



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 0835 TABALAOPA ALDAMA, ESTADO DE
CHIHUAHUA***

México D.F. Diciembre 2008

Contenido

1. GENERALIDADES	2
1.1. Localización	2
1.2. Situación Administrativa del Acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1. Provincia fisiográfica	6
3.2. Clima.....	6
3.3. Hidrografía	7
3.4. Geomorfología	7
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1. Estratigrafía.....	9
4.2. Geología estructural	12
4.3. Geología del subsuelo.....	13
5. HIDROGEOLOGÍA	13
5.1. Tipo de acuífero	13
5.2. Parámetros hidráulicos.....	13
5.3. Piezometría	14
5.4. Comportamiento hidráulico.....	14
5.4.1. Profundidad al nivel estático	14
5.4.2. Elevación del nivel estático	15
5.4.3. Evolución del nivel estático	16
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	17
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	17
7.1. Entradas.....	18
7.1.1. Recarga vertical (Rv)	18
7.1.2. Retornos de riego (Rr)	18
7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	18
7.2. Salidas	19
7.2.1. Bombeo	20
7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	20
7.3. Cambio de almacenamiento	20
8. DISPONIBILIDAD	21
8.1. Recarga total media anual (Rt).....	21
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)	21
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)	21
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)	22
9. BIBLIOGRAFÍA.....	23

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 (REPGA).

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 Tabalaopa-Aldama, definido con la clave 0835 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción central del Estado de Chihuahua, entre los paralelos 28° 32'30" y 29° 0' 0" de latitud norte y los meridianos 106° 10' 0" y 105° 52' 0" de longitud oeste, cubre una superficie de 728 km² .

Colinda al norte con el acuífero Laguna El Diablo y Laguna de Hormigas, al oriente con Aldama-San Diego, al occidente con el Acuífero Chihuahua-Sacramento, mientras que al sur colinda con el Acuífero Villalba, todos en el estado de Chihuahua (Figura 1).

Geopolíticamente el acuífero abarca parcialmente los municipios Aldama, Aquiles Serdán y Chihuahua.

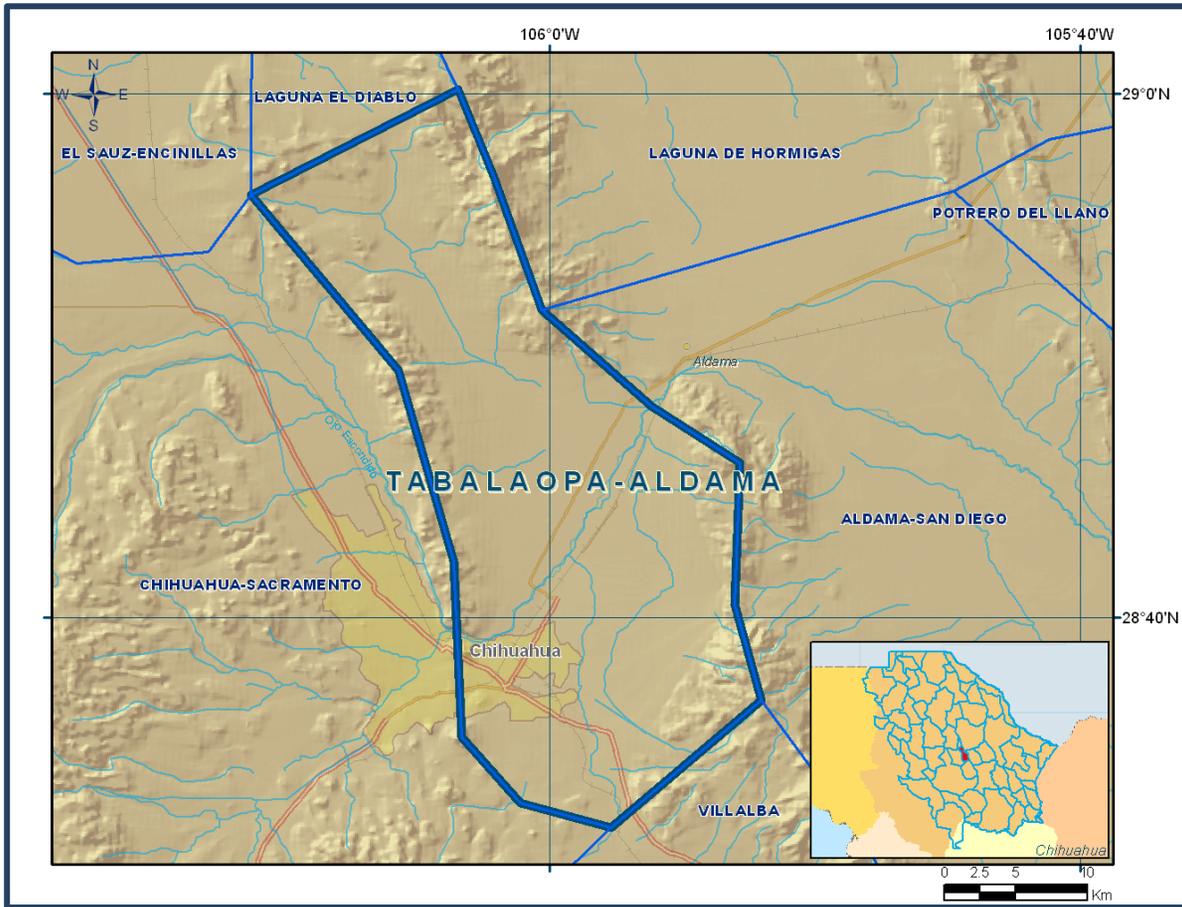


Figura 1. Localización del Acuífero

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 0835 TABALAOPA-ALDAMA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	105	56	10.6	28	48	2.4
2	105	52	50.6	28	45	55.1
3	105	53	3.3	28	40	30.8
4	105	52	3.0	28	36	50.8
5	105	57	41.8	28	31	59.1
6	106	1	7.4	28	32	56.1
7	106	3	19.7	28	35	27.0
8	106	3	39.3	28	42	9.7
9	106	5	44.0	28	49	26.4
10	106	11	17.5	28	56	7.4
11	106	3	29.6	29	0	9.3
12	106	2	7.6	28	56	50.5
13	106	0	19.5	28	51	45.2
1	105	56	10.6	28	48	2.4

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca Río Bravo y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Chihuahua. La porción central de su superficie del acuífero está sujeta a las disposiciones del “*Decreto que establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la región circunvecina de Villa Aldama, Chih.*”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de diciembre de 1953. Esta veda se clasifica como tipo III que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2008, los municipios Aldama y Aquiles Serdán se clasifican como zona de disponibilidad 3 y Chihuahua como zona 5.

