



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**  
**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE DEL PESO (0861), ESTADO  
DE CHIHUAHUA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
Antecedentes.....	2
1.1 Localización .....	2
1.2 Situación administrativa del acuífero.....	4
<b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b>	<b>5</b>
<b>3. FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>5</b>
3.1 Provincias fisiográficas.....	5
3.2 Clima .....	6
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología .....	8
<b>4. GEOLOGÍA.....</b>	<b>8</b>
4.1 Estratigrafía.....	10
4.2 Geología estructural.....	21
4.3 Geología del subsuelo .....	21
<b>5. HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>23</b>
5.1 Tipo de acuífero.....	23
5.2 Parámetros hidráulicos .....	23
5.3 Piezometría.....	23
5.4 Comportamiento hidráulico .....	24
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	24
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA .....</b>	<b>24</b>
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRRÁNEAS .....</b>	<b>25</b>
7.1 Entradas.....	25
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	25
7.2 Salidas.....	32
7.2.1 Bombeo (B).....	32
7.2.2 Evaporación (Ev) .....	32
<b>8. DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>32</b>
8.1 Recarga total media anual (R) .....	33
8.2 Descarga natural comprometida (DNC) .....	33
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	33
8.4 Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA) .....	34

## **1. GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

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

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

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 Valle del Peso, definido con la clave 0861 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción nororiente del estado de Chihuahua, entre los paralelos 29°36' a 30°56' de latitud Norte y los meridianos 104°27' a 105°42' de longitud Oeste, cubriendo una superficie aproximada de 3,596 km<sup>2</sup>. Colinda al norte y este con los Estados Unidos de Norteamérica, al sur con el acuífero Bajo Río Conchos y al oeste con los acuíferos Valle de Juárez, El Cuarenta, Los Lamentos y Aldama-El Cuervo, todos ellos pertenecientes al estado de Chihuahua (figura 1).

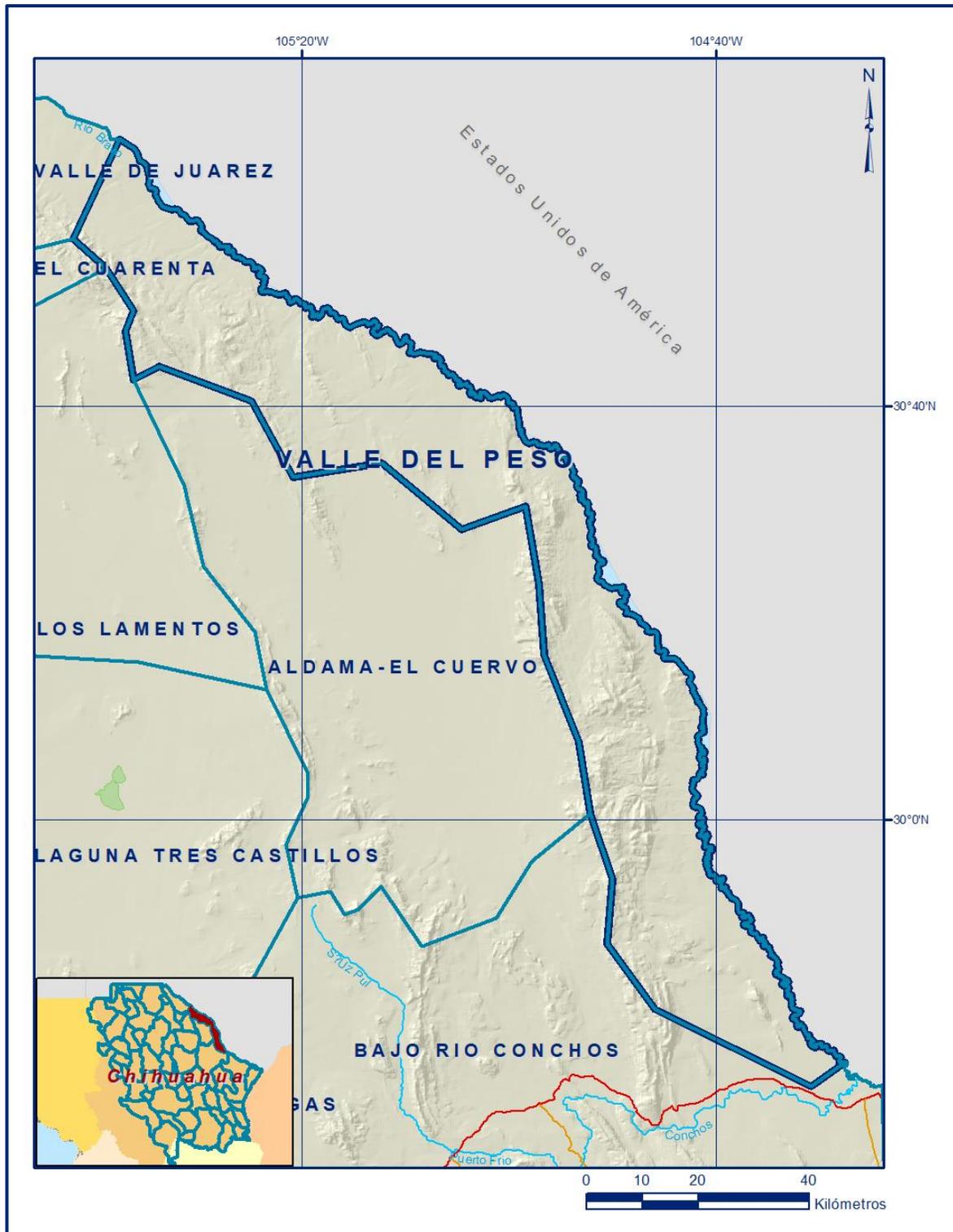


Figura 1. Localización del acuífero Valle del Peso.

Geopolíticamente su territorio se encuentra ubicado parcialmente los municipios de Ojinaga y Guadalupe. 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 Valle del Peso.

ACUIFERO 0861 VALLE DEL PESO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	104	27	29.7	29	36	31.2	
2	104	30	47.3	29	34	11.4	
3	104	45	52.5	29	41	39.8	
4	104	50	32.7	29	48	2.5	
5	104	50	0.0	29	54	15.1	
6	104	52	10.6	30	0	38.1	
7	104	53	13.1	30	7	32.3	
8	104	56	37.1	30	15	58.1	
9	104	57	6.1	30	22	53.4	
10	104	58	23.6	30	30	22.9	
11	105	4	32.5	30	28	10.7	
12	105	12	16.0	30	34	32.6	
13	105	20	50.1	30	33	11.0	
14	105	24	52.2	30	40	35.2	
15	105	33	48.8	30	43	53.5	
16	105	36	15.8	30	42	36.9	
17	105	37	5.9	30	47	21.6	
18	105	36	17.1	30	49	21.5	
19	105	38	54.9	30	53	24.9	
20	105	42	9.9	30	56	14.1	
22	105	37	39.9	31	5	54.7	DEL 22 AL 1 POR EL LIMITE INTERNACIONAL
1	104	27	29.7	29	36	31.2	

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Valle del Peso pertenece al Organismo de Cuenca VI “Río Bravo” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Chihuahua. En la mayor parte del territorio que cubre el acuífero no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea, excepto una pequeña porción al norte del acuífero, hacia el poblado Los Frailes, que se encuentra sujeta a las disposiciones del “Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas subterráneas al Sureste de Ciudad Juárez, Chih.”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 18 de marzo de 1952. Esta veda es tipo III, en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros. 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 pecuario. En el territorio que cubre el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

## **2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD**

En la zona que comprende el acuífero no se han realizado estudios hidrogeológicos de evaluación. 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: LAGUNA DE PALOMAS, LLANO DE GIGANTES, LAS PAMPAS, RANCHO EL ASTILLERO, LAGUNA DE JACO, RANCHO LA GLORIA, RANCHO DENTÓN, LAGUNA LOS ALAZANES, LAGUNA DEL REY, VALLE DEL PESO, FLORES MAGÓN-VILLA AHUMADA, EL SABINAL Y LOS JUNCOS, ESTADO DE CHIHUAHUA. Elaborado por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), para la Comisión Nacional del Agua, en 2010.** El objetivo general de este estudio fue el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos 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, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, en algunos de ellos fue posible plantear el balance de aguas subterráneas.

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

## **3. FISIOGRAFÍA**

### **3.1 Provincias fisiográficas**

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1959), modificada por Ordoñez (1964), el área que cubre el acuífero se encuentra en su totalidad en la provincia Sierras y Llanuras del Norte, subprovincia Sierras Plegadas del Norte en su mayor parte y una pequeña zona en la subprovincia de Llanuras y Sierras Volcánicas. 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 casi noroeste-sureste y abarca parte de los estados de Durango, Sonora, Chihuahua y Coahuila. El origen de la provincia 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; esto dio lugar a la formación de cuencas endorreicas.

