

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Santa Fé Del Pino
(0515), Estado de Coahuila***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación
20 de abril de 2015*

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

| CLAVE | ACUÍFERO | R | DNCOM | VCAS | VEXTET | DAS | DÉFICIT |
|---------------------------|-------------------|--|-------|----------|--------|-----------|----------|
| | | CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES | | | | | |
| ESTADO DE COAHUILA | | | | | | | |
| 0515 | SANTA FE DEL PINO | 19.5 | 1.0 | 0.157807 | 1.1 | 18.342193 | 0.000000 |

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.



***Comisión Nacional del Agua
Subdirección General Técnica
Gerencia de Aguas Subterráneas
Subgerencia de Evaluación y
Ordenamiento de Acuíferos***

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN
EL ACUÍFERO SANTA FÉ DEL PINO (0515), ESTADO DE
COAHUILA***

México, D.F., Marzo 2011

CONTENIDO

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | GENERALIDADES | 1 |
| | Antecedentes | 1 |
| 1.1. | Localización | 1 |
| 1.2. | Situación administrativa del acuífero | 4 |
| 2. | ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD | 4 |
| 3. | FISIOGRAFÍA | 5 |
| 3.1. | Provincias fisiográficas | 5 |
| 3.2. | Clima | 5 |
| 3.3. | Hidrografía | 6 |
| 3.4. | Geomorfología | 6 |
| 4. | GEOLOGÍA | 7 |
| 4.1. | Estratigrafía | 9 |
| 4.2. | Geología estructural | 13 |
| 4.3. | Geología del subsuelo | 13 |
| 5. | HIDROGEOLOGÍA | 14 |
| 5.1. | Tipo de acuífero | 14 |
| 5.2. | Parámetros hidráulicos | 14 |
| 5.3. | Piezometría | 14 |
| 5.4. | Comportamiento hidráulico | 14 |
| 5.5. | Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea | 15 |
| 6. | CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA | 16 |
| 7. | BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS | 16 |
| 7.1. | Entradas | 16 |
| 7.1.1. | Recarga vertical (Rv) | 17 |
| 7.2. | Salidas | 21 |
| 7.2.1. | Bombeo (B) | 21 |
| 7.2.2. | Descarga por manantiales (Dm) | 21 |
| 8. | DISPONIBILIDAD | 22 |
| 8.1. | Recarga total media anual (Rt) | 22 |
| 8.2. | Descarga natural comprometida (DNCOM) | 22 |
| 8.3. | Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS) | 22 |
| 8.4. | Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS) | 23 |
| 9. | BIBLIOGRAFÍA | 23 |

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA).

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1. Localización

El Acuífero Santa Fe del Pino, definido con la clave 0515 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción noroeste del estado de Coahuila, entre los paralelos 27° 58' y 29° 18' de latitud norte y los meridianos 102° 16' y 103° 46' de longitud oeste, abarca una superficie aproximada de 10,362 km².

Limita al norte con los Estados Unidos de América; al este con los acuíferos Serranía del Burro, Región Carbonífera y Monclova; al sur con Laguna el Guaje y Cuatro Ciénegas-Ocampo, todos ellos pertenecientes al estado de Coahuila; al oeste limita con los acuíferos Manuel Benavides y Laguna los Alazanes, pertenecientes al estado de Chihuahua (figura 1).

Geopolíticamente, el acuífero Santa Fe del Pino ocupa la porción norte del municipio Ocampo y en menor proporción a los municipios de Acuña, Múzquiz, San Buenaventura y Sierra Mojada, todos ellos pertenecientes al estado de Coahuila.

