



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO EL HUNDIDO (0506), ESTADO DE
COAHUILA**

CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE 2020

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación Administrativa del acuífero.....	3
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3. FISIOGRAFÍA.....	5
3.1 Provincia Fisiográfica	5
3.2 Clima	6
3.3 Hidrografía.....	7
3.3.1 Region hidrológica, cuenca y subcuenca	7
3.4 Geomorfología.....	7
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Geología regional	8
4.2 Estratigrafía.....	9
4.3 Geología Estructural.....	13
4.3 Geología del subsuelo	15
5. HIDROGEOLOGÍA.....	16
5.1 Tipo de acuífero.....	16
5.2 Parámetros hidráulicos.....	17
5.3 Piezometría.....	18
5.4 Comportamiento hidráulico	18
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	19
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	20
5.4.3 Evolución del nivel estático	21
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	21
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	23
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	23
7.1 Entradas.....	24
7.1.1 Infiltración de la lluvia.....	24
7.1.2 Aportaciones del acuífero calizo.....	25
7.2 Salidas	26
7.2.1 Extracción por bombeo (B).....	26
7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	26
7.3 Balance actual	27
8. DISPONIBILIDAD	27
8.1 Recarga total media anual (R)	28
8.2 Descarga natural comprometida (DNC)	28
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	28
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	28
9. BIBLIOGRAFÍA	30

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-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y 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 de extracción de aguas subterráneas.

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 El Hundido, se localiza en la parte centro-meridional del Estado de Coahuila, aproximadamente a 40 km al suroeste de Cuatrociénegas y a 70 km al noreste de San Pedro de las Colonias. Cubre una superficie aproximada de 3,509 km², de la cual 854 km² cubren el valle aluvial del mismo nombre y los 2655 km² restante las sierras que circundan al valle (figura 1). La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

El acuífero El Hundido está limitado al sur por la Sierra Australia y Sierra Alamos, al oriente por las Sierra El Granizo, al poniente por la Sierra El Venado, y al norte por la Sierra La Fragua. El área que ocupa el acuífero es eminentemente rural dentro la cual las poblaciones se encuentran muy dispersas y las más importantes son Tanque Nuevo, Santa Teresa y Sofía, El Hundido, Las Morenas y San Fernando

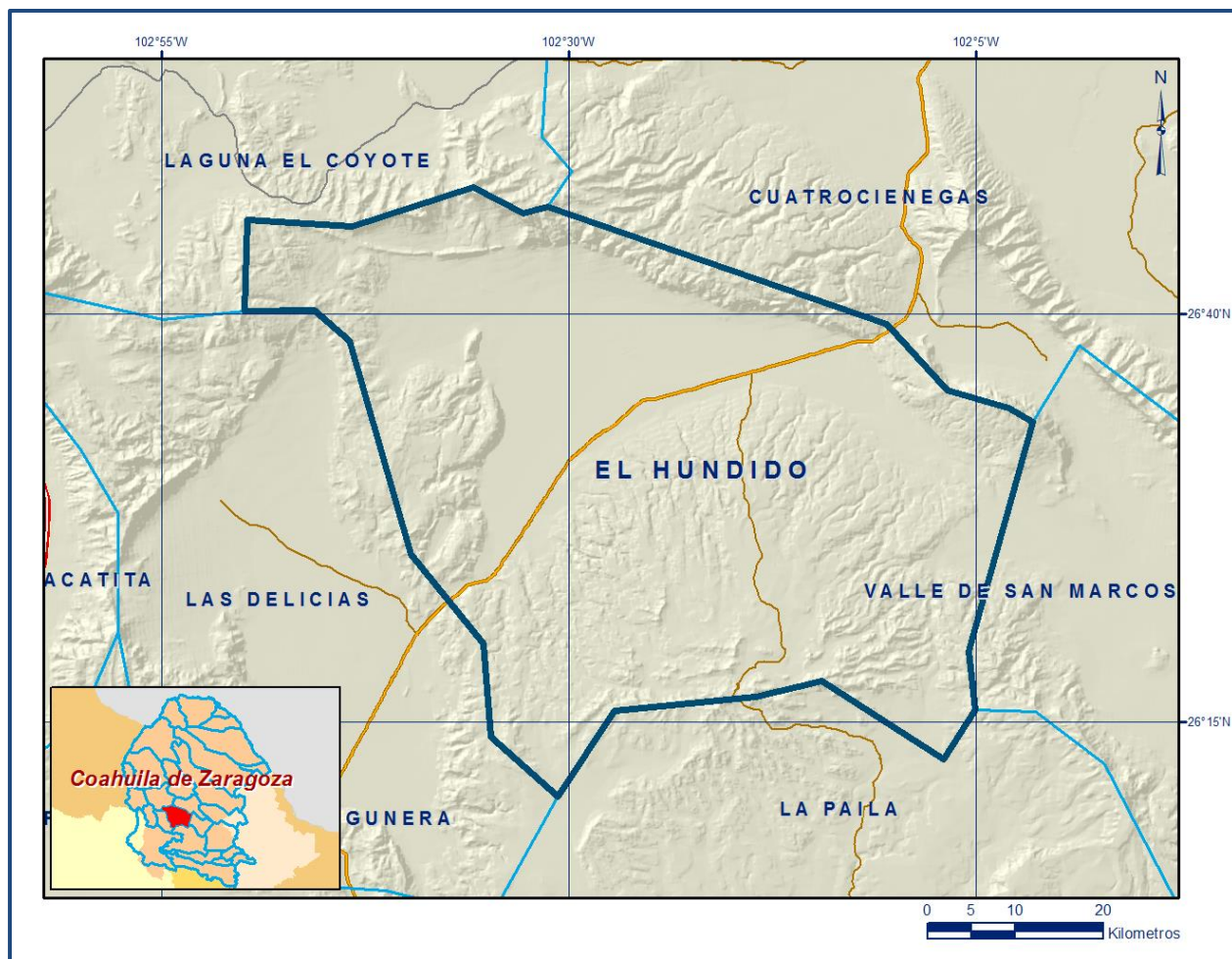


Figura 1. Localización del acuífero

1.2. Situación Administrativa del acuífero

En el área que ocupa el acuífero se encuentra parcialmente vedado para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la Región Lagunera publicado en el Diario Oficial de la Federación el 17 de abril de 1965.

Zonas de disponibilidad

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2015, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

Usuarios mayores de agua subterránea

De acuerdo con información proporcionada por la Subgerencia de Administración del Agua de esta Gerencia Estatal en Coahuila, los usuarios mayores de agua subterránea del Acuífero El Hundido es el Ejido Campizal con volumen concesionado de 4,152,000 m³/año y Lázaro Villareal Fernández con un volumen titulado de 978,000 m³/año. Estos dos grandes usuarios tienen un 65% del volumen total concesionado del acuífero de un universo de 13 usuarios con aprovechamientos regularizados.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0506 EL HUNDIDO						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	102	30	39.6	26	10	24.8
2	102	34	48.6	26	14	2.6
3	102	35	14.4	26	19	48.1
4	102	39	43.5	26	25	15.4
5	102	43	29.6	26	38	19.9
6	102	45	39.2	26	40	13.3
7	102	49	54.3	26	40	9.3
8	102	49	45.7	26	45	46.6
9	102	43	17.0	26	45	23.0
10	102	35	53.9	26	47	46.5
11	102	32	47.2	26	46	11.4
12	102	31	18.0	26	46	35.3
13	102	10	26.0	26	39	21.3
14	102	6	43.6	26	35	17.4
15	102	3	0.0	26	34	14.9
16	102	1	29.3	26	33	23.4
17	102	5	26.2	26	19	19.6
18	102	5	3.2	26	15	44.8
19	102	6	59.7	26	12	41.9
20	102	14	26.7	26	17	30.1
21	102	18	32.3	26	16	29.6
22	102	27	12.0	26	15	40.4
1	102	30	39.6	26	10	24.8

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En los archivos de esta Comisión no se tienen estudios geohidrológicos oficiales previos realizados en la zona. La información previa con que se cuenta es dispersa y principalmente cartográfica. Entre la cual se tienen las cartas geológicas, hidrológica de aguas subterráneas y de aguas superficiales, e imagen de satélite espaciomapa, Hoja Tlahualilo de Zaragoza clave G13-6 escala 1:250,000 editada por el INEGI. También

se cuenta con los planos geológicos de PEMEX (1971) escala 1:50,000 de las áreas Estación Socorro (Hoja Atlas 45-13) y la Vega-El Represito (Hojas Atlas 47-13 y 45-10).