Dominan rocas volcánicas ácidas en el oeste, calizas en el este y norte, en la región la morfología es de bolsones, esto es, cuencas con drenaje interno donde también se alternan sierras y valles.

La subprovincia Sierras Plegadas del Norte está ubicada casi toda al noroeste del río Conchos, consiste en una bajada amplia con algo más de 1,000 msnm, excepto en la zona próxima a la cabecera municipal Juárez donde predominan llanuras. La bajada tiene asociados lomeríos, salvo en la unidad situada al suroeste de Juárez, y su continuidad está parcialmente interrumpida por pequeñas sierras alargadas, dispersas y orientadas norte-sur. Las sierras están clasificadas como: plegadas (sierras La Amargosa, San José del Prisco, La Lágrima, Los Pilares, La Virgen, Samalayuca, El Pegüis, Matasaguas, La Esperanza, El Morrión y El Fierro, entre otras, así como los picachos La Alcaparra); plegada asociada con mesetas (al noreste de la localidad Pueblito), plegada con lomeríos (al oeste de Rancho Viejo) y escarpadas, en menor proporción, localizadas en la parte sur de la zona.

La subprovincia Llanuras y Sierras Volcánicas en territorio mexicano comprende parte de los estados de Chihuahua y Coahuila; al norte se extiende hacia los Estados Unidos de América. Se localiza en el costado orientado de la entidad, a manera de una franja orientada norte sur que va del noroeste de Ojinaga y el límite boreal con Coahuila, al sur de la sierra Las Pampas y el orientado de la sierra El Diablo. En esta zona, se originan algunos arroyos, afluentes del Río Bravo, y hay cierto número de zonas bajas capaces de acumular agua por períodos cortos, pero el régimen es de desierto. La mayor parte del territorio de la subprovincia es bajada o llanura, superficies aplanadas que se encuentran interrumpidas en algunos lugares por sierras, en otros por lomeríos y en unos más por mesetas. Las mesetas y los valles son los sistemas de topofomas menos representativos de la subprovincia.

### **3.2 Clima**

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el territorio que cubre el acuífero predominan los climas: “Muy Seco” y “Seco”. Dentro del clima de los “Muy seco” se encuentra el subclima “Muy secos templados” y el subclima “Muy Seco Semicálido” con una precipitación invernal de entre 5% y 10% del total.

El subclima “Seco Templado” se encuentra dentro de los “Secos” con una precipitación invernal de entre 5% y 10% del total donde en su mayoría el clima predominante es el “Muy Seco” y en muy pequeña porción el “Seco”.

Las características principales de los climas “Muy seco” son que la evaporación excede a la precipitación, hacen que sean los más secos del grupo; su baja humedad depende principalmente de la escasa precipitación y la temperatura, pero también influye la poca persistencia y lo torrencial de la lluvia, la naturaleza del suelo y la cubierta vegetal; están clasificados como muy extremosos, por su oscilación térmica media anual mayor de 14.0°C.

Los climas del tipo “Seco” son intermedios, cuanto a humedad, respecto a los “Muy secos” y los “Semisecos” y están considerados como de transición entre estos dos, se distribuyen en forma de una franja que atraviesa el Estado en sentido noroeste-sureste sobre los terrenos colindantes de la provincia fisiográfica de Sierras y Llanuras del Norte con la de la Sierra Madre Occidental, pero también se producen en las sierras dispersas en la primera provincia citada.

Para la determinación de las variables climatológicas se utilizó la información de 3 estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero: “Samalayuca”, “Coyame” y “Ojinaga”, cuyo registro comprende un periodo de análisis de 1957 a 2005, 1962 a 2005 y 1957 a 2008, respectivamente. Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **265.9 mm y 19.8 °C** respectivamente. Con respecto a la evaporación potencial, no se cuenta con datos de evaporímetro de ninguna de las estaciones.

### **3.3 Hidrografía**

El acuífero Valle del Peso se ubica dentro de la Región Hidrológica 24 Bravo-Conchos, esta región se localiza en la Mesa del Norte, se distribuye en el estado de Chihuahua, ocupando el 31.55% de su territorio y una pequeña porción de Durango y Coahuila. Es la región hidrológica de mayor relevancia en la entidad y en ella queda incluida la corriente superficial más importante en el estado, el río Conchos, que se origina en las estribaciones de mayor altitud de la Sierra Madre Occidental en Chihuahua; sus aguas son utilizadas en la actividad agrícola y consumo humano. El drenaje es poco definido y en algunas porciones dendrítico y en otras subparalelo, está conformado por corrientes que tienden a desembocar en el Río Bravo y éste a su vez en el Golfo de México.

Dentro de esta región hidrológica el acuífero se encuentra en la cuenca hidrológica de Río Bravo-Cd. Juárez que está ubicada en la porción norte y noreste del Estado, quedando incluida totalmente dentro de él, cubre 2.7% de su territorio; limita al norte y este con los Estados Unidos de América; al sur con las cuencas Río del Carmen (B) y Arroyo El Carrizo y otros (A) de la RH-34; así como con la cuenca Río Conchos-Ojinaga (J) de la RH-24; y al noroeste con la cuenca Río Santa María (C) de la RH-34.

### **3.4 Geomorfología**

Fuerzas distensivas dieron pie a la formación de cuencas tectónicas que posteriormente fueron rellenadas, creando una de las unidades representativas del área y a la que se le denomina bolsón, la cual forma el área limitada por este acuífero. Preponderantemente el proceso de destrucción de las estructuras elevadas, lo constituye la disección causada por las corrientes fluviales, las cuales han generado la construcción de llanuras y valles aluviales. En general y de acuerdo a su génesis las corrientes del área son consecuentes radiales centrífugas como las desarrolladas en las unidades volcánicas, consecuentes deformativas las que drenan hacia los bordes de las sierras plegadas, aquellas que drenan en las estructuras sinclinales son las consecuentes longitudinales; resecuentes como las que fluyen en la porción oriental de la sierra San Francisco. De acuerdo con observaciones de campo la zona se encuentra en una etapa de madurez.

## **4. GEOLOGÍA**

La geología general emplazada en la región que comprende el acuífero está integrada por un gran paquete de material aluvial del Mesozoico, acompañado de rocas sedimentarias e ígneas extrusivas (figura 2) Para el Mesozoico existía una serie de elementos paleo-geográficos y de actividad tectónica que se desarrollaron desde el triásico y dieron pie a la formación de dos facies de sedimentación identificadas para el Cretácico Inferior (Pacheco C., Castro R., Y Gómez Miguel, 1984). La primera de ellas de edad Hauteriviano-Turoniano según Juan Araujo y Rodolfo Arenas (1986), que se depositó al occidente del Mar Mexicano o Geosinclinal Mexicano, en facies de cuenca y con aportes de sedimentos terrígenos de probable origen de arco volcánico, representada por caliza, lutita y arenisca. Al oriente del Estado de Chihuahua, en donde prevalecían condiciones de facies litorales y de mares someros debido a la presencia de elementos positivos como la Isla del Cuervo e Isla de Coahuila, las que fueron transgredidas hasta el Albiano y predominar facies de plataforma de mar abierto con desarrollo de bancos arrecifales y condiciones lagunares en la Plataforma de Coahuila.

Para el Cretácico Superior (Cenomaniano-Turoniano), las condiciones de depósito varían a causa del levantamiento de la parte occidental y central (López Ramos, 1981) y dan lugar a la sedimentación marina con predominio de terrígenos en facies de mar abierto, iniciándose con la depositación de sedimentos calcáreo-arcillosos.

