

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Los Moscos (0828),  
Estado de Chihuahua***

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

## Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

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

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

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

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

CCCIII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "RÍO BRAVO"		R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CLAVE	ACUÍFERO	CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
<b>ESTADO DE CHIHUAHUA</b>							
0828	LOS MOSCOS	37.7	0.0	38.460739	36.7	0.000000	-0.760738

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 0828 LOS MOSCOS, ESTADO DE  
CHIHUAHUA***

***México D.F., Noviembre de 2009***

## CONTENIDO

1.	GENERALIDADES .....	3
	Antecedentes .....	3
1.1.	Localización .....	3
1.2.	Situación administrativa del acuífero .....	5
2.	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....	5
3.	FISIOGRAFÍA .....	6
3.1.	Provincias Fisiográficas .....	6
3.2.	Clima .....	7
3.3.	Hidrografía .....	8
3.4.	Geomorfología .....	8
4.	GEOLOGÍA .....	9
4.1.	Estratigrafía .....	10
4.2.	Geología estructural .....	13
4.3.	Geología del subsuelo .....	13
5.	HIDROGEOLOGÍA .....	14
5.1.	Tipo de acuífero .....	14
5.2.	Parámetros hidráulicos .....	15
5.3.	Piezometría .....	15
5.4.	Comportamiento hidráulico .....	16
5.4.1.	Profundidad al nivel estático .....	16
5.4.2.	Elevación del nivel estático .....	17
5.4.3.	Evolución del nivel estático .....	18
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....	19
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	19
7.1.	Entradas .....	19
7.1.1.	Recarga vertical (Rv) .....	20
7.1.2.	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) .....	20
7.1.3.	Recarga por retorno del riego agrícola (Rr) .....	22
7.2.	Salidas .....	22
7.2.1.	Evapotranspiración (ETR) .....	22
7.2.2.	Bombeo (B) .....	24
7.2.3.	Salidas Subterráneas (Sh) .....	24
7.3.	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ .....	24
8.	DISPONIBILIDAD .....	25
8.1.	Recarga total media anual (Rt) .....	25
8.2.	Descarga natural comprometida (DNCOM) .....	26
8.3.	Volumen concesionado de agua subterránea (VCAS) .....	26
8.4.	Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS) .....	26
9.	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS .....	27

## **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 de Los Moscos, definido con la clave 0828 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción noreste del estado de Chihuahua y comprende una superficie de 1 085 km<sup>2</sup>. Geográficamente la zona se encuentra enmarcada entre las coordenadas geográficas 31° 11' 17" a 31 ° 48' 33" de latitud norte y 108° 18' 56" a 107° 59' 21" de longitud oeste. Limita al norte y al oeste con Estados Unidos de América, al noreste con los acuíferos Josefa Ortiz de Domínguez y Palomas – Guadalupe Victoria y al sur – sureste con el acuífero Ascensión (Figura 1).



Figura 1. Localización del Acuífero Los Moscos

Geopolíticamente, el acuífero se encuentra totalmente comprendido en el municipio de Ascensión. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero Los Moscos

**ACUIFERO 0828 LOS MOSCOS**

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	107	59	59.9	31	46	59.0	
2	108	1	10.3	31	43	28.8	
3	107	59	36.3	31	37	55.9	
4	108	1	42.5	31	34	47.9	
5	108	2	25.8	31	23	25.9	
6	108	6	26.3	31	14	33.6	
7	108	10	52.5	31	12	39.9	
8	108	14	47.5	31	13	54.0	
9	108	18	30.8	31	20	1.3	DEL 9 AL 10 POR EL LIMITE ESTATAL
10	108	12	28.9	31	20	0.1	DEL 10 AL 11 POR EL LIMITE ESTATAL
11	108	12	28.9	31	47	1.1	DEL 11 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	107	59	59.9	31	46	59.0	

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Los Moscos pertenece al Organismo de Cuenca Río Bravo y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Chihuahua. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en una superficie comprendida en los límites geopolíticos de los Municipios de Ascensión y Janos, Chih., y se establece veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento del subsuelo en la región mencionada”, publicado en el DOF el 25 de abril de 1979. Este decreto es tipo II, en el 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 (2009), el municipio de Ascensión se localiza en la zona de disponibilidad 4.

El usuario principal del agua subterránea es el agrícola. El acuífero forma parte del Consejo de Cuenca Río Bravo. En su territorio no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

## 2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero sólo se ha llevado a cabo un estudio geohidrológico de evaluación. Otros lo abarcan pero han tenido una cobertura regional, entre los más importantes podemos mencionar los siguientes

**ACTIVIDADES DE CARÁCTER GEOHIDROLÓGICO EN LAS ZONAS DE JANOS, ASCENSIÓN Y CUAUHTÉMOC CHIHUAHUA” REALIZADO POR CONSULTORÍA DE CIENCIAS DE LA TIERRA EN 1981.** Se analizaron periodos de evolución del nivel estático concluyendo de los abatimientos se registraron únicamente en Ciudad Cuauhtémoc y Colonia Álvaro Obregón, en donde se determinaron las características hidrodinámicas del acuífero mediante 17 pruebas de bombeo. Identificó una etapa inicial de sobreexplotación en las inmediaciones de Laguna de Bustillos.

**ESTUDIO PARA EL CONTROL ADECUADO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN SU PROYECTO BISMARCK EN ASCENSIÓN CHIHUAHUA” REALIZADO POR INGENIEROS CIVILES Y GEÓLOGOS ASOCIADOS S.A. EN 1990.** Estudio realizado para prospección minera de esta región en la que se identificó la presencia de un sistema de fallas que separan un intrusivo de una caliza. Estableció buenas posibilidades de explotación, pero debido a la alta permeabilidad que caracteriza al medio fracturado y fallado.

**ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LAS ZONAS DE ASCENSIÓN-JANOS, CHIHUAHUA 1991.** Mediante actividades de campo que incluyeron censo e hidrometría de las extracciones y pruebas de bombeo, se planteó el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga media anual que reciben los acuíferos.

**CENSO DE APROVECHAMIENTOS Y MONITOREO PIEZOMÉTRICO DE LOS ACUÍFEROS EL SABINAL, LAGUNA TRES CASTILLOS, LOS MOSCOS, JOSEFA ORTIZ DE DOMÍNGUEZ, LAS PALMAS, EL CUARENTA, LOS LAMENTOS, LAGUNA DE HORMIGAS Y ALDAMA-EL CUERVO EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA” REALIZADO POR ESTUDIOS Y PROYECTOS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS S.A DE C.V EN DICIEMBRE 2005.** Mediante la actualización del censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones y nivelación de pozos, se actualizó el conocimiento de la posición de los niveles del agua subterránea. Debido a la falta de información piezométrica histórica, no se puede evaluar la evolución del nivel estático.

La información de este estudio sirvió para el planteamiento del balance de aguas subterráneas que se presenta en este documento.

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1. Provincias Fisiográficas**

El territorio chihuahuense se distribuye dentro de dos grandes regiones fisiográficas de las que conforman la superficie de México que son: Sierras y Llanuras del Norte y Sierra Madre Occidental.