Dentro de los trabajos importantes de geología regional es el realizado por McKee y otros (1990), en el cual se concluye que cerca de 3000 m de detritos del Jurásico Superior y Cretácico Inferior fueron derivados por actividad de la Falla San Marcos. Las areniscas marinas y eolinitas más recientes del Jurásico (Capas Tanque Cuatro Palmas y Colorado) registran subsecuente (Tothoniano) inactividad de la falla. Rejuvenecimiento Neocominao de la falla produjo depósitos aluviales de la Formación San Marcos; los sedimentos de grano fino y estratos marinos de la Formación La Mula, manifiestan el mismo fallamiento. Interrupción del desplazamiento Neocomiano es indicada por una lengua de carbonatos de las formaciones Padilla y Barril Viejo. Las fuentes principales de estos detritos fueron el flysch del Paleozoico Tardío, el arco proximal cuenca Las Delicias y las rocas plutónicas del Triásico que lo cortan. La Falla San Marcos pudo formar parte del sistema de fallas transformantes que conectaban las crestas de expansión del piso oceánico del Atlántico con aquellas del Pacífico.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

De La zona en donde se encuentra el Acuífero El Hundido se ubica en la Provincia Fisiográfica de Sierras y Cuencas, Subprovincia Plataforma de Coahuila (Erwin Raïsz, 1964). Esta Subprovincia, limita al norte y noreste con la Subprovincia del Golfo de Sabinas, también perteneciente a las Sierras y Cuencas. Las Subprovincias de la Provincia de la Sierra Madre Oriental que colindan con las Sierras y Cuencas”, son al norte las Sierras del Norte y al sur Las Sierras Atravesadas (ver figura anexa).

La Plataforma de Coahuila se caracteriza por sierras de configuración cómica con flancos de suave pendiente topográfica, como es a Sierra Alamitos-Australia localizada al sur del Valle El Hundido, la cual tiene una elevación máxima de 1990 msnm en su centro. La Sierra La Fragua ubicada al norte del valle, se orienta Este-Oeste y tiene una elevación que alcanza los 2260 msnm en su porción poniente, la topografía en su flanco sur es abrupta y en el flanco norte de suave pendiente. La Sierra El Granizo que se realiza al oriente del valle se orienta del sureste al noroeste, alcanza una elevación máxima de 1800 msnm y mantiene una topografía de suave pendiente. La Sierra El Venado ubicada al poniente del valle tiene una elevación máxima de 1250 msnm y se caracteriza por una fuerte pendiente topográfica en comparación con las demás sierras.

El Valle El Hundido es una extensa llanura orientada Este-Oeste de suave pendiente topográfica concéntrica con elevaciones que varían entre 880 msnm en la parte centro y 1000 msnm en las márgenes.

La Subprovincia del Golfo de Sabinas está caracterizada por la presencia de sierras sensiblemente paralelas entre sí, estrechas y alargadas, con fuertes pendientes topográficas y grandes acantilados, las cuales separan a valles amplios de suave pendiente y cubiertos de vegetación de tipo semidesértica. Entre estas sierras se pueden citar las sierras San Marcos y Pinos y La Purísima, que son las más cercanas a la zona localizadas al noreste de la misma.

3.2 Clima

Las características del clima fueron analizadas con base en la información climatológica reportada por esta Gerencia Estatal para la estación Santa Teresa de Sofía que se encuentran dentro del valle y para la estación Cuatrociénegas que se encuentra fuera de la zona al noreste. La localización de estas estaciones climatológicas se muestra en plano anexo y en las tablas anexas correspondientes se condensan los datos mensuales y anuales de la temperatura, precipitación y evaporación potencial.

El clima de la región es desértico con escasas lluvias en verano. La temperatura promedio anual se registra en 18.2° C en la estación climatológica Santa Teresa de Sofía y en 21.4° C en la estación Cuatrociénegas. La precipitación promedio anual en la estación Santa Teresa de Sofía es de 157 mm y en la estación Cuatrociénegas es de 230 mm. La evaporación potencial promedio anual registrada en la estación de Cuatrociénegas resultó de 2128 mm.

La variación de la precipitación anual revela varios periodos lluviosos alternando con épocas de sequías, entendiendo como años lluviosos o secos cuando la precipitación es mayor o menor que la precipitación promedio anual. De esta manera, se identifican los siguientes periodos lluviosos: 1943 a 1944, 1948 a 1950, 1955, 1958, 1960, 1968, 1970 a 1971, 1973, 1976 a 1978, 1981 a 1982, 1985 a 1988, 1990 a 1992 y 1997.

El volumen de precipitación sobre el área del Valle El Hundido se obtuvo aplicando la precipitación promedio anual registrada en la estación Santa Teresa de Sofía, resultando una precipitación total de aproximadamente 134.078 hm³/año.

Existen varios métodos empíricos para estimar la evapotranspiración, entre los cuales se aplicó el de L. Turc, debido a que se basa en datos de precipitación y temperatura, que son los más comúnmente medidos en las estaciones climatológicas que controla esta Comisión. Con base en este método, la evapotranspiración resultó de 233 mm en la estación Cuatrociénegas y de 162 mm en la estación Santa Teresa de Sofía.

3.3 Hidrografía

3.3.1 Región hidrológica, cuenca y subcuenca

El Acuífero El Hundido, de acuerdo a la Carta Hidrológica de Aguas Superficiales escala 1:250,000 Hoja Tlahualilo G13-6 editada por el INEGI (1981), se encuentra en la Región Hidrológica del Bolsón de Mapimí (RH-35), Cuenca Valle El Hundido (A) y Subcuenca El Hundido (a-3762).

El Valle El Hundido es una cuenca endorreica con un patrón de drenaje predominantemente del tipo dendrítico, aunque en algunas áreas es de los tipos paralelo y radial. Las corrientes son de régimen transitorio, con escurrimientos torrenciales de unas cuantas horas de duración. Los arroyos se originan en las sierras que circundan al valle y en las márgenes de este desaparecen al infiltrarse a través de depósitos aluviales permeables, constituyendo de esta manera una fuente de recarga al acuífero.

3.4 Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos de la zona son el resultado de la preexistencia de elementos paleogeográficos que estuvieron sujetos a deformaciones tectónicas en el pasado geológico y que dieron forma original al relieve, el cual posteriormente ha sido modificado por procesos exógenos de intemperismo y erosión.

