

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Pedriceña-Velardeña
(1021), Estado de Durango***

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.**

CCCLXXX REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "CUENCAS CENTRALES DEL NORTE"

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

ESTADO DE DURANGO

1021	PEDRICEÑA-VELARDEÑA	10.9	0.0	5.311752	5.8	5.588248	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 1021 PEDRICEÑA-VELARDEÑA, ESTADO
DE DURANGO***

México, D.F. Mayo de 2009

Contenido

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización	2
1.2. Situación Administrativa del Acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3. FISIOGRAFÍA.....	5
3.1. Provincia fisiográfica.....	5
3.2. Clima.....	6
3.3. Hidrografía	6
3.4. Geomorfología	6
4. GEOLOGÍA.....	6
4.1. Estratigrafía.....	6
4.2. Geología Estructural	8
4.3. Geología del Subsuelo	9
5. HIDROGEOLOGÍA	10
5.1. Tipo de acuífero	10
5.2. Parámetros hidráulicos	10
5.3. Piezometría.....	10
5.4. Comportamiento hidráulico.....	11
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	11
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	12
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	12
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	13
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	14
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	14
7.1. Entradas.....	15
7.1.1. Entradas subterráneas horizontales (Eh)	15
7.1.2. Recarga inducida (Ri)	16
7.2. Salidas	16
7.2.1. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	16
7.2.2. Bombeo (B).....	16
7.3. Cambio de Almacenamiento (ΔVS)	17
8. DISPONIBILIDAD	17
8.1. Recarga total media anual (Rt).....	18
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)	18
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)	18
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS).....	18
9. BIBLIOGRAFÍA.....	20

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”.

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

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

1.1. Localización

El acuífero Pedriceña-Velardeña quedó designado con la clave 1021 del Sistema de Información Geográfica del Agua Subterránea (SIGMAS). El área del acuífero comprende una superficie de 2,974 km², se encuentra ubicado en la zona centro-oriente del estado de Durango, delimitado por los paralelos 24° 32' y 25° 16' de latitud norte y los meridianos 103° 22' y 104° 03' de longitud oeste (Figura 1).

Colinda al oriente con el acuífero Aguanaval, al norte Villa Juárez, al poniente con Nazas y Peñón Blanco y al sur con el acuífero Santa Clara, todos ellos pertenecientes al estado de Durango.

El acuífero se localiza dentro de los municipios de Cuencamé y una pequeña porción de Peñón Blanco.