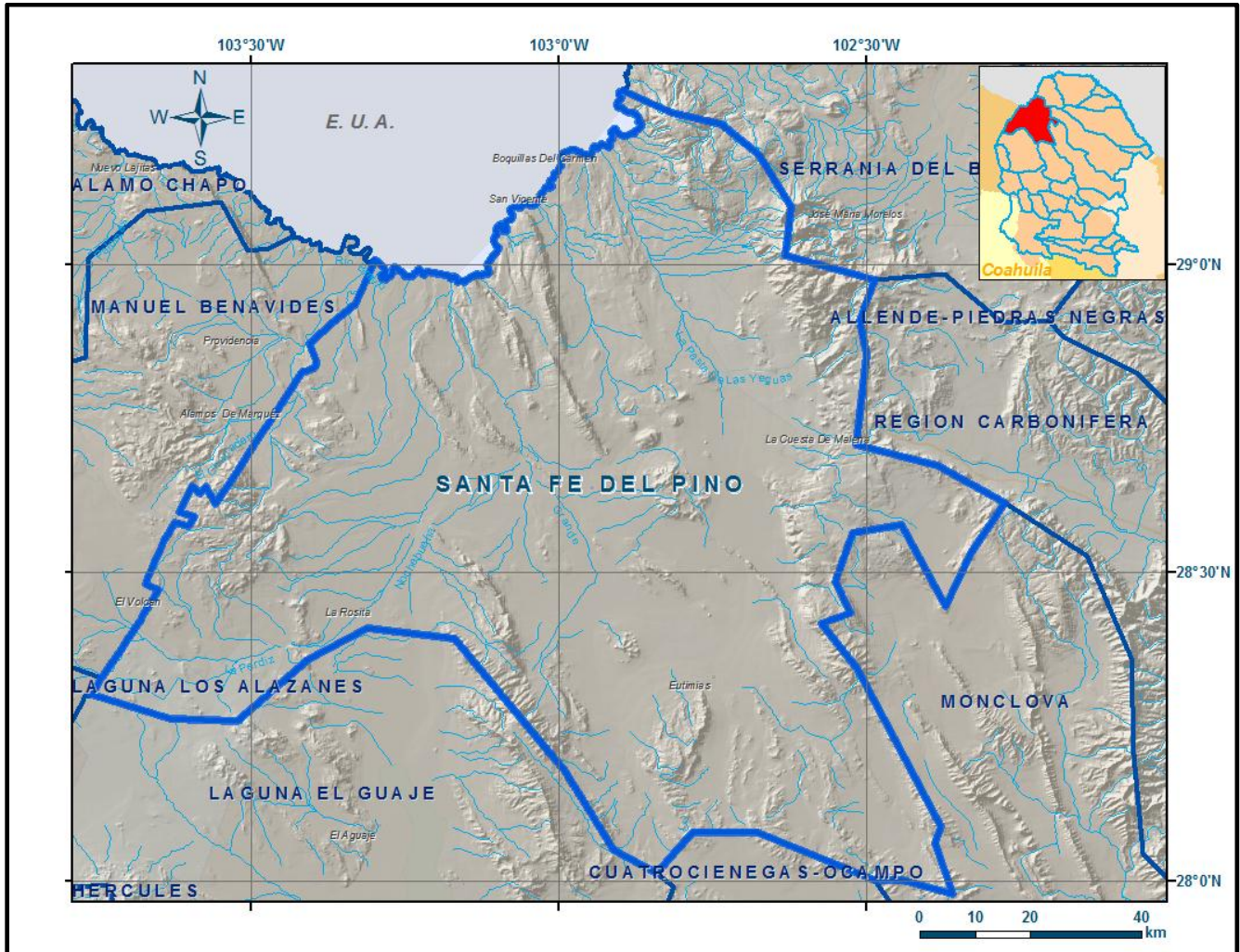


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

| ACUIFERO 0515 SANTA FE DEL PINO | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------|---------|----------|---------------|---------|----------|--|
| VERTICE | LONGITUD OESTE | | | LATITUD NORTE | | | OBSERVACIONES |
| | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | |
| 1 | 102 | 16 | 36.1 | 28 | 36 | 44.5 | |
| 2 | 102 | 19 | 51.4 | 28 | 31 | 52.6 | |
| 3 | 102 | 22 | 22.5 | 28 | 26 | 46.1 | |
| 4 | 102 | 26 | 39.6 | 28 | 34 | 36.3 | |
| 5 | 102 | 31 | 21.3 | 28 | 33 | 53.5 | |
| 6 | 102 | 33 | 5.1 | 28 | 29 | 6.3 | |
| 7 | 102 | 31 | 32.9 | 28 | 26 | 2.0 | |
| 8 | 102 | 34 | 28.4 | 28 | 25 | 1.6 | |
| 9 | 102 | 30 | 53.8 | 28 | 20 | 38.6 | |
| 10 | 102 | 22 | 45.1 | 28 | 5 | 13.6 | |
| 11 | 102 | 23 | 17.6 | 28 | 3 | 37.1 | |
| 12 | 102 | 21 | 41.8 | 27 | 58 | 37.9 | |
| 13 | 102 | 26 | 34.2 | 28 | 0 | 2.6 | |
| 14 | 102 | 29 | 14.2 | 28 | 0 | 1.1 | |
| 15 | 102 | 40 | 37.5 | 28 | 4 | 39.9 | |
| 16 | 102 | 46 | 57.6 | 28 | 4 | 40.7 | |
| 17 | 102 | 50 | 31.7 | 28 | 0 | 45.5 | |
| 18 | 102 | 54 | 38.7 | 28 | 2 | 59.3 | |
| 19 | 102 | 59 | 22.2 | 28 | 10 | 36.3 | |
| 20 | 103 | 10 | 8.9 | 28 | 23 | 31.5 | |
| 21 | 103 | 18 | 38.7 | 28 | 24 | 30.6 | |
| 22 | 103 | 24 | 23.5 | 28 | 21 | 28.5 | |
| 23 | 103 | 31 | 19.0 | 28 | 15 | 31.2 | |
| 24 | 103 | 37 | 52.8 | 28 | 15 | 44.8 | |
| 25 | 103 | 45 | 33.0 | 28 | 18 | 7.8 | DEL 25 AL 26 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 26 | 103 | 44 | 34.4 | 28 | 19 | 40.9 | DEL 26 AL 27 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 27 | 103 | 17 | 55.5 | 29 | 0 | 24.0 | DEL 27 AL 28 POR EL LIMITE INTERNACIONAL |
| 28 | 102 | 53 | 47.1 | 29 | 16 | 56.1 | |
| 29 | 102 | 48 | 59.1 | 29 | 14 | 43.0 | |
| 30 | 102 | 44 | 8.7 | 29 | 13 | 35.6 | |
| 31 | 102 | 40 | 30.5 | 29 | 10 | 40.0 | |
| 32 | 102 | 37 | 19.4 | 29 | 5 | 33.9 | |
| 33 | 102 | 37 | 58.6 | 29 | 0 | 53.7 | |
| 34 | 102 | 29 | 15.4 | 28 | 58 | 27.4 | |
| 35 | 102 | 30 | 40.4 | 28 | 54 | 28.7 | |
| 36 | 102 | 29 | 59.2 | 28 | 51 | 13.6 | |
| 37 | 102 | 31 | 5.3 | 28 | 42 | 22.5 | |
| 38 | 102 | 23 | 10.2 | 28 | 40 | 21.0 | |
| 1 | 102 | 16 | 36.1 | 28 | 36 | 44.5 | |

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Santa Fe del Pino pertenece al Organismo de Cuenca VI “Río Bravo” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Coahuila. En el territorio completo del acuífero no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2010, los municipios de Ocampo, Acuña, Múzquiz, y Sierra Mojada, se clasifican como zona de disponibilidad 6 y San Buenaventura como zona de disponibilidad 5.

El principal usuario es el Doméstico. Actualmente el territorio que cubre el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). Una pequeña porción al noreste es un área natural protegida.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero se han llevado a cabo dos estudios geohidrológicos de evaluación, además de otros estudios en acuíferos vecinos, entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

ESTUDIO DE FOTOINTERPRETACIÓN GEOHIDROLÓGICA EN EL MUNICIPIO DE OCAMPO, COAH., elaborado por la empresa FOTOIN S.A., para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1982. El objetivo principal de este trabajo consistió en definir áreas o estructuras geológicas regionales que tengan mayores condiciones geohidrológicas.

ESTUDIO DE LA GEOHIDROLOGÍA DE LA ZONA DE EXPLOTACIÓN DEL TAJO PROMETEO DE SU MINA EN HÉRCULES, COAH., elaborado por la empresa Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A., para la CIA. Minera del Norte, S.A., 1991. El objetivo de este estudio fue que mediante la simulación computacional del sistema acuífero del Tajo Prometeo, se analizaran las posibilidades de desalojo del agua subterránea, para proponer así el sistema de bombeo más conveniente, que permitiera un avance de los trabajos de explotación de la mina.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS SANTA FE DEL PINO, HÉRCULES, LAGUNA EL GUAJE, LAGUNA EL COYOTE, ACATITA, LAS DELICIAS, SERRANÍA DEL BURRO Y VALLE DE SAN MARCOS, EN EL ESTADO DE COAHUILA; elaborado mediante convenio con el Instituto del Agua del Estado de Nuevo León, para la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en 2010. El estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de la condición geohidrológica de los acuíferos, conocer su funcionamiento hidrodinámico y recabar información para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea. Como parte de

sus actividades de campo incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos.

Este estudio fue la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincias fisiográficas

De acuerdo con la clasificación fisiográfica del INEGI, la mayor parte del acuífero pertenece a la Provincia Sierra Madre Oriental y a la subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses, en esta región dominan los Litosoles y Rendzinas, también se encuentran Regosoles Calcáricos, Xerosoles lúvicos y cálcicos, Planosol mólico, Feozem háplico, Castañozem háplicos, Solonchak órtico y Vertisol crómico.

Una pequeña porción del acuífero pertenece a la Provincia Sierras y Llanuras del Norte y a la subprovincia de las Llanuras y Sierras Volcánicas, donde se encuentra en abundancia Xerosoles y Yermosoles, que son suelos típicamente localizados en zonas con clima seco o semiseco.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, los climas predominantes para el acuífero Santa Fe del Pino se clasifican como BWhw y BWhx, que corresponden a un tipo muy seco, semicálido y con lluvias en verano. Hacia las elevaciones topográficas de la Sierras del oriente (El Carmen y La Encantada), el clima cambia al tipo BS₁kw(x) que se clasifica como semiseco, templado y con lluvias en verano que alcanzan entre el 5 y el 10.2 % de la precipitación anual.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 2 estación climatológica, que tienen influencia en el área del acuífero: San Miguel y Eutimias, cuyo registro comprende un periodo de 30 años. Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **260 mm** y **19 °C** respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2140 mm anuales**.

El régimen pluvial presenta, en términos generales, dos periodos de ocurrencia, uno de mayo a octubre, que es cuando se registran los valores más altos y otro de noviembre a abril, con

precipitaciones menos significativas. En cuanto a la distribución anual de la temperatura media, esta es de 20°C en la parte central y disminuye a 14°C en las elevaciones topográficas del oriente.

