

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Meoqui-Delicias (0831),  
Estado de Chihuahua***

*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.**

CCCVI REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "RÍO BRAVO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
ESTADO DE CHIHUAHUA							
0831	MEOQUI-DELICIAS	211.2	0.0	383.394057	329.2	0.000000	-172.194057

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.



*Comisión Nacional del Agua*

**Subdirección General Técnica**

*Gerencia de Aguas Subterráneas*

**Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos**

**DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD  
DE AGUA EN EL ACUÍFERO  
MEOQUI-DELICIAS,  
ESTADO DE CHIHUAHUA.**

## CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
	<b>Antecedentes</b>	<b>2</b>
1.1.	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	4
<b>2.</b>	<b>ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>7</b>
3.1	Provincia fisiográfica.....	7
3.2	Clima.....	7
3.3	Hidrografía.....	8
3.4	Geomorfología.....	8
<b>4.</b>	<b>GEOLOGÍA.....</b>	<b>9</b>
4.1	Estratigrafía.....	10
4.2	Geología estructural.....	12
4.3	Geología del subsuelo.....	13
<b>5.</b>	<b>HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>15</b>
5.1	Tipo de acuífero.....	15
5.2	Parámetros hidráulicos.....	16
5.3	Piezometría.....	16
5.4	Comportamiento hidráulico.....	16
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	16
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	18
5.4.3	Evolución del nivel estático.....	18
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	21
<b>6.</b>	<b>CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....</b>	<b>21</b>
<b>7.</b>	<b>BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>22</b>
7.1	Entradas.....	22
7.1.1	Recarga Natural.....	22
...7.1.2	Recarga Inducida.....	23
...7.1.3	Flujo subterráneo horizontal.....	24
7.2	Salidas .....	25
7.2.1	Evapotranspiración.....	25
7.2.2	Descarga natural.....	25
...7.2.3	Bombeo.....	26
7.2.4	Flujo subterráneo horizontal.....	26
7.3	Cambio de almacenamiento.....	26
<b>8.</b>	<b>DISPONIBILIDAD.....</b>	<b>27</b>
..8.1	Recarga total media anual.....	28
..8.2	Descarga natural comprometida.....	28
..8.3	Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	28
..8.4	Disponibilidad de aguas subterráneas.....	28
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</b>	<b>29</b>

## 1. GENERALIDADES

### Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas provenientes de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, organismos de los gobiernos de los estados y municipios, y de la CONAGUA.

El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDa).

El cálculo de la disponibilidad obtenida permitirá una mejor administración del recurso hídrico subterráneo ya que el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en acuíferos con disponibilidad de agua subterránea. Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPDa. La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, en la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, en los planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, y en las estrategias para resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

### 1.1 LOCALIZACIÓN

Cubriendo una superficie aproximada de 4,830 km<sup>2</sup> de la porción centro-sur del estado de Chihuahua, el acuífero Meoqui-Delicias está delimitado geográficamente por los paralelos 27° 31' a 28° 35' de latitud norte y los meridianos 105° 45' a 105° 00' al oeste de Greenwich. Las coordenadas del polígono que enmarcan el área del acuífero se presentan en la Tabla No. 1 y su localización en la Figura No. 1. De acuerdo con el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas (SIGMAS) de la Gerencia de Aguas Subterráneas de la CNA, el acuífero Meoqui-Delicias tiene la clave 0831

**Tabla No. 1. Coordenadas que definen el área que cubre al acuífero Meoqui-Delicias****ACUIFERO 0831 MEOQUI-DELICIAS**

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	105	28	25.5	28	31	43.7
2	105	15	48.3	28	32	4.1
3	105	10	28.1	28	35	37.8
4	105	4	37.4	28	34	39.3
5	105	3	43.4	28	33	11.8
6	105	1	26.1	28	33	9.6
7	105	4	11.2	28	29	40.9
8	105	7	39.9	28	24	33.8
9	105	6	13.4	28	22	41.0
10	105	6	38.6	28	18	0.5
11	105	15	16.7	28	13	27.8
12	105	11	7.3	28	10	17.6
13	105	12	0.1	28	6	4.6
14	105	10	47.2	28	0	40.9
15	105	9	32.7	28	0	31.0
16	105	8	42.4	27	54	12.0
17	105	0	41.3	27	49	21.7
18	105	0	14.1	27	45	44.1
19	105	4	4.3	27	43	33.6
20	105	8	13.7	27	43	14.3
21	105	14	30.2	27	43	22.7
22	105	17	9.8	27	46	13.7
23	105	20	37.2	27	45	1.8
24	105	23	2.9	27	46	26.0
25	105	27	19.5	27	44	10.5
26	105	24	33.3	27	38	25.6
27	105	24	34.7	27	31	2.1
28	105	37	48.5	27	41	48.5
29	105	45	1.8	27	42	7.4
30	105	35	20.9	27	55	13.6
31	105	37	58.2	28	9	9.6
32	105	37	40.2	28	15	46.7
33	105	41	59.6	28	20	16.6
34	105	45	24.7	28	26	16.3
35	105	37	21.5	28	27	9.2
1	105	28	25.5	28	31	43.7

De acuerdo con la división política del estado de Chihuahua, el acuífero abarca de manera parcial a los municipios de Rosales, Julimes, Saucillo, La Cruz, San Francisco de Conchos, así como casi en su totalidad los municipios de Delicias y Meoqui.

Entre las poblaciones principales que se localizan en el municipio de La Cruz se encuentran La Cruz, así como la estación La Cruz, en el municipio de Meoqui se localizan entre otros poblados Lázaro Cárdenas, Estación Consuelo y Meoqui, dentro del municipios de Julimes se encuentra la población del mismo nombre, dentro del municipio de Rosales se localizan las poblaciones de Rosales, Ortiz y El Molino entre otras. En el municipio de Delicias se ubican las poblaciones Ciudad Delicias, Abraham González, Terrazas, así como Miguel Hidalgo, en cuanto al municipio de Saucillo se pueden citar las poblaciones Saucillo, Las Varas, Estación Conchos y Naica.

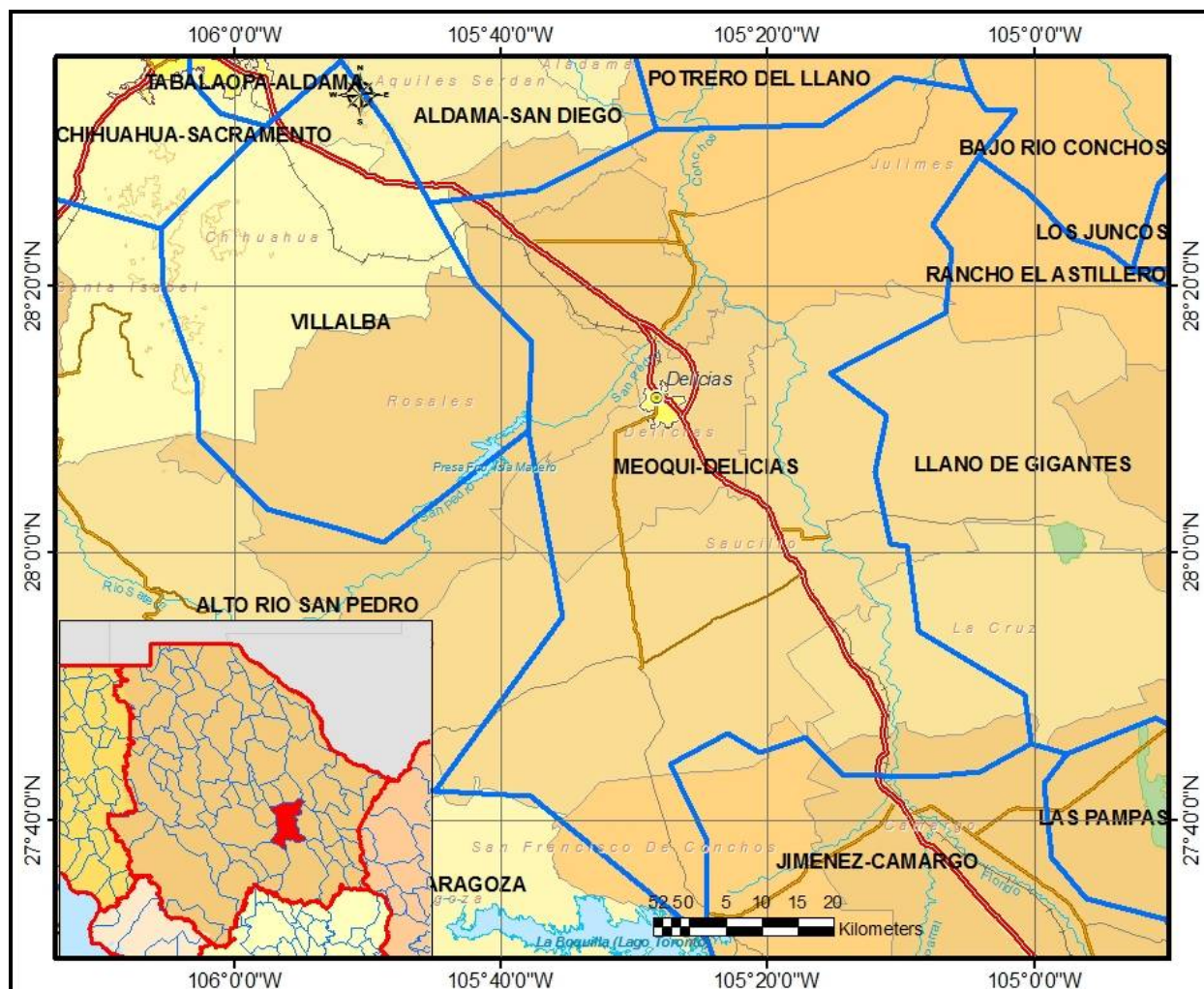


Figura No. 1. Localización del acuífero.

## 1.2 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO

El acuífero Mecoqui-Delicias pertenece a la Región Administrativa VI Río Bravo. Actualmente no cuenta con un Comité Técnico de Aguas Subterráneas, COTAS

En el acuífero se encuentra en vigor el decreto de veda “Zona de Delicias” publicada en el DOF el 16 de julio de 1962, el cual abarca parcialmente los municipios de La Cruz, Julimes, Delicias, Rosales y Saucillo; y la totalidad de Meoqui. La superficie restante del acuífero se encuentra en zona de libre alumbramiento.

