarios empadronados, etc.

✓ Profesionalización de los niveles gerenciales de los organismos.

### **Promoción de la cultura del agua**

✓ Se requiere que el organismo operador involucre a los sectores social y privado a través de comités, consejos y/o elaboración de programas de orientación a los usuarios, con el objeto de preservar la calidad y el aprovechamiento racional del agua.

✓ Obligatoriedad en el reuso de agua residual tratada.

### **Marco legal y adecuación de las tarifas**

✓ Se requiere someter la iniciativa de reformas al marco jurídico estatal y municipal que sean necesarias, a fin de que se otorgue seguridad jurídica a los inversionistas privados, autoridades y usuarios de que las acciones emprendidas puedan continuarse en el tiempo de manera sustentable independientemente de cambios políticos.

✓ Se requiere crear un ente regulador, con autonomía técnica y operativa, cuyo órgano decisorio cuente con miembros que tengan la inamovilidad suficiente para dar independencia a sus decisiones, que permitan definir tarifas que aseguren la autosuficiencia financiera, recuperación de todos los gastos de los organismos operadores y proteja los intereses del usuario.

✓ Las tarifas por los servicios agua y saneamiento incluirán los costos de operación, administración, conservación, mantenimiento y mejoramiento, así como los recursos necesarios para cubrir la rehabilitación, ampliación y mejoramiento de los sistemas requeridos para la prestación de los servicios, la recuperación del valor actualizado de las inversiones del prestador de los servicios y el servicio de su deuda, tomando en cuenta explícitamente el efecto de las aportaciones estatales y federales en su caso.

✓ Se requiere que la legislación local permita a los organismos operadores autonomía tarifaria.

### **5. Proyecto de cosecha de agua de lluvia en la Cuenca del Río Concepción, reforestación.**

Restaurar el ecosistema forestal deteriorado de la región, con el fin de compensar la pérdida de la vegetación y los servicios ambientales afectados por los cambios de uso de suelo en terrenos forestales, a través de la realización de actividades de restauración de suelos, reforestación, obras de retención de aguas, entre otros para lograr la restauración de este ecosistema y propiciar la sucesión ecológica hasta llegar a sus condiciones naturales, su persistencia y evolución.

#### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar una reconversión productiva de agrícola a forestal.
- Realizar obras de restauración y conservación de suelos para controlar y revertir el proceso de erosión y desertificación en esta zona.
- Colaborar en la recuperación de los acuíferos de la Cuenca del Río Concepción mediante obras de cosecha de agua de lluvia.
- Promover la recuperación de la biodiversidad de manera que se tenga un ecosistema con las condiciones naturales de esta región mediante prácticas de reforestación con vegetación nativa.
- Incrementar el hábitat para la fauna silvestre.

- Una vez lograda la restauración de este ecosistema, a mediano y largo plazo, compensar los servicios ambientales que este prestaba y que fueran afectados por el cambio de uso de suelo.
- Colaborar en la mitigación de la problemática de salud y ambiental generada en las diferentes ciudades y las localidades circunvecinas por el acarreo de partículas suspendidas provenientes de los campos agrícolas abandonados.
- Promover la diversificación de las actividades productivas de la región bajo un esquema de sustentabilidad de los recursos naturales.
- Incentivar a otros propietarios de campos de la región a realizar una reconversión de ecosistemas degradados para devolverlos a su condición natural.
- Disminuir el efecto de la extracción del agua del subsuelo, mediante la formación de un fondo de humedad con la cosecha de agua de lluvia.

## PROPUESTA

La presente propuesta de actividades de Compensación Ambiental por cambio de uso de suelo, tiene como propósito llevar a cabo una serie de acciones de restauración de suelos y captación de agua de lluvia, reforestación y mantenimiento de los ecosistemas forestales deteriorados, para lograr la restauración del ecosistema en la región de la cuenca del río Concepción, donde tradicionalmente se realizan actividades de ganadería y agricultura.

