

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Citrícola Norte (1912),  
Estado de Nuevo León***

*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.**

### CCCXLIV REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "RÍO BRAVO"

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

#### ESTADO DE NUEVO LEÓN

1912	CITRÍCOLA NORTE	191.9	71.9	239.475910	120.0	0.000000	-119.509910
------	-----------------	-------	------	------------	-------	----------	-------------

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 1912 CITRICOLA NORTE

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	99	47	16.4	25	3	32.8	
2	99	51	28.1	25	3	42.1	
3	99	53	47.7	25	3	17.4	
4	99	55	13.0	25	1	28.0	
5	99	56	7.3	24	59	16.8	
6	100	0	20.5	24	55	47.3	
7	100	3	49.2	24	51	39.4	
8	100	7	22.2	24	51	3.7	
9	100	11	11.4	24	54	57.7	
10	100	13	59.5	24	52	16.4	
11	100	17	40.6	24	52	57.0	
12	100	17	40.6	24	55	57.2	
13	100	22	22.0	24	59	19.5	
14	100	21	40.1	25	3	20.2	
15	100	27	47.6	25	5	49.6	
16	100	26	23.2	25	8	57.3	
17	100	27	7.7	25	10	40.2	
18	100	22	50.8	25	12	6.7	DEL 18 AL 19 POR EL LIMITE ESTATAL
19	100	15	21.0	25	18	23.5	
20	100	14	27.8	25	18	29.3	
21	100	14	13.0	25	20	27.7	
22	100	12	52.4	25	20	48.2	
23	100	12	36.2	25	23	56.7	
24	100	8	56.5	25	24	14.0	
25	100	6	4.2	25	25	13.6	
26	100	5	27.7	25	25	52.7	
27	100	5	50.3	25	26	49.3	
28	100	8	59.8	25	30	12.0	
29	100	10	18.0	25	32	31.6	
30	100	11	0.1	25	34	21.1	
31	100	9	10.6	25	35	15.9	
32	100	6	18.2	25	35	28.5	
33	100	3	18.5	25	37	41.4	
34	100	1	16.9	25	38	5.3	
35	100	0	3.5	25	36	24.4	
36	99	53	55.8	25	35	20.3	
37	99	39	51.7	25	34	48.8	
38	99	36	44.9	25	33	48.4	
39	99	32	24.5	25	29	2.2	
40	99	28	0.8	25	29	27.3	
41	99	24	35.4	25	30	41.0	
42	99	20	7.7	25	32	5.9	
43	99	14	32.0	25	28	56.7	
44	99	19	51.0	25	22	52.2	
45	99	25	31.8	25	13	41.6	
46	99	24	26.6	25	9	0.0	

47	99	34	43.1	25	3	36.9	
48	99	40	35.1	25	1	27.1	
1	99	47	16.4	25	3	32.8	



*Comisión Nacional del Agua*

*Subdirección General Técnica*

*Gerencia de Aguas Subterráneas*

*Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica*

**DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD  
DE AGUA EN EL ACUÍFERO CITRÍCOLA NORTE,  
ESTADO DE NUEVO LEÓN**

México, D.F., 30 de abril de 2002

## **CONTENIDO**

### **1. GENERALIDADES**

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Localización
- 1.3 Situación administrativa del acuífero
  - 1.3.1 Decretos de veda
  - 1.3.2 Zonas de disponibilidad
  - 1.3.4 Usuarios mayores de agua subterránea

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

### **3. FISIOGRAFÍA**

- 3.1 Provincias fisiográficas
- 3.2 Clima
  - 3.2.1 Temperatura media anual
  - 3.2.2 Precipitación media anual
  - 3.2.3 Evaporación potencial media anual
- 3.3 Hidrografía
  - 3.3.1 Región hidrológica, cuenca y subcuenca
- 3.4 Geomorfología

### **4. GEOLOGÍA**

- 4.1 Estratigrafía
- 4.2 Geología Estructural
- 4.3 Geología del subsuelo

### **5. HIDROGEOLOGÍA**

- 5.1 Tipo de acuífero
- 5.2 Parámetros hidráulicos
- 5.3 Piezometría
- 5.4 Comportamiento hidráulico
  - 5.4.1 Profundidad al nivel estático
  - 5.4.2 Elevación del nivel estático
  - 5.4.3 Evolución del nivel estático
- 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

### **6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS**

### **7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

## **8 DISPONIBILIDAD**

- 8.1 Recarga total media anual
- 8.2 Descarga natural comprometida
- 8.3 Volumen concesionado de agua subterránea
- 8.4 Disponibilidad de aguas subterráneas

## **9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales en su artículo 22 establece que para el otorgamiento de una concesión o asignación, se tomará en cuenta la disponibilidad de agua, y que la Comisión publicará la disponibilidad de aguas nacionales. Mientras que el Reglamento de esta Ley dispone en su artículo 37, que los estudios de disponibilidad media anual de agua, deberán ser revisados por lo menos cada seis años, y que los resultados serán publicados en el Diario Oficial de la Federación, para que puedan ser consultados por los interesados. Por otra parte, en el artículo transitorio Decimotercero del Reglamento, se establece que los volúmenes medios anuales disponibles serán determinados, de acuerdo a las normas oficiales mexicanas emitidas por la Comisión.

### 1.2 Localización

El Acuífero Citrícola Norte se localiza en la parte centro del Estado de Nuevo León, aproximadamente a 56 km al sureste de la Ciudad de Monterrey. Está delimitado por la poligonal cuyos vértices se muestran en la tabla anexa correspondiente. Este polígono comprende los Municipios de Montemorelos, General Terán, Allende, Rayones y Cadereyta Jiménez.

Los límites geográficos del acuíferos son: al norte el cauce del Río San Juan; al sur el parteaguas superficial entre las cuencas del Río San Juan y Río San Fernando y al poniente las estribaciones de la Sierra Madre Oriental.

Dentro de la zona que ocupa el acuífero se encuentran las siguientes poblaciones importantes: Cadereyta Jiménez, Allende, Montemorelos, Terán, La Concepción, El Carrizo y Ramírez.

Las coordenadas de la poligonal que definen el área del acuífero son las siguientes:

Vértice	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	99	47	16.8	25	3	32.4	
2	100	3	0.0	24	54	21.6	
3	100	6	7.2	24	50	6.0	
4	100	10	44.4	24	53	56.4	
5	100	13	22.8	24	51	46.8	
6	100	15	3.6	24	54	14.4	
7	100	17	16.8	24	55	22.8	
8	100	19	55.2	24	59	45.6	
9	100	22	19.2	25	2	27.6	
10	100	33	54.0	25	8	27.6	
11	100	35	45.6	25	10	22.8	
12	100	38	45.6	25	16	1.2	Del 12 al 13 por el límite estatal
13	100	15	21.6	25	18	25.2	



14	100	10	19.2	25	18	10.8	
15	100	9	21.6	25	20	20.4	
16	100	12	0.0	25	24	3.6	
17	100	5	27.6	25	25	51.6	
18	100	9	0.0	25	30	32.4	
19	100	4	55.2	25	30	25.2	
20	99	59	24.0	25	35	27.6	
21	99	52	19.2	25	30	46.8	
22	99	47	56.4	25	31	19.2	
23	99	43	44.4	25	26	52.8	
24	99	38	56.4	25	33	39.6	
25	99	39	14.4	25	34	33.6	
26	99	39	14.4	25	35	2.4	
27	99	39	3.6	25	35	20.4	
28	99	38	31.2	25	35	49.2	
29	99	38	27.6	25	36	10.8	
30	99	39	10.8	25	37	19.2	
31	99	39	7.2	25	37	19.2	
32	99	38	20.4	25	36	32.4	
33	99	38	20.4	25	35	52.8	
34	99	38	49.2	25	35	13.2	
35	99	39	0.0	25	34	30.0	
36	99	38	45.6	25	32	38.4	
37	99	36	10.8	25	30	54.0	
38	99	35	42.0	25	28	40.8	
39	99	33	50.4	25	28	1.2	
40	99	28	40.8	25	28	48.0	
41	99	24	43.2	25	31	1.2	
42	99	22	22.8	25	29	45.6	
43	99	20	45.6	25	31	12.0	
44	99	19	30.0	25	30	39.6	
45	99	29	49.2	25	15	36.0	
1	99	47	16.8	25	3	32.4	

### 1.3 Situación administrativa del acuífero

#### 1.3.1 Decretos de veda

El Acuífero Citrícola Norte se encuentra en zona de libre alumbramiento de conformidad con el párrafo V del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

### **1.3.2 Zonas de disponibilidad**

Las zonas de disponibilidad de agua subterránea por municipio, de acuerdo al Diario Oficial de la Federación publicado con fecha 31 de diciembre de 1999 son: zona 4 para los Municipios de Allende, Cadereyta Jiménez, General Terán, Montemorelos y Linares, y zona 5 para el Municipio de Hualahuises.