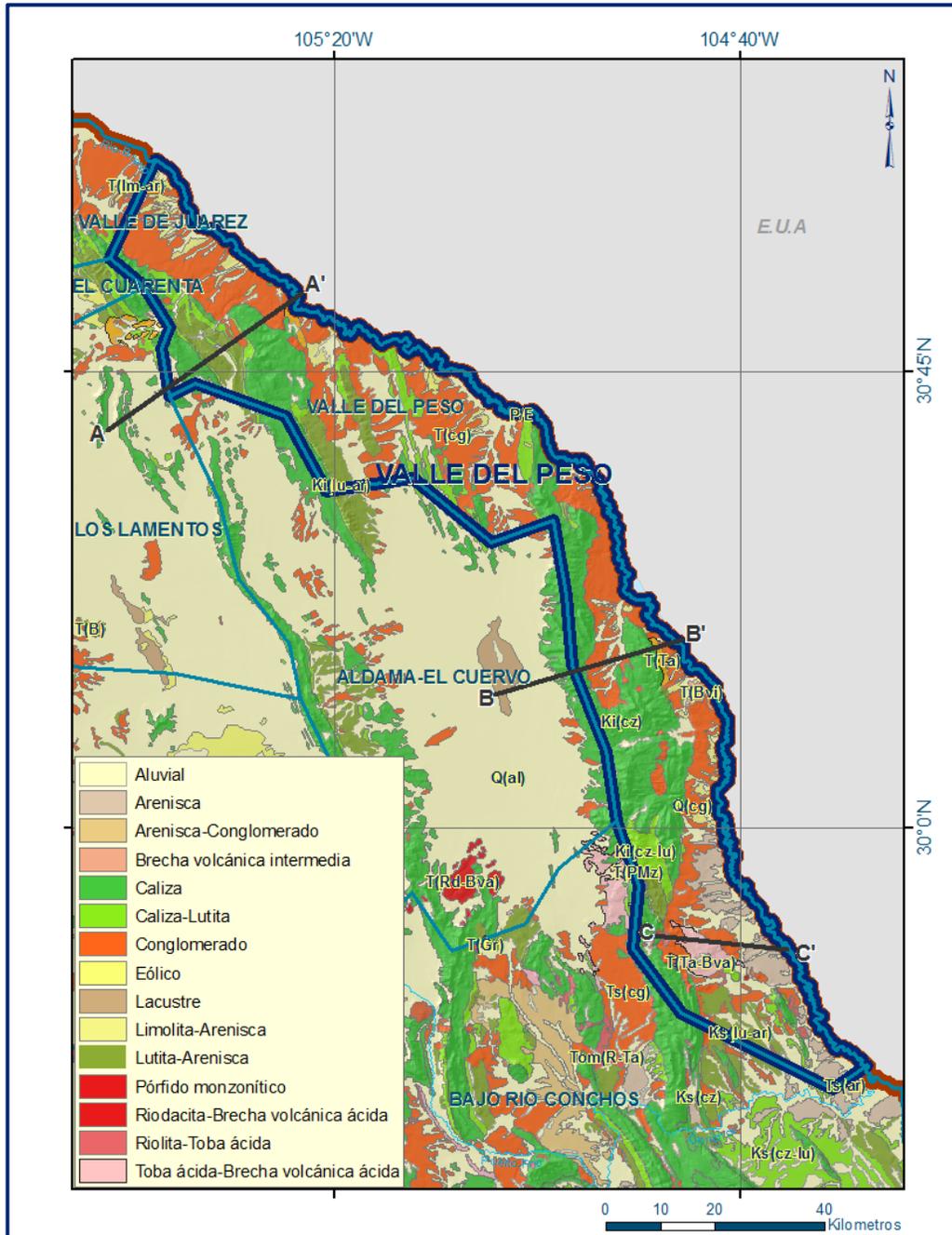


Figura 2. Geología general del acuífero

La fase orogénica proveniente del occidente, continúa a principios del Cenozoico acompañada con la intrusión de granito, granodiorita, gabro y diorita (S.P.P. 1984), que intrusionan a las calizas de plataforma.

Se identifican secuencias vulcanosedimentarias que infrayacen a las rocas denominadas por Mc Dowell y Clabaugh (1979) como “Complejo Volcánico Superior”. La segunda fase volcánica la representan tobas de composición riódacítica y riolítica con intercalación de vulcanoclásticos, así como riolita del Oligoceno Mioceno que en ocasiones extruyeron a través de fracturas; estas unidades sobreyacen en discordancia a las rocas del “Complejo Volcánico Inferior” Mc Dowell y Clabaugh. Andesita post-miocénica sobreyace concordantemente a las unidades ácidas e infrayace a basalto, el cual es el representativo de las últimas manifestaciones volcánicas, de acuerdo con las observaciones de campo, esta unidad sobreyace también discordantemente a rocas ígneas, así como a unidades Cretácicas e infrayace a rocas y sedimentos del Pliocuaternario.

Contemporánea y/o posteriormente a las manifestaciones volcánicas que dieron origen a la Sierra Madre Occidental, ocurre la depositación de sedimentos clásticos en facies continentales representados por areniscas y conglomerados, que rellenan antiguas cuencas continentales, Sobreyacen en forma discordante a las rocas del Cretácico e infrayacen a rocas extrusivas volcánicas de tipo ácido e intermedio y a depósitos del terciario Superior las condiciones iniciales fueron de relleno de cuenca formada por areniscas y conglomerados y posteriormente lacustres, evidenciados por la depositación de caliza continental, limolita y lutita, esta secuencia es discordante con las unidades cretácicas.

Los esfuerzos distensivos de finales del cretácico que han dado origen al paisaje de cuencas y sierras de la zona, generó también el evento denominado Rift Rio Grande, del cual forma parte este acuífero, provocando el depósito de material clástico no consolidado y el desarrollo de pequeñas planicies aluviales que rellenan las depresiones, también se deposita: caliche y localmente suelos eólicos.

#### **4.1 Estratigrafía**

La estratigrafía de las unidades que afloran en la superficie cubierta por el acuífero comprende edades que varían del Mesozoico al Cuaternario, aunque no todas las formaciones afloran en el área que corresponde al acuífero, a continuación, se describe de acuerdo al tipo de roca:

## **Rocas Sedimentarias**

**Caliza, Ki (cz).** Aflora hacia la parte oeste del área de estudio, conforma prácticamente en su totalidad las elevaciones de las sierras altas. Está formada por caliza depositada en facies de plataforma de mar abierto, con desarrollo lagunar y arrecifal.

Megascópicamente su textura es de mudstone a wackstone, con variaciones locales a packstone, al microscopio las texturas son: micrita, biomicrita, espatita y en algunas muestras clástica samítica y clástica pelítica.

En general la mineralogía de la unidad está representada por: calcita (micrita y espatita), trazas de sílice, trazas de hematita y feldespatos autógenos. Presenta estilolitas paralelas y perpendiculares a la estratificación, bandas y nódulos de pedernal de tonos negro y café, huellas de disolución y horizontes petro-cálcicos con oolitas; se observaron estratos recristalizados, dolomitizados y marmorizados. Los esfuerzos compresivos que afectaron a la unidad están representados por pliegues abiertos. Acusa fallas normales de dirección NW-SE, fracturas las cuales sirvieron de conducto para la extrusión de toba ácida y fisuras que generalmente se encuentran rellenas de calcita.

La unidad subyace en contacto transicional y concordante a lutita-arenisca del Cretácico Superior, en otros lugares la caliza sobreyace por contacto tectónico a ésta, así como a caliza-lutita del Cretácico Superior subyace discordantemente a toba ácida del Oligoceno-Mioceno y conglomerado del Terciario Superior.

En general se observa macrofauna: gasterópodos, rudistas del género Hipurites y pelecípodos. De acuerdo con el contenido faunístico reportado se le asigna a la unidad una edad Albiano Superior-Cenomaniano. En el área a esta unidad se le conoce como Formación Aurora. Su expresión morfológica es de sierra alta con pendientes abruptas y sierras aisladas como se observa en las sierras que limitan el área al Oeste.

**Lutita-arenisca, Ki (lu-ar).** Secuencia de lutitas calcáreas, areniscas y delgadas capas de caliza arcillosa, hacia su parte inferior presenta yeso que se explota comercialmente. Esta litología sugiere un depósito en aguas marinas someras inicialmente de salmueras. Los yesos se encuentran recristalizados por efecto de un cuerpo intrusivo que también es causante de mineralización hidrotermal, con sulfuros de cobre y hierro en esta unidad.

Esta secuencia está infrayaciendo a la unidad de calizas del cretácico inferior y se presenta en gran medida cubierta discordantemente por conglomerados terciarios, los cuales cubren por completo a los yesos. Por sus características litológicas y posición estratigráfica, esta unidad es equivalente a la formación Cuchillo (Burrows, 1910), que pertenece al Aptiano. Morfológicamente constituye parte de una ladera de sierra con perfil semicóncavo.

**Caliza-lutita, Ki (Cz-Lu).** Unidad que consiste de una alternancia de lutitas calcáreas, margas y calizas en estratos delgados y escasamente gruesos como se pueden observar en la sierra La Mojina al sur; las margas y calizas de estratos delgados son de texturas micríticas y biomicríticas, lo cual indica un ambiente marino de borde de plataforma con predominante aporte de terrígenos y restringidos desarrollos arrecifales.