El acuífero Los Moscos queda comprendido dentro de la provincia Sierras y Llanuras del Norte, subprovincia Llanuras y Médanos del Norte. La provincia en Chihuahua abarca 56.6% de la superficie estatal; de las cinco subprovincias que la integran, en la entidad se encuentran parte de las denominadas: Llanuras y Médanos del Norte, Llanuras y Sierras Volcánicas, Sierras Plegadas del Norte y Del Bolsón de Mapimí.

Desde su colindancia en el noroeste con la Sierra Madre Occidental, hasta unos cuantos kilómetros antes del inicio del río Bravo como límite internacional, esta subprovincia penetra en territorio chihuahuense con dirección hacia el sureste; así, se extiende desde la localidad El Berrendo y el occidente de la cabecera municipal de Juárez hasta San Buenaventura y el suroeste de la sierra El Fierro.

Dentro Chihuahua limita con las subprovincias: Sierras Plegadas del Norte en el oriente, del Bolsón de Mapimí y Sierras y Llanuras Tarahumaras en el sur, Sierras y Cañadas del Norte en el occidente; comprende alrededor de 17.42% de la superficie de la entidad, terrenos que pertenecen



en mayor o menor proporción a los municipios de Ahumada, Ascensión, Buenaventura, Casas Grandes, Galeana, Janos, Juárez y Nuevo Casas Grandes. Casi toda su área presenta una elevación de 1,000 msnm; las bajadas, extensas y asociadas con lomeríos, se localizan hacia el costado de la Sierra Madre Occidental y en el sur y oriente de la subprovincia; ocupan el mayor porcentaje del territorio total de la subregión, notablemente más que las llanuras en las que existen áreas salitrosas e inundables.

Los ríos Casas Grandes y Santa María penetran por el sur a la subprovincia, para extinguirse en ella. Los aluviones recientes y algunos antiguos conglomerados cubren gran parte de las bajadas y de las llanuras, aunque hay importantes afloramientos dispersos de rocas volcánicas ácidas en las sierras y lomeríos y, en menor cantidad, rocas basálticas en el centro de la subprovincia; también afloran calizas en las sierras y lomeríos.

### **3.2. Clima**

El clima de la zona se caracteriza por ser árido y extremoso, cuya clasificación hecha por Köppen corresponde en su mayor parte a BWkw(x'), especificado como un clima muy seco templado de temperatura media anual entre 12° y 18° C. La temperatura media del mes más frío varía entre -3° y 18° C, temperatura media del mes más cálido mayor de 18° C, lluvias de verano, % de precipitación invernal mayor de 10.2 y verano cálido. Hacia la porción suroeste presenta un clima BSokw(x') que corresponde a un clima seco templado de temperatura media anual entre 12° y 18° C, temperatura media del mes más frío entre -3° y 18° C, temperatura media del mes más cálido mayor de 18° C, lluvias de verano, % de precipitación invernal mayor de 10.2 y verano cálido.

Las estaciones empleadas cuentan con registros de 22 años para la estación Palomas; y 25 años para la estación Santa Anita.

Para el área de Los Moscos se presentan lluvias de tipo aislado, de alta intensidad y corta duración, ocurriendo con mayor frecuencia en los meses de junio a octubre. Por otra parte, en los meses de diciembre, enero y febrero, se generan precipitaciones por lluvia y nieve, debido a la presencia de masas de aire frío, provenientes del norte que al chocar con las masas de aire caliente, dan lugar a lluvias de baja intensidad, larga duración y amplia extensión.

La precipitación media anual obtenida es de 340.7 mm. Las precipitaciones más altas se presentan en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, representando el 60% de la precipitación media anual.

### **3.3. Hidrografía**

El acuífero se ubica en la porción más septentrional de la región hidrológica No. 34 denominada “Cuencas Cerradas del Norte”, que es una región constituida por pequeñas cuencas que descargan en lagunas.

Este acuífero se localiza dentro de la cuenca hidrológica Río Casas Grandes, que se ubica en la porción noroeste del estado, incluye 9.26% de su área.

Los ríos Casas Grandes y Santa María penetran por el sur a la subprovincia, para extinguirse en ella. Los aluviones recientes y algunos antiguos (conglomerados) cubren gran parte de las bajadas y de las llanuras, aunque hay importantes afloramientos dispersos de rocas volcánicas ácidas en las sierras y lomeríos y, en menor cantidad, rocas basálticas en el centro de la subprovincia; también afloran calizas en las sierras y lomeríos.

### **3.4. Geomorfología**

La provincia Sierras y Llanuras del Norte es una provincia árida y semiárida que se extiende desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta cerca de Nazas en Durango y la Laguna de Mayrán en Coahuila. También muestra penetraciones digitadas desde ese país al extremo norte de Sonora. Dentro de territorio mexicano, al sur del río Bravo, colinda al oeste con la Sierra Madre Occidental, al este con la Sierra Madre Oriental y tiene un punto de contacto en el extremo sur con la Mesa del Centro. Se orienta más o menos en sentido noroeste-sursureste y abarca parte de los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila y Durango.

El origen de la provincia está relacionado, entre otros eventos, con el plegamiento de las secuencias marinas del mesozoico que se desarrollaron sobre un basamento paleozoico y precámbrico, así como con el relleno de fosas tectónicas con sedimentos continentales y algunos derrames lávicos, esto dio lugar a la formación de cuencas endorreicas. Dominan rocas volcánicas ácidas en el oeste (zona próxima a la Sierra Madre Occidental), calizas en el este y norte con dos grandes unidades al noroeste y oeste de Ojinaga. En la parte montañosa de la sierra Agua de Mayo y sus alrededores, ubicada al noreste de Camargo, dominan rocas volcánicas basálticas. Los aluviones en general cubren los llanos y en sus partes más bajas frecuentemente presentan acumulaciones salitrosas (“barrales”).

La morfología es de bolsones, esto es, de cuencas con drenaje interno, más o menos rodeadas de sierras de las que se extienden las amplias bajadas aluviales sobre las llanuras centrales. En ella, alternan llanuras y sierras, más espaciadas éstas en el sureste que en el noroeste. Las sierras son abruptas y se levantan de 500 a 1000 m sobre las llanuras y de 2000 a 3000 m respecto al nivel del mar; gran parte de las sierras están rodeadas de amplias bajadas que las semiseñultan.

#### **4. GEOLOGÍA**

El área se ubica en el terreno tectonoestratigráfico Chihuahua, el cual cubre al basamento Precámbrico del Cratón de Norteamérica. Los afloramientos del basamento se encuentran al noreste de Sonora pero han sido encontrados en los pozos perforados por PEMEX en el estado de Chihuahua. Este terreno está conformado por una secuencia de más de 3,000 m de espesor, constituida de areniscas, lutitas y calizas del Paleozoico (Malpica y De la Torre, 1980).

El terreno Chihuahua se encuentra cubierto por rocas carbonatadas del Mesozoico, correspondientes a la Paleocuenca de Chihuahua. Durante el Mesozoico da inicio el depósito de la secuencia sedimentaria, en el periodo correspondiente al Jurásico tardío, ocasionado por una fase distensiva en un proceso de rift el cual origina la Formación de la Cuenca de Chihuahua (IMP1991). También el Terreno Chihuahua se encuentra cubierto por rocas del Jurásico Superior y Cretácico Inferior-Superior, los cuales forman parte de la gran transgresión del Golfo de México.

