CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

## SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

## GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

# ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO SAN FELIPE DE JESÚS (0845), ESTADO DE CHIHUAHUA

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

# Contenido

**1 GENERALIDADES ..... 2**
**Antecedentes ..... 2**
1.1 Localización ..... 2
1.2 Situación administrativa del acuífero ..... 4
**2 FISIOGRAFÍA ..... 5**
2.1 Provincia fisiográfica ..... 5
2.2 Clima ..... 6
2.3 Hidrografía ..... 7
2.4 Geomorfología ..... 7
**3 GEOLOGÍA ..... 8**
3.1 Estratigrafía ..... 8
3.2 Geología estructural ..... 14
3.3 Geología del subsuelo ..... 15
**4 HIDROGEOLOGÍA ..... 15**
4.1 Tipo de acuífero ..... 15
**5 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS ..... 16**
5.1 Entradas ..... 16
5.1.1 Recarga vertical (Rv) ..... 16
5.2 Salidas ..... 23
5.2.1 Descarga a través de manantiales (Dm) ..... 23
5.2.2 Bombeo (B) ..... 23
**6 DISPONIBILIDAD ..... 23**
6.1 Recarga total media anual (R) ..... 24
6.2 Descarga natural comprometida (DNC) ..... 24
6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) ..... 24
6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) ..... 25
**7 BIBLIOGRAFÍA ..... 26**

# 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 Felipe de Jesús, definido con la clave 0845 en la CONAGUA, se localiza en la porción sur del estado de Chihuahua, entre las coordenadas geográficas 26° 53' y 27° 41' de latitud norte y 106° 45' y 105° 47' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 2741.15 $km^2$.

Limita al norte con el acuífero Alto Río San Pedro; al noreste con Valle de Zaragoza; al sureste con Parral-Valle del Verano; al sur con Bocoyna y al oeste con Carichi-Nonoava, pertenecientes al estado de Chihuahua (figura 1).