Por lo general estas capas se encuentran separando la unidad de calizas del cretácico inferior en dos paquetes, mostrando afloramientos angostos, dado su delgado espesor, el cual se ve incrementado en algunos sitios aparentemente por varios pliegues extendidos. La unidad equivale a la formación Lagrima (Córdoba, 1968), situada en la parte central del Albiano medio. Su expresión morfológica es en laderas cóncavas de puertos de erosión suave y en lomeríos bajos de poca pendiente en los que destacan pequeños crestones de las capas calcáreas más gruesas.

**Caliza-yeso, Ki (cz-y).** Unidad constituida principalmente por calizas biógenas, por yeso y algunos horizontes de lutita depositada en un ambiente que varía de nerítico externo a epinerítico y lacustre. Las calizas varían en su coloración de gris claro a gris oscuro, y están dispuestas en estratos que varían de delgados a medianos, con horizontes delgados fosilíferos. Generalmente se observan estratos gruesos de yeso sacaroide color gris claro, y de color amarillo claro al intemperismo, presenta cavidades por disolución y alterna con estratos medianos de areniscas de grano fino.

Esta unidad corresponde a la Formación Cuchillo (Burrows 1910), asignada al Aptiano-Albiano Inferior. Es correlacionable con las formaciones Cupido, La Peña y Aurora del estado de Coahuila y equivalente a las formaciones Hamlet Cow Creek y Hensel del centro de Texas. El contacto inferior de la Formación Cuchillo es transicional con la Formación de las Vigas y se marca en el primer estrato de caliza biógena correspondiente a la base de la Formación Cuchillo. El contacto superior es nítido y concordante, definido por la base de la caliza masiva de bancos arrecifales de la Formación Benigno. Esta unidad no aflora.

**Caliza, Ks (cz).** Unidad constituida por capas de caliza que fueron depositadas en un ambiente nerítico interno a medio, La caliza es de tipo mudstone y grainstone de color gris claro, en estratos que van de medianos a gruesos, esta unidad corresponde a la formación Buda y sus contactos inferior y superior son nítidos y concordantes con la Formación Del Río y la Formación Ojinaga respectivamente, definidos claramente por los estratos de caliza compacta de la Formación Buda.

Su edad Cenomaniano Inferior está determinada por la amonita *budaicera sp.* y se correlaciona con la parte superior de la Formación Cuesta del Cura del estado de Coahuila.

**Caliza-lutita, Ks (cz-lu).** La descripción de esta unidad comprende a dos unidades que presentan características litológicas semejantes: Las Formaciones Del Río y Ojinaga que se encuentran separadas entre sí por una unidad constituida por calizas arrecifales:

La formación Buda. La Formación Del Río está constituida por una alternancia de caliza y lutitas que se depositaron en un ambiente nerítico interno a medio. La caliza es del tipo mudstone arcillosa de color pardo, aparece en estratos delgados; está intercalada con calcilutitas y lutitas laminares y con esporádicos horizontes de yeso. La formación descansa concordantemente en los últimos estratos de caliza masiva de la formación Loma de Plata y subyace concordantemente a los estratos de caliza compacta de la Formación Buda. Su edad es Albiano Superior-Cenomaniano Inferior, es correlacionable con la parte media de la Formación Cuesta del Cura del estado de Coahuila.

La Formación Ojinaga está constituida por calizas arcillosas, lutitas y areniscas que se depositaron en un ambiente nerítico. La caliza es del tipo wackstone, de color gris claro en estratos medianos, aparece intercalada con lutitas calcáreas laminares de color gris en estratos que van de medianos a gruesos.

El contacto inferior de esta formación es concordante y se define con la presencia de caliza compacta perteneciente a la formación Buda. El contacto superior es concordante también y se marca con la aparición de las primeras capas de areniscas correspondientes a la formación San Carlos, su edad Cenomaniano Superior-Turoniano, y es correlacionable con la formación Agua Nueva del estado de Coahuila y equivale al grupo Eagle Ford del centro de Texas. Forma valles erosionales y lomeríos de pendientes suaves.

**Lutita-arenisca, Ks (lu-ar).** Unidad constituida por lutita y arenisca, depositada en facies marinas litorales. Ocasionalmente se intercalan estratos conglomeráticos con clastos redondeados de caliza y roca ígnea intrusiva, así como una capa de hierro sedimentario de 30 cm de espesor.

El espesor de los estratos varía de 80 cm a dos metros, en muestra fresca de lutita presenta tonos verde claro y rojizo, y la arenisca amarillenta; En las lutitas se pueden observar pistas de gusanos perpendiculares a la estratificación, nódulos de arenisca con diámetro de 10 a 60 cm, algunos en su interior contienen amonitas. Ocasionalmente en estratos de arenisca se observan nódulos de hierro, fragmentos de madera fósil y lentes de coquina. Esfuerzos compresivos ocasionaron en la unidad pliegues cerrados y apretados.

Sobreyace concordantemente a caliza lutita del Cretácico Superior, subyace por contacto tectónico a caliza del cretácico inferior e infrayace discordantemente a toba ácida del Oligoceno-Mioceno y conglomerado del Terciario Superior.

La unidad se ubica en el cretácico superior y es correlacionable con las formaciones San Carlos y Parras. Su expresión morfológica es lomeríos de pendientes suaves.

**Conglomerado, Ks (Cg).** Ortoconglomerado petromictico de clastos de caliza sostenidos entre sí, muy bien consolidado y compactado con cementante calcáreo; los fragmentos están redondeados y subredondeados, por lo general bien clasificados uni y bimodales con diámetros promedio de 4 a 10 cm y/o de 40 a 30 cm.

La caliza que constituye los clastos es de textura mudstone y packstone que incluye fragmentos de pelecípodos y nódulos de pedernal café y proviene de las unidades de caliza y caliza y lutita del cretácico inferior; este conglomerado presenta estratificación gruesa bien definida que se observa claramente plegada. Localmente contiene mineralización hidrotermal de fluorita en pequeños cristales cúbicos, asociada al afloramiento de un pequeño dique no cartografiable de composición diorítica.

Se le considera del Cretácico superior, dada sus mencionadas características que sugieren un depósito en un ambiente litoral y la evidente existencia de un período compresivo causante del plegamiento; infrayace discordantemente a rocas volcánicas y conglomerados del terciario. Morfológicamente constituye una elevación topográfica prominente de pendientes fuertes. Esta unidad no aflora.

**Conglomerado, Ts (cg).** De amplia distribución, esta unidad está constituida por un conglomerado polimíctico depositado en facies continentales, se le observa mal clasificados con clastos de 5 a 50 cm de diámetro, predominando los fragmentos de roca calcárea, en menor proporción fragmentos de rocas ígneas, su grado de redondez varía de subangulosos a subredondeados y dispuestos en forma caótica, se encuentran unidos por una matriz arcillosa de color café cementante calcáreo, ocasionalmente se presentan con fracturas rellenas de calcita, se observaron pliegues de gran radio de curvatura, pequeñas fallas locales y en discordancia angular con conglomerados Cuaternarios.

La unidad presenta diferentes tonos de coloración entre los que sobresalen el gris con tonos de beige o rojizos. Estos conglomerados sobreyacen a rocas sedimentarias del Cretácico y de igual forma a rocas volcánica del Oligoceno-Mioceno, está cubierto también en discordancia por basaltos del Terciario Superior, por la relación que mantiene con las demás unidades se le considera de edad Terciario Superior. La unidad se encuentra relleno de fosas tectónicas, con expresión morfológica de lomas de pendiente suave y medianamente disectados.

**Conglomerado, Q (cg).** Depósitos conglomeráticos polimícticos depositados en facies continentales derivados principalmente de rocas ígneas y escasas rocas sedimentarias, los clastos varían en tamaño siendo estos desde arenas hasta guijarros y bloques, el grado de redondez de los fragmentos es anguloso y subanguloso mostrando escaso retrabajo, unidos por una matriz areno-arcillosa de color rojizo, también llegan a contener poco cementante calcáreo.

En la base de estos conglomerados predominan los líticos pequeños desde unos milímetros a 5 centímetros y con horizontes arenosos de 10 cm aproximadamente con estratificación cruzada, en la parte superior los clastos son de diámetro entre 40 y 60 cm, estos se les aprecia imbricación con orientación noreste, el color de la unidad es gris claro que intemperiza a color café, generalmente estos conglomerados presentan muy poca compactación encontrándose la mayoría de las veces deleznable.

Cubren discordantemente a rocas sedimentarias Cretácicas y de la misma forma a la secuencia volcánica del Oligoceno-Mioceno, así como a rocas basálticas y conglomerados del Terciario Superior.