Las rocas paleozoicas consisten de sedimentos marinos mixtos y continentales depositados en la cuenca intracratónica de Chihuahua. Las unidades litoestratigráficas que conforman la cuenca varían en edad desde el Mississipico al Pérmico superior. Durante este periodo se depositaron las formaciones Keating, Hachita y Paradise. Estas unidades han sido descritas como el Grupo Escabrosa correspondientes al periodo Mississipico, constituidas por una secuencia carbonatada y dolomitizada, depositadas en ambientes de plataforma somera, con aguas tranquilas, en mares tropicales a subtropicales con variaciones hacia una plataforma restringida, como lo indican la presencia de formas arrecifales (Tovar 1968). Durante el Pensilvánico y Pérmico inferior se deposita la Formación Horquilla constituida por una secuencia terrígena en su parte basal y cubierta por un desarrollo carbonatado biógeno y dolomitizado de gran espesor, depositada sobre una superficie de erosión durante un evento transgresivo de abanicos aluviales costeros en los que se desarrolló una plataforma carbonatada con crecimientos de biostromas en aguas someras.

El Mesozoico lo representan los sedimentos marinos mixtos y continentales, que fueron depositados en la Cuenca de Chihuahua. Las unidades litoestratigráficas que constituyen la Cuenca son de edad que varía desde el Triásico-Jurásico medio al Cretácico superior.

El Cenozoico comprende rocas ígneas extrusivas del Paleógeno-Neógeno que consisten de derrames andesíticos, traquitas, latitas, riocacitas, domos riolíticos y derrames basálticos del Oligoceno. Durante el Mioceno se acumularon depósitos continentales conformados por conglomerados oligomícticos y derrames basálticos, originados por el fallamiento de Cuencas y Sierras. Finalmente, durante el Cuaternario, los por basaltos y suelos residuales de gran espesor se emplazaron principalmente en las partes bajas de los valles. Los depósitos eólicos y lacustres se acumularon en las partes más bajas de las cuencas, alojando algunas lagunas.

## **4.1. Estratigrafía**

El registro estratigráfico de la región abarca del Paleozoico al Reciente. Las unidades se describen a continuación de la más antigua a la más reciente. En la figura 2 se muestra la distribución de las distintas litologías y en la figura 3 la columna estratigráfica.

### **Paleozoico**

#### **Pérmico-Carbonífero**

##### **Formación Horquilla (Pcppi Cz-Ar)**

Se define como una secuencia rítmica calcáreo arenosa intrusionada por sills y diques dioríticos. Se distribuye ampliamente en la Sierra Alta (Sierra de Palomas) constituyendo casi la totalidad de esta sierra. Es una secuencia terrígena que en la parte basal está cubierta por un desarrollo carbonatado biógeno y dolomitizado de gran espesor. Se compone de calizas principalmente; la base es representada por areniscas calcáreas de cuarzo, de color claro en capas medias a gruesas con estratificación cruzada, que intemperizan en color café rojizo. Cambian transicionalmente a lutitas calcáreas y calizas oolíticas y bioclásticas, con fragmentos de equinodermos, briozoarios, y ostrácodos.

#### **Pérmico Inferior**

##### **Grupo Hueco (Ppi Cz-Ar)**

Las unidades del Pérmico Inferior que constituyen este Grupo son calizas y areniscas de las formaciones: Earp, Colina, Scherrer y Epitaph. Se define como una litofacies de calizas dolomitizadas y dolomías alternando con intervalos de areniscas rojizas. Se distribuye en la parte suroeste del área por los cerros El rincón. El espesor se determinó en 791 m.

#### **Pérmico superior**

##### **Formación Concha (Ppips Do-Ar)**

Se define esta unidad como una secuencia calcárea hacia la base y dolomías en su mayor parte, presentando fuerte silicificación. Aflora en la porción norte del acuífero Los Moscos, al sur de la sierra Alta. Está constituida en la porción inferior por calizas de color gris a gris oscuro en estratos gruesos a masivos con nódulos y lentes de pedernal. La porción superior está constituida por dolomías cristalinas en estratos medios a gruesos y masivos de color gris; algunos de aspecto brechoide con nódulos y lentes de pedernal color gris a verdoso.

#### **Cretácico Inferior**

##### **Secuencia Indiferenciada (KiAr-Cz)**

Con este nombre se denomina a la secuencia indiferenciada a una serie de rocas sedimentarias, marinas, indiferenciadas, correlacionables con el Grupo Bisbee. En la porción norte aflora en la sierra Rica y una pequeña porción aflora al sur del acuífero, sur de la ranchería La Salada.

Litológicamente la secuencia en su mayoría está constituida por areniscas de cuarzo, arcosas y feldespáticas, calizas, limolitas, lodolitas y escasos horizontes basales de conglomerados.

## **Paleógeno**

### **Secuencia Volcánica Ácida (PoPR-R, PoPR)**

Se le da este nombre a una secuencia de rocas volcánicas representadas por tobas riolíticas, ignimbritas, riolitas, riolitas, riodacitas, traquitas, aglomerados y domos riolíticos. Generalmente forman largas mesetas de orientación NW-SE con pseudoestratificación que buza hacia el NE y SW, formando gran parte del evento volcánico oligomiocénico que dio lugar a la formación de la Sierra Madre Occidental conocida como el Grupo Volcánico Superior.

### **Toba Riolítica (Po PR)**

Unidad de rocas definida como el conjunto de tobas riolíticas, tobas cristalovítreas riolíticas y tobas cristalinas. Se distribuye hacia la parte norte de la sierra de Alta.

Litológicamente es una roca de color crema, café y café rojizo, de estructura compacta, cuyos componentes principales son ortoclasa, cuarzo, biotita, apatita magnetita y vidrio volcánico forman parte de la matriz con fragmentos líticos dispersos en la roca de composición intermedia. Presenta un espesor de 150 metros.

## **Cuaternario**

### **Conglomerado Polimíctico (Qpt Cgp)**

Se define como un paquete de conglomerados derivados de rocas ígneas y sedimentarias. Esta unidad se encuentra en la parte media de la sierra Alta. Está constituido por fragmentos redondeados a subredondeados, semicompactos; en matriz arcillosa, cuyo espesor de 30 a 50 m se ha calculado por observaciones de campo.

### **Gravas y Arenas (Qptgv-ar)**

Esta unidad se encuentra constituida por sedimentos de naturaleza litológica variable que granulométricamente consisten de grava, arena, limo y arcilla, que en ocasiones presentan estratificación débilmente marcada, aunque la mayor parte de las veces se presenta masiva.

### **Lacustre (Qhola)**

Estos materiales son sedimentos depositados en lagos que se han desecado por evaporación, se encuentran sin compactar y sin cementante. Se distribuyen en la porción norte en la Laguna Los Moscos. Están constituidos por arenas finas, limos y arcillas; en algunos lugares presenta delgadas capas de carbonatos, las arenas contienen fragmentos de líticos, cuarzo y feldespato; presentan espesores que varían de 0.5 a 3 m; presentan espesores que varían de 0.5 a 3 m. Se correlaciona con aluviones de planicie; por su posición estratigráfica se le asigna una edad del Holoceno.