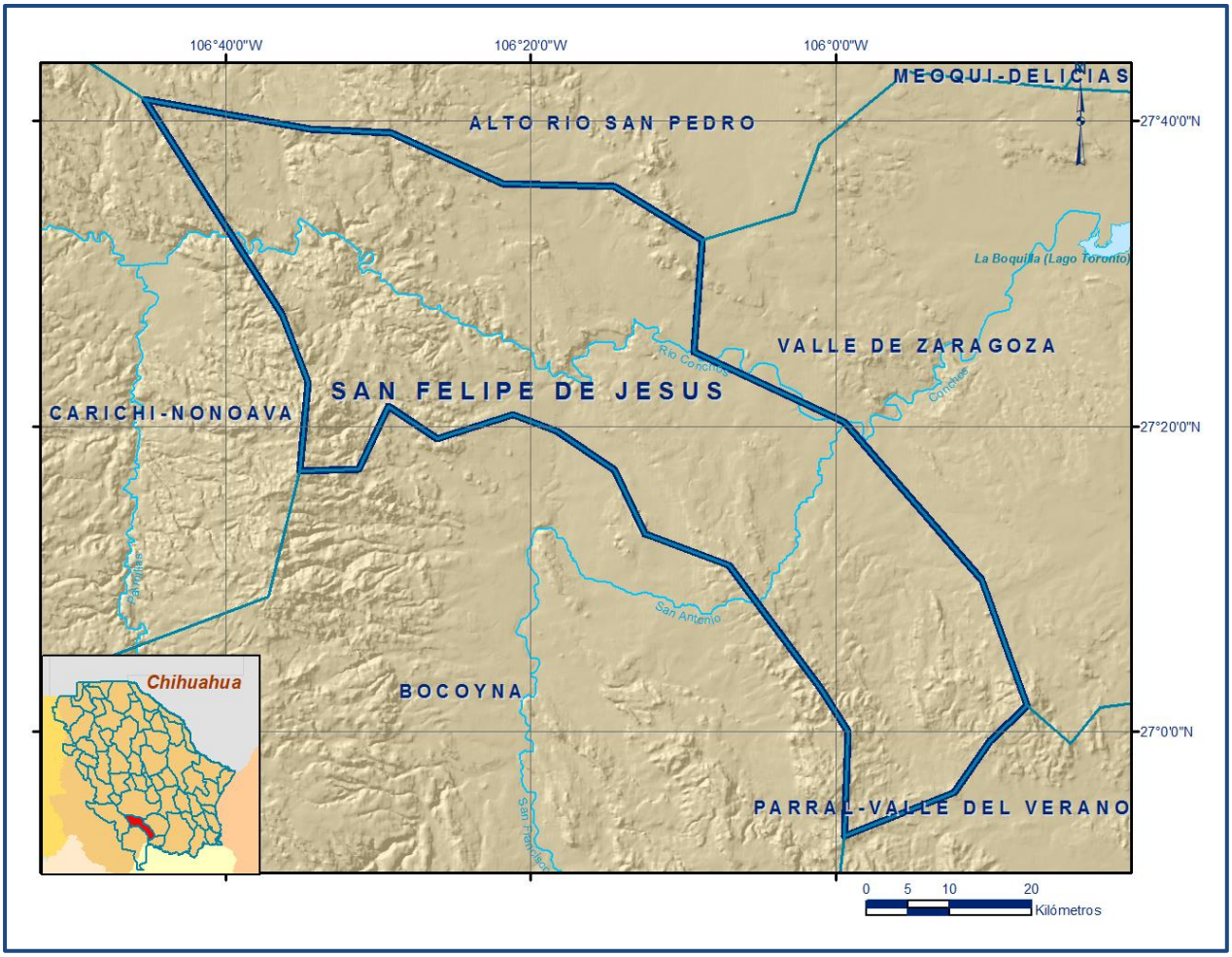



Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente, comprende la superficie parcial de los municipios Nonoava, Satevó, Rosario, Valle de Zaragoza, Huejotitán, Hidalgo del Parral y San Francisco del Oro; así como una porción menor de Carichi. 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 0845 SAN FELIPE DE JESUS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| VERTICE | LONGITUD OESTE | | | LATITUD NORTE | | |
| | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS |
| 1 | 106 | 8 | 46.0 | 27 | 32 | 12.2 |
| 2 | 106 | 9 | 17.3 | 27 | 24 | 55.0 |
| 3 | 105 | 59 | 26.4 | 27 | 20 | 18.0 |
| 4 | 105 | 50 | 25.2 | 27 | 9 | 55.9 |
| 5 | 105 | 47 | 27.5 | 27 | 1 | 43.7 |
| 6 | 105 | 49 | 50.7 | 26 | 59 | 26.1 |
| 7 | 105 | 52 | 12.5 | 26 | 56 | 3.4 |
| 8 | 105 | 59 | 26.4 | 26 | 53 | 10.4 |
| 9 | 105 | 59 | 12.2 | 27 | 0 | 0.2 |
| 10 | 106 | 0 | 58.5 | 27 | 2 | 53.1 |
| 11 | 106 | 6 | 58.9 | 27 | 10 | 56.7 |
| 12 | 106 | 12 | 31.7 | 27 | 12 | 57.3 |
| 13 | 106 | 14 | 29.2 | 27 | 17 | 8.6 |
| 14 | 106 | 18 | 14.3 | 27 | 19 | 42.5 |
| 15 | 106 | 21 | 9.5 | 27 | 20 | 46.6 |
| 16 | 106 | 26 | 6.5 | 27 | 19 | 12.7 |
| 17 | 106 | 29 | 21.1 | 27 | 21 | 20.4 |
| 18 | 106 | 31 | 16.9 | 27 | 17 | 14.5 |
| 19 | 106 | 35 | 6.6 | 27 | 17 | 6.9 |
| 20 | 106 | 34 | 33.8 | 27 | 22 | 53.0 |
| 21 | 106 | 36 | 18.4 | 27 | 27 | 18.3 |
| 22 | 106 | 45 | 17.3 | 27 | 41 | 25.9 |
| 23 | 106 | 34 | 23.5 | 27 | 39 | 29.4 |
| 24 | 106 | 29 | 9.2 | 27 | 39 | 13.7 |
| 25 | 106 | 21 | 49.1 | 27 | 35 | 55.7 |
| 26 | 106 | 14 | 30.8 | 27 | 35 | 45.4 |
| 1 | 106 | 8 | 46.0 | 27 | 32 | 12.2 |

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero San Felipe de Jesús pertenece al Organismos de Cuenca VI “Río Bravo”, al Consejo de Cuenca “Río Bravo”, instalado el 21 de enero de 1999.

En la totalidad de su territorio no rige ningún decreto de veda, sin embargo , se encuentra sujeto a las disposiciones del *“ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento de las aguas nacionales del subsuelo en los siete acuíferos que se indican.”,* publicado en el DOF el 5 de abril de 2013, a través del cual en dicha porción del acuífero, no se permite la perforación de pozos, la

construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, sin contar con concesión o asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua, quien la otorgará conforme a lo establecido por la Ley de Aguas Nacionales, ni se permite el incremento de volúmenes autorizados o registrados previamente por la autoridad, sin la autorización previa de la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. No se han constituido ningún Distrito de Riego ni Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

# 2 FISIOGRAFÍA

## 2.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2001), el acuífero se ubica casi en su totalidad en territorio de la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental y una pequeña área al este en Sierras y Llanuras del Norte, subprovincias Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses, Sierras y Llanuras de Durango y Del Bolsón de Mapimí.

La Sierra Madre Occidental se extiende en parte de los estados de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco. Es un gran sistema montañoso que tiene su origen en el Cenozoico Inferior o Medio, cuando se inició la extrusión de gigantescos volúmenes de los materiales volcánicos que lo integran, cuyos espesores oscilan entre 1500 y 1800 m; en ella predominan rocas ácidas, ricas en sílice, e intermedias.

La provincia de Sierras y Llanuras del Norte es una provincia árida y semiárida que se extiende desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta cerca de Nazas en Durango y la Laguna de Mayrán en Coahuila. Se orienta más o menos noroeste-sursureste y abarca parte de los estados de Durango, Sonora, Chihuahua y Coahuila. Su origen está relacionado con el plegamiento de las secuencias marinas del mesozoico que se desarrollaron sobre un basamento Paleozoico y Precámbrico, así

como por el relleno de fosas tectónicas con sedimentos continentales y algunos derrames lávicos, que dieron lugar a la formación de cuencas endorreicas.

La subprovincia Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses, que se caracteriza por presentar algunos de los paisajes más espectaculares del país, entre ellos las Barrancas del Cobre en el estado de Chihuahua. En su morfología muestra una enorme meseta conformada por rocas volcánicas y en la que los ríos de la vertiente occidental han labrado profundos cañones.

La subprovincia Sierras y Llanuras de Durango se presenta como una franja angosta y alargada que forma parte de los costados orientales de la Sierra Madre Occidental. Está representada por llanuras amplias y una manifestación importante de mesetas, dominando la litología las rocas ígneas de composición ácida, principalmente riolita e ignimbrita.

La subprovincia Bolsón de Mapimí se extiende desde su frontera septentrional con la subprovincia Llanuras y Médanos del Norte, hacia el sur, pegada al costado oriente de la Sierra Madre Occidental, para ampliarse al este hasta la zona de la Laguna El Rey y las poblaciones Mapimí, Nazas y este de Torreón; de tal forma que abarca parte de los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango. En ella dominan las llanuras aluviales y las bajadas, sólo interrumpidas por pequeñas sierras escarpadas y plegadas, así como lomeríos escarpados y ramificados, orientados norte-sur.

