



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO SAN JOSÉ DE NAZARENO (1010),
ESTADO DE DURANGO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3. FISIOGRAFÍA.....	5
3.1. Provincia fisiográfica.....	5
3.2. Clima.....	6
3.3. Hidrografía	7
3.4. Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1. Estratigrafía	11
4.2. Geología estructural.....	17
4.3. Geología del subsuelo.....	19
5. HIDROGEOLOGÍA.....	19
5.1. Tipo de acuífero	19
5.2. Parámetros hidráulicos.....	20
5.3. Piezometría	20
5.4. Comportamiento hidráulico.....	20
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	20
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	21
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	21
7.1. Entradas.....	21
7.2.1 Recarga vertical (Rv).....	22
7.2. Salidas.....	29
7.2.1 Bombeo (B).....	29
8. DISPONIBILIDAD	29
8.1 Recarga total media anual (R).....	29
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)	30
9. BIBLIOGRAFIA	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 acuífero San José de Nazareno, definido con la clave 1010 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro-norte del estado de Durango, entre los paralelos 25°03'” a 25°45' de latitud norte y los meridianos a 104°52' a 105°19' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 1463 km². Limita al norte con el acuífero Matalotes-El Oro, al sur con los acuíferos San Juan del Río y Valle de Santiaguillo, al este colinda con los acuíferos Buenos Aires y La Victoria y al oeste con el acuífero Galena-Quemado, todos ellos pertenecientes al estado de Durango (figura 1).

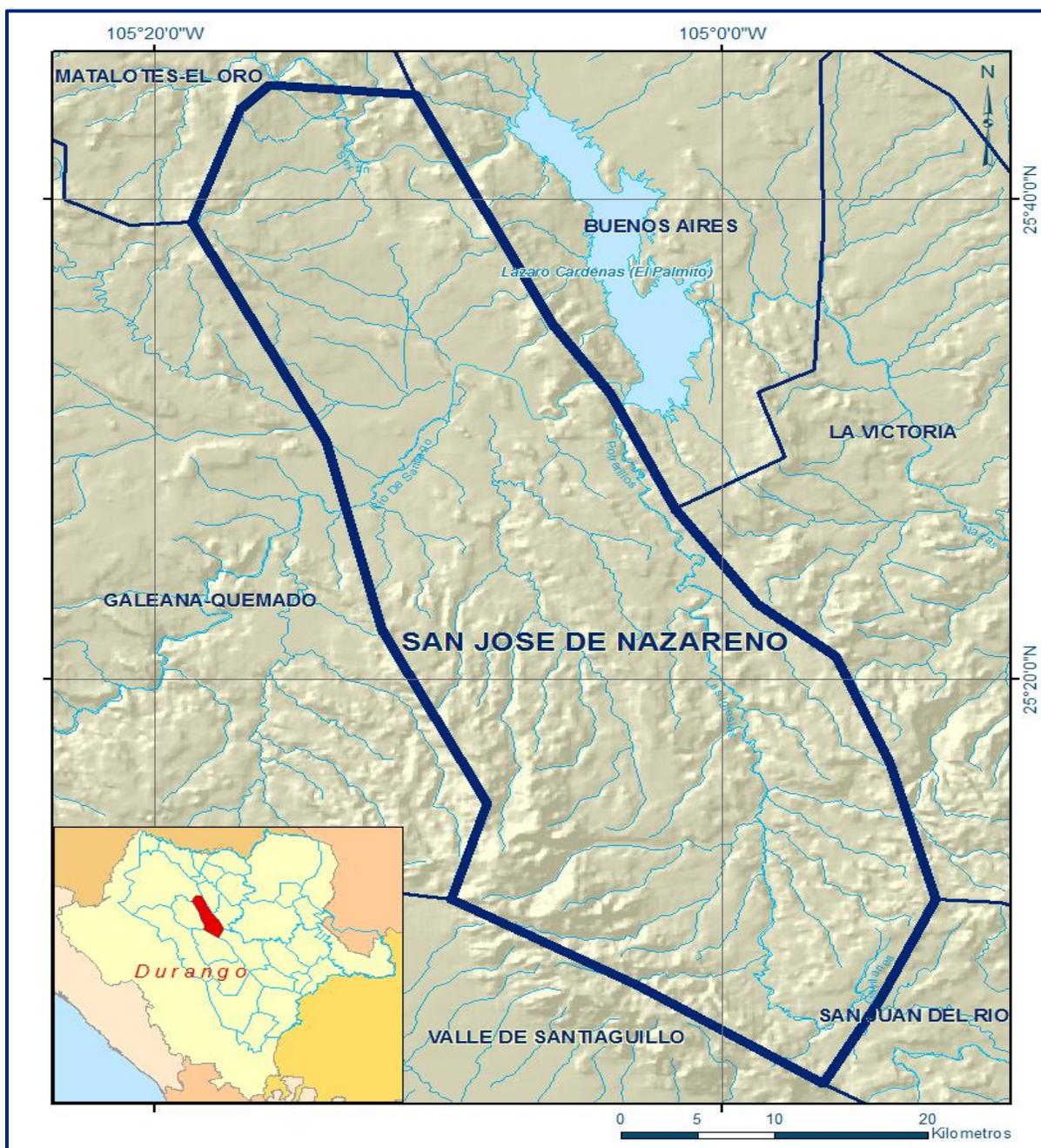


Figura 1. Localización del acuífero San José de Nazareno

Geopolíticamente, el acuífero se localiza casi en su totalidad en los municipios de El Oro y Coneto de Comonfort; pequeñas porciones de los extremos norte y sur pertenecen a los municipios de Indé, Nuevo Ideal y Santiago de Papasquiaro. 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 1010 SAN JOSE DE NAZARENO						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	105	1	42.2	25	27	6.0
2	104	58	49.1	25	23	8.3
3	104	56	2.2	25	20	54.8
4	104	54	9.6	25	16	30.7
5	104	52	32.3	25	10	48.2
6	104	54	31.2	25	6	32.3
7	104	56	27.9	25	3	4.3
8	105	3	0.1	25	7	12.1
9	105	9	36.0	25	10	48.0
10	105	8	20.4	25	14	48.5
11	105	12	0.5	25	21	59.6
12	105	14	0.8	25	29	54.7
13	105	18	42.0	25	39	3.5
14	105	17	0.6	25	43	46.9
15	105	15	58.5	25	44	47.5
16	105	10	51.1	25	44	23.0
17	105	5	59.7	25	34	44.5
18	105	3	56.2	25	31	51.7
1	105	1	42.2	25	27	6.0

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero San José de Nazareno pertenece al Organismo de Cuenca VII “Cuencas Centrales del Norte” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Durango. 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, vigente para el año 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4. El principal usuario es el doméstico-abrevadero. En su territorio no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero no se han realizado estudios hidrogeológicos de evaluación, sólo algunos con fines de prospección minera.