El principal usuario es el público - urbano. En su territorio no existen Distritos de Riego y actualmente no se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero se han llevado a cabo algunos estudios geohidrológicos de evaluación, entre los más importantes se encuentran los siguientes:

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LOS ACUÍFEROS DE LA ZONA DE VEDA EN LA REGIÓN DE ALDAMA, CHIHUAHUA, laborado por Ariel Construcciones S.A. en 1972. Su objetivo principal fue determinar el potencial del acuífero, así como su funcionamiento dentro del marco geológico. Sus actividades incluyeron el censo de aprovechamientos, nivelación de brocales, hidrometría de las extracciones y aforo de las corrientes superficiales, levantamiento fotogeológico y geoquímica de aguas subterráneas. Concluye que el agua subterránea es de buena calidad para uso agrícola y para consumo humano. Recomienda la extracción de 15 hm³/año en la zona de Aldama, 10 hm³/año en Dolores y 20 hm³/año en la región de Tabalaopa.

ESTUDIO GEOFÍSICO REALIZADO EN LOS VALLES DE TABALAOPA Y ALDAMA CHIHUAHUA, elaborado por GEOFIMEX en 1972. La finalidad de este estudio fue la definición de la estructura de los terrenos permeables e impermeables que constituyen los Valles de Tabalaopa y Aldama, mediante prospección geofísica hasta los 1000 m de profundidad de investigación. Los resultados muestran la presencia de tres valles que contienen potentes espesores de materiales de relleno: Tabalaopa y Aldama, cuyo espesor de sedimentos supera los 1000 m y Las Ánimas que separa a ambos. En este último valle se presenta un mayor contenido de sedimentos arcillosos con respecto a los dos primeros. Se menciona que el Valle de Tabalaopa tiene poca relación geohidrológica con los valles de Aldama Las Ánimas, debido a que el paso labrado por el Río Chuviscar, entre las sierras de La Gloria y La Cruz, tiene poca profundidad. El valle de Aldama presenta posibilidades de contener agua en algunas estructuras profundas.

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA DE LOS VALLES DEL SAUZ Y TABALAOPA, CHIH., PARA PROPORCIONAR AGUA EN BLOQUE A LA CIUDAD DE CHIHUAHUA, CHIH. PROYESCO, S.A. en 1981. Este estudio se realizó con el propósito de apoyar el establecimiento de un programa de perforación para satisfacer los requerimientos de agua potable de la Ciudad de Chihuahua. Para su realización, se dividió la región en tres zonas: Chuviscar, Valle de Tabalaopa y Valle de Aldama. Se realizaron 33 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's), en la zona Chuviscar 12 puntos detectaron áreas hidrogeológicas favorables, con predominio de material volcánico, grado de consolidación variable y fracturamiento.

DETERMINACIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO TABALAOPA-ALDAMA, CHIHUAHUA. Tesis de Maestría, Ing. Jesús Manuel Pérez Arámbula. 1996. Describe la geometría del Acuífero Tabalaopa-Aldama mediante la ejecución de 76 SEV's y la información de 15 cortes litológicos. Se diferenciaron 9 unidades geoelectricas y se realizaron 18 perfiles para obtener la geometría del acuífero, representándola en varios esquemas que permiten apreciar la profundidad del basamento, el cual se localiza de 46 a 800 m de profundidad. De acuerdo a la geometría obtenida, con base en las curvas de nivel que se describen, se aprecia que la curva de elevación de 1 300 m abre hacia el noreste, en la Boquilla de Aldama, lugar donde se tiene una de las principales descargas del acuífero. Se determinó que el acuífero se aloja en un medio granular sedimentario de origen aluvial

ACTUALIZACIÓN DE MEDICIONES PIEZOMÉTRICAS DEL ACUÍFERO DE TABALAOPA, CHIHUAHUA, elaborado por Moro Ingeniería S.A. en 2004. El principal objetivo fue la actualización de la piezometría para elaborar las configuraciones del nivel estático correspondientes. Después de realizar las configuraciones con datos previos, se verificaron en campo los pozos piloto y se modificó la red de monitoreo, quedando integrada por 30 pozos piloto. Una vez definida la red, se midieron los niveles para el 2004 que se utilizaron para realizar la interpretación de la información y elaborar planos de configuraciones e hidrógrafos de pozos. La configuración del nivel estático evidenciaba que los valores mayores de profundidad al nivel estático se presentan en la parte sur y noroeste y las más someras en la porción centro y noroeste del valle.

La evolución de 1999 al 2004 fluctuó entre -10 y +2.7 m, lo cual representa una variación anual entre -2 y + 0.5 m. Los mayores abatimientos se presentan al sur y noroeste del valle, en donde se tienen descensos de 10 y 8 m respectivamente. A lo largo del Río Chuviscar no se registran abatimientos una lo cual confirma que en esa zona ha disminuido la extracción de agua o que existe una mayor recarga; esta última posibilidad es posible debido a la alta permeabilidad de los materiales que conforman el lecho del río, lo que favorece una mayor infiltración.

ACTIVIDADES GEOHIDROLÓGICAS EN LOS ACUÍFEROS: SANTA CLARA, ALDAMA SAN DIEGO, VILLALBA, CONEJOS MÉDANOS, TABALAOPA ALDAMA Y ALTO RÍO SAN PEDRO, EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA, elaborado por el Servicio Geológico Mexicano (SGM), en 2007, el objetivo principal fue plantear el balance de aguas subterráneas y establecer la disponibilidad media anual de aguas subterráneas en los acuíferos Villalba, Alto Río San Pedro, Tabalaopa Aldama y

Aldama San Diego, además de diseñar redes de monitoreo piezométrico en los acuíferos Santa Clara y Conejos Médanos.

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

De acuerdo con la clasificación de Provincias Fisiográficas propuesta por E. Raisz (1964), el área que comprende el Acuífero Tabalaopa-Aldama se ubica entre las provincias Sierras Marginales y Cuencas y Sierras.

E. Raisz (1964) describe a la provincia Sierras Marginales cuya principal característica es el amplio desarrollo de sucesiones de llanuras intermontanas, amplias y alargadas, separadas por serranías de rocas volcánicas, basculadas hacia el noreste y dispuestas en un típico patrón de bloques de fallas escalonadas. Esta característica la presentan las fallas normales que conforman los pilares tectónicos de las sierras Nombre de Dios y El Cuervo.

