

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Corrales (3203), Estado  
de Zacatecas***

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

## Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

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

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

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

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

DXLI REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
<b>ESTADO DE ZACATECAS</b>							
3203	CORRALES	28.1	5.0	1.040358	2.0	22.059642	0.000000

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 CORRALES (3203), ESTADO DE ZACATECAS**

**México, D.F., octubre de 2008**

## CONTENIDO

1.	GENERALIDADES .....	2
	Antecedentes .....	2
1.1.	Localización .....	2
1.2.	Situación administrativa del acuífero .....	5
2.	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....	5
3.	FISIOGRAFÍA .....	6
3.1.	Provincia fisiográfica .....	6
3.2.	Clima .....	6
3.3.	Hidrografía .....	7
3.4.	Geomorfología .....	8
4.	GEOLOGÍA .....	8
4.1.	Estratigrafía .....	8
4.2.	Geología estructural .....	10
4.3.	Geología del subsuelo .....	11
5.	HIDROGEOLOGÍA .....	13
5.1.	Tipo de acuífero .....	13
5.2.	Parámetros hidráulicos .....	14
5.3.	Piezometría .....	15
5.4.	Comportamiento hidráulico .....	15
5.4.1.	Profundidad al nivel estático .....	15
5.4.2.	Elevación del nivel estático .....	16
5.4.3.	Evolución del nivel estático .....	17
5.5.	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	17
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....	18
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRRANEAS .....	18
7.1.	Entradas .....	19
7.1.1.	Recarga vertical (Rv) .....	19
7.1.2.	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) .....	20
7.2.	Salidas .....	21
7.2.1.	Flujo Base (Qb) .....	21
7.2.2.	Bombeo (B) .....	22
7.3.	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) .....	22
7.4.	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ .....	23
8.	DISPONIBILIDAD .....	24
8.1.	Recarga total media anual (Rt) .....	24
8.2.	Descarga natural comprometida (DNCOM) .....	24
8.3.	Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS) .....	24
8.4.	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS) .....	25
9.	BIBLIOGRAFIA .....	25

## **1. GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-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 de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

#### **1.1. Localización**

El acuífero Corrales, definido con la clave 3203 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la parte suroccidental del Estado de Zacatecas, entre los paralelos 22° 20' y 23° 27' de latitud norte y entre los meridianos 103° 24' y 104° 20' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 4,938 km<sup>2</sup>.

Colinda dentro del estado de Zacatecas con los acuíferos Sabinas, al norte, y Ábrego al noreste; al este y sureste con el acuífero Valparaíso; al sur con el acuífero Norte de Jalisco, perteneciente al estado de Jalisco y al oeste con el acuífero Valle Santiago – San Blas y San Pero Tuxpan del estado de Durango, (Figura 1).

Geopolíticamente abarca la totalidad del Municipio de Jiménez del Teúl y parcialmente los municipios de Valparaíso, Chalchihuites, Sombrerete y Fresnillo.

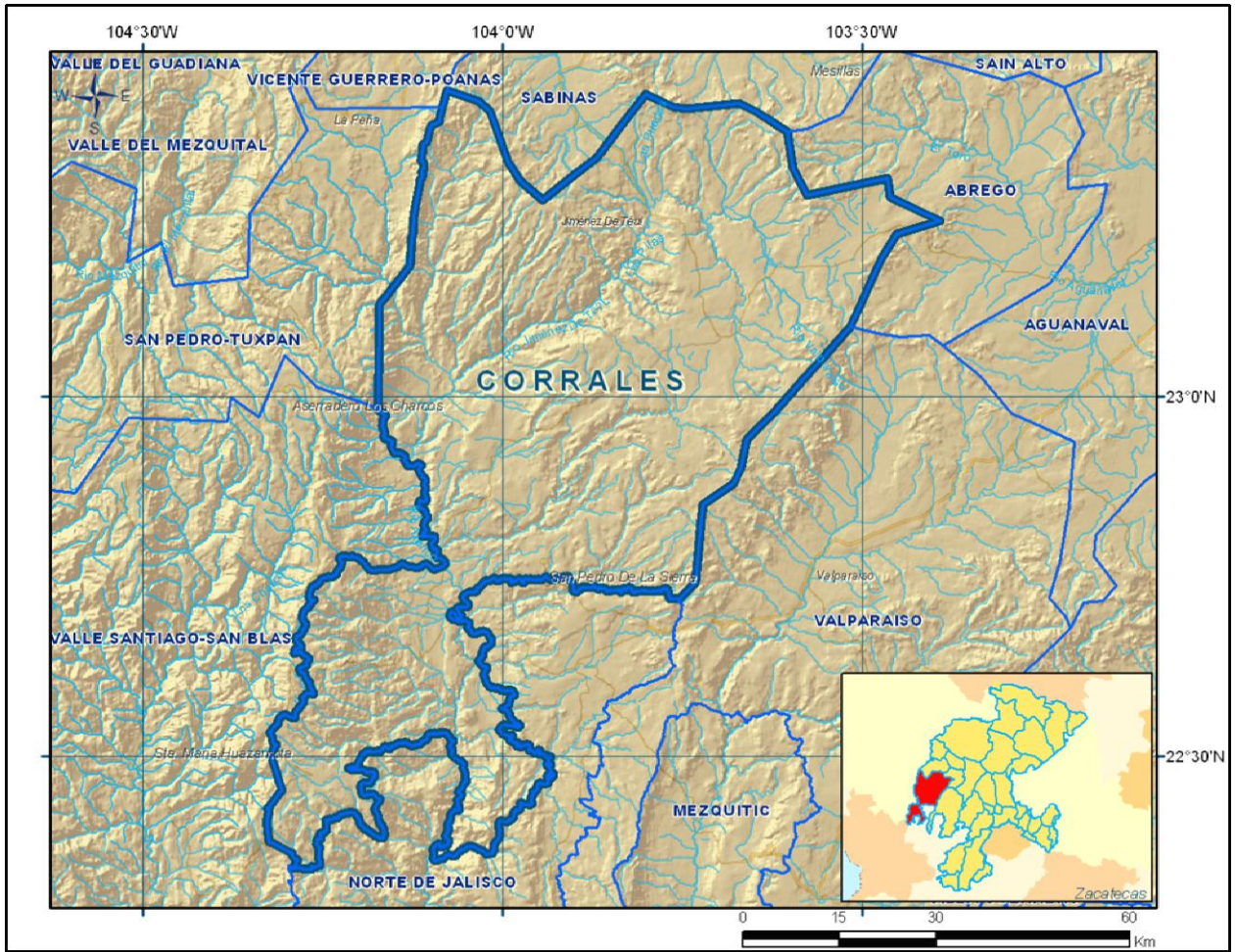


Figura 1. Localización del acuífero

La poligonal simplificada que delimita el acuífero Corrales se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimita al acuífero

**ACUÍFERO 3203 CORRALES**

VÉRTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	37	7.9	22	59	2.1	
2	103	39	40.6	22	56	22.3	
3	103	40	8.8	22	54	3.9	
4	103	40	42.6	22	52	44.1	
5	103	43	18.8	22	51	3.1	
6	103	43	28.3	22	49	42.9	
7	103	43	56.0	22	44	33.8	
8	103	45	16.2	22	43	9.0	DEL 8 AL 9 POR EL LÍMITE ESTATAL
9	104	17	30.7	22	20	38.6	DEL 9 AL 10 POR EL LÍMITE ESTATAL
10	104	10	24.0	22	59	6.4	DEL 10 AL 11 POR EL LÍMITE ESTATAL
11	104	5	1.0	23	24	11.4	DEL 11 AL 12 POR EL LÍMITE ESTATAL
12	104	4	38.4	23	25	33.8	
13	104	2	4.0	23	24	45.0	
14	104	1	4.7	23	23	53.2	
15	103	59	32.0	23	19	30.5	
16	103	58	32.0	23	17	58.8	
17	103	56	42.9	23	16	25.2	
18	103	52	12.1	23	19	53.3	
19	103	48	5.1	23	25	13.5	
20	103	45	47.3	23	24	8.9	
21	103	44	40.8	23	24	3.2	
22	103	40	18.6	23	24	27.9	
23	103	38	51.2	23	23	45.1	
24	103	36	14.5	23	22	6.3	
25	103	35	49.3	23	19	2.5	
26	103	34	37.0	23	16	48.3	
27	103	27	52.4	23	18	10.9	
28	103	27	42.1	23	16	38.0	
29	103	23	28.2	23	14	40.4	
30	103	27	9.1	23	13	36.4	
31	103	28	20.2	23	11	35.9	
32	103	30	58.1	23	5	48.1	
1	103	37	7.9	22	59	2.1	