En algunos acuíferos vecinos se han realizado estudios hidrogeológicos para determinar su recarga media anual. El único estudio que abarcó la superficie completa del acuífero es el que se describe a continuación:

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS CABRERA-OCAMPO, MATALOTES-EL ORO, SAN JOSÉ DE NAZARENO, GALEANA-EL QUEMADO, LA VICTORIA, BUENOS AIRES, TORREÓN DE CAÑAS, SAN FERMÍN, SAN JUAN DEL RÍO, CABRERA, LA ZARCA-REVOLUCIÓN Y REVOLUCIÓN, EN EL ESTADO DE DURANGO, elaborado en convenio por la Universidad de Sonora (UNISON), para la Comisión Nacional del Agua, en 2010. El objetivo general de este estudio fue el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos mediante el diagnóstico de la evolución de los niveles del agua, obtener información necesaria para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea; así como conocer el número y distribución de las captaciones de agua subterránea existentes en la zona. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo sondeos geofísicos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia fisiográfica

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1959), modificada por Ordoñez (1964), el acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental, Subprovincia Sierras y Llanuras de Durango que se caracteriza por estar conformada por cordones montañosos irregulares, separados por amplios valles, de altitudes variables entre 1700 y 2300 msnm.

La provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental abarca parte de los estados de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco. Es un gran sistema montañoso que tiene sus orígenes en el Paleógeno Inferior o Medio, cuando se inició la extrusión de los gigantescos volúmenes de materiales volcánicos que lo integran, principalmente de composición riolítica y en menor proporción andesítica, cuyos espesores oscilan entre 1,500 y 1,800 m.

La Sierra Madre Occidental en Durango, por su ubicación dentro del contexto continental, se manifiesta majestuosamente a lo ancho de más de 140 km, con rumbo sudoeste, al oeste de la ciudad de Durango donde alcanza su altura media de 2,650 msnm, sus elevaciones máximas son del orden de los 3,000 msnm y pueden ser observadas del el Océano Pacífico.

Su relieve se caracteriza por presentar cañones profundos y topografía abrupta, donde es factible encontrar pequeños y estrechos valles en los cañones; la topografía tiende a ser más suave hacia el oriente y al sur, en donde se encuentran amplios valles y extensas llanuras.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el clima que predomina en la mayor parte del acuífero, es el BS₁kw(w), el cual es de tipo seco estepario (BS), que corresponde con el menos seco de los secos. El subtipo es semiseco (i), de modo que presenta un grado de humedad mayor que 22.9(coeficiente que resulta de la relación precipitación/temperatura).

Su condición de temperatura (k), que es una característica establecida considerando las temperaturas medias anuales del mes más frío y del más cálido, corresponde con templado con verano cálido. Presenta una temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la media mes más frío se encuentra entre -3 y 18 °C y la del más cálido es > 18 °C.

El régimen de lluvia (w), que define el comportamiento de la lluvia durante el año indicando la temporada en la que se concentra la mayor cantidad, es de verano, cuando el mes de máxima precipitación cae dentro del período mayo – octubre, donde se recibe por lo menos diez veces mayor cantidad de precipitación que el mes más seco del año.

El último término indica que su porcentaje de lluvia invernal (cantidad de lluvia que cae en este periodo con respecto a la total anual) es < 5.

En una pequeña porción en la región centro-norte del acuífero, se manifiesta el clima BS₀kw(w), cuya diferencia con respecto al clima anterior, es que su subtipo es seco (o), de manera que el coeficiente del grado de humedad es menor de 22.9.

También dentro de una pequeña zona del acuífero, en su extremo sur, se presenta el clima C(E)(w₁), el cual es semifrío, de tipo subhúmedo, donde el término (w₁) indica que su humedad es media, lo que implica un cociente precipitación/temperatura entre 43.2 y 55.0. Su régimen de lluvias es de verano, con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2. La precipitación en el mes más seco <40 mm y la temperatura media anual entre 5 y 12 °C.

El régimen pluvial presenta, en términos generales, dos períodos de ocurrencia: uno de julio a septiembre, correspondiente con la temporada de verano que es cuando se registran los valores más altos, y otro de lluvias invernales que abarca de diciembre a febrero, con precipitaciones menos significativas provocadas principalmente por los frentes fríos que afectan la región.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 5 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: Indé, General Escobedo, El Palmito, J. Salomé Acosta y Coneto de Comonfort, cuyo registro comprende los periodos 1979-2007, 1978-2007, 1938-2007, 1969-2007 y 1976-2007, respectivamente. Con estos datos y utilizando el método de los polígonos de Thiessen, se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura de **465.6 mm y 18.7 °C**, respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2,172 mm anuales**.

3.3. Hidrografía

El área cubierta por el acuífero pertenece a la Región Hidrológica 36 denominada Nazas-Aguanaval, Cuenca de los ríos Ramos y Del Oro, los cuales escurren hacia la Presa Lázaro Cárdenas.

Esta región hidrológica se encuentra situada al norte del país, en la altiplanicie septentrional; ocupa porciones de los estados de Coahuila, Durango y Zacatecas, y abarca las cuencas de los ríos Nazas y Agua Naval. Está comprendida entre los meridianos 101°31' y 106°14' de longitud oeste, y los paralelos 22°39' y 26°35' de latitud norte. Su área es de 89,239 km²; limita al norte con la región hidrológica 35, al noroeste con la región hidrológica 24c, al este con la región hidrológica 37, al sur con la región hidrológica 12, al suroeste con la región hidrológica 11, al oeste con la región hidrológica 10 y al noroeste con la región hidrológica 24a. Regionalmente, los ríos más importantes son el Nazas, el cual nace en el estado de Durango, y el Aguanaval que nace en el estado de Zacatecas.

3.4. Geomorfología

La principal forma del relieve que se presenta en la zona es la sierra, que se levanta hasta los 2,500 o 3,000 msnm; presenta hacia el occidente un importante escarpe, en tanto que hacia el oriente desciende gradualmente a las regiones llanas del centro. En esta franja oriental existen sierras y valles de orientación NE-SW, producto de los fallamientos que acompañaron a los procesos de levantamiento del Pleistoceno. Sobre el dorso central de la sierra los materiales volcánicos se encuentran en amplios mantos tendidos que dan conformación a las elevadas mesetas que son típicas de la provincia.

La topografía abrupta es característica, producto de la disección de corrientes jóvenes sobre una gran meseta riolítica en la que los procesos mecánicos predominan sobre los químicos. Los procesos endógenos más importantes son ígneos volcánicos y fuertes fallamientos de tipo normal; mientras que el proceso exógeno más sobresaliente es la erosión fluvial. En cuanto a hidrografía, el patrón de drenaje que predomina es dendrítico.

4. GEOLOGÍA

Las rocas y secuencias que afloran en el área cubierta por el acuífero presentan una complejidad litológico-estructural muy importante, cuyo origen está asociado a diversos procesos geológicos que se han sucedido en esta porción de la República Mexicana. Es importante establecer que el estado de Durango se ubica morfo tectónicamente justo en la transición entre el dominio geográfico de la Sierra Madre Occidental y el dominio geográfico de la Plataforma Coahuila (López-Ramos, 1981; Eguiluz de Antuñano y Campa-Uranga, 1982). En este contexto, las litologías presentan una mezcla de evidencias geológico-estructurales que obedecen principalmente a la sobreposición de diversos ambientes tectónicos (figura 2).