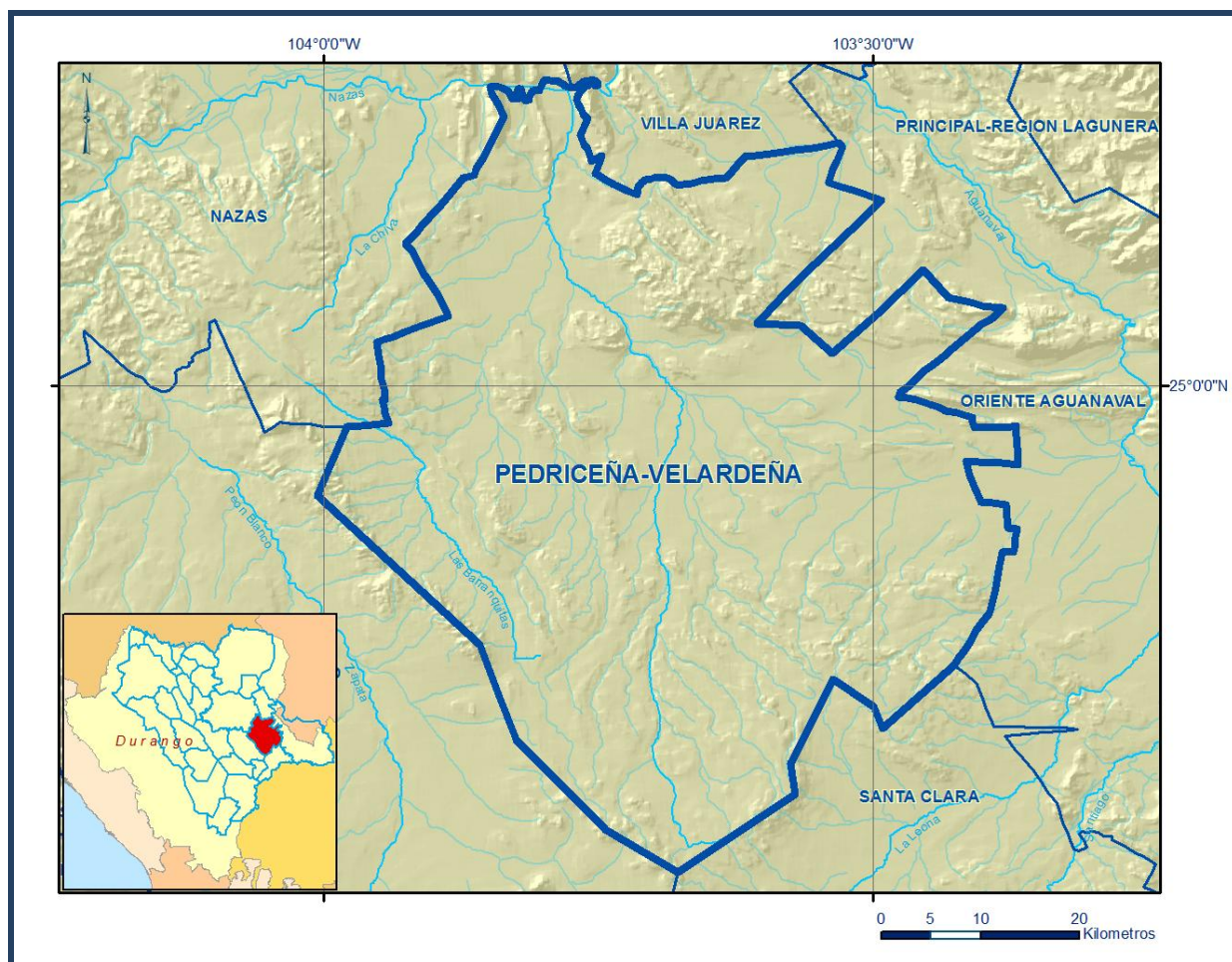


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas de la Poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1021 PEDRICEÑA-VELARDEÑA							OBSERVACIONES
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	40	38.1	24	33	18.2	
2	103	44	36.7	24	35	38.4	
3	103	49	30.3	24	40	34.3	
4	103	50	25.1	24	42	56.6	
5	103	51	30.4	24	45	45.7	
6	104	0	23.5	24	53	57.6	
7	103	58	44.9	24	57	43.6	DEL 7 AL 8 POR EL LIMITE MUNICIPAL
8	103	46	28.5	25	16	15.8	DEL 8 AL 9 POR EL LIMITE MUNICIPAL
9	103	31	51.6	25	13	16.5	DEL 9 AL 10 POR EL LIMITE MUNICIPAL
10	103	25	34.0	24	44	39.6	
11	103	29	27.0	24	41	11.1	
12	103	29	55.4	24	42	23.0	
13	103	32	8.6	24	43	55.4	
14	103	34	29.9	24	39	15.5	
15	103	34	13.6	24	37	35.0	
1	103	40	38.1	24	33	18.2	

1.2. Situación Administrativa del Acuífero

El acuífero pertenece a la región Organismo de Cuenca Cuencas Centrales del Norte. El territorio del acuífero no se encuentra sujeto a veda para la extracción de agua subterránea.

El principal usuario del agua subterránea es el agrícola y en menor proporción el público urbano. En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

De acuerdo a la Ley Federal de Derechos vigente para el 2008, los municipios Cuencamé y Peñón Blanco se clasifican como zona de disponibilidad 7.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero y la región aledaña se han realizado algunos estudios geológicos, geofísicos e hidrogeológicos; sin embargo, éstos últimos han sido muy locales y enfocados a ubicar sitios para el abastecimiento de agua potable a las poblaciones más importante; mientras que los dos primeros han sido con fines geológico-mineros. A continuación se mencionan los resultados y conclusiones de los estudios más relevantes.

INFORME GENERAL DEL ESTADO DE DURANGO. 1974, SARH. Este informe consta de 7 Dictámenes Geohidrológicos. De la subcuenca sureste de la Laguna de Santiaguillo, Valle de Rodeo, Meseta de la Zarca, Valle de Villa Hidalgo, Puerta de Cabrera (Municipio de Indé), Poblado López Mateos (Municipio Pánuco de Coronado) y 18 de marzo (Municipio Simón Bolívar).

Se considera que en esta región, el graben o fosa tectónica es una estructura geológica muy favorable para almacenar agua subterránea; y que se deben de explorar intensamente, ya que reúnen, además, otras condiciones favorables como son su topografía, clima y suelo. Otra clase de acuíferos, no granulares, que pueden encontrarse dentro de las fosas, son capas de material tobáceo poroso.

SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS DEL ESTADO DE DURANGO, 1975. Geología Económica Agrícola. La Dirección de Geohidrología y Zonas Áridas planeó el estudio geológico regional del Altiplano Mexicano con la intención de mapear la distribución en esta parte de nuestro territorio de las rocas sedimentarias continentales lacustres depositadas durante el Terciario, las cuales, por tener características granulométricas adecuadas en general, pueden tener buena porosidad y permeabilidad para formar acuíferos. Al saber la ubicación geográfica y posición estratigráfica de estos sedimentos, la Dirección de Geohidrología y Zonas Áridas podrá simplificar la exploración en busca de aguas subterráneas en las zonas áridas de la República Mexicana que precisamente se encuentran a todo lo largo del Altiplano Mexicano.

Una vez contando con este estudio regional y al conocer la distribución de estos sedimentos, será posible efectuar exploraciones locales con mayor eficiencia y rapidez para determinar los sitios más adecuados para la perforación de pozos en busca de agua subterránea.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LOS DEPÓSITOS TERCIARIOS DEL ESTADO DE DURANGO. 1977, SARH.

El objetivo del estudio fue estudiar detalladamente las cuencas sedimentarias del Terciario en el estado de Durango; para la posible explotación de aguas subterráneas contenidas en mantos constituidos por gravas y arenas.

ESTUDIO PARA EL RESPALDO DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN DOS ACUÍFEROS DEL ESTADO DE DURANGO. 2006. Convenio de colaboración CONAGUA – IPN (Ciencias de la Tierra ESIA). Los objetivos del estudio fueron delimitar y caracterizar hidrogeológicamente al acuífero, determinar la ocurrencia, movimiento y calidad del agua subterránea; cuantificar la recarga del acuífero mediante determinación de la magnitud de cada una de sus componentes; Identificar y caracterizar las fuentes de contaminación que inciden en el deterioro de la calidad del agua y conocer el valor de la conductividad hidráulica por medio de pruebas de bombeo. Con la información recabada por las actividades de campo, fue posible determinar el balance de aguas subterráneas y proponer alternativas de explotación en áreas específicas y acordes con el uso potencial del agua.

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

Fisiográficamente el área se encuentra comprendida en la porción norte de la Mesa Central, la cual fue reconocida como Provincia Fisiográfica por Raisz (1959), quien la definió como una cuenca rodeada por montañas más elevadas. Más alta y más plana que la provincia Cuencas y Sierras.

En lugar de sierras elongadas, ésta tiene áreas poco elevadas, principalmente disectando rocas volcánicas antiguas. Se trata de una planicie elevada que se localiza en la parte central de México, más de la mitad de su superficie se encuentra por encima de la cota 2000 y las elevaciones en su interior son moderadas, la mayoría forma desniveles inferiores a los 600 m.