## 2.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por E. García, en 1981, con aportaciones del INEGI, para las condiciones particulares de la República Mexicana, en la zona noreste y sureste, prevalece el clima semiseco templado BS1kw(w). Es un clima semiseco estepario (BS), subtipo semiseco (1), con 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 la temperatura media anual del mes más frío y del más cálido, templado con verano cálido. El régimen de lluvia (w), que define el comportamiento de la lluvia durante el año, indica la temporada en la que se concentra la mayor cantidad, en este caso es en 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 (w) indica que su porcentaje de lluvia invernal

(cantidad de lluvia que cae en este periodo con respecto a la total anual) es < 5%. Se caracteriza por presentar una temperatura media anual de 16 °C, la temperatura media del mes más frío es menor de 18 °C, con invierno fresco y régimen de lluvias en verano. El segundo tipo de clima que abarca un área menor se encuentra en la zona centro-este es el clima semiseco semicálido BS1hw(w), es muy similar al clima que se describió anteriormente, la diferencia radica en la condición de temperatura la letra h indica que es un clima cálido con una temperatura media anual superior a 18°.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 4 estaciones climatológicas con influencia en el área del acuífero: En el estado de Chihuahua las estaciones son: Valle de Zaragoza (DGE)-Chih, Nonoava (DGE)- Chih, El Sitio- Chih y El Maguey- Chih. Con los registros obtenidos para el periodo 1967 a 1986 y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores medios anuales de precipitación, temperatura y evaporación potencial de **549 mm, 16.4 °C** y **359 mm**, respectivamente.

### 2.3 Hidrografía

El acuífero se localiza en la Región Hidrológica No. 24 Bravo-Conchos, abarca la cuenca del Río Conchos 1, pertenece en su mayoría a la subcuenca del Río Conchos – Valle de Zaragoza y en menor medida a las subcuencas Río Balleza y Río San Pedro - Villalba. Su corriente principal es el Río Conchos, el cual proviene del acuífero vecino y recibe las aguas del Río Balleza, además de arroyos menos importantes. La mayoría de los arroyos no son perennes, únicamente en temporada de lluvias conducen aguas pluviales, localmente forman un patrón de tipo Dendrítico.

### 2.4 Geomorfología

El sistema de topoformas del acuífero San Felipe de Jesús se constituye al noroeste de un Valle Abierto de Montaña en el cual inicia su recorrido el Río Conchos dentro del acuífero, continua por un Valle Intermontano con Lomerío, el cual está limitado al norte por un Lomerío con cañadas y al sur por un Valle Abierto de montaña con Lomerío, finalmente continua hacia el acuífero vecino Valle de Zaragoza mediante un Valle Abierto de Montaña con Lomerío que se extiende hasta llegar al límite sureste del acuífero, en donde encontramos una Sierra baja con mesetas.

# 3 GEOLOGÍA

La geología de la región está compuesta por rocas ígneas y sedimentarias, que varían desde el periodo Jurásico al Cuaternario, las rocas más antiguas se encuentran al centro del acuífero siendo de tipo sedimentario, como Lutita y Arenisca, estas pertenecen al Mesozoico.

La distribución general de las distintas unidades litológicas se muestra en la figura 2.

