

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO SAMALAYUCA (0810), ESTADO DE
CHIHUAHUA**

CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE 2020

Contenido

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes	2
1.1. Localización	2
1.2. SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA	6
3.1 Provincia Fisiográfica	6
3.2 Clima	6
3.3 Hidrografía	7
3.4 Geomorfología	8
4. GEOLOGÍA	9
4.1 Estratigrafía	9
4.2 Geología estructural	18
4.3. Geología del subsuelo	20
5. HIDROGEOLOGÍA	22
5.1 Tipo de acuífero	22
5.2.- Parámetros hidráulicos	23
5.3.- Piezometría	25
5.4 Comportamiento hidráulico	25
5.4.1 Profundidad al nivel estático	25
5.4.2.- Elevación del nivel estático	25
5.4.3.- Evolución del nivel estático	26
5.5.- Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	27
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	27
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	27
7.1 Entradas	27
7.1.1 Recarga natural	27
7.1.2 Recarga inducida	28
7.1.3.- Flujo horizontal	28
7.2 Salidas	28
7.2.1 Extracción por bombeo (B)	28
7.2.2 Descargas naturales	29
7.2.3.- Flujo subterráneo	29
7.2.4.- Evapotranspiración	29
7.3 Cambio de almacenamiento	29
8. DISPONIBILIDAD	29
8.1 Recarga total media anual (R)	30
8.2 Descarga natural comprometida (DNC)	30
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	30
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	31
9. BIBLIOGRAFÍA	32

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 área de interés se ubica en la porción norte del estado de Chihuahua, políticamente pertenece al municipio de Juárez. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

La zona de estudios se ubica en el municipio de Juárez, localizado este en el extremo norte del estado de Chihuahua (figura 1).

De acuerdo con el “anuario estadístico del estado de Chihuahua”, el municipio de Juárez tiene una población de 1'012,000 habitantes, teniendo como principal núcleo de población a la Ciudad de Juárez.

Esta población está distribuida principalmente en Ciudad Juárez, así como en algunas poblaciones pequeñas ubicadas a lo largo y ancho del municipio, estimándose que dentro del área de estudio solo podría haber una población del 0.2 % del total arriba mencionado.

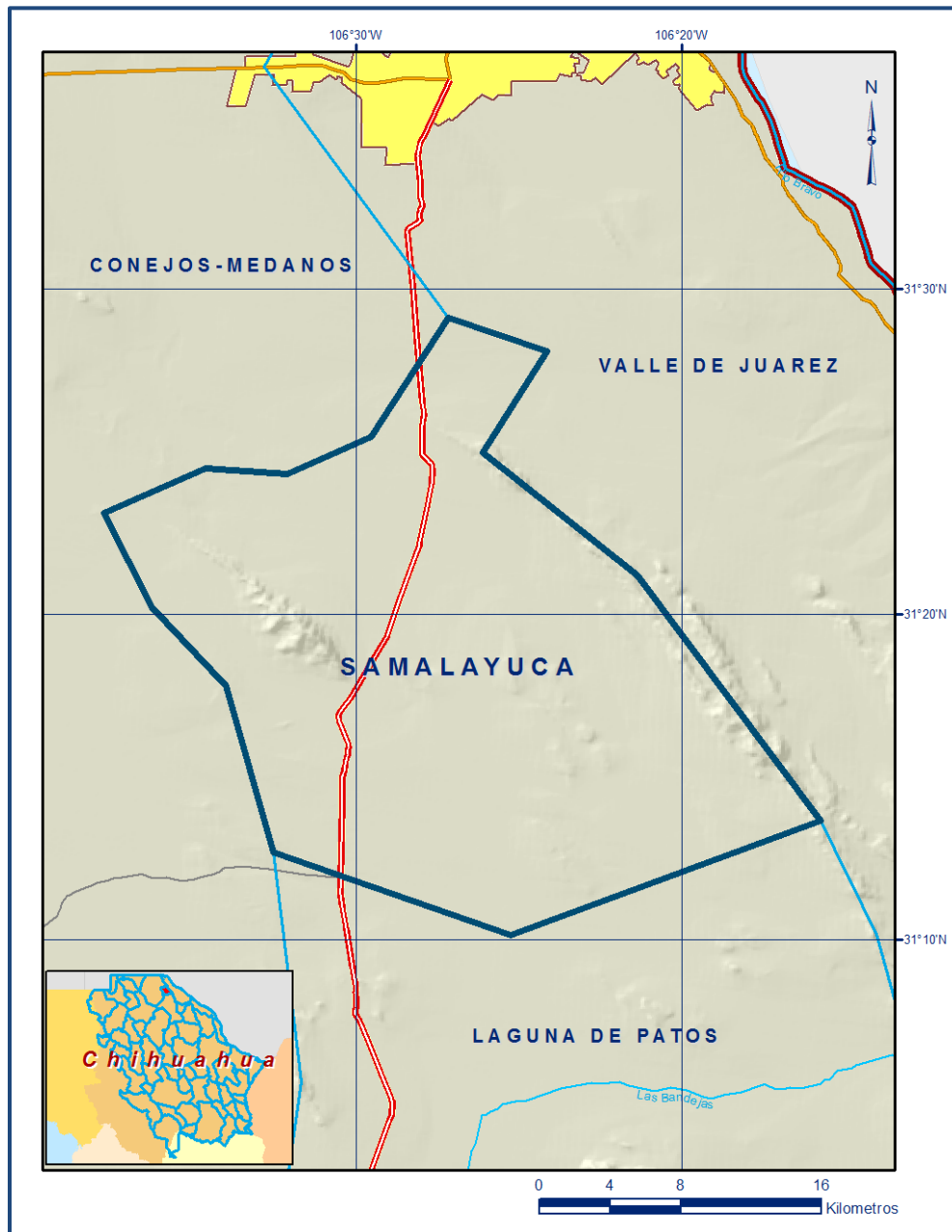


Figura 1. Localización del acuífero

1.2. SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO

Decretos de veda

El acuífero de Samalayuca tiene la particularidad de estar ubicado una parte en zona de veda y otra en zona libre.

La parte norte del acuífero se localiza dentro de la zona de veda del valle de Juárez decretada el 18 de marzo de 1952, mientras que la parte sur quedo fuera de este decreto.

Decretos de reserva o reglamento

Aunque la explotación de este acuífero ha crecido de una manera importante en las últimas dos décadas, este no ha sido considerado como una fuente de abastecimiento para una población en particular por lo que no se ha considerado como una fuente de reserva para algún fin específico.

Así mismo, las condiciones técnicas y sociales no se han presentado de forma tal que para la explotación de este acuífero se requiera la implementación de alguna reglamentación.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 081 0 SAMALAYUCA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	106	27	11.4	31	29	6.6
2	106	24	9.7	31	28	4.8
3	106	26	7.3	31	24	58.3
4	106	21	23.0	31	21	12.5
5	106	15	45.7	31	13	39.7
6	106	25	15.2	31	10	8.5
7	106	32	32.3	31	12	41.6
8	106	34	0.6	31	17	47.6
9	106	36	16.5	31	20	14.0
10	106	37	44.1	31	23	5.8
11	106	34	37.3	31	24	28.3
12	106	32	6.3	31	24	19.2
13	106	29	32.2	31	25	27.8
1	106	27	11.4	31	29	6.6

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.

Organización de usuarios

La explotación actual del acuífero no se efectúa mediante una organización de usuarios, sino que esta se realiza hasta cierto punto en forma individual principalmente en lo referente al sector agrícola.

Existen dos industrias importantes en la zona que hacen un uso importante del agua, sin embargo, su organización es meramente individual y no tienen una relación directa con el resto de los usuarios.

Distritos y unidades de riego

En esta zona no existe ningún distrito de riego y las pequeñas unidades de riego se reducen a un aprovechamiento de manera individual o familiar.