3.3. Hidrografía

El acuífero Santa Fe del Pino se ubica dentro de la Región Hidrológica 24 “Bravo Conchos”, la más extensa en la entidad cubriendo aproximadamente un 63 % del territorio, se caracteriza por su aridez y la ausencia casi total de elevaciones importantes, cuenca del Río Bravo-Ojinaga. La mayoría de las corrientes del norte descargan sus aguas en el Río Bravo, también en la zona se tiene la presencia de algunas cuencas endorreicas.

3.4. Geomorfología

En la zona comprendida por el acuífero, se distinguen 3 principales unidades geomorfológicas: sierras anticlinales, sierras ígneas y valles.

Sierras calcáreas: se constituyen por rocas calcáreas del Cretácico destacando las que constituyen el límite oriental del acuífero (sierras El Carmen y La Encantada). Estas sierras se encuentran formadas por plegamientos anticlinales con una orientación NNW-SSE y por flancos de fuertes pendientes que se elevan a más de 2000 msnm y a 800 metros sobre los valles. Se encuentran disectadas por arroyos que han llegado a formar profundos cañones. La carretera que comunica a San Miguel con Múzquiz, atraviesa la Sierra El Carmen en el sitio conocido como Cuesta de Malena, donde se aprecian las fuertes pendientes y cañones espectaculares.

Otras sierras de características similares pero menor tamaño, se encuentran diseminadas en una franja que corre NNW-SSE por el centro del acuífero, siendo las sobresalientes las sierras de San Vicente, Carrasco y La Harina al norte; El Chupadero, El Potrero y Los escondidos al centro y; El Dormido, El Chicalote, La Cuchilla, Eutimias y Los Caballos, en el sur. Estas sierras se encuentran aisladas y rodeadas por los valles de la zona. Corresponden en su mayoría a anticlinales de alrededor de 20 km de longitud y 3 km de ancho, que se elevan a entre 1500 y 1700 msnm, mientras que los valles se ubican a entre 1200 y 1250 msnm.

Sierras Ígneas: en la franja este-oeste hacia la parte norte del acuífero, se encuentran un gran número de sierras formadas por intrusivos, destacando La Vasca y los cerros San José y Pedregoso. Presentan formas circulares de relieves redondeados que en algunos sitios están deformadas por la erosión. Se elevan a 200 metros sobre los valles circundantes. Prácticamente no se observan arroyos que disecten a esta unidad.

Valles: En la zona se encuentran extensos valles, presentándose en forma plana, con ligera inclinación en su transición hacia las sierras. La pendiente general es hacia el norte. Los valles en la parte sur se encuentra a 1200 msnm y el terreno desciende gradualmente en dirección al norte hasta el Río Bravo, donde los valles o partes bajas tienen alrededor de 700 msnm.

No existen corrientes superficiales de importancia debido al clima árido, por lo que la escorrentía se restringe a arroyos del tipo intermitente perdiéndose generalmente hacia el centro de los valles. Como es típico de las zonas áridas del norte del País, las lluvias se llegan a presentar en pocos eventos que dan origen a corrientes trezadas hacia los valles.

4. GEOLOGÍA

La geología regional está representada básicamente por rocas sedimentarias marinas y continentales y se encuentra controlada por los paleoelementos denominados: Cuenca de Chihuahua, Golfo de Sabinas y Plataforma del Burro Peyotes (Carta Geológica-Minera H13-12 "San Miguel" Esc. 1:250,000, SGM 2008). La distribución de las diferentes unidades litológica se presenta en la figura 2.

Estratigráficamente las rocas más antiguas que afloran en la región, están en el Golfo de Sabinas representadas por una secuencia de lutita, calcarenita oolítica, arenisca, limolita y dolomita que representan a la Formación La Mula, (KhbLu-Cz). En cambio de facies se presenta una secuencia alternada de yesos y capas delgadas de caliza con textura mudstone a wackestone con fragmentos de conchas que integran a la Formación La Virgen, (KhapCz-Y).

Sobreyaciendo concordantemente y presente en los tres paleoelementos aflora la Formación Cupido, (Khap Cz); que consiste de una secuencia de estratos delgados a medios de dolomía arenosa, asociados con estromatolitos y oolitos. La parte superior es caliza en estratos medios a gruesos de textura mudstone a wackestone, sobreyaciendo de forma concordante. La Formación La Peña (KapCz-Lu) es una secuencia de caliza arcillosa de estratos delgados alternando con lutita calcárea, presenta nódulos de pedernal y el fósil índice *Dufrenoya justinae* (Hill) del Aptiano.

Sobreyaciendo concordantemente aflora la Formación Aurora, (KaCz-Do) constituida por caliza de estratificación media a masiva con textura mudstone-wackestone, tiene horizontes de dolomía, nódulos de pedernal y estilolitas paralelas a la estratificación.

Esta unidad es correlacionable con el complejo arrecifal El Burro, por cambio de facies lateral en la plataforma del Burro-Peyotes, el cual Glen Rose (Ka(i)Cz-Lu) constituida por caliza con líneas estilolíticas, de estratificación gruesa; la West-Nueces (KaLu) formada por lutitas con moluscos y conchas, con intercalación de caliza de textura wackestone; la Formación Edwards (KaCz-Lu) representada por caliza de textura mudstone-wackestone con miliólidos y nódulos de pedernal en

estratificación delgada, con algunas intercalaciones de lutita; además con la Formación Finlay-Bronce (KaCz-Lu1) en la Cuenca de Chihuahua, constituida por caliza intercalada con caliza arcillosa y lutita calcárea, en estratos delgados a medios.

Sobreyaciendo concordantemente en el Golfo de Sabinas se tiene a la Formación Kiamichi, en la plataforma del Burro Peyotes la Formación Mc Knight y en la cuenca de Chihuahua a la Formación Benevides (KaLu-Cz); en general están integradas por un miembro inferior de lutita, un intermedio de caliza margosa y uno superior que contiene intercalaciones de lutita y caliza.

En el mismo orden de los paleoelementos se encuentran sobreyaciendo de forma concordante las formaciones Georgetown, Salomón Peak y en la Cuenca de Chihuahua la Formación Santa Elena en un cambio de facies Loma de Plata (KaCz); constituidas en general por caliza muy fosilífera, textura mudstone-wackestone, con nódulos y lentes de pedernal. La Formación del Río, (KceLu-Cz) sobreyace concordantemente a las formaciones antes citadas, está formada por lutita y caliza delgada que subyacen concordantemente a la Formación Buda (KceCz) conformada por caliza de textura mudstone a wackestone, de estratificación delgada a media que presentan estructuras de tipo "boudinage".

Concordantemente aflora la Formación Eagle Ford y en la Cuenca de Chihuahua corresponde a las formaciones Boquillas y Ojinaga (KcetLu-Cz) representadas por lutita y caliza arcillosa, que contienen *Inoceramus labiatus*. La Formación Austin sobreyace concordantemente a la Formación Eagle Ford y en la Cuenca de Chihuahua a las Formación San Vicente (KcossCz- Lu), están formadas por estratos medianos de caliza con horizontes delgados de lutita.

En este mismo paleoelemento sobreyaciendo concordantemente aflora la Formación Pen (KcossLu-Cz) que consiste de caliza de estratificación delgada interestratificada con lutita calcárea arenosa, en estratos de caliza de color negro y escasos lentes de carbón, en ocasiones es muy arenosa; sobreyaciendo concordantemente se encuentra la Formación Aguja (KsscAr-Lu) constituida por arenisca con alternancia de lutita muy deleznable con abundantes fragmentos de huesos de diversas medidas, muchos de los cuales pueden ser de dinosaurio y troncos de madera petrificada.

