

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO OJUELOS (1448), ESTADO DE
JALISCO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

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	5
3.3. Hidrografía.....	6
3.4. Geomorfología	6
4. GEOLOGÍA.....	7
4.1. Estratigrafía.....	7
4.2. Geología Estructural.....	9
4.3. Geología del Subsuelo.....	9
5. HIDROGEOLOGÍA	10
5.1. Tipo de Acuífero	11
5.2. Parámetros hidráulicos.....	11
5.3. Piezometría.....	12
5.3.1. Niveles del agua subterránea	12
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	12
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	13
7.1. Balance Hidrometeorológico	13
7.2. Entradas.....	16
7.2.1. Recarga vertical	16
7.2.2. Recarga inducida.....	16
7.3. Salidas.....	17
7.3.1. Bombeo	17
7.4. Cambio de almacenamiento.....	17
8. DISPONIBILIDAD	18
8.1. Recarga total media anual (R)	18
8.2. Descarga natural comprometida (DNC)	18
8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	18
8.4. Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA)	19

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 Ojuelos, definido con la clave 1448 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción sureste del estado de Jalisco entre los paralelos 22°01' y 21°49' de latitud norte y los meridianos 101°34' y 101°48' de longitud oeste. Colinda al norte y este con el acuífero Pinos del estado de Zacatecas, al sur con el acuífero 20 de Noviembre y al oeste con el acuífero Primo de Verdad, estos últimos pertenecientes al estado de Jalisco. Figura 1, cubre una superficie aproximada de 290.55 km² conforme a la poligonal que lo delimita. Este acuífero se localiza totalmente dentro del municipio de Ojuelos de Jalisco.