Las rocas más antiguas que afloran en el área y conforman el basamento, pertenecen al Grupo Mezcalera que aflora en la región del poblado del Mineral de Santa Cruz (Carta Geológica-Minera G13-C28 "Ignacio Manuel Altamirano"). Se define como una alternancia de calizas arcillosas, margas, areniscas y lutitas, depositadas por corrientes turbidíticas, probablemente en un ambiente de cuenca post-arco. En el área se ubicó como Cretácico inferior (Valanginiano-Hauteriviano) en el arroyo de Tijeras, se observó con pequeñas cabalgaduras consecuencia de la Orogenia Laramide, la cual culmina durante el Eoceno tardío.

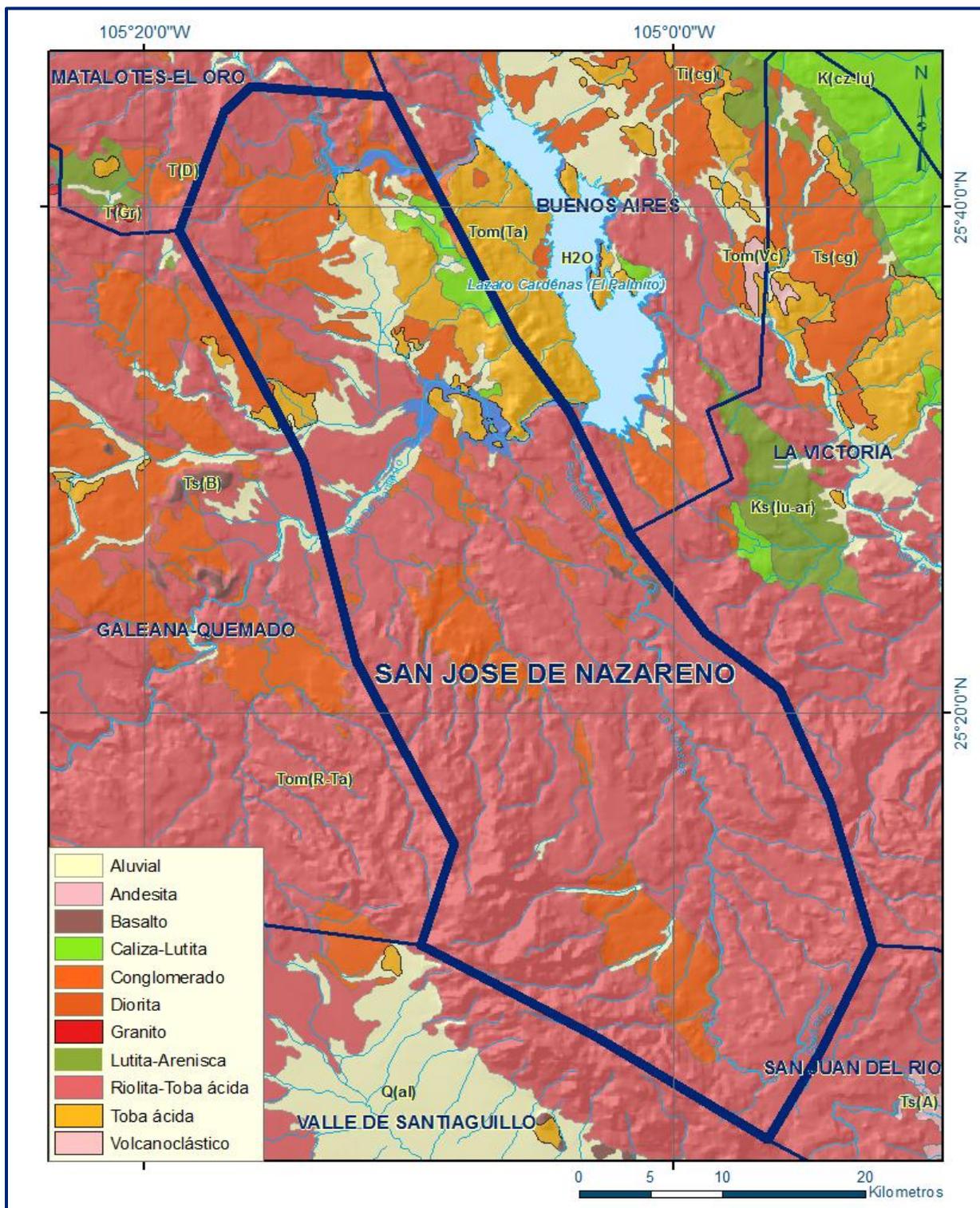


Figura 2. Geología general del acuífero

El Grupo Mezcalera está cubierto discordantemente por una secuencia andesítica del Paleoceno-Eoceno.

En la zona de Santa Cruz afloran los conglomerados de la Formación Ahuichila, la cual se presenta subyaciendo en discordancia angular al Grupo Mezcalera y está expuesta también en pequeños afloramientos en la misma zona del poblado Mineral de Santa Cruz: ambos afloramientos fueron expuestos por la presencia de fallas normales de tendencia NW-SE conjugadas con fallamientos NE-SW, que levantaron estas rocas antiguas formando una ventana estructural. Estas rocas están intrusionadas por cuerpos volcánicos (pórfidos, riolíticos, dacíticos y andesíticos).

Como consecuencia de una intensa actividad volcánica, se originó el depósito de rocas piroclásticas y derrames andesíticos correlacionables con el Grupo Volcánico Inferior, que tiene un rango de edad entre 45 y 100 Ma, (McDowell y Keizer 1977). Otro evento posterior es el depósito de material volcánico brechoso, ignimbrítico y en derrames riolíticos, a este grupo se le conoce como Grupo Volcánico Superior, de edad 27 a 34 Ma, este evento culminó manifestándose en forma esporádica en el Mioceno con depósitos tobáceos soldados de composición riolítica y con la construcción de uno de los rasgos geológicos-volcánicos más extensos de México: La Sierra Madre Occidental.

Producto de la erosión y posterior acumulación de fragmentos de rocas preexistentes, se formó un conglomerado continental rellenando fosas tectónicas como la del Quemado y Las Mesas. Esta unidad comprende un conglomerado polimíctico con clastos de riolita, toba riolítica, caliza e intervalos de areniscas mal clasificada. Los clastos son subredondeados a redondeados, su tamaño varía de 1 a 40 cm de diámetro, éstos están empotrados en una matriz arenosa y débilmente cementados con arcilla y caliche. La estratificación por lo general es masiva y en algunos intervalos de arenisca presenta estratificación cruzada. El espesor es variable, ya que está asociada a semi-fosas tectónicas, pudiendo alcanzar un espesor aproximado a los 100 m dentro del área.

El volcanismo basáltico se desarrolla durante el Pliocuaternario, acompañado de numerosas extrusiones piroclásticas. Los materiales sueltos producto de la erosión gradual conforman las planicies y abanicos aluviales principalmente, así como diversas acumulaciones lacustres, residuales y de origen eólico.

