

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Puerto Madero (3224),  
Estado de Zacatecas***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación  
20 de abril de 2015*

## Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

### CDXII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "CUENCAS CENTRALES DEL NORTE"

| CLAVE | ACUÍFERO | R  | DNCOM | VCAS | VEXTET | DAS | DÉFICIT |
|-------|----------|--|-------|------|--------|-----|---------|
|       |          | CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES |       |      |        |     |         |

#### ESTADO DE ZACATECAS

|      |               |     |     |           |      |          |            |
|------|---------------|-----|-----|-----------|------|----------|------------|
| 3224 | PUERTO MADERO | 8.9 | 0.0 | 24.051058 | 18.5 | 0.000000 | -15.151058 |
|------|---------------|-----|-----|-----------|------|----------|------------|

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

**ACUIFERO 3224 PUERTO MADERO**

| VERTICE | LONGITUD OESTE |         |          | LATITUD NORTE |         |          | OBSERVACIONES                     |
|---------|----------------|---------|----------|---------------|---------|----------|-----------------------------------|
|         | GRADOS         | MINUTOS | SEGUNDOS | GRADOS        | MINUTOS | SEGUNDOS |                                   |
| 1       | 101            | 45      | 45.1     | 23            | 27      | 25.3     | DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL  |
| 2       | 102            | 17      | 5.5      | 23            | 16      | 20.8     |                                   |
| 3       | 102            | 19      | 46.1     | 23            | 16      | 59.6     |                                   |
| 4       | 102            | 20      | 35.1     | 23            | 18      | 25.1     |                                   |
| 5       | 102            | 20      | 10.3     | 23            | 21      | 10.5     |                                   |
| 6       | 102            | 21      | 16.3     | 23            | 24      | 27.3     |                                   |
| 7       | 102            | 18      | 10.5     | 23            | 31      | 52.8     |                                   |
| 8       | 102            | 14      | 23.4     | 23            | 34      | 27.8     |                                   |
| 9       | 102            | 15      | 10.2     | 23            | 38      | 0.5      |                                   |
| 10      | 102            | 4       | 38.3     | 23            | 39      | 51.2     |                                   |
| 11      | 102            | 3       | 22.7     | 23            | 44      | 44.8     |                                   |
| 12      | 101            | 58      | 54.1     | 23            | 46      | 15.2     |                                   |
| 13      | 101            | 56      | 6.4      | 23            | 44      | 19.3     |                                   |
| 14      | 101            | 47      | 58.9     | 23            | 42      | 34.6     |                                   |
| 15      | 101            | 39      | 8.0      | 23            | 36      | 3.7      |                                   |
| 16      | 101            | 36      | 42.9     | 23            | 34      | 40.1     | DEL 16 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 1       | 101            | 45      | 45.1     | 23            | 27      | 25.3     |                                   |



## **SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

### **DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO PUERTO MADERO, ESTADO DE ZACATECAS**

**DICIEMBRE, 2003**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

## DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO PUERTO MADERO, ESTADO DE ZACATECAS (3224)

### CONTENIDO

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| <b>1. GENERALIDADES.....</b>                                | <b>1</b>      |
| 1.1. Localización.....                                      | 1             |
| 1.1.1. Coordenadas.....                                     | 1             |
| 1.1.2. Municipios.....                                      | 1             |
| 1.1.3. Población.....                                       | 3             |
| 1.2. Situación administrativa del acuífero.....             | 3             |
| <b>2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....</b> | <b>4</b>      |
| <b>3 FISIOGRAFÍA.....</b>                                   | <b>4</b>      |
| 3.1. Provincia fisiográfica.....                            | 4             |
| 3.2. Clima.....   | 5             |
| 3.2.1. Temperatura media anual.....                         | 5             |
| 3.2.2. Precipitación media anual.....                       | 5             |
| 3.2.3. Evaporación potencial media anual.....               | 5             |
| 3.3. Hidrografía.....                                       | 6             |
| 3.3.1. Región hidrológica.....                              | 6             |
| 3.3.2. Subregión.....                                       | 6             |
| 3.3.3. Cuenca.....  | 6             |
| 3.3.4. Subcuenca.....                                       | 6             |
| 3.3.5. Infraestructura hidráulica.....                      | 6             |
| 3.4. Geomorfología.....                                     | 7             |
| <b>4 GEOLOGÍA.....</b>                                      | <b>8</b>      |
| 4.1. Estratigrafía.....                                     | 8             |
| 4.2. Geología estructural.....                              | 10            |
| 4.3. Geología del subsuelo.....                             | 10            |
| <b>5 HIDROGEOLOGÍA.....</b>                                 | <b>11</b>     |
| 5.1. Tipo de acuífero.....                                  | 11            |
| 5.2. Parámetros hidráulicos.....                            | 12            |
| 5.3. Piezometría.....                                       | 12            |
| 5.4. Comportamiento hidráulico.....                         | 12            |
| 5.4.1. Profundidad al nivel estático.....                   | 12            |
| 5.4.2. Elevación del nivel estático.....                    | 12            |
| 5.4.3. Evolución del nivel estático.....                    | 13            |
| 5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....    | 14            |
| <b>6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA....</b>        | <b>15</b>     |
| <b>7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>                 | <b>16</b>     |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 7.1      | Entradas.....                                   | 16        |
| 7.1.1    | Recarga natural.....                            | 16        |
| 7.1.2    | Recarga inducida.....                           | 17        |
| 7.1.3    | Flujo subterráneo horizontal.....               | 17        |
| 7.2      | Salidas .....                                   | 17        |
| 7.2.1    | Evapotranspiración.....                         | 17        |
| 7.2.2    | Descarga natural.....                           | 18        |
| 7.2.3    | Bombeo.....                                     | 18        |
| 7.2.4    | Flujo subterráneo horizontal.....               | 18        |
| 7.3      | Cambio de almacenamiento.....                   | 18        |
| <b>8</b> | <b>DISPONIBILIDAD.....</b>                      | <b>19</b> |
| 8.1      | Recarga total media anual.....                  | 19        |
| 8.2      | Descarga natural comprometida.....              | 19        |
| 8.3      | Rendimiento permanente.....                     | 19        |
| 8.4      | Volumen concesionado de aguas subterráneas..... | 19        |
| 8.5      | Disponibilidad de aguas subterráneas.....       | 21        |
| <b>9</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</b>          | <b>22</b> |

## DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO PUERTO MADERO, ESTADO DE ZACATECAS (3224)

### 1. GENERALIDADES

#### 1.1 LOCALIZACIÓN

##### 1.1.1 Coordenadas

El acuífero “Puerto Madero”, quedó designado con la clave 3224 en el documento<sup>(1)</sup> publicado el 5 de diciembre de 2001 en el Diario Oficial de la Federación. El cual se localiza en la parte noreste del estado de Zacatecas, como se muestra en la Figura 1, cubre una superficie de aproximadamente 1 955 km<sup>2</sup>, delimitados por las coordenadas que se presentan en la tabla 1.