### Aluvión (Qho al)

Los depósitos superficiales cuaternarios se encuentran restringidos a los lechos de los ríos, planicies de inundación y arroyos; estos afloramientos consisten de gravas, arenas, limos y arcillas sin consolidar. Aflora al sur de la Laguna Los Moscos.

En el acuífero Los Moscos se presentan 6 unidades de suelo que son producto de la interacción, a través del tiempo, del material geológico, clima, relieve y organismos: Litosoles, Xerosoles Yermosoles, Regosoles, Solonchacks y Solonetz.

En la provincia Sierras y Llanuras del Norte, la evaporación supera a la precipitación, siendo escasa la profundidad de infiltración del agua en los suelos; por tal motivo, las partículas muy finas y los materiales solubles son acarreadas hasta esa profundidad, donde se acumulan formando horizontes arcillosos, salinos, sódicos o cálcicos, constituyendo estos últimos gradualmente un horizonte cementado o caliche. Asimismo, casi en la totalidad de los horizontes de los suelos la saturación de bases es alta y los pH's son alcalinos. La participación de la vegetación en la formación de los suelos ha sido muy escasa en la provincia Sierras y Llanuras del Norte, pues los matorrales desérticos con poco desarrollo y baja densidad han aportado una mínima cantidad de materia orgánica que lentamente es descompuesta.

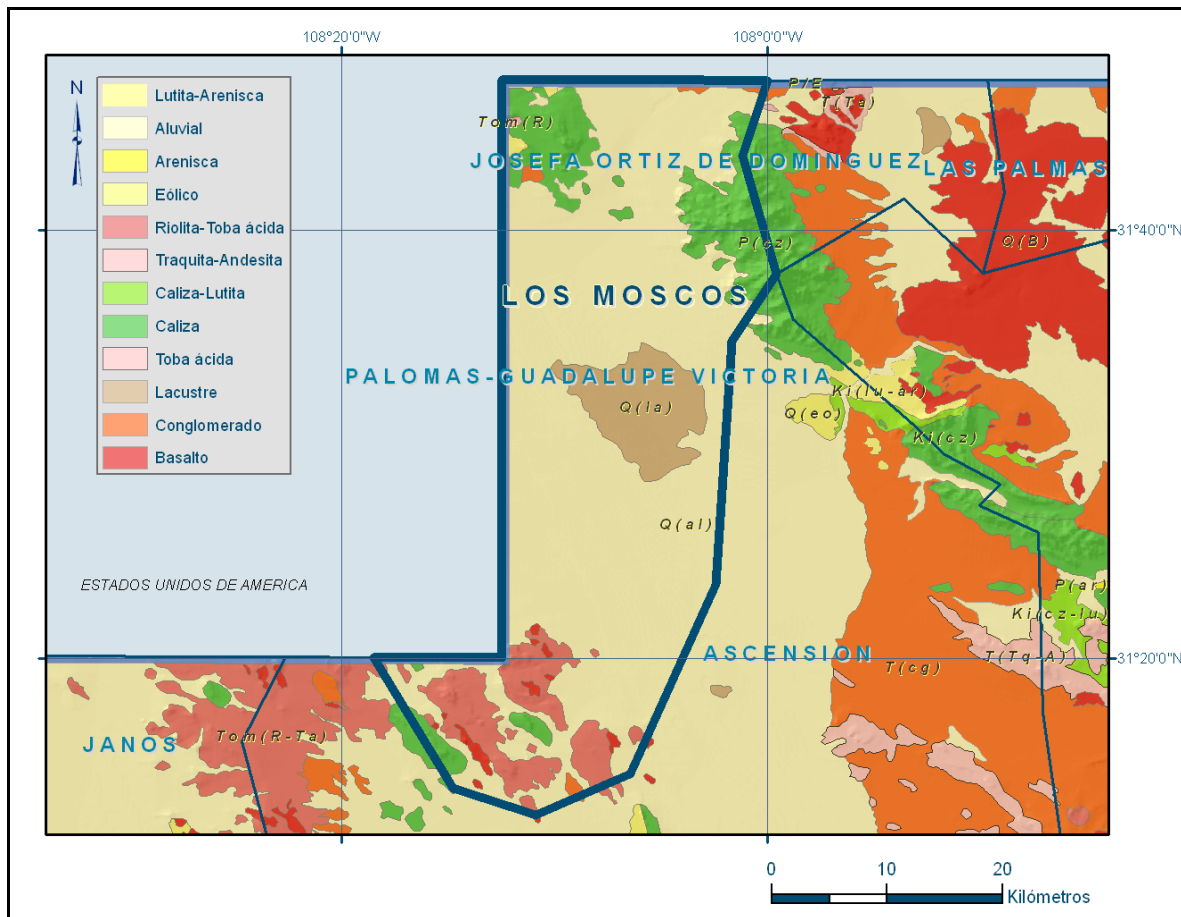


Figura 2. Mapa geológico

#### **4.2. Geología estructural**

Esta área estuvo sujeta a diferentes movimientos orogénicos, epirogénicos y tafrogénicos. Aparentemente el sistema Ouchita se prolongó en Chihuahua y afectó a las rocas Paleozoicas ya formadas, aunque es más fácil pensar que fue en el Sistema Apalachiano en el que se plegaron y se levantaron gran parte de las rocas al final del Pérmico y principios del Triásico, porque no existen testigos de este sistema ni del Jurásico Inferior y Medio. Aparentemente no hay duda de la formación del Geosinclinal Paleozoico especialmente en el Pérmico-Carbonífero, que sirvió como roca base al gran Geosinclinal Mexicano que inició su formación en el Jurásico Superior y continuó hasta el Cretácico Superior (COREMI).

A principios del Paleógeno toda ésta columna sedimentaria fue plegada y afallada por la Orogenia Laramide, la cual actuó en un sistema de fuerzas unilaterales, uniformes y paralelas con una dirección SW-NE, originando una alternancia de estructuras anticlinales y sinclinales paralelos, intensamente plegados, asimétricos con su plano axial recostado hacia el NE y sus ejes orientados NW-SE, las cuales fueron afectadas por una serie de fallas transcurrentes de escaso desplazamiento horizontal SW-NE.

Posteriormente a la Orogenia Laramide, durante el Paleógeno-Neógeno, se desarrolló un sistema de basculamiento en bloques de basamento, que fue acompañado por un levantamiento regional, afectando a toda la columna sedimentaria con un sistema de fallas normales, algunas veces acompañado de actividad ígnea.

El basculamiento en bloques o movimiento tafrogénico está representado en la superficie por sierras y cuencas (bolsones).

#### **4.3. Geología del subsuelo**

Con base en los resultados de la geología del subsuelo: descripción de cortes litológicos; la interpretación hidrogeomorfológica, hidrología superficial y la interpretación de pruebas de bombeo, entre otros, fue posible definir un sistema acuífero heterogéneo y anisótropo, en general de tipo libre, con condiciones locales de semiconfinamiento, conformado por un medio granular, hacia la parte superior, y otro fracturado subyacente.

El medio granular está constituido por materiales granulares finos a gruesos. Los de menor granulometría, se localizan en la zona aledaña a la Laguna Los Moscos, que por su baja permeabilidad favorece las condiciones de confinamiento y semiconfinamiento del agua subterránea contenida en los materiales granulares subyacentes. Los materiales granulares de mayor granulometría, principalmente arenas, arcillas, gravas y conglomerados, constituyen el acuífero regional que actualmente se explota. Esta unidad aflora ampliamente, presenta permeabilidad media y puede alcanzar espesores de varios cientos de metros en el centro del valle.