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

Los estudios previos con que se cuentan en los archivos de esta Comisión Nacional del Agua, se describen a continuación:

La empresa Servicios Geológicos (1981) realizó un estudio titulado “Estudio Geohidrológico Preliminar de la Zona Citrícola de Nuevo León”, el cual cubrió tanto la zona del Acuífero Citrícola Norte como del Acuífero Citrícola Sur. La elaboración del presente documento se base principalmente en los resultados de este estudio, debido a que comprendió toda la zona del acuífero de interés.

La Gerencia Estatal Nuevo León actual cede de la Gerencia Regional Río Bravo, reporta trabajos de piezometrías realizados en la zona de Montemorelos y Terán para los años de 1980, 1981, 1986 y 1987. Al igual que trabajos de censo de aprovechamientos de agua subterránea en esta zona en los años 1986 y 1988.

Para el año de 1981, dada la creciente demanda de agua potable, en el área metropolitana de Monterrey, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Dirección General de Captaciones y Conducciones, llevó a cabo el estudio “Acueducto Monterrey-Linares, Prospección Geofísica” por medio de la empresa *Consultores en Agua Subterránea, S.A.* El área estudiada, se ubica en la porción centro-occidental del estado de Nuevo León, que contempla los municipios de Monterrey, Villa Juárez, Cadereyta y General Terán, con una extensión aproximada de 4,000 km<sup>2</sup>.

La empresa Proyectos Antares (1997<sup>a</sup> y 1997<sup>b</sup>) realizó dos estudios en la zona que comprendió actividades de campo de nivelación de brocales, piezometría, pruebas de bombeo y muestreo de las aguas subterráneas. Entre las aportaciones más importantes de estos estudios es que se evaluó la transmisividad y actualizó la caracterización hidrogeoquímica del acuífero. En cuanto a los trabajos de piezometría y censo de aprovechamientos, estos solo cubrieron la parte noreste y noroeste del acuífero.

## **3. FISIOGRAFÍA**

### **3.1 Provincias fisiográficas**

La zona en donde se encuentra el Acuífero Citrícola Norte se localiza en la parte occidental de la Provincia Fisiográfica Planicie Costera del Golfo de México, próxima a la Subprovincia de Sierra Altas, perteneciente a la Provincia Sierra Madre Oriental (SIERRA MADRE ORIENTAL), (Raisz, 1964).

Las Sierras Altas se caracterizan por la presencia de una compleja cadena montañosa, conformada por rocas sedimentarias marinas del Jurásico Superior y Cretácico, que dan forma a estructuras anticlinales y sinclinales recostados, con orientación NNW-SSE y presentan elevaciones máximas de 2200 msnm. Hacia el oriente existe un acantilado, frente al cual se extiende la Llanura de Linares-Montemorelos.

La Llanura de Linares-Montemorelos se encuentra dentro de la Planicie Costera del Golfo de México, en ella se extiende el acuífero. Guarda una orientación regional SW-NE con elevaciones del terreno que varían entre 500 y 200 msnm disminuyendo desde la parte suroeste hacia el noreste.

## **3.2 Clima**

El clima que prevalece en la mayor parte de la zona, según la clasificación de Koppen, modificada por Enriqueta García (1964), corresponde al tipo semicálido-subhúmedo con lluvias todo el año.

### **3.2.1 Temperatura media anual**

La temperatura media oscila entre 15° y 23° C, detectándose la máxima en el mes de julio, con un valor de 30° C establecido en la estación climatológica Villa de Allende, que se localiza en la parte suroeste de la llanura, próxima al punto de inicio del Arroyo Ramos.

### **3.2.2 Precipitación media anual**

La precipitación media anual varía entre 350 y 750 mm/año, los valores más altos de precipitación se presentan al suroeste de las poblaciones de Allende y Montemorelos, así como al noreste de la comunidad La Concepción, los más bajos se registran próximos al poblado General Terán.

Los años en que la precipitación fue mayor a lo que normalmente ocurre fueron 1967, 1968, 1976, 1981 y 1983. La máxima se presentó en el año de 1967 con 1305 mm y la mínima en 1982 con 294 mm.

### **3.2.3 Evaporación potencial media anual**

Debido a la falta de instrumentación, en esta zona, no se pudo conocer, de manera directa, el valor de la evaporación potencial media anual del área en cuestión. Aunque existe, en principio, una correlación entre la energía solar recibida en un área determinada y la evaporación potencial, coexiste también una serie de factores, tales como turbulencia local y el contenido del aire en vapor de agua, que dificultan el establecimiento de una correlación matemática exacta.

### **3.3 Hidrografía**

#### **3.3.1 Región hidrológica, cuenca y subcuenca**

El Acuífero Citrícola Norte, de acuerdo con la Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León (INEGI, 1986), se encuentra dentro de la Región Hidrológica del Río Bravo (RH-24), Cuenca del Río San Juan (B), Subcuencas Río El Pílon y Río Ramos.

El Río San Juan segundo afluente de importancia del Río Bravo, tiene su origen en el Arroyo La Chueca, que recibe aportaciones de varios pequeños arroyos que bajan de la Sierra Madre Oriental, desde altitudes del orden de 2 000 a 2 300 msnm. El Arroyo La Chueca corre en dirección sureste hasta la Presa La Boca y de aquí continua con el nombre de Río San Juan, cambiando de dirección hacia el noreste y recibiendo por la izquierda las aportaciones del Río Santa Catarina. En la zona del acuífero, recibe por su margen derecha a los ríos Ramos, Garrapatas y El Pílon. Más adelante modifica su dirección hacia el nor-noreste, después de que recibe la aportación del mayor de sus afluentes, el Río Pesquería por la margen izquierda y sigue al norte hasta los Aldamas. En este punto cambia su rumbo hacia el oriente y después hacia el noreste, hasta la Presa Marte R. Gómez. Descarga en el Río Bravo un poco después de la Ciudad de Camargo.

La corriente principal es el Río Pílon, creado por la descarga de varios manantiales que nacen en las sierras de California, Mediodía, La Borrada y Tepetate, que forman parte de la Sierra Madre Oriental.

La empresa Antares (1997<sup>a</sup> y 1997<sup>b</sup>) hizo el siguiente análisis del Río Pílon. En la estación hidrométrica “Montemorelos” se aforaron sus caudales correspondientes a un área tributaria de 1,676 km<sup>2</sup>. El volumen medio anual de escurrimiento registrado en esa estación es de 103 Mm<sup>3</sup>. Aguas arriba de la estación se deriva el agua sin control alguno a través de canaletas, la mayor de las cuales deriva un gasto aproximado del orden de 3 m<sup>3</sup>/s. Los hidrogramas revelan un régimen de escurrimiento permanente, con variaciones estacionales notables: en los períodos de estiaje el caudal base mínimo fue de 0.39 m<sup>3</sup>/s (registrado en agosto de 1974); al tiempo que, en temporada de lluvias, se aforó un gasto máximo de 39.4 m<sup>3</sup>/s (septiembre de 1988). El flujo base cuantificado para el período 1991-1994, indica que la descarga del acuífero al río varió entre 10.2 y 35.4 Mm<sup>3</sup>, con un valor medio de 21 Mm<sup>3</sup>.