**Tabla No.1 Coordenadas que definen el área que cubre el acuífero “Puerto Madero”**

| VERTICE | LONGITUD OESTE |         |          | LATITUD NORTE |         |          | OBSERVACIONES                     |
|---------|----------------|---------|----------|---------------|---------|----------|-----------------------------------|
|         | GRADOS         | MINUTOS | SEGUNDOS | GRADOS        | MINUTOS | SEGUNDOS |                                   |
| 1       | 101            | 45      | 46.8     | 23            | 27      | 25.2     | DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL  |
| 2       | 102            | 17      | 6.0      | 23            | 16      | 4.8      |                                   |
| 3       | 102            | 19      | 30.0     | 23            | 16      | 4.8      |                                   |
| 4       | 102            | 21      | 18.0     | 23            | 24      | 28.8     |                                   |
| 5       | 102            | 17      | 49.2     | 23            | 29      | 52.8     |                                   |
| 6       | 102            | 14      | 13.2     | 23            | 33      | 28.8     |                                   |
| 7       | 102            | 14      | 31.2     | 23            | 37      | 55.2     |                                   |
| 8       | 102            | 8       | 16.8     | 23            | 39      | 14.4     |                                   |
| 9       | 102            | 4       | 37.2     | 23            | 39      | 50.4     |                                   |
| 10      | 102            | 3       | 21.6     | 23            | 44      | 45.6     |                                   |
| 11      | 101            | 58      | 55.2     | 23            | 46      | 15.6     |                                   |
| 12      | 101            | 57      | 7.2      | 23            | 44      | 27.6     |                                   |
| 13      | 101            | 55      | 44.4     | 23            | 40      | 26.4     |                                   |
| 14      | 101            | 47      | 56.4     | 23            | 40      | 8.4      |                                   |
| 15      | 101            | 39      | 7.2      | 23            | 36      | 3.6      |                                   |
| 16      | 101            | 36      | 43.2     | 23            | 34      | 40.8     | DEL 16 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 1       | 101            | 45      | 46.8     | 23            | 27      | 25.2     |                                   |

##### 1.1.2 Municipios

El acuífero Puerto Madero está localizado dentro del municipio Villa de Cos como se indica en la Figura 2.

<sup>1</sup> DOF. 5 de diciembre de 2001. ACUERDO por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de los títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado.

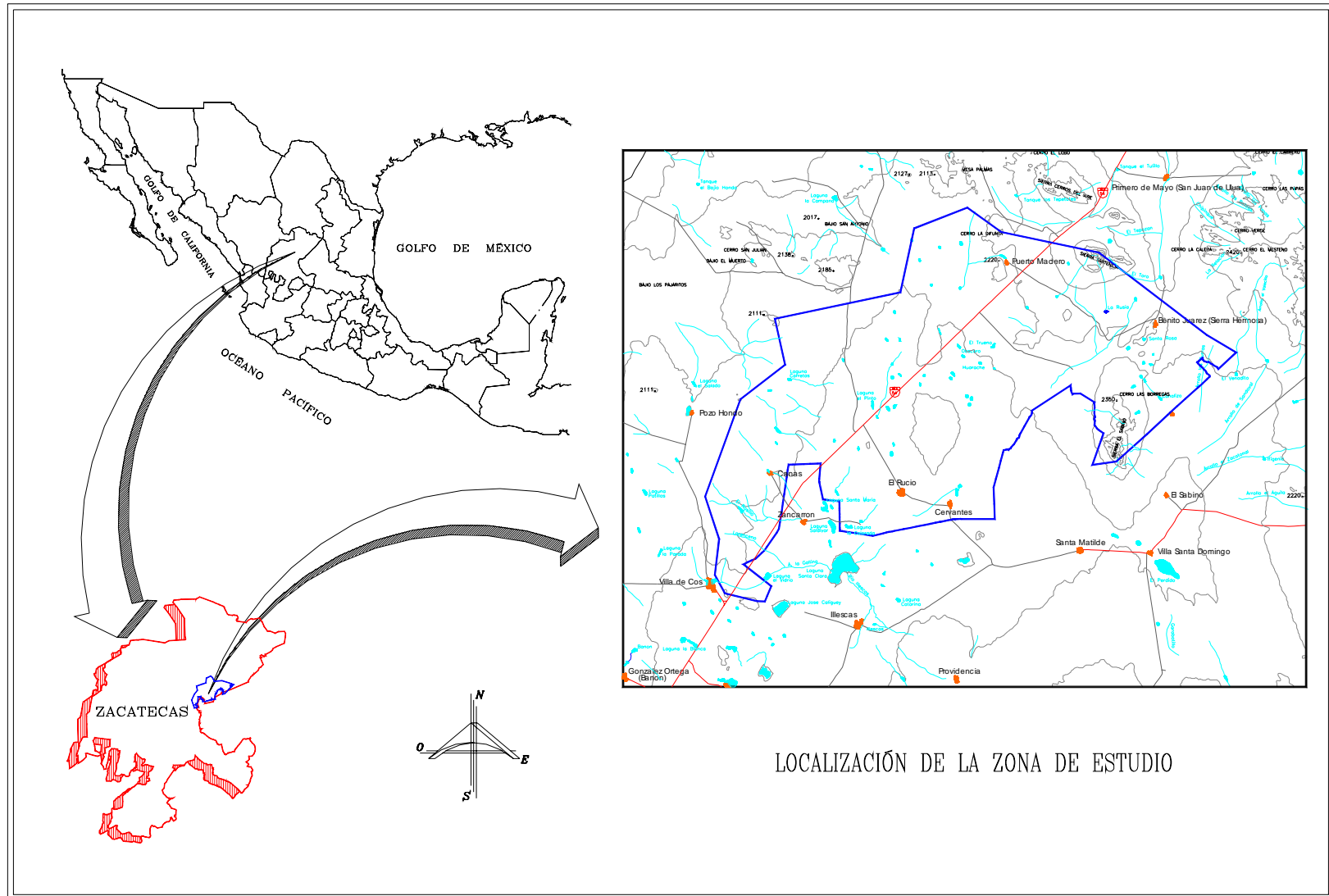
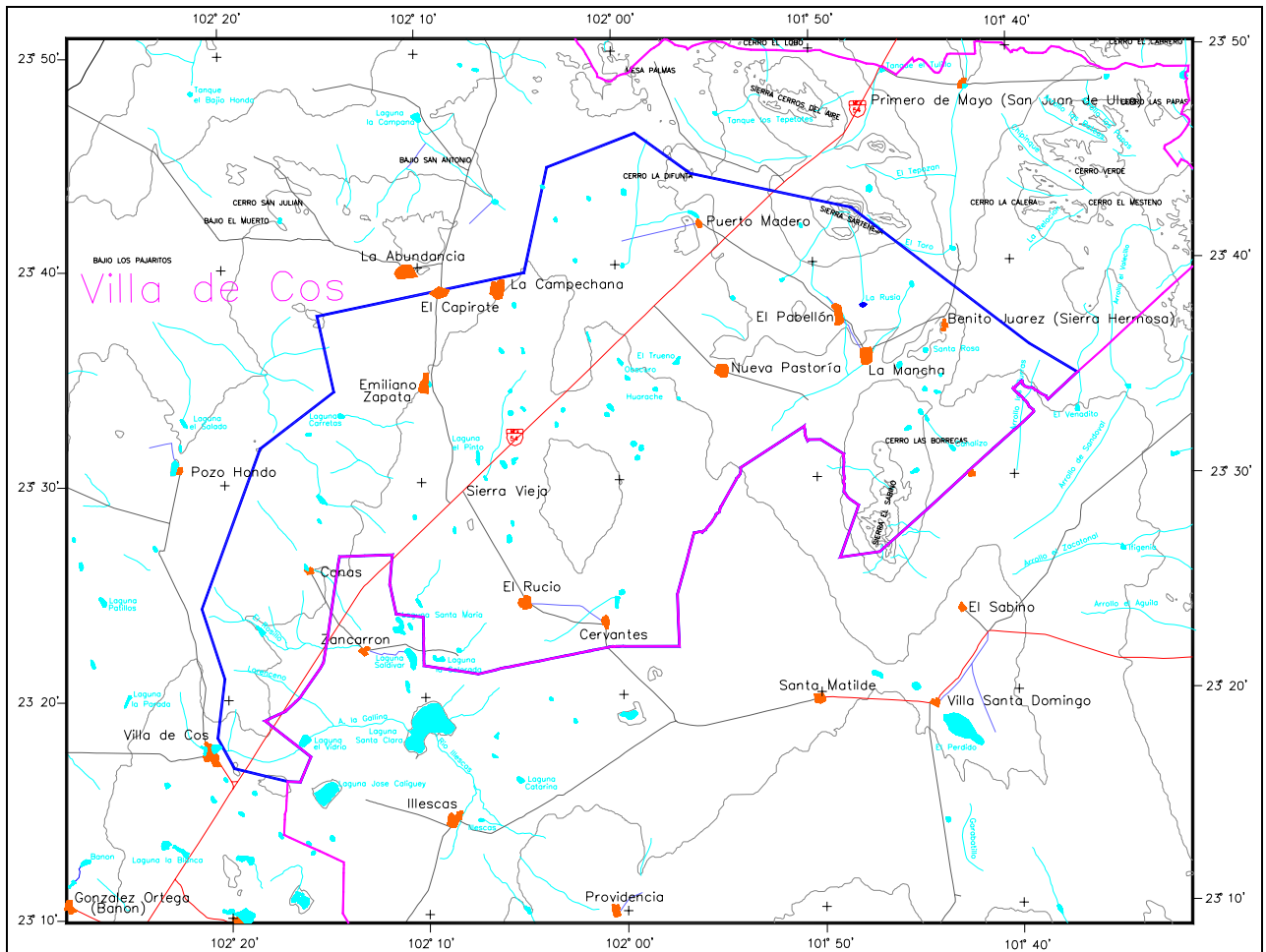