Usuarios mayores de agua subterránea

El mayor usuario lo establece el sector agrícola el cual se estima que aprovecha un 73 % que se extrae de este acuífero, seguido por el sector público - urbano que aprovecha el 26 %, sumando entre ambos usuarios el 99 % del total extraído.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Algunos estudios geohidrológicos se han efectuado en la zona de estudio, de los principales son descritos a continuación:

Estudio geohidrológico del área de Ciudad Juárez - Samalayuca y alternativas regionales para explotación de agua subterránea en el estado de Chihuahua, el cual fue efectuado en 1979 por la Comisión Federal de Electricidad, con el fin de suministrar agua para abastecer una planta termoeléctrica que se ubicara en el poblado de Samalayuca, Chih.

Estudio Geohidrológico sucesivo C.T. Samalayuca, realizado por la Comisión Federal de Electricidad en el año de 1987, cuyo objetivo pretendió presentar en forma sintetizada e integral los resultados de las investigaciones geohidrológicas desarrolladas en las diferentes etapas de estudio.

Este estudio pretendió establecer las bases técnicas para la elaboración de un modelo matemático que permita definir la política de explotación del sistema durante la vida útil de la central termoeléctrica instalada en el valle de Samalayuca, Chih.

Análisis del estudio geohidrológico del acuífero de Samalayuca, Chih. y diseño de una política de explotación óptima para el abastecimiento de la central termoeléctrica de Samalayuca, desarrollado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, mediante el financiamiento de la Comisión Federal de Electricidad.

El objetivo central de este estudio consistió en definir la política de operación de los pozos de la central termoeléctrica de Samalayuca, que garantizara el abastecimiento a largo plazo afectando al mínimo las condiciones hidrodinámicas del acuífero.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

El área estudiada se localiza en la provincia fisiográfica de cuencas y sierras, de acuerdo con W. Humprey (1958) y la modificación de E. Raisz (1964), se caracteriza por presentar una serie de pilares y fosas que dan lugar a las sierras y cuencas que están orientadas al NW-SE.

3.2 Clima

El clima de la zona se caracteriza por ser árido y extremoso, cuya clasificación hecha por Köppen corresponde a Bwkw(x') especificado como un clima seco templado con lluvias en verano.

Temperatura media anual

El comportamiento de la temperatura presenta una variación anual con tendencia parabólica, se manifiesta con mayor intensidad durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre, decreciendo durante el resto del año, los valores menores registrados corresponden a los meses de diciembre, enero y febrero.

Su temperatura media anual es del orden de 17° C con una variación de la media mensual que va desde 6.3° en enero y 27.7 ° en el mes de julio.

Precipitación Media Anual

La precipitación está gobernada por las masas de aire húmedo, provenientes del océano pacífico durante los meses de junio a octubre. El choque de las masas

húmedas en la sierra madre occidental provoca que las precipitaciones en sus flancos sean altos, reduciendo su capacidad para producir lluvia hacia las zonas de planicie donde la precipitación es menor.

En consecuencia, de lo anterior, en las áreas bajo estudio, se presentan lluvias de tipo aislado, de alta intensidad y corta duración, ocurriendo con mayor frecuencia en los meses de julio, agosto y septiembre.

Por otra parte, en los meses de diciembre y enero, se generan precipitaciones por lluvia y nieve, debido a la presencia de masas de aire frío, provenientes del norte y al chocar con las masas de aire caliente existente en la zona, dan lugar a lluvias de baja intensidad, larga duración y amplia extensión.

La precipitación media anual es de 257.0 mm; obtenidos mediante un registro de 40 años (1957-1996) en la estación climatológica ubicada en el poblado de Samalayuca. Las precipitaciones más altas se presentan en los meses de julio, agosto y septiembre, representando en tan solo estos 3 meses el 58.9% de la precipitación media anual.

3.3 Hidrografía

Región Hidrológica

Este acuífero se ubica en la región hidrológica No. 34 denominada “Cuencas Cerradas del Norte”, la cual colinda con la región 24 y 10 y con el estado de Nuevo México en su parte norte.

Subregión

Corresponde como subregión a la cuenca de arroyo El Carrizo y otros como una de las cinco subregiones tributarias de la región 34.

Cuenca

Corresponde como subregión a la cuenca de Arroyo El Carrizo y otros como una de las cinco subregiones tributarias de la Región 34.

Subcuenca

No existe una subcuenca definida toda vez que los escurrimientos superficiales son efímeros y solo ocurren en este caso en donde la precipitación es suficiente, donde los canales de drenaje se observan al pie de los afloramientos rocosos de tipo radial en pequeñas longitudes, desapareciendo al entrar en contacto con las planicies, debido

a que la capacidad de infiltración de las dunas y médanos es alta, motivo por el cual no se ha definido un parteaguas en donde se pudiera haber definido una subcuenca.

Infraestructura hidráulica

En la zona en donde se ubica el acuífero de Samalayuca no se ha creado ninguna infraestructura hidráulica para el aprovechamiento de las aguas superficiales, salvo pequeños bordos y presones que sirven como abrevaderos para el escaso desarrollo ganadero de la zona.

3.4 Geomorfología

Los elementos geomorfológicos con mayor elevación corresponden a las sierras de Ranchería, Candelaria, Samalayuca, Presidio y Las Conchas, mismas que sobresalen en una penillanura formada por dunas o médanos y abanicos aluviales. Las elevaciones de las sierras, con respecto al valle es del orden de 350 a 400 m.

Las sierras Ranchería y Candelaria con elevaciones mayores a 2000 msnm muestran en la imagen de satélite una traza burdamente circular (3.6 km de diámetro) correspondiente a un cuerpo de origen intrusivo de composición granítico-granodiorítica con drenaje radial. Así mismo, se destaca la existencia de tres lineamientos estructurales paralelos que afectaron a las rocas sedimentarias. Dichos lineamientos se asocian a fallas o fracturas.

Por otra parte, las características geológicas del cuerpo ígneo-intrusivo sugieren la existencia de termalismo a profundidad, ya que éste no se manifiesta en la superficie.

La sierra de Samalayuca con elevación de 1740 msnm y una longitud de 13 km, se constituye principalmente por rocas de origen marino de edad Prejurásica.

La Sierra de Presidio con elevaciones de 1820 msnm y una longitud de 60 km, está formada por una secuencia discontinua de rocas marinas de edad Cretácica.

La penillanura tiene variaciones regularmente entre 1200 y 1300 msnm y en ella sobresalen dunas y médanos. Las primeras concentradas sobre todo en la porción sur y con elevación máxima de 1500 msnm, sus características morfológicas permiten inferir que su origen es debido a un soporte rocoso con la misma dirección de las estructuras dominantes, que sirvió como barrera para detener el viento y con ello, provocar el depósito de la arena sobre la roca.

Existe una depresión con cota menor de 1200 msnm ubicada al NW de la sierra de Samalayuca y Presidio, cuyo origen se atribuye a la disolución de rocas de origen químico.

No existe ninguna corriente perenne, el drenaje superficial es intermitente y muy escaso. Tiene lugar sólo en las sierras, en los abanicos aluviales, que se forman con sus estribaciones, es de tipo subparalelo y drena hacia el NE o SW, desapareciendo al llegar a las dunas o médanos, donde no se observa desarrollo de drenaje superficial.

Las diferencias de relieve y el desgaste observado en las sierras del área, indican un estado de madurez avanzado durante el ciclo geomorfológico.

4. GEOLOGÍA

4.1 Estratigrafía

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la sierra de Samalayuca, Presidio, Candelaria y Ranchería se describen a continuación en orden ascendente:

Prejurásico

Formación Samalayuca (Pre-J). Definida de manera informal por Berg E.L. (1970) como cuarcita, lutita filítica y conglomerados interestratificados, constituye principalmente la sierra de Samalayuca. La litología que predomina corresponde a areniscas de color gris oscuro con algunos lentes de lutitas y conglomerados con cuarzo redondo.

Microscópicamente se observa un clivaje de origen metamórfico y al microscopio se clasifican como grauvacas que contienen cuarzo con extinción ondulante. aflora un espesor de 400 m y el pozo Samalayuca de Pemex corto 1,375 m por ello se puede considerar un espesor mayor de 1,700 m. Se comporta como una roca competente con intenso fracturamiento que se encuentra cerrado y sellado, presenta metamorfismo regional de bajo grado, por lo cual se le asigna una edad Prejurásica, ya que las rocas jurásicas no presentan metamorfismo.