La zona se encuentra desde el punto de vista geomorfológico en su etapa de madurez franca, reflejada en la notable erosión de las estructuras geológicas,

El Valle El Hundido es una depresión tectónica que se formó a consecuencia de los efectos de la Orogenia Laramide durante el Cretácico Superior y Terciario Temprano, y que posteriormente fue rellenada por sedimentos aluviales, eólicos y lacustres del Terciario y Cuaternario. Debido a que los materiales expuestos tienen buena capacidad de infiltración y a que la precipitación pluvial de la región es baja, el patrón de drenaje en el valle es poco denso y mal definido.

La Sierra Australia-Alamitos es una estructura de un extenso anticlinal (periclinal) formado por rocas calizas del Cretácico Inferior con echados de suave inclinación que caracteriza un relieve de suave pendiente topográfica. La Sierra La Fragua, también es una estructura anticlinal formada por capas calizas del Cretácico Inferior con echados de poca inclinación en el flanco norte, la fuerte pendiente topográfica en su flanco sur es consecuencia del efecto de la falla inversa La Fragua que dispuso capas casi verticales. La Sierra El Granizo es la continuación del anticlinal de la Sierra La Fragua, en donde la suave pendiente topográfica es consecuencia de las capas con echados de poca inclinación.

La Sierra de los Venados, que también se encuentra dentro de la Plataforma de Coahuila, se diferencia de las otras sierras por fuertes pendientes topográficas asociadas a una serie de anticlinales y sinclinales estrechos alargados que afectan a rocas calizas del Cretácico Inferior.

4. GEOLOGÍA

La descripción geológica regional que a continuación se presenta fue compilada del INEGI (1984). La descripción de la geología local se apejó a la nomenclatura adoptada por PEMEX (1971) para la porción noreste de México y también se consideró la información geológica del estudio realizado por ININSA (1980) en la zona de Cuatrociénegas-Ocampo Coahuila

4.1 Geología regional

De acuerdo con INEGI (1984), esta región se caracteriza por la presencia predominante de rocas sedimentarias mesozoicas plegadas, que descansan sobre un basamento paleozoico, representado por sedimentos detríticos del Pérmico que afloran en el Valle El Sobaco al suroeste del Valle El Hundido.

En el Jurásico Superior actúa una transgresión al noreste de México que da lugar a la formación del Golfo de Sabinas y a la Isla de Coahuila. En las primeras etapas de la transgresión se desarrollaron en el Golfo de Sabinas depósitos evaporíticos, terrígenos y calcáreos, sobre todo en el Oxfordiano. A esta época corresponden las formaciones Minas Viejas, Novillo, Olvido, Zuloaga y la Gloria. Con el avance de la transgresión marina, durante el Kimmeridgiano y Tithoniano, se crearon los depósitos de mar abierto, de las formaciones La Caja y Pimienta, constituidos de secuencias calcáreo-arcillosas, con horizontes carbonosos, así como los depósitos detríticos de la Formación La Casita.

Durante el inicio del Cretácico Inferior continuó la transgresión marina del Jurásico Superior, lo cual dio origen al depósito, durante todo el Neocomiano de la Arcosa San Marcos. La Formación Menchaca está formada por una secuencia de calizas y algunas intercalaciones de margas y lutitas; esta formación constituye la base de la secuencia de plataforma del Neocomiano que está representada hacia arriba por la Formación Patula (areniscas cuarzosas), Formación Padilla (calizas y lutitas) y Formación La Virgen (calizas, dolomias y yesos).

Desde el Hauteriviano hasta el Aptiano en gran parte del Golfo de Sabinas se depositaron las calizas de la Formación Cupido en un ambiente de plataforma. En el límite del Aptiano-Albiano sobreviene un aporte generalizado de terrígenos finos hacia el Golfo de Sabinas que dan lugar a la Formación La Peña (calizas arcillosas, lutitas y limolitas). Durante el intervalo Albiano-Cenomaniano una importante transgresión marina que cubrió incluso los elementos hasta entonces positivos, originó el desarrollo de gruesas secuencias de carbonatos en todo el noreste de México. Sobre la Plataforma Coahuila se depositaron secuencias de facies someras y evaporíticas gracias a la presencia de arrecifes que bordeaban a los elementos positivos. A este intervalo pertenecen las formaciones Aurora y Acatita.

En el Cretácico Superior con la retirada gradual de los mares hacia el oriente se depositaron en toda la región sedimentos fundamentalmente terrígenos provenientes de la porción occidental de México. A las secuencias del Cretácico Superior pertenecen las formaciones Georgetown (calizas arcillosas), Del Río (lutitas y calizas arcillosas), Buda (calizas arcillosas) y Eagle Ford (calizas arcillosas y lutitas).

Las deformaciones de la Orogenia Laramide se desarrollaron principalmente en la parte inferior del Cenozoico. A este episodio pertenecen las estructuras anticlinales y sinclinales tan características de la región. Posterior a la Orogenia Laramide sobrevino un fallamiento normal que favoreció la deposición continental de sedimentos aluviales, lacustres y eólicos en fosas tectónicas.

4.2 Estratigrafía

En Cretácico Inferior

Formación San Marcos

En el pozo San Marcos No. 2 localizado en el flanco oeste de la sierra del mismo nombre, fue perforada la arcosa San Marcos con un espesor de 744 m, pudiendo ser dividida en tres miembros. El primer miembro de 80 m de espesor este compuesto de

conglomerados arcóscicos y subarcóscicos de color rojo. El miembro medio que tiene 510 m de espesor está constituido de arcosas y subarcosas con clastos angulosos, pobremente clasificados y de estratificación gruesa, contiene algunas intercalaciones de guijarros. El miembro superior consiste de 150 m de espesor de arcosa conglomerática con estratificación media.

Aflora en Puerto Colorado sobre el anticlinal erosionado La Fragua y sus espesores en otras localidades son muy variables, en Potrero de Menchaca tiene 159 m, en Potrero de Padilla 57 m y en Potrero Barril Viejo solo afloran 13 m. Humphrey y Díaz (op.cit) indican un espesor de más de 1,000 m para la Arcosa San Marcos en el pozo Ohio-San Marcos No. 2.

Formación Cupido

Fue propuesta por Imlay (1937) para referirse a una secuencia calcárea que se encuentra en la localidad tipo en el Cañón El Mimbres, en la Sierra de Parras, Coahuila. Aflora en las sierras de la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental.

Está constituida principalmente de calizas color gris claro a oscuro, en estratos de 60 a 110 cm de potencia, con nódulos de pedernal y vetillas de calcita entre los estratos. Sus capas expuestas frecuentemente presentan líneas estilolíticas y superficies de rugosidad por la disolución de carbonatos.

En la zona aflora formando la corona del Puerto Colorado y en la región de Ocampo-Cuatrociénegas en las sierras Menchaca, Capulin, Cristo y en el potrero de La Mula. Su espesor estimado en el potrero de La Virgen es de 200 m.

Esta formación se depositó en un ambiente de plataforma de aguas neríticas de alta energía.

Formación La Peña

Fue definida por Imlay (1936) y menciona como localidad tipo al flanco Norte de la Sierra Taraises. Aflora en el Puerto Colorado y en varias sierras fuera de la zona. Es fácil identificarla en el campo, debido a que es poco resistente a la erosión formando puertos topográficos de erosión.

Consta de una secuencia alternante de lutitas y calizas arcillosas con estratos de limolitas. Su color al intemperismo es gris pardusco o rosáceo, y gris amarillento en muestra sana. Su espesor varía entre 5 y 50 m.

Es concordante con la Formación Aurora y se le considera del Aptiano-Albiano Inferior. Su litología indica un acarreo de detritos de las zonas positivas, durante movimientos verticales en el Aptiano, su ambiente de depósito es infranerítico.