Una secuencia de rocas volcánicas del Terciario se encuentra cubriendo discordantemente al paquete sedimentario. Se diferenciaron dos miembros del Oligoceno, el primero se localiza al noroeste y suroeste de la carta, y consiste de andesita y toba andesítica, (ToA-TA) el segundo, que aflora al noroeste, oeste y sureste, está compuesto por riolita y toba riolítica, (To R-TR) y cuerpos de basalto (ToB). Así mismo en el área se presentan cuerpos intrusivos que Gabro (KmGa), cuarzomonzonita (TeqMz), pórfido andesítico (ToPA), pórfido riolítico (ToPR), monzonita (ToMz), diorita-granito (ToD-Gr), cuarzolita (Tpl qLa) y pórfido granítico (TplPGr). Localizados al noroeste de la zona, estos cuerpos se encuentran afectando a la secuencia sedimentaria en forma de troncos,

diques y sills; forma en algunos casos rocas metamórficas de contacto como skarn y zonas marmorizadas. En el Plioceno se tienen depósitos de conglomerado polimíctico (T_plC_gp). Por último se tiene sedimentos Cuaternarios como gravas y boleas, sedimentos de coluvión, aluvión y depósitos lacustres.

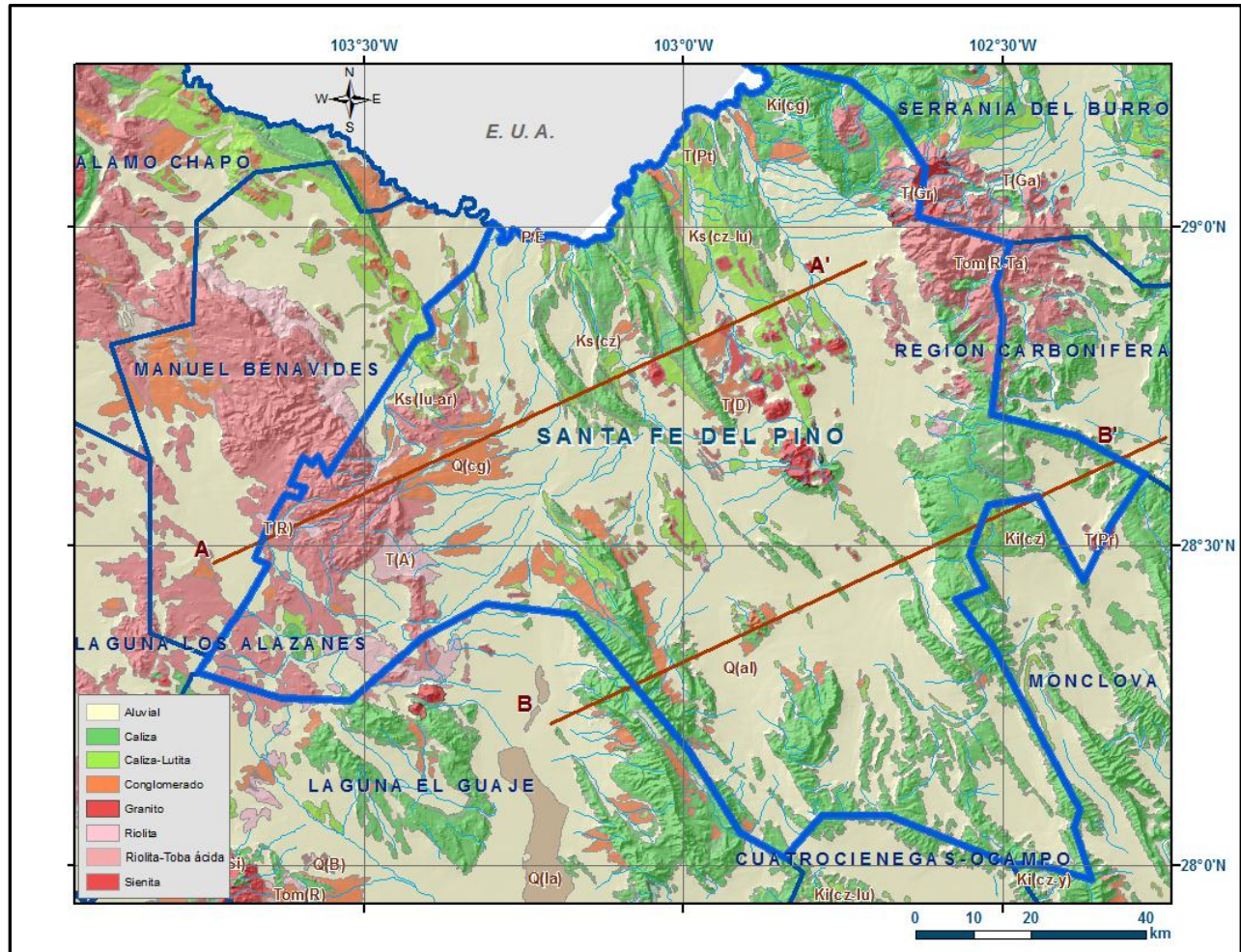


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1. Estratigrafía

La columna estratigráfica de la zona, está constituida por rocas calizas, lutitas, areniscas y conglomerados, cuyas edades varían del Cretácico Inferior al Reciente. Complementan la columna, rocas ígneas principalmente extrusivas y en menor proporción intrusivas. A continuación se describen las unidades de la más antigua a la más reciente:

Formación Cupido

La Formación Cupido que consiste en una secuencia de estratos delgados a medios de dolomía arenosa, asociados con estromatolitos y oolitos. La parte baja de esta formación, consiste de caliza

de textura fina, calcarenita y calcilutita en estratos gruesos. Incluye miliólidos. Arriba del cuerpo de calizas mencionado, se encuentran 80 metros de lutitas interestratificadas con calizas criptocristalinas que pasan a caliza de textura de calcarenita. Estas calizas incluyen oolitas y fragmentos de conchas. Los 170 metros superiores de esta sección corresponde a oolitas y calcarenitas con fragmentos de moluscos.

Formación La Peña

La Formación La Peña es una secuencia de caliza arcillosa de estratos delgados alternando con lutita calcárea, presenta nódulos de pedernal y el fósil índice *Dufrenoya justinae* (Hill) del Altiplano. La edad de la Formación corresponde al Aptiano Tardío. El medio sedimentario en el cual se llevó a cabo la depositación de esta formación, correspondió a un mar abierto y en una zona relativamente profunda.

Formación Aurora

Consiste básicamente de caliza con textura mudstone a wackestone gris, en estratos gruesos y medios, aunque también se llegan a presentar estratos delgados y masivos. Contiene, aunque no de forma abundante, pedernal, cristales de pirita y nódulos ferruginosos. Su fauna hacia la parte sur consiste principalmente de microorganismos plantónicos como globigerinaceas y tintínidos; esporádicamente presenta equinodermos, peliépodos y bioclastos. Hacia la parte norte, esta unidad cambia de facies con las Formaciones Del Carmen y Glen Rose.

Su posición estratigráfica sobre la Formación La Peña del Aptiano Tardío y bajo la Formación Kiamichi del Albiano Tardío, la sitúa en el Albiano Medio. Lo que concuerda con la presencia de algunos microfósiles como *Colomiella recta* y *Colomiella mexicana*, que corresponden a dicha edad. Por su composición litológica y contenido faunístico, se considera que esta Formación se depositó en un ambiente de aguas marinas profundas y baja energía hidráulica.