Figura No.1 Localización del acuífero Puerto Madero



### 1.1.3 Población

Dentro de los límites de este acuífero las poblaciones principales son: Puerto Madero, El Rucio, La Campechana, Sierra Vieja, Emiliano Zapata, Nueva Pastoria, Cervantes, Benito Juárez (Sierra Hermosa), Cañas, El Pabellón y La Mancha, entre otros. De acuerdo a los datos del censo de población del año 2000 y publicado por el INEGI<sup>(2)</sup>, el número de habitantes que se encuentran en el municipio de Villa de Cos es de 32,125 y dentro de los límites del acuífero Puerto Madero, existe una población menor y del orden de 10,000 hab.



**Figura No. 2 Municipios**

## 1.2 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO

No se encontró ningún decreto que establezca algún tipo de veda de alumbramiento de aguas del subsuelo en el municipio que forma parte del acuífero Puerto Madero, Zac.

<sup>2</sup> Anuario Estadístico, Zacatecas, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Edición 2001

El acuífero Puerto Madero queda comprendido dentro de la Región Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte; asimismo, forma parte del *Consejo del Altiplano* instalado el 23 de noviembre de 1999, y no cuenta con un Comité Técnico de Aguas subterráneas, COTAS (situación al 26 de noviembre de 2002).

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

Desde el punto de vista geohidrológico se dispone de un estudio especializado, realizado en el año 2000 con el fin de caracterizar y entender el funcionamiento del acuífero Puerto Madero; dicho estudio denominado “Actualización de estudios geohidrológicos de la porción noroeste del Estado de Zacatecas (acuífero Puerto Madero)”, fue encomendado por la Comisión Nacional del Agua, Unión Agrícola Regional de Productores de Frijol y Granos Básicos Francisco Villa, y elaborado por la empresa Geofísica de Exploraciones Guysa, S.A. de C.V. a través del Contrato UARPF-CNA 2000 – 01, noviembre 2000.

El estudio define que el acuífero se desarrolla principalmente en el medio granular constituido por depósitos aluviales (gravas, arenas limos y arcillas) del Cuaternario y el conglomerado del Terciario.

La evolución de los niveles indica que existen abatimientos de los niveles estáticos producto de la sobreexplotación del acuífero. Las relaciones litológicas, el comportamiento de las curvas de elevación del nivel estático y los datos de hidrometría indican que la descarga del acuífero ocurre solamente por la extracción por bombeo.

Asimismo, el estudio indica que el espesor económicamente explotable del acuífero varía entre 150 y 200 m en la zona entre La Campechana, El Trébol Loreto y Sierra Vieja, mientras que en las zonas con elevaciones topográficas superiores a 2000 msnm el espesor se reduce.

El balance de aguas subterráneas indica que la extracción de agua por medio de pozos sobrepasa el valor de la recarga anual, generándose una sobreexplotación del acuífero.

## **3 FISIOGRAFÍA**

### **3.1 PROVINCIA FISIOGRÁFICA**

El acuífero Puerto Madero se localiza dentro de la Provincia Fisiográfica Mesa del Centro y ocupa parte de la subprovincia Llanuras y Sierras Potosinas-Zacatecanas<sup>(3)</sup>.

---

<sup>3</sup> Carta fisiográfica esc. 1: 100 000 CGSNEGI, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

## 3.2 CLIMA

De acuerdo a la información del Atlas Nacional del medio Físico<sup>(4)</sup>, en el área que cubre el acuífero Puerto Madero el clima predominante según la clasificación de Köppen y modificado por Enriqueta García es del Grupo de climas secos, subtipos BS<sub>0</sub>kw que presenta lluvias de verano, % de precipitación invernal entre 5 y 10.2 ; además en gran parte de la zona se presenta una condición de canícula.

### 3.2.1 Temperatura media anual

De acuerdo a la carta de temperaturas medias anuales<sup>(5)</sup> en la zona de estudio la temperatura varía entre 16° C a 18° C

De información asentada en el estudio del año 2000<sup>(6)</sup>, se indica que de acuerdo a 4 estaciones climatológicas (San Juan, Agua Nueva, Villa de Cos y Sierra Hermosa) localizadas en los alrededores de la zona de estudio, la temperatura media anual es del orden de 18.4° C

### 3.2.2 Precipitación media anual

De acuerdo al mapa de isoyetas<sup>(7)</sup> las precipitaciones promedios anuales en el área oscilan entre 300 – 400 mm, con tendencia a oscilar, según valores locales entre 300 y 350 mm. Datos reportados en el estudio del 2000 <sup>(8)</sup> indican que el período donde se registran más alturas de lluvias en la zona corresponde a los meses de julio, agosto y septiembre; de información disponible que comprende un periodo entre 1963 y 2000 la precipitación promedio anual obtenida fue de 347.8 mm, sin embargo en el periodo 1994–2000 la precipitación promedio anual decreció a valores cercanos a 267 mm.

### 3.2.3 Evaporación potencial media anual

Los datos reportados en el estudio del 2000 <sup>(9)</sup> indican que la evaporación potencial anual, en la zona de estudio, asciende a 1991.5 mm.