En muchos sitios el vulcanismo y fallamiento fueron simultáneos o el fallamiento siguió después del vulcanismo. Ambos fenómenos sucedieron en toda la región en al menos tres pulsos de actividad: 32-27 Ma, 24-20 Ma y <5 Ma. En el área que abarca el acuífero afloran sobre todo rocas ígneas extrusivas de tipo riolíticas, depositadas durante el Paleógeno.

En las porciones centro y noroeste afloran rocas sedimentarias, representadas por un conglomerado polimíctico con clastos de riolita, toba riolítica, caliza e intervalos de arenisca que se emplazaron durante el Neógeno.

4.1. Estratigrafía

La estratigrafía del acuífero San José de Nazareno está representada por unidades litológicas, cuyo rango de edad varía del Cretácico al Reciente, que comprende rocas, ígneas (intrusivas y extrusivas) y sedimentarias (figura 2). A continuación, se describen de acuerdo a su posición estratigráfica:

Cretácico Inferior

Formación Mezcalera

Es la unidad más antigua y está representada por una alternancia rítmica tipo flysch de areniscas y lutitas, cuyos afloramientos principales se localizan en la porción nororiental del acuífero. Litológicamente está constituida por una secuencia rítmica de areniscas de grano fino y lutitas, intercaladas con horizontes gruesos de calizas y limolita. Como cambio de facies de esta secuencia, se presentan rocas calcáreas de la Formación Aurora (KaCz-Lu), constituida por calizas, dolomías, pedernal y horizontes arcillosos, que afloran en forma de anticlinales.

Sobreyaciendo discordantemente a la Formación Mezcalera se presenta una secuencia calcárea de edad Albiano.

En la Cuenca Mesozoica se lleva a cabo un cambio de facies con la Formación Taraises, la cual consiste de una secuencia de calizas y lutitas. Sobreyaciendo discordantemente a esta formación, se presenta la Formación Caracol, la cual consiste de una secuencia de areniscas y lutitas.

Durante el Cretácico Superior, se presenta una intrusión de un cuerpo de composición diorítica a granodiorítica, que afecta a las unidades descritas. Ésta secuencia no aflora en la región cubierta por este acuífero.

Formación Aurora

El nombre Formación Aurora fue propuesto por Burrows (1910) para aquellas rocas que afloran en la porción noreste del estado de Chihuahua, que están constituidas por capas gruesas de calizas fosilíferas, que presentan abundantes nódulos de pedernal. Está constituida por calizas de estratificación media a gruesa con diversos desarrollos arrecifales y algunos horizontes de calcarenitas.

Presenta una coloración de tonalidad gris a oscura, escasos nódulos de pedernal y hematita hacia la cima. Presenta fracturamiento general que varía de moderado a intenso, estructuralmente forma pliegues anticlinales cuyo eje se orienta al noroeste-sureste y echados suaves más o menos uniformes.

Cenozoico. Paleógeno

Paleoceno-Oligoceno

Complejo Volcánico Inferior (TpaeA-BvA)

Es considerado de manera informal en el área de Tayoltita por Henshaw (1953), Randall y compañía Minas de San Luis (1975), posteriormente es estudiada sobre la carretera a Mezquital, Dgo. (Keizer, 1974) y sobre la carretera a Mazatlán por McDowell y Clabaugh (1976); los primeros autores la mencionan constituida por riolitas, toba andesítica y andesitas con un espesor de 800 m; en Topia, Dgo. Lemish (en Clark y otros, 1977), reporta un espesor de 1400 m en una alternancia de andesitas y tobas en la Sierra de Registro y Sierra Colorada al Suroeste de la Cd. de Durango.

La litología está constituida por andesitas y brechas andesíticas; megascópicamente las andesitas presentan una textura afanítica de color gris, gris claro, verde oscuro y rojiza; las brechas andesíticas están conformadas por fragmentos angulosos de andesitas y riolitas de pequeñas dimensiones de color variable con tonalidades de púrpura al gris claro.

Generalmente esta secuencia tiene la característica especial de presentarse en forma pseudoestratos de 50 a 1.5 m y se encuentra aflorando en forma de ventanas estructurales debido a la tectónica y a la erosión.

Se consideran espesores de hasta 700 m en la zona de Tayoltita y Bacís y espesores de 250 m en Tejamen, Alamito, Coneto de Comonfort y San Lucas de Ocampo.

La andesita fue datada por el método de K-Ar en la localidad de San Lucas de Ocampo reportando una edad de 38.8 Ma. (Damon, 1975).

Se tiene otra datación en la carretera Durango - Mazatlán que arrojó una edad de 52 Ma. (McDowell y Clabaugh, 1976); por lo que la andesita queda ubicada en el Paleoceno - Eoceno Temprano a Tardío.

La litología predominante de este complejo en el área consiste de flujos de andesitas y brechas andesíticas de color gris morado.

Las andesitas presentan una textura afanítica y generalmente con una alteración principalmente propilítica. Los derrames de andesita y brechas andesíticas están compuestas por fragmentos de andesita con alteración clorítica a veces pseudoestratificada que presenta variación litológica a dacitas con espesor variable de 100 a 350 m.

Principalmente está expuesta en forma de ventanas erosionales. Aflora en la porción norte del acuífero.

Eoceno-Oligoceno

Formación Ahuichila

Definida formalmente por Rogers (1981), en los afloramientos expuestos en el “Frontón de Ahuichila”, ubicado en el límite donde convergen los estados de Durango, Coahuila y Zacatecas, está constituida por depósitos clásticos de origen continental (conglomerados y brechas) conformados por fragmentos de caliza, calcarenitas, calculadita y de rocas volcánicas, con matriz calcárea y limo lítica, que se presentan en bancos gruesos y masivos; de colores que varían de gris al rojizo. Debido a su posición estratigráfica y su origen, el cual se relaciona con los primeros depósitos de características continentales, formados como consecuencia de la emersión del continente generada por la Orogenia Laramie, su edad se considera del Eoceno-Oligoceno.

Formación Las Palmas, Conglomerado polimíctico (Teo?Cgp)

Fue definido por Davison (1932), Henshaw (1953) y Smith y Hall (1974), al noroeste de Tayoltita y sur de esta población en la localidad de Las Palmas. La litología está constituida por fragmentos riolíticos y andesíticos subredondeados con diámetros menores de 2 cm y máximos a 1 m con un espesor aproximado de 30 a 60 m. Por la posición estratigráfica se le asigna una edad del Oligoceno Temprano (Davison, 1932). Esta unidad corresponde a un depósito continental que representa un período de quietud magmática y marca una fuerte discontinuidad en la secuencia estratigráfica de la carta definiendo claramente los límites de la secuencia volcánica inferior con la superior.

Oligoceno-Mioceno

Supergrupo Volcánico Superior (ToTR-Ig, TomIg-TR, TomRP)

Una extensa secuencia de ignimbritas intercaladas con flujos de lavas y sedimentos epiclásticos tobáceos sobreyacen el Complejo Volcánico Inferior y forman la capa superior de la Sierra Madre Occidental.