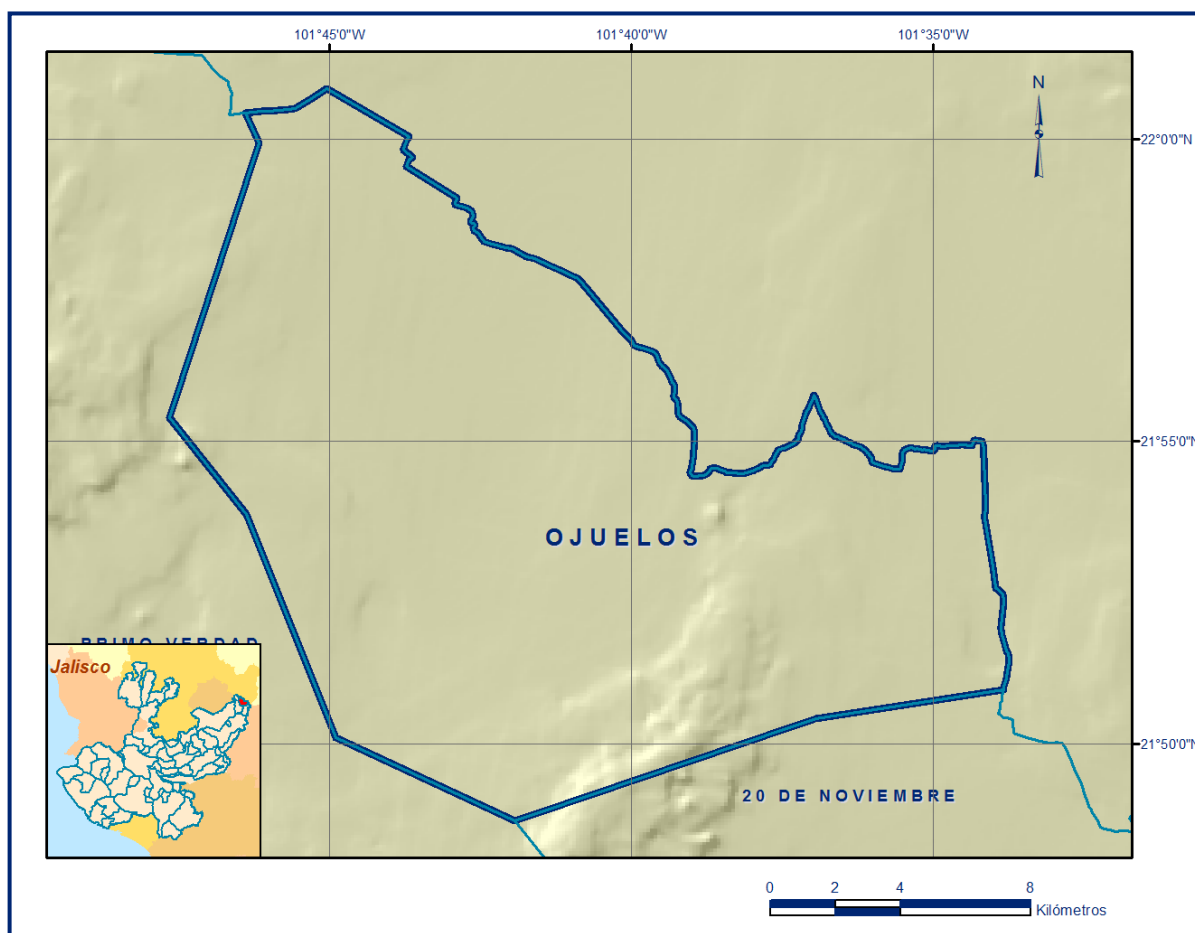


Figura 1. Localización del acuífero

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 que delimitan el acuífero

ACUIFERO 1448 OJUELOS							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	46	22.5	22	0	25.9	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	101	45	33.3	22	0	30.4	DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	101	33	50.1	21	50	53.7	
4	101	36	56.6	21	50	24.6	
5	101	41	55.2	21	48	42.9	
6	101	44	53.2	21	50	5.5	
7	101	46	22.1	21	53	47.9	
8	101	47	38.4	21	55	23.2	
9	101	46	9.4	21	59	56.5	
1	101	46	22.5	22	0	25.9	

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma-Santiago-Pacífico”. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del decreto de veda tipo III *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en las zonas no vedadas en diversos municipios del estado de Jalisco y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los Municipios del estado de Jalisco”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 12 de julio de 1987. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2.

El usuario principal del agua es el agrícola. En el acuífero no se localiza Distrito de Riego alguno, ni tampoco se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). El acuífero forma parte del Consejo de Cuenca (14) Altiplano, instalado el 23 de noviembre de 1999.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En noviembre de 2007 el Gobierno del estado de Jalisco, a través de la Secretaría de Desarrollo Rural y la Dirección de Infraestructura Agrícola realizó **el Estudio Regional Hidrogeológico y Geofísico para el desarrollo de Agroparques en el área de Santo Domingo municipio de Ojuelos de Jalisco.**

Las principales conclusiones y recomendaciones son las siguientes: Hidrológicamente la zona cuenta con una recarga deficiente pero suficiente para sustentar caudales modestos pero útiles del orden de 5 a 8 litros por segundo. Los materiales a perforar consisten de una secuencia de materiales de origen riolítico tanto en su forma masiva como alterado por fracturamiento y en forma de tobas, además de ignimbritas y horizontes gruesos de limos y arcillas. Desde el punto de vista geohidrológico, la secuencia predominante de tobas e ignimbritas y riolitas que dominan al área, forman un acuitardo, entendido este como una formación que prácticamente es incapaz de contener agua; esto, debido a que la secuencia de tobas comprenden la mayor parte del subsuelo, no cuentan con conductividades hidráulicas primarias importantes, dada su propia composición con matriz fina de limo y arcillas piroconsolidadas; además de presentar un grado muy bajo de fracturamiento, con la incapacidad de imprimirles una conductividad hidráulica de carácter secundario importante.

Sin embargo, en base a la gran extensión del área, y la gran afectación tectónica y estructural observada en la misma, se considero que este medio rocoso en el subsuelo, pudiera, por lo menos contemplarse como un acuífero semiconfinado.

La información geoelectrica obtenida en este estudio nos indica que existe pocas zonas para alumbrar aguas subterráneas, en la zona de Santo Domingo el acuífero se encuentra muy profundo es decir, se deben atravesar por lo menos 500 m de materiales volcánicos constituidos por riolitas y tobas; para poder localizar formaciones donde se presenten condiciones hidrogeológicas adecuadas para alojar un acuífero.

Las zonas geohidrológicamente favorables es en el área de Vaquerías y la otra zona susceptible de perforar es por Guadalupe Victoria, por lo que el área de Santo Domingo se considera poco apta para alumbramiento de agua subterránea a profundidades económicamente explotables. Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia Fisiográfica

El área del acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica de la Mesa Central (E. Raisz 1964), la cual se caracteriza por presentar diferentes paisajes topográficos de los cuales destacan las sierras altas con mesetas lávicas, llanuras aluviales y valles, formando parte de la Subprovincia Llanos de Ojuelos – Aguascalientes.