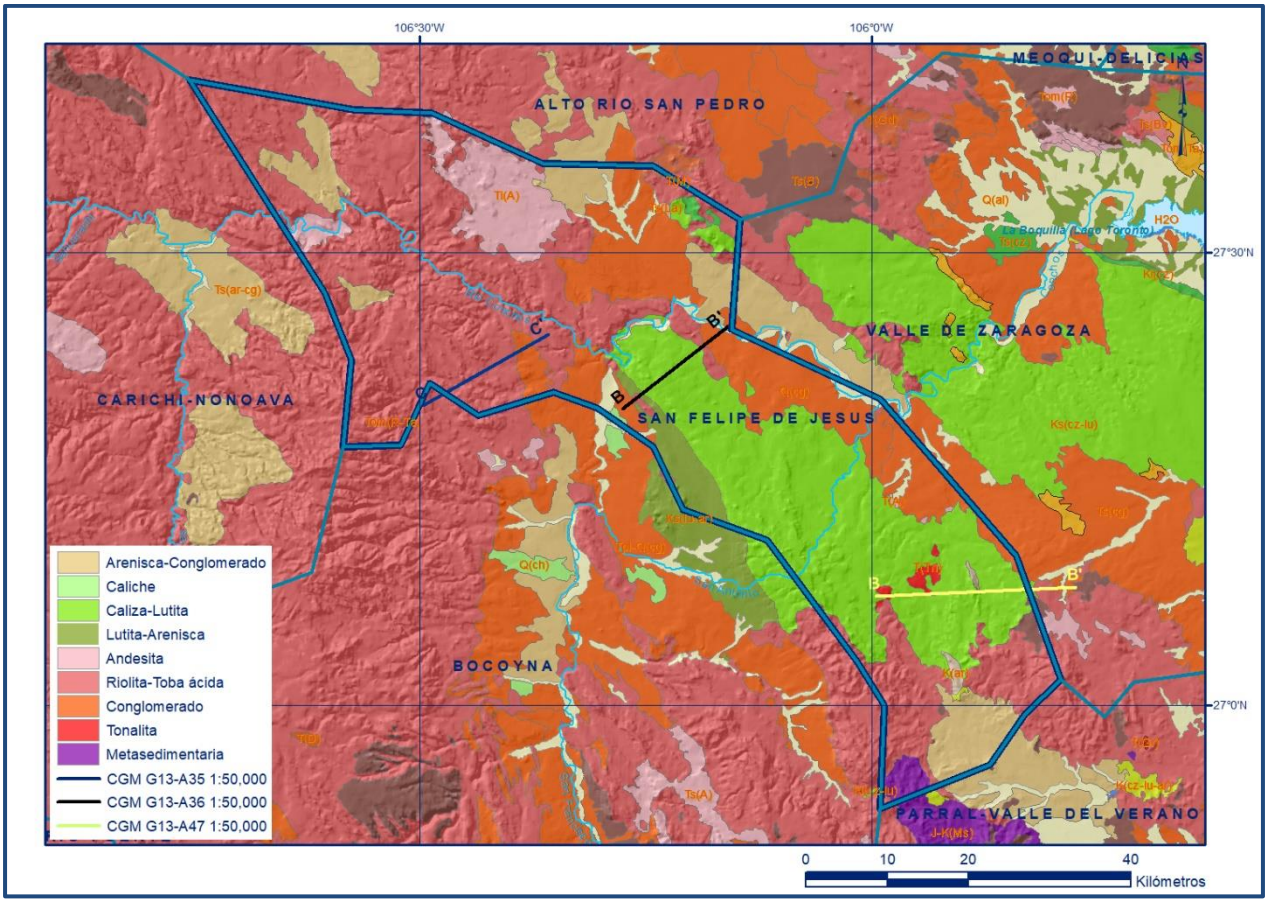



Figura 2. Geología general de acuífero

## 3.1 Estratigrafía

La columna estratigráfica está conformada por rocas sedimentarias e ígneas, cuyo registro comprende edades que varían del periodo Jurásico Superior al Cuaternario Holoceno. A continuación, se presenta de manera breve la descripción de las rocas más antiguas a las más recientes, con base en información del Servicio Geológico Mexicano:

**MESOZOICO**

**JURÁSICO superior – CRETÁCICO inferior**

**Lutita – Arenisca**

La unidad más antigua registrada en la zona del acuífero se define como una secuencia de rocas sedimentarias conformada principalmente por lutita, limolita, arenisca y en menor proporción horizontes de conglomerado polimíctico, calizas y meta-sedimentos que generalmente están asociados a frentes de cabalgadura.

**CRETÁCICO inferior**

**Formación Mezcalera**

Se define como Formación Mezcalera al agrupamiento de cinco unidades de rocas sedimentarias constituidas por una alternancia de lutitas, areniscas, conglomerados y calizas, que muestran relaciones estratigráficas de concordancia y cambios de facies de estratificación delgada con una coloración gris a gris rojizo, fuertemente plegada, en ocasiones cabalgadas. A continuación, se define cada una:

**Lutitas-Areniscas**

La primera unidad está compuesta principalmente de lutitas color gris a gris rojizo, con capas medias de 20 a 30 cm, textura laminar, de estructura deleznable, con escasa oxidación y poco fracturadas; interestratificadas con capas delgadas de areniscas delgadas de 3 a 5 cm, de grano fino, color gris verdoso compactas ligeramente fracturadas. En menor proporción a las rocas anteriores se presentan escasas capas de calizas delgadas color gris obscuro y compactas. La unidad presenta datos estructurales preferenciales al NW 50 ° con 15° de echado al NE, en general se presenta plegada al NE y no se conoció su base.

**Areniscas - Lutitas**

La tercera unidad está compuesta por areniscas calcáreas en capas delgadas de 1 a 5 cm, color rosado de grano fino, estructura compacta y muy fracturadas; se encuentran intercaladas con lutitas laminares color gris obscuro muy deleznables. La unidad en porciones se encuentra intensamente plegada y afallada.

**Lutitas y Calizas**

La unidad está constituida principalmente por lutitas color gris obscuro a negras, laminares, deleznables y en capas de 5 a 30 cm, intercaladas con calizas arcillosas color café ocre de 10 a 25 cm, y en algunas localidades con estratos de 5 a 10 cm de limolitas.

**Areniscas**

La cuarta unidad está constituida por areniscas color gris a gris rojizo, de grano fino compuesta principalmente por cuarzo, plagioclasa sódica, ortoclasa y magnetita; compacta, en capas de 3 a 5 m, en porciones presenta efectos de metamorfismo regional reportadas petrográficamente como areniscas subarcosa y arenisca grauvaca lítica.

**Calizas- Areniscas**

La segunda unidad está constituida principalmente por calizas arcillosas color gris obscuro a café rojizo, en capas de 1 a 12 cm compactas; intercaladas con estas calizas se tienen capas de areniscas calcáreas color rosada con espesores de 5 a 7 cm compactas, y en menos proporción lutitas laminares color gris que separan a las calizas y areniscas, el rumbo preferencial de la estratificación es N-NW con buzamientos de 15 a 25° al SW.

**CRETÁCICO Superior – CENOZOICO Paleoceno Eoceno**

**Andesita-Toba Andesítica**

La Formación Tarahumara es una secuencia volcánica constituida por flujos de lava, aglomerados y brechas de composición andesítica, y latítica, presentando una alteración muy intensa. En el arroyo El Obispo McDowell et al. (2001), dividieron la Formación Tarahumara en 3 miembros: el inferior que consiste de toba riolítica (72.2 Ma, U/Pb, zircón). El miembro intermedio constituido por caliza con lentes y capas de pedernal negro, e intercalada con delgados estratos de arenisca volcánica, contiene material algáceo y fragmentos de raíces de palmeras. El superior lo conforma ignimbrita riolítica (U-Pb de 69.7 Ma) y andesita.

**CENOZOICO**

**Diorita – Pórfido Andesítico**

Se define como diorita – pórfido andesítico a los intrusivos que afectan a la Formación Mezcalera y la unidad andesítica, presenta coloración verdosa, textura porfídica y estructura masiva.

**Granodiorita**

Se define a esta unidad como los cuerpos intrusivos de composición granodiorítica, color verdoso, textura porfídica y estructura compacta y masiva, los cuales se presentan

afectando a las rocas sedimentarias de la Formación Mezcalera y al paquete de rocas volcánicas andesíticas del Eoceno.

**Diques Andesíticos**

Se define como diques Andesíticos a cuerpos tabulares que se encuentran intrusionando a las rocas sedimentarias terrígenas de la Formación Mezcalera, y se en algunos casos se inyectaron siguiendo los planos de estratificación de las unidades, por lo que sus actitudes son muy irregulares. presenta color gris verdoso, textura afanítica, estructura compacta y masiva.

**Brecha Polimíctica**

La brecha polimíctica está constituida por clastos de andesitas, riolitas, lutitas, calizas, basaltos y vitrófidos, siendo sus tamaños de hasta 3 cm en la base, subiendo estratigráficamente los clastos aumentan de tamaño de 5 a 20 cm, llegando a encontrar bloques de 60 a 70 cm angulosos y cementados por arenas y tobas riolíticas.