El medio fracturado está formado principalmente rocas ígneas del Paleógeno-Neógeno como basaltos, tobas riolíticas, andesitas y en menor proporción rocas sedimentarias del Cretácico como areniscas, lutitas y calizas; todas ellas presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. El conjunto de rocas aflora al noreste y suroeste del acuífero, conformando las sierras que lo delimitan. La permeabilidad que presentan estas rocas es de media a baja.

Verticalmente la frontera superior es la posición del nivel freático y las fronteras inferiores y laterales están constituidas por las rocas ígneas y sedimentarias cuando su permeabilidad por fracturamiento desaparece.

## **5. HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1. Tipo de acuífero**

El acuífero Los Moscos se define como un sistema acuífero heterogéneo y anisótropo, en general de tipo libre, con condiciones locales de semiconfinamiento, conformado por un medio granular, hacia la parte superior, y otro fracturado subyacente y se representan en un total de 5 unidades de permeabilidad en materiales consolidados y no consolidados.

Las unidades de permeabilidad en materiales consolidados son:

**Unidad de permeabilidad media (M).** Esta unidad se localiza hacia en una pequeña porción ubicada al sureste del acuífero. La unidad de material consolidado muestra fracturamiento escaso y contenido de arcillas o alternancia de ellas, que rellenan y sirven de sello en algunos horizontes; este caso es claro en algunas calizas, conglomerados y afloramientos de rocas volcánicas de composición basáltica. Además, se presentan conglomerados del Paleógeno-Neógeno y Cuaternario, con cierto grado de compactación y con fragmentos redondeados a subredondeados, mal clasificados, empacados en una matriz arenosa y en ocasiones, con presencia de carbonato de calcio.

**Unidad de permeabilidad baja media (BM).** Esta unidad se localiza en porciones sur y noroeste del acuífero. Está constituida por materiales consolidados que incluyen rocas ígneas (riolitas, tobas y andesitas), rocas metamórficas y rocas sedimentarias (conglomerados y calizas) que, dadas sus características de fracturamiento moderado, intemperismo, rasgos fisiográficos y geomorfológicos, presentan restricciones para contener o transmitir fluidos en grandes cantidades.

**Unidad de permeabilidad baja (B).** Hacia el noreste del acuífero se ubica esta unidad, la cual incluye todos los materiales que contienen alto porcentaje de arcilla, escaso fracturamiento, no porosos o porosidad no comunicada.

Las unidades de permeabilidad en materiales no consolidados son:



**Unidad de permeabilidad media alta (ma).** Esta unidad es la que ocupa la mayor parte del acuífero. Está conformada por sedimentos de origen aluvial, que rellenan las partes bajas del relieve; muestran gravas, arenas, limos y una mínima cantidad de arcillas.

**Unidad de permeabilidad media (m).** Esta unidad, ubicada en la parte central del acuífero, es material no consolidado que incluye suelos limosos y arenosos, principalmente de origen aluvial, distribuidos ampliamente en valles y llanuras aluviales.

## **5.2. Parámetros hidráulicos**

De acuerdo con resultados de la interpretación de pruebas de bombeo, aforos y caudales específicos, se obtuvieron valores de transmisividad que oscila entre 259 y 389 m<sup>2</sup>/día, para medio granular, es decir entre **3 y 4.5 x10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s**, consistes con los calculados en los acuíferos vecinos Janos, Ascensión y Conejos Médanos

Debido a la falta de pozos de observación durante la realización de las pruebas de bombeo, no fue posible determinar el coeficiente de almacenamiento o rendimiento específico del acuífero. Por correlación hidrogeológica, podemos adoptar los valores promedio obtenidos en los acuíferos vecinos mencionados: de **1 x 10<sup>-6</sup>** para el almacenamiento específico y **0.15** para el rendimiento específico, aunque los valores locales tendrán que ser calculados mediante pruebas de bombeo.

## **5.3. Piezometría**

No existe registro histórico piezométrico, la escasa información se encuentra dispersa en tiempo y espacio y no es suficiente para elaborar configuraciones del nivel estático. Únicamente se describirán las que corresponden al estudio realizado en el 2005 durante el cual se niveló el brocal de 16 pozos que sentarán las bases para el monitoreo sistemático de los niveles del agua subterránea.

Tabla 2. Pozos con nivelación de brocal

POZO	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN DE BROCAL (msnm)	PROFUNDIDAD AL N.E. (m)	ELEVACIÓN DEL N.E. (msnm)
	X	Y			
P-1	775940	3476909	1269	27	1243
P-13	774325	3507637	1285	36	1249
P-15	771843	3504930	1270	27	1243
P-18	770122	3499151	1254	10	1244
P-19	768967	3492714	1260	16	1244
P-27	767555	3487630	1292	69	1222
P-30	765583	3486574	1314	88	1227
P-36	766001	3484572	1316	93	1223
P-40	765456	3480713	1332	98	1235
P-46	767732	3482037	1311	82	1229
P-68	770765	3481745	1282	52	1230
P-72	772350	3482721	1271	42	1228
P-78	768661	3483885	1296	68	1227
P-83	771242	3488131	1261	33	1228
P-99	771647	3485764	1268	42	1226
P-111	774110	3483397	1261	33	1228

#### 5.4. Comportamiento hidráulico

El acuífero presenta un comportamiento hidráulico dinámico, el agua subterránea se infiltra en las porciones altas del acuífero, constituidas por rocas fracturadas que favorecen la infiltración proveniente de la lluvia, hacia la zona de valle.

La recarga del acuífero se lleva a cabo a través de flujos subterráneos horizontales de los flancos montañosos donde el agua se infiltra en rocas volcánicas y calcáreas. La descarga natural del acuífero ocurre únicamente por evaporación en las zonas de niveles freáticos someros localizadas en el área de la Laguna Los Moscos, ya que se trata de una cuenca endorreica.

##### 5.4.1. Profundidad al nivel estático

De acuerdo con la configuración de la profundidad al nivel estático para el año 2005 (figura 3), mostrada en la figura 4, los valores varía desde algunos metros, en la zona del vaso de laguna Los Moscos, hasta los 120 m, conforme se asciende topográficamente hacia las sierras Alta y Rica que delimitan el valle. La disposición de las curvas tiende a ser concéntrica hacia la laguna, pero que ha sido deformada en la porción occidental del acuífero, en la actual zona agrícola conocida como "Predio El Camello", donde la concentración del bombeo ha provocado un cono de abatimiento