Por posición estratigráfica y las características que se observaron, se le asigna una edad correspondiente al Cuaternario. Su morfología es de lomas de pendiente suave y ligeras ondulaciones situadas en las planicies.

**Eólico, Q (eo).** Unidad formada por sedimentos eólicos recientes, depositados por la acción del viento. Su granulometría es arenosa, los fragmentos se encuentran bien redondeados y el tamaño de las partículas es homogéneo. Sus componentes son cuarzo, feldespato y fragmentos de roca, los estratos presentan estructura cruzada. Se expresa morfológicamente en forma de dunas.

**Lacustre, Q (la).** Depósitos de facies continentales lacustres que forman una secuencia alternante de arenas de grano fino, limo y arcilla, con estratos de 5 a 10 cm de espesor en la superficie se nota la presencia de sales, las cuales han formado una costra. Estos depósitos afloran en las depresiones que dan origen a zonas de inundación.

**Aluvial, Q (al).** Depósitos de origen fluvial derivados de la erosión y denudación de las rocas pre-existentes en el área, la acumulación de éstos representa el evento más joven del área y se encuentra rellenando extensos valles y fosas tectónicas, los materiales de relleno son arcillas, limos arenas y gravas, con un grado de redondez que varía de sub-redondeado a bien redondeado, en la que destacan grandes cantidades de granos de cuarzo, fragmentos de roca y feldespatos, localmente llega a presentar estratificación cruzada, así como la presencia de gradación y algunas estructuras lenticulares.

Debido al acomodo de las partículas granulométricas su permeabilidad es alta, dando origen a la formación de acuíferos de tipo libre, los cuales son ampliamente explotados en la región por medio de pozos.

Los espesores de estos depósitos son variables con expresión morfológica de extensas planicies que en ocasiones están disectadas por pequeños arroyuelos que desembocan en lagunas endorreicas.

### **Rocas Ígneas Extrusivas**

**Riodacita-toba ácida, T (Rd-Ta).** Unidad que incluye una alternancia de derrames de riodacita y tobas de composición riolítica, líticas cristalinas y soldadas dispuestas en una alternancia que muestra, en general, una pseudoestratificación, comúnmente inclinada al noroeste.

Los derrames son de color gris con vivos blancos con textura holocristalina porfídica. Estas rocas están sobrepuestas localmente a conglomerados cretácicos y a aparatos andesíticos terciarios y se encuentra cubierta parcialmente por basaltos y conglomerados del Terciario. Esta unidad no aflora.

**Traquita, T (Tq).** Unidad que abarca traquitas afaníticas. Presenta color café, rosa y rojo y textura por lo regular holocristalina traquítica, con feldespatos potásico, plagioclasa sódica, augita, egiarina, hematita, apatito, actinolita y magnetita. En ocasiones muestra textura vesicular y amigdaloides con desarrollo de geodas localmente. La traquita parece estar cubriendo tobas ácidas y a basaltos; el pórfido traquítico se encuentra emplazado en basaltos. Se sobreponen característicamente a esta unidad riolitas y tobas ácidas. Su expresión morfológica consiste en sierras de mediana elevación y en pequeños cerros y lomas alineadas en el sentido noroeste-sureste. Esta unidad no aflora.

### **Riolita, Tom (R)**

Roca ígnea extrusiva de quimismo ácido formado por cuarzo, sanidino y ortoclasa, como minerales accesorios biotita y circón, su textura es merocristalina porfídica y afanítica.

En general la roca presenta tono gris claro en muestra y gris oscuro al intemperismo, estructura masiva fluidal, pseudoestratificación y fracturamiento vertical que favorece la formación de bloques de 1 a 3 metros de diámetro. Sobreyace a una secuencia sedimentaria del Cretácico e infrayace a rocas ígneas y sedimentarias del Terciario Superior. La unidad es correlacionable con el Complejo Volcánico Superior Mc Dowell y Clabaugh del Oligoceno-Mioceno. Su morfología es de cerros con laderas escarpadas. Esta unidad no aflora.

**Riolita-toba ácida, T (R-Ta).** Unidad volcánica constituida por diversas rocas de composición ácida: tobas riolíticas, tobas riodacíticas. En general la mineralogía de la unidad lo constituyen: microclina, sanidino, andesina, oligoclasa y cuarzo; como minerales accesorios: circón, hematita, biotita, pirita y fragmentos de roca.

La textura en las rocas efusivas es merocristalina porfídica y vitrofídica en las rocas explosivas; piroclástica y brechoide. Las unidades efusivas son masivas, con estructura fluidal, intercalada con toba o inyectadas en planos verticales ondulantes, es decir perpendiculares a la pseudoestratificación con desarrollo de estructuras secundarias a partir de la segregación de sílice en cavidades preexistentes.

En general la unidad presenta fracturamiento vertical, ocasionando la formación de bloques. Sobreyace discordantemente a rocas cretácicas y a las unidades del Complejo Volcánico Inferior e infrayace a basalto y andesita del Terciario Superior, así como a depósitos recientes. La unidad se correlaciona con el Complejo Volcánico Superior de la Sierra Madre Occidental (Mc Dowell y Clabaugh, 1979) del Oligoceno-Mioceno. Esta unidad no aflora.

**Toba ácida, Tom (Ta).** Unidad ígnea explosiva formada por: toba ácida, toba riolítica, toba riodacítica e ignimbrita; en general la mineralogía está representada por andesina, oligoclasa y cuarzo, unidos por una matriz vítrea, la textura es merocrystalina piroclástica. Las rocas presentan en ocasiones intercalaciones de riolita y horizontes vulcanoclásticos, cuyos fragmentos varían de 5 a 10 mm de diámetro, sub angulosos, unidos por una matriz tobácea y cementante silíceo, en ocasiones los fragmentos son de riolita y vidrio volcánico.

La unida presenta fracturamiento vertical y subvertical, formando bloques de dimensiones variables. Sobreyace discordantemente a caliza del Cretácico e infrayace a roca ígnea y sedimentaria del Terciario Superior. La unidad es correlacionable con el Complejo Volcánico Superior (Mc Dowell y Clabaugh) del Oligoceno-Mioceno.

La expresión morfológica está representada por: mesetas, mesetas basculadas, sierras y lomerío de pendiente suave. Aflora en un área pequeña al sur de la laguna, subyaciendo a los basaltos del Terciario.

**Latita, T (La).** Latita afanítica de color gris pardo a rojo, ocasionalmente porfídica o con estructura vesicular. Su textura es holocrystalina traquítica, contiene plagioclasa sódica en mayor proporción que feldespato potásico, augita, pigeonita, hematita, apatito, circón, hiperstena y antigonita, magnetita y calcita secundaria. Sus posiciones relativas parecen indicar que cubren parcialmente a tobas ácidas y localmente también a basaltos; se le sobreponen claramente conglomerados terciarios y cuaternarios. Morfológicamente conforma pequeñas elevaciones orientadas al noroeste. Esta unidad no aflora.

**Toba intermedia, Ts (Ti).** Unidad en la que se incluyen tobas soldadas de composición traquítica a latítica de color gris, pardo y rojizo, textura piroclástica mero y holocrystalina. Localmente presenta derrames traquíticos que se llegan a diferenciar cartográficamente. Está sobrepuesta por tobas ácidas y cubierta por conglomerados de terciario. Esta unidad no aflora.

**Basalto, Ts (B).** De gran extensión de afloramiento al norte del área de estudio, unidad ígnea efusiva, formada mineralógicamente por: labradorita, con minerales accesorios: olivino y augita, unidos por una matriz de plagioclasas sódicas. Su textura es merocristalina afanítica.

Generalmente forma derrames de gran magnitud, por extrusión fisural o de un cono central. La roca es masiva con vesículas las cuales se encuentran rellenas de calcita, acusa disyunción columnar prismática, así como intercalación de horizontes de escoria volcánica y ceniza volcánica. Al intemperismo desarrolla formas esferoidales. Sobreyace discordantemente a calizas del Cretácico Inferior y a rocas ígneas del Oligoceno-Mioceno. La morfología está representada por: conos volcánicos, derrames con fase de malpaís y mesetas. Sus afloramientos se reducen a un área pequeña al suroeste de los límites del acuífero, al sur de la laguna.

**Andesita, Ts (A).** Unidad ígnea efusiva formada por andesina y oligoclasa, unidas por una matriz microlítica de plagioclasas de la misma composición, se reportan minerales accesorios como: augita, apatito, piogenita y circón. Su textura es microcristalina afanítica y porfídica. Por lo general su estructura es masiva, aunque también se observó estructura fluidal y amígdalas alargadas rellenas de calcita. Los afloramientos presentan fracturamiento en varias direcciones, el cual ha ocasionado la formación de bloques. Sobreyace a las unidades ígneas del Oligoceno-Mioceno e infrayace en discordancia a conglomerado del Terciario Superior. Morfológicamente forma cerros aislados y también aflora en los escarpes de las sierras como se observa en la foto tomada en una sierra al oeste de la Laguna El Jaco.