Jurásico

Formación La Casita (Jc). Fue definida por Imlay (1936) como una secuencia de lutitas, areniscas y calizas intercaladas, que sobreyacen la formación La Gloria y subyacen a la formación Taraises. Su localidad tipo es el cañón de la Casita unos 50 km al SW de

Saltillo, Coah., además se caracteriza por contener lutitas carbonosas y yeso (Ramírez y Acevedo, 1956).

En el área se ha destacado su presencia por medio de perforaciones, la más importante es el pozo presidio I de Pemex, que cortó 3,800 m sin lograr atravesar esta unidad. Se constituye de areniscas gris oscuro, lutitas gris oscuro y limolitas negras que en la mitad de la sección contienen braquiópodos, crinoides y briozoarios (López Ramos, 1980). Los barrenos 4t, 1a, 5t y 7a bis, así como los pozos 6a y 8a cortaron espesores variables entre 10.90 y 147.0 m de sedimentos clásticos carbonosos. Al microscopio se clasificaron como subgrauvacas, micrita brechada, areniscas-arcillo calcáreas, limolitas, lutitas, micritas y biomicrita carbonosas.

En el área de Sapello se reportan afloramientos de mugstone que pueden ser de esta formación. La presencia del carbón le confiere un medio ambiente palustre reductor, con aguas someras. Se le ha asignado una edad Kimmeridgiano-Titoniano. El contacto superior es gradual con la formación Navarrete

Cretácico

Formación Navarrete (Kn). Fue definida formalmente por W.T. Haenggi (1966) en términos de areniscas verdes calcáreas con intercalaciones de calizas y lutitas gris verdoso, asociadas a capas delgadas de evaporitas. su localidad tipo se encuentra 2 km al NE del rancho la Aguja. Las rocas correlacionables con esta unidad, afloran en lomeríos aislados a los costados de la sierra de Samalayuca.

Es posible que las lomas alineadas con la sierra presidio en el este del área estudiada también se correlacionen junto con un pequeño afloramiento localizado en las dunas. se compone principalmente de areniscas contaminadas con calcita y arcilla, de color gris con tonalidades café gris amarillentas, verdosas, y ocasionalmente rojizas. al microscopio se clasificaron principalmente como arcosas, margas, grauvacas, subgrauvacas, algunas lutitas y biomicritas. Se distinguen de la formación La Casita porque prácticamente carecen de carbón y en lugar de ello tienen hematita. La estratificación que presenta varía de delgada a media y es típica en ellas estratificación gradada y cruzada, concreciones esféricas y elipsoidales, deformación y brechamiento. El pozo presidio 1 cortó más de 800 m de esta formación. Es posible que esté exagerando por efectos de un pliegue volcado.

La reconstrucción de pliegues permite estimar un espesor de 400 m, ya que el contacto superior con la formación las vigas no afloran y los espesores cortados con los pozos 6a, 8a, y 9a, los barrenos 1a, 4t, 5t, y 7a bis son muy irregulares con espesores de 5.05 a 169.00 m. La edad absoluta de esta formación corresponde al Neocomiano Temprano, tomando como base que suprayace a la formación La Casita, la cual no presenta problemas de datación.

Se encontraron algunas amonitas cuyo estudio posiblemente aclare la edad de estas rocas dentro del área: Cantú Chapa (1970) arguye que estas rocas son de edad Kimmeridgiano, es decir del Jurásico.

Formación Las Vigas (Klv).- fue definida parcialmente por Burrows (1910), así llamó a una secuencia de 229 m constituida por cuarcita de colores gris, negro y rojo, areniscas calcáreas de color gris, lutitas negras y caliza arenosa, dicha secuencia subyace a la formación cuchillo. Su localidad tipo está en la mina las Vigas, unos 70 km al NE de placer de Guadalupe, Chih.

Dentro del área de estudio su presencia se restringe al costado este de la sierra Presidio. Aflora una alternancia de lutitas, limolitas y areniscas calcáreas de grano fino con diversas combinaciones entre sí, tiene preferentemente coloraciones rojizas con variaciones a café, gris y verde, cambiando de fisiles a estratos delgados. El contacto inferior no se observa, pero se supone transicional y concordante con la formación Navarrete, el superior es transicional y concordante con la formación Cuchillo. En estas circunstancias se estima un espesor mayor de 800 m.

Su edad Neocomiano-Aptiano Temprano y su medio ambiente de depósito se considera mixto, al igual que la formación Navarrete. En el área estas dos formaciones son muy similares y se pueden diferenciar en base a que la formación Navarrete hay más carbonato de calcio y menos hierro, inclusive puede haber autores que consideren a estas formaciones clásticas como una sola y la consignan como formación Las Vigas.

Formación Cuchillo (Kc). - Al igual que la formación anterior fue definida por Burrows (1910), en el camino cuchillo parado, mina Aurora en el Edo. de Chihuahua, se refiere a 450 m de yeso de la base, seguido por una secuencia de lutitas y calizas laminares para alcanzar un espesor de 600 m.

En el costado oeste de la sierra Presidio se tienen importantes afloramientos, donde se distinguieron tres miembros, el inferior de 220 m consta de 3 cuerpos de yeso separado por lutitas limonitizadas amarillentas y calizas fosilíferas de estratificación delgada, de color negro que intemperizan en café amarillento. el medio tiene 100 m y se constituye por lutitas negras con amonitas, limolitas y areniscas rojizas y café en la base. el superior tiene 250 m y está compuesto por caliza margosa con estratificación media y gruesa y color gris oscuro. Se presentan fragmentos de pelícipodos, ostrácodos, turritelas y erizos de mar reemplazados por calcita espática, además tiene intercalaciones de lutitas con espesor de centímetros a metros, en general intemperizan en gris y café amarillento y presenta módulos de hematita. El espesor medio fue de 600 m para toda la formación y la mayoría de las calizas han sido clasificadas microscópicamente como bioespatitas, en mucha menor proporción omicrita y biomicrita.

Su contacto inferior con la formación Las Vigas es concordante y el superior con la formación Benigno es gradual. su litología sugiere que se formó en un medio ambiente de facies lagunar cercanas a la costa.

La edad de la formación es Aptiano Tardío-Albiano Temprano y es correlacionable con las formaciones Travis Peak, La Peña y Otates.

Formación Benigno (Kbg). Nicols, J.J. (1958), la estableció en el área de las sierras de los Fresnos, Chih. midió 823 m de calizas masivas de tipo plataforma.

Los escarpes de la sierra Presidio con vista al oeste, están constituidos por la formación Benigno, con calizas de color negro en la base y gris en la cima, estratificación variable de masiva a delgada predominando la primera, se caracteriza por estilotitas y huecos de disolución hasta de 30 cm.

En su base predominan los microfósiles y su cima se significa por un horizonte masivo arrecifal con algas y orbitolinas. Tiene pirita diseminada, calcita y hematita relleno de tubos. También se observan intercalaciones de lutitas de centímetros a un metro. El espesor medido es de 400 m y las clasificaciones microscópicas se refieren a biomicritas y biodismicrita.

El contacto superior es concordante con la formación Lágrima, la edad que se le atribuye a la formación Benigno es Albiano Temprano y por sus características se puede decir que se formó en un medio ambiente variable entre nerítico y cuenca.