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Corrales pertenece al Organismo de Cuenca VIII "Lerma- Santiago-Pacífico", y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Zacatecas. Su territorio se encuentra sujeto a las disposiciones de dos decretos de veda, en la mayor parte de su superficie se encuentra en vigor el *"Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en las zonas no vedadas, así como en el resto de los Municipios del Estado de Zacatecas y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en los municipios señalados"* publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 5 de agosto de 1988. Esta veda es tipo III, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

Una pequeña porción al noreste del acuífero se encuentra vedada por el *"Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos de los Municipios de Fresnillo y Villa de Cos, Zac. y se establece veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en esos Municipios"* publicado el 6 de abril de 1981. Esta veda es tipo II, en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2008 el municipio de Fresnillo, el cual abarca una pequeña porción dentro de la zona del acuífero, se localiza en la zona de disponibilidad 4; mientras que los municipios de Chalchihuites, Sombrerete, Jiménez del Teúl y Valparaíso se encuentran dentro de la zona de disponibilidad 7.

El usuario principal es el sector agropecuario. En el acuífero no se localiza Distrito de Riego alguno, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

## 2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Sólo se cuenta con un estudio geohidrológico que cubrió varios acuíferos, entre ellos Corrales:

**REACTIVACIÓN DE REDES DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO Y DE CALIDAD DEL AGUA EN LOS ACUÍFEROS VILLA GARCÍA, EL SALVADOR, GUADALUPE GARZARÓN, CAMACHO Y EL CARDITO, ESTADO DE ZACATECAS Y EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS GARCÍA DE LA CADENA, PINO SUÁREZ Y CORRALES, ZACATECAS, realizado por la empresa Ingeniería y Gestión Hídrica, S. C. en 2007, para la Comisión Nacional del Agua.**



El objetivo del estudio fue actualizar el conocimiento de las redes de flujo subterráneo, profundidad, elevación y evolución de los niveles del agua subterránea en las redes de medición y calidad del agua del acuífero, para establecer un diagnóstico de la evolución de los niveles del agua, determinar la recarga media anual del agua subterránea y las componentes de balance de aguas subterráneas.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1. Provincia fisiográfica**

El acuífero se ubica en la provincia fisiográfica “Sierra Madre Occidental”, la cual está representada en la zona por varias subprovincias: “Mesetas y Cañadas del Sur”, que abarca la mayor parte del acuífero; las “Sierras y Valles Zacatecanos” hacia el este y noreste del acuífero; la “Gran Meseta y Cañadas Duranguenses” en la parte noroeste, y en una pequeña proporción, hacia el noroeste, aparecen las “Sierras y Llanuras de Durango”. La subprovincia “Mesetas y Cañadas del Sur” ocupa el 7.94% de la superficie total del estado, abarca los municipios de Atolinga y Monte Escobedo y parcialmente a Jiménez del Teúl y Valparaíso.

#### **3.2. Clima**

Se presentan dos grupos de climas dentro del área: el Grupo de Clima Seco que se manifiesta en la franja central, que se extiende de norte a sur del acuífero, y el Grupo de Clima Templado que ocupa tanto la parte noreste como la suroeste del acuífero.

El clima Semiseco Cálido (BS1(h')hw), con lluvias en verano y porcentaje de precipitación invernal menor de 5, se presenta en una pequeña porción, hacia el sur de la zona, donde la precipitación media anual fluctúa entre 700 y 800 mm y la temperatura media anual es de 22° C. El Clima Semiseco Semicálido (BS1hw) presenta lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2; la precipitación media anual es de un rango de 500 a 700 mm y la temperatura media va de 18 a 22° C. Este tipo de clima se observa en una franja central del acuífero, con orientación norte-sur.

El Clima Semiseco Templado BS1 kw(w) con lluvias en verano, rango de precipitación media anual de 400 a 700 mm y temperatura media anual menor a 18° C, se presenta en la parte norte de la zona. El Clima Templado Subhúmedo C(w0) es intermedio en cuanto a humedad, con lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor a 5. Se presenta principalmente es los municipios de Valparaíso, Sombrerete, Monte Escobedo, Jiménez del Teúl y

Chalchihutes; dentro de la zona este tipo de clima se presenta en la mayor parte, hacia el norte, este y suroeste de los límites del acuífero.

Para la determinación de las variables que rigen el clima de la región se obtuvieron los datos de los promedios mensuales de temperatura y precipitación para el periodo 1987-2006, provenientes de 26 estaciones climatológicas ubicadas en la zona: Ameca La Vieja, Bocas, Chalchihuites, Corrales, El Pinito, El Platanito, El Romerillo, El Sauz Leobardo Reynoso, Felipe Ángeles, Jerez, Jesús María, Jiménez de Teúl, Las Ánimas, Mesillas, Milpillas de la Sierra, Pajaritos de la Sierra, Potrero de Gallegos, San Isidro de los González, San José de Llanetes, San Juan Capistrano, San Juan Peyotán, San Pedro de la Sierra, Santa Lucía, Sombrerete, Totuate y Valparaíso.

Con base en estos registros, se estimó una temperatura media anual de 16.6° C para la superficie que cubre el acuífero.

El valor de la precipitación media anual obtenido para este periodo fue de 559.7 mm/año.

La mayor precipitación se registra en la sierra localizada al oeste, con valores de 761 a 800 mm/año, así como en las sierras del suroeste con precipitaciones de hasta 720 mm/año.

La precipitación a lo largo del año tiene variaciones considerables. Las lluvias más abundantes se registran durante los meses de julio a septiembre, en tanto que los meses menos lluviosos son de noviembre a abril.

### **3.3. Hidrografía**

El área se ubica dentro de la Región Hidrológica número 12 "Lerma-Chapala-Santiago", que cubre el 40% del estado de Zacatecas.

La región dentro de la cual se ubica el acuífero pertenece a la cuenca "Río Huaynamota, cuya superficie drenada es de aproximadamente 5249 km<sup>2</sup>. El cauce principal de esta corriente tiene una longitud de 280 km y se forma principalmente por los escurrimientos del Río San Juan. Esta corriente nace en la vertiente oriental de la Sierra Madre Occidental, en la porción sureste del estado de Durango a casi 2000 msnm; inmediatamente después penetra a Zacatecas con el nombre de río San Juan Capistrano o Chapalanga, siguiendo un curso general al sur. Cruza una pequeña parte del estado de Jalisco y cambia su dirección rumbo al suroeste para cruzar el límite de los estados de Jalisco y Nayarit, sitio donde confluye el río Jesús María; aquí toma el nombre de Huaynamota y continúa así hasta su confluencia con el Río Grande Santiago. Como subcuencas intermedias se encuentran Arroyo El Alemán, Río Atengo, Río Huejuquilla y Río San Andrés.

Dentro del área se cuenta con la estación hidrométrica El Platanito, situada sobre el río San Juan Capistrano o Atengo, a 8.2 km aguas abajo de la confluencia de los ríos Atengo y

Huejuquilla; a 5 km aguas arriba de la confluencia de los ríos Atengo y El Zapote y a 18.5 km al SW de Huejuquilla en el municipio de Valparaíso estado de Zacatecas.

### **3.4. Geomorfología**

El paisaje de esta subprovincia está constituido por altas mesetas, que son interrumpidas abruptamente por profundos cañones que a su vez han resultado de la erosión fluvial sobre los diversos tipos de roca volcánica ácida que constituyen la sierra.

El paisaje del relieve dentro del área se caracteriza por la presencia de los siguientes sistemas de topofomas: Sierras, que se presentan hacia el norte y oeste de los límites del acuífero; Bajadas, se observan en una pequeña porción, hacia el norte; Mesetas, se extienden en una franja que corre de noreste a suroeste,; Llanuras, las cuales ocurren hacia el noreste en una pequeña área del acuífero; Valles, están distribuidos en las porciones centro-sur y noreste del acuífero; Cañones, asociados a las mesetas y valles distribuidos al noreste y suroeste de los límites del acuífero.