**Basalto, Q (B).** Unidad ígnea efusiva, formada mineralógicamente por: labradorita, con minerales accesorios: olivino y augita, unidos por una matriz de plagioclasas sódicas. Su textura es merocristalina afanítica. Generalmente forma derrames de extensión reducida, por extrusión fisural o de un cono central. La roca es masiva con, así como intercalación de horizontes de escoria volcánica y ceniza volcánica. Al intemperismo desarrolla formas esferoidales. La morfología está representada por: conos volcánicos, derrames con fase de malpaís y mesetas. Esta unidad no aflora.

### ***Rocas Ígneas Intrusivas***

**Monzonita, T (Mz).** Unidad constituida por un pórfido monzonítico de textura holocristalina equigranular, de color gris claro, compacto. La monzonita presenta fracturamiento intenso. La unidad está emplazada en rocas volcánicas cenozoicas. Esta unidad no aflora.

**Granito, T (Gr).** Esta unidad consiste de granito de moscovita, de textura holocristalina equigranular. Es de color gris claro con tonos de verde en superficie fresca, mientras que en superficie intemperizada, presenta tonos cafés.

La unidad se presenta poco fracturada. Se presenta como un gran promontorio de peñascos redondeados que contrasta con las ricas circundantes. Esta unidad no aflora.

**Sienita, T (Si).** Pórfido cuarzo-sienítico. Muestra una textura fanerítica-porfídica de grano fino. Se distinguen minerales de feldespato potásico, plagioclasa y cuarzo, estudios petrográficos reportan una textura perítica, con albita incluida en microclina, y la presencia de actinolita, esfena, magnetita y pirita. Morfológicamente esta unidad se expresa en un crestón sobresaliente dentro de la unidad de tobas y derrames riodacíticos, en una relación poco clara en la que el pórfido parece intrusionar a las rocas mencionadas. Esta unidad no aflora.

**Granodiorita, T (Gd).** Esta unidad consiste en granodioritas de textura holocristalina equigranular, generalmente de grano grueso y de color gris claro. La unidad presenta frecuentemente intemperismo esferoidal. Están emplazadas en las unidades calcáreas del Cretácico Inferior.

**Diorita, T (D).** Roca ígnea intrusiva calco sódica, formada por oligoclasa con zoneamiento, como minerales accesorios: augita, biotita y tremolita-actinolita, su textura es holocristalina inequigranular. Presenta estructura masiva, fracturas verticales con dirección N-S, intrusionada por diques de la misma composición; el intemperismo ha dado origen a formas esferoidales y a la disgregación de la roca en gravillas de 5 a 10 mm de diámetro. Se infiere que afecta a la caliza del Cretácico Inferior. Esta unidad no aflora.

### **Rocas Metamórficas**

**Skarn, T (Sk).** Rocas calcáreas afectadas por metamorfismo de contacto compuestas por silicatos de calcio, con textura granoblástica, con granate, epidota, actinolita, wollastonita y sílice, cuyo conjunto ofrece un color gris pardo con vivos verdes. Esta unidad aflora al oeste del Cerro La Vinata y se le asigna una edad terciaria, dada la evidente relación de los cuerpos intrusivos terciarios con el metamorfismo y se encuentran restringidamente cubiertas por conglomerados terciarios.

Su expresión morfológica es la correspondiente a la roca madre, calizas y conglomerados cretácicos. Esta unidad no aflora.

### **Rocas Volcanosedimentarias**

**Vulcanosedimentario, Ti (Vs).** Unidad formada por material ígneo piroclástico, depositado en zonas cercanas al centro de expulsión e intercalada con horizontes sedimentarios. Texturalmente en muestra de mano tiene una apariencia clásica samítica; al microscopio presenta textura Vulcanoclásticas, formada mineralógicamente por: cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca hematizadas y biotita, cementadas por carbonato de calcio, los fenocristales se encuentran en una matriz vítrea. La unidad infrayace a tobas ácidas del Oligoceno-Mioceno, el contacto con la roca subyacente no se observó, pero se infiere que descansa en discordancia con caliza del Cretácico Inferior. De acuerdo con la relación estratigráfica observada, la unidad puede ubicarse en el Terciario Inferior. Se expresa morfológicamente en forma de lomas de pendiente suave. Esta unidad no aflora.

## **4.2 Geología estructural**

Estructuras de origen ígneo extrusivo, se encuentran diseminadas en el área y se representan por derrames lávicos, conos y mesetas.

Las de origen intrusivo están presentes en forma de diques y lacolitos, estos últimos deformaron a las rocas sedimentarias en forma cómica. Se reportan tres fases de deformación: una fase compresiva del Cretácico Superior-Terciario Inferior que pliega las secuencias sedimentarias, un posterior emplazamiento de cuerpos intrusivos, que modifican localmente las estructuras existentes hacia formas cómicas.

Una fase de ajuste isostático, que dio origen a pliegues de fondo y fracturas de orientación NNE-SSW, del Mioceno Superior M. Tardy (1977), D.A. Córdoba (1980) y observada en rocas ígneas, sedimentarias y vulcanosedimentarias continentales del Terciario (Eoceno Mioceno Inferior). Una fase distensiva del Plioceno, representada por fallas de extensión, que formaron la Provincia morfológica de Sierras y Cuencas.

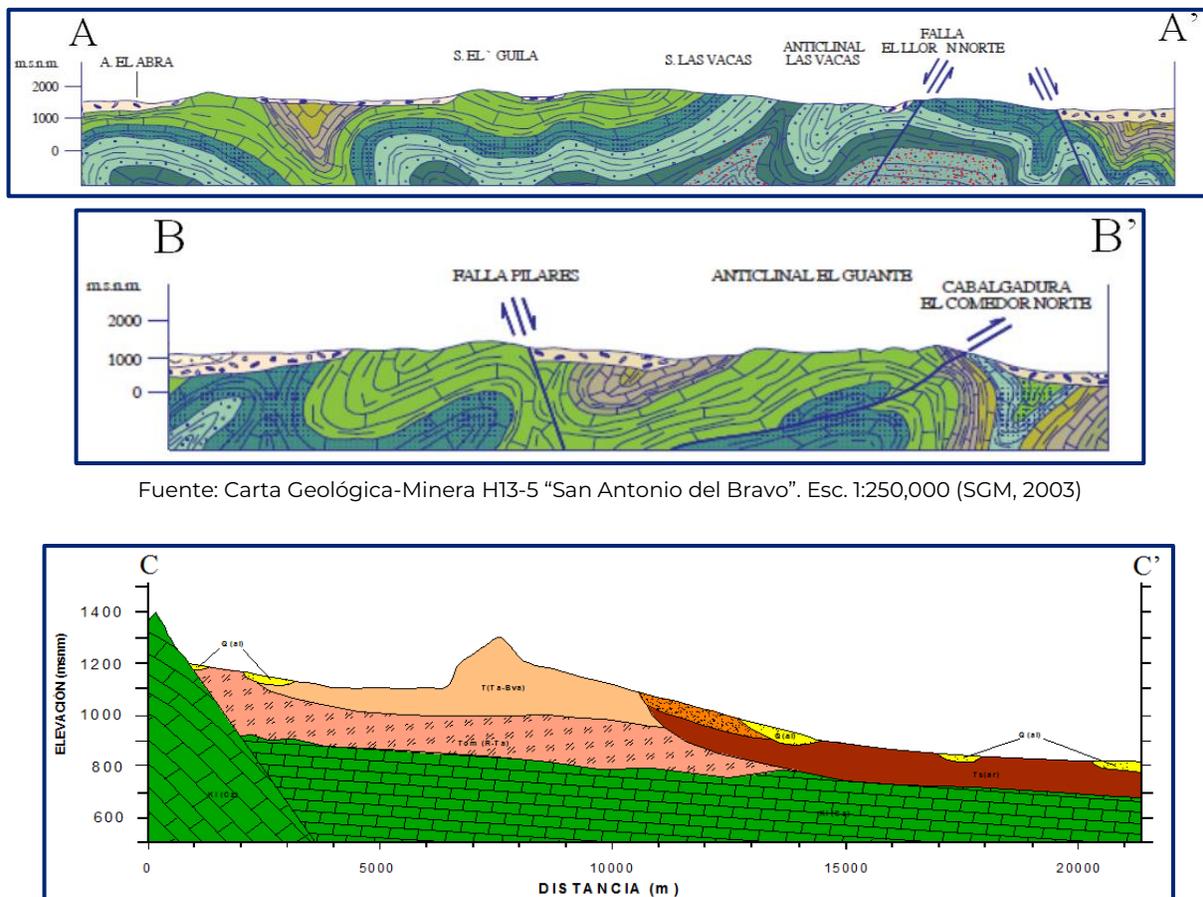
## **4.3 Geología del subsuelo**

De acuerdo con la información geológica e hidrogeológica 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 aluviales de granulometría variable y conglomerados, de permeabilidad media a baja, que constituyen los valles y los piedemontes.