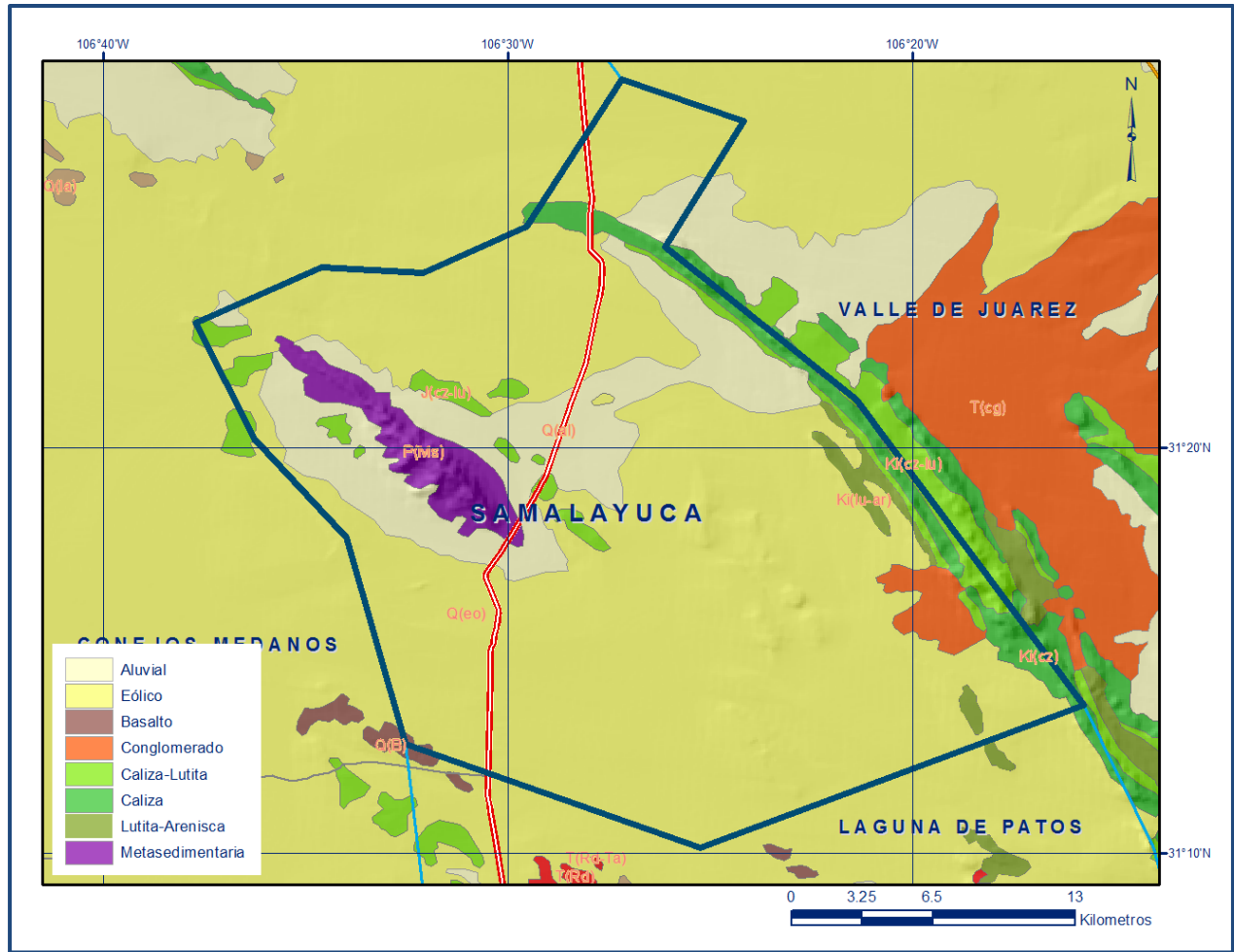


Figura 2. Geología general del acuífero

Formación Lágrima (Kl). - Haenggi (1966) la define como una edad Albiano y la refiere a las rocas que sobreyacen a la formación Finlay.

El sinclinal que caracteriza a la sierra Presidio está abierto en esta formación, en esta parte se midieron 600 m distinguiéndose tres miembros. En la base se tienen 350 m de calizas arcillosas gris oscuro y negras, con estratificación gruesa a delgada y horizontes con abundantes orbitolinas únicamente y otros ostrácodos, braquiópodos, rudistas, pelecípodos, y turrítelas, se intercalan horizontes masivos de caliza y otros laminares de lutitas.

La parte media consta de 250 m de la misma litología, se distingue porque su estratificación varía de media delgada y no presenta orbitolinas, contiene ostrácodos, bivalvos y turrítelas, en ocasiones se hace esquinoide y también se observan algunos horizontes de lutitas. La parte superior está constituida por 100 m de calizas masivas y

gruesas, gris oscuro y claro, muy fracturada, con vetillas de calcita y concreciones de hematita. Al microscopio las rocas de esta formación fueron clasificadas como biomicritas y micritas, con un origen por precipitación química con contaminación detrítica. El medio ambiente de depósito, debió ser parecido al de la formación benigno, tal vez con más oscilaciones porque sus estratos son más delgados y más frecuentes las alternancias de lutitas y margas.

Formación Finlay (Kf). - La caliza Finlay fue propuesta inicialmente por Richardson (1904) para designar 100 m de calizas masivas con capas delgadas de areniscas café. La localidad tipo se encuentra en las montañas Finlay en el condado del paso, Texas.

Esta formación aflora en el flanco oriental de la sierra de Presidio y Guadalupe, así como en la sierra de Juárez. Su litología consiste de calizas arrecifales en forma de bancos, cuerpos masivos de calizas y algunas intercalaciones de lutitas con abundantes fósiles.

Terciario

Intrusivo Granítico-Diorítico (Tig). - Las sierras de La Candelaria y Ranchería constituyen troncos de composición granítico granodiorítica.

Estas rocas tienen textura porfídica donde sobresalen cristales de feldespatos y cuarzo en una mesóstasis afanítica. El conjunto presenta coloraciones cremas y grisáceas con un intenso diaclasamiento y en algunas porciones intemperismo esferoidal. Es posible que el diaclasamiento disminuya y se cierre a profundidad.

Estos intrusivos afectan las rocas cretácicas marmolizándolas, al parecer no afectan a las rocas volcánicas extrusivas, por lo cual se puede decir que son las más antiguas de las rocas ígneas.

En el cerro muleros (oeste de Cd. Juárez) y la sierra El Mezquite (próxima a la sierra Sapello) afloran troncos de composición parecida los cuales pueden corresponder a la misma etapa de intrusión. Es posible que estos intrusivos se emplazaron durante los máximos esfuerzos de la Revolución Laramide durante el Cretácico Tardío-Terciario Temprano.

Piroclásticos Andesíticos (Tbv) y Andesitas (Ta). - constituyen la base de la secuencia volcánica extrusiva. Este grupo de rocas es de composición intermedia principalmente.

Se encuentra en el costado oeste de la sierra de Candelaria, al poniente de los cerros Las Felipas, unos 20 km al oriente de la sierra de Ranchería y 10 km al sur de la sierra de Samalayuca, cerca del cementerio radiactivo. El pozo 8a cortó 52 m de brecha volcánica andesítica.

Este paquete de rocas presenta un espesor que puede alcanzar hasta 300 m en la sierra de La Candelaria, consta de brechas y aglomerados con fragmentos de andesitas y basalto, inclusive rocas de la secuencia cretácica, en una matriz tobáceo-arenosa. Varían lateral y verticalmente a tobas y se encuentran generalmente estratificados. dentro de este paquete se puede ubicar inclusive algunos lahares como el localizado a 3 km al NW del rancho El Aguila (Nájera 1986) las andesitas se encuentran interestratificadas con los piroclásticos, presentan texturas afaníticas y una coloración rojizo oscuro similar a la hematita.

Debido a que descansan sobre el intrusivo granítico-granodiorítico se consideran posteriormente a él. Son correlacionables con la base de la formación Carolina definida por Guerrero G. y Rodríguez T. (1967) para el área de villa ahumada en general es correlacionable con las rocas volcánicas intermedias que caracterizan la base de la secuencia volcánica de la Sierra Madre Occidental.

Toba Lítica Riolítica (TT) e Ignimbrita Cristalina (Tea). - La sierra de Las Conchas está constituida por estas dos unidades, en la base de ellas se puede observar un conjunto de tobas vítreo líticas masivas, constituidas principalmente por fragmentos de pómez, riolita e ignimbrita. El espesor aproximado de esta unidad es de 100 m sobre el material tobáceo se encuentra un cuerpo tabular de ignimbrita cristalina que corona la sierra formando un cantil. Su color es gris, se compone de fenocristales de cuarzo y feldespato y en menor proporción fragmentos líticos, presenta textura eutaxítica, diaclasamiento. Las dos unidades se presentan en las estribaciones de la sierra de Rancheria y Candelaria, así como en los cerros las Felipas y el Amargoso.