Formación Aurora

Fue definida por Burrows (1910), como una secuencia de calizas en la localidad tipo en la Mina La Aurora en la Sierra de Cuchillo Parado al Oeste de Ojinaga, Chihuahua. Aflora en las sierras la Fragua, Australia-Alamitos y el Granizo.

Está formada por calizas de color gris a gris crema, de textura fina, con estilolitas interestratificadas. La potencia de sus estratos es de 40 a 150 cm, siendo comunes los nódulos de pedernal y los horizontes delgados de lutitas. Su espesor estimado en la Sierra de Menchaca, localizadas fuera de la zona, es de 300 m

Representa una transgresión marina que ocasionó inicialmente el depósito de calizas en ambiente de plataforma, al progresar la transgresión se acumularon las calizas con nódulos de pedernal propiamente en un ambiente de cuenca.

Formación Acatita

Está constituida de caliza, caliza dolomítica, dolomía y yeso, con cantidades subordinadas de pedernal en la forma de nódulos y lentes elongados. Aflora en las sierras de Los Venados, Los Alamitos, La Fragua y Puerto Colorado.

En general se observa la predominancia de yesos en lo que pudiera haber sido el relieve más alto de la Plataforma de Coahuila, cambiando gradualmente hacia los bordes a dolomías con intercalaciones de yesos y calizas de plataforma.

Cretácico Superior

Grupo Washita Indiferenciado

El Grupo Washita está integrado por las formaciones Georgetown, Del Río y Buda. El conjunto consiste de una secuencia alternante de calizas, lutitas y calizas arcillosas con nódulos de pedernal y hematita. El color al intemperismo es gris amarillento y los estratos son gruesos en la base, delgados a laminares en la parte media y delgados en la cima.

El espesor total estimado del Grupo es de 250 m y aflora en las sierras de Los Venados, Sierra Alamitos y Sierra La Fragua.

Formación Eagle Ford

Está compuesta por una secuencia de calizas muy arcillosas de estratificación laminar, alternadas con lutitas y margas de color gris oscuro. Presenta fragmentos de peliépodos y ostrácodos. Su espesor no es apreciable debido a que sus afloramientos están incompletos.

Esta unidad aflora en el flanco sur de la Sierra Puerto Colorado y en el flanco noreste de la Sierra La Fragua. Su depósito tuvo lugar en un ambiente nerítico de aguas someras, con aporte de terrígenos y ligeras subsidencias.

Formación Austin

Consiste de una serie de calizas arcillosas color gris claro, ligeramente café que intemperiza a gris claro. Presenta estratificación delgada a gruesa y lamamiento en los estratos más arcillosos. Aflora en el flanco sur de la Sierra Puerto Colorado.

Depósitos Aluviales del Terciario

Consisten de conglomerados y brechas sedimentarias que afloran formando conos aluviales desarrollados preferentemente a lo largo del flanco sur de la Sierra La Fragua y Sierra Puerto Colorado. En el anticlinal erosionado de la Sierra Colorada sobreyacen discordantemente a la Formación San Marcos.

Predominan los clásticos de grano grueso: bloques, cantos rodados, gravas y arenas, consolidados o parcialmente cementados por caliche, que forman un heterogéneo pie de monte.

Depósitos Aluviales, Eólicos y Lacustres del Cuaternario

Estos depósitos del Cuaternario al igual que los depósitos aluviales del Terciario se encuentran rellenando el Valle El Hundido. Son detritos derivados de la erosión de las rocas expuestas en las sierras que circundan el valle.

Consisten de clásticos no consolidados de granulometría variada; gravas, arenas, limos y arcillas, con predominio de grano fino debido a la gran longitud de transporte y a la baja capacidad de arrastre de las corrientes superficiales.

En el centro del valle existen depósitos de evaporitas denominadas por PEMEX como Evaporitas Becerra. Estos depósitos evaporíticos indican facies lagunares muy probablemente relacionadas con condiciones de descarga de agua subterránea.

Rocas Ígneas

En la cima de la Sierra Australia-Alamitos aflora en pequeñas dimensiones una roca intrusiva cartografiada como granodiorita por el INEGI (1981), quien también cartografía pequeños derrames de rocas basálticas en el flanco oriente de esta misma sierra.

Las rocas intrusivas de la Sierra Australia-Alamitos, de acuerdo con Mckee y otros (1990) se pueden interpretar como las rocas plutónicas del Triásico que cortan el arco proximal de la cuenca Las Delicias, constituyendo de esta forman parte del basamento geológico de la Paleopenínsula de Coahuila.

Las rocas basálticas de la región posiblemente se relacionan con el fallamiento normal que impero en la región posterior a los esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide.

4.3 Geología Estructural

Los rasgos geológico estructurales existentes en la zona son consecuencia de la deformación tectónica de la Orogenía Laramide durante el Cretácico Superior y Terciario sobre los sedimentos marinos de la Paleopenínsula de Coahuila y Cuenca de Sabinas.

Los pliegues dentro de la Paleopenínsula de Coahuila se caracterizan por su gran extensión conformados por capas de rocas sedimentarias del Cretácico dispuestas con echados de suave inclinación.

La Sierra Alamitos-Australia es un gran pliegue anticlinal (periclinal) conformado por calizas de las Formaciones Aurora en sus flancos y por yesos de la Formación La Acatita hacia la cresta. Las capas en sus flancos muestran echados de suave inclinación y guarda una orientación regional SW-NE con una longitud aproximada de 60 km.

El Anticlinal La Fragua está formado en rocas calizas de la Formación Aurora y Grupo Washita y se extiende alrededor de 80 km a lo largo de las sierras Puerto Colorado, La Fragua y el Granizo. Es un anticlinal asimétrico con orientación E-W en las sierras La Fragua y Puerto Colorado, cambia de dirección NW-SE en la Sierra El Granizo. Las capas en su flanco norte mantienen echados de suave inclinación en ese sentido y en el flanco sur están casi verticales. Este anticlinal en la Sierra Puerto Colorado está erosionado en su núcleo, lo cual permite el afloramiento de la Formación San Marcos.

En esta sierra presenta una bifurcación hacia el norte. En el límite norte de la Sierra La Fragua muestra dos pequeños sinclinales uno orientado NW-SE y el otro NE-SW, los cuales se interpretan como pliegues de arrastre.

En la Sierra de los Venados se tienen una serie de pliegues orientados NE-SW con echados en sus flancos de fuerte inclinación. Son anticlinales y sinclinales desarrollados en las Formación Acatita y Grupo Washita, son alargados, estrechos y con longitudes máximas de 25 km. Presentan recumbencia hacia el SW sobre el Periclinal Alamitos-Australia.

La Falla La Fragua que se extiende por el borde sur de las sierras Puerto Colorado y La Fragua, y que sé continua por el borde SW de la Sierra El Granizo, es una falla inversa que pone en contacto a las formaciones Aurora y Acatita por encima de las formaciones Eagle Ford y Acatita. Esta falla inversa que es intra-Paloepenínsula de Coahuila y cuya longitud es de aproximadamente 100 km, es la causante de la recumbencia hacia el sur del Anticlinal La Fragua.

La traza de la Falla La Fragua coincide con la traza de la Falla San Marcos postulada por McKee y otros (1990) como falla transformante que pudo formar parte del sistema de fallas transformantes que conectaban las crestas de expansión del piso oceánico del Atlántico con aquellas del Pacífico. La Falla San Marcos, de acuerdo con McKee y otros (op.cit), ha tenido varias etapas de actividad alternando con periodos de inactividad reconocidas desde el Neocomiano y que se continuaron hasta el Cretácico Superior-Terciario Temprano con actividad compresiva de la Orogenia Laramide.