**Oligoceno**

**Riolita Porfídica**

Se define como riolita sinvolcánica a las manifestaciones de masas riolíticas porfídicas de emplazamiento hipabisal, de color rosa a rosa pálido, relacionadas a estructuras de forma dómica, troncos y calderas, delimitados por lineamientos y curvilineamientos bien definidos.

**Ignimbrita toba riolítica**

Está conformada por intercalaciones de ignimbrita y toba riolítica, así como horizontes de epiclastos y derrames de basalto intercalados en esta unidad. La ignimbrita presenta una tonalidad rosa, blanquecina, violeta y esporádicamente rojiza. La textura en la ignimbrita es eutaxítica con fiammes bien formados en dirección de los flujos piroclásticos, la matriz es vítrea e inmersos en ella se observan fenocristales de cuarzo y fragmentos de pumicita y vidrio volcánico. La toba riolítica presenta una textura fragmentaria con abundantes líticos de rocas volcánicas ácidas y fenocristales de cuarzo y biotita soportados por una matriz de ceniza fina de coloraciones amarillentas a blanquecinas.

**Tobas Riolíticas-Riolitas**

Se define así a una secuencia polimíctica riolítica constituida por una alternancia de tobas de caída libre con intercalaciones de derrames riolíticos, color gris claro a rosa, estructura compacta, masiva y polimíctica, tobas soldadas y sin soldar, brechas polimícticas y aglomerados con fragmentos angulosos de riolitas.

**Dacita Andesita**

Se define a la unidad To Da-A como un vulcanismo que extruye principalmente dacita, andesita, así como toba riolítica, toba dacítica, basalto, y ocasionalmente en zonas aisladas posible ignimbrita, La andesita es de color verdoso, se observa hacia las partes centrales de los afloramientos, de textura afanítica, esporádicamente porfiroafanítica, presenta abundantes fenocristales de plagioclasa y hornblenda. La dacita se presenta hacia las periferias, se torna más ácida, de color morado, violeta, rojizo con una textura afanítica con fenocristales de cuarzo, plagioclasa y ferromagnesianos, en ocasiones se presenta una textura vítrea.

**Riolita**

Se definen como riolitas fluidales al evento constituido por derrames riolíticos de estructura fluidal, color gris claro a rosado y textura afanítica; estos afloran en grandes extensiones o bien pueden estar intercalados entre las tobas y derrames riolíticos.

**Tobas Riolíticas**

Se define como ToTR a la emisión de tobas riolíticas color blanco rosado con pumicitas color café claro, deleznables y ligeramente argilizadas, producto de las últimas emisiones polimícticas en el Oligoceno.

**Arenisca**

Se definen como una alternancia de areniscas, de color crema, pseudoestratificada con deposición gradual bien cementada, constituida principalmente por cuarzo, feldespatos y arcillas, interestratificados con horizontes de tobas de 30 a 40 cm, y en algunos casos delgados derrames de riolitas (rancho San Antonio). El espesor de estas areniscas puede ser de unos cuantos centímetros a 20 metros; concordantemente esta arenisca va graduando hasta formalizar el Conglomerado polimíctico.

**Conglomerado Polimíctico**

Se define como una secuencia clástica de conglomerados polimícticos que se depositan en las depresiones, producto de la etapa distensiva de la región sus clastos corresponden a riolitas, tobas riolíticas y riolitas fluidales, esporádicamente se presentan clastos de calizas, lutitas y areniscas de la Formación Mezcalera así como algunos fragmentos andesíticos, los tamaños de estos clastos generalmente van de 10 a 15 cm semiredondeados y presentan una matriz arcilloarenosa El espesor es muy variable, ya que este va de 5 a 40 m, llegando a encontrar localidades de más de 80 m de potencia.

**Basalto**

Se define como derrames y coladas de basaltos que se manifiestan en forma de mesas basálticas, volcanismo fisural y pequeñas Los derrames basálticos presentan una coloración gris obscura, con textura afanítica-vesicular, su estructura es compacta y masiva y como minerales se le observan feldespato, ferromagnesianos y óxidos de hierro.

**Grava-Arena**

Se define como grava-arena a los depósitos clásticos sin consolidar, están constituidos principalmente por gravas de formas sub-angulosas, sub-redondeadas, y angulosas que por efectos del intemperismo y erosión de las formaciones que se encuentran en las partes altas, tienden a distribuirse en forma de coluviones, depósitos de piemonte y abanicos aluviales en las partes bajas de las sierras, la constitución litológica de las gravas está sujeta a las composición de las unidades litológicas superiores, los espesores de esta unidad generalmente no rebasan los 2 m de espesor.

**Limo-Arena**

Esta unidad se define como depósitos aluviales que constituyen acumulaciones de material de origen fluvial, producto de la intensa erosión de las formaciones volcánicas cenozoicas con su transporte y depósito. Está formado por clásticos subredondeados a redondeados con un rango granulométrico amplio de limos y arenas que rellenan pequeñas superficies.

**Aluvión**

Se define a todo aquel material constituido por arcillas, limos, arenas, gravas y clastos de diferente composición y de tamaños variables redondeados y subredondeados,

que se localizan en los cauces de los ríos y arroyos. La constitución litológica es demasiado variable y está sujeta a la capacidad y competencia de las corrientes de los ríos y los arroyos, por lo que es posible observar desde granos del tamaño de una arcilla hasta fragmentos de aproximadamente 1 m de diámetro.

### 3.2 Geología estructural

Las estructuras geológicas de la carta están representadas por foliación, estratificación, cabalgaduras, pliegues y fallas.

En las rocas sedimentarias del Mesozoico se presentan fuertes plegamientos, cabalgaduras y fallas normales producto de los esfuerzos compresivos laramídicos, así como lineamientos semicirculares producto de intrusiones dioríticas-granodioríticas del Oligoceno.

Con base en la interpretación de las imágenes de satélite y epipolar, aunado con los trabajos de campo dentro del acuífero, se distinguieron claramente dos bloques tectónicos representados por un horst o pilar y un graben o fosa tectónica, limitados por una serie de lineamientos que corresponden a fallas normales y cabalgaduras de orientación general NW – SE.