## **4. GEOLOGÍA**

La columna geológica de la zona, está constituida por rocas, sedimentarias, ígneas intrusivas y volcánicas, cuyo registro estratigráfico comprende edades que varían del Cretácico Superior al Cenozoico, distribuidos en la Sierra Madre Occidental, su ocurrencia se indica en la figura 2.

### **4.1. Estratigrafía**

A continuación se describen las unidades geológicas que afloran en el área, de la más antigua a la más reciente.

#### **Basamento**

No ha sido determinado en el área.

#### **Cretácico**

Está representado por sedimentos calcáreo-arcillosos mesozoicos. La base de la columna está constituida por una secuencia calcárea marina, de ambiente nerítico (Formación Zuloaga); a la que se le asigna una edad Oxfordiano-Kimeridgiano. La suprayace concordantemente, una secuencia calcáreo-arcillosa con facies fosforíticas depositadas en un ambiente de escasa energía, correspondiente a la Formación La Caja del Kimeridgiano - Titoniano. Encima de esta unidad aparentemente se presenta un hiatus ya que la Formación Taraises no aflora. Discordantemente, la cubren rocas calcáreo-arcillosas con bandas y nódulos de pedernal de

las formaciones Cupido, Peña y Cuesta del Cura, cuyas edades corresponden al periodo Hauteriviano-Cenomaniano. Estas rocas afloran en la Sierra de Guadalupe de Las Corrientes y Felipe Carrillo Puerto. A las unidades anteriores las sobryace, de manera concordante y transicional, la Formación Indidura, la cual está constituida por una alternancia de calizas y lutitas de edad Turoniano, depositada en agua tranquilas y poco profunda; encima transicionalmente afloran lutitas y areniscas de la Formación Caracol, que por su posición estratigráfica se le asigna una edad perteneciente al Coniaciano-Maestrichtiano.

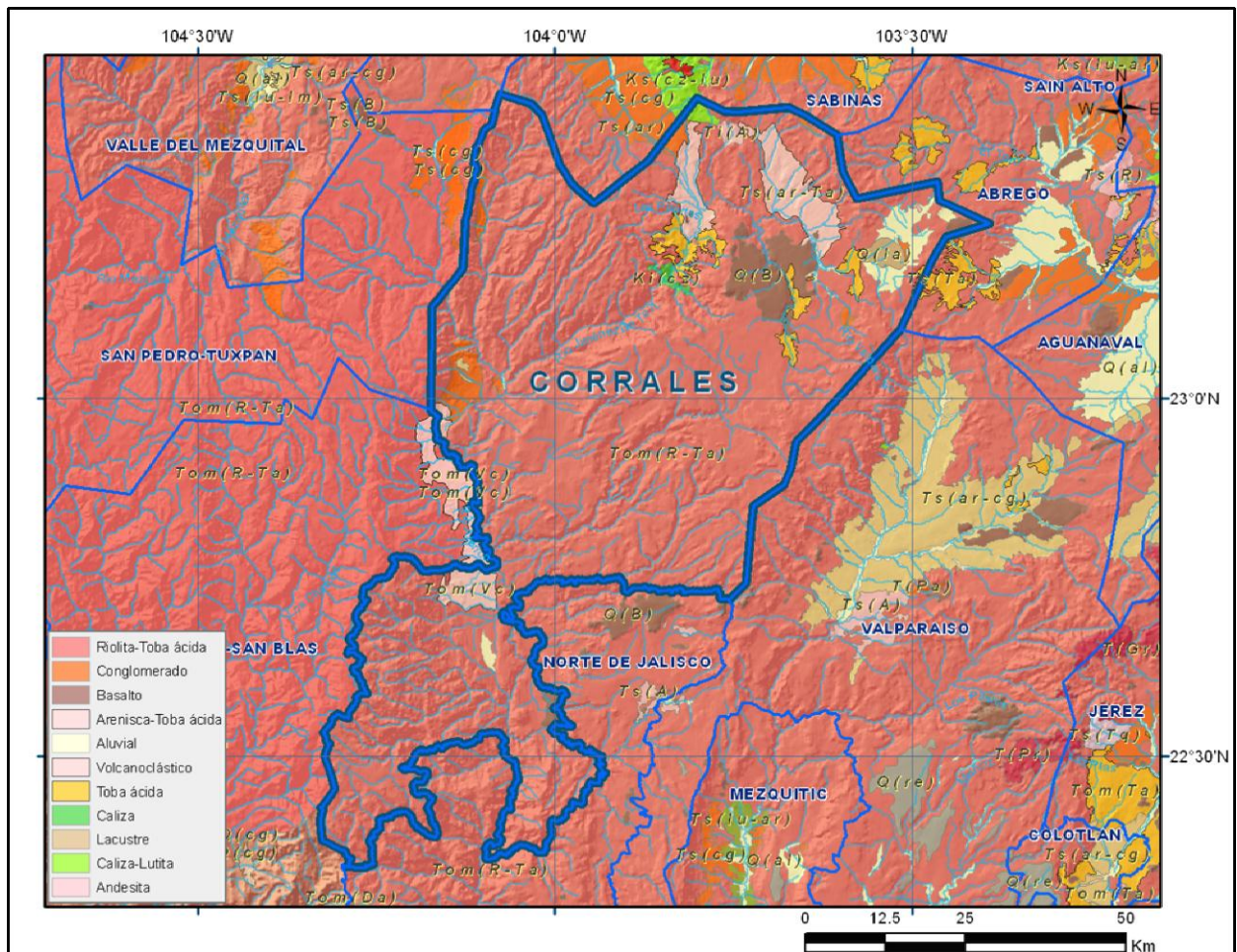


Figura 2. Geología general del acuífero

### Cenozoico

Las unidades Cenozoicas cubren a los tres terrenos tectonoestratigráficos por discordancia erosional. Están representadas por rocas clásticas continentales, rocas volcánicas félsicas y máficas, intrusivos plutónicos y subvolcánicos de composición ácida a intermedia. En la base del Paleógeno se depositó discordantemente un conglomerado polimíctico (Formación Ahuichila), constituido por fragmentos de calizas y rocas volcánicas, que aflora en el área de Sombrerete y Fresnillo. Existen evidencias de vulcanismo básico alcalino, representado por derrames y cuellos volcánicos relacionados al campo volcánico Los Encinos, cuya antigüedad es de 10-12 m.a. (Aranda, 1996). Durante el Oligoceno-Mioceno se emplazaron rocas intrusivas, formando troncos y apófisis alineados con las zonas de debilidad orientadas en

sentido NW-SE. La composición de estas rocas varía en el rango granito-granodiorita-cuarzomonzonita-diorita, de afinidad calcoalcalina, con edades de 46-32 m.a. Están relacionadas con la mineralización polimetálica en Chalchihuites, San Martín-Sabinas, Fresnillo, Plateros, Jiménez de Teúl y Cerro de Sacrificios. En Fresnillo, Chalchihuites, Sombrerete, González Ortega y Cerro las Tetillas, existen pórfidos de composición riolítica, monzonítica, granodiorítica y andesítica, que se presentan en forma de diques de la misma composición orientados NW-SE, intrusionando a los sedimentos mesozoicos. También se encuentran del Oligoceno-Mioceno potentes paquetes de ignimbritas, tobas, derrames riolíticos y basálticos, en las Sierras de Chapultepec, Valparaíso y Fresnillo, de edad 38 a 24 m.a.. En los distritos de Fresnillo, Sombrerete y Villa de Cos, afloran cuerpos estratiformes de jasperoides, interpretados como la cúpula de sistemas hidrotermales fósiles, en un intervalo de tiempo de 35-29 m.a., relacionados con esta actividad volcánica.

Del Neógeno se tiene un conglomerado polimíctico (Mioceno-Plioceno) constituido por fragmentos subredondeados de areniscas y rocas volcánicas de composición riolítica, areniscas, calizas y limos semiconsolidados.

El cuaternario está representado por sedimentos lacustres, conglomerados, abanicos y terrazas aluviales que rellenan las cuencas endorreicas.

## **4.2. Geología estructural**

El marco estructural está definido por los contactos tectónicos de los Terrenos Guerrero, Parral y Sierra Madre. Dichos límites se caracterizan por presentar sistemas complejos de plegamiento asociados a cabalgaduras en un régimen de deformación dúctil. Se interpreta que el evento ocurrió durante la Orogenia Laramide cuando el Terreno Guerrero cabalgó sobre los Terrenos Sierra Madre y Parral. Esta deformación, al interior del Terreno Sierra Madre, causó plegamiento, formando anticlinales y sinclinales de rumbo NW-SE, con apilamiento de cabalgaduras en la Sierra de Guadalupe de Las Corrientes, en un estilo de deformación contrastante al que existe hacia el SW.