En su primer artículo el Decreto establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona de Delicias, estado de Chihuahua que comprende una superficie mínima de 4347 km<sup>2</sup>, considerada como el sector V, que comprende los municipios de Aldama, Aquiles Serdán, Camargo, Delicias, Julimes, La Cruz, Meoqui y Rosales, que se delimita según los puntos descritos en dicho decreto.

Artículo 2°. De conformidad con lo dispuesto por el artículo 11 del Reglamento de la Ley de fecha 29 de diciembre de 1956, en materia de agua del subsuelo, la presente veda queda clasificada dentro de la fracción III.

Artículo 3°. Excepto cuando se trate de alumbramientos para usos domésticos, a partir de la fecha en que este Decreto entre en vigor, nadie podrá efectuar alumbramientos de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada sin previo permiso por escrito de la autoridad del agua, la que sólo lo expedirá en los casos en que, de los estudios respectivos, deduzca que no se causarán los daños que con el establecimiento de esta veda tratan de evitarse. Al efecto, los interesados en alumbrar aguas del subsuelo dentro de la zona vedada, inclusive compañías y contratistas particulares que las realicen, no podrán efectuarlas sin contar previamente con el permiso correspondiente, y de obtenerlo, estarán obligados a realizar las obras de conformidad con las especificaciones que en el permiso se fijen por la propia autoridad.

De acuerdo a la Ley Federal de Derechos (LFD) en Materia de Agua 2007, los municipios de comprende en acuífero se encuentran en zona de disponibilidad 4, excepto San Francisco de Conchos que está en zona de disponibilidad 3.

En el acuífero Mecoqui-Delicias queda comprendido casi en su totalidad el Distrito de Riego (DR) 005 Delicias, quien es el mayor usuario del agua, tanto superficial como subterránea. A su vez, el acuífero se encuentra localizado dentro del Distrito de Desarrollo Rural (DDR) 013, Delicias. Existen además algunas Unidades de Riego para el Desarrollo Rural

## 2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

### **Estudio Geohidrológico preliminar de la zona de Mecoqui-Delicias, realizado en 1969, para la SRH.**

El primer estudio geohidrológico fue de carácter preliminar. Sus objetivos fueron llevar a cabo un censo de aprovechamientos, conocer su régimen de operación y los volúmenes de extracción, recopilación de cortes geológicos, nivelación de brocales, recopilación de la piezometría existente y la realización de pruebas de bombeo de corta duración. Se incluyeron además determinaciones fisicoquímicas hechas en el laboratorio del Distrito de Riego y mediciones piezométricas.

### **Estudio de factibilidad técnica, económica y financiera para la rehabilitación, integración y ampliación del Distrito de Riego No. 05 de Ciudad Delicias, Chihuahua, realizado en 1973 para la SRH.**

Fue realizado durante 1971-1973, quedando incorporado a un estudio integral de factibilidad técnica, económica y financiera para la rehabilitación, integración y ampliación del Distrito de Riego No. 05.

Presenta censo de aprovechamientos del agua subterránea, volúmenes de extracción, nivelación de brocales, geología superficial, geofísica, geoquímica aspectos piezométricos, reporte de perforaciones de estudio, eficiencias de los equipos de bombeo así como la evaluación del recurso agua subterránea. En cuanto al censo de aprovechamientos de agua subterránea, contenían en total 583 alumbramientos, 490 eran pozos profundos, 81 norias y 12 manantiales. El volumen anual extraído en 1973 era del orden de 129 hm<sup>3</sup>/año, para diversos usos.

Se indica que las fronteras laterales de este acuífero, están representadas por rocas volcánicas prácticamente impermeables, de igual manera, estas mismas rocas junto con las calizas del Cretácico Inferior funcionan como basamento geohidrológico.



### **Políticas de operación del acuífero de Delicias, Chihuahua (IGAMSA, 1990)**

En él se aborda el tema de las políticas de operación para el adecuado funcionamiento del distrito de riego.

### **Diagnóstico operativo del Distrito de Riego 005, Delicias, realizado para la CNA en 1993.**

Sus objetivos fueron establecer las condiciones de operación del distrito de riego que están relacionadas con ella así como las posibles causas y opciones para su mejoramiento; de igual forma definir aspectos importantes del Distrito, para que las autoridades de la Comisión Nacional del Agua (CNA), pudieran disponer de elementos de juicio y análisis para plantear, decidir y ejecutar acciones, programas y estrategias que incidan finalmente en la operación.

Concluye que la situación socioeconómica del Distrito de Riego puede considerarse como media-alta, aunque con zonas de rezago, ineficiencia y desventaja. Existen muchos aspectos que requieren mejoría, algunos de los cuales podrían solucionarse a corto plazo (aspectos humanos, por ejemplo la organización), y otros requieren de mayor tiempo (por ejemplo aspectos técnicos).

### **Estudio de la calidad del agua y el uso de fertilizantes y plaguicidas en los municipios de Delicias, Rosales y Meoqui del estado de Chihuahua (Luz R. Saucedo, Tesis de posgrado. 1995).**

Se aborda la determinación cualitativa de los parámetros de calidad de las aguas, particularmente orientado al caso de plaguicidas residuales y excedentes de fertilizantes. Entre sus conclusiones se menciona que el agua superficial mostró de manera general una calidad adecuada para riego, incluso para ser considerada como una posible fuente de abastecimiento de agua potable, mediante tratamiento. Ubica la zona de recarga del acuífero en la parte oeste del mismo, al pie de la Sierra Alta, mostrando una dirección del flujo de este a oeste y de sudoeste hacia noreste.

### **Estudio de simulación hidrodinámica y diseño óptimo de las redes de observación de Delicias, realizado para la CNA en 1996.**

En este estudio se aborda el modelo matemático hidrodinámico y el diseño de la red óptima de pozos piloto de observación, siendo éstos sus objetivos principales. El modelo que se realizó solo contempla la zona norte del acuífero, por lo que sus resultados deben ser considerados con precaución. Se recomienda recabar más información piezométrica y elevaciones confiables de los brocales; realizar un mayor número de pruebas de bombeo y retroalimentar al modelo a medida en que se cuente con más y mejor información.

### **Estudio de reactivación de la red de monitoreo piezométrico del acuífero Meoqui-Delicias, Chihuahua, realizado para la CNA en 1999.**

Comprende la reactivación de la red piezométrica de monitoreo, presentando las configuraciones de las curvas de igual elevación del nivel estático para ese año y las evoluciones para el periodo 1988-1999.

Concluye que se observa la presencia de un domo piezométrico al sur de Ciudad Delicias. La zona de recarga principal sigue siendo la serranía occidental, induciendo un flujo subterráneo hacia Meoqui, para después proseguir con rumbo NE, hacia Julimes.

También ubica una zona de recarga en la porción oriental, a pie de la sierra, y del río Conchos que contribuye de manera importante a la recarga del acuífero. Este flujo se une con el proveniente del oeste, para después cambiar su rumbo hacia Julimes. El abatimiento promedio anual varía de 2.5 a 3 m en la zona de mayor descenso, localizada al sur y sureste de Ciudad Delicias, aunque también se observan zonas de recuperación.

**Actualización del Estudio Geohidrológico del Acuífero Meoqui-Delicias, Chihuahua, realizado en 2005 para el Banco de Desarrollo de América del Norte, bajo la supervisión técnica de la CONAGUA.**

Planteó como objetivos principales la actualización del conocimiento hidrogeológico del acuífero y del modelo de simulación hidrogeológica realizado en 1996, así como determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea.

Para ello, elaboró un modelo de simulación que comprende a todo el acuífero, tratando de reproducir de una forma más confiable su comportamiento hidrodinámico, con información de extracciones obtenidas mediante el censo de aprovechamientos subterráneos que se realizó. Una vez calibrado el modelo, se plantearon diferentes escenarios de extracción para predecir el comportamiento de los niveles del agua.

Con base en la información obtenida se hace un balance de aguas subterráneas señalando que la recarga total del acuífero es del orden de  $211 \text{ hm}^3/\text{año}$ , mientras que su descarga es de aproximadamente  $334 \text{ hm}^3/\text{año}$ , situación que ha ocasionado la sobreexplotación del acuífero.

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 PROVINCIA FISIOGRÁFICA**

El área se localiza en la provincia fisiográfica denominada Cuencas y Sierras (Erwin Raisz, 1964), en el centro norte de la República Mexicana, la cual comprende parte de los estados de Chihuahua, Zacatecas y Durango.

La porción norte de esta provincia se caracteriza por ser una superficie desértica, de la que sobresalen dispersas sierras plegadas y falladas, separadas por amplias llanuras constituidas por depósitos continentales y lacustres. Existen dentro de ella rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, conformando elevaciones que oscilan entre los 1,350 y 1,850 msnm.

#### **3.2 CLIMA**

El clima predominante en la zona del acuífero, de acuerdo con la clasificación de Köppen, es BW<sub>hw</sub>, el cual se clasifica como muy árido, semicálido, con temperatura media anual entre  $18^{\circ}\text{C}$  y  $22^{\circ}\text{C}$ , con lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. Hacia la porción sur el clima predominante es del tipo BS<sub>ohw</sub>, el cual se clasifica como árido, semicálido, temperatura entre  $18^{\circ}\text{C}$  y  $22^{\circ}\text{C}$  con el mismo régimen de lluvias invernales.

#### **Temperatura media anual**

La temperatura media anual en la estación climatológica Delicias es de  $20.1^{\circ}\text{C}$ , con mínima media de  $6.4^{\circ}\text{C}$  y máxima media de  $33.7^{\circ}\text{C}$ , sin embargo según INEGI la temperatura media anual de toda la zona es del orden de  $18^{\circ}\text{C}$ .

### **Precipitación media anual**

La precipitación media anual en la misma estación es de 284 mm, estimada en el período 1990-2004. Asimismo, también según la información del INEGI el promedio es del orden de 300 mm/año.

### **Evaporación potencial media anual**

Debido al fuerte movimiento agrícola de la zona, es más representativo considerar el concepto de evapotranspiración antes que el de evaporación, ya que éste toma en cuenta la cantidad de agua consumida y transpirada por los cultivos durante el periodo de crecimiento. Por lo anterior el valor estimado de la evapotranspiración es de 345 mm.