La zona donde se localiza el acuífero muestra un estado de erosión avanzado con grandes cuencas continentales rellenas de sedimentos aluviales y lacustres, algunas de ellas endorréicas. Tiene las cotas más bajas y los desniveles menores

3.2. Clima

El clima de la zona es templado subhúmedo, con temperaturas frías extremas. De acuerdo a los datos reportados en la estación Cuencamé para el periodo 1953-2004, la temperatura media anual fue de 21° C, la máxima de 26° C que se presenta en el mes de junio, y la mínima anual promedio para ese periodo, fue 14° C, que corresponde al mes de enero. La precipitación media anual es de 364 milímetros, con régimen de lluvias en los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

Además se registran heladas tempranas en los últimos días de septiembre y primeros de octubre, siendo su período normal de noviembre a febrero y las tardías hasta los primeros de abril.

3.3. Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica No. 36 "Nazas". La principal corriente fluvial es el río Cuencamé que junto con sus afluentes drenan la porción central de la zona; desemboca en el río Nazas, el cual vierte sus aguas en la Laguna de Mayrán situada al NE de la región (fuera del área peneplanas).

3.4. Geomorfología

El relieve se caracteriza por presentar cañones profundos, en donde además la erosión determina una topografía abrupta, donde es factible encontrar pequeños y estrechos valles en los cañones; la topografía tiende a ser más suave hacia el poniente y centro de la zona, en donde se encuentran valles y extensas llanuras; aquí las montañas se reducen a cerros con pendientes suaves. Las elevaciones varían de 1,240 a 2,320 msnm, siendo el más importante el Picacho Flechas en la Sierra de San Lorenzo (límite nororiental de la zona).

El área presenta rasgos de madurez morfológica en su última etapa. Los tipos de drenaje varían de paralelo a subparalelo en las rocas sedimentarias, anular en zonas de intrusivos, y meándrico y anastomosado en las zonas

4. GEOLOGÍA

De acuerdo con las Cartas Geológico-Mineras G13-12 escala 1:250,000 y G13-D44 escala 1:50,000 del Servicio Geológico Mexicano (SGM), la columna estratigráfica está representada por rocas sedimentarias mesozoicas y rocas ígneas intrusivas y extrusivas (figura 2), integradas por las unidades litológicas descritas a continuación.

4.1. Estratigrafía

Jurasico Superior-Cretácico Inferior

Formación Mezcalera (JsKi Ar-Lu). Esta unidad aflora al noroeste de la zona y se encuentra sobreyaciendo discordantemente al basamento rocoso, esta constituida por una secuencia rítmica

de areniscas y lutitas, las cuales hacia la cima cambian a capas de caliza en estratos delgados a medianos con intercalaciones de limolitas rosas y escasas bandas de pedernal.

Cretácico Inferior

Formación Baluarte (KvhAr-Lu). Esta Formación aflora al suroeste, la constituyen calizas delgadas y limolitas de color rosado con contenido de *Calpionela alpina* del Berriasiano al Cenomaniano.