El espesor de relleno de las cuencas tiene un espesor promedio de 1200 m y las sierras son usualmente elongadas hacia el noroeste. Las sierras de la porción oeste están generalmente constituidas por rocas ígneas (Sierra Nombre de Dios), mientras que hacia la porción este y sur son rocas cretácicas plegadas (sierras El Cuervo y Santo Domingo).

3.2. Clima

De acuerdo a la clasificación de INEGI (2003), en el Acuífero Tabalaopa-Aldama se pueden diferenciar dos tipos de climas: BS_0hw (w), (seco semicálido con lluvias en verano), este tipo de clima presenta una temperatura media anual mayor a $18^{\circ} C$, con inviernos frescos. BS_0kw (w), (seco templado con lluvias en verano), presenta una temperatura que varía de los 12 a los $18^{\circ} C$.

Se analizó la información de ocho estaciones climatológicas con influencia en el área del acuífero, cabe mencionar que sólo dos de ellas se ubican dentro de los límites del acuífero (La Mesa y Los Pozos de Aldama); las seis estaciones restantes: Chihuahua, Palacio de Gobierno, Posta Zootecnia, Universidad, Villa de Aldama y Escuela Superior de Zootecnia, se localizan próximas a los límites del mismo.

La temperatura máxima media anuales se registró en la estación Escuela Superior de Zootecnia con $24.8^{\circ} C$, mientras que la temperatura media mínima se registra en la estación La Mesa con un valor de $14.8^{\circ} C$. La temperatura media anual en la zona es de $18.6^{\circ} C$.

La precipitación media anual es de 381.2 mm/año. La precipitación media anual mayor la registra la estación Chihuahua Palacio de Gobierno con valor de 476.7 mm/año, mientras que la mínima se registró en la estación La Mesa con 283.4 mm/año. El ciclo de lluvias empieza en el mes de julio y termina a finales del mes de septiembre.

La evaporación potencial media anual registrada para las estaciones climatológicas varía de 1 893 a 2 494 mm, con un valor promedio de 2 125 mm/año.

3.3. Hidrografía

El acuífero Tabalaopa-Aldama se encuentra dentro de la Región Hidrológica 24, Bravo-Conchos, localizada en la Mesa del Norte que se localiza en los estados de Chihuahua, Durango y Coahuila. Se considera la región hidrológica de mayor relevancia ya que incluye al Río Conchos como la corriente más importante del estado.

La zona del acuífero se localiza dentro de la Cuenca Río Conchos-Presa El Granero, dentro de la Subcuenca Río Chuvíscar (INEGI, 2003). Las corrientes superficiales que se presentan la zona del acuífero son efímeras y estacionales, en periodos de estiaje no existe flujo en los arroyos, mientras que en el Río Chuvíscar existe un escurrimiento prácticamente continuo debido a la descarga de aguas tratadas que son arrojadas por plantas de tratamiento. Los principales arroyos afluentes del Río Chuvíscar son El Mimbres, ubicado al norte, Los Nogales al sur y Santa Eulalia en la porción sureste.

Como consecuencia del asentamiento urbano, la región cuenta con importantes obras de infraestructura hidráulica, como la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Sur, y otra de menor escala propiedad del fraccionamiento Camino Real, la red de agua potable y alcantarillado que cubre la mayor parte de la zona urbana, así como la red de agua tratada existente en una parte de la zona sur de la Ciudad de Chihuahua. Existen también la batería de pozos de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento así como el sistema de bombeo y los aprovechamientos automatizados. Dentro de las obras en construcción se encuentran un colector de aguas negras en la capital, así como una fuente alterna de suministro para agua potable en la población de Aquiles Serdán.

3.4. Geomorfología

Geomorfológicamente la zona se encuentra en una etapa de madurez con un avanzado grado de denudación de las estructuras y drenaje bien integrado.

El drenaje dendrítico-paralelo es el más abundante, mientras que el tipo radial se presenta en menor proporción. El primer caso predomina en la porción centro-norte de acuífero, las rocas que afecta este tipo de drenaje generalmente son de composición volcánica; mientras que en la Sierra El Cuervo

también afecta a rocas sedimentarias. El drenaje radial en esta zona únicamente se observa en los cerros El Coronel y Cerro Grande.

En la porción sureste del acuífero el drenaje es dendrítico rectangular y poco desarrollado, afecta a rocas sedimentarias y se encuentra drenando de sureste a noroeste sobre el Arroyo Santa Eulalia. El sistema estructural para esta zona al igual que en la zona de la sierra de Nombre de Dios es de vital importancia debido a que presenta un rumbo preferencial noroeste y otro de rumbo noreste que lo corta y comunica hidráulicamente debido a que la mayor parte del fracturamiento se encuentra abierto. Una evidencia son los grandes caudales que se extraen en la mina San Antonio y las minas antiguas de Santo Domingo, donde existen fallas con aporte de considerables caudales.

En las zonas bajas o piemonte sobre todo en la Sierra Santo Domingo, se forman abanicos aluviales considerados como zonas potenciales de recarga debido a su granulometría gruesa sin cementar. Sus pendientes son suaves, forman drenaje subdendrítico a subparalelo afectando a depósitos clásticos producto del intemperismo de la Sierra de Santo Domingo. Las zonas bajas del acuífero se consideran zonas de recarga difusa debido a que generalmente los materiales de relleno están constituidos de arenas de grano fino intercaladas con abundantes arcillas y limos. Los principales arroyos son Santa Eulalia, Mina Vieja y El Tubo.

De igual manera la Sierra Nombre de Dios presenta algunas estructuras pequeñas de abanicos aluviales sobre los arroyos Los Muertos, El Romerillo y Las Palmitas; finalmente la Sierra El Cuervo presenta las mismas características sobre los arroyos El Mezquite, La Herradura, La Violeta y El Mimbres.

4. GEOLOGÍA

La secuencia estratigráfica contiene unidades desde el Precámbrico hasta el Reciente. El basamento sobre el que descansa la secuencia paleozoica y mesozoica está constituido por rocas gnéicas, anfibolíticas, graníticas y metamórficas del Precámbrico. Las rocas del basamento han sido sometidas a fases compresivas y distensivas que conforman grandes bloques emergidos y/o hundidos que en ocasiones denotan movimientos horizontales de transcurrancia o cabalgamiento, controlando la sedimentación y sus posteriores deformaciones.

Las unidades recientes están compuestas por depósitos conglomeráticos y aluviales, al noreste del acuífero se reporta una serie de pliegues anticlinales y sinclinales en rocas cretácicas ocasionadas por el evento compresivo de la Orogenia Laramide. Estructuralmente el área presenta abundantes fallas normales de orientación noroeste–sureste, las cuales afectan a toda la secuencia estratigráfica, este fallamiento es producto del evento distensivo de Cuencas y Sierras. La distribución de unidades litológicas se observa en la figura 2.