Con la aplicación de la fórmula empírica de Turc se calculó una evapotranspiración real igual a 332.19 mm

---

<sup>4</sup> Atlas Nacional del Medio Físico, 1981, SPP

<sup>5</sup> Op. Cit Atlas Nacional .... 1981, SPP

<sup>6</sup>Unión Agrícola Regional de Productores de Frijol y Granos Básicos 2000. Actualización de estudios geohidrológicos de la porción noreste del Estado de Zacatecas (Acuífero Puerto Madero). Contrato UARPF-CNA 2000 – 01. Realizado por Geofísica de Exploraciones Guysa, S.A. de C.V.

<sup>7</sup> Op. Cit Atlas Nacional .... 1981, SPP

<sup>8</sup>Op Cit. CNA, Unión Agrícola Regional de Productores de Frijol y Granos Básicos 2000. Actualización de estudios geohidrológicos.... efectuado por Geofísica de Exploraciones Guysa, S.A. de C.V.

<sup>9</sup>Op Cit. CNA, Unión Agrícola Regional de Productores de Frijol y Granos Básicos 2000. Actualización de estudios geohidrológicos.... efectuado por Geofísica de Exploraciones Guysa, S.A. de C.V.

### 3.3 HIDROGRAFÍA

#### 3.3.1 Región hidrológica

El estado de Zacatecas queda comprendido en las Regiones Hidrológicas que se indican a continuación: RH 11 Ríos Presidio-San Pedro, ocupa una porción mínima del orden del 4 % de la superficie del estado en la parte oeste; RH 12 Lerma-Santiago con aproximadamente el 33 % de la superficie en la porción sur y suroeste del estado; RH 36 Ríos Nazas-Aguanaval con una extensión del orden del 23 % en la parte norte y noreste del estado; RH 37 El Salado en la porción noreste, centro este y sureste de Zacatecas ocupa aproximadamente 40 % de la superficie del estado de Zacatecas.

El acuífero Puerto Madero se ubica dentro de la Región Hidrológica No. 37 “El Salado”. La región hidrológica de El Salado es una de las vertientes interiores más importantes del país. Se localiza en la altiplanicie septentrional y la mayor parte de su territorio se sitúa a la altura del Trópico de Cáncer, que la atraviesa. Todo este conjunto hidrográfico está constituido por una serie de cuencas cerradas de muy diferentes dimensiones, así mismo en su mayor extensión básicamente carece de corrientes superficiales permanentes, sólo existen breves escurrimientos en las partes altas.

#### 3.3.2 Subregión

No se tiene una subdivisión por subregión.

#### 3.3.3 Cuenca

El acuífero de Puerto Madero se encuentra emplazado en el área que comprende a la cuenca “Fresnillo-Yesca”.

No tiene corrientes de importancia, toma esta cuenca el nombre de dos localidades del estado de Zacatecas ubicadas al norte de la ciudad capital.

#### 3.3.4 Subcuencas

En la zona de estudio es posible distinguir la subcuenca “Yesca” y “Mesa Chiquitillo” donde es posible la ocurrencia de escurrimientos torrencial de poca importancia.

#### 3.3.5 Infraestructura hidráulica

Dentro del área donde se localiza el acuífero Puerto Madero existen una serie de bordos. En el área existen lagunas en las partes bajas. Una laguna de importancia que se localiza en las cercanías de esta zona y fuera de ella es la Laguna Santa Clara ubicada al sureste del poblado de Zancarrón.

En cuanto a pozos y norias que se localizan en el área de estudio en el inciso correspondiente a censo de aprovechamientos subterráneos se indican algunos aspectos de los mismos, los cuales seguramente se complementan con canales de riego y obras afines.

### 3.4 GEOMORFOLOGÍA

Los rasgos relevantes de la región<sup>(10)</sup> están representados por una sierra alargada, con una orientación general ligeramente hacia el noroeste. Los contornos de estas tierras destacan sobre las extensas llanuras aluviales. Las sierras que se identifican en la zona son: La Sateneja localizada en la porción nororiental y el Sabinal en la parte oriente, dentro del estado de San Luis Potosí.

Los sedimentos marinos que forman la mayor parte de estas montañas se presentan fuertemente plegadas y la intensa erosión que ha actuado sobre ellos ha contribuido considerablemente al modelado de las actuales formas. Lo anterior ha dado origen a una región que presenta un relieve general que varía entre 1800 y 2150 msnm con alturas máximas de 2600 msnm correspondientes a la sierra de La Sarteneja.

Los cerros están erosionados en forma característica, redondeados y con pendientes suaves. En su base se ha formado depósitos de pie de monte, continuándose con las llanuras aluviales extensas y poco inclinadas.

Las sierras se encuentran separadas por amplias llanuras aluviales, las cuales aumentan en magnitud hacia el norte del área. El drenaje que se observa es de tipo radial.

Por lo que respecta a los lomeríos y bajadas se localizan en la porción noreste. En esta parte se observa que muchas de las corrientes superficiales se pierden, lo que se traduce que en esta parte alguna porción del agua escurrida puede infiltrarse.

La zona de llano cubre una gran parte de la superficie del área, ubicada en la parte centro sur y se caracteriza por tener una pendiente muy suave con un drenaje reducido o nulo.

En la porción noroeste, correspondiente a lomeríos muy suaves, se presenta un horizonte petroclástico impermeable con muy poca profundidad, mientras que en la porción baja correspondiente al llano de piso rocoso y que cubre la mayor parte del territorio se presentan suelos profundos en los cuales se desarrolla la actividad agrícola. De alguna manera en esta zona baja puede considerarse como una parte recolectora de agua.

---

<sup>10</sup> Op Cit. CNA, Unión Agrícola Regional de Productores de Fríjol y Granos Básicos 2000. Actualización de estudios geohidrológicos.... efectuado por Geofísica de Exploraciones Guysa, S.A. de C.V.

## **4 GEOLOGÍA**

### **4.1 ESTRATIGRAFÍA**

La columna litológica del área está formada por rocas de edades que varían desde el Triásico hasta el Cuaternario. A continuación se describe la columna litológica, desde la más antigua hasta la más reciente<sup>(11)</sup>:

#### Triásico:

En este periodo, el área está caracterizada por la presencia de rocas de origen metamórfico.

Dentro de estas rocas se encuentra la Unidad de Esquistos, la cual está constituida por esquistos de color verde fuertemente foliadas y relacionados con la Formación Zacatecas y se consideran el basamento en la zona. Desde el punto de vista hidrogeológico sirve como barrera impermeable.

Su afloramiento tipo se encuentra en el poblado de El Rucio.

#### Cretácico:

Las rocas cretácicas se caracterizan por su funcionamiento como barreras desde el punto de vista hidrogeológico debido a su muy baja permeabilidad.

Formación Cuesta del Cura: Constituida por calizas de color gris muy densa y microcristalina y que intertemperiza a color gris claro. La caracteriza la presencia de pedernal en lentes y bandas con una estratificación ondulante.

Formación Indidura: Constituida por calizas arcillosas de color gris claro amarillento, intercalada con lutitas calcáreas y limonitas en capas delgadas de color amarillo a pardo. Su afloramiento en la región se encuentra en las cercanías del poblado de La Abundancia y del poblado El Capirote.

Formación Caracol: Constituida por una secuencia “flysh” de alternancia rítmica de areniscas de grano fino-medio en estratos delgados a medianos con intercalaciones de lutitas, limolitas y ocasionalmente calizas. Esta formación se encuentra ampliamente distribuida en la zona, cubriendo sedimentos de la formación Indidura, generalmente en los valles está cubierta por aluvión.