## DISEÑO DE LA REFORESTACION

El objetivo es el de reconvertir los terrenos forestales degradados o el cambio de uso de suelo a las condiciones normales del hábitat, la reforestación se realizará con plantas nativas de la región, las especies son: Mezquite (*Prosopis glandulosa*), palo fierro (*Olneya tesota*), Palo verde (*Cercidium microphyllum*) y zinita barbona (*Lophocereus schottii*).

## MANTENIMIENTO

Las actividades de mantenimiento a realizar son: mantenimiento de obras de bolseo y reposición de material vegetativo en la reforestación. Las obras de bolseo deben tener un mantenimiento cada 3 años ya que durante este tiempo hay acarreo de azolves y también es una región donde predominan las tuzas, quienes perforan el suelo, por tal motivo se recomienda que a la vuelta de tres años es necesario dar mantenimiento al 30% de las bolsas.



Dado las condiciones climáticas de la zona, intervención de la fauna, o agentes antropogénicos, es difícil asegurar una sobrevivencia al 100% de las plantas de la reforestación, toda obra de este tipo debe considerar un mantenimiento anual, donde se considera romper el 20% del material vegetativo para contar con una plantación de éxito.

## **6. Tecnificación del Riego**

La tecnificación del riego permite mejorar la tecnología de la agricultura irrigada, por medio de modernos y eficientes sistemas de riego. Aplicar al cultivo el agua que requiere en cantidad, calidad y oportunidad para mejorar la producción. Mejorar la producción de los cultivos con el uso adecuado y eficiente del agua de riego, eliminando las pérdidas y desperdicios, realizar capacitación permanente en materia de riego y uso eficiente del agua en la agricultura.

Porque tecnificar el riego.

Al tecnificar los sistemas de riego, se pueden obtener los siguientes beneficios: Disminución de consumo de agua en las parcelas y por consiguiente, disminución de gastos por tarifa. Mayor eficiencia en el uso del agua, y fertilizantes, por consiguiente, con obtención de mayor producción y mejor calidad de los productos, consecuentemente mayores ganancias.

Se pretende contar con sistemas de riego en el 100% del área que abarca la Comisión de Cuenca del Río Concepción, para de esta forma contar con mejor calidad en los cultivos y tratar de ser más rentables, y de esta manera por detonar la prioridad número uno que es la modernización de todo el valle agrícola que abarca la Cuenca del Río Concepción.

## **7. Saneamiento**

La finalidad en materia de saneamiento es revertir efectos de contaminación y mantener la calidad del agua. Por tal motivo hay la necesidad de hacer monitoreos en principales fuentes de abastecimiento del agua que existen en la Cuenca del Río Concepción. De esta manera se pretende contar con un abastecimiento adecuado de agua, ya que es fundamental para reducir el riesgo de enfermedades y de esta manera garantizamos el derecho a la alimentación, a la salud y a una vivienda digna.

## 8. Acciones del Programa

Para el cumplimiento de las cuatro directrices establecidas en este plan y lograr sus objetivos, se consideran necesarias XX acciones, para facilitar su ejecución en el ámbito de la cuenca.