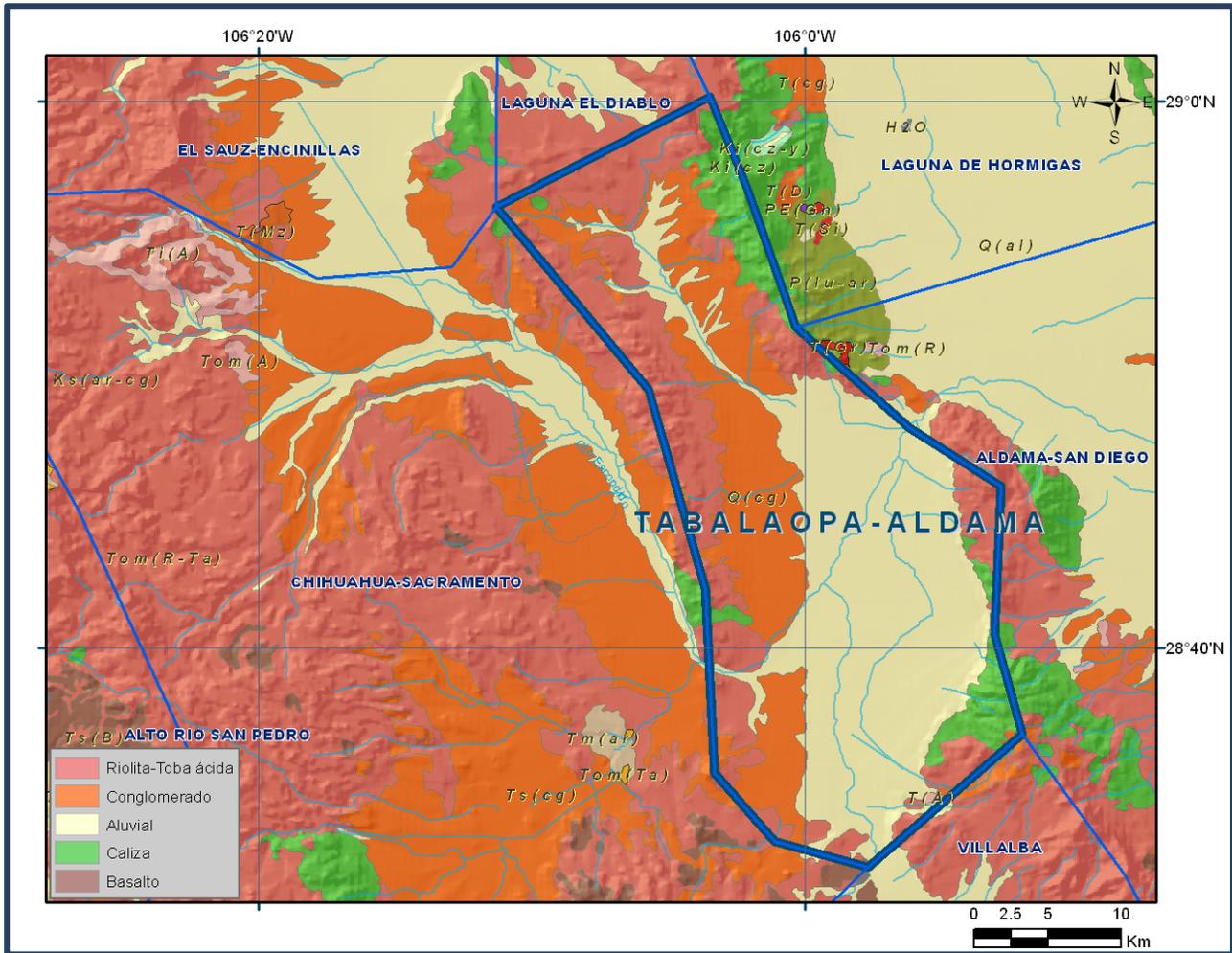


Figura 2. Geología superficial del acuífero

4.1. Estratigrafía

A continuación se hace una breve descripción de las unidades que afloran en la zona, mismas que están representadas en la columna estratigráfica del área.

Formación Rara (Ppi MLu-MAr Metalutita-Metarenisca)

Secuencia de metalutitas y metareniscas de color gris, laminadas, con una edad tentativa del Triásico. Afloran al sur del Cerro La Chorreadota, dentro de la sierra El Cuervo. Se extiende en dirección Este hasta el Rancho Los Filtros. Presenta abundante plegamiento y fallamiento inverso. Es notable la presencia de fracturas de tensión rellenas de cuarzo lechoso, principalmente en los estratos de metarenisca, también rellenan planos de fallamiento inverso. Generalmente forma una serie de lomeríos de pendientes suaves. Su espesor no es mayor a los 1200 m.

Desde el punto de vista geohidrológico, esta unidad presenta escaso potencial hidrológico debido a su génesis sedimentaria (lutita y arenisca cementada); sin embargo la deformación siempre está acompañada de fracturamiento secundario, lo cual puede ocasionar una permeabilidad media a baja.

Grupo Cuchillo (Ki Cz-Lu). Formaciones Virgen y La Peña

Debido al espesor de las unidades y a la escala del acuífero, se determinó agrupar las formaciones Virgen y La Peña en el Grupo Cuchillo. A continuación se hace una breve descripción.

Formación Virgen

Secuencia de yesos, anhidritas y calizas del Cretácico Inferior que se distribuye en el sector noreste, norte y sur del Rancho La Nopalera. Las calizas presentan color gris claro con tonos amarillentos y gris oscuro a negro en superficies frescas, dispuestas en estratos de 20 a 50 cm de espesor. Algunos estratos de caliza contienen abundantes fósiles de bivalvos los cuales no sobrepasan 1 cm de longitud. El espesor de esta formación es variable, en el Estado de Chihuahua se le estima un espesor de 60 m. Dentro del Acuífero esta unidad es drenada por los arroyos El Mezquite, La Herradura y San Juan. El fracturamiento es incipiente y local, sobre todo en los respaldos de las falla; en general se considera de permeabilidad baja.

Formación La Peña

Secuencia de calizas arcillosas que se encuentran entre las formaciones Parritas y Aurora. Se distribuye en los alrededores del Rancho La Nopalera, en las partes medias de los cerros La Chorreadora, Rincón del Tiro y Caloso. El SGM, (2005) reporta un espesor aproximado de 10 a 50 m, el cual se adelgaza en dirección noroeste. En el área del acuífero su contacto superior es concordante y bien marcado con la Formación Finlay (Grupo Aurora), mientras que su contacto inferior es similar con la Formación La Virgen. Desde el punto de vista geohidrológico se considera esta unidad impermeable debido a gran contenido de material fino (lutitas).