Formación Santa Elena

Está formada por calizas de textura calcilutita, de color gris medio con abundantes miliólidos y nódulos de pedernal. Se presenta en estratos gruesos a masivos. Aflora en la Sierra La Harina y en la Sierra La Vasca donde se le han medido 150 metros de espesor. Se correlaciona con la Formación Loma de Plata y con la Formación Georgetown.

Formación Loma de Plata

Esta formación se depositó en mar abierto hacia el poniente del Estado de Coahuila, mientras que su equivalente lateral hacia el oriente corresponde a la Formación Sta. Elena. Entre ambas formaciones se encuentra el complejo arrecifal de la Sierra del Burro. Corresponde a calizas de textura fina en color gris claro en estratos de 50 a 80 cm de espesor. Aflora en la Sierra de Santa Fe del Pino. Tiene una edad Albiano Superior y se correlaciona con la Formación Georgetown y la Formación Santa Elena. Según PEMEX ésta formación se divide en tres unidades:

La primera unidad tiene 30 metros de espesor y corresponde a caliza de textura fina con intercalaciones esporádicas de calizas arcillosas laminares, nódulos de pedernal y concreciones ferruginosas en estratos de 40 a 70 cm de espesor. Le sigue una segunda unidad de 18 metros de espesor formada por calizas de textura fina con intercalaciones de caliza arcillosa lajeada, en colores gris claro a crema, con algunas concreciones de fierro. Los estratos tienen entre 30 y 70 cm de espesor. Continúa la secuencia con 37 metros de caliza de textura fina con nódulos de pedernal.

Formación Boquillas

La Formación Boquillas consiste de una secuencia de calizas cretáceas, calizas arcillosas y lutitas color gris oscuro a negro. En algunos intervalos las calizas arcillosas son de estratificación delgada y/o laminar. Aflora en el Valle de Santa Fe del Pino, en el Cerro El Dormido, así como en los alrededores del Cerro Minerva. Tiene una edad que va del Cenomaniano al Santoniano.

Formación Del Río

Debido a su carácter arcilloso, la Formación Del Río generalmente está cubierta con aluvión. Presenta espesor que va de 4 a 211 metros. Un aspecto notable de esta unidad, es su marcado engrosamiento de espesor en la parte sur del área de trabajo, principalmente hacia la Sierra del Pino.

Consiste principalmente de lutitas gris oscuro a negro que intemperizan a colores rojizos, verdosos, violáceos y café amarillentos. Presenta algunas intercalaciones delgadas de arenisca calcárea de grano fino, con estratificación cruzada. Hacia su base y cima, presenta intercalaciones de calizas y calcarenitas de color gris. Contiene foraminíferos de la Familia Globigerinacea, tintínidos, huellas de amonitas, equinodermos, pelecípodos y concreciones de marcasita. La edad de esta unidad corresponde al Cenomaniano Temprano. La Formación Del Río es una unidad importante del Noreste de México y sur de Texas, debido a su amplia distribución, estabilidad litológica y posición estratigráfica. Se considera que esta unidad se depositó en una plataforma abierta y durante una etapa regional transgresiva.

Formación Buda

Esta unidad consiste en general de calizas de textura calcarenita color gris claro, aporcelanada, de estratificación delgada a media, con algunas capillas intercaladas de lutita gris claro. Presenta foraminíferos plantónicos, huellas de amonitas y bioclastos. En menor proporción contiene minerales ferruginosos y nódulos de pedernal. Tiene una amplia distribución en el noroeste de México. La edad de esta unidad es del Cenomaniano temprano.

De acuerdo a su litología y contenido faunístico, puede considerarse que esta unidad se depositó en una plataforma abierta relativamente profunda y de baja energía. Por su parte la presencia de sulfuros de fierro y nódulos de pedernal indican condiciones reductoras.

Formación Ojinaga

Originalmente se designó a esta formación, a una serie de lutitas y areniscas con estratos subordinados de caliza, dolomía y limolita con un espesor de 650 metros que aflora en el área de Ojinaga Chihuahua. Estos sedimentos tienen una distribución desde Chihuahua hasta parte del Estado de Coahuila. Las calizas presentan color gris oscuro a negro con abundantes amonitas. Tiene intercalados potentes cuerpos de lutitas. Se asigna al Turoniano.

Conglomerado Terciario

Corresponde a depósitos continentales, principalmente conglomerados poco cementados, producto del transporte y sedimentación de detritos erosionados de las partes altas y generalmente depositados en los pies de monte de las sierras. En el norte del Estado de Coahuila de le define como Conglomerado Sabinas.

El Conglomerado Sabinas fue definida en la Región Carbonífera de Sabinas, para depósitos conglomeráticos (Humphrey, 1956), que afloran a lo largo del Río Sabinas y en las partes bajas de los flancos de anticlinales. Se compone de fragmentos de caliza con diámetros que varían de 5 cm aproximadamente a 1 m, que están cementados por arcilla y carbonato de calcio. El espesor que se le ha calculado es de 30 m. Sobreyace discordantemente a las formaciones del Cretácico Superior y de acuerdo con su posición estratigráfica se le ha asignado una edad de Mioceno-Plioceno.

Rocas Ígneas Extrusivas

El poniente del acuífero y parte de la Sierra El Carmen al noreste, se encuentran formadas por rocas ígneas extrusivas, principalmente de composición riolítica y edad terciaria.

Predominan las tobas riolíticas. Se han identificado varias fallas normales (de tensión) que se extienden por varias decenas de kilómetros, generalmente en 2 sistemas, uno orientado igual que la sierra y otro perpendicular a la misma.

Rocas Ígneas Intrusivas

Sobre una franja orientada este-oeste y de alrededor de 80 kilómetros de ancho, que se extiende en parte de los estados de Coahuila y Chihuahua, se encuentran numerosos afloramientos de rocas intrusivas, principalmente dioritas y granitos. Los afloramientos más amplios se encuentran al noroeste de La Vasca.

Aluvi3n Cuaternario

Los sedimentos continentales del Cuaternario se encuentran cubriendo las partes topográficamente bajas de la zona. Consisten en aluviones depositados en piedemonte y en planicies. Los primeros son principalmente conglomerados y arenas, en cambio los últimos están formados por materiales más finos.

4.2. Geología estructural

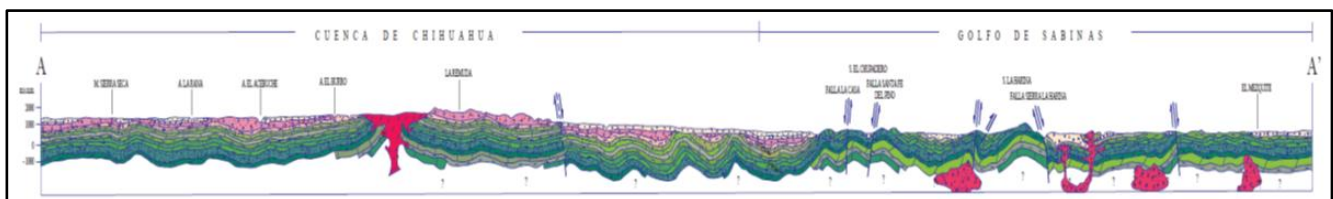
En la zona se identifican estructuras generadas por deformación frágil y dúctil, están evidenciadas por pliegues anticlinales y sinclinales simétricos y asimétricos, así como cabalgaduras con orientación general NW-SE con arrastre tectónico hacia el noreste y algunas al suroeste, así como fallas normales y laterales. Estas estructuras de la cobertura Mesozoica son producto del régimen compresivo de la Orogenia Laramide, seguida del relajamiento o desfogue de la tensión acumulada durante la compresión, iniciándose la etapa distensiva y originando el fallamiento normal y lateral del área, manifestada en los anticlinales de flancos truncados y desplazados presentes en la zona.