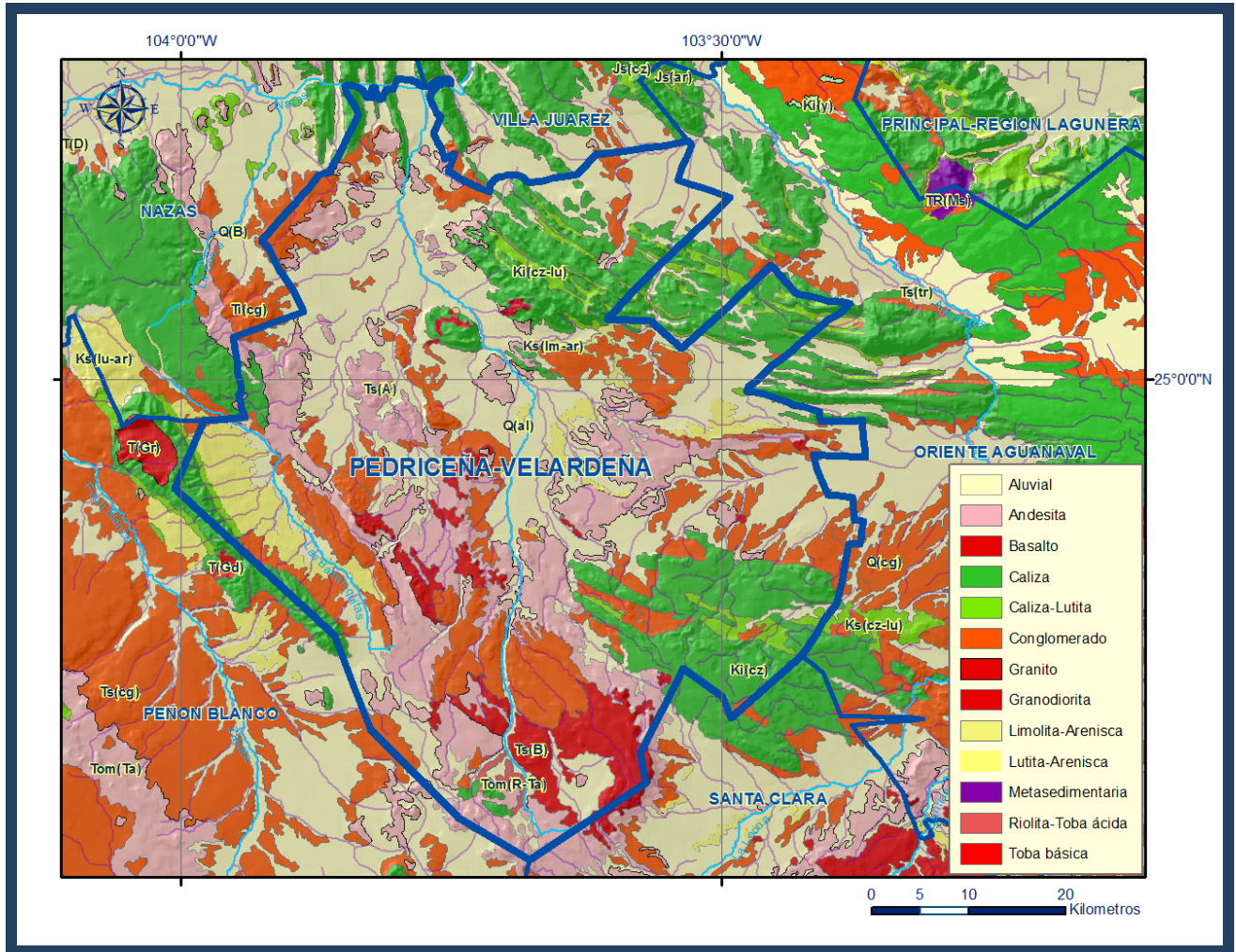


Figura 2. Geología general de acuífero

Paleógeno-Neógeno

Formación Ahuchila. Sobreyace discordantemente a las rocas mesozoicas, y corresponde a un conglomerado de origen continental, tipo "Molasse, compuesto de fragmentos angulosos a subredondeados de caliza en una matriz de calcarenita, que aflora en bancos masivos y gruesos que conforman lomeríos suaves. Se localizan al sur y noroeste de Pedriceña; el espesor medido es de 450 m y su edad se ha establecido en el Eoceno Superior- Oligoceno Inferior por correlación con depósitos clásticos del centro de México (Fries et al., 1955; Edwards, 1955). Constituida por capas de conglomerados, areniscas, lutitas, calizas lacustres y tobas. Afloran de manera aislada en varias partes de la zona.

Intrusionando a las rocas antes descritas se tienen cuerpos de composición **granito-diorita con variaciones a granodiorita y tonalita**, que afloran en las sierras de San Lorenzo y Santa María. Se presentan en forma de cuerpos aislados al centro y noreste de esta última localidad; en la porción noroeste de la Sierra de San Lorenzo y noreste de la Sierra de Santa María se presenta en forma de apófisis. En la zona de la población de Velardeña, existen cuerpos en forma de diques, que han sido clasificados como diques alaskítico (Ak) y traquítico (Tq). Regionalmente estos cuerpos intrusivos afloran en un lineamiento NE-SW y al afectar a las rocas calcáreas originaron una aureola de contacto compuesta de skarn y caliza recristalizada.

Sobreyaciendo a las rocas preexistentes de manera discordante, se observa una secuencia de **rocas volcánicas de composición riolítica**. Esta secuencia fue cartografiada en dos paquetes en función de la presencia de material tobáceo. La primera unidad, situada en la base, está compuesta por intercalaciones de derrames riolíticos y tobas riolíticas, aflora en la porción suroccidental de la zona. La segunda unidad que aflora sobre la primera, consiste exclusivamente de derrames riolíticos, en forma de afloramientos extensos principalmente en la porción centro-norte de la zona.

Cubriendo discordantemente a la anterior, se encuentra una unidad de **andesita-basalto** con intercalaciones de horizontes de material volcanoclástico, cuyos afloramientos aislados se encuentran presentes en gran parte de la región y corresponden a la Formación La Zorra; el espesor de esta formación es del orden de 160 m; se considera del Mioceno por posición estratigráfica (PEMEX 1981).

Cuaternario

Durante el Cuaternario se desarrolló una secuencia de clásticos de origen continental, constituidos principalmente por guijas y cantos rodados de caliza subredondeados a redondeados, que varían de gravas semiconsolidadas hasta conglomerados cementados por arcillas, limo o caliche; esta formación, denominada Santa Inés, cubre en forma discordante a todas las unidades estratigráficas ya descritas, presentándose en forma amplia en la porción oeste de la zona. Su espesor máximo medido es de 300 m; se considera de edad Plioceno tardío-Pleistoceno temprano (Pantoja, 1963). Los depósitos aluviales son de gran extensión y se presentan en los valles; estos corresponden a ejes de sinclinales que han sido rellenos por este material, se estima que su espesor máximo es de 200 m.

4.2. Geología Estructural

Las rocas mesozoicas que afloran en el área se encuentran intensamente plegadas y constituyen una pequeña parte de la Sierra Madre Oriental. Los anticlinales y sinclinales tienen orientación NW-SE en la porción este, cambiando de dirección al N-S en la porción norte. Son pliegues cerrados generalmente, con vergencia hacia el NE. La estructura principal es el Anticlinorio de San Lorenzo, tiene una longitud, dentro del área de 11 km y una amplitud de 4 km con rumbo axial N50°W en su terminación septentrional, cambiando abruptamente en su porción sureste.

El domo de Santa María es una estructura aislada que dista unos 5 km del Anticlinorio de San Lorenzo hacia el suroeste; su extensión es de aproximadamente 7 por 5 km, con su eje mayor orientado en dirección N 45° W y paralelo por lo tanto al eje de plegamiento del anticlinorio mencionado; por su estructura cóncava, las capas presentan buzamientos concéntricos fuertes. Este domo se caracteriza por el desarrollo de curvilineamientos bien definidos en casi toda su extensión, los cuales, combinados con los lineamientos NW-SE ya descritos, definen las áreas de mayor debilidad que fueron aprovechadas por el magma para emplazarse en forma de troncos y diques; fallas normales paralelas en el flanco noreste del domo de Santa María y en el flanco suroeste de la Sierra de San Lorenzo determinan que el valle corresponde a un graben (McLeroy y Clemons, 1961).