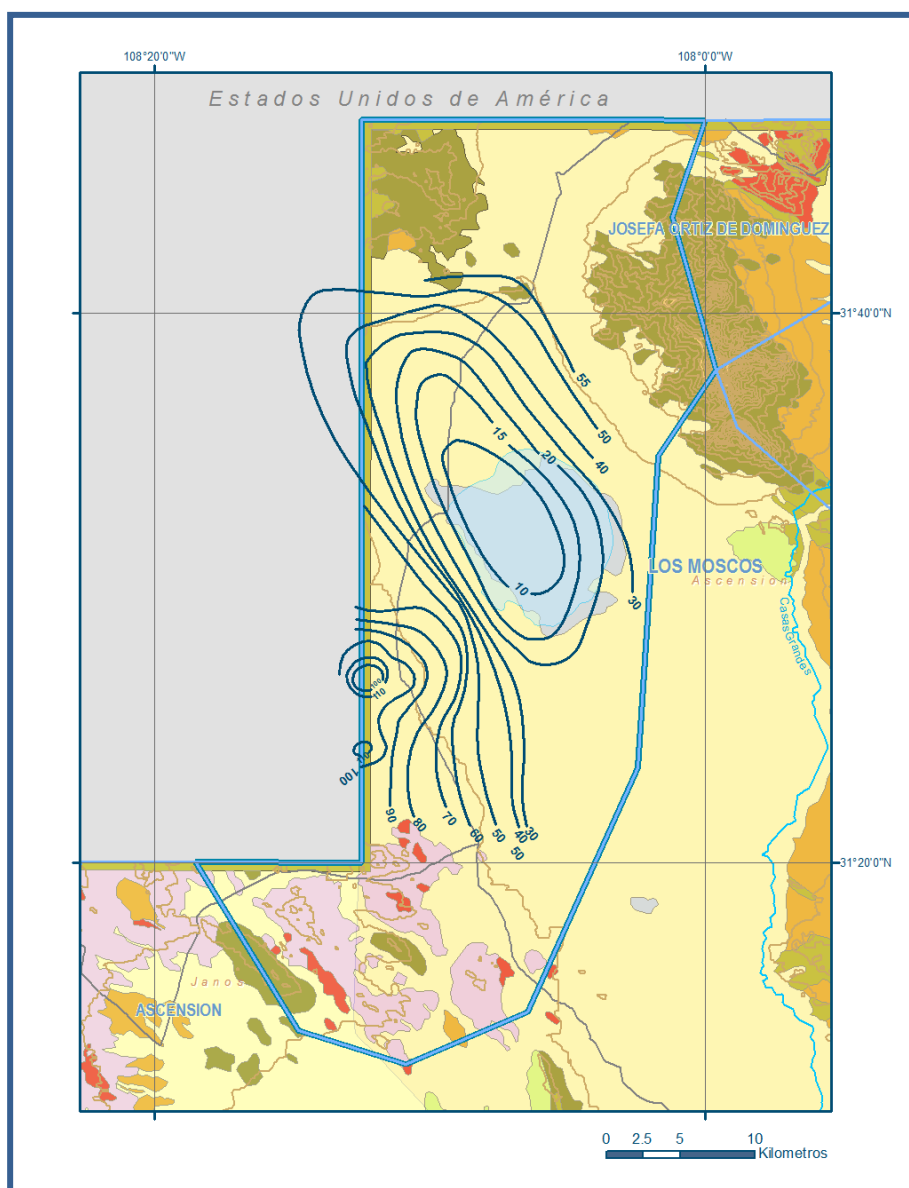


Figura 3. Profundidad al Nivel Estático en m (2005)

#### 5.4.2. Elevación del nivel estático

La configuración de la elevación del nivel estático, al igual que la profundidad, muestra claramente el reflejo de la topografía. Las elevaciones mínimas entre 1225 y 1230 msnm se registran en la zona de la laguna Los Moscos así como en una zona de intenso bombeo; en tanto que los valores máximos de 1245 a 1250 msnm, del presentan al SW y NE, hacia las sierras Rica y Alta.

El esquema general del flujo subterráneo muestra una red concéntrica hacia la Laguna Los Moscos y hacia la zona de explotación ubicada en el “Predio El Camello” (figura 4). La recarga ocurre principalmente por los frentes de montaña que bordean el acuífero por el norte –desde las sierras Rica y Alta– y por el sur –desde los cerros El Rincón. También un flujo subterráneo ingresa por el poniente, desde los E.U.A., y por el oriente desde el vecino acuífero Ascensión.

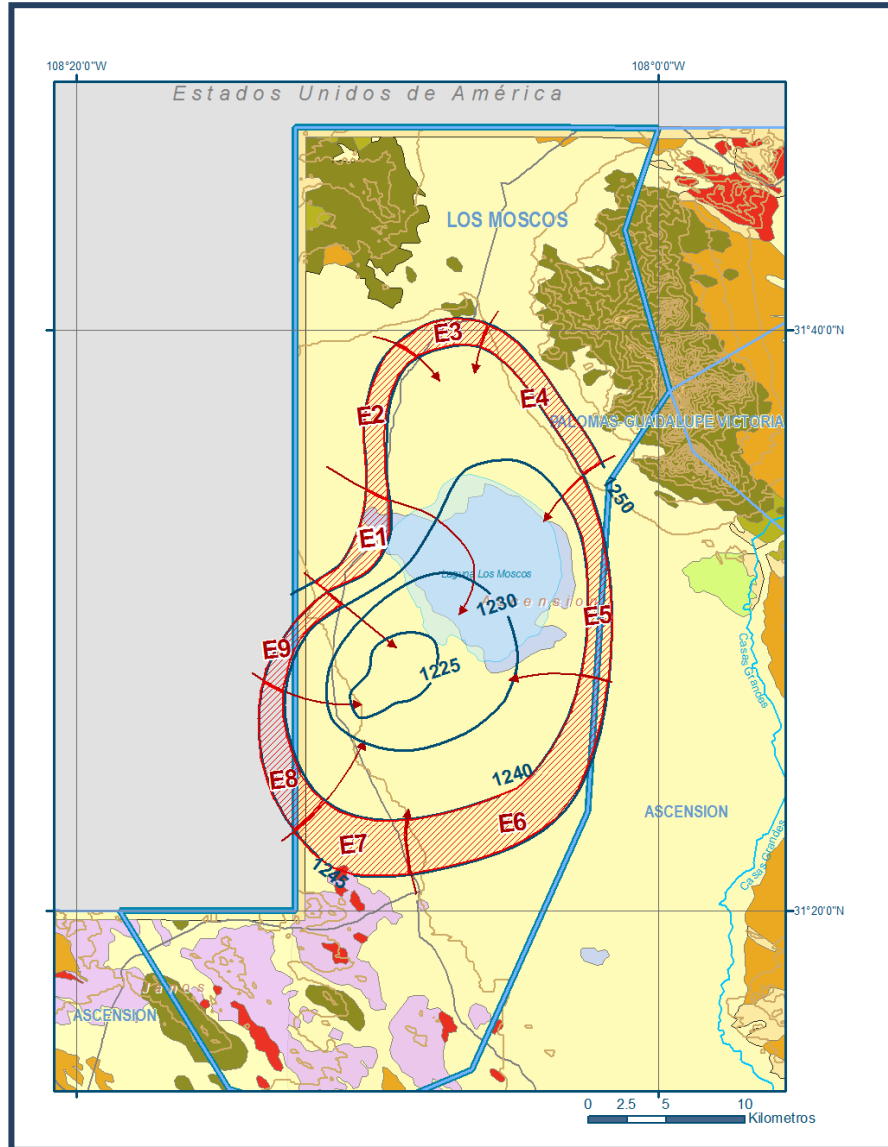


Figura 4. Elevación del Nivel Estático en msnm (2005)

### 5.4.3. Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se contó con información piezométrica histórica que permita su configuración. Las escasas mediciones piezométricas recabadas en estudios previos se encuentran dispersas en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Aunque la configuración de la elevación del nivel estático muestra un cono de abatimiento causados por la concentración de pozos y/o del bombeo, esta alteración del flujo natural se debe compensar en volumen con la recarga que recibe el acuífero en su superficie restante.