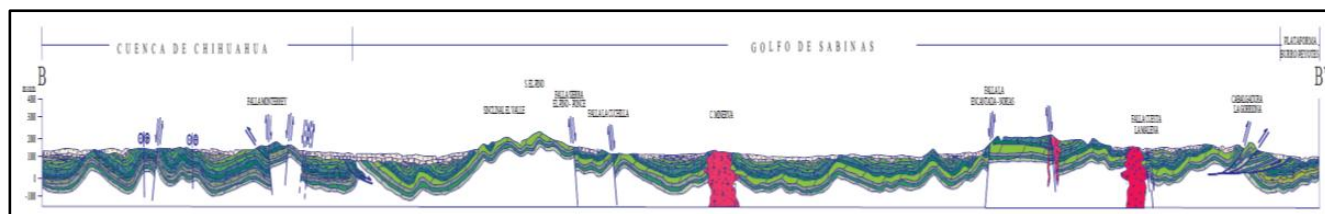
Otro evento que generó las estructuras corresponde al evento tectonomagmático, que está asociado al retroceso de la placa Farallón durante el Terciario tardío a medio. En esta etapa dentro de la zona se suscitaron una serie de intrusiones ígneas, originando estructuras dómicas semicirculares con fracturamiento. Las intrusiones ígneas se presentan en forma de diques, taponos magmáticos o "plugs", troncos alimentadores de la actividad extrusiva. Esta etapa de tectonismo extensional post-laramídico es la responsable directa y cercana en tiempo, del patrón estructural de tipo fosas y pilares que actualmente se encuentra en la región.

4.3. Geología del subsuelo

De acuerdo con la información de cortes litológicos de algunos pozos, geofísica y de geología superficial recabada en el acuífero, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos aluviales de granulometría variable y conglomerados, de permeabilidad media a alta, que constituyen las extensas planicies y los piedemonte, cuyos espesores al centro de los valles es de varios cientos de metros. La porción inferior está conformada por rocas sedimentarias como calizas, calizas arcillosas y lutitas calcáreas de las formaciones La Virgen, Cupido, La Peña y Aurora, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento, que constituyen horizontes acuíferos profundos que no han sido explorados en la zona.

Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas sedimentarias al desaparecer el fracturamiento, así como las rocas volcánicas extrusivas, los intrusivos y los productos de metamorfismo de contacto que produjo su intrusión (calizas marmorizadas, skarns y hornfels) (figura 3).





Fuente: Carta Geológica-Minera H13-12 "San Miguel" Esc. 1:250,000 (SGM, 2008)

Figura 3. Sección Geológica Esquemática

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, tanto en sentido vertical como horizontal, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y conglomerados, producto de la erosión de las rocas que constituyen las sierras que delimitan las planicies, cuyo espesor puede alcanzar varios metros en el centro del valle, localizado en las partes bajas de los valles, en el que el agua circula por arcillas, gravas y arenas de permeabilidad media y baja.

El acuífero del valle se ha venido recargando a lo largo de varios años, a partir de la poca infiltración de agua de lluvia. La descarga mediante pozos es prácticamente nula.

5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte del estudio realizado en 2010 se realizaron 10 pruebas de bombeo, de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. De la interpretación de dichas pruebas se obtuvieron valores de transmisividad que varían entre 0.77×10^{-3} y $0.01 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ para la mayoría de los pozos, sólo en dos pozos se obtuvieron valores altos de 13.33 y $22.31 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, únicamente se cuenta con la información recabada de las actividades del estudio realizado en el año 2010. No fue posible correlacionar las mediciones piezométricas de los pocos aprovechamientos censado en estudios previos.

5.4. Comportamiento hidráulico

No se cuenta con información piezométrica suficiente que permita elaborar las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático. Las escasas mediciones piezométricas

recabadas durante los recorridos de campo se encuentran dispersas en tiempo y espacio. Además, debido a la extensión superficial y a las condiciones orográficas del acuífero, existen pequeños valles intermontanos esparcidos en toda la superficie del acuífero, en los que se extrae de manera incipiente el agua subterránea de los niveles freáticos someros.

Debido al escaso número de aprovechamientos existentes en el área que cubre el acuífero y al incipiente volumen de extracción, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2010, se tomaron 77 muestras de agua subterránea en diferentes aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación, para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, Nitratos, dureza total, sólidos totales disueltos, coliformes fecales y totales, etc., para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

Las concentraciones de los diferentes iones y elementos de algunas muestras sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana, para los diferentes usos. La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores que varían de 220 a 4830 ppm, que sobrepasan el límite máximo permisible de 1000 ppm establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de STD para el agua destinada al consumo humano.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída en los aprovechamientos (norias) del norte del acuífero y en los manantiales y aprovechamientos de los alrededores de San Miguel se clasifican como de salinidad baja (C1) y contenido bajo de sodio intercambiable (S_1), que es apropiada para el riego agrícola sin restricción alguna e el tipo de suelos y de cultivos y en el resto de los aprovechamientos se clasificaron como de alta salinidad (C_3) y alto contenido de sodio intercambiable (C_3), por lo que no son recomendables para uso agrícola.

Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificó 2 tipos de familia dominante: una donde predominan los sulfatos, ya sean combinados con calcio o con sodio, se presentan en los aprovechamientos con alta salinidad y se debe a la disolución de yesos y anhidritas y la otra familia de agua es la bicarbonatada o mixta por parte de los aniones, la cual se encuentra en los aprovechamientos con baja salinidad.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos, llevado a cabo como parte del estudio realizado en 2010, se registró un total de 200 aprovechamientos: 88 pozos, 91 norias y 21 manantiales, del total de aprovechamientos, 57 se encuentran inactivos.

El volumen de extracción estimado es de **1.1 hm³ anuales**, destinados principalmente al uso doméstico. Adicionalmente, a través de manantiales se descarga un volumen de 1.0 hm³, que se destinan al uso doméstico.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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

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

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

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento de un acuífero:

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

7.1. Entradas

Las entradas al acuífero Santa Fe del Pino están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv).

No existe suficiente información piezométrica actual ni histórica en la superficie que cubre el acuífero. La escasa información disponible, procedente de estudios de campo hechos se encuentra dispersa en tiempo y espacio, es puntual e inconsistente de tal manera que no es posible extrapolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas. Aunado a esto, existen pocos aprovechamientos del agua subterránea y la superficie del acuífero está conformada en su mayor parte por planicies entre las cuales existen pequeños valles intermontanos en los que se localizan los escasos aprovechamientos.