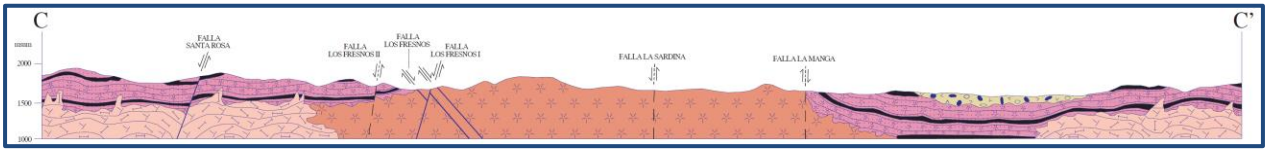
Dentro de la carta la deformación dúctil-frágil está representada por el plegamiento de las formaciones del Jurásico y Cretácico que son depósitos de tipo flysch y presentan pliegues de tipo isoclinales cerrados, chevrón, kink, estructuras de carga y en la parte sur-suroeste de la carta, en la localidad del arroyo Pelayo se observa un desarrollo de esquistosidad y foliación, lo que pone de manifiesto la deformación a la que ha estado sujeta las secuencias.

La deformación frágil corresponde a la tectónica distensiva de Cuencas y Sierras. Tiene sus primeras manifestaciones en forma de un sistema transtensivo que se inicia con un movimiento lateral orientado NW-SE, esta cinemática evoluciona en tiempo y forma pasando por movimientos oblicuos hasta culminar con la clásica distensión de Cuencas y Sierras y que origina la estructura actual de la región. Existen al menos cinco sistemas de fallas; laterales orientadas al NW y NE; normales de direcciones NE, NW y con orientación general al norte, los principales tipos de fallas son de tipo normal, inversa y lateral. Toda esta serie de fallas identificadas y medidas presentan diversos indicadores que muestran la cinemática de las mismas.

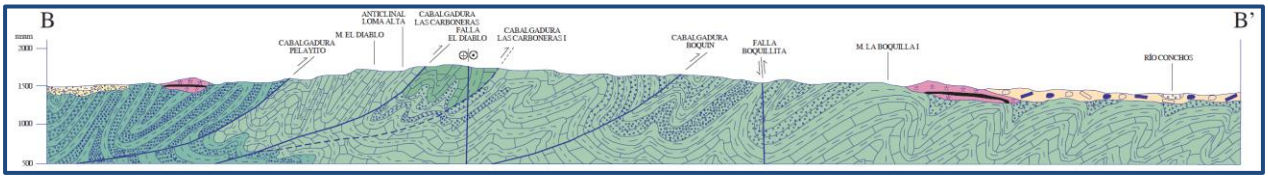
### 3.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica recaba 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 del río Conchos, Río Balleza y arroyos tributarios. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas que, de acuerdo con la columna estratigráfica, la parte superior está compuesta por Basalto, Conglomerado y Arenisca que sobreyace a un paquete de rocas ígneas mayormente del Cenozoico entre las que se encuentran Riolita, Dacita, Andesita, Ignimbrita, Toba riolítica, en cuanto a su porción inferior está compuesta principalmente por rocas sedimentarias como son Calizas, Lutitas y Areniscas, que pueden presentar permeabilidad secundaria por fracturamiento

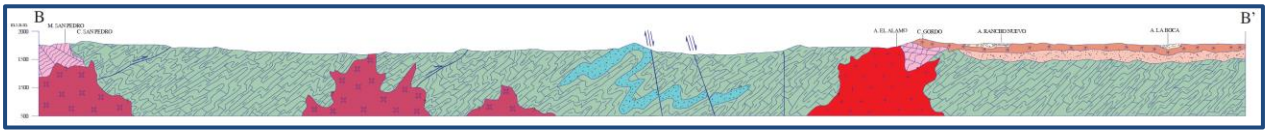
Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas sedimentarias, al desaparecer el fracturamiento, de la Formación Mezcalera (figura 3).




Fuente: Carta Geológico-Minera G13-A35 "El Durazno". Esc. 1:50,000 (SGM, 2014)




Fuente: Carta Geológico-Minera G13-A36 "Valle del Rosario". Esc. 1:50,000 (SGM, 2012)




Fuente: Carta Geológico-Minera G13-A47 "San Antonio del Potrero". Esc. 1:50,000 (SGM, 2000)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

## 4 HIDROGEOLOGÍA

### 4.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica, es posible definir la presencia de un acuífero de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior por sedimentos aluviales y fluviales, de granulometría variada, además de tobas riolíticas, areniscas y conglomerados. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas

volcánicas y sedimentarias que pueden presentar permeabilidad secundaria por fracturamiento. El basamento del acuífero está compuesto por una serie de rocas sedimentarias en las que no existe porosidad secundaria por fracturamiento.

# 5 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Debido a la poca información piezométrica actual e histórica en la superficie que cubre el acuífero y a que se encuentra dispersa en espacio y tiempo; hace imposible extrapolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas tradicional. Por lo tanto, se optó por plantear un balance hidrometeorológico en el área de balance de **2,771.8 km²** del acuífero, para estimar de manera conservadora el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

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:

**Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio de almacenamiento**

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:

**Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento**

## 5.1 Entradas

Las entradas al acuífero San Felipe de Jesus están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv).

### 5.1.1 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 de balance del acuífero, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:
**$V_{LL}$ =** 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:

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

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (2,771.8 $km^2$) por la lámina de precipitación media anual (549 mm):

$$V_{LL} = 2{,}771.8\ km^2\ (0.549\ m) = 1{,}521.7\ hm^3 \text{ anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando el valor medio anual de precipitación de 549 mm y temperatura de 16.4 °C.