Posterior al evento laramídico se desarrolló un evento distensivo que causó zonas de cizallamiento que sirvieron para la inyección de intrusiones multifásicas de granitoides hipoabisales y domos, así como la extrusión de rocas volcánicas félsicas. Los yacimientos minerales presentes en Fresnillo, San Martín-Sabinas, Chalchihuites, Plateros, Cerro Sacrificios y Jiménez del Teúl son el resultado de este proceso. Genéticamente se asocian a cuerpos intrusivos de composición ácida a intermedia, que generaron una aureola de metamorfismo en los sedimentos calcáreo-arcilloso del Cretácico, dando origen a yacimientos polimetálicos en forma de mantos, chimeneas, vetas, disseminados y skarn. Otras localidades con mineralización de vetas epitermales son Sombrerete, Saín Alto, Río Grande, Francisco R. Murguía, Guadalupe de Las Corrientes y Fresnillo-Plateros, así como cuerpos irregulares de

reemplazamiento por jaspes y manganeso en Villa de Cos, sin evidencias superficiales de intrusivos.

#### **4.3. Geología del subsuelo**

No existen registros de estudios geofísicos que se hayan realizado en la zona. Sin embargo se cuenta con dos secciones geológicas que atraviesan la zona, la primera en la porción sur del acuífero, con dirección W-E, y la segunda se localiza en la porción norte, con dirección SW-NE (figura 3), estas secciones fueron publicadas por el Servicio Geológico Mexicano en las cartas geológico–mineras. Hoja Fresnillo y Hoja Zacatecas, escala 1:250,000, estas secciones fueron construidas a partir de pozos exploratorios de PEMEX, estudios geológico-mineros, registros geofísicos, etc. En estas secciones que alcanzan una profundidad de hasta 3000 m, se observa la presencia de las siguientes formaciones:

Basalto del Oligoceno, aflora en la parte norte del acuífero, en el subsuelo puede alcanzar espesores de más de 220 m. Este material junto con las ignimbritas, el material aluvial y las tobas son las unidades que funcionan como acuíferos dentro de la zona.

Riolita del Oligoceno. Tiene un espesor medio de 480 m, se encuentra aflorando en la parte norte del acuífero.

Granito (Oligoceno-Mioceno). Forma parte del basamento del acuífero en la porción norte del mismo, se ha estimado que tiene un espesor mayor a los 1000 m.

Ignimbrita (Oligoceno-Mioceno). Se localiza en el subsuelo en forma concordante, encima de un paquete de riolitas, aflorando en la toda la porción norte del acuífero, formando un paquete de 300 m de espesor.

Riolita (Oligoceno-Mioceno). Se localiza en el subsuelo en forma concordante por debajo de un paquete de ignimbritas, que aflora en toda la porción norte del acuífero, formando un paquete de 420 m de espesor.

Arenisca y Toba Riolítica del Oligoceno-Mioceno. Esta unidad ígnea tiene un espesor medio de 330 m, encontrándose en el subsuelo entre las riolitas y el paquete de ignimbritas.

Toba Riolítica del Oligoceno. Esta unidad ígnea tiene un espesor medio en el subsuelo de la porción norte del acuífero de 950 m; en el resto del acuífero se presenta aflorando en la superficie.

Monzonita (Oligoceno). Aflora en la porción norte del acuífero, en el subsuelo forma parte del basamento del acuífero, teniendo superior a los 2300 m.

Andesita (Eoceno-Oligoceno). A profundidad se localiza por debajo de las riolitas del Oligoceno-Mioceno, con espesores mayores a 2540 m. Tiene altas posibilidades acuíferas, sin embargo no ha sido explotada esta unidad geológica.

Caliza Arcillosa (Cretácico Inferior-Superior). En superficie aflora en la porción norte del acuífero; en el subsuelo, forma un paquete de aproximadamente 1900 m de espesor, constituyendo parte del basamento impermeable del acuífero ignimbrítico.

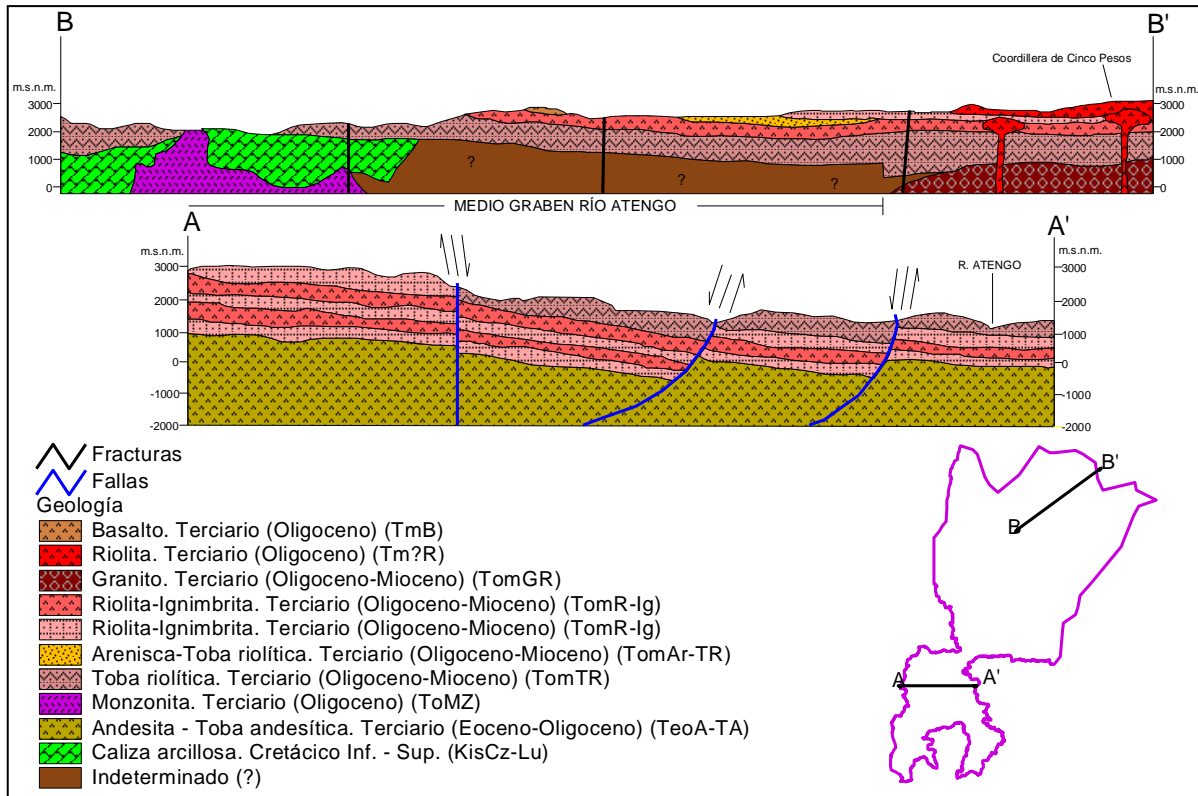


Figura 3. Secciones geológicas de la zona

De acuerdo con esta información, podemos afirmar que el acuífero se encuentra constituido, en su parte superior y restringido a los valles, por sedimentos granulares; en tanto que en la parte inferior se presentan rocas volcánicas fracturadas de composición predominantemente ácida, y en algunos sitios básica, que en superficie funcionan como zonas de recarga. Las fronteras y barreras al flujo subterráneo están definidas por la presencia de rocas volcánicas no fracturadas y rocas ígneas intrusivas. Estas últimas se consideran el basamento. El espesor del material aluvial alcanza algunas decenas de metros en los valles, en tanto que las rocas volcánicas fracturadas superan los 300 m de espesor.

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1. Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica y piezométrica, es posible reconocer siete unidades hidrogeológicas (seis de permeabilidad media a baja y un acuífugo), que en conjunto definen un sistema acuífero que se comporta como **libre**, con interconexión hidráulica entre las distintas unidades.