El estilo de deformación que causó la Orogenia Laramide sobre los sedimentos marinos de la Cuenca de Sabinas es totalmente diferente al que provocó en la Paleopenínsula de Coahuila.

Los pliegues anticlinales y sinclinales en la Cuenca de Sabinas son estrechos, alargados, con echados de fuerte inclinación y con orientación que sigue el contorno de la configuración de la Paleopenínsula de Coahuila. Entre estos pliegues más cercanos a la zona por la parte NE se tiene a los anticlinales de San Marcos, La Purísima, Las Lajas, San Vicente, Sacramento (Agua Chiquita) y La Madera. Estos anticlinales se orientan regionalmente SE-NW y tienen grandes longitudes hasta de 60 km como es el caso del Anticlinal La Madera.

Los pliegues de la Cuenca de Sabinas generalmente están cabalgados encima de las estructuras de la Paleopenínsula de Coahuila. Tal como lo manifiesta las fallas de cabalgadura que se encuentran en el flanco Este del Anticlinal de San Marcos y en el flanco Sur del Anticlinal de la Madera.

En la zona existen sistemas de fallas normales con orientación regional SE-NW y SW-NE asociadas con la etapa distensiva posterior a los esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide. Esta etapa distensiva es la causante del actual relieve de sierras y valles característicos de la región. Las sierras en este contexto representan “Horts” y los valles “Grabens” que simultáneamente al fallamiento normal fueron rellenados por depósitos aluviales, eólicos, lacustres y volcánicos.

Dentro de este sistema de fallas normales se tienen en la zona o próxima a ella, las fallas que truncan la Sierra La Fragua en su flanco noroeste, así como la falla que disloca La Sierra de los Venados por su parte poniente y que forma la pared oriental del “Horts” del Valle El Sobaco.

4.3 Geología del subsuelo

investigación de la geología del subsuelo con información directa quedó limitada por la falta de cortes litológicos de pozos existentes y estudios geofísicos en la zona, a la interpretación indirecta de las videograbaciones de los pozos del Ejido Campizal y Ejido Santa Teresa de Sofía. Estas videograbaciones que forman parte de los archivos del Programa de Uso Eficiente del Agua y Energía Eléctrica, fueron proporcionadas por Subgerencia de Operación de esta Gerencia Estatal.

Con el propósito de ilustrar la geología del subsuelo se elaboró una sección geológica esquemática (ver anexo) orientada SW-NE desde la Sierra Alamitos-Australia cruzando el Valle El Hundido por Santa Teresa de Sofía y atravesando La Sierra La Fragua. Para la interpretación de esta sección se apoyó en la sección geológica elaborada por PEMEX desde la Sierra La Fragua hasta La Sierra Madera.

De acuerdo con las videograbaciones de los pozos del Ejido Campizal, se interpreta que en este lugar los depósitos aluviales de relleno del valle tienen espesores de más de 75 m. Esto se interpreta en función de las características constructivas de los pozos siguientes: tienen profundidades máximas de 75 m y cuentan con tubería de ademe metálico en todo su intervalo, ranurado aproximadamente a partir del nivel estático.

Las videograbaciones de los pozos del Ejido Santa Teresa de Sofía, cuya profundidad máxima es de 160 m, indican que los depósitos aluviales de relleno tienen espesores del orden de 65 m, subyaciendo a estos depósitos aluviales existen rocas calizas fracturadas y cavernosa posiblemente de la Formación Aurora. Estos pozos cuentan con tubería de ademe metálico en la parte superior en el intervalo de los depósitos aluviales de relleno y está ranurada a partir de la zona del nivel estático.

Con base en las secciones geológicas esquemática presentadas en forma anexa, se interpreta que en la Sierra Alamos –Australia por debajo de las formaciones equivalente Aurora y Acatita, se encuentra la Arcosa San Marcos, la cual a su vez debe sobreyacer en marcada discordancia al basamento paleozoico, representado por sedimentos detríticos del Pérmico que afloran en el Valle El Sobaco al suroeste del Valle El Hundido. En el subsuelo del Valle El Hundido se interpreta la existencia de las formaciones Eagle Ford y Austin subyaciendo a los depósitos aluviales de relleno. A partir de la Sierra La Fragua hacia el norte, la secuencia estratigráfica está completa de la formación más antigua a la más reciente comenzando con la Arcosa San Marcos, Cupido, La Peña, Aurora, Grupo Washita, Eagle Ford y Austin.

Con la finalidad de investigar más la geología del subsuelo del Valle El Hundido se recomienda realizar sondeos eléctricos verticales a lo largo de líneas geofísicas orientadas E-W y N-S. Esta investigación geofísica permitirá conocer el espesor total del relleno granular y las características del basamento hidrogeológico del acuífero granular.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Con base en la información geológica disponible y de pozos, se define la naturaleza, distribución y fronteras del acuífero denominado El Hundido motivo de la presente publicación de la disponibilidad de aguas subterráneas.

El Acuífero El Hundido, está formado por los depósitos aluviales del Terciario y por los depósitos aluviales, eólicos y lacustres del Cuaternario que rellenan al valle. De acuerdo con la composición litológica de estos depósitos se considera que el acuífero es de tipo **libre**.

El basamento hidrogeológico del acuífero se interpreta en la cima de las rocas calizas de la Formación Aurora en la parte sur del valle en donde el flanco norte del anticlinal

de la Sierra Alamos-Australia se continúa en el subsuelo. En la parte centro y norte del valle se interpreta en la cima de las rocas arcillosas del Grupo Washita y formaciones Eagle Ford y Austin. La distribución de la profundidad al basamento se desconoce, sólo se conoce puntualmente a 65 m en el Ejido Santa Teresa de Sofía.

Los límites del acuífero de carácter impermeable son: al poniente el contacto entre los depósitos aluviales de relleno con las rocas arcillosas del Grupo Washita que conforman la Sierra de los Venados; al norte la Falla La Fragua sobre el borde de la Sierra Puerto Colorado y Sierra La Fragua; al oriente también la Falla La Fragua sobre el borde de la Sierra El Granizo. Al sur es una frontera de flujo proveniente de la Sierra Alamos-Australia que recarga al acuífero granular a través de las rocas calizas fracturadas de la Formación Aurora.

Las rocas calizas fracturadas y cavernosa de las formaciones Acatita y Aurora, forman otro acuífero diferente al acuífero El Hundido. Este acuífero calizo es explotado localmente en el Ejido Santa Teresa de Sofía y Ejido Tanque Nuevo.

El basamento del acuífero calizo, cuya profundidad se desconoce, se infiere se encuentra en el contacto de las formaciones Acatita y Aurora con la Arcosa San Marcos. Sus límites laterales son impermeables siendo al norte y oriente la Falla La Fragua; al poniente probablemente la falla normal que disloca la Sierra de los Venados y forma la pared oriental del "Horts" del Valle El Sobaco; y al sur la divisoria de aguas subterráneas que teóricamente se supone coincide con el parteaguas superficial de la Sierra Alamos-Australia, el cual separa las regiones hidrológicas Bolsón de Mapimí (RH-35) y Río Nazas Aguanaval (RH-36).

La recarga al acuífero calizo por infiltración de la lluvia es favorecida por los afloramientos de la Formación Acatita y Formación Aurora que se caracterizan por una topografía de suave pendiente en el extenso anticlinal en forma de un gran periclinal de la Sierra Alamos-Australi.