Sobreyacen a las rocas intermedias en el oeste de la sierra Candelaria y por su composición se le puede atribuir una edad Oligoceno-Mioceno, que es la edad

considerada al vulcanismo ácido de la Sierra Madre Occidental. Son correlacionables con los dos miembros superiores de la formación Carolina.

Diques de Diabasa y Andesita (Tii). - se localiza en el costado poniente de la sierra Samalayuca, en las sierras el Mezquite (Sapello) y La Candelaria.

Sus características más comunes son la textura afanítica y el color verde oscuro, el espesor promedio de los diques es de 2.0 m; sin embargo, hay intrusivos de esta composición que pueden ser significativamente mayor y con textura porfídica.

Traquita (ttr). - Se encuentran distribuidas en gran parte de la subcuenca; tanto en la superficie como en el subsuelo. el barreno 5a, y algunos pozos de la batería I de la C.F.E. cortaron esta roca, la cual aflora al poniente de dicha batería; así como hacia el sur los cerros Las Felipas y El Amargoso y en las sierras de Las Conchas y la Ranchería.

Es una roca de color gris rojizo, con variaciones a tonos más oscuro y verdoso, generalmente la textura es casi afanítica, equigranular y con escasos fenocristales de 1 y 2 milímetros. Las formas que presentan son muy variadas; ocurre a manera de derrame o como intrusivos someros de tamaño y forma irregular variable. En superficie ocupa desde unos 4 metros cuadrados hasta aproximadamente 8 km².

El mineral esencial queda representado por feldespatos alcalinos (sandino) y como secundario hematita. Ocasionalmente varía a sienita y algunas muestras se destacan los minerales con extinción ondulante, por lo cual se establece que la roca estuvo sujeta a esfuerzos, lo cual también explica los zoneamientos brechoides que presenta.

Tentativamente se puede establecer que es más joven que la ignimbrita cristalina puesto que ocurre sobre ella en forma de derrames, por otro lado, también se encuentra a manera de intrusivo levantando a las rocas volcánicas félsicas en general y algunas cretácicas como ocurre al oriente de los cerros El Amargoso.

Terciario Continental Indiferenciado (Tci) La unidad aflora en las estribaciones de la sierra Candelaria, Ranchería, Samalayuca y Presidio. Dentro de esta unidad se agrupan los sedimentos lacustres que se observan en las cercanías de la antigua aduana. (km 28 de la carretera Panamericana).

Hacia el sur y sureste la unidad consta esencialmente de conglomerados con diferente grado de cementación. Se constituyen por fragmentos redondeados de rocas preexistentes, predominan las gravas calcáreas y en menor proporción fragmentos de rocas ígneas y volcánicas.

Los sedimentos lacustres que afloran cerca de la antigua aduana se componen de una secuencia vulcano-sedimentaria que consta principalmente de intercalaciones de tobas arenosas, limos, arcillas y escasas gravas. Forman terrazas que hacen evidente un mediano grado de compactación, aunado a que se encuentran coronados por calizas lacustres de color arena claro. se han reportado horizontes de yeso en algunos pozos, aunque no han sido identificados en superficie estos horizontes. El pozo aduana I perforado por la C.F.E., (en 1980) en esta unidad arrojó resultados negativos.

En los pozos Sapello I, II y III, se reportaron espesores de 305, 295 y 175 m respectivamente para la unidad, incluyendo los aluviones cuaternarios. Igualmente, el pozo moyotes 1 de Pemex reporta un espesor de 650 m.

Los sedimentos mencionados son correlacionables con la formación de los Patos descrita para el área de villa ahumada, con los depósitos continentales del bolsón de La Mesilla y con la formación Santa Fe descrita por Córdoba en 1966 para el área de Ciudad Juárez.

Descansa indistintamente sobre las rocas marinas preexistentes y a su vez se encuentran intercaladas con algunas rocas ígneas. en el área de Samalayuca, su cima en gran parte está cubierta concordantemente por depósitos de talud, eólicos o aluviales del cuaternario.

El medio ambiente de depósitos se considera fluvio lacustre y en base a las correlaciones con las formaciones Los Patos y Santa Fe se le atribuye una edad Terciario Tardío. Debido a las condiciones de depositación, es de esperarse que existen variaciones granulométricas por cambios de facies lateral y verticalmente.

Basalto (Tb). Se encuentra principalmente en los cerros El Amargoso, es de color café y gris oscuro, con textura porfídica sobresaliendo cristales blancos de feldespatos, está muy diaclasado y presenta un espesor no mayor de 50 m y un basculamiento al este.

Se encuentra sobre las ignimbritas cristalinas, la traquita o con frecuencia sobre un conglomerado brechoide estratificado con espesor visible de 1 a 2 m, el cual se

considera un remanente de los sedimentos continentales ya descritos. Su cima está descubierta.

Cuaternario

Aluvión (Qal). - Esta distribuido en gran parte del área y consta principalmente de limos con arcillas, arenas y gravas de diversas composiciones.

De acuerdo a la información de los pozos y barrenos de C.F.E. el espesor varía de 60 a 80 m y con los sondeos eléctricos verticales se detecta una profundidad máxima de 130 m.

La composición química que se especifica en el estudio para eliminación de aguas residuales de la C.T. Samalayuca reporta que el contenido de cuarzo es del 60%, ortoclasa 11%, plagioclasa 9%, fragmentos de rocas volcánicas 10% y fragmentos de rocas metamórficas 3%.

En sentido horizontal la granulometría más fina se presenta en las partes más bajas y hacia la sierra aumenta y se interdigita con depósitos continentales del Terciario, como se puede observar en el costado occidental de la sierra de Presidio. El muestreo en sentido vertical indica que la granulometría disminuye de tamaño a profundidad.

Sedimentos eólicos (Qe). - El área que cubre estos sedimentos es extensa, se componen principalmente por fragmentos cuarzo-feldespáticos que forman las dunas. Su espesor de acuerdo con la geomorfología, posiblemente no excede de 25 m.

4.2 Geología estructural

En base a la estratigrafía del área se infiere que la sierra de Samalayuca y Presidio forman parte de un anticlinorio. Los pliegues secundarios que lo forman son asimétricos y volcados o recumbentes, su plano axial flexionado o inclinado preferentemente al SW y con rumbo NW-SE, amplitudes variables entre 1 y 3 km en el caso de los anticlinales, estos tienen un flanco este casi vertical o con inclinación más fuerte que el flanco oeste.

La parte más importante de la sierra Presidio es un sinclinal parcialmente volcado con una amplitud de 3 km hacia el este, tiene un anticlinal y en el frente oeste ha sido prácticamente erosionado el anticlinal correspondiente.

La sierra de Samalayuca, estructuralmente es un anticlinal asimétrico, también de unos 3 km de amplitud. Las lomas situadas en el costado este de la sierra donde se encuentra la mayor parte de los pozos en producción, se caracteriza por pliegues recumbentes con amplitudes aproximadamente de 1 km y en ellas la tectónica es más compleja, ya que también se tienen pliegues volcados al SW y cambios de los mismos. La recumbencia de los pliegues se establece con la estratificación gradada que se encuentra invertida en las areniscas de la formación Navarrete. Las estructuras más evidentes son fallas con desplazamiento horizontal que cortan casi perpendicularmente el eje de los anticlinales y sinclinales.

Por el espesor de 800 m cortado de la formación Navarrete en el pozo presidio 1 y tomando en consideración el patrón general de plegamiento, se infiere la presencia de una falla inversa; en superficie no se observan estructuras de este tipo.

En el flanco este de la sierra Samalayuca existe una falla de tipo normal cuyo trazo corresponde al lineamiento entre la sierra y las lomas de la formación Navarrete. Este se apoya en la existencia de rocas intrusivas metatraquíticas y brechadas cortadas en los barrenos 4t y 5a, hidrotermalismo y pérdidas totales de los fluidos de perforación en los pozos 9a y el barreno 5a.