**Unidad aluvial del Cuaternario.** Constituida por los sedimentos clásticos (aluvión) que rellenan una pequeña cuenca intermontana localizada en la porción noreste del acuífero. De acuerdo al rendimiento de los aprovechamientos de agua subterránea, se considera de mediana a baja productividad (4 l/s como promedio).

Esta unidad corresponde a los sedimentos que rellenan un área de 104 km<sup>2</sup> en la porción noreste de una cuenca intermontana localizada dentro del límite del acuífero, no se conoce el espesor de estos materiales, sin embargo el pozo más profundo perforado en ellos tiene una profundidad de 66 m. Por debajo de estos materiales se localiza un paquete de conglomerados polimícticos del Paleógeno-Neógeno.

Esta unidad está delimitada al este, norte y oeste por sierras conformada por riolitas, ignimbritas y tobas ácidas del Paleógeno-Neógeno. Funciona como zona de recarga y al mismo tiempo de descarga ya que aquí se localizan 65 de los 86 aprovechamientos censados, cuyas profundidades varían entre 2 y 66 m.

**Unidad en conglomerados.** Esta unidad aflora en áreas muy restringidas del acuífero y se encuentra constituida por conglomerados polimícticos del Paleógeno-Neógeno que rellenan pequeñas cuencas intermontanas. Los bajos caudales que aporta le confieren una baja productividad (menor a 2.5 l/s); los dos pozos perforados dentro de estos materiales tienen una profundidad de 105 m. Por debajo de estos materiales puede encontrarse un paquete de riolitas e ignimbritas del Oligoceno y en ocasiones pueden estar parcialmente cubiertos por basaltos del Plioceno ó por material aluvial del Cuaternario. La única prueba de bombeo realizada en esta unidad hidrogeológica dio como resultado una conductividad hidráulica de 2.13 m/día.

**Unidad en tobas.** Estas rocas ígneas afloran en las inmediaciones de la localidad de Estancia de Guadalupe, en un área de 25 km<sup>2</sup>. El agua que circula en ellas se infiltra a través de fracturas; es probable que exista flujo horizontal de agua subterránea de esta unidad a la de basaltos, conglomerados o ignimbritas.

**Unidad acuífera en basaltos.** Afloran entre las localidades de Corrales y Refugio de Los Pozo, se encuentran cubriendo parcialmente a las riolitas-ignimbritas del Paleógeno-Neógeno



y tiene un espesor aproximado de 220 m. El agua que circula en ellos se infiltra a través de fracturas. En superficie sus afloramientos funcionan como zonas de recarga

**Unidad en ignimbritas.** Conforman las mayores elevaciones topográficas de la zona y mantienen una conexión hidráulica con las unidades hidrogeológicas descritas anteriormente, con las que se interdigita. En el subsuelo conforman un acuífero de productividad media a baja y en superficie funcionan como zona de recarga. Dado que es la unidad que mayor exposición presenta en el acuífero (4600 km<sup>2</sup>), es la que presenta un mayor potencial de explotación. En la porción noreste del acuífero es la unidad que actualmente se encuentra en explotación.

El agua que circula en ellas se infiltra a través de fracturas y al desaparecer estas o en el contacto con otras unidades de diferente permeabilidad, originan manantiales. Esta unidad aporta por un gasto al flujo base de los ríos perennes que se encuentran dentro de la zona, el cual ha sido estimado en la porción noreste del acuífero en 20.1 hm<sup>3</sup>/año.

**Unidad en calizas arcillosas.** Estas rocas sedimentarias afloran en forma de anticlinales que conforman algunas sierras. En el valle se encuentran cubiertas por los conglomerados polimícticos y por las ignimbritas del Paleógeno-Neógeno; funcionan como basamento de la unidad hidrogeológica en ignimbritas y forman acuitardos de baja productividad (menor a 4 l/s).

**Acuífugo en rocas ígneas intrusivas.** Esta unidad hidrogeológica aflora localmente en las sierras que se ubican en las porciones centro y este del acuífero, se encuentra conformada por granitos y monzonitas, los cuales por sus características litológicas no presentan posibilidades de almacenar agua subterránea, por lo que se consideran el basamento de la unidad hidrogeológica en ignimbritas, a profundidades superiores a los 1700 m.

## 5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades realizadas en el estudio de 2007, se ejecutaron dos pruebas de bombeo de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. Los resultados de su interpretación arrojan valores de conductividad hidráulica muy variadas, acordes a la litología heterogénea de los materiales del subsuelo: de **0.371 a 0.00963 m/día** y transmisividades de **494 a 1.99 m<sup>2</sup>/día**, para la etapa de abatimiento; mientras que para la etapa de recuperación las conductividades hidráulicas varían de **2.13 a 0.0105 m/día** y las transmisividades **de 245 a 2.18 m<sup>2</sup>/día**, considerando un espesor saturado del acuífero de 115 y 207 m, respectivamente.

Ninguna de las pruebas de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no fue posible estimar el valor del coeficiente de almacenamiento.

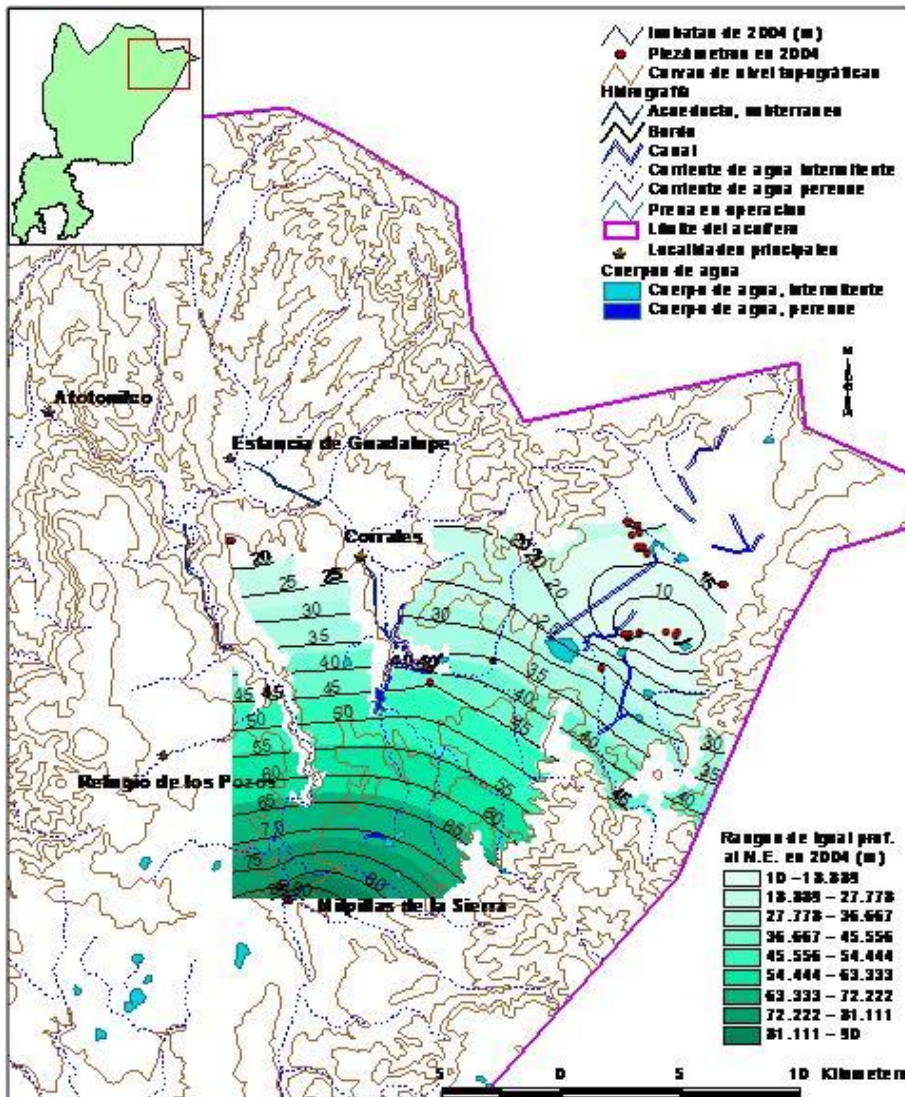
### 5.3. Piezometría

Con respecto a la información piezométrica, sólo se dispone de dos lecturas que se restringen exclusivamente a la porción noreste del acuífero y que corresponden a los años 2004 y 2007; obtenidas en 22 y 71 aprovechamientos, respectivamente.