Esta gran acumulación de rocas volcánicas del Cenozoico Medio ha sido designada como el "Supergrupo Volcánico Superior" (McDowell y Keize, 1977).

Éste es comparable con depósitos piroclásticos de flujo de cenizas y rocas asociadas de edad similar que cubren áreas amplias del occidente de los Estados Unidos (McDowell y Clabaugh, 1979). En el occidente de México estos dos grupos ígneos ocupan áreas similares y se pueden identificar a través de la mayor parte de la Sierra Madre Occidental. Ambos están aproximadamente paralelos a la margen occidental del continente.

La Sierra Madre Occidental es una gran región con elevaciones y depresiones topográficas que forman la margen occidental del altiplano central mexicano. En la región de Durango está profundamente disectada por ríos que fluyen hacia el este y que descienden rápidamente al nivel del mar. La parte superior está compuesta por rocas volcánicas del Cenozoico Medio, donde se pueden apreciar ignimbritas riolíticas espectacularmente expuestas. Ésta es probablemente la secuencia de ignimbritas continua más grande del mundo (McDowell y Clabaugh, 1979; Swanson y McDowell, 1984), distribuida en un cinturón con orientación sureste con aproximadamente 200-500 km ancho y al menos 1,200 km de largo, extendiéndose desde la frontera de México con Estados Unidos, hasta su intersección con la provincia de la Faja Volcánica Transmexicana.

Las rocas dominantes en esta secuencia son ignimbritas riolíticas a riolíticas con un grado de soldamiento de moderado a alto.

Cantidades menores de rocas máficas están usualmente presentes hacia la cima de las secuencias (McDowell y Clabaugh, 1979). Las rocas dominantes en esta secuencia son ignimbritas riolíticas a riolíticas con un grado de soldamiento de moderado a alto. Cantidades menores de rocas máficas están usualmente presentes hacia la cima de las secuencias (McDowell y Clabaugh, 1979).

El Supergrupo Volcánico Superior fue emplazado durante un periodo de convergencia entre la placa Farallón y la placa norteamericana (McDowell y Clabaugh, 1979; Aguirre-Díaz y McDowell, 1991).

Este periodo de vulcanismo paroxístico ha sido relacionado con pulsos de extensión en la porción meridional de la provincia de Cuencas y Sierras (Aguirre-Díaz y McDowell, 1991, 1993; Aranda-Gómez *et al.*, 2000).

Por otro lado, Nieto-Samaniego *et al.* (1999) consideran que el volcanismo silícico del “*flareup*” fue disparado por el efecto combinado de un emplazamiento extensivo de magmas básicos en la base de la corteza (*mafic underplating*) y el comienzo de extensión en la parte superior de la placa, inducida por el retroceso de la trinchera.

En la superficie cubierta por el acuíferos la unidad de mayor exposición, su litología consiste de tobas de flujos de ceniza y lapilli color grisáceo claro a crema, poco compactados, pseudoestratificadas a masivos con gradación, estratificación cruzada y horizontes basales compuestos de fragmentos subangulosos de ignimbritas de 1-20 cm de diámetro (bloques), en una matriz tobácea.

Probablemente corresponde a un depósito de nube ardiente. Su espesor alcanza hasta 200 m y por sus relaciones de campo se le asigna una edad que corresponde al Oligoceno Temprano.

Grupo Carpintero (To Ig-TR)

Fue definida por Lyons (1975), en la localidad del arroyo del Carpintero, al NW de la ciudad de Durango y está relacionado con la Formación de la Caldera de Chupaderos, Está constituida por ignimbritas brechoides y tobas riolíticas.

Este Grupo consiste de las Formaciones El Águila, Cacaria y Santuario, además de una serie de domos y estructuras tipo plugs latíticos, traquíticos y riolíticos. Este grupo fue datado por Swanson por el método K-Ar con un intervalo de 30.3 a 31.2 m. a. que se ubica en el Oligoceno Medio al Superior.

Domos (ToRp)

Esta unidad, está representada por domos de composición riolítica con minerales de cuarzo, feldespatos y vidrio las cuales fueron descritas por McDowell y Keizer (1977). Las estructuras tienen un espesor varían de 50 a 200 m. Debido a que se encuentran cortando a las rocas volcánicas se les asigna una edad del Oligoceno.

Oligoceno-Mioceno

Formación El Salto Espinazo (Tomlg-TR)

Fue definida por Waitt (1970) y reconocida por McDowell y Clabaugh (1976) sobre la carretera Durango-Mazatlán.

Las unidades litológicas son ignimbritas cristalino-vítreas masivas, tobas de cenizas y horizontes andesíticos y dacíticos con un espesor de 800 m.

Las rocas expuestas sobreyacen concordantemente al Grupo Rio Chico y a la secuencia de brechas riolíticas e ignimbritas de Tayoltita, Bacís y Otáez. Los afloramientos antes descritos se correlacionan con los de la localidad tipo en donde han sido datadas por el método K-A resultando una edad de 21.5 ± 0.5 a 27.9 ± 0.4 Ma, que la sitúa en el Oligoceno-Mioceno (McDowell y Keizer, 1977).

Granodiorita (TeGd)

En la hoja Indé afloran dos cuerpos importantes de granodiorita. En la esquina Nororiental aflora un tronco intrusivo conocido como Cerro Blanco que está emplazado en la secuencia pelítico calcárea del Grupo Mezcalera por una parte y cubierto por tobas e ignimbritas de la Formación Indé. Corresponde a un afloramiento casi circular de aproximadamente 3 km de diámetro.

Este tronco está constituido de una granodiorita de textura equigranular gruesa, constituida por cuarzo, albita, oligoclasa microclina, biotita y pirita. Se observa alteración débil de cuarzo, epidota, sericita, magnetita y clorita.

Es típica su exfoliación en “cebolla”. El segundo cuerpo se localiza al Suroeste del poblado de Indé, corresponde a un afloramiento irregular más pequeño formando una anomalía topográfica invertida. Se trata de una granodiorita de biotita.

Plioceno-Cuaternario

Formación Santa Inés, Conglomerado polimíctico (Tn Cgp)

Fue propuesto por E. de la Vega (1968) para designar a depósitos clásticos continentales que afloran al surponiente y suroriente de Cuencamé, Durango, con un espesor de 5 a 30 m. Consiste de una matriz de grava y arena con clastos de roca volcánica ácida subredondeados a subangulosos del tamaño de guijas finas a cantos rodados medianos que varían de no consolidados a bien cementados.

La litología consta de fragmentos líticos de rocas volcánicas ácidas como tobas riolíticas, riolitas, brechas riolíticas e ignimbritas con un grado de esfericidad de subredondeado a subanguloso mal clasificados con diámetros variables de 1 a 40 cm semicompactos a cementados en una matriz arenosa constituyendo en ocasiones estratificación mientras que en otros sitios se encuentran en forma caótica. Por la similitud litológica y relación estratigráfica que se aprecian, estos depósitos se correlacionaron con la Formación Los Llanos, asignándole una edad del Plioceno Tardío.