#### Terciario

El periodo Terciario, se manifiesta por la presencia de rocas de origen volcánico que de acuerdo a su grado de fracturamiento pueden formar parte del acuífero principal

---

<sup>11</sup> Op Cit. CNA, Unión Agrícola Regional de Productores de Frijol y Granos Básicos 2000. Actualización de estudios geohidrológicos.... efectuado por Geofísica de Exploraciones Guysa, S.A. de C.V.

y/o funcionan como medio de recarga del mismo, así mismo, desde el inicio de este periodo hasta inicios del Cuaternario se depositaron conglomerados que forman parte del acuífero principal en la región.

Rocas volcánicas:

a) Riolitas: Se les asigna una edad del Oligoceno-Eoceno, corresponden a una serie de rocas volcánicas extrusivas que constituyen el núcleo de las sierras El Sabino y Tenango.

b) Tobas: Se les asigna una edad del Plioceno–Mioceno, son tobas de composición ácida de color gris y estructura fluidal. Aflora a 2.5 km al noroeste del Poblado de Emiliano Zapata

Rocas sedimentarias:

Conglomerados: Esta unidad engloba a los sedimentos gravosos depositados desde el Terciario hasta principios del Cuaternario. Se encuentran constituidos por fragmentos de rocas volcánicas y sedimentarias de subredondeados a bien redondeados, tiene en ocasiones matriz areno-arcillosa; están medianamente compactadas y pobremente cementados.

### Cuaternario

El Cuaternario está caracterizado por la presencia de rocas volcánicas y sedimentarias, las cuales constituyen el acuífero principal de la zona.

Rocas volcánicas:

Basaltos: Unidad de flujos de lava basáltica de color gris oscuro y negro de textura afanítica. Donde el intemperismo es profundo, la unidad presenta una morfología baja y cerros de poca altura, en zonas con intemperismo escaso la topografía es escarpada con mesetas y cerros. Es característico el alto grado de fracturamiento. Se les atribuye una edad Pleistoceno-Reciente.

Rocas sedimentarias:

Depósitos Lacustre: Unidad de sedimentos finos limo arcillosos de poco espesor se localizan muy cerca de los cuerpos de agua. Materiales de color beige a café oscuro. Su espesor es de unos cuantos metros.

Depósitos de Talud: Esta unidad está constituida por derrumbes de rocas que forman las zonas topográficamente más altas de constitución calcárea, así corresponde a material acumulado hacia la base de las montañas y las zonas abruptas, su presencia es frecuente, presenta poco espesor.

Depósitos aluviales: Unidad constituida por gravas, arenas, limos y arcillas de espesores variables. Desde el punto de vista hidrogeológico es la más importante por su área de afloramiento que es prácticamente en todo el valle de la zona de estudio; su espesor varía desde unos centímetros hasta varias docenas de metros.

## 4.2 Geología Estructural

El área donde actualmente se encuentra La Mesa Central estuvo sometida a eventos tectónicos desde el final del Paleozoico y del Triásico, cuando la gran columna estratigráfica fue afectada por esfuerzos de norte a sur, dando como resultado que los depósitos Triásicos presenten un rumbo este-oeste.

A finales del Cretácico e inicios del Terciario, durante la Revolución Laramídica se realizó un desplazamiento al oriente y al norte de la actual Mesa Central, donde hubo un encogimiento horizontal debido a esfuerzos compresivos de las rocas Mesozoicas, cuya orientación es prácticamente norte-sur.

En las rocas del Terciario ocurren eventos tectónicos, hasta el Terciario Medio se aprecian las formaciones muy plegadas y afalladas, finalmente en el Terciario Superior se presenta una actividad volcánica como producto final del ciclo tectónico.

Se considera que el acuífero Puerto Madero tenga su origen a partir de un sistema de esfuerzos compresivos con dirección preferencial norte-sur, que trajo como consecuencia que una gran parte de la zona haya sufrido un levantamiento; dando origen a una dolina donde se ubica el actual valle y donde se concentran los aprovechamientos de aguas subterráneas.

## 4.3 Geología del subsuelo

Se reportan tres secciones representativas de la zona donde se ubica el acuífero Puerto Madero:

Sección A-A': Con una extensión de unos 32 kilómetros (orientación S68° E - N22° W) que inicia al norte del poblado La Abundancia y termina en las cercanías de Nueva Pastoría. La sección muestra unidades litológicas de carácter sedimentario e ígneo, presenta una profundidad de unos 250 m. Hacia el centro de la sección se encuentra desarrollado el Valle, en aproximadamente 20 km de ancho en la superficie, que está limitado tanto en el fondo como en las partes laterales por rocas sedimentarias cretácicas impermeables. En la zona del Valle, donde se desarrolla el acuífero de la zona, existe la siguiente secuencia litológica: 20 m de aluvial que sobreyacen a unos 200 m de conglomerados. La secuencia litológica descrita se hizo con base en los cortes litológicos de los pozos localizados en La Campechana

Sección B-B': Con una extensión de 30 kilómetros (orientación S35°E - N55°W). Inicia aproximadamente a 7 km del Poblado de La Abundancia y termina al norte del poblado El Rucio. La sección muestra las relaciones litológicas hasta una profundidad de 280 m. A unos ocho kilómetros del inicio de la sección se observa la zona del Valle de unos 16 km de ancho en la superficie, que está limitado por rocas cretácicas impermeables. De acuerdo al corte litológico de pozos ubicados en este sitio se pudo construir la siguiente secuencia litológica: del orden de 20 m de aluvial del Cuaternario que yacen sobre aproximadamente 130 m de conglomerados y tobas.



Sección 1-2: Con una extensión de 53 kilómetros (orientación N – S) inicia en las cercanías de Bajío San Antonio y termina hacia el sureste de Santa Clara; fue construida con base en los cortes litológicos de 4 pozos, esta sección muestra las relaciones litológicas hasta una profundidad del orden de 400 m. En la sección se observa la Formación Indidura hacia la parte norte y de la Formación Caracol la cual estuvo sometida a esfuerzos compresivos que dieron lugar a la formación de fallas, esta Formación se localiza básicamente a todo lo largo de la sección, aflorando en algunas y en otras subyace a tobas y aluviones; asimismo, en la sección se aprecian derrames de composición basáltica. Las tobas se ubican con espesores variables hacia la parte central de la sección la cual pasa por parte del valle, estas tobas se encuentran subyaciendo a los aluviones, que en gran parte de la zona se aprecian a lo largo de todo el valle con espesores reducidos.

## **5. HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1 TIPO DE ACUÍFERO**

El sistema de aguas subterráneas del área se desarrolla en los depósitos aluviales y conglomerados que rellena el Valle, con porosidades de baja a media<sup>(12)</sup>. El espesor de los materiales que conforman el acuífero alcanza los 200 m en la zona central del Valle donde se concentran la mayor cantidad de aprovechamientos y va disminuyendo hacia las estribaciones serranas hasta ser muy escaso o nulo.

Los depósitos aluviales están constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas, y los conglomerados se encuentran constituidos por fragmentos de rocas volcánicas y sedimentarias de subredondeados a bien redondeados, tiene en ocasiones matriz areno-arcillosa; están medianamente compactadas y pobremente cementados.

Entre los materiales que conforman al acuífero se identifica un paquete entre los 40 y 130 m de arcilla con escasas gravillas y arenas, arcillas plásticas con escasa arena, arenas y arcillas, así como arcillas, gravas y gravillas fuertemente cementadas, conglomerado arcilloso, gravas y arenas con arcilla compacta entre otros. En este paquete se observan los niveles estáticos y dinámicos. Esta componente vertical de flujo puede inferir aportes entre capas y funcionar como un acuífero semiconfinado.