### 5.4. Comportamiento hidráulico

#### 5.4.1. Profundidad al nivel estático

Con la información disponible para estos dos años, fue posible elaborar la configuración de profundidad al nivel estático. En la figura 4 se presentan dichas configuraciones, y en ella se puede observar que para el año 2004 la profundidad variaba de 10 a 90 m, registrándose los mayores valores hacia las estribaciones de las montañas. Para el año 2007 sólo se tiene información en el valle, en el que, al igual que para el año 2004, los valores de profundidad al nivel del agua subterránea varían en esta región de 10 a 40 m.



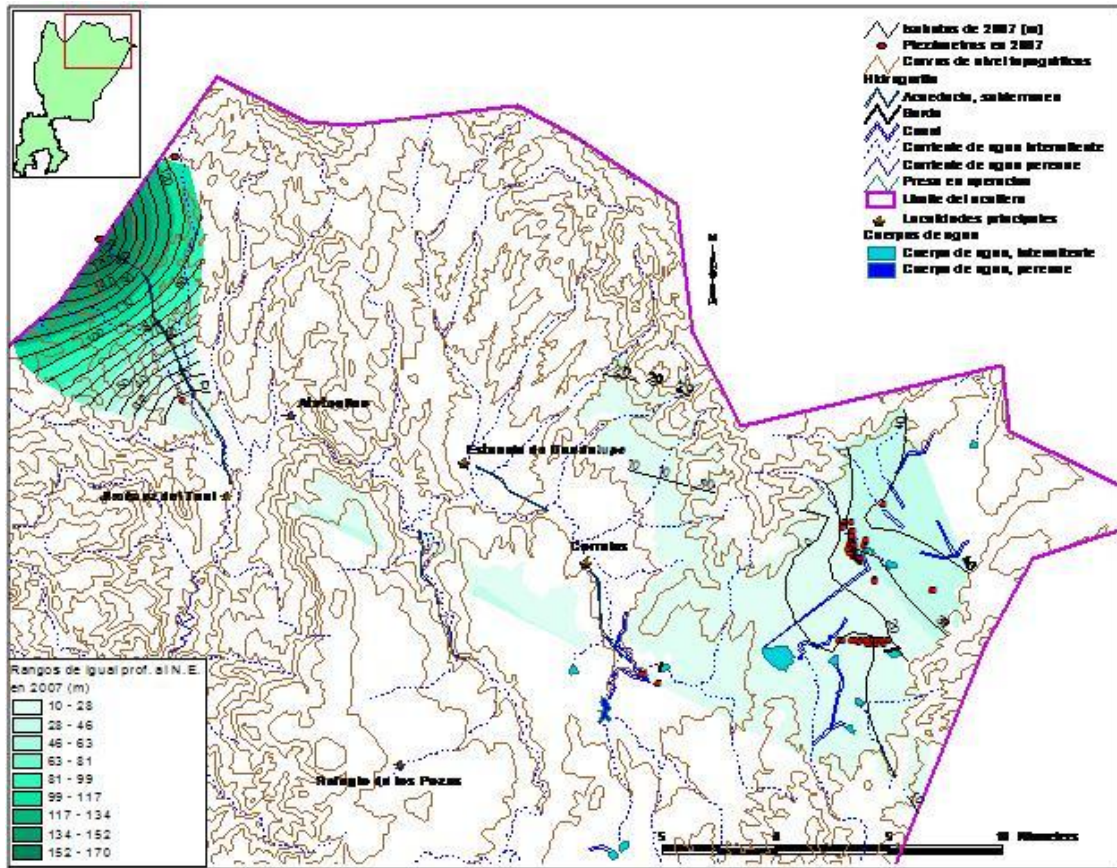


Figura 4. Profundidad al nivel estático (m) 2004 y 2007

#### 5.4.2. Elevación del nivel estático

La configuración de la elevación del nivel estático que corresponde al año 2007, muestra valores de 2400 a 2220 msnm, mostrando una dirección preferencial del flujo subterráneo en dirección noroeste-sureste, como se puede observar en la figura 5.

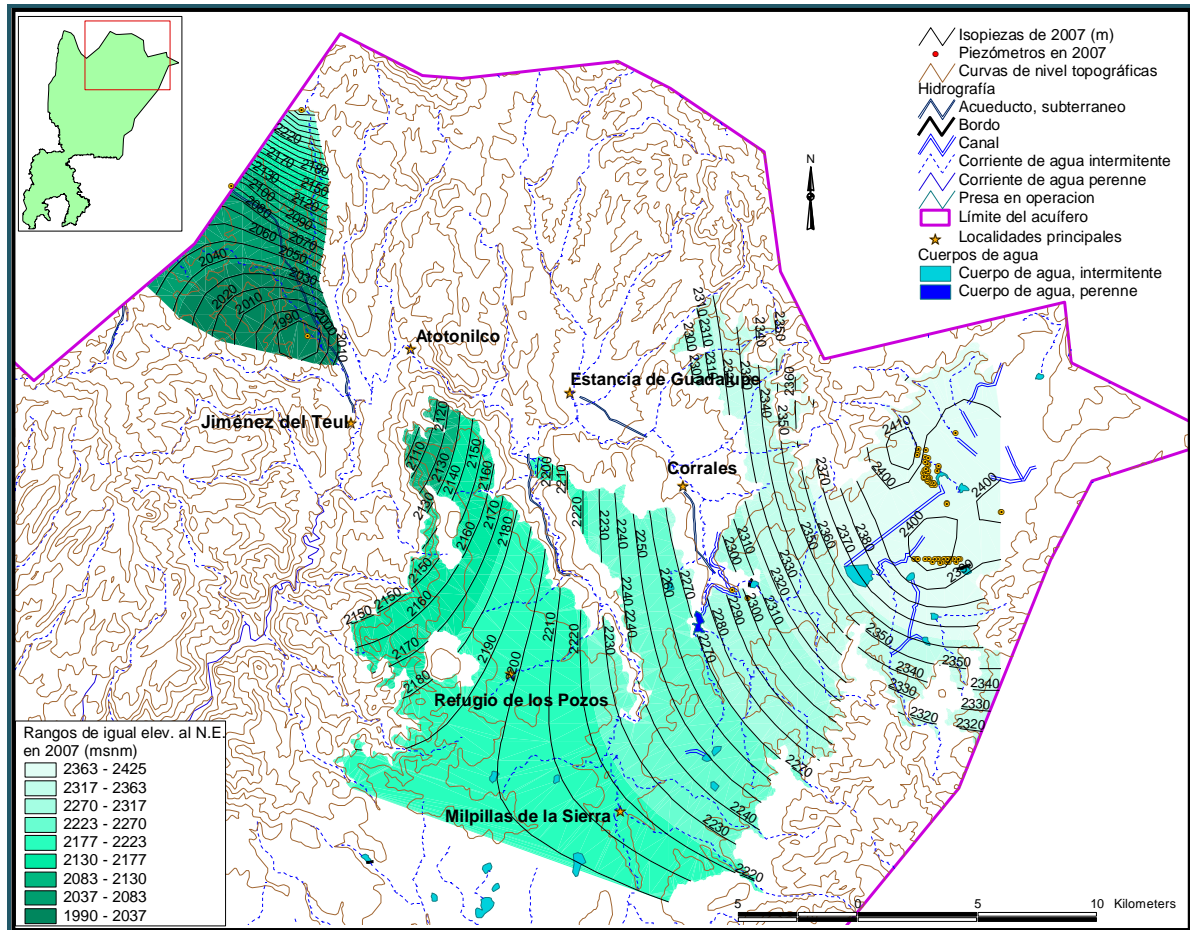


Figura 5. Elevación del nivel estático (msnm), 2007

### 5.4.3. Evolución del nivel estático

Debido a que para el periodo de análisis (2004-2007) sólo se disponía de 10 pozos con valor de evolución del nivel estático, no fue posible elaborar una configuración consistente. Por ello se recurrió a generar las líneas de igual valor de evolución a partir de la sobreposición de las curvas de profundidad al nivel estático que corresponden a estos años.

Con este procedimiento se obtuvo una evolución positiva del nivel estático de 3.41 m para el periodo 2004-2007, lo que indica una recuperación promedio anual de 0.85 m, que es consistente con los valores observados puntualmente en los pozos.