Grupo Aurora (Ki Cz). Formación Finlay

Se distribuye principalmente en el sector noreste, formando parte de los cerros La Chorreadora, así como al noreste y noroeste del Rancho La Nopalera. Otros afloramientos se localizan al noroeste y en parte baja de la Sierra de Santo Domingo. Se trata de calizas color crema a gris en muestra fresca mientras que a la intemperie presenta colores amarillentos; intercaladas con estratos de dolomía de textura sacaroide, presenta estratificación gruesa con abundantes nódulos de pedernal blanco a gris claro. La caliza está regularmente fracturada, con abundantes estilolitas estratigráficas. Los fósiles bivalvos que se observan son difusos y en ocasiones forman parches arrecifales con una incipiente recristalización.

Debido a los antecedentes de inundaciones de algunas obras mineras en Santa Eulalia y a los caudales que extraen actualmente en la mina San Antonio, se debe considerar esta formación, como una roca de permeabilidad secundaria alta producto de fallamiento y fracturamiento.

Riolita (Tpa PR)

Sus principales afloramientos se encuentran al oeste y sureste de los cerros Chino y El Venado, además de las partes bajas de la Sierra Nombre de Dios. Se trata de una brecha riolítica alterada, los

clastos tienen abundantes pliegues de flujo, textura afanítica y presenta regularmente fracturamiento con alteración epitermal.

Posiblemente se correlacione con las rocas que afloran en el Cerro La Gloria, en el Distrito Minero Terrazas. Estratigráficamente se encuentra cubriendo de manera discordante al Conglomerado Sacramento, mientras que es cubierta, de la misma forma, por rocas andesíticas con textura porfídica (Tpa A).

Andesita (Tpa A)

Derrames fisurales de composición andesítica del Paleoceno cuyos principales afloramientos se encuentran al este de la Sierra Calosa, al norte de Rancho Nuevo y sureste del Cerro El Divisadero. Al norte del Cerro El Venado aflora una andesita de color gris claro en superficies frescas y café claro en superficie intemperizada, de textura porfídica. Los fenocristales que presenta son de feldespato, hornblenda y cuarzo, así como biotita, de forma subeuhedral a euhedral y de 1 a 0.5 cm. Presenta planos de flujo y se encuentra fracturada regularmente. Generalmente todos sus afloramientos se encuentran en la base de las serranías.

Toba Riolítica (Te TR)

Forma la parte central y sur de la sierra Nombre de Dios, así como de la sierra El Mogote y del cerro Jesús María. Se trata de riolitas de color café con tonos oscuros y amarillentos al intemperizar y gris claro en superficies frescas.

Estratigráficamente se encuentra cubriendo, de manera concordante, a la unidad volcánica formada por andesita (Tpa A), mientras que está cubierta por rocas de composición riolítica (To TR-Ig) y hacia las partes bajas es cubierta discordantemente por depósitos del Holoceno.

Toba Riolítica (To TR)

Bajo esta nomenclatura se agrupan varias unidades litológicas, tales como: tobas de caída libre, flujos piroclásticos, tobas cristalovítreas, tobas líticas e ignimbritas; se trata de una intercalación de tobas y dominantes sedimentos volcanoclásticos de edad Paleógeno, separados hacia la cima por una discordancia angular formada por tobas de ceniza y basalto.

Sus afloramientos se distribuyen en las porciones oriente y poniente de las sierras San Ignacio, y Santo Domingo, así como en la porción centro y norte de la Sierra Nombre de Dios. Litológicamente se encuentra constituida por una alternancia de horizontes vulcanoclásticos, conglomerado polimíctico, toba riolítica, limolita, arenisca y caliza, excepto en la Sierra Nombre de Dios.

Conglomerado Polimíctico (Qho Cgp)

Alternancia de gravas y arenas poco consolidadas. Se encuentra ampliamente distribuido en ambos flancos de la Sierra Santo Domingo, partes bajas de la Mesa La Gloria, flanco oriente de la Sierra San Ignacio, así como el flanco oeste de la Sierra El Cuervo y flanco este de la Sierra Nombre de Dios.

Constituido por fragmentos líticos de caliza principalmente y en menor proporción de rocas volcánicas en las partes bajas de la sierras Santo Domingo y El Cuervo; mientras que el dominio de clastos volcánicos es mayor en las sierras Nombre de Dios y Mesa La Gloria, presenta diferentes grados de redondez de subangulosos a subredondeados, con tamaños de 1 a 50 cm; la matriz es arenosa con escaso cementante calcáreo; su espesor varía de 1 a 20 m. Sobreyace de manera discordante a la Formación Finlay y a las unidades volcánicas Eocénicas; infrayace de forma concordante a limo y arena (Qho Im-ar). Por su posición estratigráfica se le asigna una edad del Holoceno.

Desde el punto de vista geohidrológico es la unidad granular más importante debido a que llega a formar estructuras de abanicos aluviales donde desembocan los arroyos y puede ocurrir la recarga en temporada de lluvias, debido a la granulometría gruesa en las partes proximales, en tanto que hacia las regiones distales los sedimentos son más finos.

Limo-arena (Qho Im-ar)

Depósitos derivados de la erosión de las rocas preexistentes, transportados por corrientes fluviales para ser acumulados hacia las zonas de planicies y valles; se encuentran ampliamente distribuidos hacia las partes centrales de la cuenca. Presentan estratificación, con un espesor que varía de 1 a 2 m, semicompactos y formados por horizontes de limo, arena y en menor proporción gravas.

En la arena se observan granos de cuarzo, vidrio volcánico, escaso feldespató, hematita y abundantes líticos de riolita y andesita principalmente, la grava se encuentra constituida por fragmentos de roca volcánica de forma subredondeada con escasos fragmentos de caliza.

Cubre de manera concordante a la unidad Conglomerado Polimíctico. Por su origen, composición litológica y relaciones estratigráficas se le asigna una edad del Holoceno. Esta unidad es característica de un depósito de facies continentales.

4.2. Geología estructural

El control estructural en esta zona se encuentra bien definido. El fracturamiento abierto está presente en las rocas volcánicas, producto del evento distensivo de Cuencas y Sierras que afectó a las rocas preexistentes, originando un fracturamiento paralelo al esfuerzo. Por otra parte, las rocas sedimentarias, además del fracturamiento producto de los eventos tectónicos, presentan zonas de disolución.