Coutagne propuso la siguiente expresión para el cálculo de 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 ºC

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 1/8λ la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que 1/2λ 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 **452 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 452 mm anuales, que representa el 87.39 % de evapotranspiración respecto a la lluvia; por lo que el volumen de la ETR ($V_{ETR}$) es:

$$\mathbf{V_{ETR} = 2{,}771.8\ km^2\ (0.452\ m) = 1{,}252.9\ hm^3\ anuales}$$

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, publicada en el Diario Oficial de la Federación, de fecha 27 de marzo del 2015, 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.

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

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA** | **=** | **PRECIPITACION ANUAL DE LA CUENCA** | ***** | **AREA DE LA CUENCA** | ***** | **COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO** |

El coeficiente de escurrimiento (Ce) 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, 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 (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 |

Donde:

**P =** Precipitación anual;
**Ce =** 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

| 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 de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), escala 1: 1,000,000 en la zona que comprende el acuífero San Felipe de Jesús, predominan los siguientes tipos de suelo: Cambisol, Feozem, Regosol, Rendzina y Vertisol que se clasifican en dos tipos de suelo: A y C (figura 4).

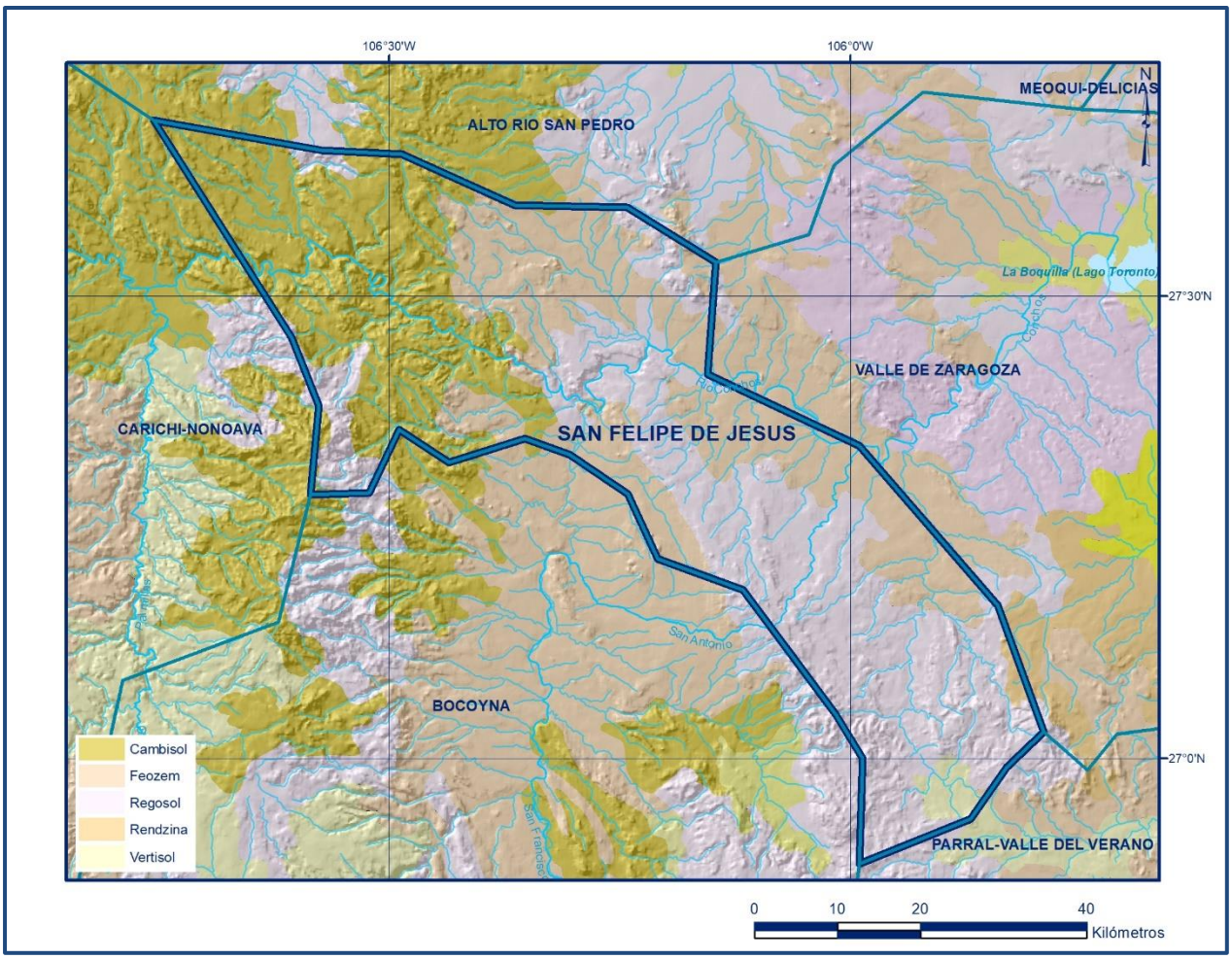



Figura 4. Tipo de suelo

En cuanto al uso de suelo, de acuerdo con la cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) escala 1: 250,000 en el área donde se localiza el acuífero hay al menos seis usos de suelo diferentes: agricultura, asentamientos humanos, bosque, matorral, otros tipos y pastizal (figura 5).