En la zona, el rasgo fisiográfico que predomina es un llano de piso rocoso, donde se acumularon depósitos aluviales, lacustres y tobas de granulometría variable, este llano se encuentra delimitado en su porción occidental por mesetas extensas, en la parte norte y oriental se observan estas mismas mesetas, presentándose también sierras altas con mesetas bordeadas por lomeríos muy suaves y aislados con bajadas, esculpidos en areniscas con intercalaciones de lutitas. Las mesetas están formadas por derrames riolíticos, ignimbritas y tobas arenosas.

3.2. Clima

De acuerdo con los datos de las dos estaciones climatológicas; Lagos de Moreno y El Cuarenta, con registro de 1990 al 2003, el clima imperante en la región es un clima semiseco templado con lluvias en verano, y de precipitación invernal menor de cinco.

La temperatura media anual es de 17.1° C registrando como extremas, una temperatura máxima de 39.1° C y mínima de -9° C.

En la totalidad del terreno del acuífero, existe un régimen pluviométrico muy inferior a los 800 mm anuales siendo las lluvias en éste municipio de un promedio de precipitación anual de 772.9 mm. El periodo de lluvias es de junio a octubre y la época de estiaje de noviembre a mayo. Se observa que de marzo a junio existe una alta evaporación, siendo mayo el mes que presenta el valor máximo de 236.6 mm.

3.3. Hidrografía

El acuífero pertenece a la cuenca hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, subcuenca Santiago- Río Verde-Grande de Belén y Santiago-Atotonilco. Sus principales cauces son los arroyos de caudal en época de lluvias: De la Centrífuga, Amador, Arroyo Colorado, Mimbres, Bocadillos, Coronas, Blanco, Guajolote, El Gallego y Estacas. Existen algunos manantiales como Las Lagunas y El Saucillo de Las Lagunas; cuenta también con presas como El Enano, La Purísima, Cebolleta, Jesús María, San Juan, Juan de Vaqueros, El Encino, El Mayal, La Arcilla y La Merced.

La Aurora, Bellavista, Guadalupe, Los Mimbres, La Aguililla, Nanángela, María Luisa y varios bordos pequeños que en total almacenan como 19,000,000 de m³, con los que se riegan 2250 hectáreas, mismas se plantan de chile, o se siembra frijol y maíz.

3.4. Geomorfología

La región se caracteriza por una serie de sierras, lomeríos y un valle alargado con orientación NE-SW el drenaje es dendrítico y la principal corriente fluvial el Río Lagos, que presenta también esa dirección. El valle ha sido rellenado por sedimentos de origen continental.

La mayor parte del terreno es semiplano, la cuarta parte corresponde a las zonas planas y el resto a las zonas accidentadas. Cruzando de Norte a Sur el Cerro Del Toro y la Meseta de Juachi, con una longitud de 36 km paralelos a la carretera Ojuelos-Lagos; y la Meseta de la Punta y Chinampas al Oeste del municipio, con una longitud de 17 km.

En el límite de la Hacienda de Juachi y del Ejido de Chinampas, está el Cerro del Espía, con una altura sobre el nivel del mar de 2500 m.

Geomorfológicamente el área se encuentra en una etapa de juventud, el vulcanismo reciente, grandes serranías, cañones pronunciados y la erosión activa así lo manifiestan.

La altitud varía de 1800 a 2800 msnm, las serranías más altas se encuentran al noroeste del área y las elevaciones menores se presentan en el valle.

4. GEOLOGÍA

Las rocas que afloran en el área del acuífero están conformadas principalmente por aluviones, riolitas intercaladas con tobas ácidas, y pequeños afloramientos de depósitos lacustres, basaltos y lutitas interestratificadas con areniscas. Figura 2.