Por estas razones, para fines del balance, se puede afirmar que el cambio de almacenamiento en el transcurso del tiempo tiende a ser nulo.

## 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en el 2005, existen en el acuífero un total de 116 aprovechamientos, de los cuales 115 son pozos y 1 es noria. Del total de obras, 102 son activos y 14 inactivos.

De los 102 pozos activos, 86 son para uso agrícola, 14 más para uso doméstico-abrevadero y los 2 restantes para abastecimiento de agua potable.

El volumen de extracción total asciende a 36.7 hm<sup>3</sup> anuales, de los cuales 34.1 hm<sup>3</sup> (92.9%) son para uso agrícola, 2.3 más (6.3%) para satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero y los 0.3 hm<sup>3</sup> restantes (0.8 %) se destina a la dotación de agua potable.

## 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado 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 (Rv) que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita directamente sobre el valle y a lo largo de los escurrimientos, y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes solo se considera los retornos del riego agrícola (Rr).

### 7.1.1. Recarga vertical (Rv)

En las regiones áridas y semiáridas los dos principales mecanismos de recarga natural se producen a través de la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales y la recarga de frente de montaña. En la provincia fisiográfica de Sierras y Cuencas, la recarga de frente de montaña tiene dos componentes: el flujo subterráneo que proviene de las sierras que delimitan el valle, a través de fracturas y/o conductos de disolución, que se dirige hacia los sedimentos que rellenan la cuenca; y la infiltración en los cinturones de piedemonte. A su vez, en estos últimos la recarga se efectúa por medio de la infiltración que se produce a lo largo de los arroyos que drenan las sierras y también de manera difusa.

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

$$Rv + Eh + Rr - ETR - B - Sh = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

- Rv:** Recarga vertical por lluvia
- Eh:** entradas subterráneas por flujo horizontal
- Rr:** Retornos del riego agrícola
- ETR:** Descarga natural por evapotranspiración
- B:** Bombeo
- Sh:** Salidas por flujo horizontal
- $\Delta V(S)$ :** Cambio en el volumen de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$Rv = Sh + B + ETR \pm \Delta V(S) - Eh - Rr \quad (2)$$

### 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 piedemonte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

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 2005 (figura 4). De acuerdo con la ecuación de Darcy para medios porosos, tenemos que:

$$Q = V \cdot A$$

Considerando una sección, con una longitud (B) y ancho (a), con una diferencia de alturas de ( $\Delta h$ ). El área de la sección quedará definida por:

$$A = B \cdot a$$

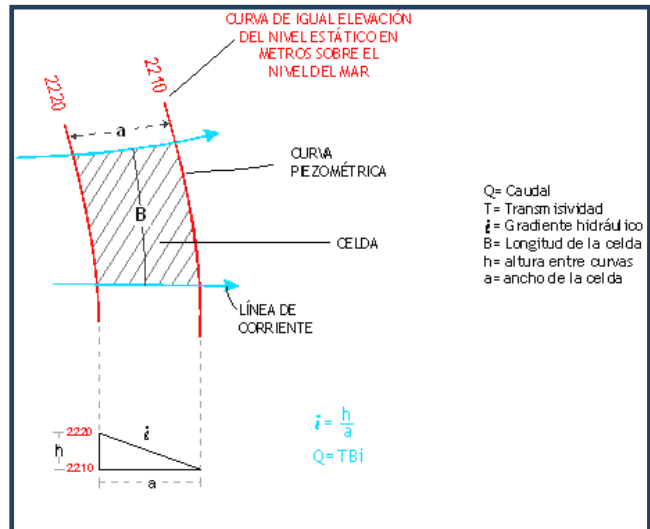
Mientras que la velocidad será :

$$V = K \cdot i$$

Donde:

K= Coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica.

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



Sustituyendo en la ecuación de continuidad tenemos que:

$$Q = B \cdot a \cdot K \cdot i$$

Ya que la transmisividad  $T = K \cdot a$ , la ecuación queda reducida a:

$$Q = T \cdot B \cdot i$$

Donde:

T = Transmisividad en  $m^2 / s$ .

B= Longitud de la celda en m.

i = Gradiente Hidráulico, en m.

El cálculo de la entradas subterráneas se presenta en la tabla 2, en la que se observa que el valor total es de **26.7 hm<sup>3</sup> anuales**.

El valor de transmisividad utilizado fue estimado con base resultados de la interpretación de pruebas de bombeo, aforos y caudales específicos, adaptados al espesor saturado de cada zona.

Tabla 3. Cálculo de las entradas subterráneas (2005)

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	$h_2-h_1$	Gradiente i	T	CAUDAL Q	VOLUMEN
			(m)		( $m^2/s$ )	( $m^3/s$ )	( $hm^3/año$ )
E1	7580	1850	5	0.0027	0.0045	0.0922	2.9
E2	7900	1200	5	0.0042	0.0045	0.1481	4.7
E3	5780	1500	5	0.0033	0.0030	0.0578	1.8
E4	10600	1200	5	0.0042	0.0030	0.1325	4.2
E5	13600	2700	5	0.0019	0.0045	0.1133	3.6
E6	16000	3300	5	0.0015	0.0045	0.1091	3.4
E7	7900	3000	5	0.0017	0.0040	0.0527	1.7
E8	6700	2700	10	0.0037	0.0030	0.0744	2.4
E9	5150	1200	5	0.0042	0.0030	0.0644	2.0
<b>Total entradas</b>							<b>26.7</b>

### 7.1.3. Recarga por retorno del riego agrícola (Rr)

En esta variable se incluyen los volúmenes de infiltración de agua que se producen exclusivamente por concepto de los excedentes del riego ya que en la región no existen asentamientos humanos importantes cuya infraestructura hidráulica pueda generar fugas en los sistemas de abastecimiento de agua potable y/o de alcantarillado.

Aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación. Para este caso particular se considera que aunque los sistemas de riego son tecnificados (“pivote central”), existe una ineficiencia en la aplicación del agua, por lo que se estima que el sólo el 10% del volumen utilizado en la agricultura retorna al acuífero. De esta manera; **Rr = 3.4 hm<sup>3</sup>**

## 7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), la evaporación directa en las zonas de niveles freáticos someros (Ev) y las salidas por flujo subterráneo (Sh).