### **Directriz 1. Realizar un mejor uso del agua en sus distintos secotres.**

- **Tecnificación en áreas de riego.-** Se requiere tecnificar 7,000 has en el Distrito de Riego 037, correspondientes a los cultivos de vid, olivo, alfalfa, trigo y hortalizas. Para el área que se encuentra fuera del Distrito de Riego, que corresponde a la Zona Norte de Caborca, Trincheras, El Ocuca, Imuris, Magdalena, Santa Ana, Benjamin Hill, se considera tecnificar 10,000 has de cultivos de papa, alfalfa, y hortalizas. La inversión que se requiere sería de \$280 Millones para el Distrito de Riego y \$400 Millones para las otras áreas lo cual abarca un total de \$680 Millones de Pesos de inversión.
- **Modernización de equipos de bombeo agrícolas.-** En el Distrito de Riego 037 se requiere modernizar y automatizar la cantidad de 433 pozos de los 550 pozos que se encuentran en operación, requiriéndose una inversión de \$520 Millones de Pesos y para el resto de las zonas agrícolas que se encuentran dentro de la Cuenca, que corresponden a 420 pozos, requiriéndose un total de \$504 Millones de pesos, siendo un total de \$1,024 Millones de Pesos los requeridos para cubrir este programa.
- **Modernización de equipo de bombeo de uso público urbano.-** Se requiere un total de \$60 Millones de pesos para modernizar 50 pozos de uso público urbano.
- **Reducir la incidencia de fugas en las redes de distribución de agua para uso público urbano.-** Se requiere un total de \$359 Millones para reducir las fugas en el uso de agua doméstica y comercial.
- **Impulsar el uso de tecnologías eficientes en uso industrial.-** Con la implementación de agua activada en paste

de desechos y enfriamiento en seco, se requiere un total de \$167 Millones.

- **Modernizar instalaciones de la red de agua para uso público urbano.-** Sustitución de regaderas, inodoros, mijnitorios secos, con un total de \$277 Millones.
  
- **Cursos y talleres de cultura y educación del agua.-** Impulsar la cultura del agua a través de capacitación, así como diferentes técnicas que ayuden a conservar el agua, requiriendo un total de \$32 Millones de pesos.

***Directriz 2. Contar con agua suficiente para las demandas actuales y futuras.***

- **Tener control en la aplicación del agua de riego.-** Acciones encaminadas a que cada quien haga uso del agua que le corresponde utilizar de acuerdo al volumen autorizado, requiriendo un monto de \$10 Millones de pesos.
  
- **Instalacion de medidores en pozos de abrebadero.-** Instalación de 1500 medidores volumétricos en pozos de abrevadero con un monto de \$15 Millones en total.
  
- **Que los acuíferos que pertenecen a la cuenca estén en equilibrio.-** Accion estructural mas una inversion de \$10 Millones de pesos.
  
- **Implementar programas de cosecha de agua y recarga de acuíferos.-** Se busca implementar este programa en 5000 has de la cuenca, requiriendo un total de \$76 Millones de pesos.
  
- **Reuso de agua tratada.-** Rehabilitación y ampliación de plantas de tratamiento, requiriendo un total de \$ 897 Millones.

***Directriz 3. Lograr que el agua que se utilice, sea de buena calidad.***

- **Construir nueva infraestructura de tratamiento y alcantarillado en los municipios.-** Se requiere una inversion de \$106 Millones de pesos.

- **Construir nueva infraestructura de tratamiento y alcantarillado en la industria.-** Se requiere una inversión de \$ 71 Millones de pesos.

**Directriz 4. Evitar al maximo los riesgos que pudiera provocar la abundancia o escases del agua.**

- **Protección a centros de población.-** Se requiere una inversión de \$7 Millones de pesos para drenaje pluvial.
- **Acciones y proyectos para asentamientos seguros.-** Se requiere una inversión de \$15 Millones de pesos para control de avenidas, obras de protección y conservación y mantenimiento de causas federales.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Participación de los Usuarios en la Administración del Agua por Cuenca Hidrológica. Omri Flores Sánchez Enero 2000

Estadística agrícola de los Distritos de Desarrollo Rural 139, Altar, Pitiquito, Caborca.

Gerencia de Aguas Superficiales, Comisión Nacional del Agua.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Censo General de Población y Vivienda 2000. México 2001

Ley de Aguas Nacionales

Manual de Estrategias de Participación Social CNA 1998.

Plan Director del Distrito de Riego 037, Caborca, Sonora.

Programa Hídrico por Organismo de Cuenca Visión 2030, Diagnóstico Hídrico de la Región Hidrológica Administrativa

Reglas de Organización y Funcionamiento de los Consejos de Cuenca.

Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales

Registro Público de Derechos de Agua REPDA

IFAI, Instituto de Acceso a la información pública.