Las deformaciones generadas como consecuencia de la subducción de la Placa del Pacífico Oriental, que se manifestó en el margen occidental de México hacia el oriente, generó esfuerzos compresivos de W-SW a E-NE, iniciando la denominada Orogenia Laramide desde el Cretácico Tardío hasta el Eoceno Tardío en varios episodios, (Araujo y Arenas, 1983); las rocas fueron comprimidas casi perpendicularmente contra la paleopenínsula de Coahuila, resultando una serie de pliegues angostos y alargados con dirección NW-SE en la región. Con la culminación de esta orogenia finaliza la deformación compresiva, y se desarrolla el vulcanismo riolítico de la Sierra Madre Occidental (Demant y Robin, 1975). Posteriormente se genera un período distensivo, el cual produce una serie de fosas y pilares acompañada con la erosión de las rocas deformadas que dan origen a los depósitos continentales de la Formación Ahuichila. Hacia el final de la compresión y asociado a la extensión se genera el emplazamiento de cuerpos intrusivos.

4.3. Geología del Subsuelo

En el área se encuentran flujos de lava, asociados con piroclásticos y conglomerados; allí la infiltración es pequeña debido a lo compacto de estos materiales y a lo abrupto de la topografía que favorece más bien una gran disección fluvial.

Entre las rocas permeables se consideran a los conglomerados y areniscas, las rocas riolíticas en algunas áreas y los sedimentos granulares que rellenan los extensos valles. De estos materiales, los que constituyen los principales acuíferos son los sedimentos granulares; aunque en algunas zonas, el agua es de mala calidad. Las rocas volcánicas riolíticas tienen una permeabilidad anisotrópica, debida principalmente al fracturamiento en las zonas de falla o a sus características físicas adquiridas durante las etapas de piroconsolidación.

Las rocas en las cuencas aluviales incluyen metamórficas, ígneas y sedimentarias del Paleozoico Superior al Reciente; en general, están bordeadas por los sedimentos aluviales. Las rocas son: esquistos, calizas, areniscas y lutitas del Mesozoico, ígneas intrusivas y extrusivas del Mesozoico y Cenozoico. Aunque no forman parte de los acuíferos de la región, si funcionan como basamento o barrera al flujo subterráneo; además, son las que han dado origen a los sedimentos granulares que constituyen el sistema acuífero de mayor almacenamiento de agua subterránea.

Los depósitos granulares aluviales el Paleógeno hasta el Reciente, consisten en clásticos consolidados y no consolidados, intercalados con rocas volcánicas, entre las que predominan las ignimbritas riolíticas. Dichos depósitos granulares tienen varios cientos de metros de espesor y fueron, en gran parte, el relleno de depresiones o cuencas formadas en fosas tectónicas que se produjeron durante la revolución Laramídica.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

El acuífero es de tipo **libre**, de permeabilidad media a baja, alojado en los sedimentos de relleno y aluviales depositados en las partes bajas de los pequeños valles; de reducidas dimensiones en sentido vertical y un poco mayor en sentido horizontal y con moderada a baja capacidad de almacenamiento, que tiene como principal fuente de recarga a la lluvia y a los escurrimientos superficiales que se producen durante la temporada de lluvias. Su espesor varía desde algunos metros, en las estribaciones de los piedemonte, hasta algunas decenas de metros en las partes bajas de los valles. Este es el acuífero en explotación en la región y constituye la fuente principal de abastecimiento para uso público-urbano, la ganadería y la agricultura.

5.2. Parámetros hidráulicos

La información de los parámetros hidráulicos procede de la interpretación de 3 pruebas de bombeo, realizadas como parte de las actividades del estudio de 2006, las cuales se interpretaron por los métodos convencionales de Neuman, Jacob y Hantush. Las pruebas se ejecutaron tanto en etapa de abatimiento como de recuperación y el tiempo de bombeo varió de 1 a 12 horas.

Los resultados de su interpretación reportan valores de transmisividad que varían de 5.9×10^{-4} (pozo PV-099), a $3.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (pozo PV-052), dependiendo de la granulometría de los depósitos donde se alojan los aprovechamientos, con un valor medio de $1.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ en las tres pruebas realizadas. En cuanto a los valores de coeficiente de almacenamiento sugeridos a través de la interpretación de las pruebas, los valores utilizados variaron de **0.05 a 0.015**

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, se tomó únicamente en cuenta la información recabada durante los recorridos de campo, realizadas para el estudio por convenio CONAGUA-IPN (octubre-noviembre del 2006), ya que la numeración de los aprovechamientos utilizada en los escasos trabajos anteriores no fue posible correlacionarlos, para poder determinar la variación en los niveles piezométricos. Asimismo, cabe mencionar, que la configuración de niveles, sólo se realizó en las obras localizadas en las cercanías de las poblaciones de Yerbanis, Cuencamé, El Tanque y Pedriceña, que es donde se tuvo una mayor densidad de las obras y en consecuencia, se pudo realizar un trazo continuo en las curvas.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático varía de acuerdo con la ubicación topográfica de la obra, por lo cual los pozos localizados en las partes bajas de los valles presentan los valores más someros (10 m) incrementándose hacia las zonas topográficamente más altas (198 m).

De esta manera, hacia las zonas donde se localiza la población de Cuencamé, las profundidades varían de 10 a 20 m, siendo las más someras, aunque en algunos sitios los pozos llegaron a alcanzar los 3 m (pozo PV-037).

Por lo que corresponde a los pozos localizados hacia el sur de la zona, y concretamente el ubicado en el límite del acuífero (pozo PV-A13), los valores de profundidad llegan a alcanzar los 200 m.

Cabe mencionar que fuera de las zonas de los pequeños valles, se pudieron medir algunos otros niveles de profundidad, y como ya se mencionó, por lo aislado de estos datos no fue posible realizar una configuración continua en toda la región. En la figura 3 se muestra la configuración de profundidad para la zona.