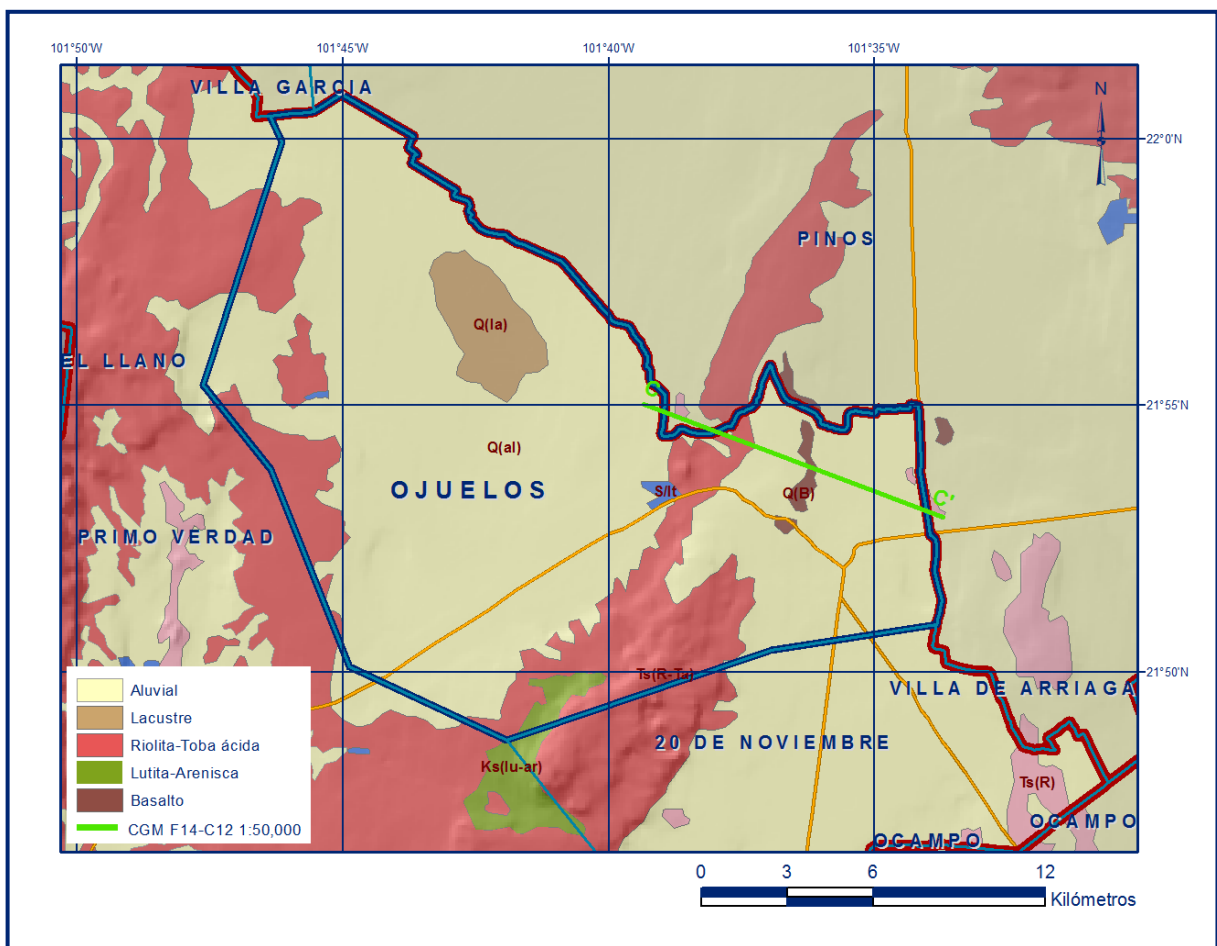


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1. Estratigrafía

Las unidades litoestratigráficas aflorantes varían en edad del Jurásico Superior-Cretácico Inferior, al Holoceno, las rocas más antiguas corresponden a una secuencia volcanosedimentaria (JsKi(?)Vs), muy deformada, con metamorfismo de bajo grado.

Sobreyaciendo a la unidad volcanosedimentaria, en aparente discordancia, se tiene una secuencia sedimentaria arrítmica de aspecto flyschoides, constituida por arenisca, limolita, lutita y esporádicos horizontes de caliza (KbeAr-Lm), con espesor aproximado de 90 m.

Intrusionando a las rocas antes mencionadas se observa un pórfido cuarzomonzonítico (TpaePqMz), mal preservado.

Durante el Oligoceno se desarrolla una intensa actividad volcánica, dando origen a los domos aglutinados de composición riolítica (ToR), con espesor máximo aflorante de 250 m, los derrames de composición riolítica, presentan textura porfírica y estructura fluidal.

Dentro de este mismo período se tuvieron depósitos constituidos principalmente por ignimbrita-toba riolítica (Tolg-TR), que hacia la base presenta una brecha volcánica de explosión y un flujo riolítico con estructura esferulítica, así mismo se tuvieron otros eventos dando origen a una toba riolítica con intercalaciones de ignimbrita, que exhiben diferentes grados de piroconsolidación y pseudoestratificación, hacia la cima se aprecia una estructura columnar debida probablemente a enfriamiento. Su espesor aproximado es de 400 m.