El basamento así como las barreras laterales del acuífero están conformados por las rocas sedimentarias y metamórficas impermeables; las metamórficas se encuentran constituidas por esquistos y corresponden al Triásico, y las sedimentarias básicamente al Cretácico, constituidas por calizas arcillosas de las Formaciones Cuesta del Cura e Indidura.

---

<sup>12</sup> Op Cit. CNA, Unión Agrícola Regional de Productores de Frijol y Granos Básicos 2000. Actualización de estudios geohidrológicos.... efectuado por Geofísica de Exploraciones Guysa, S.A. de C.V.

## 5.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

De información correspondiente a 11 pruebas de bombeo en etapa de abatimiento con duración de 4 a 24 horas se determinaron los parámetros de transmisividad, conductividad hidráulica y tipo de acuífero.

Los valores de transmisividad varían entre 2 y 620 m<sup>2</sup>/día, el promedio obtenido a través de los datos calculados de transmisividad es del orden de 110 m<sup>2</sup>/día. Los valores de permeabilidad varían entre 0.01 m/día hasta 4.4 m/día, y los espesores saturados en los sitios de las pruebas de bombeo varían entre 63 y 167 m.

## 5.3 PIEZOMETRÍA

En la zona se cuenta con datos de piezometría correspondientes a los años 1995, 1997, 1998 y 2000, al respecto para los tres primeros años se dispone de aproximadamente 50 pozos con datos de niveles estáticos, sin embargo, para el año 2000 el número de pozos con datos de niveles estáticos es del orden de 25, de los cuales sólo fue posible obtener la evolución de dichos niveles al año 2000 en 16 pozos.

## 5.4 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

### 5.4.1 Profundidad al nivel estático

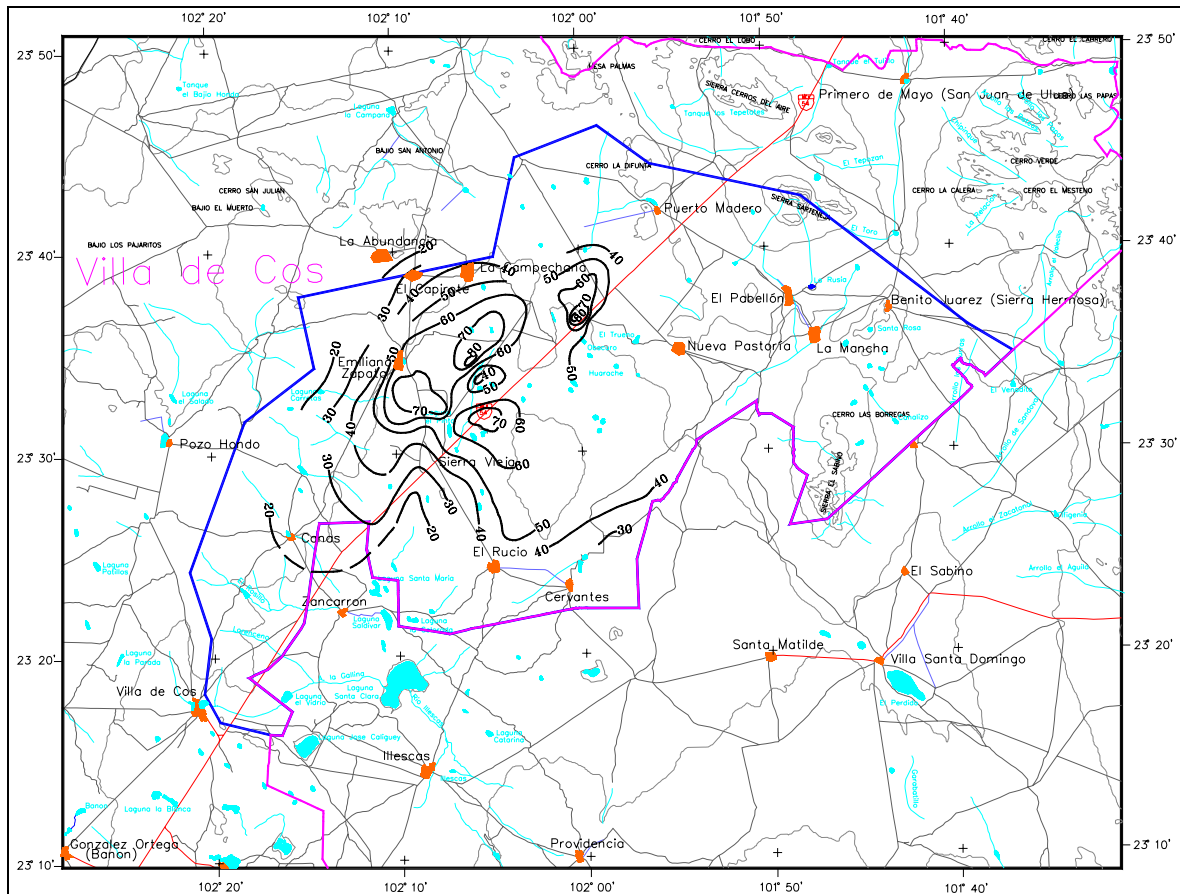
En 1995, las profundidades a los niveles estáticos en el acuífero Puerto Madero variaron entre 10 y 70 m correspondiendo las menores profundidades (10 a 20) en la parte suroeste, así como hacia los límites del área y noroeste de Potrero San Juan, donde existen valores de 8.0 m de profundidad. Valores entre 40 y 70 m se observan hacia la parte central del área. En el extremo norte del Valle las profundidades son del orden de los 40 m.

Para el año 2000, se aprecia una profundización de los niveles estáticos, las menores profundidades de los niveles estáticos tienden a presentarse hacia el suroeste, profundidades del nivel estático comprendidas entre 40 m y 70 m se aprecian distribuidas en el valle y los mayores tienden a ubicarse hacia la parte central del acuífero. La figura 3 muestra las profundidades a los niveles estáticos del año 2000

### 5.4.2 Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de las curvas del nivel estático para el año 1995 se indica la formación de un cono de abatimiento en la parte centro-este del valle con elevaciones del orden de 1866 msnm (El Trébol). Las mayores elevaciones se observan alrededor del valle en su parte norte, este y sur donde hay registros de 1990 y hasta 2030 msnm, lo que indica que las aguas fluyen de las zonas de recarga ubicadas al norte, oeste y sur hacia el centro del valle.

La configuración de las curvas del nivel estático para el año 2000 muestra un área de abatimiento que abarca gran parte de toda la zona central del valle, esta zona comprende dos conos de abatimiento que tienden a juntarse, los cuales quedan integrados en un gran cono con la curva de nivel 1920 msnm, tal como se muestra en la Figura 4. En términos genéricos el agua fluye de las partes altas localizadas en los alrededores del valle en forma prácticamente radial hacia el centro del mismo. Es importante señalar que no se observan salidas por flujo subterráneo horizontal hacia acuíferos vecinos.



**Figura 3 Curvas de igual profundidad al nivel estático al año 2000**

#### 5.4.3 Evolución del nivel estático

Con base al análisis y evaluación realizada con la información piezométrica de los años 1995 y 2000 se advierte que el acuífero Puerto Madero presenta abatimientos de los niveles estáticos, provocados por un minado del acuífero. El abatimiento promedio que se observa al considerar los niveles estáticos representativos es del orden de  $-1.5$  m/año.