Dentro del acuífero Tabalaopa-Aldama se localizan obras mineras realizadas en las minas Santo Domingo y San Antonio, donde se presenta un sistema de fallas de rumbo noreste 20° y describen dos estructuras principales; la falla Oriente y Poniente, las cuales son fallas normales que representan conductos por los que el agua se infiltra al interior de la mina. Asociadas a estas estructuras existen fallas de rumbo noroeste 30° que aportan caudales a la fallas con orientación noreste 20°.

La deformación dúctil-frágil está representada por pliegues formados por el evento compresivo Laramide, con una orientación general noroeste sureste. Entre los de mayor importancia se encuentran los anticlinales La Nopalera (fuera del área) y Santo Domingo y el sinclinal La Chorreadera. La deformación frágil está representada por grandes fallas normales y laterales que afectan principalmente a rocas volcánicas del Paleógeno-Neógeno y del Cretácico. Esta deformación es la que se encuentra mejor representada en el área, con tres sistemas de fallamiento principales, el primero es de orientación noroeste 30-55°, que generalmente desplaza al sistema noreste – suroeste, y el sistema noreste 12°-80° suroeste.

4.3. Geología del subsuelo

Con base en la información geológica, pruebas de bombeo y cortes litológicos de pozos ubicados en el área del acuífero y reportados en trabajos previos, es posible identificar la presencia de un acuífero que se encuentra alojado en un sistema granular no consolidado de origen aluvial, constituido por depósitos de arenas intercaladas con limos y arcillas, cuyos espesores varían entre 50 y 800 m. Debajo de este paquete aluvial, existe una secuencia volcanoclástica (riolitas, tobas, piroclastos), cuyas permeabilidades varían de baja a media, lo cual genera la posibilidad que el acuífero esté conformado por dos medios, granular y fracturado.

El basamento y fronteras al flujo subterráneo están constituidos por las mismas rocas vulcanoclásticas, cuando no presentan permeabilidad secundaria, y por la secuencia metasedimentaria de la Formación Rara, cuyos afloramientos se presentan en la base de la Sierra El Cuervo, ubicada al noroeste de Ciudad Aldama.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

El Acuífero Tabalaopa-Aldama es de **tipo libre**, presenta una permeabilidad que varía de media a baja y se aloja en sedimentos aluviales depositados en el centro del valle, constituidos por arenas intercaladas con arcillas y limos estratificados, cuyo espesor puede alcanzar los 800 m. La fuente principal de recarga es el agua de lluvia que se infiltra en las zonas topográficamente altas, una menor fuente de recarga está representada por infiltración vertical del agua de lluvia que se precipita en el valle y por los retornos de riego agrícola.

5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades de campo que contempló el estudio realizado en el 2007, se ejecutaron 8 pruebas de bombeo de larga duración, tanto en su etapa de abatimiento como recuperación.

De acuerdo con los resultados de la interpretación, los valores de transmisividad obtenidos varían de 4.3 hasta más de 4 800 m²/día; en tanto que para la conductividad hidráulica se reportan valores que oscilan entre 0.0085 y 9.7632 m/día. Los valores más altos de estos parámetros hidráulicos se registran en los aprovechamientos ubicados en las inmediaciones del Río Chuvíscar. Descartando valores mínimos y máximos, se obtuvo una transmisividad media de **2.44 x10⁻⁶ m²/s** y una conductividad hidráulica del orden de **4.34 x10⁻⁸ m/s**.

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea se consideró la información disponible para 2007.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático refleja variaciones considerables: presencia de niveles profundos y cono de abatimiento al noroeste de la comunidad La Mesa, generado por la batería de pozos de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JMAS); profundidades someras influenciadas por el Río Chuvíscar, hasta profundidades mayores a 100 m que se registran al sureste del aeropuerto de la Ciudad de Chihuahua.

La profundidad máxima al nivel estático registrada fue de 141 m, se trata de un pozo nuevo de uso público-urbano propiedad del ayuntamiento del municipio Aquiles Serdán, localizado al sureste del acuífero, mientras que la profundidad mínima es de 2.4 m en un pozo inactivo del Rancho La Morita, en el Bosque de Aldama, que refleja la influencia del Río Chuvíscar.

Los valores de profundidad al nivel del agua subterránea se incrementan de la zona aledaña al cauce del Río Chuvíscar hacia las partes topográficamente más altas. Al suroeste del acuífero se presentan profundidades de 90 m, al oriente fluctúan entre 80 y 90 m, al noroeste alrededor de los 100 m, mientras que al sureste se registran valores de hasta 140 m, (figura 3).