Del Oligoceno Tardío se tienen depósitos de ignimbritas-vitrófidos (Tolg-Vi), bien soldados, cuyo rasgo distintivo son las abundantes estructuras constituidas por fragmentos de pómez colapsados, en matriz fina y desvitrificada, comúnmente presenta estructura eutaxítica y vitrófido hacia la base; teniendo su mejor expresión en la sierra localizada al suroeste de Ojuelos.

El Mioceno está representado por lavas traquíticas (TmTq), de textura microcristalina, porfírica, en matriz vítrea con estructura fluidal, además se tiene la presencia de derrames basálticos (TmA-B), en afloramientos localizados al norte de Ojuelos y al noreste del poblado Laguna de Guadalupe.

La última actividad volcánica registrada la constituyen depósitos de toba riolítica de caída libre, de color gris claro a blanquecino, intercalados entre niveles de arenisca débilmente consolidados (TpIQptTR-Ar).

Posteriormente, derivado de la disgregación de las rocas preexistentes, se tiene desarrollo de depósitos de arena, limo y arcillas, así como suelos residuales (Qpthoar-lm), que cubren generalmente las partes topográficamente más bajas, que constituyen las planicies de Ojuelos y Villa de Arriaga; así mismo, se tienen conglomerados intercalados con niveles de arena (TplQhoCgp-ar), y finalmente depósitos de aluvión (Qhoal), en el lecho y márgenes de arroyos.

4.2. Geología Estructural

En la zona se presentan fallamientos hacia el suroeste, a la altura del Rancho Jaramillo de Arriba y al este del Rancho San Juan del Maguey. Esta falla se continúa al este de la Presa El Cuarenta, se trata de fallas normales con orientación NE-SW la primera y la segunda NW-SE, además existen fracturamientos en toda la región que afectan a todas las rocas existentes.

En la porción NW a la altura de los ranchos San Isidro, El Alto y El Muerto, se presentan fracturamientos intensos, la orientación del drenaje concuerda con la dirección e intensidad del fracturamiento. Estos fallamientos y fracturamientos fueron originados por la Orogenia Laramide en el periodo Paleógeno-Neógeno, posteriormente a la depositación de las rocas.

En la porción oeste afloran riolitas fracturadas, los frentes de lava presentan una dirección NW-SE. Estas rocas por su origen son de muy baja permeabilidad, por los fracturamientos que presentan tienen una permeabilidad secundaria pero muy baja, estas rocas en los extremos este y oeste del valle funcionan como barreras laterales al flujo subterráneo.

La estructura de la región presenta un sinclinal cuyo centro es a la altura del río Lagos y los extremos de las sierras, tanto en El Muerto como en Comanja de Corona, se presentan como dos flancos de anticlinales. Así pues, la explotación del acuífero del valle se presenta en la estructura de un sinclinal de edad Paleógeno-Neógeno, ya que las rocas y sedimentos que presentan características favorables para la extracción del agua, son del Paleógeno-Neógeno y Reciente.

4.3. Geología del Subsuelo

Con el fin de conocer la geometría del acuífero en el área, en el estudio de 2007 se efectuaron 15 sondeos de resistividad eléctrica con una profundidad teórica de 500 m, dispuestos en secciones. Algunos sondeos se localizan hacia el sur del acuífero Ojuelos,

dentro del acuífero 20 de Noviembre, donde el subsuelo parece tener un comportamiento similar. De acuerdo a las condiciones geológicas y geohidrológicas, se dividieron tres zonas:

Zona Santo Domingo

Se trata de horizontes de cobertura vegetal con tobas, evidenciando a profundidad la secuencia rítmica de tobas con base de tipo riolítico, y con posibilidades muy bajas de aporte de aguas subterráneas.

Zona de Vaquerías

A la profundidad de 65.20 m se detectó un horizonte potente con un rango resistivo de 730.0 ohms m correspondiendo a materiales tobáceos, alternando con riolitas con posibilidades de aporte de muy bajo a bajo.

También se encontraron valores del orden de los 18.30 ohms m, desde su superficie hasta la profundidad de los 4.20 m; como primer capa resistiva esto es debido a la existencia de manantiales en toda esta área de La Hacienda; a partir de esta profundidad hasta los 295.30 se inicia una secuencia de capas intercaladas de vasos resistivos alto lo cual es la capa impermeable de estos materiales.