Estas características indican la presencia de una falla de carácter regional provocados por efecto de la actividad intrusiva. Esto implica también que, por efectos de simetría, se tenga otra estructura en el costado oeste constituyendo un pilar.

Los sistemas de fracturamiento se asocian a dos. El primero corresponde a fracturas paralelas a los ejes de anticlinales y sinclinales, ocurriendo con mayor frecuencia en las crestas y valles donde la tensión es mayor. El segundo grupo ocurre perpendicular al anterior y se relaciona a fallas transversas.

En el caso de las fracturas de la formación Samalayuca, aunque son abundantes se presentan cerradas o rellenas con sílice. en el resto de las formaciones están abiertas o con un relleno parcial de calcita donde inclusive se desarrollan drusas y se notan indicios de circulación de agua.

En la formación Benigno las fracturas han favorecido la disolución de cavernas.

4.3. Geología del subsuelo

Con las perforaciones realizadas y los trabajos de prospección geológica, geofísica y geohidrológica en la etapa de factibilidad se definió el marco geológico del subsuelo. Las secciones geológicas que se han obtenido muestran el arreglo estructural de las diferentes unidades litoestratigráficas, las cuales rigen el comportamiento del agua subterránea.

El modelo geológico del subsuelo se correlaciona con el de superficie y corresponde a una tectónica sumamente compleja formada por plegamientos de tipo anticlinal y sinclinal, afectados por fallamientos de tipo normal e inverso, el cual dio origen a discordancias entre rocas Cretácicas, Jurásicas y Prejurásicas.

En términos generales, la configuración del basamento calcáreo del Cretácico, muestra la existencia de una depresión en las inmediaciones del poblado de Samalayuca y la batería I de la C.F.E. es factible que su origen sea debido a la presencia de un conjunto de fallas de tipo normal con diferente orientación.

En las zonas de debilidad formada por los planos de falla, se tiene la presencia de rocas ígneas, aunado al material de relleno depositado en un medio fluvio-lacustre.

De acuerdo a la correlación de pozos y barrenos se determinó que la cima del bajo estructural de la depresión está formada por rocas cretácicas de la formación Navarrete, según datos obtenidos por los pozos Sam, II, X, y XIII. Así mismo, las rocas ígneas cortadas por los pozos Sam II, III, IV y VIII se asocian a derrames e intrusiones correspondientes a vulcanismo de tipo fisural con lineamiento NW-SE corroborado con los elementos NW-SE aportados por la prospección geofísica.

De las secciones electroestratigráficas emplazadas, son detectadas ocho unidades geoelectricas relacionadas con los materiales prevalecientes. A continuación, se hace una descripción de sus posibles condiciones geohidrológicas, tomado como orden de la más somera a la más profunda.

Las unidades U1, U2, U2', U2'' Se relacionan con materiales sedimentarios, de las cuales las unidades U2 y U2' por sus rangos resistivos (de 12 a 66 ohm/m) presentan mayor importancia geohidrológica, las restantes se les considera de menor interés, debido a la dominancia de los materiales finos.

Las unidades U3, U3', U4, y U5, constituyen el basamento local; las unidades U3, U3' y U4 se consideran las de mayor relevancia desde el punto de vista geohidrológico, debido a los rangos resistivos determinados (20 a 350 ohm/m).

Cabe señalar que la unidad U3 es de cierta importancia, sin embargo, su distribución lateral es limitada.

En el área rancho El Setenta - Cerros Colorados, fueron detectadas 4 unidades U1, U2, U2' y U3, de las cuales U2 y U3 son de interés geohidrológico. Su potencialidad hidráulica se desconoce debido a que se carece de perforaciones. La distribución y comportamiento geológico - geohidrológico de las unidades descritas es avalado por los resultados obtenidos con los pozos de exploración Sap I, II, III, IV y Sam 2.

El sistema acuífero del Valle de Samalayuca está constituido por un acuífero granular somero y un acuífero fracturado, separados en una extensa zona por una unidad semi-permeable. en este sistema, el flujo regional guarda una dirección preferente al SE-NW paralela a las sierras que limitan el valle.

El acuífero granular, formado por arenas, gravas y arcillas, es de permeabilidad media y se extiende desde la línea de afloramientos de la formación Navarrete hasta la vecindad de la sierra de Presidio. Por su parte, el acuífero fracturado se encuentra alojado en la formación Navarrete y es de permeabilidad media a alta. Este acuífero se extiende desde la sierra de Samalayuca hasta la vecindad de la sierra de Presidio, cubriendo casi toda el área del estudio.

Hacia el noroeste de la línea de afloramientos de la formación Navarrete, el acuífero granular y el fracturado se encuentran separados por una unidad semi-permeable, constituida principalmente por limos y arcillas, que permite la transferencia de agua entre los dos acuíferos por goteo vertical.

Esta unidad alcanza un espesor máximo de alrededor de 500 m en el centro del valle y se adelgaza hacia la zona donde se localiza la central termoeléctrica y hacia el oriente del poblado de Samalayuca en la vecindad de la sierra de Presidio. En estas zonas el acuífero granular y el fracturado se hallan en contacto directo.

El acuífero granular es libre y su base presenta elevaciones variables a través del área de estudio. El espesor saturado de este acuífero alcanza aproximadamente 150 m en el centro del valle, adelgazándose en todas direcciones a partir de este centro, para

volverse a ensanchar en la vecindad de la sierra de Presidio, en la zona de contacto del acuífero granular y el fracturado.

Por su parte, el acuífero fracturado se encuentra semiconfinado al noroeste de la línea de afloramientos de la formación Navarrete, y en condiciones semi-libres en la zona comprendida entre esta línea y la sierra de Samalayuca. El medio granular que sobreyace al fracturado en esta última zona está compuesto por limos, arcillas y arenas, y no es lo suficientemente permeable para constituir un acuífero, pero su porción de sedimentos gruesos es lo suficientemente alta para presentar drenaje diferido.

El Horst secundario que se manifiesta superficialmente en la línea de afloramientos de la formación Navarrete presenta un contraste notable en su permeabilidad. Este Horst es prácticamente impermeable hacia el sur de la central termoeléctrica y alcanza permeabilidades muy altas en los terrenos de la central y hacia el noroeste de la misma.

El acuífero fracturado presenta permeabilidades particularmente altas en la zona comprendida entre la sierra de Samalayuca y la línea de afloramientos de la formación Navarrete, como consecuencia del intenso fracturamiento producido por los esfuerzos tectónicos asociados con la formación del sistema estructural actual.

El medio fracturado presenta un espesor activo de alrededor de 40 m en los terrenos de la central termoeléctrica, en la zona comprendida entre la sierra de Samalayuca y la línea de afloramientos de la formación Navarrete, y al noroeste del poblado de Samalayuca en el centro del valle. En el resto del área de estudio este espesor es desconocido.

La superficie del valle está constituida principalmente por sedimentos no consolidados de origen aluvial, y sedimentos eólicos que cubren una extensa zona hacia el sureste del poblado de Samalayuca.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Las secciones geoeléctricas que se extienden entre la sierra de Samalayuca y la de Presidio a través del área de estudio, muestran 3 unidades hidrogeológicas principales:

- a) un medio saturado de permeabilidad media formado por arenas, gravas y arcillas,

que se extiende entre la línea de afloramientos de la formación Navarrete y la sierra de Presidio, y que constituye un acuífero granular somero tipo **libre**; (b) un medio fracturado de permeabilidad media a alta correspondiente a la parte superior de la formación Navarrete, el cual se extiende por casi todo el valle y constituye el acuífero fracturado el cual se comporta como semiconfinado; y c) una unidad semi-permeable formada principalmente por los limos y arcillas, que separa al acuífero granular del fracturado en la mayor parte del área de estudio.

5.2.- Parámetros hidráulicos

Un punto importante en todo estudio geohidrológico es el conocimiento de los parámetros hidráulicos del acuífero y su variación dentro del área de estudio.