Por estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de 10,362 km² del acuífero, para estimar el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

7.1.1. Recarga vertical (Rv)

Este proceso es la cuantificación de la penetración de agua desde la superficie del terreno hacia su interior. Esta agua toma un tiempo para convertirse en recarga, que depende, además de los factores climáticos, de la profundidad del nivel freático y las características de la zona vadosa. El agua en movimiento descendente es recarga en tránsito o agua de percolación. La recarga vertical, será estimada de acuerdo al balance hidrometeorológico a partir de la expresión:

$$V_{LL} = V_{ETR} + V_{ESC} + V_{INF} \quad (1)$$

V_{LL} = Volumen de lluvia;

V_{ETR} = Volumen evapotranspirado;

V_{ESC} = Volumen escurrido;

V_{INF} = Volumen infiltrado;

Por lo tanto, despejando el volumen infiltrado, se obtiene lo siguiente:

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)$$

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (10,362 km²) por la lámina de precipitación media anual (260 mm):

$$V_{LL} = 10362 \text{ km}^2 (0.260 \text{ m}) = \mathbf{2694.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Por otra parte, para estimar el valor de la evapotranspiración (ETR) se utilizó la fórmula empírica de Coutagne, la cual establece lo siguiente:

| | |
|--|----------------------|
| <p>COUTAGNE</p> <p>Donde: ETR= Evapotranspiración m/año P = precipitación en m/año $\chi = 1/(0.8 + 0.14 t)$ t = temperatura en °C</p> | $ETR = P - \chi P^2$ |
|--|----------------------|

La temperatura promedio anual es de 19°C, que al sustituirlo en la ecuación de Coutagne junto con el valor de precipitación de 260 mm, se obtiene un valor de evapotranspiración de 240.46 mm/año, que multiplicado por el área total resulta en un volumen evapotranspirado de:

$$V_{ETR} = 10,362 \text{ km}^2 (0.24046) = 2,491.6 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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

Para determinar el valor de escurrimiento, la normatividad establece la siguiente relación:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{VOLUMEN ANUAL DE} & & \text{PRECIPITACION} & * & \text{AREA DE LA} & * & \text{COEFICIENTE DE} \\ \text{ESCURRIMIENTO NATURAL} & = & \text{ANUAL DE LA CUENCA} & & \text{CUENCA} & & \text{ESCURRIMIENTO} \\ \text{DE LA CUENCA} & & & & & & \end{array}$$

El coeficiente de escurrimiento (C_e) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS).

Con apoyo de cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y de visitas de campo, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 2 y se determina el uso actual del suelo.

En el caso de que en la cuenca en estudio, existan diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas para obtener el promedio ponderado. Dependiendo del valor obtenido para K , el coeficiente de escurrimiento (C_e), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual expresada en mm:

$$\text{Si } K \text{ resulta menor o igual que } 0.15, \quad C_e = K (P-250) / 2000;$$

$$\text{Si } K \text{ es mayor que } 0.15, \quad C_e = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5;$$

Donde:

P= Precipitación anual;

C_e = Coeficiente de escurrimiento anual;

K = Parámetro que depende del tipo, uso y cubierta del suelo;

Tabla 2. Valores de k en función del tipo y uso del suelo (NOM-011-CONAGUA-2000)

| USO DE SUELO | TIPO DE SUELO A | TIPO DE SUELO B | TIPO DE SUELO C |
|-------------------------------------|--|--------------------|--------------------|
| Barbecho, áreas incultas y desnudas | 0.26 | 0.28 | 0.3 |
| Cultivos: | | | |
| En hilera: | 0.24 | 0.27 | 0.3 |
| Legumbres o rotación de pradera | 0.24 | 0.27 | 0.3 |
| Granos pequeños | 0.24 | 0.27 | 0.3 |
| Pastizal: | | | |
| % del suelo cubierto o pastoreo | | | |
| Más del 75% -poco- | 0.14 | 0.2 | 0.28 |
| Del 50 al 75% -regular- | 0.2 | 0.24 | 0.3 |
| Menos del 50% -excesivo- | 0.24 | 0.28 | 0.3 |
| Bosque: | | | |
| Cubierto más del 75% | 0.07 | 0.16 | 0.24 |
| Cubierto del 50 al 75% | 0.12 | 0.22 | 0.26 |
| Cubierto del 25 al 50% | 0.17 | 0.26 | 0.28 |
| Cubierto menos del 25% | 0.22 | 0.28 | 0.3 |
| Zonas urbanas | 0.26 | 0.29 | 0.32 |
| Caminos | 0.27 | 0.3 | 0.33 |
| Pradera permanente | 0.18 | 0.24 | 0.3 |
| TIPO DE SUELO | CARACTERISTICAS | | |
| A | Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos | | |
| B | Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos Tipo A; terrenos migajosos | | |
| C | Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas | | |

De acuerdo con la cartografía del CONABIO escala 1:1,000,000 para el tipo y uso de suelo, predominan los tipos Fluvisol, Planosol, Regosol, Xerosol y Yermosol (figura 4). En cuanto al uso de suelo (figura 5) de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1,000,000, un 80 % de la superficie del acuífero está cubierta por pastizal-matorral, en los que el suelo es tipo B, cubierta del 50% al 75%, por lo que $K=0.24$; 20% del acuífero presenta otro tipo de vegetación, suelo tipo B, por lo que $K=0.28$.

$$K_{ponderado} = 0.24 (0.8) + 0.28 (0.2) = \mathbf{0.25}$$

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.25, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (C_e):

$$C_e = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5 = 0.0679$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al valor de la lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento: $V_{ESC} = 0.0679 (2,694.1 \text{ hm}^3) = 183.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$.

Sustituyendo valores en la ecuación (2), se obtiene lo siguiente:

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)$$

$$V_{INF} = 2,694.1 - 2,491.6 - 183.0$$

$$V_{INF} = 19.5 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de $2,694.1 \text{ hm}^3/\text{año}$, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.007.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de $19.5 \text{ hm}^3/\text{año}$ en los $10,365 \text{ km}^2$ de superficie del acuífero. Por lo que la $R_v = 19.5 \text{ hm}^3/\text{año}$.