## **3.3 HIDROGRAFÍA**

Los escurrimientos más importantes están representados por el río Conchos y sus afluentes: Parral, Florido, San Pedro y Bachimba.

El escurrimiento está integrado principalmente por escurrimientos por cuenca propia, escurrimientos aguas arriba provenientes de la Presa La Boquilla, Presa Francisco I. Madero y del río Florido, así como de los retornos de riego. Cabe señalar que los flujos base son muy pequeños, debido en parte a que la profundidad de los niveles estáticos en el acuífero son inferiores al lecho del río.

En cuanto al escurrimiento originado por lluvias, aún cuando se cuenta con dos estaciones hidrométricas, no se dispone de una medición precisa para determinar el volumen que escurre por el río Conchos provocado exclusivamente por la precipitación, debido a que el agua que fluye por el río está integrado por agua de lluvia, de escurrimientos aguas arriba, así como de aguas de retornos de riego entre otros.

La zona pertenece a la Región Hidrológica No. 24, Bravo-Conchos. Subregión Río San Pedro en su parte Oeste, así como en la subregión Cuenca río Conchos, Presa El Granero en su parte Este. Cuenca del Río Conchos

A pesar de que la Presa La Boquilla se encuentra fuera del área, tiene influencia en el acuífero dado que parte de sus aguas, junto con las de la presa Francisco I. Madero, se utilizan en el Distrito de Riego 05, el cual se encuentra casi en su totalidad dentro de este acuífero. Adicionalmente, existen zonas en la porción noroeste que se irrigan exclusivamente con aguas subterráneas. Es importante mencionar que la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), engloba sus estadísticas de producción agrícola a escala de centros de apoyo, municipios y Distritos de Desarrollo Rural (DDR). Por otro lado, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), sólo hace acopio de información estadística de superficies regadas y volúmenes utilizados en los distritos de riego (DR). No existe dependencia gubernamental que concentre estadísticas de volúmenes utilizados en las Unidades de Riego para el Desarrollo Rural (URDERAL).

## **3.4 GEOMORFOLOGÍA**

Tomando en cuenta la geomorfología del área, se identifica la presencia de cuatro unidades hidrogeomorfológicas, entre las cuales las de mayor importancia hidrogeológica y las que

ocupan la mayor extensión son las que constituyen el valle y la zona de transición hacia las sierras (pie de monte). Debido a su permeabilidad, constituyen os acuíferos más importantes de la región.

La unidad geomorfológica Pie de Monte, está formada por depósitos conglomeráticos constituidos por clásticos de granulometría variada que funciona como unidades transmisoras del agua proveniente de las sierras y abanicos aluviales.

El valle es la unidad geomorfológica de mayor presencia dentro del marco geológico regional ocupando gran parte de la porción central del acuífero, se caracteriza por estar rellena de sedimentos de tipo continental entre los que destacan materiales de tipo aluvial y lacustre. Su topografía es de relieve suave de pendiente ligera.

#### 4 GEOLOGÍA

La geología superficial de la zona muestra la presencia de rocas sedimentarias e ígneas (figura No. 2). Desde el punto de vista hidrogeológico, las más importantes son las que conforman acuíferos y están representadas por las rocas de la Formación Aurora del Cretácico Inferior, constituida por calizas con permeabilidad secundaria por fracturamiento y disolución, que afloran en la mina de Naica y en las serranías localizadas al sur del acuífero. La otra unidad está compuesta por los materiales aluviales que junto con intercalaciones de derrames lávicos rellenan el subsuelo de los valles y en los que se encuentran alojados la gran mayoría de los pozos perforados en la planicie del Distrito de Riego.

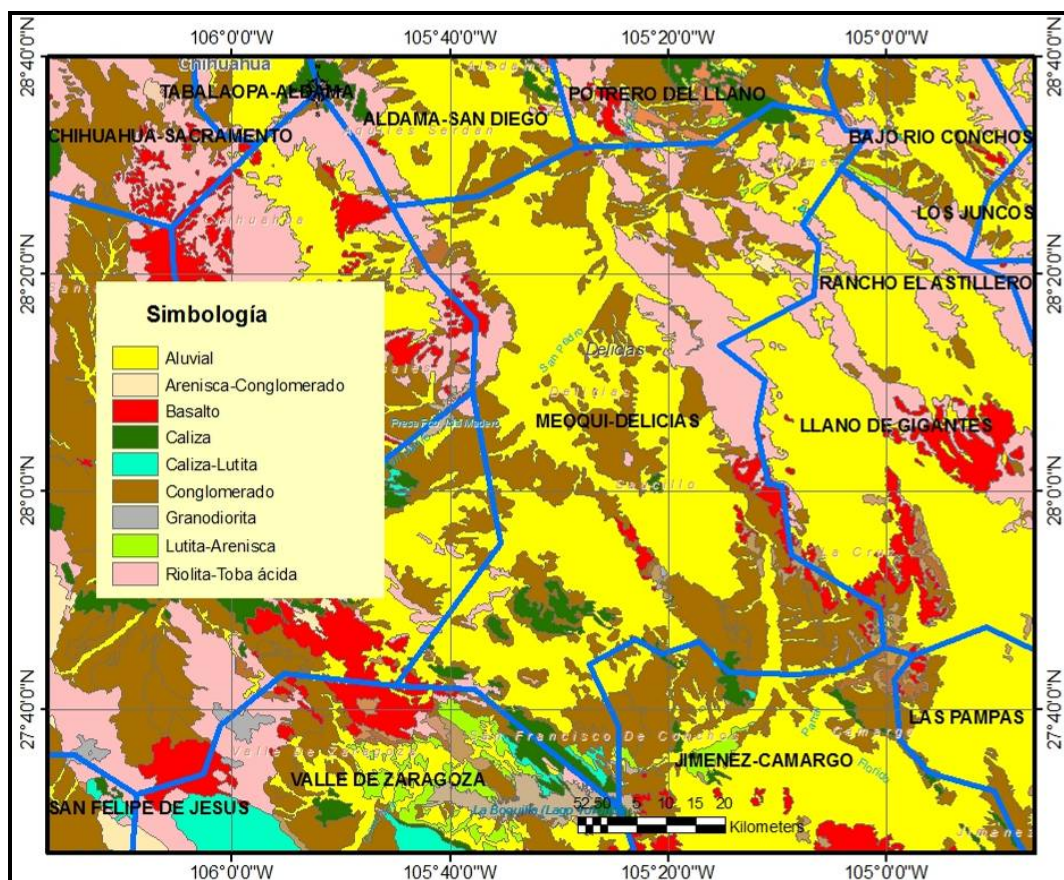


Figura No. 2. Mapa Geológico

## 4.1 ESTRATIGRAFÍA

La secuencia estratigráfica está integrada por rocas sedimentarias marinas y continentales e ígneas, que comprenden un registro cronoestratigráfico desde el Paleozoico hasta el Reciente, el cual se describe a continuación en orden cronológico, a partir de la unidad más antigua.

### **Paleozoico**

El Paleozoico está representado por un afloramiento de cuarcitas y areniscas, de extensión reducida, localizado en la Sierra del Cuervo; aunque su edad ha sido motivo de discusión, sus escasas dimensiones le restan importancia geohidrológica, además de que es prácticamente impermeable.

### **Jurásico**

Las rocas asignadas a esta edad corresponden a las más antiguas del Mesozoico y se identifican como Formación La Casita. Consiste en alternancias de lutitas, areniscas y capas de calizas, que por su granulometría y grado de cementación son consideradas como unidades impermeables para fines hidrogeológicos. Estas dos unidades no afloran en el área.

### **Cretácico Inferior**

Dentro del Cretácico Inferior han sido reconocidas las formaciones Las Vigas, Cuchillo y Aurora. La primera está constituida por lutitas, areniscas y calizas que funcionan como rocas prácticamente impermeables. Cubriendo a Las Vigas, se presenta la segunda de las formaciones, constituida por una alternancia de yesos, calizas y areniscas que por su granulometría y grado de cementación se consideran también impermeables.

La Formación Aurora comprende una serie de estratos calizos con nódulos de pedernal, concreciones, fósiles y microfósiles, afectados por fracturas y conductos de disolución, que en ocasiones llegan a formar verdaderas cavernas. Sus afloramientos son aislados, predominando en la porción sur. En la parte central del acuífero forman parte de las Sierras Alamillo y Savonarola, así como de las minas San Antonio y Naica, donde ocasionan serios problemas para desalojar el agua subterránea debido a los volúmenes importantes de agua subterránea que aportan. Es por ello que la Formación Aurora tiene un gran interés geohidrológico por su potencial como acuífero. Funciona en algunas partes como acuífero confinado y como libre cuando aflora, y hasta semiconfinado cuando está cubierto por materiales menos permeables de otras unidades litológicas, como los conglomerados localizados a pie de las sierras calizas.

### **Cretácico Superior**

Corresponden a esta edad una alternancia de lutitas y areniscas calcáreas de muy baja permeabilidad, que en ocasiones descansan en forma concordante sobre la Formación Aurora.

Por lo que respecta a las rocas sedimentarias, todas estas unidades litológicas están constituidas por materiales cuya permeabilidad variable puede clasificarse como media, dadas sus características granulométricas, nivel de consolidación y grado de cementación. Debido a su fracturamiento tienen permeabilidad alta las tobas y riolitas, andesitas-basálticas y basaltos. Las unidades litológicas con permeabilidad media son los conglomerados continentales, las gravas, arenas, calizas lacustres y los derrames de riolitas debido la presencia de fracturas. Por último, las unidades con permeabilidad baja comprenden a los depósitos lacustres y las tobas riolíticas.