Considerando la localización de la hidrométrica Montemorelos próxima a la Sierra Madre Oriental, el caudal base estimado de esta manera como ya se mencionó es originado por la descarga de los manantiales ubicados dentro la Sierra Madre Oriental. De tal forma que no corresponde con descarga alguna del acuífero en la zona de la llanura.

### **3.4 Geomorfología**

La Planicie Costera del Golfo de México describe marcados contrastes entre valles aluviales y vastas llanuras de forma ondulante, como es el caso de la Llanura Linares-Montemorelos en donde se extiende el acuífero

La Llanura Linares-Montemorelos se distingue por una serie de mesetas orientadas SW-NE, generalmente coronadas por depósitos aluviales del Cuaternario y Conglomerado Reynosa, que yace encima de las lutitas de la Formación Méndez. Estas mesetas están separadas por valles orientados en la misma dirección rellenos principalmente por los depósitos aluviales. Estos valles fueron surcados en la zona por los ríos Ramos, Garrapatas y el Pílon, afluentes del Río San Juan.

En la parte norte, las mesetas aluviales están truncadas por el Río San Juan que en esta zona corre en dirección E-W. En la parte noreste terminan en un conjunto de lomeríos característicos del Conglomerado Reynosa. En la parte suroeste inician en el frente montañoso de la Sierra Madre Oriental.

El drenaje fluvial es del tipo dendrítico característico de rocas de baja permeabilidad como lo son las rocas arcillosas de formaciones del Cretácico Superior. Los cauces fluviales principales siguen el sistema de fracturas rumbo SW-NE.

A lo largo del frente montañoso de la Sierra Madre Oriental se han desarrollado una serie de abanicos aluviales formados por las descargas de los arroyos que descienden de la Sierra Madre Oriental.

## **4 GEOLOGÍA**

La descripción geológica que a continuación se presenta fue compilada principalmente de los estudios geohidrológicos realizados por Servicios Geológicos (1981) y Proyectos Antares (1997).

### **4.1 Estratigrafía**

Los tipos de roca que afloran son predominantemente sedimentarias marinas, que en conjunto representan un intervalo geológico que abarca del Jurásico Superior al Reciente. Las formaciones del Jurásico Superior y Cretácico Inferior afloran en las sierras de la Sierra Madre Oriental. Las formaciones del Cretácico Superior afloran tanto en la Sierra Madre Oriental como en la Llanura Linares-Montemorelos.

#### **Jurásico Superior**

##### **Formación Zuloaga (Jsz)**

Fue originalmente estudiada por C. Burckardt (1906), en la porción septentrional del centro de la república, refiriéndose a ella como “Caliza de Nerineas”. Posteriormente fue definida como Caliza Zuloaga por Imlay (1938), designando la Sierra Sombrerillo al Norte de Melchor Ocampo, Zacatecas, como localidad tipo.

Está constituida por caliza de aguas someras color gris claro al intemperismo y gris oscuro al fresco, intercaladas con lutitas. Su estratificación es de medio a grueso, su espesor varía de 65 a 500 m aproximadamente.

En la región del Golfo de México se ha observado el contacto inferior de esta formación, el cual parece ser discordante con los yesos Minas Viejas, en tanto que el contacto superior pudiera ser

concordante con el Grupo La Casita y se marca por el cambio de litología al desaparecer las calizas oolíticas y a la aparición de las lutitas negras carbonosas con concreciones calcáreas.

Por su contenido faunístico se le considera del Oxfordiano y bien pudiera representar el inicio de la transgresión marina del Jurásico Superior.

### **Formación La Casita (Jslc)**

Fue definida por Imlay (1936), en el Cañón La Casita, situado en la parte media de la Sierra de Parras, Coahuila.

Está constituida por intercalaciones de lutitas y areniscas, las primeras son calcáreas y en ocasiones carbonosas, presenta concreciones silíceas intercaladas de diferente tamaño y algunos horizontes de evaporitas. Su espesor se considera de 365 m aproximadamente y estratificación delgada.

Subyace discordantemente a la Formación Taraises y se le considera una edad Kimmeridgiano-Portlandiano por su contenido de fósiles. Se interpreta que se depositó en un ambiente de aguas someras parcialmente lacustre.

### **Cretácico Inferior**

#### **Formación Taraises (Kit)**

Imlay (1936), la define en el Cañón Taraises localizado en el extremo Oeste de la Sierra de Parras.

Esta representada por dos miembros; el Miembro Inferior está constituido por calizas de estratificación media a gruesa que presenta algunas vetillas de calcita y algunos horizontes de limolita en estratos delgados, se aprecia al sur de la Sierra Zapalinamé en el Cañón Los Chorros; el Miembro Superior son calizas arcillosas de estratificación media intercalada con estratos delgados de lutitas fósiles.

Tiene un espesor aproximado de 80 m y subyace a la Formación Cupido, pero transicional lo que hace difícil la localización del contacto, topográficamente se encuentra formando lomeríos.

Se relaciona con las formaciones Barril Viejo, Caliza Menchaca y Padilla de las Sierra Dos Hermanas o anticlinal de Oballos; con la Arcosa San Marcos en la Sierra San Marcos, con la serie Coahuilense en el Cerro de la Silla de Monterrey y la Formación Santuario de Ixmiquilpan.

Se le ha asignado dentro del Berriasiano Superior al Hauteriviano. El Miembro Inferior se depositó en facies de plataforma en aguas someras con mayor aporte proveniente del continente. El Miembro Superior se depositó en facies de Cuenca en aguas tranquilas.

### **Formación Cupido (Kic)**

Fue propuesta por Imlay (1937) para referirse a una secuencia calcárea que se encuentra en la localidad tipo en el Cañón El Mimbres, en la Sierra de Parras, Coahuila.

Se constituye en tres miembros; el Miembro Inferior corresponde a una facies de cuenca y está formado por calizas gruesas con vetillas de calcita en las cercanías con la Formación Taraises; el Miembro Medio se depósito en facies de Plataforma y está representado por un quiebre arcillo-calcáreo de poco espesor; el Miembro Superior es de una facies arrecifal y constituye una calcirrudita tamaño de la arena estratificación de gruesa a masiva con abundante fauna marina y presenta superficialmente corrugaciones y abundantes estilolitas.

Su contacto superior es concordante con la Formación La Peña y se asigna una edad del Neocomiano Superior-Aptiano Inferior. Su espesor es variable, pero en promedio es del orden de 400 m.

En la Cuenca de Chihuahua se correlaciona con la porción superior de la Formación Las Vigas, con la base de la Formación Cuchillo y en el centro de Texas con la Formación Sligo.

### **Formación La Peña (Kilp)**

Fue definida por Imlay (1936) y menciona como localidad tipo al flanco Norte de la Sierra Taraises. Aflora en las sierras del Oriente y es fácil identificarla en el campo, debido a que es poco resistente a la erosión formando puertos topográficos de erosión.

Son calizas arcillosas delgadas intercaladas con lutitas calcáreas laminares muy fosilíferas. Al Sureste y Suroeste de Saltillo se le estima un espesor de 40 a 50 m. Es un horizonte índice de referencia, debido a su marcado contraste litológico con las formaciones que la limitan y a su contenido faunístico, siendo el más característico el género *Dufrenoyia sp.*

Es concordante con la Formación Aurora y se le considera del Aptiano-Albiano Inferior. Su litología indica un acarreo de detritos de las zonas positivas, durante movimientos verticales en el Aptiano, su ambiente de depósito es infranérico.