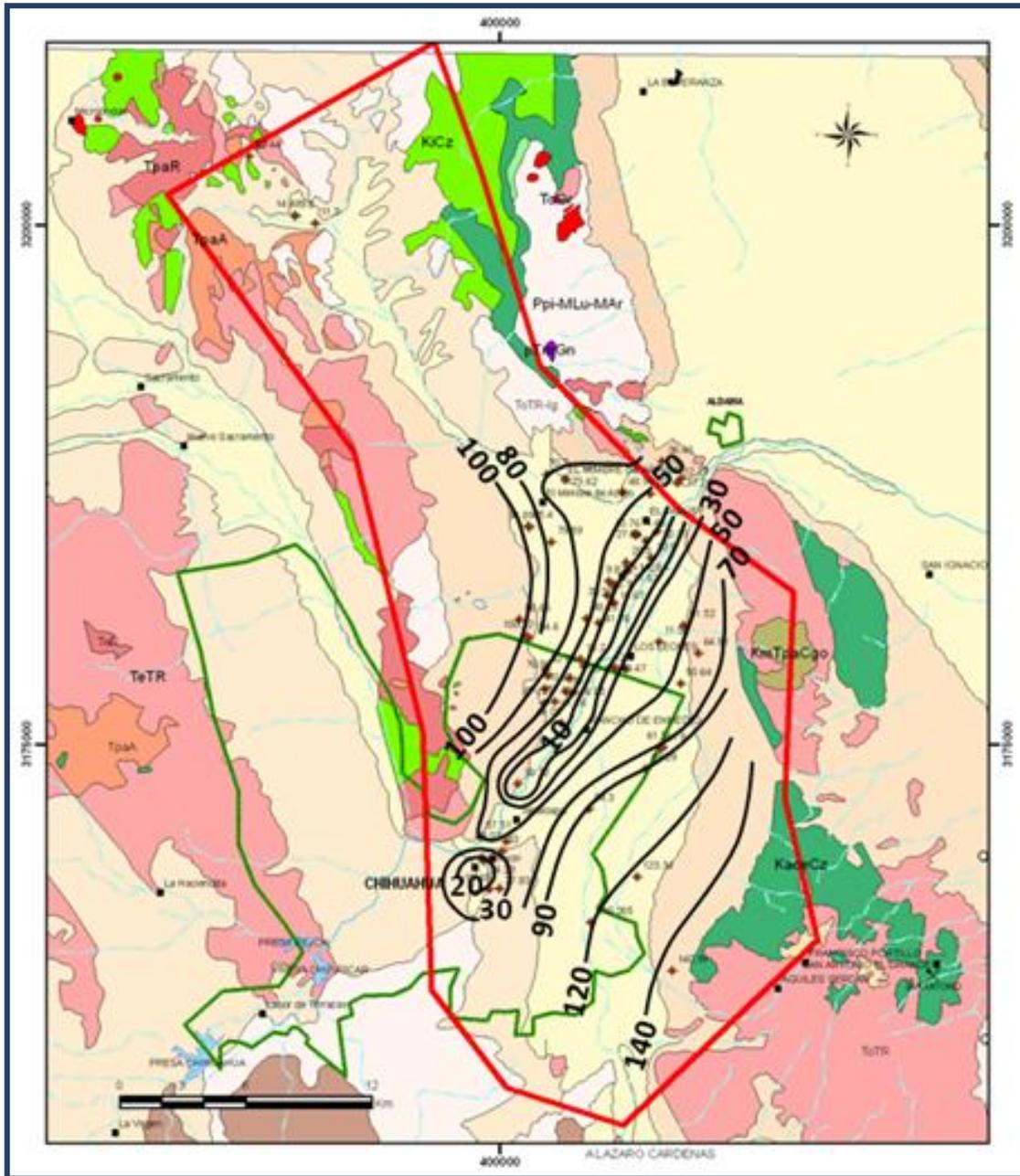


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2007)

5.4.2. Elevación del nivel estático

La configuración de curvas de igual elevación del nivel estático para 2007 (figura 4) presenta elevaciones que varían de 1250 hasta 1390 msnm en el centro y sur del acuífero. Elevaciones de 1250 a 1320 msnm se presentan en la zona donde se observa un amplio cono de abatimiento formado por la batería de pozos de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento. Hacia la porción oriental la elevación del nivel estático disminuye a 1290 msnm, mientras que la configuración de curvas al oeste varía de 1390 msnm, dentro de la mancha urbana, disminuyendo hasta los 1280 msnm hacia la parte sur. La dirección del flujo subterráneo muestra una trayectoria preferencial SW-NE,

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

Del censo de aprovechamientos de 2007, se tienen un total de 344 captaciones del agua subterránea, de las cuales 210 corresponden a pozos y 134 a norias. Del total de aprovechamientos, 122 (35.4 %) se destinan al uso agrícola, 84 (24.5 %) al uso público - urbano, 61 más (17.7 %) para uso doméstico, 44 (12.9 %) para usos múltiples, 19 (5.4 %) para uso pecuario y los 14 restantes (4.1 %) para uso Industrial

El volumen de extracción conjunto se estimó en **75.1 hm³ anuales**, de los cuales 34.4 hm³ (45.8%) se destinan al uso público - urbano, 31.3 hm³ (41.7%) para uso agrícola, 8.1 hm³ (10.8%) para usos múltiples y el resto para uso doméstico e industrial.

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 2007. El balance de aguas subterráneas se definió en una superficie de **600 km²**, que corresponde a la zona donde se localizan gran parte de los aprovechamientos de agua subterránea. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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:

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

Para este caso particular, dadas las pocas variaciones en niveles estáticos con respecto al tiempo, fue considerado un cambio de almacenamiento nulo, por lo cual se optó por calcular la recarga vertical considerándola como incógnita de la ecuación de balance. De esta manera la ecuación de balance propuesta es la siguiente:

$$R_v + E_h + R_r - B - S_h - ETR = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

R_v: Recarga vertical;

E_h: Entradas por flujo subterráneo horizontal;

R_r: Retornos de riego;

B: Bombeo;

S_h: Salidas por flujo subterráneo horizontal;

ETR: Evapotranspiración;

ΔV(S): Cambio de almacenamiento;

7.1. Entradas

La recarga total que recibe un acuífero está constituida por la recarga vertical y la recarga incidental o inducida que se origina por la infiltración del agua que se destina a las actividades agrícolas, principalmente, ya que es esta región no existen centros de población importantes, que estén ocasionando fugas en las redes de abastecimiento de agua potable o del drenaje.

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga vertical (Rv) que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en 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 constituye otra fuente de recarga al acuífero. Este volumen se integra en la componente de recarga inducida (Ri) como recarga por retornos de riego (Rr).

7.1.1. Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento (ΔV), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance (1).

De esta manera, despejando la recarga vertical (Rv) se obtiene lo siguiente:

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

7.1.2. Retornos de riego (Rr)

La recarga por retornos de riego se determinó en función del volumen que se extrae del acuífero para uso agrícola, de manera general un 20% de este volumen retorna al sistema acuífero. En el acuífero se utilizan 31.3 hm³/año para uso agrícola, por lo cual se consideró **6.3 hm³/año** como un volumen representativo de recarga por retornos de riego.

7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tienen su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

El cálculo de entradas por flujo subterráneo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2006 (figura 4), mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

Donde:

Q = Gasto [m^3/s];

T = Transmisividad [m^2 /s];

B = Longitud de la celda [m];

i = Gradiente hidráulico;