La porción inferior está conformada por rocas ígneas extrusivas como basaltos, tobas y riolitas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas ígneas, al desaparecer el fracturamiento.

A mayor profundidad las calizas de las formaciones Ojinaga, Buda y Del Río, constituyen horizontes acuíferos profundos que no han sido explorados en la zona, que pueden presentar condiciones de semiconfinamiento o confinamiento, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas.

Dichos materiales han permitido la acumulación de agua en el subsuelo, formando un acuífero que se recarga por la infiltración del agua de lluvia desde las sierras constituidas por rocas calizas, basaltos y riolitas, principalmente, y que se almacena en el subsuelo. Salvo los escasos pozos y norias, no se conoce otro tipo de salida o descarga de agua del acuífero.



Fuente: Carta Geológica-Minera H13-5 "San Antonio del Bravo". Esc. 1:250,000 (SGM, 2003)

Fuente: Universidad Autónoma de Chihuahua (2011)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

## **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 tanto en sentido vertical como horizontal. Se encuentra constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y conglomerados, producto de la erosión de las rocas que constituyen las sierras que delimitan las planicies, cuyo espesor puede alcanzar varios cientos de metros en el centro de los valles.

La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas entre las que destacan basaltos, tobas y riolitas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

Las secuencias calcáreas que se encuentran a mayor profundidad representan una fuente potencial de agua subterránea que aún no ha sido explorada completamente, pueden presentar condiciones de semiconfinamiento debido a que se encuentran intercaladas con lutitas.

Debido a la topografía accidentada y a la alternancia de secuencias impermeables y permeables, los escurrimientos fluyen de manera rápida sin permitir su infiltración en las primeras y se infiltran en las unidades permeables. Sólo en la porción baja es posible la acumulación de agua, conformando un acuífero de reducidas dimensiones y de baja capacidad de almacenamiento, que presenta permeabilidad media a baja. El agua infiltrada en las regiones más altas recarga a las secuencias calcáreas y terrígenas que se localizan a mayor profundidad.

### **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.

### **5.3 Piezometría**

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, únicamente se cuenta con la información recabada durante el estudio realizado en 2010. Sólo fue posible obtener los valores de profundidad al nivel estático en un número escaso de aprovechamientos dispersos en el acuífero.

#### **5.4 Comportamiento hidráulico**

El flujo del agua subterránea se presenta de las elevaciones topográficas de las sierras que limitan la unidad hidrogeológica hacia la corriente del Río Bravo, constituyendo esta vía un dren del acuífero. La recarga ocurre por infiltración de agua de lluvia en las elevaciones montañosas que bordean la planicie, donde ocurre una recarga directa, por la infiltración del agua de las corrientes superficiales provenientes de las sierras y en menor proporción por infiltración de agua de lluvia directa sobre el valle. La descarga ocurre en menor escala por evapotranspiración en la zona de niveles someros, esto es en la margen del Río Bravo y en una mínima proporción por el bombeo de pozos. 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 el 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, a las dificultades de acceso a ellos y al incipiente volumen de extracción del acuífero, a la fecha no se ha realizado muestreo de aguas subterráneas para su análisis correspondiente. Durante el recorrido de campo realizado en el 2010, sólo fue posible obtener en campo algunos parámetros físico-químicos del agua, obteniéndose los siguientes valores promedio: pH = 7.7, SDT = 4930 ppm, C.E. = 8270  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y T = 27.1 °C.

### **6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA**

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos realizado como parte del estudio llevado a cabo en 2010, se registró la existencia de 24 aprovechamientos, de los cuales 10 son pozos y 14 son norias. Del total de obras solamente 2 se encuentran activos, 20 inactivos y 2 en situación de abandono. El volumen de extracción conjunto se ha estimado en **0.04 hm<sup>3</sup>** anuales, destinados casi en su totalidad al uso pecuario.

## 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRRÁNEAS

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 Valle del Peso están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia ( $R_v$ ).

No existe información piezométrica actual ni histórica en la superficie que cubre el acuífero. La escasa información disponible, procedente de recorridos de campo, 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.

Por todas estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de 3,596 km<sup>2</sup> del acuífero, para estimar de manera conservadora el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

#### 7.1.1 Recarga vertical ( $R_v$ )

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:

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

Donde:

**VLL**= Volumen de lluvia;

**VETR**= Volumen evapotranspirado;

**VESC**= Volumen escurrido;

**VINF**= Volumen infiltrado;

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

$$\mathbf{VINF = VLL - VETR - VESC \quad (2)}$$

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área 3,596 km<sup>2</sup> por la lámina de precipitación media anual (265.9 mm):

$$\mathbf{VLL = 3,596 \text{ km}^2 (0.2659 \text{ m}) = 956.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empíricas de Coutagne, considerando los valores promedio anual de precipitación de 265.9 mm y temperatura de 19.8° C. Coutagne propuso la ecuación siguiente para calcular la evapotranspiración real:

<b>COUTAGNE</b>	$ETR = P - \chi P^2$
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, 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 246.1 mm anuales. El volumen de ETR es:

$$\mathbf{VETR = 3,596 \text{ km}^2 (0.2461 \text{ m}) = 884.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

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, de fecha 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. Para determinar el valor de escurrimiento, la norma establece la siguiente relación:

$$\text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA} = \text{PRECIPITACION ANUAL DE LA CUENCA} * \text{AREA DE LA CUENCA} * \text{COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO}$$

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, 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	TIPO DE SUELO	TIPO DE SUELO
	A	B	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	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, 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;

De acuerdo con la cartografía del CONABIO escala 1:1,000,000 para el tipo y uso de suelo, predominan los tipos Regosol, Xerosol y Yermosol (figura 3).

En cuanto al uso de suelo (figura 4) de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1,000,000, un 96% del acuífero está cubierto por matorral (pradera), suelo tipo A y B, por lo que  $K=0.22$ ; un 1 % de la superficie del acuífero está cubierta por pastizal, en los que el suelo es tipo B, cubierta del 50% al 75%, por lo que  $K=0.24$ ; 1 % del acuífero está cubierto por bosque en suelo tipo A, por lo que  $K=0.07$  y un 3 % del acuífero es zona agrícola en suelo tipo A, por lo que  $K= 0.24$ .

$$\mathbf{K \text{ ponderado} = 0.22 (0.96) + 0.24 (0.01) + 0.07 (0.01) + 0.24 (0.03) = \mathbf{0.2215}}$$

De esta manera, el valor de K es igual a 0.2215, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

$$\begin{aligned} Ce &= K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5 \\ Ce &= 0.0494 \end{aligned}$$

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

$$\mathbf{V_{ESC} = 0.0494 (956.2 \text{ hm}^3) = 47.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

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

$$\begin{aligned} \mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)} \\ \mathbf{V_{INF} = 956.2 - 884.9 - 47.2} \\ \mathbf{V_{INF} = 24.1 \text{ hm}^3/\text{año}} \end{aligned}$$