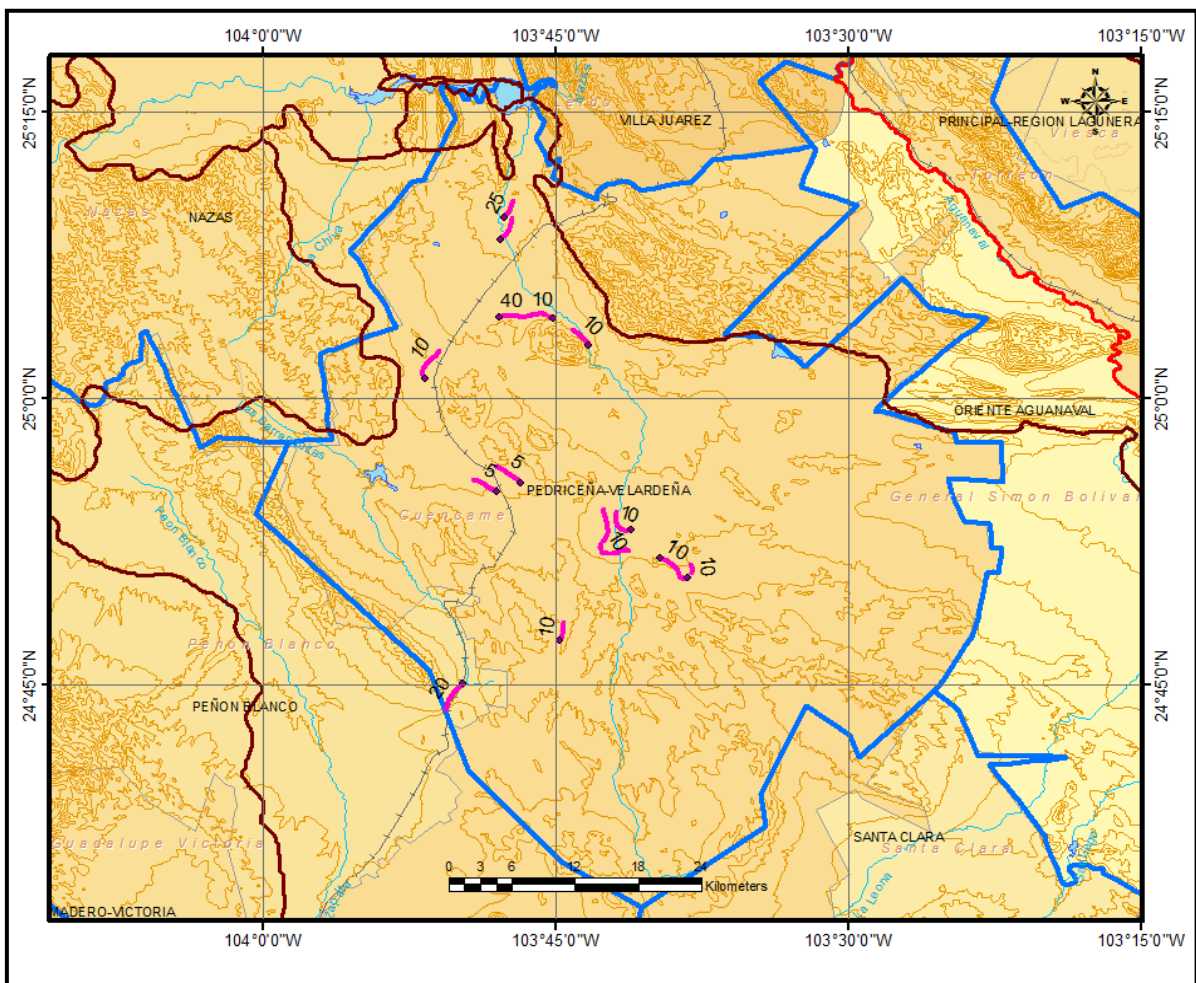


Figura 3. Profundidad al nivel estático en metros (2006)

5.4.2. Elevación del nivel estático

La configuración de curvas de igual elevación del nivel estático para octubre-noviembre de 2006 presenta elevaciones que varían desde 1,240 hasta los 1,880 msnm.

Los valores más someros se localizan al norte de Pedriceña, donde las equipotenciales corresponden a las curvas 1,240 y 1,260 msnm. Hacia el sur de ésta localidad, los valores ascienden a 1,340 y alcanza los 1560 msnm en Cuencamé.

Las elevaciones más altas, se presentan en la población de Yerbanis, localizada al suroeste del acuífero, donde las equipotenciales alcanzan valores entre 1,860 y 1,880 msnm.

De acuerdo a la morfología de la zona y a la litología de las rocas que afloran, la dirección del flujo subterráneo es en general hacia las partes bajas de los pequeños valles del acuífero; de esta forma, en la zona del poblado de Yerbanis, el flujo es del suroeste al noreste; en Cuencamé, es del sureste al noroeste y cambia después de suroeste a noreste (que corresponde a la dirección de flujo del arroyo Cuencamé); en la localidad de El Tanque el flujo se presenta del sureste al noroeste, para que finalmente entre Velardeña y Pedriceña, al norte del acuífero, el flujo es sensiblemente sur-norte.

Los gradientes hidráulicos varían en el centro del área de 0.016 (Cuencamé) a 0.02 al norte de Pedriceña, lo cual está asociado a los cambios de permeabilidad en los materiales de esa zona; hacia la región entre las poblaciones de El Tanque y Pasaje, el gradiente llega a ser de 0.03.

La configuración de elevación del nivel estático para la zona, se presenta en la figura 4.

5.4.3. Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita la 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. Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático no demuestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos. Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser **nulo**.