Se correlaciona con el horizonte Otates de la Cuenca Tampico-Misantla, con la Formación Cuchillo en la Cuenca de Chihuahua y con la Formación Las Uvas del área de Acatitas-Las Delicias, Coahuila.

### **Formación Aurora (Kia)**

Fue definida por Burrows (1910), como una secuencia de calizas en la localidad tipo en la Mina La Aurora en la Sierra de Cuchillo Parado al Oeste de Ojinaga, Chihuahua.

Está constituida por calizas de estratificación media a gruesa, presenta estilolitas y nódulos de pedernal. Subyace a la Formación Cuesta del Cura concordantemente, tiene un espesor variable pero en promedio de 200m y se le ha asignado una edad del Albiano Inferior hasta el Albiano Medio.

Representa una transgresión marina que ocasionó inicialmente el depósito de calizas en ambiente de plataforma, al progresar la transgresión se acumularon las calizas con nódulos de pedernal propiamente en un ambiente de cuenca.

### **Formación Cuesta del Cura (Kicc)**

Imlay (1936), describió esta formación, de acuerdo con los afloramientos de caliza delgada ondulante, con bandas de pedernal negro que hay a siete kilómetros al Oeste de Parras, Coahuila.

Son calizas de estratificación delgada a media, es una caliza muy friable y presenta bandas de pedernal e intercalaciones de lutitas. Presenta espesores hasta de 150 m y es concordante con la Formación Indidura sobreyacente.

Es de edad Albiano Medio al Cenomaniano Inferior y el ambiente de depósito es de facies de cuenca, debido a que en el Cenomaniano los mares comenzaron a retirarse, por lo que presenta una gran cantidad de clastos.

Se correlaciona con la Formación Tamaulipas Superior, Caliza El Abra de la Cuenca Tampico Misantla, Grupo Washita del noreste de México y oriente de Texas, con la Formación Doctor, La Formación Acatita, en el área de Delicias. Puede decirse que en Palotes es correlacionable con F. Glem Ros, F. Walnut, Edwards y Quiamichi. Existen depósitos del mismo piso como son Formación Morelos.

## **Cretácico Superior**

### **Formación Agua Nueva**

Esta Formación tiene una distribución muy extensa destacando para la zona de interés sus afloramientos a lo largo del borde oriental del frente montañoso de la SIERRA MADRE ORIENTAL. Está constituida por capas de calizas arcillosas de 5 a 50 cm de espesor de color gris, gris oscuro y negro, que alternan con lutitas laminadas de color gris oscuro a negro, a veces bitumosas o carbonosas. En la base de esta secuencia se encuentran unas capas delgadas de bentonita de color verde esmeralda que constituye el horizonte índice que marca la base de la Formación Agua Nueva, su espesor promedio es de 180 m.

Su edad basándose en el contenido faunístico y posición estratigráficas, Turoniano. En el NE de México está representada por la Formación Eagle Ford. En la Cuenca de Parras se encuentra como equivalente la Formación Indidura.

### **Formación San Felipe**

Esta formación yace sobre la Formación Agua Nueva y tiene también una amplia distribución. Está constituida por una serie de calizas delgadas, arcillosas en parte, con buena estratificación, de colores gris claro, verde o pardo que intemperizan en anaranjado. Hacia arriba las calizas se tornan más arcillosas y se presentan interestratificaciones de lutita gris que son más frecuentes hacia la cima. En la parte más alta se encuentran intercalaciones de bentonita verde.



El espesor máximo medio es de unos 550 m y su edad es del Conaciaco-Santoniano cuya fauna caracterizada por las amonitas *Texanites texanus* e *Inoceramus undulatoplicatus roemen*.

En el NE de México está representada por el Grupo Austin Chalf y en la Cuenca de Parras por las lutitas de la Formación Parras.

### **Formación Méndez**

Sobre la Formación San Felipe descansa la Formación Méndez del Campaniano-Maestrichtiano y cuyo contacto inferior no puede siempre determinarse fácilmente por simple litología a causa de la semejanza de los sedimentos de ambas formaciones. Aflora ampliamente en la Llanura Linares-Montemorelos generalmente en la base de las mesetas aluviales de la región.

Está constituida principalmente por margas grises y azules, estratificadas en capas delgadas que forman a veces bancos de 15 a 20 m de espesor. Tiene una fractura casi concordial muy característica. En la parte superior toma un color rosado, su extensión es muy considerable, pues se ha encontrado desde la vecindad de Ciudad Juárez hasta el Istmo de Tehuantepec y poseen una microfauna característica.

En el NE de México está representada por las formaciones Taylor y Navarro, en la Cuenca de Parras su equivalente es el Grupo Difunta.

### **Terciario**

#### **Conglomerado Reynosa**

El Conglomerado Reynosa constituye las mesetas y lomeríos de la Llanura Linares-Montemorelos, aunque predomina en la porción sur central, así como al pie de la SIERRA MADRE ORIENTAL. Corona las formaciones del Cretácico particularmente sobreyace discordantemente a la Formación Méndez. Hacia la parte noreste sobresale por encima de los depósitos aluviales del Cuaternario, sin embargo por su posición estratigráfica se ubica debajo de los depósitos aluviales. Su espesor alcanza los 60 m, ante todo, hacia el sur, en las cercanías del poblado Montemorelos.

Esta compuesto por fragmentos redondeados a subredondeados de clásticos de rocas calcáreas de tamaños promedios de unos 5 a 12 cm de diámetro, empaçados en una matriz arenosa cementada por caliche.

### **Cuaternario**

#### **Depósitos Aluviales**

Aflora en la mayor parte de la zona, formando las planicies con ligeras ondulaciones y el relleno de los valles fluviales entre las mesetas de Conglomerado Reynosa, en donde presenta los mayores espesores. Sobreyace al Conglomerado Reynosa y cubre discordantemente a

formaciones del Cretácico particularmente a la Formación Méndez. También, forma los abanicos aluviales que se han desarrollado en el borde oriental de la Sierra Madre Oriental.

Están constituidos por gravas, arena, limos y arcillas, mezclados en diferentes proporciones y grados de compactación. Contienen lentes de conglomerados empacados en arenas y arcillas, depósitos areno-limosos y horizontes de caliche. En ocasiones presenta yeso variedad “rosa del desierto”, que pueden encontrarse con un alto contenido de arcilla con propiedades plásticas.

#### **4.2 Geología Estructural**

A finales del Cretácico y principios del Terciario, los movimientos originados por la Orogenia Laramide, pliegan a los sedimentos Cretácicos, con esfuerzos provenientes del SW, ocasionando pliegues recostados, por encontrarse la Paleopenínsula de Tamaulipas hacia el NE, que actuó como Antepaís. Las fallas resultantes son inversas y en ocasiones ponen en contacto rocas del Cretácico Inferior (Formación Cupido) con rocas del Cretácico Superior (Formación Agua Nueva).

En la Sierra Madre Oriental al suroeste de la Llanura Linares Montemorelos, se aprecian una serie de pliegues anticlinales y sinclinales orientados SE-NW, son pliegues estrechos, alargados y generalmente recostados hacia el NE con flancos de fuerte inclinación. Las formaciones del Jurásico Superior y Cretácico Inferior conforman los pliegues anticlinales y sinclinales. Las formaciones de Cretácico Superior se encuentran en los sinclinales, en las áreas de anticlinales han sido erosionadas.