ROCAS SEDIMENTARIAS		
ERA	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
CUATERNARIO	Qe	Depósitos Eólicos.- Formados por arenas y limos que por su granulometría presentan una mediana permeabilidad, funcionando como transmisores del agua hacia el subsuelo.
	Ql	Depósitos Lacustres.- Distribuidos en la porción nor-central del área y formados por arcillas con costras de caliche, presentan baja permeabilidad; por su pequeña extensión no representa importancia geohidrológica.
	Qli	Depósitos de Llanura de Inundación.- Se localizan principalmente en las vegas de los ríos, constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas, presentan alta permeabilidad en las arenas y gravas de los meandros abandonados y baja en las arcillas y limos.
	Qal	Depósitos Aluviales.- Distribuidos por las grandes planicies, consisten en arenas y limos. Presentan alta permeabilidad en las partes arenosas y baja en los limos, funcionando como transmisores del agua hacia rocas del subsuelo.
	Qf	Depósitos Fluviales.- Formados por gravas arenas y limos, presentan alta permeabilidad, son los mejores transmisores de agua hacia rocas del subsuelo, y a través de ellos se realiza buena parte de la recarga de los acuíferos.
	Qp	Depósitos de Pie de Monte.- Representados por clásticos gruesos, cantos, gravas y arenas. Por su granulometría presentan buenas características para la infiltración.
	Qab	Abanicos Aluviales Recientes.- Se presentan en los flancos de las sierras; formados por gravas y arenas presentan alta permeabilidad, funcionan como transmisores del agua proveniente de las sierras hacia rocas del subsuelo.
	Qg	Abanicos Aluviales Antiguos y Gravas.- Afloran en las partes bajas de las sierras y en las partes centrales de las planicies formando terrazas, están compuestos por gravas, arcillas y limos, representando junto con los fluviales los principales rellenos de las cuencas. Son buenos transmisores y productores de agua cuando se encuentran abajo del nivel de saturación.
TERCIARIO	Tct	Terciario Continental El Tigre.- Este grupo consta de tres miembros; su parte inferior constituida por gravas calcáreas principalmente, de color café rojizo; en su parte media por calizas lacustres y hacia arriba por gravas de origen calcáreo e ígneo.
	Tc	Terciario Continental.- Es un conglomerado de color café rojizo, compuesto por clásticos principalmente de roca volcánica y en menor proporción de calizas, empacados en una matriz arenosa, grano grueso y bien cementada con carbonato de calcio (CaCO <sub>3</sub> ), es impermeable, no se conocen pozos productores de agua en esta unidad.
CRETÁCICO	Ks	Cretácico Superior.- Formada por alternancia de estratos delgados, de areniscas de grano fino a mediano, de color café rosado a verde olivo; lutitas fósiles de color gris a verde olivo y calizas de color gris claro a oscuro. Impermeable debido a la presencia de estratos de areniscas y lutitas bien cementadas. Esta unidad funciona como confinante.
	Kia	Formación Aurora.- Constituida por calizas de capas gruesas a medias, de grano fino a medio, de colores que varían del gris amarillento a café amarillento y de gris claro a gris oscuro, fosilífera, con nódulos de pedernal, con oquedades de disolución y fracturamiento abundante. Se presenta distribuida en gran parte del área. Presenta alta permeabilidad a través de sus oquedades de disolución y fracturamiento, constituyendo un buen acuífero debido a la presencia de manantiales que afloran en estas calizas.
	Kic	Formación Cuchillo.- Consiste en lutitas oscuras y yeso sacaroides con interestratificaciones delgadas de caliza, de color gris en el límite superior, lutitas de color verde olivo y areniscas de color café rosado; estas rocas son impermeables por la estructura masiva de los yesos y funcionan como confinantes.
ROCAS ÍGNEAS		
UNIDADES	DESCRIPCIÓN	
Tsb	Terciario Superior Basalto.- Distribuidas estas rocas en gran parte del área, constituyen en ocasiones grandes coladas, de color negro conteniendo gran cantidad de vesículas, se presentan fracturadas. De permeabilidad excelente a través de sus fracturas, vesículas y brechas basales, pueden constituir buenos acuíferos cuando se encuentran debajo de la zona de saturación, en caso contrario funcionan como buenas transmisoras hacia rocas subyacentes.	
Tv	Derrames de Riolitas y Tobas.- Compuestos por alternancias de riolitas fluidales y esferulíticas, pórfidos riolíticos y tobas de colores que varían del café rojizo a café amarillento y gris claro; estas rocas manifiestan permeabilidad mediana por la presencia de fracturas.	
Tvr	Riolitas.- Consisten principalmente de riolitas fluidales esferulíticas y brechas riolíticas de colores que varían de café rosado y gris claro al café rojizo. Permeabilidad media a través de brechas basales y fracturas.	
Tvt	Tobas.- Consiste principalmente en su parte inferior por tobas arenosas, tobas soldadas y brechas tobáceas de colores que varían del blanco al café rosado y al café amarillento, debido a su constitución se les considera una permeabilidad baja, y funcionan como confinantes de las rocas que les subyacen.	

Fuente: Estudio de Factibilidad técnica, económica y financiera para la rehabilitación del DR No. 5 Ciudad Delicias. SRH, 1973.

Cabe aclarar acerca de los conglomerados continentales, que el afloramiento localizado entre Ciudad Camargo y la mina La Perla, ya fuera del área del acuífero, es prácticamente impermeable por su grado de consolidación y cementación. Es fácil de identificar por su color rojo.

### **Cuaternario**

Dentro del cuaternario se distinguen a) los abanicos aluviales antiguos con gravas, expuestos en los márgenes del río Chuvistar, que son clásticos aluviales que ocupan las estribaciones de las sierras, b) los depósitos de pie de monte en los taludes de las sierras, c) depósitos fluviales, d) depósitos aluviales y e) depósitos lacustres y de llanura de inundación. Todas estas unidades presentan permeabilidades variables entre media y alta, excepto los depósitos lacustres que se clasifican con permeabilidad media a baja, no obstante, pueden funcionar como acuitardos que transmiten agua hacia las unidades que las subyacen.

En resumen y de acuerdo con lo antes descrito, se distinguen dos tipos de acuíferos, aquellos constituidos principalmente en materiales clásticos granulares que rellenan los valles de Meoqui, Delicias, Loma Larga, Moncayo, Santa Rita y Naica, este último de origen tectónico, así como los acuíferos constituidos en rocas volcánicas fracturadas.

## **4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL E HISTORICA**

La zona se encuentra ubicada dentro de la provincia fisiográfica de cuencas y sierras, misma que se caracteriza por contener áreas desérticas, en las cuales se levantan sierras plegadas y falladas de manera dispersa, separadas por amplias llanuras rellenas de depósitos aluviales y lacustres con orientación general de NW - SE.

Los bolsones o planicies están representados por los valles de Delicias, Loma Larga, Moncayo, Santa Rita, Naica y la porción norte del Valle de Jiménez. Los plegamientos marcan un dren estructural noroeste sureste consistiendo de anticlinales paralelos entre sí, correspondiendo a los anticlinales simétricos las sierras de San Diego, Roque y El Cuervo, las cuales están constituidas por rocas de la Formación Aurora.

Las mesetas son extensos derrames de basaltos que se localizan en la porción sur del levantamiento; geohidrológicamente están sumamente fracturados por lo que funcionan como transmisores del agua infiltrada.

Como consecuencia de la Orogenia Laramide, ocurrida a finales del Cretácico Superior y principios del Terciario Inferior, la columna sedimentaria del Cretácico Superior es plegada y fuertemente fallada, como producto de un sistema de fuerzas unilaterales provenientes del suroeste, dando como resultado una serie de anticlinales y sinclinales paralelos.

Posteriormente a la Orogenia Laramide, se desarrollaron una serie de movimientos con posible asociación inicial de isostasia, efectuándose la etapa de vasculamientos de bloques del basamento, que afectaron a la columna sedimentaria con un sistema de fallas normales, de magnitud y desplazamientos variables, generalmente paralela y/o transversales a las estructuras, con movimientos periódicos representados por la erosión y cambio de la topografía de esta provincia.

El vulcanismo existente en esta provincia, coincide aproximadamente con la etapa de finalización de la Orogenia Laramide, ocurrida hace aproximadamente 40 millones de años, es en este periodo cuando disminuye el movimiento acelerado de la placa norteamericana,