Grupo 2: Aguas con temperaturas entre 24 y 30° C alto contenido de sodio (202-499 mg/l) y alto contenido de sulfato (409-1636 mg/l)

Las concentraciones de sodio y sulfato son las más altas de los elementos analizados y se ubican en la parte más baja de la zona en estudio, donde la concentración y operación de los pozos agrícolas es más intensa.

En cuanto a dureza una muestra rebasó la norma establecida por la SSA para considerarse como agua potable, que establece un valor de 500 mg/l; la muestra que presentó una concentración 600 mg/l de dureza, se obtuvo de un aprovechamiento subterráneo ubicado al norte del poblado de San José.

De los resultados de los análisis se observó que la máxima concentración de cloruros fue de 142.5 mg/l, valor menor que el establecido por la SSA, para considerarse dentro de la norma de agua potable; los bicarbonatos se presentan en concentraciones máximas del orden de 277.7 mg/l, asimismo, los valores máximos obtenidos del análisis de calcio fueron de 303 mg/l, el cual corresponde a un aprovechamiento perforado sobre una secuencia de calizas de aproximadamente 200 m de espesor, ubicado en las cercanías de El Trébol, respecto al magnesio los contenidos máximos detectados fueron de 42.2 mg/l y de potasio fue 24.8 mg/l. En cuanto a nitratos se encuentran en cantidades pequeñas, existiendo un valor máximo de 14.3 mg/l, su origen puede deberse a productos de los abonos agrícolas o de la contaminación ganadera.

En general, los resultados de los análisis de laboratorio para iones mayores indican que el agua subterránea es apta para consumo humano. Para uso agrícola se concluye que algunas muestras representan riesgo alto por salinidad y sodio y las demás muestras presenta riesgo bajo-medio en cuanto a salinidad y sodio.

Con base en los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos practicados a las muestras de agua subterránea se puede decir que de acuerdo a la variación de sus concentraciones de diversos iones, el agua subterránea manifiesta un flujo con dirección preferencial de las partes altas hacia el valle.

## **6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA**

De acuerdo al inventario de aprovechamientos subterráneos realizado durante el estudio del año 2000<sup>(13)</sup> en la zona de Puerto Madero existen del orden de 156, de los cuales 152 son pozos profundos y 4 norias. Del total de aprovechamientos registrados 112 están activos, 37 inactivos, 6 secos y 1 en proceso de construcción.

---

<sup>13</sup> Op Cit. CNA, Unión Agrícola Regional de Productores de Frijol y Granos Básicos 2000. Actualización de estudios geohidrológicos.... efectuado por Geofísica de Exploraciones Guysa, S.A. de C.V.

De los aprovechamientos registrados aproximadamente el 83.9 % son de uso agrícola, el 7.1 % de uso pecuario, 6.4 % de uso público urbano y 2.6 % otros usos.

De los 112 aprovechamientos activos se reporta una extracción de agua subterránea del orden de 18.5 hm<sup>3</sup> anuales, de los cuales el 98 % corresponde a la actividad agrícola y el resto a otros usos.

Adicionalmente el estudio del año 2000, indica que existen del orden de otros 27 aprovechamientos subterráneos para diversos usos.

## 7 Balance de aguas subterráneas

### Ecuación del balance

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 anualmente por el almacenamiento no renovable del subsuelo.

La ecuación general de balance de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de almacenamiento} \quad \dots (1)$$

Aplicando esta ecuación las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa, por el cambio de almacenamiento de una unidad hidrogeológica; queda representada como sigue:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento en la unidad hidrogeológica} \quad \dots(2)$$

### 7.1 ENTRADAS

Las entradas al acuífero Puerto Madero están integradas básicamente por las recargas naturales y las recargas inducidas.

#### 7.1.1 Recarga natural

Está conformada por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del valle y de la recarga por flujo horizontal subterráneo que se presenta por las zonas de pie de monte desde las partes altas del valle donde una parte de la lluvia se llega a infiltrar.

La recarga natural por lluvia en el área de valle con una extensión de aproximadamente 740 km<sup>2</sup> resultó del orden de 4.0 hm<sup>3</sup>/año.

#### 7.1.2 Recarga Inducida

La recarga inducida esta constituida principalmente por la infiltración vertical de una parte de los excesos de agua aplicado en el riego, prácticamente no existe recarga debido a fugas en los sistemas del servicio público urbano Para el acuífero que nos ocupa, considerando la recirculación del bombeo se estimo en  $1.2 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

### 7.1.3 Flujo Subterráneo horizontal

Parte de las precipitaciones pluviales que se presentan en las zonas altas se infiltran y llegan a recargar al acuífero a través de flujos subterráneos que se manifiestan en las partes bajas de las estructuras geológicas que delimitan dicho valle.

La recarga del acuífero por flujo horizontal de aguas subterráneas ocurre principalmente en la parte norte, oeste y en menor proporción por el suroeste, como se aprecia en la figura 4, de curvas de igual elevación del nivel estático del año 2000. Con base a esta configuración se seleccionaron 11 canales de flujo: 2 en el sureste (de la celda 1 y 2), 5 al oeste ( de celda 3 a 7) y 4 en la zona norte (de la celda 8 al 11). En cada uno de estos canales se aplica la ley de Darcy para calcular el caudal "Q" que recarga al acuífero. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de los 11 canales. En la tabla 2 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y el total de  $3.7 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

Donde

$$Q = T * A * i$$

T: Transmisividad ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) en el canal de flujo

A: Ancho (m) del canal de flujo

i: Gradiente hidráulico ( $i = h / L$ ); h y L son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.

## 7.2 SALIDAS

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeos de agua subterránea a través de pozos.

### 7.2.1 Evapotranspiración

En el área del acuífero Puerto Madero la evapotranspiración no tiene influencia en las salidas del agua del acuífero, ya que en general los niveles estáticos se encuentran a una profundidad mayor de 10 m, valor aproximado desde la superficie, donde llega haber influencia de este fenómeno.

**Tabla No.2 Entradas de agua subterránea por flujo horizontal al acuífero Puerto Madero**

| CELDA | ANCHO<br>(B)<br>(m) | LARGO<br>(L)<br>(m) | h1-h2<br>(m) | GRADIENTE<br>HIDRÁULICO<br>(i) | TRANSMISIVIDAD<br>(T)<br>(m <sup>2</sup> /s) | CAUDAL<br>(Q)<br>(m <sup>3</sup> /s) | VOLUMEN<br>(hm <sup>3</sup> /año) |
|-------|---------------------|---------------------|--------------|--------------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1     | 3378                | 1066                | 10           | 0.009                          | 2.00E-04                                     | 0.006                                | 0.20                              |
| 2     | 4595                | 1740                | 10           | 0.006                          | 2.00E-04                                     | 0.005                                | 0.17                              |
| 3     | 3429                | 2330                | 10           | 0.004                          | 2.00E-04                                     | 0.003                                | 0.09                              |
| 4     | 3843                | 1829                | 10           | 0.005                          | 2.00E-04                                     | 0.004                                | 0.13                              |
| 5     | 3899                | 803                 | 10           | 0.012                          | 2.00E-04                                     | 0.010                                | 0.31                              |
| 6     | 2031                | 302                 | 10           | 0.033                          | 2.00E-04                                     | 0.013                                | 0.42                              |
| 7     | 1373                | 454                 | 10           | 0.022                          | 2.00E-04                                     | 0.006                                | 0.19                              |
| 8     | 7926                | 509                 | 10           | 0.020                          | 2.00E-04                                     | 0.031                                | 0.98                              |
| 9     | 4249                | 707                 | 10           | 0.014                          | 2.00E-04                                     | 0.012                                | 0.38                              |
| 10    | 1030                | 861                 | 10           | 0.012                          | 2.00E-04                                     | 0.002                                | 0.08                              |
| 11    | 8957                | 735                 | 10           | 0.014                          | 2.00E-04                                     | 0.024                                | 0.77                              |
| Total |                     |                     |              |                                |  |                                      | <b>3.72</b>                       |

### 7.2.2 Descarga natural

Las descargas naturales que pudieran estar representadas por flujo subterráneo horizontal no existen, debido a que en general se ha formado un gran cono de abatimiento que impide dicha salida, por otro lado prácticamente no existen descargas de manantiales localizados en la zona de este acuífero.