Los pliegues anticlinales y sinclinales en la Llanura Linares-Montemorelos generalmente se encuentran sepultados por el Conglomerado Reynosa y Depósitos Aluviales del Cuaternario. Sin embargo, al sureste de Montemorelos se alcanza a observar un sinclinal corto rumbo SE-NW en la Formación Méndez. Lo mismo al noreste de Linares fuera de la zona que ocupa el acuífero, existen una serie de anticlinales y sinclinales, que se han podido cartografiar con orientación SE-NW, son pliegues estrechos y de corta longitud desarrollados en la Formación Méndez.

Las fallas que se han reconocido en la región son del tipo inversas claramente expuestas en la Sierra Madre Oriental con orientación preferencial SE-NW. Son fallas desarrolladas esencialmente en los flancos noreste de los anticlinales poniendo en contacto formaciones del Cretácico Inferior encima de formaciones del Cretácico Superior. Entre estas fallas cabe destacar la falla maestra o frontal de cabalgadura que en la zona limita la Sierra Madre Oriental con la Llanura de Linares-Montemorelos. La expresión superficial de esta falla son capas casi verticales de la Formación Cupido que se encuentra encima de las Formaciones Agua Nueva y San Felipe. Más hacia adentro de la Sierra Madre Oriental, las fallas inversas son secundarias asociadas a la gran falla maestra de cabalgadura.

Otro tipo de estructuras que resalta en la región es un sistema de fracturas con orientación preferencia SW-NE. En la Sierra Madre Oriental cortan a las estructuras de las formaciones del Jurásico Superior y Cretácico. En la Llanura de Linares-Montemorelos afectan a las formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez. Este sistema de fracturas se relaciona con la etapa distensiva que actuó en la región posterior a los esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide, ampliamente documentada en la parte noreste de México.

### **4.3 Geología del subsuelo**

La descripción de la geología del subsuelo que a continuación se describe fue fundamentada en la información geofísica recopilada de resistividad eléctrica. La falta de información de cortes litológicos de pozos, obligó al análisis de la información geofísica mencionada. La localización de los sondeos eléctricos verticales y perfiles geoelectricos recopilados se muestran en el anexo del presente documento.

Del estudio de la compañía Antares (1997<sup>a</sup>) realizado en la parte oriente de la zona se identificaron dos unidades geoelectricas. La unidad U1, presenta resistividades variables que oscilan entre 4 y 1600 ohm-m, es correlacionable con el Conglomerado Reynosa y/o con los Depósitos Aluviales. Los conglomerados, se asocian con resistividades por arriba de 100 ohm-m, mientras que los aluviones generalmente con valores menores de 40 ohm-m se correlacionan con materiales muy finos. El espesor de esta unidad es del orden de los 5 m.

Subyaciendo a la unidad uno, se encuentra la unidad U2, que se relaciona con la Formación Méndez que, a su vez, se subdivide en U2a, definida como Formación Méndez fracturada o alterada y U2b asignada a roca sana. Las resistividades que manifiesta varían considerablemente, desde 10 hasta 300 ohm-m, las resistividades bajas corresponden a la parte alterada y las más altas a la roca sana. El espesor de esta unidad es indefinido.

Los trabajos geofísicos del estudio de Antares (1997<sup>b</sup>) realizados en la parte noroeste de la zona permitieron distinguir cuatro horizontes geoelectricos con las características siguientes:

El primer horizonte “U1a” tiene una amplia distribución, con un espesor variable de 5 a 10 m y resistividades de 44 a 1600 ohm-m, el rango tan amplio en estos valores refleja la diversidad de materiales y/o condiciones que componen este horizonte; sin embargo, se ha considerado como más representativo del mismo, la combinación de suelo vegetal y material reciente. Un segundo horizonte “U1b”, se encuentra representado por resistividades de 20 a 548 ohm-m, incluyendo dentro de esta unidad a la secuencia de materiales detríticos aluviales y conglomerados calcáreos de la Formación Reynosa que, de acuerdo a la correlación establecida con los pozos existentes, es de buenas posibilidades acuíferas.

Subyaciendo a las unidades anteriores se detectó un horizonte discontinuo, con espesor variable de 2 a 23 m y resistividades que van de 25 a 58 ohm-m, vinculado con material arcilloso, que en conjunto conforman la “U2”. La falta de continuidad y los valores de resistividad de la unidad referida, muestra pocas posibilidades acuíferas.

El tercer horizonte se distingue por resistividades de 41 a 282 ohm-m, asociadas con rocas alteradas y fracturadas de la Formación Méndez, las que se han agrupado dentro de la “U2a”; este tipo de material se caracteriza por tener buena permeabilidad, de acuerdo con los valores obtenidos y las observaciones de campo realizadas, por lo que se supone con buenas posibilidades acuíferas.

Finalmente, se registraron en algunos de los sondeos, resistividades que alternan de 18 a 36 ohm-m, con espesor no determinado, las cuales constituyen la “U2b”, consignadas a material arcilloso de la Formación Méndez, que por su respuesta geoelectrica, se considera con nulas probabilidades acuíferas.

## **5 HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1 Tipo de acuífero**

El Acuífero Citrícola Norte se define como el que está formado por los Depósitos Aluviales y Conglomerado Reynosa, que rellenan los valles de los Ríos El Pilón y Garrapatas. La cima fracturada y alterada de la Formación Méndez que subyace a los depósitos de relleno, también forma parte del acuífero que se extiende en la Llanura Linares-Montemorelos.

La litología de la Formación Méndez constituida esencialmente por lutitas y margas, le infiere baja permeabilidad, la cual es notablemente aumentada en las zonas en donde se presentan sistemas de fallas y fracturas. La permeabilidad secundaria de esta Formación, ocurre más o menos generalizada a través de toda la unidad, siendo mayor en las zonas en donde las fracturas se concentran, forma parte del acuífero en las porciones bajas y captar una parte del agua de lluvia que se precipita sobre su superficie de afloramiento. Asimismo, la estructura de pliegues isoclinales ligeramente recostados que suceden en ella, ocasiona que la permeabilidad de esta formación ocurra prácticamente en la parte superior de ella, es decir, la profundidad del fracturamiento es posible que no se encuentre a más de unos 70 m.

La permeabilidad que presenta el Conglomerado Reynosa es intersticial principalmente, ya que la matriz arenosa que empaca los fragmentos calcáreos, generalmente se presentan medianamente compacta a suelta. Su ubicación en las partes altas, tal como en la Mesa El Ebano, propicia que parte de la lluvia que se precipita sobre la superficie se infiltre y percole hasta la Formación Méndez, constituyendo también parte del acuífero en las partes bajas, en donde cubre a la Formación Méndez. Puede propiciar que los pozos que se inicien en el sean de mayor productividad que los existentes, si se perforan hasta la Formación Méndez.

Los depósitos aluviales no consolidados que rellenan el valle, presentan una granulometría variable de tamaños de cantos que van desde 12 cm de diámetro, como máximo, hasta limos y arcillas mezclados en diferentes proporciones. Esta característica da como resultado permeabilidades de media a alta, dependiendo de la proporción del material que predomine.

Tales depósitos constituyen las áreas de recarga, por donde se capta el agua procedente de los escurrimientos de la lluvia y por la infiltración directa de la misma. Usualmente conforman acuíferos de reducida productividad, pero en los valles fluviales o en las cercanías de los ríos son buenos formadores de acuíferos, por lo que su explotación es más recomendable en estos sitios.

De acuerdo con la composición litológica de las formaciones que constituyen el acuífero se considera que en el relleno aluvial saturado se comporta como un acuífero granular libre. Por su parte en las lutitas fracturadas de la Formación Méndez, funcionan como un acuífero de “doble porosidad”, donde las fracturas mayores son las zonas conductoras principales, alimentadas por las fracturas de menor tamaño. En cambio, la lutita sana constituye propiamente el basamento hidrogeológico del acuífero. En el caso, en que el acuífero tiene ambas componentes, se comporta como del tipo “libre”, con semi-confinamiento inferior.