Zona Guadalupe Victoria

Este sondeo dentro del área se ubica hacia el sur de Guadalupe Victoria, resultando con valores homogéneos a la profundidad de 106.90 m, a partir de esta profundidad se detectó un horizonte potente que corresponde a materiales del Paleógeno-Neógeno, con posibilidades de aporte de regular a bueno.

Sus características fueron las siguientes: profundidad de 450 m con un nivel estático de 70 m. Y nivel dinámico de 280 m para un gasto de 6.5 lps; de acuerdo al sondeo geofísico tenemos hasta 42.60 m. Valores de resistividad de 22.10 ohms m asociados a tobas; subyaciéndole una capa de tobas intercaladas con material brechoide hasta 290.10 m para posteriormente encontrar una capa resistiva de 62.20 ohms m hasta la profundidad sondeada; el cual es muy probable que los materiales del Paleógeno-Neógeno se encuentre espesores de arcilla, de ahí el gasto obtenido.

5. HIDROGEOLOGÍA

El drenaje es dendrítico, fluye de las partes altas hacia el centro del valle. La principal corriente es el río Lagos o Cuarenta, nace en las serranías de la Mesa del Potrero a 10

kilómetros al NE de la presa del Cuarenta; en esta serranía el parteaguas drena las aguas al norte y al sur.

El mencionado río se almacena en la presa del Cuarenta para continuar aguas abajo, drenando un valle de depósitos lacustres y aluviales con orientación NE-SW. De la presa también parte un canal para riego llamado Canal Cuarenta, el cual sigue una orientación paralela al río Lagos, que termina en Lagos de Moreno.

Existen varias represas, tanto grandes como pequeñas en la región, que son utilizadas para almacenar agua que se usa para riego y abrevadero. Las represas que existen en los flancos de las sierras, se ubican en la riolitas; funcionando como base del almacenamiento. La base de las represas que se encuentran en el valle, está constituida por una capa arcillosa impermeable que no permite la recarga al valle.

La salida del flujo subterráneo se presenta en la zona de manantiales, donde existe termalismo; el nivel piezométrico aflora en la superficie para continuar con dirección al sur del área.

5.1. Tipo de Acuífero

Desde el punto de vista geohidrológico, la secuencia predominante de tobas, ignimbritas y riolitas que dominan al área, comprenden de hecho un acuitardo, entendido este como una formación que prácticamente es incapaz de contener agua; esto, debido a que la secuencia de tobas comprenden la mayor parte del subsuelo del área, no cuentan con conductividades hidráulicas primarias importantes, dada su propia composición con matriz fina de limo y arcillas piroconsolidadas; además de presentar un grado muy bajo de fracturamiento, con la incapacidad de imprimirles una conductividad hidráulica de carácter secundario importante.

Sin embargo, en base a la gran extensión del área, y la gran afectación tectónica y estructural observada en la misma, se consideró que este medio rocoso en el subsuelo, pudiera, por lo menos contemplarse como un acuífero semiconfinado.

5.2. Parámetros hidráulicos

No existe información referente a los parámetros hidráulicos del acuífero.

5.3. Piezometría

No existe información histórica sobre la piezometría del acuífero, en los recorridos de campo realizados durante 2007, se obtuvieron los siguientes datos.

5.3.1. Niveles del agua subterránea

Existen pocos pozos perforados para agua potable y para riego variando este nivel piezométrico de 4 a 7 metros aproximadamente, el nivel dinámico de 8 a 11 metros; esto en los pozos positivos que son muy escasos ya que la mayoría han resultado negativos.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

En la tabla 2 se muestran algunos de los pozos censados, como parte de las actividades realizadas durante el estudio de 2007.

Tabla 2. Pozos censados

Localidad	Profundidad (m)	Nivel dinámico (m)	Nivel estático (m)	Aforo (lps)
Ojuelos	400	Nd	Nd	20
Ojuelos	300	219.50	214	20
Matancillas	280	208	207	15.6
Morenitos	250	143.10	90	26.50
Encinillas	300	163.5	144	26.60
La Granja, Vaquerías, La Escondida	330, 186 y 330 respectivamente	Nd	Nd	Nd
Guadalupe Victoria	450	280	70	6.50
La Paz	200	183	4	0.63
Amarillas, matanzas	426			Negativos

En el poblado de Ojuelos, existen 8 pozos y 4 norias. Estas norias tienen una profundidad variable, de entre 3 y 15 m, la superficie del agua se encuentra entre 1.5 y 15 m a nivel del suelo, dichas norias tienen brocales de cantera de una altura variable desde 10 hasta 70 cm, otros carecen completamente de brocal, teniendo únicamente una elevación de tierra a su alrededor.