5.2 Parámetros hidráulicos

En el Acuífero El Hundido no se cuenta con información de pruebas de bombeo para obtener los parámetros hidráulicos de transmisividad y coeficiente de almacenamiento. Al respecto, si consideramos que los sedimentos tamaño limo, arena y grava son los que predominan en el acuífero, se pueden tener conductividades hidráulicas con valores en el rango de magnitudes de 10^{-6} a 10^{-2} m/s, de acuerdo con Freeze y Cherry (1979) reportado para este tipo de sedimentos.

Del mismo modo, si se toma en cuenta que el acuífero es de tipo libre deducido de la litología de los depósitos que rellenan el valle, el coeficiente de almacenamiento (rendimiento específico) puede variar entre 0.01 y 0.2, según reporta Freeze y Cherry (op.cit) para acuíferos libre.

Para determinar las propiedades hidráulicas del acuífero a partir de actividades de campo, se recomienda realizar pruebas de bombeo de larga duración (24 a 72 hrs) con pozos de observación en el Ejido El Campizal y Santa Teresa de Sofía.

5.3 Piezometría

Existen un total de 30 piezometrías del Acuífero El Hundido en los archivos de esta Gerencia Estatal con un registro mensual para el periodo de octubre de 1978 a marzo de 1979 y trimestral para el periodo de junio de 1979 a enero de 1984. Después de 1984 no se tienen registros continuos y solo piezometrías aisladas en octubre de 1988, febrero de 1991, junio de 1991, agosto de 1991, noviembre de 1995, diciembre de 1997 y junio de 1999. Las piezometrías más recientes de los años 1995, 1997 y 1999 fueron realizadas por el Departamento de Aguas Subterráneas de esta Gerencia Estatal.

De acuerdo con los hidrogramas de precipitación, las últimas piezometrías de los años 1991 y 1997 fueron realizadas en años lluviosos, a diferencia de la piezometría del año 1995 que fue realizada en año seco.

El registro piezométrico que se tiene se presenta en tablas anexas, del mismo modo que los hidrógrafos de la variación del nivel estático para cada uno de los pozos piloto.

Los hidrógrafos de los pozos piloto muestran que en general los niveles estáticos prácticamente se mantuvieron estables hasta antes de 1988. A partir de entonces, los niveles presentan muy poco abatimiento e inclusive empezaron a recuperarse en la parte centro-norte del valle. Este comportamiento histórico de los niveles indica que el acuífero no manifiesta signos de sobreexplotación.

5.4 Comportamiento hidráulico

Con base en los datos piezométricos del mes de noviembre de 1978, octubre de 1988 y diciembre de 1997, fueron elaborados planos de profundidad y elevación al nivel estático del Acuífero El Hundido. Para determinar la evolución del nivel estático se construyó un plano de abatimientos para el periodo octubre 1988 a diciembre de 1997. Este periodo de evolución corresponde al periodo en el que los niveles estáticos

comenzaron a mostrar cierto abatimiento.

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Las profundidades al nivel estático en el mes de noviembre de 1978 variaban entre 10 y 120 m. Los niveles más someros se registraron en la parte topográficamente más baja en el centro del mismo y los más profundos en la parte sureste encañonada del valle por la localidad La Víbora. En la parte suroeste del valle al sur de la población Buenavista, los niveles se encontraban entre 40 y 60 m de profundidad.

Los niveles estáticos en el mes de octubre de 1988 se registraron entre 10 y 60 m de profundidad. Los niveles más someros, también se presentaron en la parte más baja del centro del valle y los más profundos en la parte suroeste del valle al sur de la población de Buenavista.

Los niveles en el mes de diciembre de 1997 se encontraban entre 10 y 60 m de profundidad. De la misma forma que en el año de 1978, los niveles más someros se tenían en la parte topográficamente más baja del valle y los más profundos en la porción sureste encañonada del valle por la localidad La Víbora. Los niveles en la parte suroeste del valle al sur de la población Buenavista, se encontraban entre 40 y 60 m de profundidad.

La configuración de la profundidad al nivel estático para los años analizados guarda una relación con la topografía del valle, es decir que los niveles más profundos se presentaban en áreas topográficamente más altas y los más someros en áreas topográficamente más bajas.

Por otra parte, se puede interpretar que los niveles someros que se presentan en el centro del valle, es un indicador de condiciones de descarga de agua subterránea. Sin embargo, de acuerdo con los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, "Que establece las disposiciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales", la evaporación directa de un acuífero libre se debe considerar en las áreas en donde el nivel frático está a menos de 3 m de la superficie del terreno. Profundidad de niveles que actualmente no se tienen en la parte centro del valle.

Los niveles más profundos que tienden a presentarse en las márgenes del valle, es indicativo de condiciones de recarga relacionada con las áreas de infiltración de los

escurrimientos superficiales que bajan de las sierras que circundan al valle.

5.4.2 Elevación del nivel estático

La elevación al nivel estático en el mes de noviembre de 1978, varió entre 775 msnm y 900 msnm. Las elevaciones más altas se presentaron al poniente del Ejido Campizal y las más bajas al sur de la población Tanque Elevado.

Las equipotenciales en el mes de octubre de 1988, variaron entre 785 msnm y 900 msnm. Las equipotenciales más bajas se registraron en el Ejido Santa Teresa de Sofía y las más altas al poniente del Ejido Campizal.

Las cargas hidráulicas en el mes de diciembre de 1997, variaron entre 780 msnm y 800 msnm. Las cargas más bajas se presentaron de igual forma en el Ejido Santa Teresa de Sofía y las más altas al sur de la población de Buenavista. En este mes se puede apreciar que las cargas hidráulicas del acuífero granular del valle y del acuífero calizo en el área del Ejido Santa Teresa de Sofía resultaron similares del orden de 780 msnm, lo cual sugiere que ambos tipos de acuíferos al menos en esta área mantienen continuidad hidráulica.

La configuración de las superficies piezométricas para los años analizados, revela un régimen de flujo cerrado con movimiento de agua subterránea desde las márgenes del valle hacia el centro del mismo. Estas superficies piezométricas, también manifiestan las áreas de recarga por la infiltración de los escurrimientos superficiales en las márgenes del valle, así como la entrada al acuífero del valle por flujo lateral que proviene de la Sierra Alamos-Australia a través de las rocas calizas fracturadas que conforman el acuífero de la Formación Aurora.

Las superficies piezométricas, igualmente muestran una depresión piezométrica en el área del Ejido Santa Teresa de Sofía. Esta depresión piezométrica se puede interpretar como un cono de abatimiento provocado por la explotación de los pozos de este ejido que extraen el agua del acuífero calizo. Otra explicación de esta depresión piezométrica es posible relacionarla con una depresión natural producto de la descarga natural del acuífero en la parte topográficamente más baja del valle.

La red de flujo del mes de diciembre de 1997 a diferencia de las redes de los años anteriores analizados, muestra el desarrollo de un pequeño cono de abatimiento en el

Ejido Campizal originado por la extracción de los pozos en este ejido del acuífero granular del valle.

El gradiente hidráulico obtenido de las superficies piezométricas varía entre 0.00045 y 0.0013. Los gradientes más bajos son característicos de gran permeabilidad de los depósitos aluviales que rellenan el valle. En cambio, los más altos pueden estar influenciados por las rocas arcillosas de baja permeabilidad de las formaciones del Cretácico Superior, tal como se sospecha que está ocurriendo en la parte encañonada sureste del valle.

5.4.3 Evolución del nivel estático

El plano anexo de evolución del nivel estático del Acuífero El Hundido, para el periodo octubre de 1988 a diciembre de 1997, muestra abatimientos en la parte sur del valle y recuperaciones en la parte norte. Los abatimientos totales variaron entre -0.5 y -3.0 m, los más bajos se registraron en el área de la población Buenavista y en el Ejido Santa Teresa de Sofía, y los más altos en el Ejido El Campizal. Las recuperaciones de la parte norte variaron entre 0.18 y 0.69 m.