### 5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2007, se tomaron muestras de agua en 28 aprovechamientos para su análisis físicoquímicos correspondiente. Las determinaciones incluyeron iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, dureza total y sólidos totales disueltos.

Con respecto a la calidad del agua, tomando en cuenta los resultados de los análisis físicoquímicos, se puede observar que los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) varían de 100 a 360 mg/l, por lo que se puede afirmar que el agua subterránea es apta para el consumo humano, ya que la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 contempla un máximo permisible de 1000 mg/l de STD.

Por otra parte, de acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída se clasifica como de salinidad baja (C1) a media (C2) y contenido bajo de sodio (S1), características que no imponen restricción alguna ni para el riego de los cultivos ni para los suelos de la región. De las 28 muestras analizadas, 5 se clasifican como C1-S1 y las 23 restantes como C2-S1.

Con respecto a las familias del agua, predomina la bicarbonatada-sódica, que es muy común en medios geológicos volcánicos.

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

De acuerdo con los resultados reportados en el último censo realizado en el año 2007, se registraron un total de 86 obras en el acuífero que aprovechan las aguas subterráneas, de las cuales 79 son pozos, 3 norias y 4 manantiales. Del total de obras, 82 están activas y las 4 restantes inactivas.

De las obras activas, 73 se destinan al uso doméstico-abrevadero y las 9 restantes al uso público-urbano. El volumen de extracción conjunta asciende a los **2.0 hm<sup>3</sup> anuales**, destinados casi en su totalidad a satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero.

La extracción para uso doméstico-abrevadero se cuantificó con los datos obtenidos en el censo (tiempos de operación y gastos instantáneos) y para uso pecuario se utilizaron los consumos medios para cada especie animal.

## **7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS**

El balance de aguas subterráneas se planteó únicamente para una superficie de 758 km<sup>2</sup> de la porción noreste del acuífero, ya que es la única que cuenta información hidrogeológica para ello. Hacia el norte y sur del acuífero la extracción es muy incipiente. El periodo de balance considerado es 2004-2007.

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

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

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

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:

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

### 7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos ( $R_v$ ) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo ( $E_h$ ).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, así como las fugas en el sistema de abastecimiento de agua potable, constituyen otra fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida ( $R_i$ ). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes, y el riego agrícola es incipiente, no existe recarga inducida.

#### 7.1.1. Recarga vertical ( $R_v$ )

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

$$R_v + E_h - B - S_h - Q_b = \pm \Delta V(S)$$

Donde:

$R_v$ : Recarga vertical

$E_h$ : Entradas por flujo subterráneo horizontal

$B$ : Bombeo

$S_h$ : Salidas por flujo subterráneo horizontal

$Q_b$ : Flujo base

$\Delta V(S)$ : Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$R_v = B + S_h + Q_b - \Delta V(S) - E_h$$

### 7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

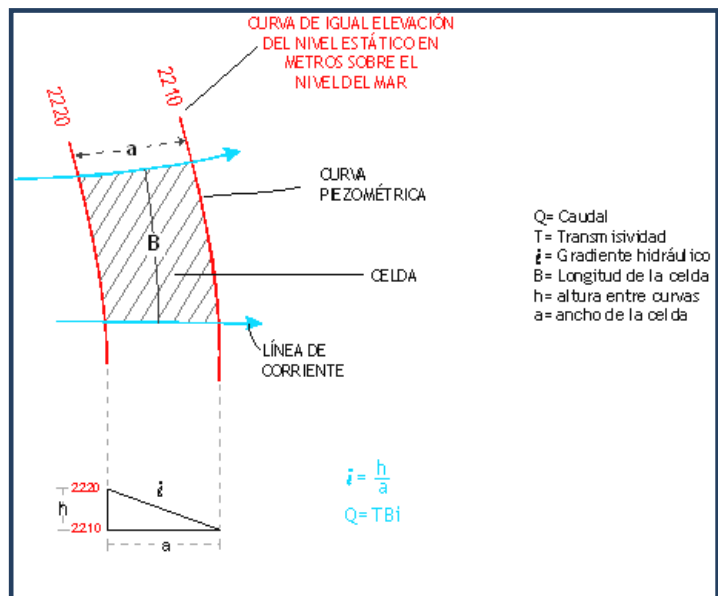
Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. Las entradas al acuífero, tienen su origen en la zonas de recarga localizadas en las sierras que rodean al valle.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2007 (figura 6), mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

Dónde:

- Q = gasto que pasa por un determinado canal de flujo;
- T = transmisividad;
- B = ancho de la celda;
- i = gradiente hidráulico



En esta configuración se seleccionaron canales o celdas de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal “Q” que recarga al acuífero. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la tabla 2 se puede observar que para la única celda identificada se presenta un flujo de entrada de **3.6 hm<sup>3</sup>/año**.

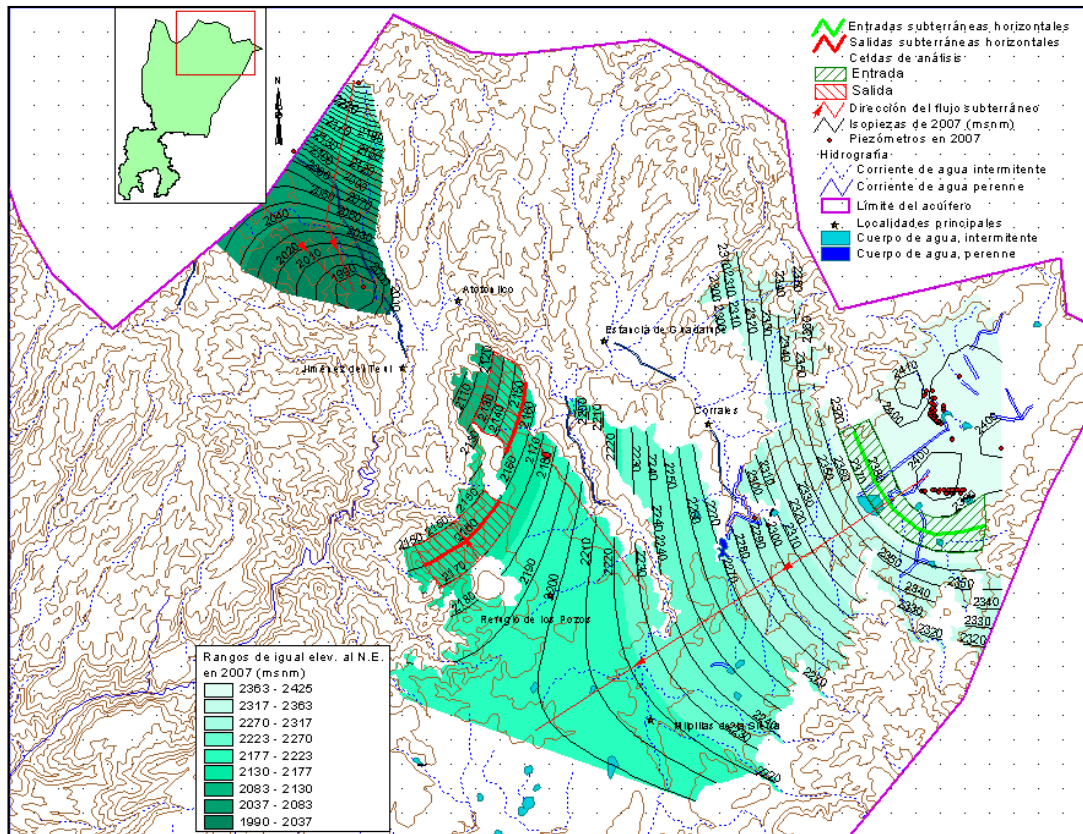


Figura 7. Red y celdas de flujo subterráneo

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal

No. Celda	Prof. Media al N.E. (m)	Prof. Media de la formación acuífera (m)	Espesor medio de acuífero (m)	Conductividad Hidráulica (m/s)	T (m <sup>2</sup> /s)	B (m)	i	Q m <sup>3</sup> /s	Eh (hm <sup>3</sup> /año)
1	20.00	60.00	40.00	2.38E-05	9.52*10 <sup>-4</sup>	9,652	0.0124	0.114	3.6
Total								0.114	3.6

## 7.2. Salidas

### 7.2.1. Flujo base (Qb)

El caudal base fue obtenido mediante el análisis de los hidrogramas mensuales para el periodo 1986-1994 en época de estiaje, obtenidos de la estación “El Platanito”, localizada sobre el río San Juan Capistrano, en la parte baja de la cuenca (Figura 8). El resultado fue un gasto de 0.80 m<sup>3</sup>/s para el mes más seco (mayo), que corresponde a un volumen anual de 25.0 hm<sup>3</sup>/año, para toda la cuenca del río San Juan, cuyos límites sobrepasan el acuífero Corrales. Como el área de captación en la que se encuentra el área de balance representa aproximadamente la quinta parte del área total de la cuenca, el caudal base aportado por esta zona al río San Juan es de **5.0 hm<sup>3</sup>/año**.