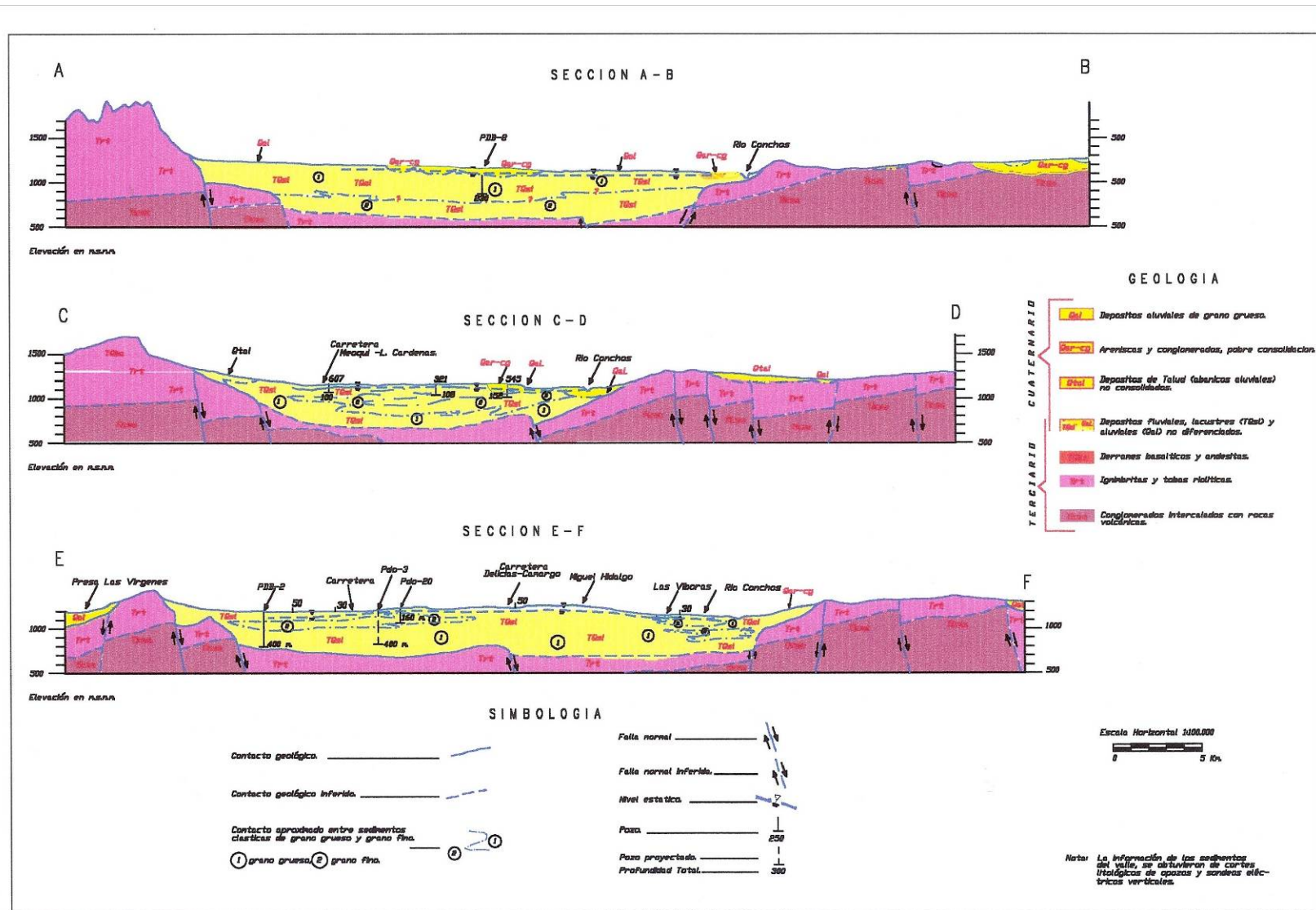


Figura No. 4 Secciones Geológicas

En estas secciones el contacto con la Formación Aurora se puede inferir a partir de la parte inferior de las vulcanitas mostradas en las secciones. De esta forma, dentro del acuífero se pueden considerar tres paquetes o unidades hidrogeológicas, la primera asociada a los rellenos, la segunda a las vulcanitas y la tercera a las calizas de la Formación Aurora, unidad que aflora en la parte sur del acuífero.

## 5 HIDROGEOLOGÍA

De acuerdo con la estratigrafía, las rocas se pueden agrupar en 3 unidades hidrogeológicas en función de sus valores cuantitativos de conductividad hidráulica (Tabla No. 2)

**Tabla No. 2. Características de permeabilidad de las unidades geológicas**

Agrupar materiales de permeabilidad alta	Depósitos aluviales y depósitos de pie de monte, andesitas basálticas, basaltos y las calizas de la Formación Aurora
Agrupar materiales de permeabilidad media	Conglomerados, gravas, arenas y calizas lacustres; tobas riolíticas y riolitas.
Agrupar materiales de permeabilidad baja	Rocas del Paleozoico, Jurásico y formaciones Las Vigas y Cuchillo, alternancia de lutitas y areniscas calcáreas del Cretácico Superior, tobas riolíticas y conglomerados rojos continentales.

En el primer grupo se incluye a los materiales de permeabilidad alta como son los depósitos aluviales y de pie de monte del Cuaternario continental, así como a las calizas de la Formación Aurora. Los dos primeros son materiales granulares del Terciario y Cuaternario que contienen al acuífero actualmente en explotación. La Formación Aurora, perteneciente al Cretácico Superior, aloja un acuífero aún no explotado, seguramente por su gran profundidad, pero potencialmente de gran importancia. El acuífero establecido en los materiales granulares funciona como libre y tiene un espesor considerable, alcanzando valores de hasta 500 m.

Las vulcanitas, tobas y riolitas, andesitas basálticas y basaltos presentan una buena permeabilidad secundaria; este, paquete está cubierto por los materiales granulares de relleno. Cuando estas rocas afloran en superficie funcionan como zonas de recarga.

El tercer grupo contiene a unidades litológicas de permeabilidad baja, es decir las rocas del Paleozoico, Jurásico y las formaciones Cuchillo y Las Vigas del Cretácico. Todas estas unidades están en contacto directo y pueden considerarse como el basamento geohidrológico regional, que sustenta a la Formación Aurora.

En cuanto a las fronteras de este acuífero, éstas están representadas por las ignimbritas y rocas volcánicas riolíticas que lo limitan lateralmente. De igual manera, estas mismas rocas junto con las calizas del Cretácico Inferior funcionan como basamento geohidrológico.

### 5.1 TIPO DE ACUÍFERO

El acuífero Mecoqui-Delicias es en manera general de tipo libre, con presencia de condiciones locales de semiconfinamiento debido a la existencia de lentes arcillosos o de rocas volcánicas compactas. Está constituido por sedimentos clásticos de granulometría variada, que alcanzan un espesor de hasta 600 m en las porciones centro y norte. Las rocas carbonadas que subyacen a los depósitos clásticos constituyen otro acuífero potencial que no ha sido aún explorado, pero que se conoce por las obras mineras que se desarrollan en la región.

## 5.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

En cuanto a las características hidrodinámicas, de acuerdo con los resultados de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas con anterioridad, se determinaron valores extremos para la T de 1382 m<sup>2</sup>/día y 19.8 m<sup>2</sup>/día. Sin embargo, se considera que los valores promedio de este parámetro oscilan entre los 50 y 500 m<sup>2</sup>/día.

De la información disponible para este acuífero, se observa que existe una gran variación en los valores de los parámetros hidrodinámicos. Como parte del proceso de calibración, en el modelo de simulación realizado en el estudio de actualización (2005), fue necesario ajustar por ensayo y error los valores iniciales obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo. Los valores de conductividad hidráulica horizontal que resultaron de este proceso varían de 0.03 a 10 m/día para las distintas capas que constituyen la discretización vertical del dominio.

## 5.3 PIEZOMETRÍA

Aunque no se cuenta con un registro continuo, existe información piezométrica que ha permitido la elaboración de configuraciones de los niveles estáticos para los años 1992, 1996, como parte de los estudios de evaluación desarrollados. Dichas configuraciones y las elaboradas con la piezometría recabada durante el estudio de 2005, son la que se describen a continuación.

## 5.4 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

### 5.4.1 Profundidad al nivel estático.

La configuración para el año 1972 abarca todo el acuífero, En ella se puede observar que, de manera general los valores de profundidad al nivel estático variaban entre los 5 y 120 m. Para el año de 1996 la configuración muestra que los valores más altos se localizaban en la zona de la Colonia Oribe de Alba así como en las cercanías de la Colonia Lázaro Cardenas (figura No. 5).

Durante los trabajos de censo realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2005, se obtuvieron lecturas de profundidad al nivel estático que permitieron elaborar la configuración presentada en la figura No. 6. En ella se muestra que las profundidades mayores continúan registrándose en las zonas de las colonias Oribe de Alba y Lázaro Cárdenas, donde se registran valores de hasta 100 de profundidad al nivel estático. Los valores medios oscilan en los 20 y 60, en el área del distrito de riego la profundidad es menor debido a la influencia de los retornos de los excedentes del riego.

### Figura No. 5 Profundidad al nivel estático 1996

### Figura No. 6 Profundidad al nivel estático 2005

#### 5.4.2 Elevación del nivel estático

Con respecto a la elevación de los niveles estáticos, la configuración para 1972 indicaba que la zona de recarga principal provenía del sur, desde las estribaciones de la sierra La Venada señalada por las curvas de máximas elevaciones, 1350 y 1325 msnm. La posible recarga proveniente de Ciudad Camargo tendía a ser nula. A través del tiempo y con motivo de las extracciones por bombeo en el acuífero Jiménez-Camargo, vecino al sur, se ha interceptado el flujo subterráneo proveniente del sureste. A la altura de Ciudad Delicias y Meoqui el flujo general prosigue hacia el norte, recibiendo aportaciones de otra zona de recarga localizada hacia el occidente, por las serranías ubicadas en esta zona y por la sierra de Santo Domingo, ya fuera de los límites del acuífero; a partir de dicha población, se une al flujo principal para dirigirse hacia el NE con un rumbo franco hacia el cauce del río Conchos.

En la configuración del año 1996, figura No. 7, se ve claramente la tendencia de flujo desde a Colonia Oribe de Alba hasta el límite norte de la zona. En esta figura se aprecia que la dirección preferencial del flujo subterráneo es de sur a norte, pasando por el Distrito de Riego 05, hasta el arroyo Chuvскар, con una importante aportación proveniente del oeste. Por efecto combinado del bombeo y la recarga inducida por los excedentes del riego, las curvas equipotenciales han sufrido distorsiones, pero sin perder el sentido general del flujo.

La configuración más reciente corresponde al año 2005, en ella se observa que la dirección preferencial del flujo se mantiene; sin embargo se muestran distorsiones por bombeo en las inmediaciones de las Colonias Oribe de Alba y Lázaro Cárdenas (figuras Nos. 8 y 9).

#### 5.4.3 Evolución del nivel estático

Para analizar la evolución del nivel estático se consideró el periodo 1996-2005, observándose que los mayores abatimientos se presentaron en la Colonia Oribe de Alba, con valores hasta de cerca de 15 m en la zona donde se utiliza sólo agua subterránea para el uso agrícola, ya que queda fuera del área del Distrito 005, Delicias.

Le sigue en magnitud la zona de la Colonia Lázaro Cárdenas, también fuera del Distrito con un abatimiento de 9 m en el mismo periodo. Para la zona comprendida entre Delicias y Meoqui, el abatimiento registrado oscila entre 7 y 3 m (figura No. 10).