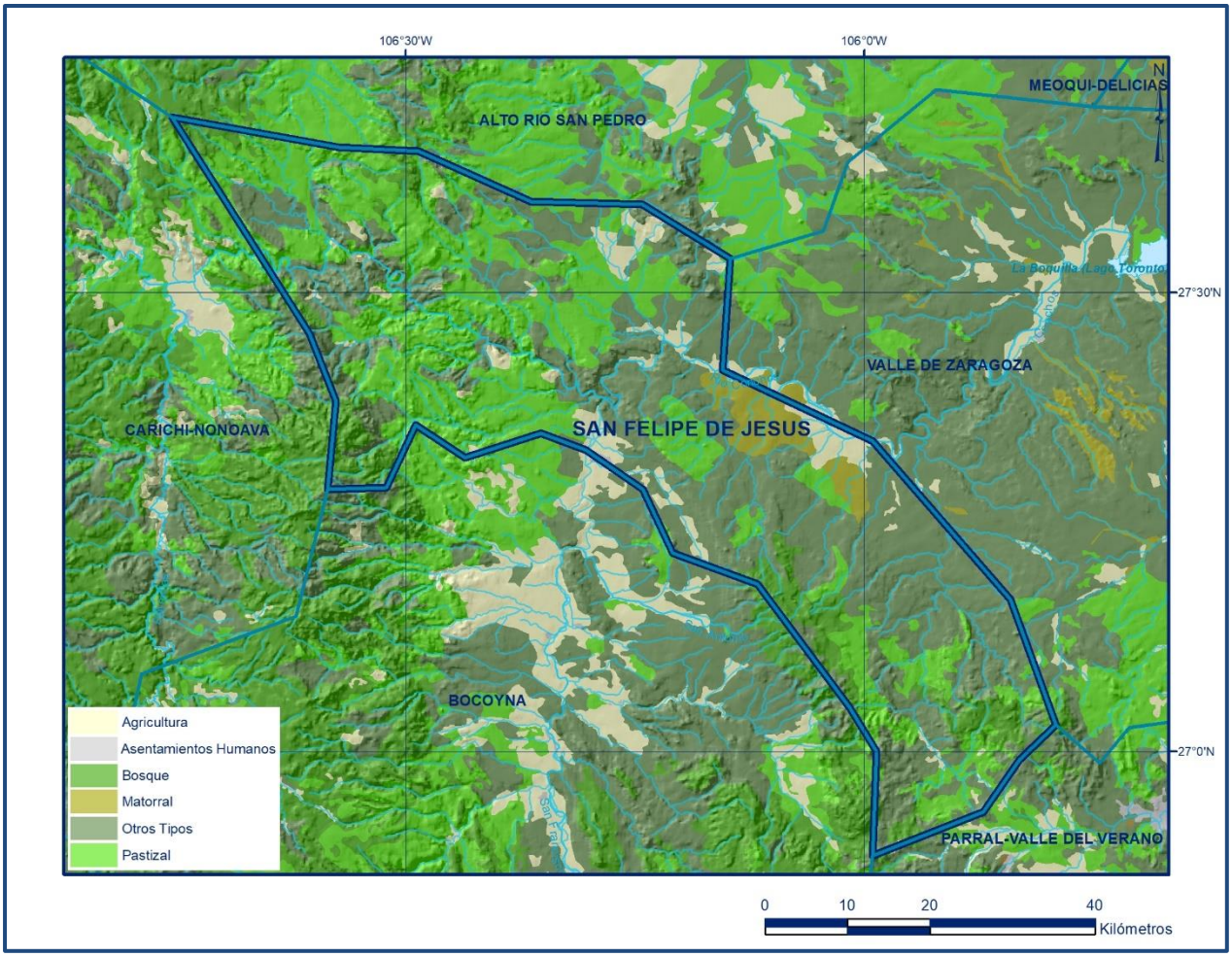



Figura 5. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.28, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

$$Ce = K\,(P-250)/2000) + (K-0.15)/1.5$$

**Ce = 0.129**

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al volumen de lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento:

**$V_{ESC}$ = 0.129 (1,521.7 $hm^3$) = 196.3 $hm^3$ anuales**

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

$$\mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC}\ (2)}$$
$$\mathbf{V_{INF} = 1{,}521.7 - 1{,}252.9 - 196.3}$$
$$\mathbf{V_{INF} = 72.5\ hm^3\ anuales}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es 1,521.7 $hm^3$/año se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.05.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 72.5 $hm^3$/año en la superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 72.5 $hm^3$ anuales**

### 5.2 Salidas

Las salidas de agua subterránea estimadas en este balance son las siguientes:
La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), por manantiales (Dm), flujo base (Dfb) y posiblemente a través de salidas subterráneas y evapotranspiración, pero no se cuenta información piezométrica ni con estaciones hidrométricas cercanas para su estimación.

#### 5.2.1 Descarga a través de manantiales (Dm)

De acuerdo con información del 2017, se identificó la existencia de 442 manantiales, que en conjunto descargan **0.2 $hm^3$ anuales.**

#### 5.2.2 Bombeo (B)

De acuerdo con los datos reportados por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), se tiene registrado un volumen de extracción de **0.6 $hm^3$ anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

## 6 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:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA DEL SUBSUELO EN UN ACUÍFERO | = | RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL | - | DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA | - EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS |

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

### 6.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **72.5 hm³ anuales**, todos ellos son de recarga natural.

### 6.2 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 este caso, su valor es de **52.4 hm³ anuales**, que corresponde a la descarga de manantiales.

### 6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **699,597 m³ anuales,** que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre del 2022.**

### 6.4 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.

**DMA = R – DNC – VEAS**
**DMA = 72.5 – 52.4 – 0.699597**
**DMA = 19.400403 hm³ anuales**

El resultado indica que existe un volumen disponible de **19,400,403 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones.

# 7 BIBLIOGRAFÍA

Servicio Geológico Mexicano, 2014. El Durazno G13-A35 Escala 1:50,000, Estado de Chihuahua.

Servicio Geológico Mexicano, 2011. Texto explicativo de la Carta Geológico-Minera Valle del Rosario G13-A36, Escala 1:50,000.

Servicio Geológico Mexicano, 1999. Informe Final de La cartografía Geológica- Minera Y Geoquímica de La Carta San Antonio del Potrero G13-A47 Escala 1:50,000 Municipios de Hgo. del Parral, Huejotitan, Chihuahua, México.

Sistema Nacional de Información del Agua (CONAGUA), 2020, Regiones Hidrológicas, Cuencas, Ríos Principales; 2018-2019, Distritos de Riego; 2010, Regiones Hidrológico-Administrativas, Distritos de Riego.

Simulador de Flujo de Agua de Cuencas Hidrográficas (INEGI), 2010 Subcuencas.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018, Municipios; Subprovincias Fisiográficas; 2017, Uso de Suelos; 2008, Unidades climáticas; 2002, Fallas; 2001; Sistema de Topoformas; 2001, Provincias Fisiográficas.