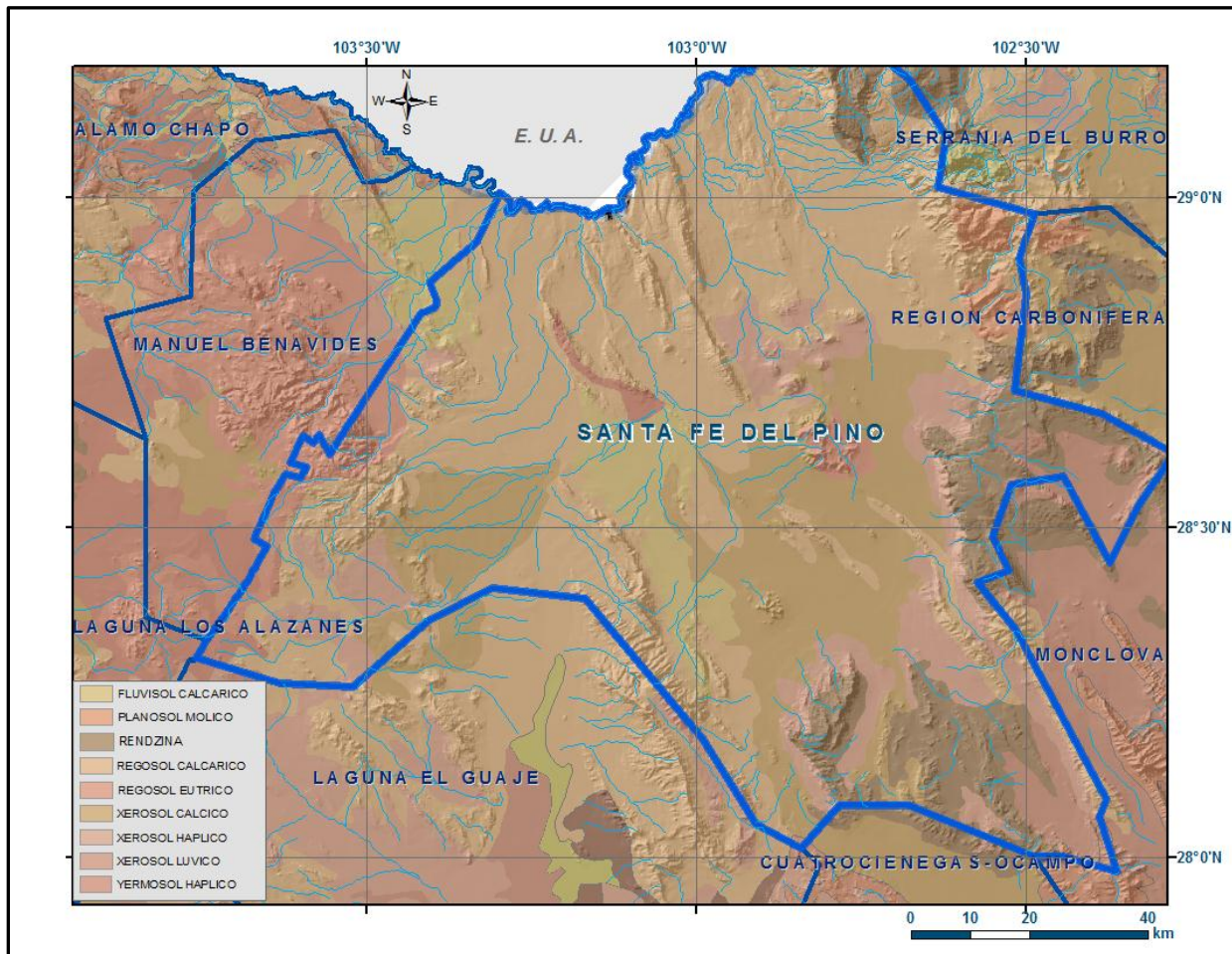


Figura 4. Tipos de suelo

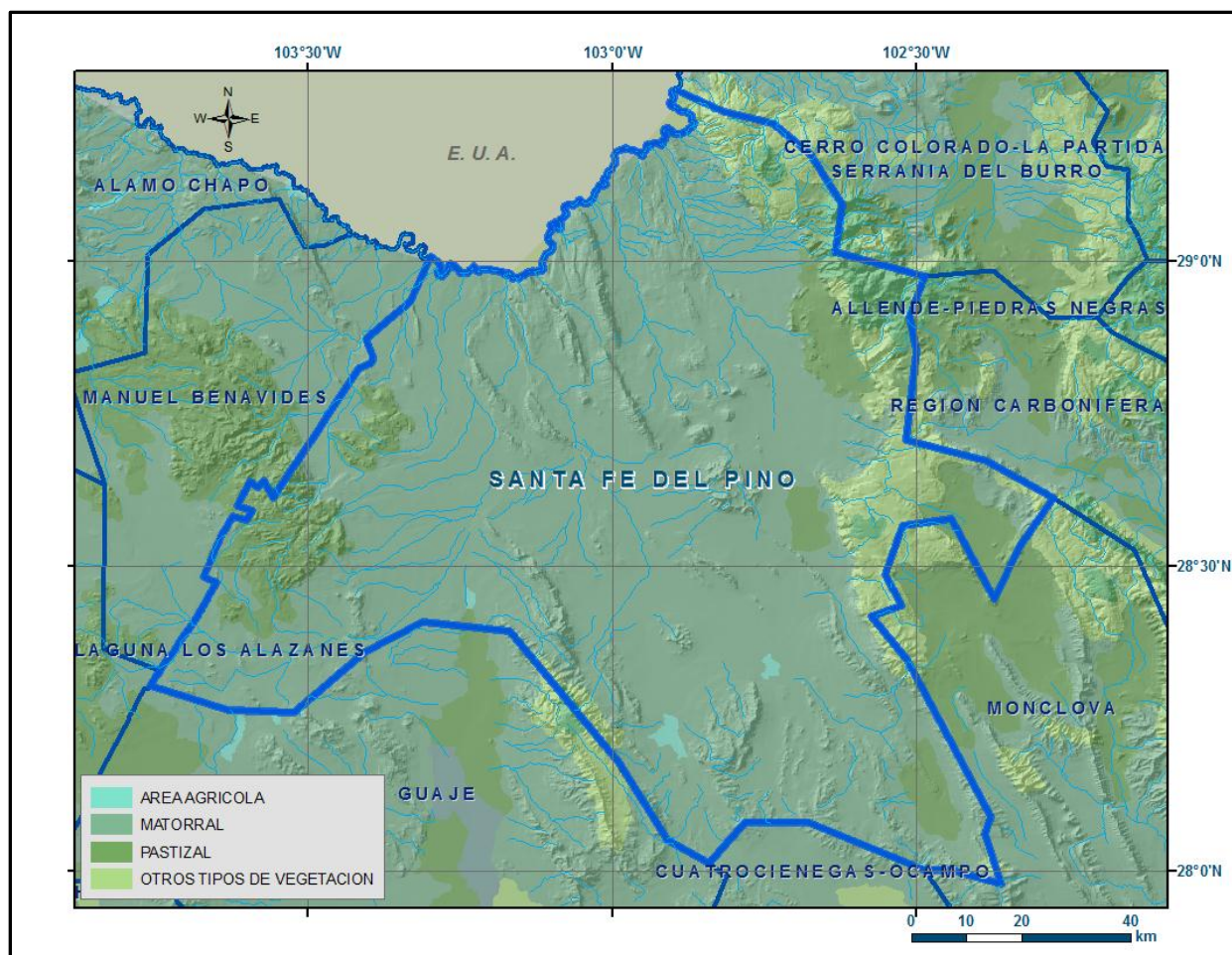


Figura 5. Uso de suelo

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y descarga a través de manantiales (Dm) y por evapotranspiración (ETR) de niveles freáticos someros. No existe información para estimar el flujo base en ríos.

7.2.1. Bombeo (B)

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría, el volumen de extracción calculado es de **2.2 hm³ anuales**.

7.2.2. Descarga por manantiales (Dm)

De acuerdo con el censo realizado en el 2010, se identificó la existencia de 21 manantiales dentro de la zona. El volumen de descarga estimado asciende a **1.0 hm³/año**.

8. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

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

Rt = Recarga total media anual;

DNCOM = Descarga natural comprometida;

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

8.1. Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso, su valor es de **19.5 hm³**.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

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

La descarga natural comprometida corresponde a los volúmenes de agua concesionados de los manantiales, para este caso su valor es **DNCOM = 1.0 hm³/año**.

8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de Marzo de 2010 es de 157,807 m³ anuales**.

8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, de acuerdo con la expresión 3, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA.

$$\mathbf{DAS = R_t - DNCOM - VCAS \quad (3)}$$

$$DAS = 19.5 - 1.0 - 0.157807$$

$$\mathbf{DAS = 18.342193 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

La cifra indica que existe un volumen adicional de **18'342,193 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones.

9. BIBLIOGRAFÍA

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1982. Estudio de Fotointerpretación Geohidrológica en el Municipio Ocampo, Coah., elaborado por la empresa FOTOIN S.A.

CIA. Minera del Norte, S.A., 1991. Estudio de la geohidrología de la zona de explotación del Tajo Prometeo de su Mina en Hércules, COAH., elaborado por la empresa Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados S.A.

Comisión Nacional del Agua, 2010. Estudio para determinar la disponibilidad de los acuíferos Santa Fe del Pino, Hércules, Laguna el Guaje, Laguna el Coyote, Acatita, Las Delicias, Serranía del Burro y Valle de San Marcos, en el estado de Coahuila, elaborado por el Instituto del Agua del Estado de Nuevo León.

Servicio Geológico Mexicano, 2008. Carta Geológica-Minera H13-12 "San Miguel", escala 1:250,000.