### 7.2.1. Evapotranspiración (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la



Evapotranspiración Real). El escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR) son parámetros utilizados para estimar la recarga potencial por infiltración

Para la obtención de este parámetro se puede utilizar la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación:

$$ETR (mm) = \frac{P (mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2 (mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T (°C) =	16.8		
P(mm) =	340.7	P <sup>2</sup> =	116076.49
L =	957.0816	L <sup>2</sup> =	916005.189
ETR (mm)	336.2		

La limitación teórica para la utilización de la fórmula de Turc es que la precipitación no debe ser menor a la relación 0.31L. Aunque la precipitación resultó mayor que la relación 0.31L = 296.7, y por lo tanto el método si es válido para esta región, el valor de la evapotranspiración real debe despreciarse, ya que el fenómeno presente en el área es la evaporación directa del agua freática somera, debido a la ausencia de cobertura vegetal. Para la observación del comportamiento del fenómeno de evapotranspiración se considera el tanque evaporímetro expresado como un porcentaje de evapotranspiración, donde la evaporación es comparativamente más alta, en los niveles freáticos < 100 cm de la superficie del suelo, posteriormente disminuye hasta hacerse despreciable, para las zonas donde los niveles freáticos son > 300 cm, según White citado por Keith (1973) figura 5.

De esta manera, la estimación del valor de la evaporación se calculó multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno (profundidad al NE menor a 2 m, dentro del área de balance) por una lámina de agua equivalente a una fracción de la evaporación potencial media en las estaciones climatológicas (2460 mm anuales, obtenidos en el acuífero vecino Ascensión CONAGUA). El valor de esa fracción varía entre un máximo de uno, cuando el nivel freático aflora, y cero cuando éste se halla a profundidades mayores a la altura de la franja capilar de los materiales predominantes entre la superficie del terreno y el nivel freático. De la figura 6 se deduce que para una profundidad promedio al nivel del agua subterránea de 2 m (80 pulgadas) el % de evaporación es del 2%. Considerando una superficie de 20 km<sup>2</sup> de la porción central de la Laguna Los Moscos (de los 75 km<sup>2</sup> que cubre en su totalidad) donde la PNE es menor a los 2 m (figura 4) y un 2% de la evaporación potencial, se obtiene que la evaporación es del orden de los **1.0 hm<sup>3</sup>** anuales.

Evaporación potencial media anual (m)	Área (km <sup>2</sup> )	% de la Evaporación Potencial	Volumen Evaporación (hm <sup>3</sup> /año)
2.46	20	0.02	1.0

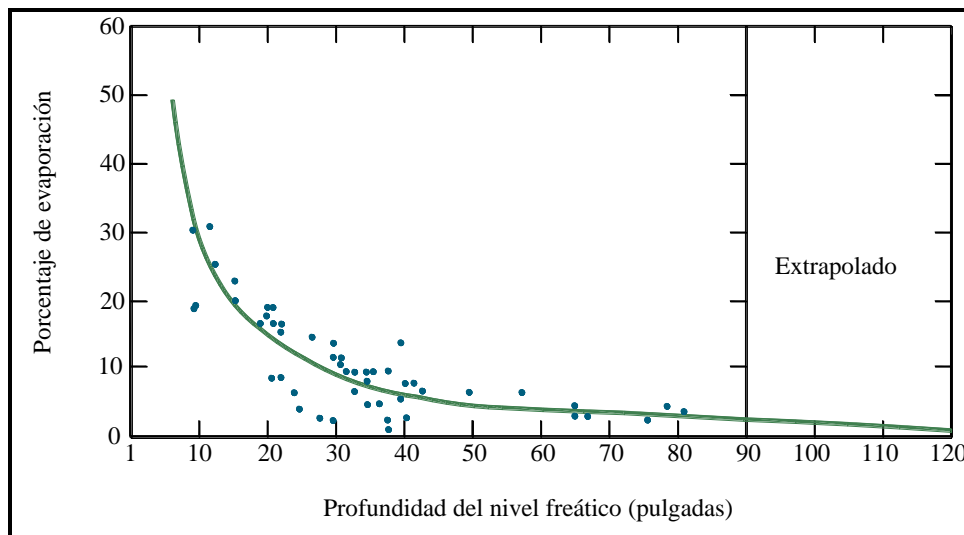


Figura 5. Evaporación del agua freática en función de la profundidad al nivel estático

### 7.2.2. Bombeo (B)

Como se mencionó en el apartado de censo y piezometría, el volumen de extracción total asciende a **36.7 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 7.2.3. Salidas Subterráneas (Sh)

De acuerdo con la configuración del nivel estático mostrada en la figura 4, no existen salidas por flujo subterráneo, debido a que la cuenca es endorreica. Por lo tanto **Sh = 0**.

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

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. Los registros existentes de estudios previos se encuentran dispersos en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

Bajo estas consideraciones, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. Por lo tanto, para fines del balance  **$\Delta V(S) = 0$**

## Solución a 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; despejando este término de la ecuación definida, se tiene:

$$R_v = S_h + B + ETR \pm \Delta V(S) - E_h - R_r \quad (2)$$

Sustituyendo valores:

$$R_v = 0.0 + 36.7 + 1.0 + 0.0 - 26.7 - 3.4 = 7.6$$

$$R_v = 7.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Por lo tanto la recarga total es la suma de las componentes de entrada

$$R_t = E_h + R_v + R_r = 37.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

## 8. DISPONIBILIDAD

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

$$DAS = R_t - DNCOM - VCAS \quad (3)$$

Donde:

DAS = Disponibilidad media anual de agua subterránea

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, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural (34.3 hm<sup>3</sup>/año), más la recarga inducida (3.4 hm<sup>3</sup>/año). Por lo tanto para el caso **Rt = 37.7 hm<sup>3</sup>/año.**

## 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 están comprometidos como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes, sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para el caso del Acuífero Los Moscos no se considera una descarga natural comprometida. **Por lo tanto DNCOM = 0**

## 8.3. Volumen concesionado de agua subterránea (VCAS)

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de marzo de 2009, es de 31 831,614 m<sup>3</sup>/año.**

## 8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (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 Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, 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 REPGA.

Por lo tanto la disponibilidad de aguas subterráneas, de acuerdo a la expresión (3), es:

$$\begin{aligned} \text{DAS} &= R_t - \text{DNCOM} - \text{VCAS} \\ \text{DAS} &= 37.7 - 0.0 - 31.831614 \\ \text{DAS} &= \mathbf{5.868387 \text{ hm}^3/\text{año.}} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe actualmente un volumen de **5´868,387 m<sup>3</sup>** anuales disponibles 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 la disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero granular en la que existen aprovechamientos del agua subterránea e información hidrogeológica para su evaluación. 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, ni en las rocas fracturadas que subyacen a los depósitos granulares. Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere a la piezometría y pruebas de bombeo hacia los piedemonte, se podrá hacer una evaluación posterior.

## **9. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS**

SARH. 1981. Actividades de Carácter Geohidrológico en las zonas de Janos, Ascensión y Cuauhtémoc Chihuahua”. Realizado por Consultoría de Ciencias de la Tierra.

SARH. 1990. Estudio para el Control adecuado de las Aguas Subterráneas en su proyecto Bismark en Ascensión Chihuahua”. Realizado por Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados S.A.

SARH. 1991. Actualización del Estudio Geohidrológico de las Zonas de Ascensión-Janos, Chihuahua”.

Comisión Nacional del Agua. 2005. Censo de aprovechamientos y monitoreo piezométrico de los acuíferos El Sabinal, Laguna Tres Castillos, Los Moscos, Josefa Ortiz de Domínguez, Las Palmas, El Cuarenta, Los Lamentos, Laguna de Hormigas y Aldama-El Cuervo en el Estado de Chihuahua. Realizado por la empresa Estudios y Proyectos en Aguas Subterráneas S.A de C.V.