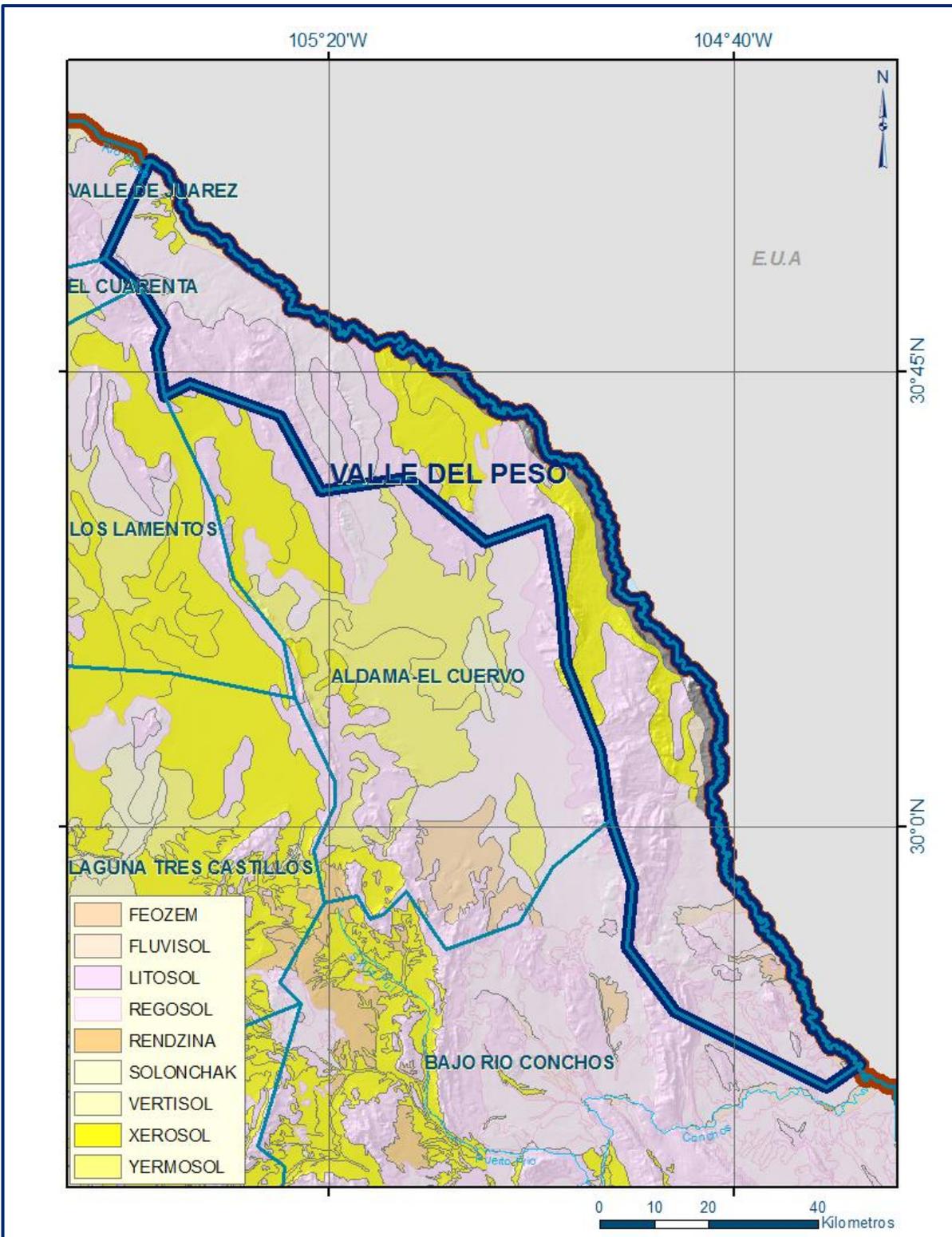


Figura 3. Tipo de suelo

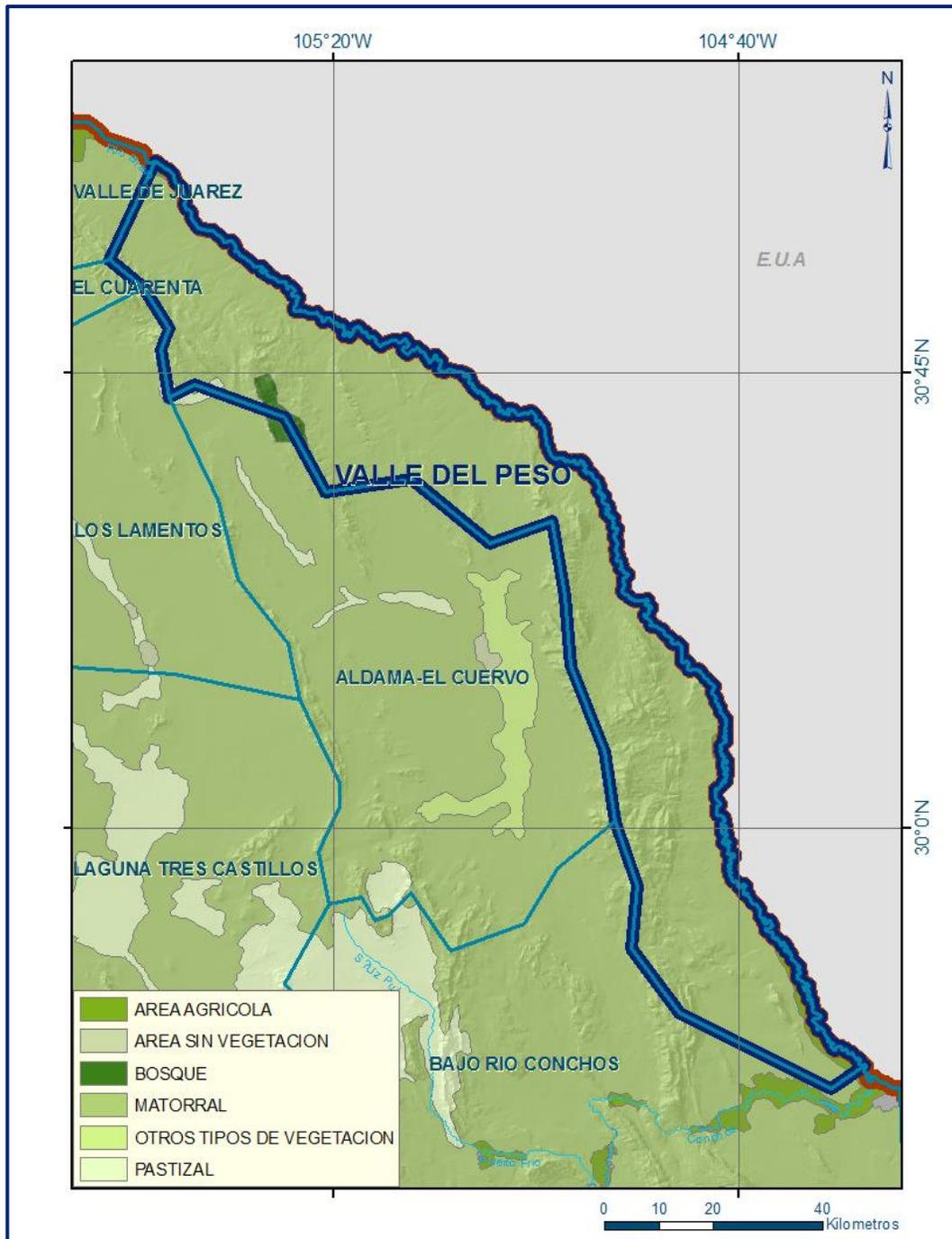


Figura 4. Uso de suelo

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado de  $24.1 \text{ hm}^3$ , entre el volumen anual promedio precipitado, que es de  $956.2 \text{ hm}^3/\text{año}$ , se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.025.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de  $24.1 \text{ hm}^3/\text{año}$  en los  $3,596 \text{ km}^2$  de superficie del acuífero. Por lo que la  **$R_v = 24.1 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

## 7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), a través de evaporación directa de los niveles freáticos someros (Ev) y posiblemente a través de salidas subterráneas, pero no se cuenta con información piezométrica suficiente para su estimación. No existen manantiales, ni flujo base en ríos.

### 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 **7.4 hm<sup>3</sup>/año**.

### 7.2.2 Evaporación (Ev)

El valor de la evaporación se calculó de acuerdo a las áreas donde se presenta este fenómeno, es decir, hacia las proximidades del Río Bravo, a lo largo de casi todo el acuífero por el límite internacional; esta superficie es de 67.8 km<sup>2</sup> multiplicada por la lámina de evaporación obtenida con la fórmula de Coutagne (246 mm), se obtiene un valor de **Ev = 16.7 hm<sup>3</sup>**.

## 8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

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

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

### **8.1 Recarga total media anual (R)**

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida.

Para este caso su valor es **24.1 hm<sup>3</sup>/año**.

### **8.2 Descarga natural comprometida (DNC)**

La descarga natural comprometida (DNCOM) se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que están comprometidos 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 Valle del Peso existe un volumen de 16.7 hm<sup>3</sup> de evaporación directa de los niveles freáticos someros a lo largo del Río Bravo, del cual se considerará un 50% de dicho volumen para preservar la vegetación rivereña, por lo que **DNC = 8.3 hm<sup>3</sup>/año**.

### **8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)**

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **2,983,147 m<sup>3</sup> 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 de 2022**.

#### **8.4 Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 24.1 - 8.3 - 2.983147 \\ \text{DMA} &= 12.816853 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **12,816,853 m<sup>3</sup> anuales**.