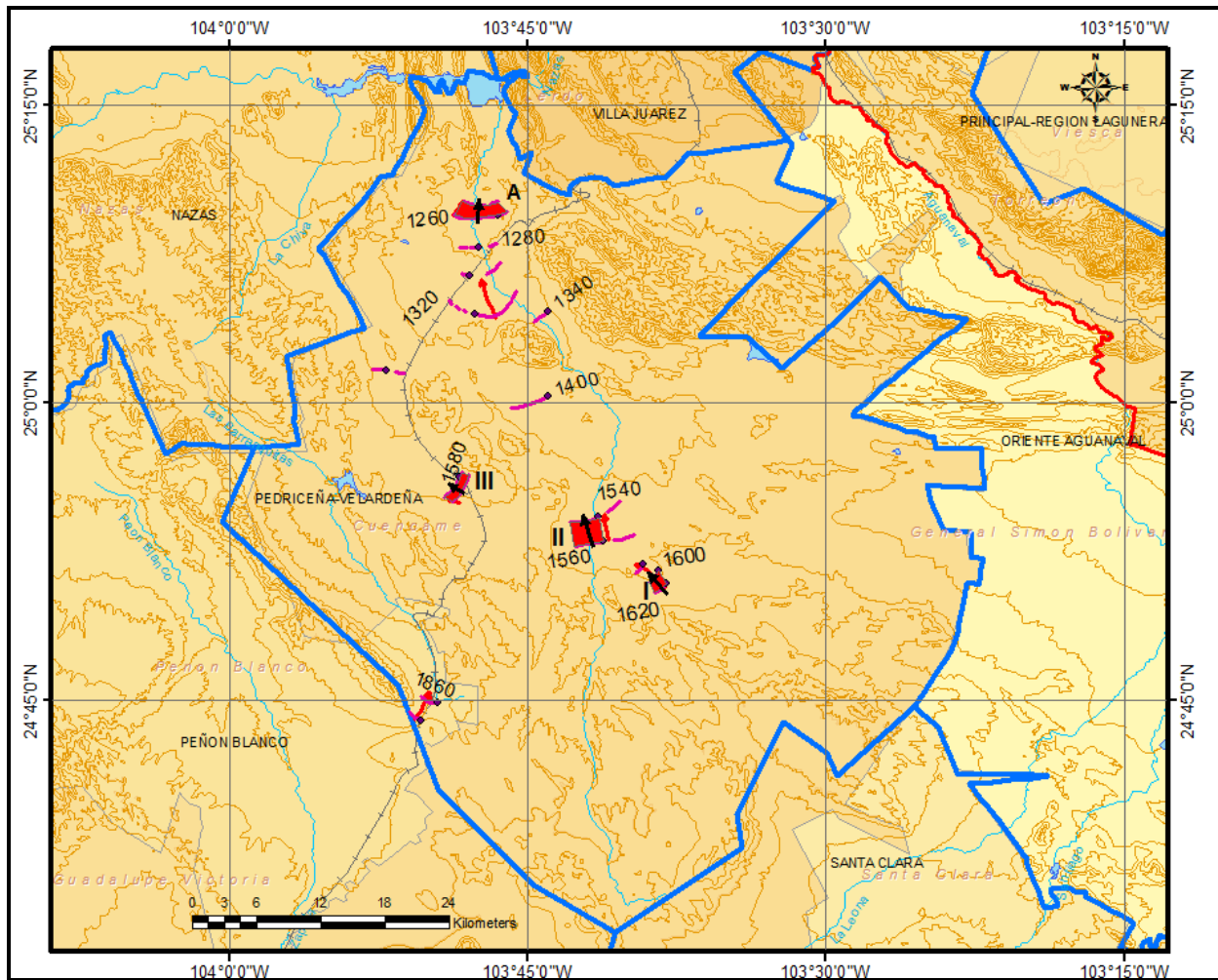


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (2006)

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En las obras que se visitaron durante el estudio realizado en 2006, se tomaron muestras de agua para determinarles los parámetros físico-químicos de campo, como son: temperatura (T), Conductividad Eléctrica (CE), su equivalente en Sólidos Totales Disueltos (STD) y potencial de Hidrogeniones (pH).

De acuerdo a los valores encontrados, se observó que con respecto a la CE, los valores más bajos se localizaron al suroeste de la zona, en donde los valores son de 394 microsiemens/cm, (noria PV 075), mientras que los valores más altos se ubicaron al centro del acuífero, con 3,927 microsiemens/cm (noria PV 59).

En general se puede observar que el incremento de la salinidad se presenta del suroeste hacia el norte, en el mismo sentido de la dirección del flujo subterráneo. En cuanto a la temperatura del agua, los valores oscilaron entre 12 y 25° C.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo al recorrido de campo que se efectuó en la zona como parte de las actividades realizadas para el estudio de 2006, se encontró un universo de 142 aprovechamientos, de los cuales 103 son pozos, 31 norias, 7 manantiales y 1 galería filtrante.

En cuanto a los caudales de extracción, la mayoría de los aprovechamientos no tiene medidor de flujo. Los caudales son mayores en los pozos de uso agrícola, los cuales oscilaban entre 15 y 50 lps (PV 40).

Como dato interesante, debe mencionarse que los niveles en la mayoría de las norias son más someros que en los pozos, los niveles menores de 5 m de profundidad se localizan en las obras cercanas a Cuencamé y Pasaje, y aunque presentan un pequeño abatimiento en los meses de estiaje, según sus propietarios, el espejo de agua nunca desaparece.

En cuanto a las condiciones de operación de las obras visitadas, y concretamente de los 103 pozos, 99 se encontraron activos, 3 inactivos de forma temporal y uno está en proceso de perforación, a su vez, de los 99 pozos activos, 80 se utilizan para fines agrícolas, 15 para uso público urbano, 2 para servicios y otros 2 tienen uso combinado agrícola.

El volumen de extracción conjunto se ha estimado en **5.8 hm³ anuales**, de los cuales 0.75 hm³ (13 %) se destinan al uso agrícola, mientras que el resto (87%) es para el abastecimiento público.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para 2006 en una superficie de 600 km² que corresponde a la zona donde se tiene información piezométrica y en la que se localiza la gran mayoría de los aprovechamientos.

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 como sigue:

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

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

La recarga total al acuífero (R_t) está integrada básicamente por las entradas subterráneas (E_h) y la recarga vertical por lluvia (R_v) que se infiltra en las zonas no cubiertas por la capa impermeabilizante de la zona urbana, y la recarga incidental o inducida que se origina por la infiltración del agua que se destina a las actividades agrícolas, principalmente, y por las fugas en las redes de abastecimiento de agua potable o del drenaje, en las poblaciones.