El ritmo de abatimiento anual obtenido de los abatimientos totales para este periodo de evolución, resultan muy bajos variando entre 0.05 y 0.33 m. Estos bajos abatimientos anuales son otra evidencia más de que el acuífero granular del valle no muestra signos de sobreexplotación.

Los pozos que explotan el acuífero calizo en el Ejido Santa Teresa de Sofía, presentaron para el periodo de evolución octubre de 1988 a diciembre de 1997, tanto abatimientos totales entre -0.98 y 4.09 m, así como recuperaciones entre 0.03 y 4.09 m. De lo anterior, se puede interpretar que el acuífero calizo en este ejido manifiesta un ritmo de abatimiento anual muy bajo variando entre -0.11 y 0.45 m, lo cual también indica que el acuífero calizo no muestra efectos de sobreexplotación.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El análisis hidrogeoquímico y su relación con la calidad del agua subterránea, se fundamentó en la definición de las familias de agua y caracterización de parámetros químicos indicadores. Para esto, fueron realizados dos reconocimientos de la calidad de las aguas subterráneas. El primero se realizó en el mes de diciembre de 1997 con el muestreo de 4 pozos y el segundo en el mes de marzo de 1999 con el muestreo de 2 pozos. Las muestras del primer recorrido fueron analizadas en el Laboratorio de

Calidad de Agua de esta Gerencia Estatal y el segundo en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Gerencia Regional Cuencas Centrales del Norte. Con base en los resultados de estos muestreos fue elaborado un plano de diagramas de Stiff modificados y un diagrama de Piper. Los datos químicos, y el plano y diagrama hidrogeoquímicos, se presentan en el anexo de este documento.

En el acuífero El Hundido se registra un tipo de agua $\text{SO}_4\text{-Ca}$ en el Ejido El Campizal. De la misma forma, en el acuífero calizo se identifica un tipo de agua $\text{SO}_4\text{-Ca}$ en el Ejido Santa Teresa de Sofía.

La diferencia química entre las aguas del acuífero granular y el acuífero calizo radica en la salinidad. En el acuífero granular se tienen concentraciones de STD de 4600 mg/l en el Ejido Campizal y en el acuífero calizo las concentraciones son menores variando entre 1820 y 2170 mg/l en el Ejido Santa Teresa de Sofía.

Los contenidos de sulfatos en el acuífero calizo varían entre 506 y 822 mg/l en el Ejido Santa Teresa de Sofía. En tanto que en el acuífero granular se registra una concentración de 1947 mg/l en el Ejido El Campizal.

El predominio de sulfatos en las aguas del acuífero calizo es originado por la disolución de yesos de la Formación Acatita en la Sierra Alamitos-Australia. En cambio, en las aguas del acuífero granular se pueden relacionar con la presencia de evaporitas en los sedimentos lacustres que rellenan el valle.

En el diagrama anexo de Piper se puede observar una evolución de las aguas sulfatadas del acuífero calizo a las aguas también sulfatadas del acuífero granular. Esto comprueba las evidencias potenciométricas acerca de que el acuífero calizo alimenta al acuífero granular. Los mecanismos de esta continuidad hidráulica se dan por medio de flujo lateral en el flanco norte de la Sierra Alamitos-Australia y muy probablemente por medio de flujo vertical en la parte centro del valle.

La calidad de agua del acuífero granular y acuífero calizo para uso potable, está limitada por las altas concentraciones de STD y sulfatos, ya que rebasan los límites permisibles oficiales que marca la normatividad de 1000 mg/l y 400 mg/l respectivamente. Sin embargo, la calidad de las aguas de ambos tipos de acuíferos se considera apta para el riego agrícola en la región.

En cuanto a las posibles fuentes potenciales de contaminación de los acuíferos de la región, no se tiene documentación de alguna que se puedan considerar como un riesgo latente de contaminación de las aguas subterráneas. Sin embargo, el uso de compuestos químicos en las actividades agrícolas de la zona, puede representar una fuente de contaminación difusa.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

Las características de los aprovechamientos que explotan el Acuífero El Hundido se obtuvieron de los censos realizados por el Departamento de Aguas Subterráneas de esta Gerencia Estatal en el mes de noviembre de 1995 y diciembre de 1997.

En el acuífero granular del valle fueron censados un total de 53 aprovechamientos, de los cuales 47 resultaron pozos y 6 norias. Del total de aprovechamientos censados 23 estaban activos y 30 inactivos. Dentro de los activos, por el uso del agua se agrupan en 7 pecuarios, 2 domésticos y 14 agrícolas.

Los caudales de extracción instantáneos de los aprovechamientos medidos durante los censos variaron entre 0.25 lps y 64 lps. Los caudales más bajos se presentaron en pozos localizados en las zonas de las márgenes del valle especialmente en la parte sur en donde se tienen poco espesor de aluviones y en donde explotan a las rocas arcillosas de baja permeabilidad de formaciones del Cretácico Superior. Los caudales más altos se tuvieron principalmente en los pozos de los ejidos El Campizal, San Fernando y las Morenas, en donde se explotan a los depósitos aluviales con espesores más grandes.

En el acuífero calizo fueron censados 10 pozos, de los cuales 6 estaban activos y 4 inactivos. De los activos 5 son para uso agrícola en el Ejido Santa Teresa de Sofía y 1 para uso doméstico en la población Tanque Elevado.

Los caudales de extracción de los pozos en el acuífero calizo variaron entre 4 y 98 lps. El caudal más bajo se tuvo en el pozo para uso doméstico en la población Tanque Elevado y los más altos en los pozos para riego en el Ejido Santa Teresa de Sofía.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La recarga del acuífero granular en depósitos de relleno del Valle El Hundido se obtuvo despejándola de la ecuación general del balance de aguas subterráneas, de acuerdo con las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 "Que

establece las disposiciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. El periodo de balance que corresponde de octubre de 1988 a diciembre de 1997, fue establecido con base en la evolución histórica de los niveles estáticos, analizada en el capítulo de piezometría a partir de hidrógrafos de pozos piloto. El área de balance que resultó de 854 km² corresponde con el límite del acuífero granular que ocupa la zona de valle.

En el acuífero calizo no se pudo obtener su recarga a partir de un balance de aguas subterráneas, debido a la falta de información geohidrológica para hacerlo de esa forma. La información con se cuenta del acuífero calizo es puntual y solo proviene de los pozos perforados en el Ejido Santa Teresa de Sofía.

El balance de aguas subterráneas en su forma más simple, está representado por la expresión siguiente:

$$\text{Recarga Total} = \text{Cambio de Almacenamiento} + \text{Descarga Total}$$

Con base en el funcionamiento hidrodinámico del acuífero granular documentado en el capítulo de hidrogeología, se establecen las componentes de la recarga total siguientes: a) infiltración de la lluvia en el valle a través de los depósitos aluviales permeables, b) infiltración en las márgenes del valle de los escurrimientos superficiales que descienden de las sierras que circundan al valle y c) aportaciones del acuífero calizo por medio de flujo lateral en el flanco norte de la Sierra Alamos-Australia y por flujo vertical en la parte central del valle.