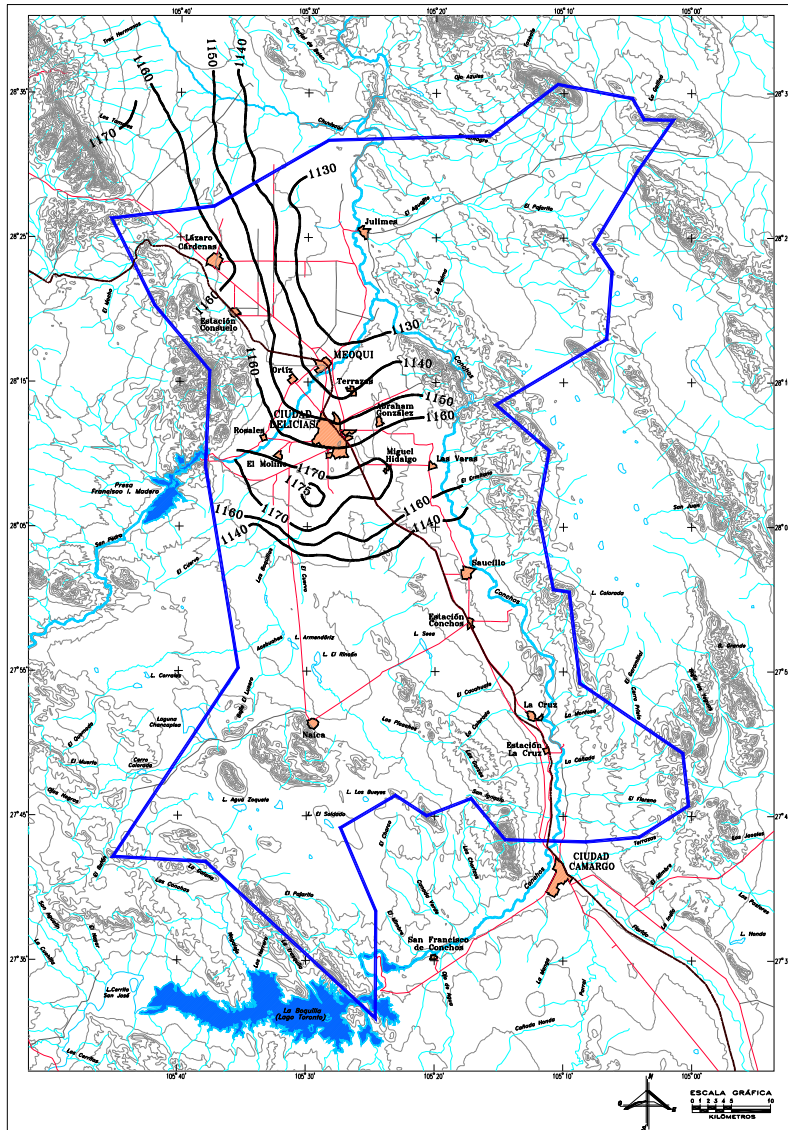


Figura No. 7 Curvas de igual elevación del nivel estático 1996

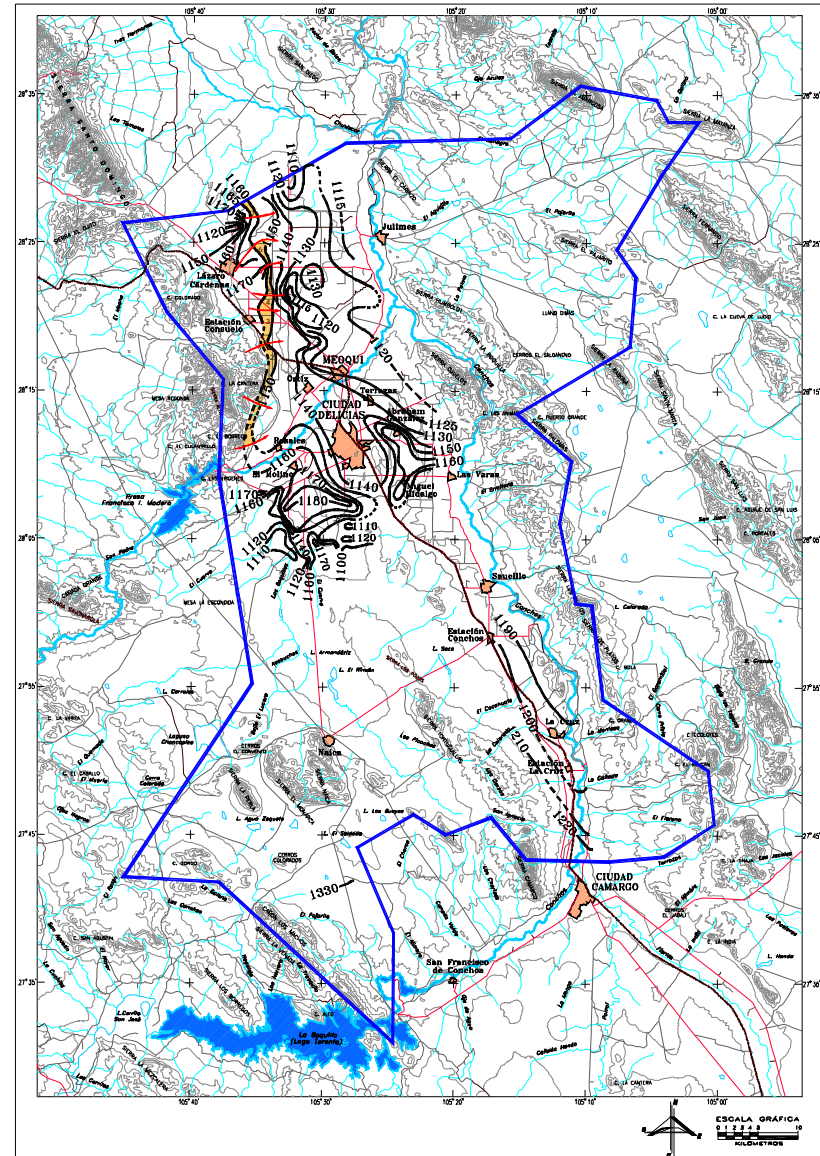
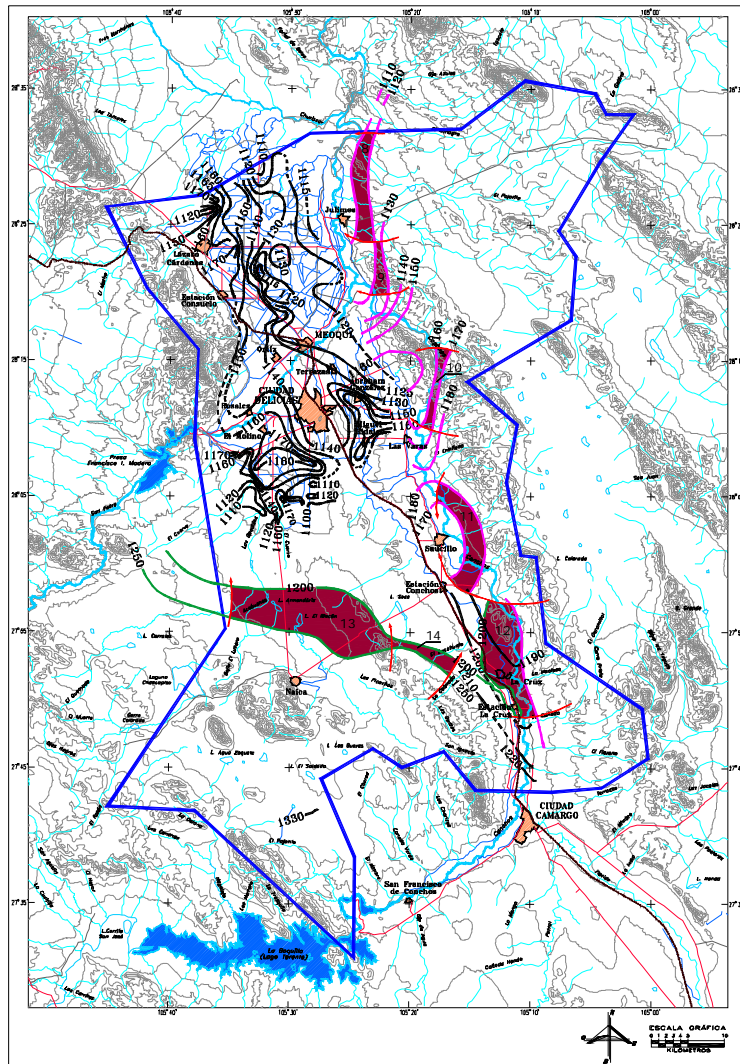
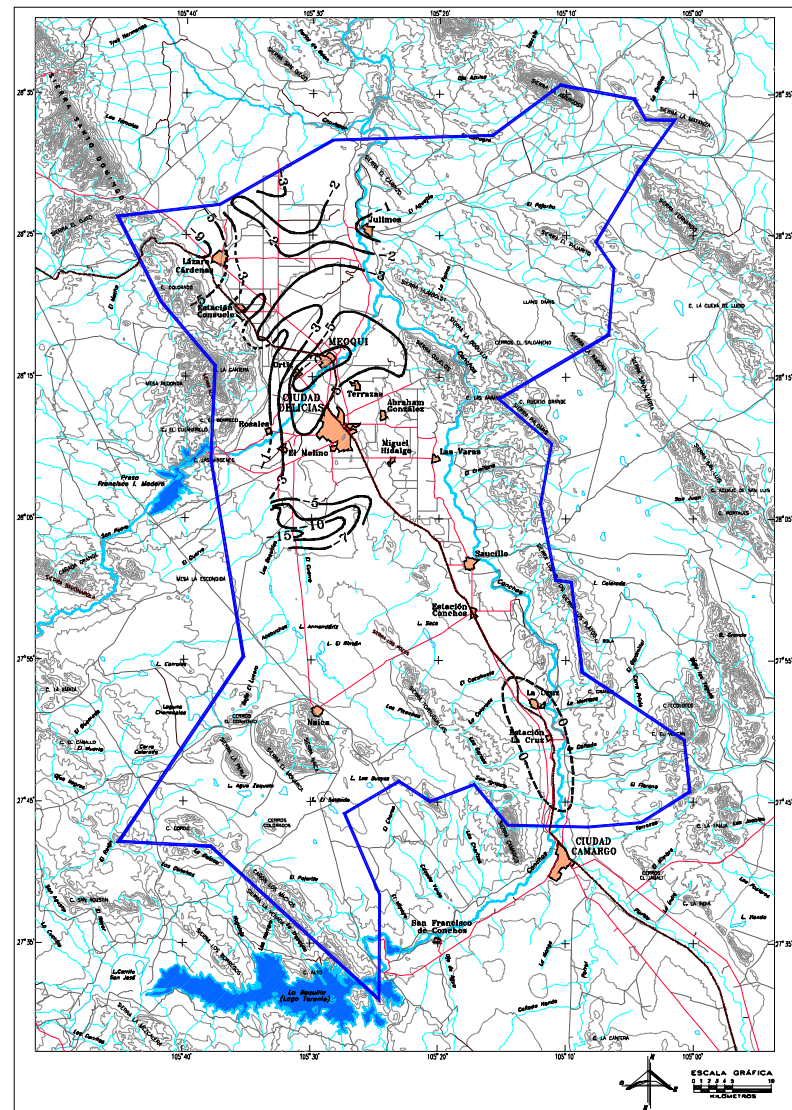


Figura No. 8 Curvas de igual elevación del nivel estático 2005





**Figura No. 9** Curvas de igual elevación del nivel estático 2005 (incluye datos de curvas correspondientes al año 1972 en color verde en el sur, así como línea finamente punteada en la parte oriente de color guinda)



**Figura No. 10** Curvas de igual evolución del nivel estático (1996-2005)

## 5.5 HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La información de 1973 reveló la presencia de concentraciones de sólidos totales disueltos que variaban de 300 a 3000 ppm, aunque estos últimos valores ocupan una superficie muy reducida; el promedio en el área considerada es de 800 ppm. Se realizaron otras determinaciones como cloruros, sulfatos, dureza total, boro; además de algunas relaciones entre sulfatos y cloruros.