Holoceno

Depósitos lacustres (Qhola)

Constituyen una alternancia de arenas finas, limos y arcillas con laminaciones delgadas de 0.5 a 2 cm de espesor, semicompactados, con algunos horizontes de sales y carbonatos acumulados. Este material se ha formado a partir de la erosión de las rocas volcánicas con su transporte y depósito hacia grandes valles. Se le ha asignado una edad del Holoceno.

Depósitos fluviales (Qhoal)

Constituyen grandes acumulaciones de material de origen fluvial, producto de la intensa erosión de las formaciones volcánicas Cenozoicas y Cuaternarias con su posterior transporte y depósito, lo cual ha originado la formación de extensas planicies aluviales. Esta unidad queda restringida a las márgenes y lechos de ríos y arroyos. Constituida por gravas, arenas, arcillas y limos no consolidados, mal clasificados, de composición variada, observándose principalmente clastos redondeados de tobas, riolitas, basaltos, conglomerados y ocasionalmente rodados de la Formación Mezcalera. Se le ha asignado a esta unidad una edad del Cuaternario Holoceno.

4.2. Geología estructural

El origen de las estructuras identificadas se pueden atribuir a dos procesos principales, uno de compresión y otro de distensión; el primero ocurrió a mediados y finales del Cretácico y el segundo durante el Paleógeno que generó Cuencas y Sierras. Se presentan estructuras producto de deformación dúctil, representadas por las foliaciones de rumbo NW-SE con inclinación al suroeste y noreste, que se presentan en las rocas sedimentarias de la Formación Mezcalera, en las que el plegamiento de las foliaciones genera una serie de micropliegues muy cerrados.

Los eventos tectónicos de los que se tiene registro para este rango de edades en la región corresponden principalmente a aquellos relacionados con: a) el desarrollo de una cuenca mesozoica asociada a la apertura del Golfo de México (Rueda-Gaxiola, 2004), b) un proceso de subducción a lo largo de la margen pacífica de Norteamérica desde el Mesozoico y hasta el Cenozoico Tardío (Ferrari et al., 2005), c) la presencia de un evento compresivo en el marco de un ambiente de retro-arco a finales del Cretácico e inicios del Cenozoico (Eguiluz de Antuñano et al., 2000), y d) la distensión cortical asociada a la provincia extensional del *Basin and Range* (Henry y Aranda-Gómez, 1992).

Las deformaciones generadas como consecuencia de la subducción de la Placa del Pacífico Oriental, que se manifestó en el margen occidental de México hacia el oriente, generó esfuerzos compresivos de W-SW a E-NE, iniciando la denominada Orogenia Laramide desde el Cretácico Tardío hasta el Eoceno Tardío en varios episodios, (Araujo y Arenas, 1983); las rocas fueron comprimidas casi perpendicularmente contra la paleopenínsula de Coahuila, resultando una serie de pliegues angostos y alargados con dirección NW-SE en la región. Con la culminación de esta orogenia finaliza la deformación compresiva, y se desarrolla el vulcanismo riolítico de la Sierra Madre Occidental (Demant y Robin, 1975).

Posteriormente se genera un periodo distensivo que originó una serie de fosas y pilares, acompañada con la erosión consecuente de las rocas deformadas que dieron origen a los depósitos continentales. El fallamiento normal de dirección NW-SE construyó en el Grupo Volcánico Superior, una serie de pilares y fosas tectónicas posiblemente resultado de la deformación distensiva del sistema Golfo de California-San Andrés, el cual comenzó a fines del Mioceno. Otras direcciones de fallamiento normal son norte-sur.

Las fallas más importantes son La India, La Bandera, Las Mesas y Picacho entre otras. Las semi-fosas rellenas con fragmentos volcánicos formando el conglomerado Santa Inés, también están orientadas al NW-SE (Las Mesas y El Quemado).

Otro tipo de estructuras son los domos, los cuales tienen su origen al finalizar la compresión; se origina un adelgazamiento cortical que da como resultado una amplia zona influenciada por esfuerzos de tensión y acompañamiento de vulcanismo; estos materiales aprovecharon las zonas de debilidad para inyectarse hacia la superficie. Su ocurrencia varía entre los 30-28 Ma.

Los pórfidos riolíticos son los cuerpos subvolcánicos más importantes desde el punto de vista económico. Dichos intrusivos afloran en el extremo occidental en Posta de Jihuites y El Salto; en la parte sur en el cerro Alto de Yesqueros, donde están íntimamente ligados con mineralización (minas La Escondida y La Candelaria). Además, algunos forman zonas de alteraciones de oxidación y silicificación como, por ejemplo: Posta de Jihuites.

4.3. Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica y geofísica recabada en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos fluviales que constituyen el lecho y la llanura de inundación de los ríos Ramos (o de Santiago), La India y otros arroyos tributarios.

Esta es la unidad que se explota actualmente para satisfacer las necesidades de agua de la región. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas como son las tobas ácidas, riolitas e ignimbritas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas volcánicas, al desaparecer el fracturamiento, y a mayor profundidad las lutitas que forman parte de la secuencia que constituye la Formación Mezcalera.

Los depósitos granulares y conglomeráticos tienen varios cientos de metros de espesor y fueron, en gran parte, el relleno de depresiones o cuencas formadas en fosas tectónicas que se produjeron durante la revolución Laramídica.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un **acuífero tipo libre** heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y conglomerados, cuyo espesor puede alcanzar varios metros en el centro del valle. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas entre las que destacan las tobas ácidas, riolitas e ignimbritas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

A mayor profundidad las rocas calizas y areniscas representan un acuífero con características confinantes cuyo potencial que aún no ha sido explorado, pero que puede ser escaso debido a que estas rocas sólo se presentan en pequeños afloramientos en la porción norte del acuífero.

5.2. Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero. Los escasos aprovechamientos ubicados en la superficie que cubre el acuífero, de acuerdo con el estudio realizado en el año 2010, no tienen las características y equipo adecuados para la ejecución de dichas pruebas.

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, no se cuenta con información piezométrica; ya que de los 4 aprovechamientos que fue posible censar durante el estudio realizado en el año 2010, 2 presentan niveles freáticos someros, menores a 10 m de profundidad, y los otros 2 a 29 m. Algunos pozos se encontraban sellados, otros con presencia de abejas y en otros no se obtuvo el permiso de los propietarios para el ingreso a ellos.

5.4. Comportamiento hidráulico

No se cuenta con información piezométrica histórica 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 y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. 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

Debido al escaso número de aprovechamientos y a las dificultades de acceso a ellos, no fue posible obtener muestras de agua para su análisis fisicoquímico.

Sin embargo, por correlación hidrogeológica con los acuíferos vecinos Matalotes-El Oro, Galeana-Quemado, Buenos Aires y La Victoria, es posible suponer buena calidad del agua, con concentraciones de STD menores a las 1,000 ppm que marca la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 "Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua", publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022, como límite máximo permisible para el agua destinada al consumo humano, consistente con el agua de la familia bicarbonatada-cálcica que representa la típica agua de reciente infiltración con tiempo muy corto de residencia, que ha circulado a través de rocas volcánicas.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2010, sólo fue posible registrar la existencia de 4 aprovechamientos, de los cuales 2 son pozos y 2 son norias. El volumen de extracción conjunto se ha estimado en **0.1 hm³ anuales**, que se destinan en su totalidad para satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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

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

7.1. Entradas

Las entradas al acuífero San José de Nazareno están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv). No existe información piezométrica actual ni histórica en la superficie que cubre el acuífero.