En la mayoría de las norias dentro de la población, sobre todo las que se encuentran en lugares topográficamente más bajos, sus aguas están completamente contaminadas porque hacia las porciones altas de la población se construían fosas para descarga de sanitarios y baños; contaminando así la mayoría de las norias de la población cuya agua sirve únicamente para riego de árboles y otras plantas.

A partir de 1978 a la fecha, no se ha tenido problema con el abasto de agua para uso doméstico; primero por los filtros que se pusieron en la presa y manantiales del Mayal y posteriormente por la perforación de un pozo de cerca de 400 m de profundidad, que abastecen en forma alternada a la población de Ojuelos.

Tanto las aguas del Mayal como las del pozo son conducidas a un tanque elevado de gran capacidad a orillas de la población, en el lado Oeste, para suministro a la red de agua de la población, pasando antes dicha agua por un proceso de cloración que la purifica. Actualmente, existe otro pozo y el agua se encuentra más o menos a la misma profundidad. También hay agua potable en los siguientes poblados del municipio: La Paz, Chinampas, Los Campos, La Granja, Encinillas, El Novillo, Matancillas y otros que tienen algunos manantiales.

Según el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA 31 de diciembre de 2008), actualmente la extracción total es de **3.798041 hm³/año**, de los cuáles el 58.849 % se extrae para uso agrícola, el 41.151 % para uso público urbano, para uso pecuario y para uso doméstico no se tienen registros.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

7.1. Balance Hidrometeorológico

La recarga natural está integrada básicamente por infiltración del agua de lluvia, la cual según el balance hidrometeorológico que se expone a continuación es del orden de **8.9 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

Para realizar el balance hidrometeorológico se requiere conocer entre otros parámetros, los volúmenes de escurrimiento que se presentan por lluvia dentro del área del acuífero, es decir, es necesario determinar el volumen de agua que se genera por cuenca propia; sin embargo, no se disponen de aforos específicos que permitan cuantificar dicho volumen. En este sentido, a continuación, se menciona la forma en que se procedió para obtenerlo.

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, publicada en el Diario Oficial de la Federación, de fecha 17 de abril de 2002, la cual señala que en caso de que en la cuenca en estudio no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento.

El volumen anual medio de escurrimiento natural en términos genéricos es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento.

El coeficiente de escurrimiento (C_e) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo. Para la zona del acuífero se consideró un valor de $K = 0.27$, que corresponde a suelos medianamente permeables, uso de suelo tipo cultivos de granos pequeños, aplicando a su vez este valor de K en la ecuación:

$$C_e = K (P - 250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5$$

Dónde:

P = precipitación media anual en mm

Se obtiene un coeficiente de escurrimiento de $C_e = 0.1506$

El volumen de escurrimiento resultó de $33.8 \text{ hm}^3/\text{año}$ al multiplicar el coeficiente de escurrimiento por el volumen precipitado en el área del acuífero, el cual es de aproximadamente $224.6 \text{ hm}^3/\text{año}$, valor obtenido en un área de 290.55 km^2 , y una lámina de lluvia promedio de 772.9 mm/año .

Para conocer el orden de magnitud del volumen de infiltración por lluvia que se presenta en el sistema, se realizó el balance de agua superficial con apoyo en la fórmula de Coutagne para determinar la evapotranspiración y dejar como incógnita a la infiltración para lo cual se aplicó la siguiente expresión:

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

Para determinar la evapotranspiración real (ETR), se hizo uso de la fórmula de Coutagne, la cual indica que: $ETR = P - XP^2$

Dónde:

ETR = evapotranspiración real en metros/año

P = precipitación en m/año

$$X = 1 / 0.8 + 0.14t$$

t = Temperatura media anual en °C

La fórmula sólo es válida para valores de P (en metros/año) comprendidos entre $1/8X$ y $1/2X$.

Como se señaló anteriormente en el área donde se localiza el acuífero Ojuelos la precipitación promedio anual en toda el área, es del orden de 772.9 mm/año; esta lámina de lluvia proporciona un volumen total precipitado de 224.6 hm³/año. En cuanto a la temperatura promedio anual considerada ésta es del orden de 17.1° C, valores que sustituidos en la ecuación de Coutagne para calcular la evapotranspiración, arroja una lámina de 0.626 m/año, que multiplicado por el área total da un volumen evapotranspirado de 181.8 hm³/año.