### 7.2.3 Bombeo

La extracción de agua subterránea ha variado con el tiempo y de acuerdo con la estimación reciente, dicha extracción efectuada por bombeo es del orden de 18.5 hm<sup>3</sup>/año. Este volumen se emplea en diversos usos, siendo el más importante el destinado a los usos agrícolas y en mucha menor proporción los otros usos.

### 7.2.4 Flujo subterráneo horizontal

En el acuífero Puerto Madero no se presenta una salida significativa por flujo horizontal de aguas subterráneo.

## 7.3 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

El balance de aguas subterráneas señala que el acuífero tiene una recarga total de 8.9 hm<sup>3</sup>/anuales, y una descarga total de 18.5 hm<sup>3</sup>/anuales, por lo que el cambio de almacenamiento en el acuífero de Puerto Madero es del orden de -9.6 hm<sup>3</sup>/anuales.



En la Tabla 3 se resume el balance de aguas subterráneas en el acuífero Puerto Madero

## 8 DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA

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

$$\begin{array}{l} \text{Disponibilidad media} \\ \text{anual} \\ \text{de agua subterránea en} \\ \text{una} \\ \text{unidad hidrogeológica} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Recarga} \\ \text{total} \\ \text{media} \\ \text{anual} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Descarga} \\ \text{natural} \\ \text{comprometida} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Volumen anual de} \\ \text{agua subterránea} \\ \text{concesionado e} \\ \text{inscrito en el} \\ \text{REPDA} \end{array} \quad (3)$$

### 8.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

La recarga total media anual, calculada asciende a 8.9 hm<sup>3</sup>/año.

### 8.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA

Es la suma de los volúmenes concesionados de los manantiales que están comprometidos como agua superficial para diversos usos más una parte del agua que sale por flujo horizontal subterráneo para satisfacer necesidades comprometidas, de tal manera que para este acuífero se estima en 0.0 hm<sup>3</sup> /año.

### 8.3 RENDIMIENTO PERMANENTE

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida.

Para el acuífero Puerto Madero al no existir descarga natural comprometida entonces el rendimiento permanente es igual a 8.9 hm<sup>3</sup> /año.

### 8.4 VOLUMEN CONCESIONADO E INSCRITO EN EL REPDA

El volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), al 31 de mayo de 2003 es de 19.696795 hm<sup>3</sup> /año

**Tabla No.3 Balance de aguas subterráneas en el acuífero Puerto Madero, Zac.**

| BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS,<br>ACUÍFERO PUERTO MADERO, ZAC. |  |            |                      |        |
|--|--|------------|----------------------|--------|
| Área total del acuífero  |  |            | km <sup>2</sup>      | 1,955  |
| <b>RECARGA</b>   |  |            |                      |        |
| Área de valle  |  |            | km <sup>2</sup>      | 740    |
| Coeficiente  |  | $I_1$      |                      | 0.02   |
| Precipitación  |  |            | mm/año               | 267    |
| Recarga natural por lluvia                                     |  |            | hm <sup>3</sup> /año | 4.0    |
| Entradas horizontales  |  | $E_h$      | hm <sup>3</sup> /año | 3.7    |
| Total de recarga natural                                       |  |            | hm <sup>3</sup> /año | 7.7    |
| Público Urbano   |  | $I_2$      |                      | 0.00   |
| Retorno del uso Público Urbano                                 |  |            | hm <sup>3</sup> /año | 0.0    |
| Agrícola más otros agua subterránea                            |  | $I_3$      |                      | 0.07   |
| Retorno de riego, agua subterránea                             |  |            | hm <sup>3</sup> /año | 1.2    |
| Retorno total  |  |            |                      | 1.2    |
| <b>RECARGA TOTAL</b>   |  | $R_t$      | hm <sup>3</sup> /año | 8.9    |
| <b>DESCARGA</b>  |  |            |                      |        |
| Salidas horizontales   |  | $S_h$      | hm <sup>3</sup> /año | 0.0    |
| Caudal base  |  | $Q_{base}$ | hm <sup>3</sup> /año | 0.0    |
| Evapotranspiración   |  |            | hm <sup>3</sup> /año | 0.0    |
| Extracción total bruta   |  |            | hm <sup>3</sup> /año | 18.5   |
| Agrícola   |  |            | hm <sup>3</sup> /año | 18.2   |
| Público urbano   |  |            | hm <sup>3</sup> /año | 0.3    |
| Industrial   |  |            | hm <sup>3</sup> /año |        |
| Otros  |  |            | hm <sup>3</sup> /año |        |
| <b>DESCARGA TOTAL</b>  |  |            | hm <sup>3</sup> /año | 18.5   |
| <b>Minado</b>  |  | $DA$       | hm <sup>3</sup> /año | -9.6   |
| Coeficiente de almacenamiento                                  |  | $S$        |                      | 0.0086 |
| Volumen drenado (m/año)  |  | $V_d$      | hm <sup>3</sup> /año | 1,110  |
| Abatimiento m/año  |  |            | m                    | 1.50   |

## 8.5 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La disponibilidad de aguas subterráneas, conforme a la metodología indicada en la Norma para calcular la disponibilidad de aguas nacionales (NOM-011-CNA-2000) se obtiene de restar a la recarga total los volúmenes de la descarga natural comprometida y el volumen concesionado e inscrito en el REPDA, de esta forma no existe volumen disponible en este acuífero.

$$-10.796795 = 8.900000 - 0 - 19.696795$$

## 9 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

**Atlas Nacional del Medio Físico, 1981, SPP**

**Anuario Estadístico, Zacatecas, 2001**, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

**Carta fisiográfica esc. 1: 100 000 CGSNEGI**, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

**Castany G. 1975.** Prospección y explotación de las aguas subterráneas. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.

**Custodio F, Llamas M. 1983.** Hidrología Subterránea Tomo I y II. Ediciones Omega, S.A. Barcelona - España.

**Consejo de Recursos Minerales 1991.** Monografía Geológica – Minera del Estado de Zacatecas. CRM Pachuca-Hidalgo, México.

**DOF.** 5 de diciembre de 2001. ACUERDO por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de los títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado.

**NOM-011-CNA-2000.** Norma Oficial Mexicana. Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial 17 de abril de 2002. México.

**Unión Agrícola Regional de Productores de Frijol y Granos Básicos 2000.** Actualización de estudios geohidrológicos de la porción noreste del Estado de Zacatecas (Acuífero Puerto Madero). Contrato UARPF-CNA 2000 – 01. Geofísica de Exploraciones Guysa, S.A. de C.V.