La escasa información disponible, procedente de recorridos de campo hechos por la Dirección Local, 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 se presentaron diferentes problemas para la medición de sus niveles; la superficie del acuífero está conformada en su mayor parte por sierras entre las cuales existen pequeños valles intermontanos en los que se localizan los escasos aprovechamientos. Por todas estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de 1463 km² del acuífero, para estimar de manera conservadora el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

7.2.1 Recarga vertical (Rv)

La recarga vertical total que recibe el acuífero (volumen susceptible de infiltrarse) se obtuvo mediante el planteamiento de un balance hidrometeorológico para toda la superficie del acuífero, mediante la siguiente expresión:

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

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:

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

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (1463 km²) por la lámina de precipitación media anual (465.6 mm): 1463 km² (0.4656 m) = 681.2 hm³ anuales.

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizaron las ecuaciones empíricas de Turc y Coutagne, considerando los valores promedio anual de precipitación de 465.6 mm y temperatura de 18.7 °C.

Turc a partir de observaciones realizadas en 254 cuencas distribuidas por todos los climas del mundo, reporta la expresión siguiente:

$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$			
T (°C) =	18.7		
P(mm) =	465.6	P ² =	216783.36
L =	1094.46015	L ² =	1197843.02
ETR (mm)	447.8		

Donde:

ETR= Evapotranspiración real, en mm;

P= Precipitación media anual, en mm;

L= $300 + 25T + 0.05T^3$;

T= Temperatura media anual, en °C;

La limitación teórica para la utilización de la fórmula de Turc es que la precipitación no debe ser menor a la relación $0.31L$. En caso contrario se obtiene una $ETR > P$ y para estos casos se debe considerar a $ETR = P$. De acuerdo con lo anterior, se obtiene un valor de lámina de evapotranspiración de 447.8 mm anuales.

Coutagne propuso la ecuación siguiente para calcular la evapotranspiración real:

COUTAGNE

$$ETR = P - \chi P^2$$

Donde:

ETR= Evapotranspiración m/año

P = precipitación en m/año

$\chi = 1/(0.8 + 0.14 t)$

t = temperatura en °C

La fórmula solo es aplicable para valores de la precipitación media anual (P) comprendidos entre $1/8X$ y $1/2X$, estando ETR y P en metros, y T en °C. Si P es menor que $1/8\lambda$ la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que $1/2\lambda$ la ETR es prácticamente independiente de P y su valor está dado por: $ETR = 0.20 + 0.035 T$. Aplicando la fórmula de Coutagne se obtiene una lámina de evapotranspiración real de 402.2 mm anuales.

Se optó por la estimación conservadora de la infiltración que se obtiene al tomar en cuenta la lámina de evapotranspiración obtenida con la fórmula de Coutagne, que es de 402.2 mm anuales, por lo que el volumen de la ETR es: $ETR = 1463 \text{ km}^2 (0.4022 \text{ m}) = 588.4 \text{ hm}^3$ anuales.

Por otra parte, aunque se dispone de información de los escurrimientos generados por cuenca propia, estos se refieren a toda la cuenca que drena hacia la Presa Lázaro Cárdenas, dentro de la cual se localiza el acuífero Galena-Quemado.

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

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

El coeficiente de escurrimiento (C_e) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo, 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.

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
Camino	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3
TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS		
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		

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 (Ce), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual expresada en mm:

Si K resulta menor o igual que 0.15, $Ce = K (P-250) / 2000$;

Si K es mayor que 0.15, $Ce = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5$;

De acuerdo con la cartografía del INEGI escala 1:250,000, para el tipo y uso de suelo, predominan los tipos feozem, litosol, regosol y rendzina (figura 3).