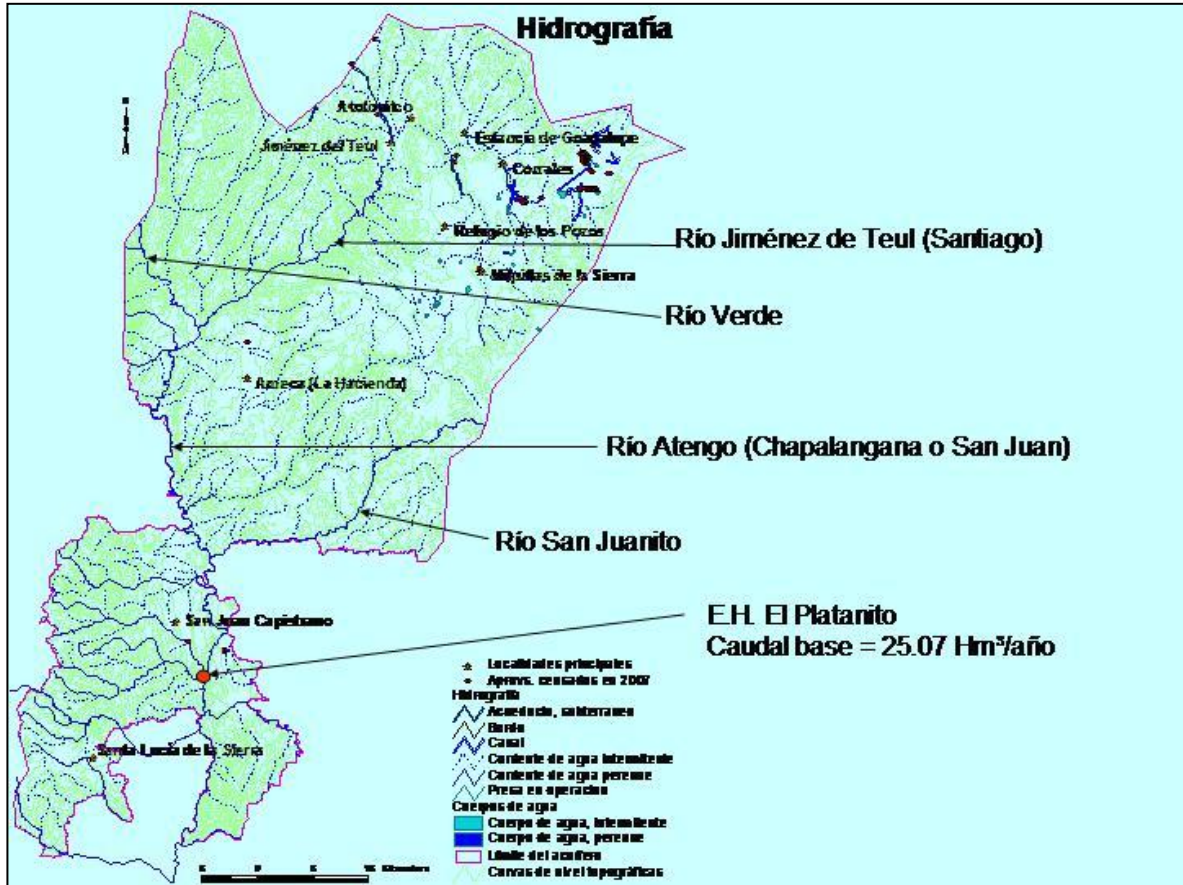


Figura 8. Ubicación de la estación hidrométrica “El Platanito”

### 7.2.2. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **2.0 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 7.3. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir también de la configuración de elevación del NE presentado en la figura 7. El Valor estimado es de **2.4 hm<sup>3</sup> anuales**, tal como se muestra en la tabla 3. Debido a que las salidas son hacia el Río Jiménez del Teúl, es posible se incorporen a él como flujo base.

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo horizontal

No. Celda	Prof. Media de la formación acuífera (m)	Espesor medio de acuífero (m)	Conductividad Hidráulica (m/s)	T (m <sup>2</sup> /s)	B (m)	i	Q m <sup>3</sup> /s	Eh (hm <sup>3</sup> /año)
A	20.00	40.00	2.38E-05	0.0010	3,781	0.0085	0.031	1.0
B	20.00	40.00	2.38E-05	0.0010	5,182	0.0093	0.046	1.5
<b>Totales</b>							0.077	2.4

#### 7.4. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$

Para el cálculo de este término se consideró la evolución piezométrica en el intervalo 2004-2007, con base en la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático, obtenida como se mencionó anteriormente; determinándose que existe un ascenso promedio en la posición de los niveles del agua subterránea de 0.85 m/año, que aplicado al área del valle donde existen los aprovechamientos de agua subterránea (758 km<sup>2</sup>), resulta un volumen almacenado (Vd) de 644 hm<sup>3</sup> anuales. Si consideramos un coeficiente de almacenamiento de 0.029, asociado a un acuífero libre alojado en rocas volcánicas fracturadas de permeabilidad media a baja, el valor del cambio de almacenamiento es de **18.7 hm<sup>3</sup> anuales**.

#### Solución de la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes de la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la recarga vertical (Rv). De la ecuación siguiente, se tiene que:

$$Rv = B + Sh + Qb - \Delta V(S) - Eh$$

Sustituyendo valores:

$$Rv = 2.0 + 2.4 + 5.0 + 18.7 - 3.6$$

$$Rv = 24.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Por lo tanto el valor de la recarga total (Rt) es igual a la suma de las entradas

$$Rt = Rv + Eh = 28.1$$

$$Rt = 28.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

## 8. DISPONIBILIDAD

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

$$\text{DAS} = \text{Rt} - \text{DNCOM} - \text{VCAS}$$

DAS = Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica

Rt = Recarga total media anual

DNCOM = Descarga natural comprometida

VCAS = Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA

### 8.1. Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual (Rt) corresponde a la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este acuífero su valor es de **28.1 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido 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 hacia el acuífero

Para el caso del acuífero Corrales la descarga natural comprometida es de **5.0 hm<sup>3</sup>/año**, que corresponde a la descarga por flujo base al río San Juan, dentro de la zona de balance.

### 8.3. Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS)

De acuerdo a la información existente en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), el volumen concesionado de aguas subterráneas para este acuífero al **30 de septiembre de 2008**, es de **729 581 m<sup>3</sup>/año**.

#### 8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, de acuerdo con la expresión definida, 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.

$$\begin{aligned} \text{DAS} &= R_t - \text{DNCOM} - \text{VCAS} \\ \text{DAS} &= 28.1 - 5.0 - 0.729581 \\ \text{DAS} &= 22.370419 \end{aligned}$$

La cifra indica que existe un volumen disponible de **22'370,419 m<sup>3</sup> anuales** para otorgar nuevas concesiones.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de su disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero en la que existen aprovechamientos del agua subterránea e información hidrogeológica para su evaluación (758 km<sup>2</sup> de la porción noreste). No se descarta la posibilidad de que su valor sea mayor, sin embargo; no es posible en este momento incluir en el balance los volúmenes de agua que circulan a mayores profundidades que las que actualmente se encuentran en explotación. Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere a la piezometría y pruebas de bombeo, se podrá hacer una evaluación posterior que incluya una mayor superficie.

#### 9. BIBLIOGRAFIA

Comisión Nacional del Agua, 2007. Reactivación de Redes de Monitoreo Piezométrico y de calidad del Agua en los Acuíferos Villa García, El Salvador, Guadalupe Garzarón, Camacho y El Cardito, estado de Zacatecas y Evaluación Geohidrológica de los Acuíferos García de la Cadena, Pino Suárez y Corrales, Zac. Realizado por la empresa Ingeniería y Gestión Hídrica, S. C.