Las fronteras laterales del Acuífero Citrícola Norte son las siguientes: al norte el cauce del Río San Juan; al sur y oriente el parteaguas superficial entre las Cuencas del Río San Juan y Río San Fernando, que se localiza en la Mesa Alta del Ebano; y al poniente el límite impermeable de la falla de cabalgadura frontal de la Sierra Madre Oriental.

Las rocas calizas de las Formaciones Cupido y Aurora-Cuesta del Cura, por su permeabilidad secundaria desarrollada por fracturamiento y efectos de disolución de los carbonatos que las constituyen, conforman otros dos tipos de acuíferos en el área de la Sierra Madre Oriental. Estos acuíferos calizos se encuentran separados por las lutitas de la Formación La Peña, son acuíferos de tipo libre en las sierras de anticlinales en donde afloran las rocas calizas y confinados en los valles intermontanos de sinclinales.

El acuífero calizo de las Formaciones Aurora y Cuesta del Cura está confinado por las rocas arcillosas del Cretácico Superior y la cima de la Formación Taraises de baja permeabilidad constituye el basamento hidrogeológico del acuífero calizo de la Formación Cupido.

A lo largo del frente de la Sierra Madre Oriental existen una serie de fallas de cabalgadura que ponen en contacto a Formaciones del Cretácico Inferior, específicamente la Formación Taraises encima de la Formación Méndez. Esta situación estructural trae como consecuencia que los acuíferos calizos de las Formaciones Cupido y Aurora-Cuesta del Cura de la Sierra Madre Oriental no mantengan continuidad hidráulica con el Acuífero Citrícola Norte de la Llanura Linares-Montemorelos.

Los acuíferos calizos de la Sierra Madre Oriental y el Acuífero Citrícola Norte de la Llanura Linares-Montemorelos, en conjunto forman parte del Zona Geohidrológica Citrícola Norte.

## **5.2 Parámetros hidráulicos**

Los parámetros hidráulicos del Acuífero Citrícola Norte se tomaron de los resultados de las pruebas de bombeo realizadas por Antares (1997<sup>a</sup> y 1997<sup>b</sup>).

En la parte noreste de la zona se reportan coeficientes de transmisividad que varían entre  $0.03 \times 10^{-3}$  y  $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . Por la profundidad y la localización de los pozos con prueba de bombeo (entre 25 y 40 m), se supone que están captando agua de las lutitas fisuradas de la Formación Méndez, en primer lugar, ya que en esos sitios la cobertura de aluvión o conglomerado es muy delgada y, generalmente, no está saturada.

El gasto del bombeo en los ensayos fue de 1 a 15 lps, con promedio de 5 lps, y con abatimientos de 0.26 a 12.9 m. Los caudales específicos varían en el rango de 0.15 a 4.8 lps por cada metro de abatimiento, y guardan cierta proporcionalidad directa con las transmisividades correspondientes.

En la parte noroeste de la zona los valores de transmisividad, alternan en el rango de 0.00017 a  $0.0132 \text{ m}^2/\text{s}$ . A pesar de ser pocos datos dentro de esta parte se puede observar que los valores de transmisividad decrecen hacia las zonas bajas del valle, donde predominan materiales arcillosos.

Los valores de la transmisividad de las pruebas de bombeo de la parte noroeste, revelan que se trata de un acuífero de capacidad transmisora de media a baja, derivada de la baja permeabilidad y espesor de los materiales granulares y aluviales que lo constituyen.

Las pruebas de bombeo existentes no permitieron determinar el coeficiente de almacenamiento, por la falta de pozos de observación, pero con base en la estratigrafía de la zona y en el comportamiento observado del nivel dinámico, se estima que para tiempos largos el acuífero se comporta como libre en los depósitos aluviales del relleno del valle, por tanto, su coeficiente de almacenamiento es equivalente a su rendimiento específico, que puede variar en el rango de 0.1 a 0.3, dependiendo de la granulometría de los materiales. El acuífero en las lutitas fracturadas de la Formación Méndez es semiconfinado, por lo que el coeficiente de almacenamiento puede variar entre 0.0001 y 0.005.

### **5.3 Piezometría**

Se cuenta con un total de 13 piezometrías en los archivos de esta Gerencia Regional Río Bravo, para el mes de noviembre de 1980, mayo de 1981, y varios meses del año 1986 y 1987. Las piezometrías del año 1980 y 1981 son las que corresponde a las del estudio de Servicios Geológicos (1981). Las de los años 1986 y 1987 fueron realizadas por la Residencia de Aguas Subterráneas del Estado de Nuevo León.

### **5.4 Comportamiento hidráulico**

El comportamiento de los niveles piezométricos que a continuación se describe se fundamenta principalmente en los planos elaborados en el estudio geohidrológico de Servicios Geológicos (1981) referente a: profundidad y elevación de niveles para los meses de noviembre de 1980 y mayo de 1981, así como de evolución de los niveles piezométricos para el periodo Noviembre de 1980 a Mayo de 1981.

#### **5.4.1 Profundidad al nivel estático**

Las profundidades al nivel estático en el mes de noviembre de 1980 variaban entre 10 a 15 y 40 m, con una tendencia a incrementarse hacia el suroeste conforme aumenta la elevación del terreno. Los niveles más someros fueron detectados en el área entre Montemorelos y General Terán. Los más profundos se tuvieron sobre las estribaciones de la Sierra Madre Oriental. En Cadereyta Jiménez y Allende se presentaron a 20 m.

La configuración de los niveles para el mes de mayo de 1981 fue muy parecida a la del mes de noviembre de 1980. Los niveles estáticos se encontraban a profundidades entre 12 y 40 m.

En los estudios de Antares (1997<sup>a</sup> y 1997<sup>b</sup>) se reporta para el mes de diciembre de 1997, que los niveles estáticos en el área noreste variaban entre 5 y 20 m de profundidad, con tendencia creciente de las fajas fluviales de los arroyos Garrapatas y Pílon hacia los lomeríos que separan ambos valles, esto debido a la topografía de la zona. En la parte noroeste de la zona para el periodo de enero- febrero, los niveles se encontraban a profundidades que variaban de 2 a 17 m, con una distribución irregular en la zona estudiada. De forma íntegra, se puede advertir que la

superficie freática regional está muy profunda en la sierra, compuesta por rocas permeables, de tal manera que el nivel de agua decrece de los flancos montañosos hacia el valle.

#### **5.4.2 Elevación del nivel estático**

Las elevaciones del nivel estático en el mes de noviembre de 1980, variaban entre 200 y 500 msnm, con una tendencia a decrecer de la parte suroeste al noreste. Las cargas hidráulicas más altas se registraron al suroeste de Allende y Montemorelos cerca de las estribaciones de la Sierra Madre Oriental. Las más bajas se presentaban en el área del Carrizo, El Encadenado y El Coyote. La configuración de las equipotenciales revela una dirección de flujo preferencial del suroeste al noreste, relacionada con la topografía del terreno y dirección principal de los sistemas de fracturamiento.

Los planos de equipotenciales que elaboró Antares (1977<sup>a</sup> y 1977<sup>b</sup>) indican que en el mes de octubre de 1997, el agua subterránea en la porción oriental de la zona circula en dirección suroeste-noreste, hasta el poblado Cinco de Mayo, lugar donde se bifurca hacia el norte, en los alrededores de la localidad de El Abrevadero, saliéndose de la zona de interés. La carga hidráulica en el periodo enero-febrero de 1997 variaba entre 270 y 300 msnm en la parte noroeste de la zona. El nivel piezométrico decrecía de las estribaciones de la Sierra Madre Oriental hacia las partes bajas el valle, manifestando una dirección preferencial de flujo del suroeste al noreste.

#### **5.4.3 Evolución del nivel estático**

La evolución del nivel estático para el periodo noviembre de 1980 a mayo de 1981 presentó recuperaciones de 1 y 2 m. La recuperaciones más altas se registraron en el área de General Terán y entre Cadereyta Jiménez y Allende.