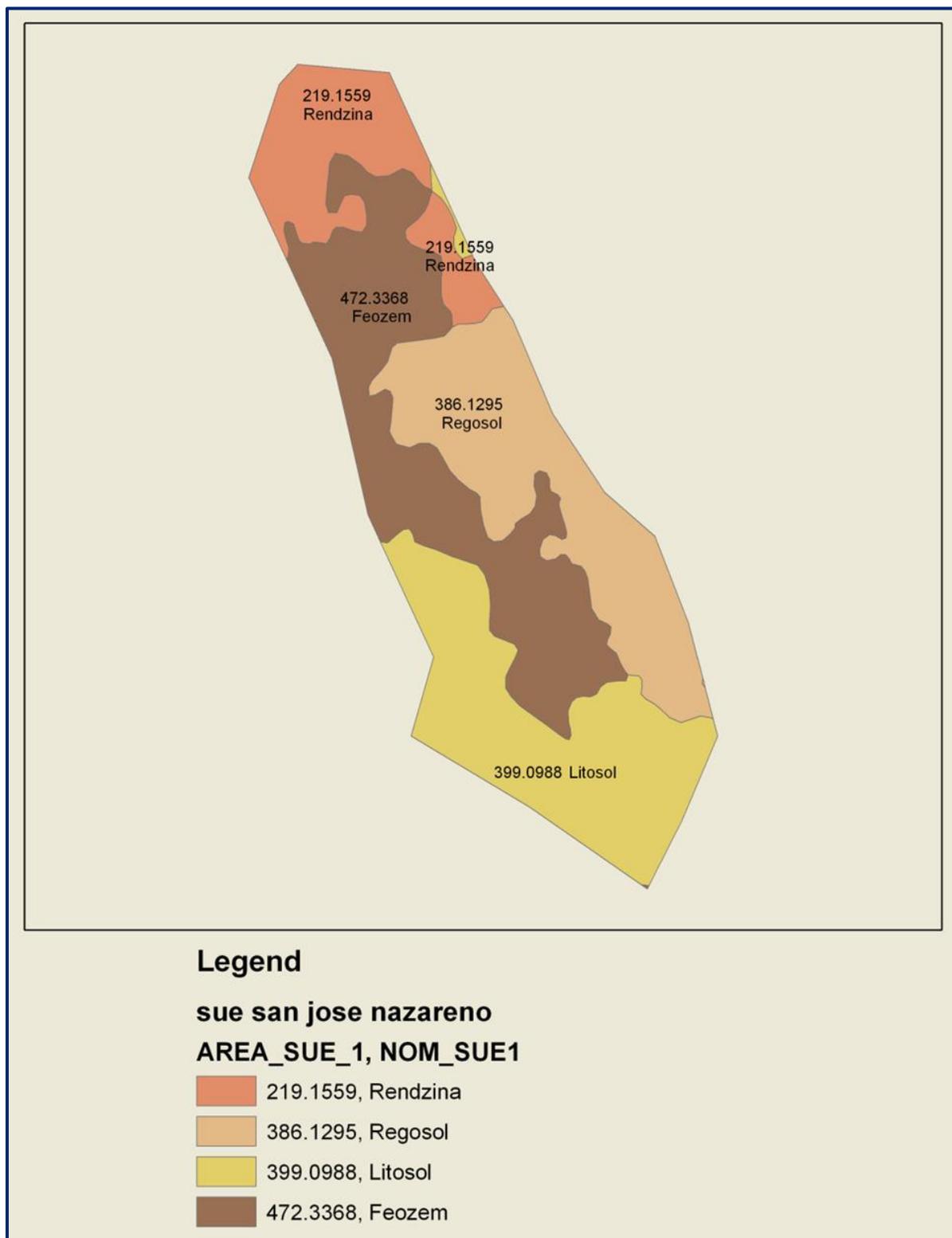


Figura 3. Tipo de suelo

En cuanto al uso de suelo (figura 4), un 45 % de la superficie del acuífero está cubierta por pastizal, en los que el suelo es tipo B, cubiertos del 50 al 75%, por lo que $K=0.24$; 33.9 % del acuífero presenta bosque, suelo tipo C, con coberturamayor al 75%, por lo que $K=0.24$; el chaparral se presenta en 8.5% de la superficie del acuífero, suelo tipo A, por lo que $K=0.18$; el área agrícola se presenta en 7.0% de la superficie del acuífero, suelo tipo A, por lo que $K=0.24$; finalmente un 5.6% del área del acuífero tiene cuerpos de agua, por lo que $K= 0.33$.

$$K \text{ ponderado} = 0.24 (0.45) + 0.24 (0.339) + 0.18 (0.85) + 0.24 (0.07) + 0.33 (0.056) = 0.240$$

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.240, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (C_e):

$$C_e = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5$$
$$C_e = 0.0859$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al valor de la lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento: $0.0859 (681.2 \text{ hm}^3) = 58.5 \text{ hm}^3$ anuales.

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

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC}$$
$$V_{INF} = 681.2 - 588.4 - 58.5$$
$$V_{INF} = 34.3 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de $681.2 \text{ hm}^3/\text{año}$, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.050.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de $34.3 \text{ hm}^3/\text{año}$ en los 1463 km^2 de superficie del acuífero. Por lo que la **$R_v = 34.3 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

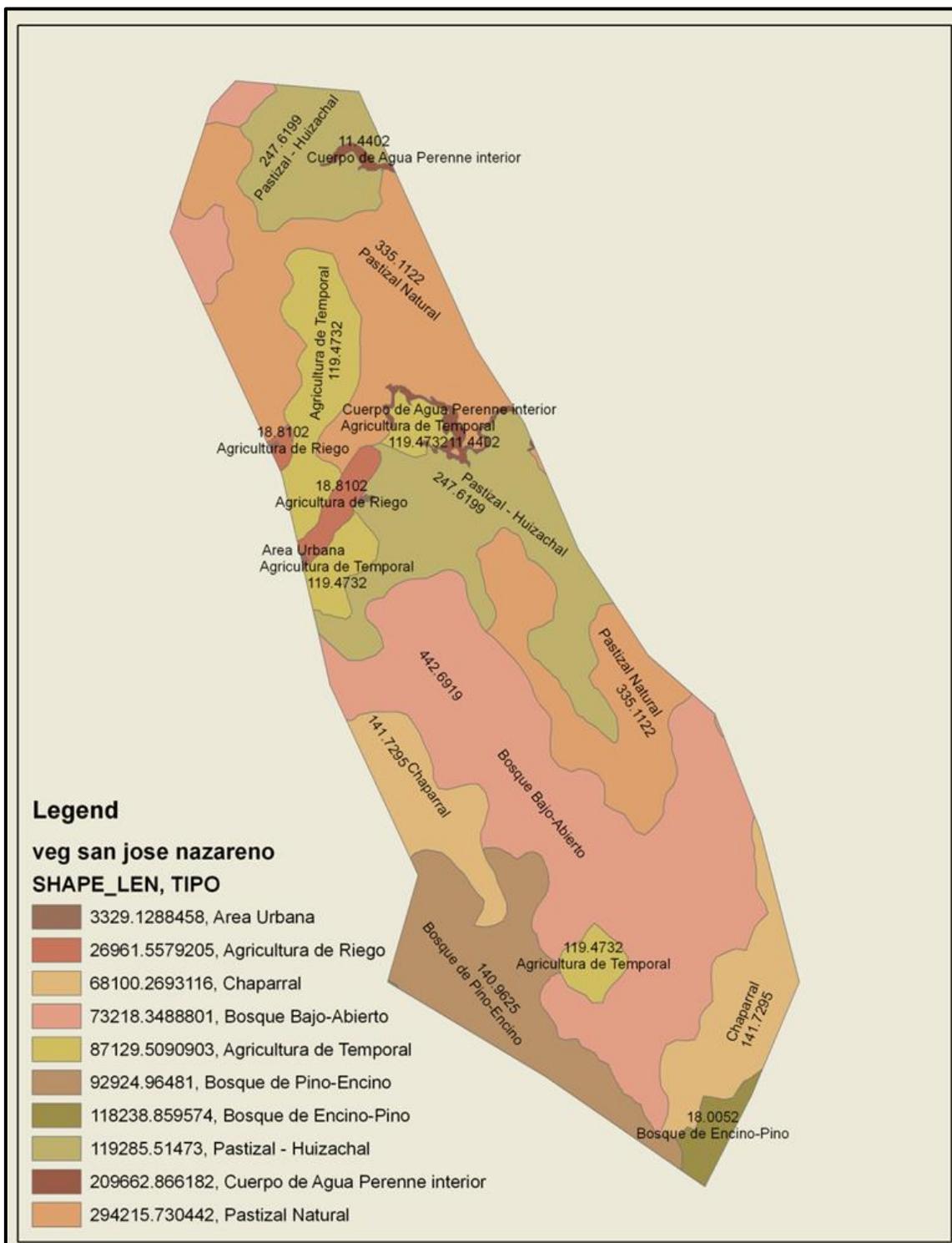


Figura 4. Uso de suelo

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y posiblemente a través de salidas subterráneas y evapotranspiración pero no se cuenta información piezométrica para su estimación. No existen manantiales, ni flujo base en ríos, ya que ambos son de régimen intermitente.

7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es de **34.3 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-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

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

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, tanto de manera natural como incidental.

Para este caso particular, su valor es de **34.3 hm³/año**.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero, el valor es de **0.0 hm³ anuales**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **506,377 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 **30 de diciembre de 2022**.

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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 34.3 - 0.0 - 0.506377 \\ \text{DMA} &= 33.793623 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **33,793,623 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFIA

Comisión Nacional del Agua,2010, Estudio para determinar la disponibilidad de los acuíferos Cabrera-Ocampo, Matalotes-El Oro, San José de Nazareno, Galeana-El Quemado, La Victoria, Buenos Aires, Torreón de Cañas, San Fermín, San Juan del Río, Cabrera, La Zarca-Revolución y Revolución, en el estado de Durango. Realizado por convenio con la Universidad de Sonora (UNISON).