La zonas de recarga están señaladas por las curvas de menores concentraciones, al pie de las serranías del poniente; Sierras La Gloria, Del Ojito, Rosales y del Pajarito, así como en la porción sur, en el angosto valle intermontano donde se desarrolla el canal principal Conchos, entre las poblaciones de Conchos y Ciudad Camargo.

Desde este punto de vista, los sentidos del flujo subterráneo reconocen un rumbo general SW-NE, proveniente de las serranías ubicadas al poniente de la zona. En el área ubicada al oriente del Distrito de Riego las concentraciones de 600 a 800 ppm, aumentan hacia el norte, alcanzando valores entre 2000 y 3000 ppm.

Respecto a la información de 1996, se concluyó que la zona principal de recarga del acuífero se localiza en su porción occidental, al pie de la Sierra Alta, y que las direcciones preferenciales del flujo subterráneo son en el sentido E-W y de SW hacia el NE. Menciona la existencia de tres familias de agua subterránea: sulfatada-cálcica entre el Canal Principal y el Río San Pedro; bicarbonatada-cálcica entre el Canal Principal San Pedro, cauce del río San Pedro y el Arroyo Bachimba, y bicarbonatada-sódica, entre el arroyo de Bachimba y el río Chuvistar.

## 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

En el año 2005, se identificó un total de 712 pozos, cuya distribución por usos se muestra en la tabla No. 4.

**Tabla No.4. Aprovechamientos subterráneos**

Uso	Pozos
Agrícola	494
Doméstico	23
Industrial	17
Pecuario	31
Público Urbano	140
Servicios	7
Total	712

El volumen total de extracción se estimó en 329.2 hm<sup>3</sup>/año, con la siguiente distribución por usos: (tabla No. 5).

**Tabla No. 5 Extracciones por pozos según censo del 2005**

<b>Agrícola</b>	294.9
<b>Público urbano</b>	23.1
<b>Industrial</b>	5.7
<b>Pecuario</b>	5.5
<b>Total</b>	329.2



## 7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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 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 de un acuífero:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento en el acuífero} \quad \dots (2)$$

### 7.1 ENTRADAS

Las entradas al acuífero Meoqui-Delicias están integradas básicamente por recargas naturales y recargas inducidas.

#### 7.1.1 Recarga natural

Esta recarga está constituida 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 en las zonas de pie de monte del área.

La recarga natural por lluvia, que se presenta en el área de las partes bajas, es del orden  $7.6 \text{ hm}^3/\text{año}$ , obtenida en un área de aproximadamente  $1050 \text{ km}^2$  (que corresponde a la zona de explotación localizada en el valle, para fines del balance), donde la lámina promedio de lluvia es de  $300 \text{ mm}$  y al considerar un valor de  $0.024$  de coeficiente de infiltración.

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:

$$\text{Infiltración} = \text{precipitación} - \text{evapotranspiración} - \text{escurrimiento}$$

Para determinar la evapotranspiración real (ETR), se hizo uso de la formula de Coutagne que indica:  $\text{ETR} = P - c P^2$

Donde:

ETR= Evapotranspiración real (m/año)

P = Precipitación (m/año)

c =  $1/(0.8+0.14T)$

T = Temperatura (en °C)

La precipitación promedio anual, de toda el área, es de  $300 \text{ mm/año}$ ; por lo que el volumen anual precipitado es del orden de  $1,449 \text{ hm}^3/\text{año}$  y la temperatura promedio anual es de  $18^\circ \text{ C}$ , valores que una vez sustituidos en la ecuación anterior, resulta una evapotranspiración real de

273.0 mm, que multiplicado por el área de 4,830 km<sup>2</sup> da un volumen total evapotranspirado de 1318.07 hm<sup>3</sup>/año.

El valor obtenido por Turc es de 302 mm, lo que resultaría una infiltración y escurrimiento nulo. Aún con la restricción de Coutagne, consistente en que si el valor de la precipitación es menor de 1/8c, se debe tomar el valor total de la precipitación, lo que también arrojaría valores nulos de la infiltración y el escurrimiento, por lo que se optó por tomar el valor obtenido directamente de la fórmula de Coutagne. Además si se considera que estas estimaciones se hacen a partir de experiencias empíricas y aplicables en todo el mundo y dan una idea aproximada y deben de ser acordes con la situación real y para el caso que nos ocupa existen escurrimientos superficiales.

En cuanto al escurrimiento originado por lluvias, aún cuando se cuenta con dos estaciones hidrométricas, no se dispone de una mediciones precisas para determinar el volumen que escurre por el río Conchos provocado exclusivamente por la precipitación, debido a que el agua que fluye por el río está integrado por agua de lluvia, de escurrimientos aguas arriba, así como de aguas de retornos de riego entre otros, por lo que a continuación se desarrolla el método por medio del cual se obtuvo el escurrimiento por cuenca propia.

El escurrimiento superficial se estimó de acuerdo a la metodología establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA, a través del coeficiente de escurrimiento anual (Ce), el cual está en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo, que en este caso es del orden de 0.24, por ser un suelo medianamente permeable y cubierto por pastizal en un área cercana al 50%, con lo cual se obtiene un coeficiente de escurrimiento del orden de 0.066, que multiplicado por el volumen precipitado proporciona un volumen de escurrimiento total de 95.63 hm<sup>3</sup>/año.

La expresión citada en la Norma indica que cuando  $K > 0.15$ , el coeficiente del escurrimiento anual está dado por:  $Ce = K [(P-250)/2000] + [(K-0.15)/ 1.5]$

Sustituyendo valores se llega a que  $Ce = 0.066$

Sustituyendo valores:

Infiltración = 1,449.00 – 95.63 – 1,318.07 = 35.30 hm<sup>3</sup>/año

Dividiendo el volumen infiltrado, entre el volumen precipitado, que es de 1,449 hm<sup>3</sup>/año, resulta un coeficiente de infiltración resultante del orden de 0.024.

Cabe señalar que la infiltración se produce tanto en los valles como en las partes altas de la cuenca, una parte de ella ingresa posteriormente al acuífero como entradas horizontales: De igual manera, no toda el agua infiltrada llega al acuífero sino que una parte es retenida en la zona no saturada, otra se evapora y otra puede salir como agua subálvea en los ríos.

#### 7.1.2 Recarga inducida

La recarga inducida está constituida principalmente por la infiltración vertical de los excedentes del riego que se realiza tanto con aguas subterráneas como con aguas superficiales, por las pérdidas en los canales de conducción y distribución asimismo como de las fugas de los sistemas del servicio público-urbano.

De acuerdo a lo anterior se estimó, con base a iteraciones, que la recarga inducida por el riego con agua subterránea es del orden del 18%, valor que multiplicado por el volumen de utilizada para esta actividad (294.9 hm<sup>3</sup>/año) arroja un volumen de recarga inducida de 53.1 hm<sup>3</sup>/año.

Por otra parte, el volumen de agua superficial utilizada en la agricultura es del orden de 614 hm<sup>3</sup>/año, cifra que multiplicada por un coeficiente de 0.2 da un volumen de recarga de 122.8 hm<sup>3</sup>/año. Para el caso de las fugas en los sistemas de abastecimiento de agua potable, éstas se estimaron en 4.6 hm<sup>3</sup>/año, resultado de aplicar el 20% de pérdidas en los 23.18 hm<sup>3</sup>/año destinados al uso público-urbano.

De esta manera, el volumen total de recarga inducida es de 180.5 hm<sup>3</sup>/año.

### 7.1.3 Flujo subterráneo horizontal

Las entradas por flujo subterráneo, en su zona poniente, se calcularon en 5.9 hm<sup>3</sup>/año, las cuales se obtuvieron con base en la configuración de los niveles estáticos para el año 2005 (figura No. 8). Esta configuración se utilizó particularmente porque coincide con la fecha más reciente para la que se dispone de información de extracciones de agua subterránea. Debido a que tanto en la parte oriente como en el sur no se dispone de información piezométrica reciente que cubra las áreas localizadas en los piedemonte, para determinar el valor de las entradas horizontales por flujo subterráneo se utilizó la configuración de elevación correspondiente a 1972 (figura No. 9). Cabe señalar que las configuraciones recientes del nivel estático solo disponen de información en áreas donde la explotación del acuífero es intensiva por lo cual se encuentran influenciadas por conos de abatimiento, impidiendo estimar adecuadamente el volumen de entradas subterráneas. De acuerdo a lo anterior el volumen de recarga estimado en la zonas oriente y sur resultaron del orden de 8.3 y 8.9 hm<sup>3</sup>/año, respectivamente.

La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales instantáneos que ingresen en cada una de las celdas de flujo definidas. En la Tabla No. 6 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y que el total de entradas subterráneas asciende a 23.1 hm<sup>3</sup>/año.

$$Q = T * B * i$$

Donde

T: Transmisividad (m<sup>2</sup>/s) en el canal de flujo

B: 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 las celdas de flujo.