Estas evoluciones piezométricas se consideran que no son representativas de la respuesta del acuífero a largo plazo a la recarga y extracción, debido al corto periodo de registro.

Comparando el plano de profundidad al nivel estático para el mes de noviembre de 1980 del estudio de Servicios Geológicos (1981) con el plano de profundidad al nivel estático para el mes de Octubre de 1997 del estudio de Antares (1997<sup>a</sup>), el cual cubrió una parte de la zona al norte de Montemorelos y General Terán, se aprecia que los niveles estáticos prácticamente se han mantenido estables con profundidades entre 10, 15 y 20 metros en esta parte.

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

El análisis hidrogeoquímico y su relación con la calidad del agua subterránea, se fundamentó en la definición de la distribución espacial de las familias de agua y de parámetros químicos indicadores. Para este análisis se tomaron como base los resultados hidrogeoquímicos de los estudios Antares (1997<sup>a</sup> y 1997<sup>b</sup>).

El contenido de STD en la parte noreste de la zona oscila dentro del orden de 714 a 3243 ppm, con una concentración promedio de 1352 ppm. Espacialmente, la distribución de los sólidos en suspensión confiere las concentraciones más bajas hacia la parte suroeste de los poblados Valle Hidalgo, Carrizalejo, La Ventura, Pueblo Nuevo, California y El Milagro; cabe mencionar que si

la permeabilidad del medio por donde circula el agua es alta, el fluido se moverá con mayor velocidad. En la zona en cuestión se observa que el contenido de los STD se incrementa hacia el noreste de los poblados referidos, marcándose, sensiblemente, el aumento de la salinidad en la dirección suroeste-noreste.

Hacia la derecha del arroyo Garrapatas, la dirección en que se incrementan las sales es muy semejante, a la mencionada en el párrafo anterior, salvo que las concentraciones van de 1000 a 1500 ppm, presentándose los valores más altos entre los pueblos de San Francisco y La Primavera.

La salinidad del agua subterránea en la porción noroeste de la zona varía entre 300 ppm y poco más de 1,850 ppm, predominando valores de 700 y 500 ppm.

La familia de agua que sobresale es cálcico-bicarbonatada, lo cual es lógico, ya que el acuífero de la zona es predominantemente calizo (Formación Méndez).

Las concentraciones de STD están relacionadas con el movimiento del flujo subterráneo; es decir, que el incremento de sales se lleva a efecto en dirección suroeste-noreste.

En general, los valores elevados, de sales (más de 3000 ppm) son consecuencia, principalmente, del lavado de terrenos agrícolas, existiendo una recirculación del agua subterránea extraída; en segundo término está la percolación del agua de lluvia y su consecuente lixiviado, y, finalmente, la circulación del flujo subterráneo por los diferentes estratos geológicos, la mayoría de origen calcáreo, que traen como consecuencia la disolución de los mismos.

Asimismo, la familia de agua cálcico-bicarbonatada que predomina, es derivada del ataque químico del agua a los diversos horizontes calcáreos presentes en la región, a través de los que circula el agua subterránea.

Del análisis de calidad del agua subterránea presentado en los estudios de Antares (1997<sup>a</sup> y 1997<sup>b</sup>), se desprende que la calidad del agua es inferior a la necesaria para el consumo humano, ya que se detectaron iones de Hierro, Nitrato y Calcio, así como STD que rebasan las normas establecidas, por lo que hay que tomar medidas precautorias para la utilización del agua, con relación al consumo humano.

De los diagramas Wilcox utilizados en los estudios de Antares (op.cit), resultó que predomina el grupo C3-S1, correspondiente a aguas con alto contenido de sales y baja concentración en Sodio; su conductividad es del orden de 750 a 2250 mhos/cm. Este tipo de agua se puede utilizar en suelos cuyo drenaje no sea deficiente y, únicamente, para el cultivo de plantas muy tolerantes a las sales.

Entre los poblados de Valle Hidalgo, Estación Vaquero e Hidalgo, se detectó el tipo C4-S2, lo cual significa agua “muy altamente salina” y contenido medio en Sodio, sólo utilizable en suelos con buena permeabilidad y drenaje adecuado –de textura gruesa u orgánicos-; además, se debe aplicar un excedente de agua para lograr un buen lavado; su uso es exclusivo en plantas altamente tolerantes a las sales.



Un tercer grupo, denominado C4–S1, se definió en las cercanías de las poblaciones de San Francisco, El Papalote y La Primavera, hacia el límite noreste de la zona; a este tipo de agua se le clasifica como “muy altamente salina”, con bajo contenido en Sodio; su uso es recomendable en suelos con buena permeabilidad y con drenaje adecuado, necesitándose una cantidad extra de agua para obtener un buen lavado del terreno; el tipo de plantas a cultivar debe ser altamente resistente a las sales.

En la parte norte de la localidad de Ventura, se detectó una clasificación más de agua, conocida como C4–S4, que se caracteriza por poseer un elevado contenido de sales y una concentración muy alta en Sodio; la diferencia con el grupo anteriormente descrito estriba en el contenido de Sodio, lo que le da la particularidad de que es inadecuado para el riego.

En cuanto al uso pecuario se establece que el agua es apta para este uso, siempre y cuando el usuario tolere los contenidos salinos.

El agua para uso industrial presenta ciertas restricciones, debido a que el agua analizada resultó ser “agua muy dura”, lo que significa que es altamente incrustante; de igual forma, el elevado contenido de STD puede causar espuma o incrustaciones en calderas y tuberías, además de ser una fuente potencial de corrosión. Por todo lo anterior, el agua deberá ser sometida a procesos de tratamiento para reducir los niveles de dureza y salinidad.

La información disponible acerca de la evolución de la calidad del agua subterránea no permite evaluar la contaminación del acuífero generada por las diferentes actividades humanas. Empero, es lógico suponer que el desarrollo agrícola ha implicado cierto deterioro de la calidad del agua, debido a la infiltración de excedentes de riego, que acarrearán sales producto del lavado de los suelos y diversos compuestos y elementos derivados de la aplicación de plaguicidas y fertilizantes. También, es indiscutible suponer que las descargas de aguas residuales de los núcleos de población, hayan contaminado localmente la parte superior del acuífero, al menos en las áreas donde la superficie freática está somera.

## **6.0 CENSO DE APROVECHAMIENTOS**

Las características de los aprovechamientos que explotan el Acuífero Citrícola Norte se tomaron principalmente del estudio de Servicios Geológicos (1981).

En total existen aproximadamente 742 aprovechamientos que explotan el acuífero, distribuidos por uso del agua subterránea en 377 agrícolas, 280 doméstico-pecuario, 68 público urbano y 17 industriales.

La Residencia General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos-Unidad de Aguas Subterráneas del Estado de Nuevo León, realizó un censo en el año de 1988, el cual no cubrió toda la zona del acuífero, resultando 470 aprovechamientos, 236 pozos y 234 norias. Distribuidos por uso en 230 domésticos, 211 agrícolas, 9 pecuarios, 10 público urbano y 1 de observación. Del total de aprovechamientos 424 estaba equipado y 46 sin equipo. Los caudales de extracción variaban entre 0.5 y 100 lps.

La empresa Antares (1997<sup>a</sup> y 1997<sup>b</sup>) llevo a cabo un censo de aprovechamientos que solo cubrió la parte noreste y noroeste de la zona. De estos dos estudios en total fueron censados 270 aprovechamientos con caudales de extracción que variaron entre 0.25 y 64 lps con un promedio de 6 lps.

## 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La recarga al Acuífero Citrícola Norte se obtuvo despejándola de la ecuación general del balance de aguas subterráneas, de acuerdo con las especificaciones del Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 “Que establece las disposiciones para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”.