Una prueba de bombeo realizada en el pozo Sam-II de la batería I, interpretada mediante el método modificado de Hantush, arrojó una transmisividad en el acuífero fracturado de 12 m²/día y una conductividad hidráulica vertical de la unidad semi-permeable que lo sobreyace de 0.06 m/día.

Asimismo, personal de la Comisión Federal de Electricidad, efectuó pruebas de bombeo en los pozos 4T, 7A, 3A, y 8A. estas pruebas se interpretaron mediante los métodos de Cooper-Jacob de recuperación, y modificado de Hantush. La aplicación de estos métodos proporcionó resultados del mismo orden de magnitud en cada caso. Estos resultados se presentan a continuación:

De la prueba de bombeo realizada en el pozo 4T, ubicado en terrenos de la central termoeléctrica, se obtuvo una transmisividad de 1,500 m²/día y un "coeficiente de almacenamiento" de 0.05. por otra parte, de la prueba realizada en el pozo 7A que se localiza 500 m al suroeste del pozo 4T, se obtuvo una transmisividad de 4,000 m²/día y un "coeficiente de almacenamiento" de 0.005.

Las secciones geoelectricas muestran que en la zona de los pozos 4T y 7A el acuífero fracturado subyace a un medio granular compuesto principalmente de limos y arcillas que se puede catalogar como semi-permeable. El nivel piezométrico en estos pozos se localiza por encima del contacto entre los dos medios, y el acuífero fracturado en esta zona se podría clasificar como semiconfinado. Sin embargo, los altos coeficientes de almacenamiento obtenidos sugieren la ocurrencia de drenaje diferido entre el medio granular, por lo que de acuerdo con la clasificación de Kruseman y de Ridder (1983) el acuífero fracturado es semi-libre en la zona de estos pozos.

Tanto en la prueba de bombeo realizada en el pozo 4T como en la realizada en el pozo 7A se detecta la presencia de una barrera hidráulica, que debe corresponder al tramo de baja permeabilidad del Horst secundario asociado con la línea de afloramientos de la formación Navarrete, el cual fue definido mediante los sondeos geoelectrónicos. El pozo 4T se encuentra emplazado en este Horst secundario, y los resultados de su prueba de bombeo indican una alta permeabilidad del medio fracturado en la zona de este pozo. Por lo tanto, estos resultados apoyan la interpretación de los sondeos geoelectrónicos, en cuanto a que el Horst secundario asociado con la formación Navarrete cambia abruptamente su permeabilidad, presentando un tramo de muy baja permeabilidad que se extiende hacia el sur de los terrenos de la central termoeléctrica y un tramo de alta permeabilidad que se inicia en los terrenos de la central y se extiende hacia el noroeste.

Por su parte, la prueba de bombeo efectuada en el pozo 3A, localizado en el centro del valle al noreste de la central termoeléctrica, arrojó un valor de transmisividad de 40 m²/día. En la vecindad de este pozo, la unidad semi-permeable que confina al acuífero fracturado presenta un gran espesor, y la baja transmisividad obtenida se puede deber a una baja permeabilidad secundaria, o un reducido espesor activo del acuífero, o a ambas causas, ante la relativamente alta profundidad a que se encuentra el medio fracturado en esta zona. En esta prueba de bombeo no se contó con pozo de observación, por lo que no fue posible determinar el coeficiente de almacenamiento del acuífero en la zona del pozo.

La prueba de bombeo correspondiente al pozo 8A, que se localiza a 2.5 km al oriente de la central termoeléctrica, se obtiene una transmisividad de 1,000 m²/día, y un coeficiente de almacenamiento de 0.0005. También en esta zona el acuífero fracturado se halla en condiciones de semi-confinamiento.

Con referencia al acuífero granular, se conoce de solo dos pruebas de bombeo, las cuales fueron realizadas en los pozos 35 y 51, sin contar con pozo de observación. El pozo 35 está localizado al noreste del poblado de Samalayuca y a 4 km de la sierra de Presidio, y el pozo 51 se ubica dos kilómetros al noroeste del mismo poblado.

Para calcular la conductividad hidráulica del acuífero granular se utilizó únicamente la transmisividad obtenida en el pozo 51, ya que en la zona donde se ubica el pozo 35 el acuífero granular y el fracturado se hallan en contacto directo y el valor de transmisividad en esta zona está dado por la contribución de ambos medios. La

prueba de bombeo del pozo 51 arrojó una transmisividad de 200 m²/día, y el espesor saturado del acuífero granular en la vecindad de este pozo es aproximadamente 50 m, lo cual determina una conductividad hidráulica del orden de 4 m/día

5.3.- Piezometría

Las lecturas piezométricas analizadas para este acuífero de Samalayuca fueron tomadas en marzo de 1987 y corresponden exclusivamente al acuífero granular y fracturado, también se tomaron en cuenta los datos obtenidos por C.F.E. en diciembre de 1986 para la elaboración del análisis del estudio geohidrológico del acuífero de Samalayuca, Chih. y diseño de una política de explotación óptima para el abastecimiento de la central termoeléctrica de Samalayuca, elaborado en 1987, bajo contrato con la Universidad Autónoma de Chihuahua.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Acuífero granular

Para marzo de 1987, la profundidad al nivel estático en la zona, varía de 3 a 20 m, localizándose los niveles más someros en la porción central del valle con valores de 3.0 m, mientras que los más profundos se ubican en dirección de la sierra de Presidio, en la zona del rancho Los Patitos y ejido La Luz.

De acuerdo a los datos obtenidos por C.F.E. en diciembre de 1986, la profundidad al nivel estático varía de 7 a 20 m, ubicándose los valores más someros, en la zona central del valle y los más profundos en dirección de las sierras, localizándose los más profundos en las estribaciones de la sierra de Presidio, en la zona noreste; mientras que al suroeste en la zona de las instalaciones de la central termoeléctrica se tienen valores de 8 a 12 m de profundidad.

5.4.2.- Elevación del nivel estático

Acuífero granular

En el acuífero granular las equipotenciales varían de 1,286 a 1,210 msnm, ubicándose las mayores elevaciones del nivel piezométrico en la porción sureste y las menores, en el área occidental de la zona.

En forma general la dirección de flujo es hacia el noroeste; sin embargo, en forma local existe un flujo radial concéntrico, en la porción occidental, mostrando un cono definido por la equipotencial de 1,210 msnm, cambiando la dirección general del flujo

hacia la zona, donde se ubican algunos de los pozos de C.F.E., siendo el probable origen del cono, la entrada en operación en 1986, de 7 pozos que extraen agua de este acuífero.

5.4.3.- Evolución del nivel estático

Acuífero granular

Con los datos obtenidos por esta dependencia, el período de análisis de la evolución del nivel estático del acuífero granular, fue de enero de 1979 a marzo de 1987, obteniéndose que en forma general el acuífero se encuentra en un estado de subexplotación, ya que, en la mayor parte del área el acuífero no presenta evolución o esta es positiva y solo presenta un valor máximo de abatimiento de 3.0 m, en la zona del rancho Los Patitos, siendo esto muy local, presentándose también, valores de abatimiento de 1.0 m, manifestándose una sobreexplotación muy local.

En el análisis que se hace con los datos de C.F.E. para el acuífero granular, se toma el período de diciembre 1985-1986, donde se manifiestan valores de abatimiento de 1.0 a 3.0 en la zona del poblado de Samalayuca y la central termoeléctrica y una tendencia al equilibrio y hasta recuperaciones de 1.0 m en el resto del área.

La zona de abatimiento que se presenta en la zona de la central termoeléctrica, coincide con la entrada en operación de la batería de pozos que se ubica en esa área.

Acuífero semiconfinado (fracturado)

Para el acuífero fracturado, también se tomó el período diciembre 1985-1986, donde se observan dos áreas con valores extremos de evolución. Una es la zona donde se ubica la central termoeléctrica y el poblado de Samalayuca, área donde existen abatimientos hasta de 2.0 m, y otra inmediatamente al norte, con recuperaciones hasta de 10.0 m, en el período.