La única componente de descarga corresponde a la extracción por bombeo, debido a que el acuífero El Hundido se relaciona con una cuenca hidrogeológica cerrada, en donde su descarga natural que se daba por evapotranspiración en la parte central del valle topográficamente más baja, ha sido interceptada por el mismo bombeo

7.1 Entradas

7.1.1 Infiltración de la lluvia

La infiltración de la lluvia en el valle y de los escurrimientos superficiales que descienden de las sierras que circundan en las márgenes del valle, se obtuvo del balance hidrológico tradicional, cuya expresión simplificada es la siguiente:

$$I = P - E_s - E_v$$

En donde

I = es la infiltración,

P = la precipitación,

E= el escurrimiento superficial

Evr= la evapotranspiración real.

El volumen de precipitación se obtuvo utilizando la precipitación promedio anual de la estación climatológica Santa Teresa de Sofía que resultó en 157 mm y la superficie de afloramiento de los depósitos aluviales del valle que corresponde al área del balance. La superficie de afloramiento de los depósitos aluviales que resultó de 854 km² se derivó del método de planimetría. De esta manera resultó un volumen de precipitación de 134.078 hm³/año.

El escurrimiento superficial en el valle se consideró nulo debido a la alta permeabilidad de los depósitos aluviales que favorece más la infiltración que el escurrimiento superficial. Además de que el Valle El Hundido es una cuenca hidrológica endorréica.

La evapotranspiración real se estimó con el método de L. Turc, aplicando las precipitaciones y temperaturas promedio anual de las estaciones climatológicas Cuatrociénegas y Santa Teresa de Sofía. En este caso, el método de L. Turc produjo evapotranspiraciones de 233 mm y 162 mm que resultaron superiores a las precipitaciones de 230 mm y 157 mm respectivamente de cada una de las estaciones climatológicas. Al respecto, por analogía con otros acuíferos del Estado de Coahuila en donde el método de L. Turc arrojó resultados aceptables, para el caso de las condiciones de aridez del Valle El Hundido, finalmente se consideró que el 98% de la precipitación se pierde por evapotranspiración, de tal manera que esta resulta con un volumen de 132.62 hm³/año.

Substituyendo los valores correspondientes en la expresión general del balance hidrológico, resulta un volumen de infiltración de aproximadamente 1.458 hm³/año

7.1.2 Aportaciones del acuífero calizo

Las aportaciones del acuífero calizo al acuífero El Hundido que se tienen argumentadas por medio de flujo lateral en el flanco norte de la Sierra Alamos-Australia y por flujo vertical en el parte central del valle, son componentes de entrada al acuífero que no se pudieron evaluar a través de la ecuación de Darcy, tal como lo especifica la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 "Que establece las

disposiciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esto debido a la falta de datos de carga hidráulica y transmisividad del acuífero calizo, así como de la conductividad hidráulica vertical de las rocas arcillosas de las formaciones del Cretácico Superior que se encuentran en el subsuelo del valle.

Ante esta dificultad las aportaciones del acuífero calizo, se estimaron grosso modo derivándola de la recarga total obtenida del balance de aguas subterráneas, resultando un volumen de aportación del orden de 4.881 hm³/año.

7.2 Salidas

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

El volumen total de extracción anual del acuífero granular en depósitos de relleno del El Hundido, fue contabilizado a partir del volumen de extracción anual de cada aprovechamiento censado por este Departamento de Aguas Subterráneas en el mes de noviembre de 1995 y diciembre de 1997. El volumen de extracción de cada aprovechamiento se obtuvo principalmente a partir de los datos de tiempo de operación y caudal de extracción.

Del volumen de extracción obtenido para cada aprovechamiento, resultó un volumen total de extracción del acuífero granular del orden de 5.057 hm³/año. Del cual 5.027 hm³/año se destina al uso agrícola, 0.012 hm³/año al uso pecuario y 0.018 hm³/año al uso doméstico.

A manera de comparación, con esta información de los censos, resultó un volumen de extracción del acuífero calizo de aproximadamente 8.334 hm³/año, los cuales preferentemente se destinan al uso agrícola.

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

El cambio de almacenamiento considerado en el balance de aguas subterráneas planteado para el acuífero El Hundido, fue determinado con base en el plano anexo de abatimiento del nivel estático para el periodo octubre de 1988 a diciembre de 1997. Para esto, fue necesario medir con planimetría las superficies de las zonas que presentan abatimientos y recuperaciones totales. Se utilizaron valores promedio de abatimiento total de -0.78 m y de recuperación de 1.44 m. En vista de la falta de datos de pruebas de bombeo se consideró un valor representativo del coeficiente de almacenamiento igual a 0.05, en función de que el acuífero es de tipo libre y de la litología de los depósitos granulares que rellenan el valle.

Del procedimiento antes descrito se llegó a un cambio total de almacenamiento negativo del orden de -17.550 hm^3 producto de los abatimientos que equivalen a un valor promedio anual de $-1.95 \text{ hm}^3/\text{año}$. También se llegó a un cambio total de almacenamiento positivo del orden de 29.088 hm^3 producto de las recuperaciones que equivalen a un valor promedio anual de $3.232 \text{ hm}^3/\text{año}$

7.3 Balance actual

Con el objeto de tener una idea de la cantidad de agua subterránea existente en el valle, se llevó cabo un balance de agua subterránea, el cual tiene una precisión razonable. Para el balance se aplicaron las técnicas para flujo en medios porosos, aún y cuando parte del agua subterránea en la zona se encuentra en un medio cárstico, la mayor parte del acuífero corresponde a un medio granular. Con los datos obtenidos se dedujo que existe continuidad entre el acuífero cárstico y el acuífero granular del valle.

El trazo de la configuración de la elevación del nivel estático permitió simular la presencia de un solo sistema acuífero en el valle, que en su mayoría corresponde al granular con recargas o aportes provenientes de las calizas

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:

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

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, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, que para el acuífero El Hundido es de **20.1 hm³/año**.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes. Para el acuífero El Hundido la descarga natural comprometida es **nula. 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 (REPGA), 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 **25,256,560 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **20 de febrero del 2020**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 20.1 - 0 - 25.256560 \\ \text{DMA} &= -5.156560 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **5,156,560 m³ anuales** que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.

9. BIBLIOGRAFÍA

C.N.A., 1994. Manual para Evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos.

C.N.A., 1995, 1997 y 1999. Informe de los trabajos de censo de aprovechamientos de agua subterránea, piezometría e hidrogeoquímicos en el Valle El Hundido. Realizados por el Departamento de Aguas Subterráneas de la Gerencia Estatal en Coahuila.

C.N.A., 1996. Ley Federal de Derechos en Materia de Agua.

C.N.A., 1997. Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. 3ª Edición.

C.N.A. Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, "Que establece las disposiciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales".

Freeze R. A., and J A. Cherry, 1979. Groundwater. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey 07632.

INEGI, 1985. Cartas geológicas, hidrológica de aguas superficiales, hidrológica de aguas subterráneas e imagen de satélite (espaciograma) escala 1:250,000, Hoja Tlahualilo de G13-6.

INEGI, 1984. Geología de la República Mexicana.

ININSA, S. A., 1980. Estudio Geohidrológico Preliminar de la Zona Cuatrociénegas-Ocampo, Coahuila. Realizado para DGZA de SARH.

McKee J. W., N. W. Jones, and L. E. Long, 1990. Stratigraphy and provenance along the San Marcos Fault, central Coahuila, México. Geological Society of America Bull., v. 102, p. 593-614.

PEMEX, 1971. Planos geológicos escala 1:50,000, Estación Socorro (Hoja Atlas 45-13) y Vega-El Represito (Hoja Atlas 47-13 y 45-10).

Raiz E., 1964. Provincias fisiográficas de México.

Lesser y Asociados, S.A. de C.V., 2001. Estudio de Evaluación Hidrogeológica e

Isotópica en el Valle del Hundido. Coah.