Ahora bien, si se sustituyen los valores antes calculados, tanto de precipitación, evapotranspiración y escurrimiento en la ecuación que se planteó anteriormente para obtener el volumen infiltrado se tiene:

$$\text{Infiltración} = 224.6 - 181.8 - 33.8 = \mathbf{8.9 \text{ hm}^3/\text{año}}.$$

Al dividir este volumen anual promedio infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es del orden de 224.6 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración, el cual resulta del orden de 0.04.

Los resultados del balance hidrometeorológico se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Balance Hidrometeorológico

Volumen llovido	224.6
Volumen evapotranspirado	181.8
Escurrimiento superficial	33.8
Infiltración	8.9

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

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

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

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 del acuífero:

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

La ecuación de balance definida es la siguiente: $R_v + R_i - B = \Delta V(s)$

Donde:

R_v = Recarga vertical

R_i = Recarga inducida

B = Bombeo

$\Delta V(s)$ = Cambio de almacenamiento

7.2. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero Ojuelos, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el área del acuífero (R_v).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola, así como las fugas en el sistema de abastecimiento de agua potable, constituyen otra fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (R_i).

7.2.1. Recarga vertical

La recarga natural está integrada básicamente por infiltración de agua de lluvia, la cual según el balance hidrometeorológico que se expuso en el inciso anterior es del orden de **8.9 hm³/año**, que representa el volumen susceptible de infiltrarse en toda el área del acuífero.

7.2.2. Recarga inducida

De acuerdo con la información de REPDA, al 31 de diciembre de 2008, del acuífero Ojuelos se extrae un volumen de 3.798041 hm³/año de agua subterránea, principalmente para uso agrícola y público-urbano que originan recarga inducida al acuífero.

Considerando que el 15% regresa al acuífero, se tiene que por lo que respecta al uso agrícola (2.235108 hm³/año) las recargas inducidas serían de 0.3 hm³/año. Por otro lado, las pérdidas por fugas en los sistemas de abastecimiento de agua potable (1.562933 hm³/año) considerando el mismo valor de 15% llegarían a recargar al acuífero con un valor del orden de **0.3 hm³/año**, haciendo un total de recarga inducida de **0.5 hm³/año**.

7.3. Salidas

7.3.1. Bombeo

Según el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA 31 de diciembre de 2008), actualmente la extracción total es de 3.798041 hm³/año $\approx$ **3.8 hm³/año**.

7.4. Cambio de almacenamiento

El cambio de almacenamiento se calcula a partir de la configuración de evolución de nivel estático; dicho valor afectado por el coeficiente de almacenamiento, o del rendimiento específico (Sy) en acuíferos libres, permite conocer el valor de pérdida o ganancia de agua subterránea en el sistema. Debido a la falta de información piezométrica para diferentes años, no fue posible obtener una evolución de los niveles que permita evaluar el cambio de almacenamiento del acuífero.

Por lo que se calculó restándole a las entradas totales, el valor de las salidas del acuífero.

$$\Delta V(s) = 8.9 + 0.5 - 3.8 = \mathbf{5.6 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

Los resultados del balance de aguas subterráneas se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Balance de aguas subterráneas

	Volumen hm ³ /año
Recarga natural por lluvia	8.9
Recarga inducida	0.5
Recarga total	9.4
Extracción	3.8
Descarga total	3.8
$\Delta V(s)$	5.6

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{DISPONIBILIDAD MEDIA} & = & \text{RECARGA} & - & \text{DESCARGA} & - & \text{EXTRACCIÓN DE} \\ \text{ANUAL DE AGUA DEL} & & \text{TOTAL} & & \text{NATURAL} & & \text{AGUAS} \\ \text{SUBSUELO EN UN} & & \text{MEDIA} & & \text{COMPROMETIDA} & & \text{SUBTERRÁNEAS} \\ \text{ACUÍFERO} & & \text{ANUAL} & & & & \end{array}$$

Donde:

- DMA** = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero
R = Recarga total media anual
DNC = Descarga natural comprometida
VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1. Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual (R_t), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural (8.9 hm^3), más la recarga inducida (0.5 hm^3). Para este caso es de **$9.4 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

8.2. Descarga natural comprometida (DNC)

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 Ojuelos, no existen descargas naturales comprometidas. Por lo tanto, **DNC= 0.0**.

8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua

correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **8,609,235 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4. Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA)

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 extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 9.4 - 0.0 - 8.609235 \\ \text{DMA} &= 0.790765 \text{ hm}^3/\text{año}.\end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **790,765 m³ anuales**.