La zona de abatimientos tiene relación con la entrada en operación de la batería de pozos ubicada en esa área, al igual que los abatimientos registrados en el acuífero granular, debido probablemente a que los pozos extraen agua de los dos acuíferos, o bien, como el estrato subyacente al acuífero fracturado es semiconfinado de baja permeabilidad, puede ser drenado al haber un cambio de carga hidráulica afectando al acuífero granular, manifestándose los abatimientos en ambos acuíferos.

En lo que respecta al resto del acuífero, este manifiesta una tendencia al equilibrio, mostrando pequeñas recuperaciones de hasta 1.0 en el período analizado.

5.5.- Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Por su contenido en sólidos totales disueltos, el agua subterránea que circula en el área de Samalayuca varía entre dulce y salada, predominando la calidad dulce.

En el acuífero granular somero el agua varía en la dirección del flujo subterráneo de sulfatada bicarbonatada cálcica a sulfatada cálcica.

En cuanto al acuífero fracturado, en la zona de la batería 1 de pozos de C.F.E., predomina el tipo de agua sulfatada sódica en los pozos de mayor profundidad, y sulfatada cálcica en los pozos menos profundos. En la zona de la batería 2 de la C.F.E. el agua es de tipo cálcico, presentándose los más altos contenidos de ion calcio en la vecindad de los pozos 7A y 9A. El muestreo en los pozos de la batería 3 indica que en esta zona el agua es de tipo sulfatada cálcica.

La mayor limitante al uso del agua para la operación de la central termoeléctrica, la establece las altas concentraciones de calcio en los pozos 7-A y 9-A.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información que se desprende de los estudios efectuados y algunos recorridos de campo se ha estimado que en este acuífero existen alrededor de 164 aprovechamientos hidráulicos subterráneos, de los cuales 91 corresponden al sector agrícola, 24 al municipal e industrial y 39 al uso ganadero y doméstico.

Aunque no se ha efectuado una hidrometría reciente se estima que la explotación no ha crecido en forma considerable, por lo que podemos asumir que con esta infraestructura se extrae un volumen anual de 8.49 millones de metros cúbicos de los cuales el 73 % se destina al uso agrícola.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

7.1 Entradas

7.1.1 Recarga natural

A nivel regional, la recarga al sistema acuífero es escasa, en virtud de las condiciones de baja precipitación pluvial y alta evapotranspiración que caracterizan la hidroclimatología de la región. Esta recarga se efectúa principalmente por infiltración directa del agua de lluvia o nieve a través de las dunas y médanos, favorecida por la baja retención específica de estos depósitos arenosos, y por infiltración de agua de escurrimiento en algunas zonas de piamonte.

En el área de estudio, la presencia de sedimentos de origen eólico es mínima y la recarga natural al sistema acuífero por infiltración directa a través de los materiales aluviales es insignificante, dado el alto contenido de limos y arcillas en la capa superficial. así mismo, no existen escurrimientos superficiales de importancia que contribuyan a recargar el acuífero.

La recarga por precipitación originada en las sierras y sus flancos es también muy escasa dada la baja permeabilidad de las rocas que forman estas sierras y la reducida área de captación que presentan.

7.1.2 Recarga inducida

Los estudios geohidrológicos que se han efectuado en la zona no manifiestan la identificación de una recarga inducida, toda vez que los gradientes hidráulicos del nivel piezométrico se han mantenido en un rango hasta cierto punto normal, además que la evapotranspiración evita que el agua derivada de los sobre riegos que transiten hacia el acuífero.

7.1.3.- Flujo horizontal

La única afluencia importante de agua al sistema acuífero del valle de Samalayuca la constituye el flujo subterráneo regional proveniente del sureste, el cual es producto de un sistema de flujos establecidos en forma regional.

En el sistema acuífero de Samalayuca se ha estimado una recarga media por flujo horizontal de **16 hm³** por año, en donde el acuífero granular recibe el 17 % de esta recarga mientras que el acuífero fracturado recibe el 83 % restante.

7.2 Salidas

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

En el acuífero granular somero se encuentran emplazados la mayoría de los pozos de uso agrícola y doméstico, mientras que los pozos de la comisión federal de electricidad aprovechan el acuífero fracturado.

Se estima una extracción total anual de **8.5 hm³**, los cuales se destinan principalmente para el uso agrícola e industrial, la extracción se efectúa en la parte granular y en la parte fracturada del acuífero en proporciones de 50 % para cada una.

7.2.2 Descargas naturales

Del estudio geohidrológico efectuado en 1987 se desprende sobre la existencia de una salida natural mediante el afloramiento de agua subterránea con cuatro manantiales, sin embargo, no se consigna el caudal que aportan estos afloramientos.

De acuerdo con algunos recorridos efectuados por brigadas de campo se estima que en promedio y en forma conjunta estos aportan un caudal de 4 lps equivalente a **0.1 hm³**.

7.2.3.- Flujo subterráneo

La descarga del acuífero por flujo subterráneo se efectúa mediante dos líneas. La primera es una salida a través del espacio granular donde se estima un millón de metros cúbicos y la segunda donde la salida es de 6.51 millones de metros cúbicos por año.

Sumando estos dos flujos, la salida total por flujo subterráneo se estima en **7.50 hm³** por año.

7.2.4.- Evapotranspiración

De los estudios geohidrológicos que se han efectuado se desprende que la evapotranspiración potencial es relativamente alta, originado por el tipo del clima de la región, sin embargo, este fenómeno no alcanza a actuar en los niveles superiores del acuífero ya que estos se encuentran suficientemente profundos, evitando por este conducto una salida en el sistema.

7.3 Cambio de almacenamiento

Dado que la mayor parte del acuífero no presenta en general una evolución negativa en el nivel estático tanto en la parte granular como en la parte fracturada (semiconfinado), se asume que no existe un cambio de almacenamiento como producto de su explotación.

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:

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

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 que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **16.1 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para el acuífero Reforma, en el estado de Chiapas, existe una descarga natural comprometida de **0.00 hm³/año**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **29,763,230 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 16.1 - 0.0 - 29.763230 \\ \text{DMA} &= -13.663230 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **13,663,230 m³** anuales que se está extrayendo acosta del almacenamiento no renovable del acuífero.

9. BIBLIOGRAFÍA

COMISION FEDERAL ELECTRICIDAD. 1979. "Estudio geohidrológico del área Cd. Juárez Samalayuca y alternativas regionales para explotación de agua subterránea en el estado de Chihuahua, tomo I"

COMISION FEDERAL ELECTRICIDAD. 1979. "Estudio geohidrológico sucesivo C.T. Samalayuca"

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD Y UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHIHUAHUA. 1987. "Análisis del estudio geohidrológico del acuífero de Samalayuca, Chih. y diseño de una política de explotación óptima para el abastecimiento de la central termoeléctrica de Samalayuca."

COMISION NACIONAL DEL AGUA 1999 "Información básica de los acuíferos del estado de Chihuahua".

COMISION NACIONAL DEL AGUA 1999. "Guía para la elaboración del documento de respaldo para la publicación de la disponibilidad de acuífero".

FACULTAD DE INGENIERIA, UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHIHUAHUA Y COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD; REVISTA INGENIERIA HIDRAULICA EN MEXICO. MAYO-AGOSTO DE 1989. "Modelación digital y optimización de acuíferos" dedicado al acuífero de Samalayuca, Chih.

INSTITUTO DE GEOFISICA DE LA U.N.A.M. 1981. "Segundo informe sobre el estudio geohidrológico de la zona valle desierto de Samalayuca, Chih."

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHIHUAHUA. 1997. "Determinación de la recarga vertical y estimación del potencial de contaminación en un sitio de confinamiento de material radiactivo, en el desierto de Samalayuca, Chih."

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRÁFICA E INFORMÁTICA. Cartas topográficas y geológicas.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRÁFICA E INFORMÁTICA. 1999. "Anuario estadístico del estado de Chihuahua".

SECRETARÍA DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO. 1999. "Ley federal de derechos en materia de aguas".