Esta recarga está constituida por la recarga por flujo horizontal subterráneo que se presenta a través de las zonas de pie de monte y por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del valle.

Este parámetro corresponde con el volumen de agua de lluvia que se infiltra en el subsuelo. Considerando que es uno de los parámetros con mayor incertidumbre para su evaluación y de acuerdo al planteamiento de comparar las entradas con las salidas al sistema, ésta variable se dejó como incógnita.

7.1.1. Entradas subterráneas horizontales (E_h)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través de los piedemonte, para posteriormente llegar a recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que fluyen hacia el norte del área.

Para su cálculo se utilizó la configuración de las curvas de igual elevación del nivel estático correspondiente a octubre-noviembre de 2006, mostrada en la figura 4. Con base en esta configuración se seleccionaron canales 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 pueden observar los valores obtenidos en cada celda y el total de **3.7 hm³/año**.

$$Q = B * i * T$$

Donde:

B: Ancho (m) del canal de flujo

i: Gradiente hidráulico ($i = h_2 - h_1 / L$); h y L son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.

T: Transmisividad (m²/día) en el canal de flujo

Tabla 2. Cálculo de entradas subterráneas por flujo horizontal

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	$h_2 - h_1$ (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
I	2000	1120	20	0.0179	0.0006	0.0214	0.7
II	3000	2000	20	0.0100	0.0006	0.0180	0.6
III	2800	750	20	0.0267	0.0010	0.0747	2.4
Total entradas							3.7

Los valores de T utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son valores promedio obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo, adaptadas al espesor saturado.

7.1.2. Recarga inducida (Ri)

Aun en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen de agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie del agua subterránea. Esta contribución al acuífero se conoce como retorno de riego. Para este caso, se aplican a la agricultura de riego aproximadamente 0.8 hm^3 , considerando que el 10% de este volumen retorna al acuífero en forma de recarga inducida, esto representa $0.10 \text{ hm}^3/\text{año}$ de recarga por retornos de riego.

El volumen destinado para el uso público-urbano es de $5.0 \text{ hm}^3/\text{año}$, considerando que un 10% del volumen total utilizado retorna al acuífero por fugas en las redes de abastecimiento, la recarga resulta de $0.5 \text{ hm}^3/\text{año}$. Por lo tanto el total de la Recarga inducida es de **$0.6 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por las salidas subterráneas fuera del acuífero (Sh), el bombeo (B), y la evapotranspiración (ETR).

7.2.1. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Para el caso del cálculo de las Salidas horizontales (Sh), se procedió de igual forma que en las entradas horizontales, es decir, se tomó como base la configuración de elevación del nivel estático, la cual muestra un tubo de flujo de salida hacia la parte norte, y cuyos valores asignados fueron los siguientes:

Tabla 3. Cálculo de Salidas subterráneas por flujo horizontal

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN ($\text{hm}^3/\text{año}$)
A	3750	1540	20	0.0130	0.0033	0.1607	5.1
Total salidas							5.1

De esta manera, las salidas horizontales del área de balance asciende a **5.1 hm^3** al año.

Para el caso de las pérdidas por evapotranspiración, no se involucraron en la ecuación, debido a que en general en la zona la profundidad de los niveles piezométrico son mayores a los 10 m, por lo que no existen pérdidas en el sistema por este rubro.

7.2.2. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo es del orden de los **5.8 hm^3 anuales**.

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. Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, todavía no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo ni conos de abatimiento.

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 esta razón, para fines del balance de aguas subterráneas, no existe cambio de almacenamiento en el acuífero; es decir, $\Delta V(S) = 0$.

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, se procedió a evaluar la recarga vertical por lluvia.

$$\begin{aligned} R_v &= S_h + B + ETR - \Delta V(S) - E_h - R_i \\ R_v &= 5.1 + 5.8 + 0.0 + 0.0 - 3.7 - 0.6 \\ R_v &= 6.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

De esta manera la recarga total media anual:

$$\begin{aligned} R_t &= R_v + E_h + R_i \\ R_t &= 6.6 + 3.7 + 0.6 \\ R_t &= 10.9 \text{ hm}^3 \end{aligned}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido 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:

$$DAS = R_t - DNCOM - VCAS$$

Donde:

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

R = 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 que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto de manera natural como inducida. Para este caso particular, su valor es de **10.9 hm³/año**, de los cuales 10.3 corresponden a la recarga natural y los 0.6 hm³ restantes a la recarga inducida.

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 de Pedriceña-Velardeña, aunque existe una salida por flujo subterráneo, hacia el acuífero Villa Juárez, está se ubica a más de 10 km de distancia del límite y no existe infraestructura hidráulica para su aprovechamiento en las porciones limítrofes de ambos acuíferos.

Por lo tanto DNCOM = 0

8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (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 **5 653, 594 m³**.

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 referida anteriormente, 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

$$DAS = 10.9 - 0.0 - 5.653594$$

$$DAS = 5.246406 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

El resultado indica que existe actualmente un volumen de **5'246,406 m³** 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 su disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero en la que actualmente existe 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. 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.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2006. Estudio para el respaldo de la disponibilidad media anual de agua en dos acuíferos en el estado de Durango, realizado por convenio con el Instituto Politécnico Nacional (Ciencias de la Terra ESIA).

Consultores en Aguas Subterráneas S. A., 1979. Estudio Geofísico de las áreas de Cuauhtémoc y Peñón Blanco, Estado de Durango.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1974. Informe General del Estado de Durango.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1975. Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos del Estado de Durango.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1977. Estudio Geohidrológico de los Depósitos del Terciarios del Estado de Durango.

Sociedad Geológica Mexicana, 1970. Estudio Geológico de Reconocimiento de la Región de Peñón Blanco, estado de Durango. Boletín.