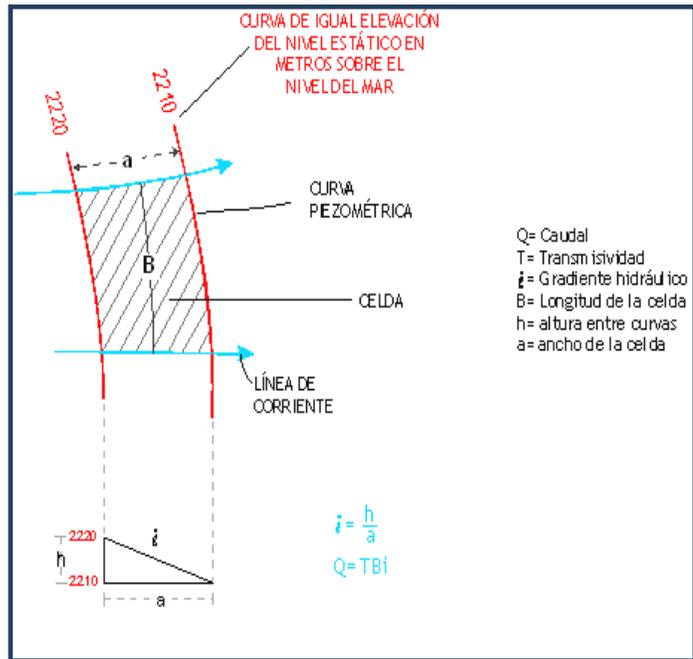


Tabla 2. Cálculo de entradas horizontales

CELDA	Ancho (a) (m)	Largo (B) (m)	Gradiente hidráulico $i = \Delta h / l$	Espesor m	Trasmisividad m^2/s	Caudal $Q = Tai$ m^3/s	Volumen entradas $hm^3/año$
E1	1,430	5,100	0.0210	30	0.0012	0.1285	4.1
E2	1,150	3,400	0.0174	20	0.0017	0.1006	3.2
E3	1,150	3,150	0.0174	20	0.0017	0.0932	2.9
E4	1,280	3,700	0.0156	20	0.0017	0.0981	3.1
E5	1,100	3,400	0.0273	30	0.0017	0.1578	5.0
E6	1,100	2,000	0.0091	10	0.0012	0.0218	0.7
E7	1,140	2,570	0.0081	10	0.0012	0.0250	0.8
E8	1,100	3,400	0.0091	10	0.0017	0.0526	1.7
E9	1,000	2,850	0.0100	10	0.0017	0.0485	1.5
E10	600	2,570	0.0167	10	0.0017	0.0730	2.3
E11	1,450	3,400	0.0138	20	0.0012	0.0563	1.8
							27.0

Se utilizaron valores promedio de transmisividad de 1.2 y $1.7 \times 10^{-3} m^2/s$ (105 a $150 m^2/día$). El valor estimado de las entradas por flujo subterráneo es de **27.0 $hm^3/año$** .

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por el bombeo (B) y salidas horizontales (Sh). Debido las zonas donde la profundidad al nivel estático es menor a los 10 m se restringen a pequeñas áreas puntuales localizadas a lo largo del cauce del río Chuvíscar, el valor de la evapotranspiración se considera nulo, para fines del balance de aguas subterráneas. Por lo que **ETR = 0**.

7.2.1. Bombeo

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría, el volumen de extracción calculado es de **75.1 hm³/año**.

7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

El volumen de las salidas subterráneas se calculó de la misma manera que las entradas subterráneas, tomando en cuenta la elevación del nivel estático (figura 4).

Tabla 3. Estimación de salidas horizontales

CELDA	Largo (B) (m)	Ancho (a) (m)	Gradiente hidráulico $i=Dif/l$	Espesor m	Trasmisividad m^2/s	Caudal $Q=Tai$ m^3/s	Volumen entradas hm^3/a
S1	650	2,700	0.0154	10	0.0033	0.1372	4.3
							4.3

El valor estimado de las salidas subterráneas es de **4.3 hm³ anuales**, hacia el acuífero vecino Aldama-San Diego.

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

Para la determinación de este término se consideró la evolución piezométrica del acuífero registrada en el intervalo de tiempo que comprende de 2005 y 2007. Con ellas fue posible definir una zona de evolución negativa de 33.4 km² de extensión, en la que el abatimiento promedio fue de 2.5 m. De esta manera, se estimó un volumen de acuífero de 83.5 hm³ para el periodo de 2 años, lo que representa 41.7 hm³/año. Considerando un coeficiente de almacenamiento de 0.07 se obtiene un cambio de almacenamiento de **-2.9 hm³/a**.

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, se estima la recarga vertical por precipitación, mediante la expresión (2):

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

$$R_v = 75.1 + 4.3 + 0.0 - 2.9 - 27.0 - 6.3$$

$$R_v = 43.2 \text{ hm}^3/\text{año}$$

De esta manera, el valor de la recarga total (R_t) es igual a la suma de las estradas:

$$R_t = R_v + E_h + R_r$$

$$R_t = 43.2 + 27.0 + 6.3$$

$$R_t = 76.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

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

$$\text{DAS} = \text{Rt} - \text{DNCOM} - \text{VCAS} \quad (3)$$

Donde:

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

Rt = Recarga total media anual;

DNCOM = Descarga natural comprometida;

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

8.1. Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso particular, su valor es de **76.5 hm³/año**, de los cuales 70.2 son recarga natural y los 6.3 restantes corresponden a la recarga por retornos de riego.

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 Acuífero Tabalaopa-Aldama se considera como descarga natural comprometida el valor de las salidas horizontales de **4.3 hm³/año** hacia el acuífero vecino Aldama-San Diego.

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 (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **30 de septiembre de 2008 es de 33'762,434 m³/año**.

Sin embargo existe el título de concesión 2CHH100310/24HMSG94 que ampara un volumen de aguas subterráneas de 129'410,100 m³ anuales a nombre de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS) de Chihuahua, con cargo a tres acuíferos: Chihuahua-Sacramento, El Sauz-

Encinillas y Tabalaopa-Aldama. De este volumen **27'273,900 m³ anuales** corresponden al acuífero Tabalaopa-Aldama. Por lo tanto el volumen concesionado total es de **61'036,334 m³/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 referida anteriormente, de acuerdo con la expresión 3, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA.

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

$$DAS = 76.5 - 4.3 - 61.036334$$

$$DAS = 11.163666$$

La cifra indica que existe un volumen adicional de **11'163,666 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de 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 el 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 en pozos cercanos a los piedemonte, se podrá hacer una evaluación posterior.

9. BIBLIOGRAFÍA

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. 2004. Actualización de mediciones piezométricas del acuífero de Tabalaopa, Chihuahua. Moro Ingeniería S.A.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. 2007. Actividades Geohidrológicas en los Acuíferos: Santa Clara, Aldama San Diego, Villalba, Conejos Médanos, Tabalaopa Aldama y Alto Río San Pedro, en el Estado de Chihuahua. Servicio Geológico Mexicano.

PÉREZ, A. J., 1996, Determinación de la Geometría del Acuífero Tabalaopa-Aldama, Chihuahua. Tesis de maestría.

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS. 1972. Estudio Hidrogeológico de los acuíferos de la zona de veda en la región de Aldama, Chihuahua. Ariel Construcciones S.A.

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS. 1972. Estudio Geofísico realizado en los Valles de Tabalaopa y Aldama Chihuahua. GEOFIMEX

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS. 1981. Prospección geofísica de los Valles del Sauz y Tabalaopa, Chih., para Proporcionar Agua en Bloque a la Ciudad de Chihuahua, Chih. PROYESCO, S.A.