**Tabla No. 6 Entradas y salidas por flujo subterráneo**

<b>ENTRADAS</b>							
<b>Celda</b>	<b>Ancho (B)</b>	<b>Largo (L)</b>	<b>h1-h2</b>	<b>Gradiente hidráulico (i)</b>	<b>Transmisividad (T)</b>	<b>Caudal (Q)</b>	<b>Volumen</b>
	(m)	(m)	(m)		m <sup>2</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup> /año
1	5,060	845	10	0.0118	0.0006	0.036	1.1
2	7,420	805	10	0.0124	0.0006	0.055	1.7
3	4,210	1,145	10	0.0087	0.0006	0.022	0.7
4	1,920	1,480	10	0.0068	0.0006	0.008	0.3
5	3,780	556	10	0.0180	0.0006	0.041	1.3
6	2,950	992	10	0.0101	0.0006	0.018	0.6
7	1,940	895	5	0.0056	0.0006	0.007	0.2
Frente Lázaro Cárdenas-El Molino					Suma	0.187	5.9
	(m)	(m)			m <sup>2</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	
8	14500	1250	10	0.0080	0.0006	0.070	2.2
9	8500	1200	10	0.0083	0.0006	0.043	1.3

10	11000	1000	10	0.0100	0.0006	0.066	2.1
11	16000	1500	10	0.0067	0.0006	0.064	2.0
12	16000	4500	10	0.0022	0.0006	0.021	0.7
					Suma		8.3
13	15000	5000	50	0.0100	0.0006	0.090	2.9
14	14000	2200	50	0.0227	0.0006	0.191	6.0
					Suma	0.281	8.9
<b>Total Entradas</b>							<b>23.1</b>
<b>SALIDAS</b>							
1	2000	2000	10	0.005	0.001	0.01	0.3
2	2000	2000	10	0.005	0.001	0.01	0.3
					<b>Total salidas</b>	0.018	<b>0.6</b>

## 7.2 SALIDAS

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo y en una pequeña porción por flujo horizontal subterráneo y evapotranspiración.

### 7.2.1 Evapotranspiración

Existen algunas áreas dentro del distrito de riego donde los niveles freáticos son someros, debido a la influencia de la recarga inducida. Para la estimación de este concepto se tomó en cuenta el valor de la lámina de evapotranspiración real (ETR) obtenida por el método de Coutagne (273 mm) aplicada en una superficie de 100 km<sup>2</sup> en la que la profundidad promedio al nivel estático es de 8.5 m. De esta manera, suponiendo una profundidad de extinción de 10 m para la evapotranspiración y que existe una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático y el % de evapotranspiración, a menor profundidad mayor será el % de evapotranspiración. Para una profundidad de 3 m se evapotranspira el 70%, para 5 m el 50 %, para 8 m el 20% y para los 10 m no existe evapotranspiración.

Si consideramos que el valor promedio de la profundidad al nivel estático es de 8.5 en la zona de niveles freáticos someros el porcentaje de evapotranspiración es del 15%. Por lo tanto, el volumen será:

$$ETR = (0.273\text{m}) (100 \text{ km}^2) (0.15) = 4.1 \text{ hm}^3/\text{año}$$

### 7.2.2 Descarga natural

Cabe señalar que actualmente el escurrimiento del río Conchos, se debe a los retornos de riego, más que a un flujo base por descarga del acuífero.

El acuífero tiene su descarga principal a través de pozos, que extraen agua a diversas profundidades, los cuales se encuentran alojados principalmente en los rellenos aluviales. En mucho menor cantidad se extrae agua de las vulcanitas fracturadas, y aún menos de las calizas localizadas hacia la zona sur del área. Entre los volúmenes de agua subterránea que salen de las calizas se encuentra el desalojado por la mina Naica; sin embargo en los cálculos de balance así como en la formulación del modelo de simulación no se tomaron en cuenta por la gran profundidad a la que ocurre y porque su efecto no se observa en las piezometrías. La descarga del acuífero, en promedio, es mayor que la recarga total, razón por la cual se han generado ligeros abatimientos medios de los niveles estáticos, existiendo algunas zonas con mayores ritmos de abatimiento, como el área donde se localiza la Colonia Oribe de Alba, donde

las profundidades de los niveles estáticos alcanzan valores del orden de hasta 150 m, mientras que en otros sitios las profundidades oscilan entre unos cuantos metros hasta valores de 100 m, con un promedio que puede considerarse de 35 m.

#### 7.2.3 Bombeo

Las extracciones de agua subterránea en el acuífero de Meoqui-Delicias fueron recientemente calculadas en el estudio de 2005; éstas ascienden a un total de 329.2 hm<sup>3</sup>/año, como se observa en la tabla No. 5.

#### 7.2.4 Flujo subterráneo horizontal

Las descargas por flujo horizontal de aguas subterráneas se presentan básicamente en una pequeña porción del área, localizada al norte, cerca de las inmediaciones del río Conchos. Estas salidas subterráneas fueron estimadas con la red de flujo del 2005 y son del orden de 0.6 hm<sup>3</sup>/año, como se muestra en la tabla No. 6.

### 7.3 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

El balance de aguas subterráneas señala que el acuífero tiene una recarga total de 211.2 hm<sup>3</sup>/año, y una descarga total de 333.9 hm<sup>3</sup>/año, por lo que el cambio de almacenamiento en el acuífero Meoqui-Delicias es de -122.7 hm<sup>3</sup>/año.

Los valores que resultan del balance de agua subterráneas, se presentan en la tabla No. 7.

**Tabla No. 7. Balance de aguas subterráneas en el acuífero Mecoqui-Delicias**

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, ACUÍFERO MEOQUI-DELICIAS, CHIH.			
Área total del acuífero km <sup>2</sup>			<b>4,830</b>
<b>RECARGA</b>			
Área de explotación	km <sup>2</sup>		1,050
Coeficiente	I <sub>1</sub>		0.0240
Precipitación	mm		300.0
Recarga natural por lluvia	hm <sup>3</sup> /año		7.6
Entradas horizontales	Eh		23.1
<b>Total de recarga natural</b>	<b>hm<sup>3</sup>/año</b>		<b>30.7</b>
Subterránea público Urbano	I <sub>2</sub>		0.20
Recarga inducida P.U. Subterráneas	hm <sup>3</sup> /año		<b>4.6</b>
Agrícola, agua subterránea	I <sub>3</sub>		0.18
Recarga inducida Agrícola	hm <sup>3</sup> /año		<b>53.1</b>
Agrícola, agua superficial	<b>614.0</b>		0.20
Recarga inducida Agrícola agua superficial	hm <sup>3</sup> /año		<b>122.8</b>
<b>Total de recarga inducida</b>	<b>hm<sup>3</sup>/año</b>		<b>180.5</b>
<b>RECARGA TOTAL</b>	<b>Rt</b>		<b>211.2</b>
<b>DESCARGA</b>			
Extracción total	hm <sup>3</sup> /año		329.2
Agrícola	hm <sup>3</sup> /año		294.9
Público urbano	hm <sup>3</sup> /año		23.1
Industrial	hm <sup>3</sup> /año		5.7
Pecuario	hm <sup>3</sup> /año		5.5
Salidas horizontales	hm <sup>3</sup> /año		0.6
Flujo base	hm <sup>3</sup> /año		0.0
Salidas evaporación Evpt Coutgne .274m/año área expuesta 100 km <sup>2</sup> porce	hm <sup>3</sup> /año		4.1
<b>DESCARGA TOTAL</b>	<b>hm<sup>3</sup>/año</b>		<b>333.9</b>
<b>Cambio de almacenamiento</b>	<b>ΔA</b>		<b>-122.7</b>
Rendimiento específico	S		0.29
Volumen drenado	Vd		420
Abatimiento medio anual	m		<b>0.40</b>

## 8 DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplicó 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 siguiente expresión.

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

## 8.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

La recarga total media anual ( $R_t$ ), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural ( $30.7 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) más la recarga inducida ( $180.5 \text{ hm}^3/\text{año}$ ).

Por lo tanto la recarga media anual que recibe el acuífero asciende a  $211.2 \text{ hm}^3/\text{año}$  (Millones de metros cúbicos anuales).

## 8.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA

Se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que están comprometidos como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad al acuífero.

Para este caso, aunque existe un volumen de  $0.6 \text{ hm}^3/\text{año}$  de salidas subterráneas del área de balance, éstas se dirigen una zona de concentración de bombeo, por lo que deben interceptadas por la extracción de aprovechamientos. Por lo tanto, se considera que no existen descargas naturales comprometidas

## 8.3 VOLUMEN CONCESIONADO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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, con fecha de corte al 30 de abril del 2007 es de  $393'896,748 \text{ m}^3/\text{año}$ .

## 8.4 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 concesionadas e inscritas en el REPDa, que de acuerdo con la expresión anterior, resultó ser de:  
 $-182'696748 \text{ m}^3/\text{año}$ .

$$-182.696748 = 211.2 - 0.0 - 393.896748$$

La cifra indica que no existe disponibilidad de agua subterránea para otorgar nuevas concesiones.

## **9 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

Anuario estadístico del estado de Chihuahua, INEGI, 1999.

Banco de Desarrollo de América del Norte, bajo supervisión de la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua. 2005. Actualización del estudio geohidrológico del acuífero Meoqui-Delicias, Chihuahua”.

Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. Gerencia de Distritos de Riego. 1993. “Diagnóstico operativo del Distrito de Riego 005, Delicias, Chihuahua”.

Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Aguas Subterráneas. “Estudio de Simulación Hidrodinámica y Diseño Óptimo de las Redes de observación de Delicias”. 1996.

Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Aguas Subterráneas. 1999. “Reactivación de Redes de Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos de los Valles de: Acuífero Principal, Región Lagunera; y Meoqui-Delicias, Chihuahua”.

Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Aguas Subterráneas. 2002. Integración del Plan de Manejo del Acuífero Jiménez Camargo, Chihuahua”.

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 títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado.

Dirección de Aguas Subterráneas. Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1969. “Estudio Geohidrológico Preliminar de la Zona de Meoqui-Delicias, Chihuahua. ACSA.

Luz. R. Saucedo. 1966. “La calidad del Agua y el Uso de Fertilizantes y Plaguicidas en los Municipios de Delicias, Rosales y Meoqui del estado de Chihuahua. Tesis de posgrado.

Políticas de operación del acuífero de Delicias, Chihuahua. IGAMSA. 1990, contrato SGAA-89-53

Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000. 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.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. Dirección General de Estudios. 1973. Estudio de factibilidad técnica, económica y financiera para la rehabilitación, integración y ampliación del Distrito de Riego No. 05 de Ciudad Delicias, Chihuahua. ACSA.