El balance de aguas subterráneas en su forma más simple, está representado por la expresión siguiente:

$$\begin{array}{l} \text{Recarga Total} = \qquad \qquad \text{Cambio de Almacenamiento} + \text{Descarga Total} \\ \text{(suma de entradas)} \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{(suma de salidas)} \end{array}$$

### 7.1 Entradas

Con base en el funcionamiento hidrodinámico del acuífero documentado en el capítulo de hidrogeología, se establece que los mecanismos de recarga al acuífero son los siguientes: a) infiltración de la lluvia a través de los Depósitos Aluviales y Conglomerado Reynosa que afloran en los valles y mesetas de la región, b) infiltración a lo largo de los ríos y arroyos de la zona y c) infiltración por excedentes de riego.

La infiltración de la lluvia no se pudo evaluar a partir del balance hidrológico tradicional por falta de datos de gastos de los principales Ríos El Pílon, Garrapatas y Ramos. La estación hidrométrica con que se cuenta se localiza sobre el cauce del Río San Juan, aguas abajo de la confluencia de los Ríos de la zona con el Río San Juan. El área de influencia de esta estación hidrométrica, a parte de abarcar los Ríos El Pílon, Garrapatas y Ramos, comprende la cuenca de Río Santa Catarina que se adentra en la Sierra Madre Oriental. Por esto último, se decidió no utilizar la información de esta hidrométrica.

Para estimar la infiltración por excedentes de riego a partir de un balance hidráulico de las áreas de riego, no se cuenta con información de los volúmenes aplicados al riego, tipos de cultivos, superficies beneficiadas y eficiencia de los sistemas de riego.

### 7.2 Salidas

La extracción por bombeo y el flujo subterráneo que se da en la parte noreste del valle, constituyen las principales componentes de la descarga total del acuífero. La evaporación directa por causa de niveles freáticos someros se considera que no se lleva afecto en la zona, así lo indica los niveles estáticos que generalmente se encuentran a más de 5 m de profundidad.

En el estudio de Servicios Geológicos (1981) se reporta que el volumen total de extracción del Acuífero Citrícola Norte es del orden de 120 Mm<sup>3</sup>/año, de los cuales 106 Mm<sup>3</sup>/año se destinan al uso agrícola, 8 Mm<sup>3</sup>/año al uso público urbano, 4 Mm<sup>3</sup>/año al uso doméstico pecuario y 2

Mm<sup>3</sup>/año al uso industrial. Este volumen de extracción se obtuvo con base en los datos de los trabajos de censo de aprovechamientos de agua subterránea que formaron parte de este estudio.

Al respecto, la Residencia General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos- Unidad de Aguas Subterráneas del Estado de Nuevo León, en el año de 1988 reportó con base en un censo de aprovechamientos que cubrió un área menor que la del estudio de Servicios Geológicos (1981), un volumen de extracción de 24.514 Mm<sup>3</sup>/año. De la misma manera, en los estudios de Antares (1997<sup>a</sup> y 1997<sup>b</sup>) se reporta un volumen de extracción de 6.9 Mm<sup>3</sup>/año para un área de estudio también de menor dimensión.

En cuanto a la salida por flujo subterráneo, la empresa Servicios Geológicos (1981) con base en el método de la ecuación de Darcy, reportó un caudal de salida de 3.773 m<sup>3</sup>/s. Sin embargo en este caudal se incluye tanto la salida del Acuífero Citrícola Norte como del Acuífero Citrícola Sur. Para separar el caudal de salida para el Acuífero Citrícola Norte, fue utilizado el plano de la red de flujo de mayo de 1981, elaborado por esta empresa, haciendo el cálculo por la ecuación de Darcy para cada una de las celdas de flujo, aplicando para ello un valor promedio de transmisividad igual a 0.005 m<sup>2</sup>/s obtenido de pruebas de bombeo tal como se aplicó en el estudio previo. De esta manera resultó un caudal de salida de 2.281 m<sup>3</sup>/s que equivale a un volumen de 71.934 Mm<sup>3</sup>/año.

### 7.3 Cambio de almacenamiento

Se considera que a periodos largos de observación el acuífero no ha tenido cambio de almacenamiento. Esta aseveración se fundamenta en el hecho de que se trata de un acuífero de poco espesor con funcionamiento de “autoregulación”, es decir que posterior a la temporada de fuerte extracción que se da para el riego agrícola en la región, los niveles estáticos sufren considerables abatimientos que se recuperan relativamente rápido en respuesta al proceso de recarga por la infiltración de la lluvia en los valles y mesetas de la zona y por la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales. Este ciclo de abatimientos y recuperaciones se puede decir que se repite cada proceso de recarga y extracción.

## 8. DISPONIBILIDAD

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

Disponibilidad media de Agua Subterránea en una unidad hidrogeológica = Recarga Total Media Anual - Descarga Natural Comprometida - Volumen Concesionado de Aguas Subterráneas e inscrito en el REPDA

### **8.1 Recarga total media anual**

La recarga total que recibe el Acuífero Citrícola Norte, fue despejada de la ecuación general del balance tal como se describió anteriormente. Para ello si se toma en cuenta que el cambio de almacenamiento prácticamente ha sido nulo y si consideramos que la descarga total está compuesta por la salida por flujo subterráneo que es del orden de 71.9 Mm<sup>3</sup>/año y por la extracción por bombeo que es de aproximadamente 120 Mm<sup>3</sup>/año, se llega a una recarga total del orden de **191.9 Mm<sup>3</sup>/año**.

### **8.2 Descarga natural comprometida**

La descarga natural comprometida, es la suma de los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos alimentados por una unidad hidrogeológica, que están comprometidos como agua superficial para diversos usos, y de las descargas subterráneas que se deben conservar para no afectar a las unidades hidrogeológicas (flujo horizontal que sirve de recarga para acuíferos aguas abajo) o destinados para sostener el gasto ecológico (vegetación nativa e intrusión salina).

Como descarga natural comprometida del Acuífero Citrícola Norte sólo se considera la salida por flujo lateral que descarga al Río San Juan por el extremo noreste de la zona. Bajo esta concepción, la descarga natural comprometida es de aproximadamente de **71.934 Mm<sup>3</sup>/año**

### **8.3 Volumen concesionado de agua subterránea**

El volumen concesionado de agua subterránea del Acuífero Citrícola Norte por medio de títulos registrados en el REPDA al 30 de abril de 2002, de acuerdo con la Gerencia de Administración del Agua de esta Comisión, es de **209'961,328 m<sup>3</sup>/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 concesionado e inscrito en el REPDA: que de acuerdo con la expresión anterior, resultó ser de **-89'995,328 m<sup>3</sup>/año**.

$$-89'995,328 = 191'900,000 - 71'934,000 - 209'961,328$$

La cifra indica que no existe volumen disponible para nuevas concesiones en la unidad hidrogeológica denominada acuífero Zona Citrícola Norte.

## **9 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

- C.N.A., 1994. Manual para Evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos
- C.N.A., 1996. Ley Federal de Derechos en Materia de Agua
- C.N.A., 1997. Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. 3ª Edición.
- INEGI, 1981. Síntesis geográfica del Estado de Nuevo León.
- Servicios Geológicos, S. A., 1981. Estudio geohidrológico preliminar de la Zona Citrícola, Nuevo León. Elaborado para SARH-DGZA.
- Antares S. A. de C. V., 1997<sup>a</sup>. Censo de captaciones de agua subterránea y colección de datos geohidrológicos en la Cuenca del Arroyo Garrapatas y una porción de la Cuenca del Río Pílon, Edo. de Nuevo León. Realizado para la Comisión Nacional del Agua.
- Antares S. A. de C. V., 1997<sup>b</sup>. Censo de captaciones de agua subterránea en una porción del Río San Juan, Edo. de Nuevo León. Realizado para la Comisión Nacional del Agua.