CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO LA HUACANA (1615), ESTADO DE MICHOACÁN

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1 GENERALIDADES 2
Antecedentes 2
1.1 Localización 2
1.2 Situación administrativa del acuífero 3
2 FISIOGRAFÍA 4
2.1 Provincia fisiográfica 4
2.2 Clima 5
2.3 Hidrografía 6
2.4 Geomorfología 6
3 GEOLOGÍA 6
3.1 Estratigrafía 7
3.2 Geología estructural 9
3.3 Geología del subsuelo 10
4 HIDROGEOLOGÍA 11
4.1 Tipo de acuífero 11
5 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 11
5.1 Entradas 12
5.1.1 Recarga vertical (Rv) 12
5.2 Salidas 18
5.2.1 Bombeo (B) 18
5.2.2 Descarga a través de manantiales (Dm) 18
6 DISPONIBILIDAD 18
6.1 Recarga total media anual (R) 19
6.2 Descarga natural comprometida (DNC) 19
6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 19
6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) 20
7 BIBLIOGRAFÍA 21

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 La Huacana, definido con la clave 1615 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción sur del estado de Michoacán, entre las coordenadas geográficas 18° 35' y 19° 9' de latitud norte y 101° 33' y 102° 3' y abarca una superficie de 1701.96 km^2.

Limita al este con el acuífero Tacambaro – Turicato, al sureste con Churumuco, al suroeste Lázaro Cárdenas y al noroeste con el acuífero Nueva Italia (figura 1).

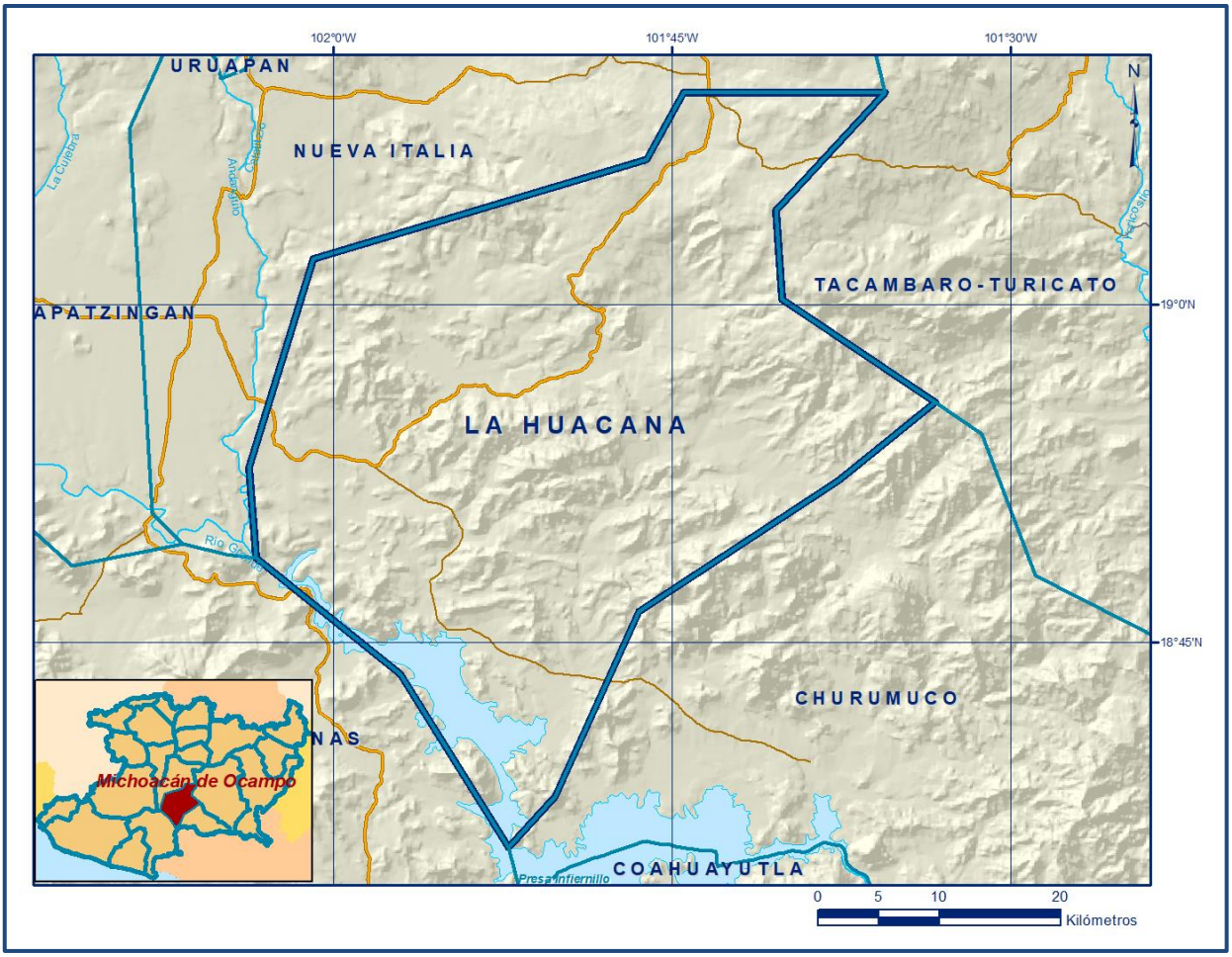


Figura 1. Localización del acuífero

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

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero La Huacana pertenece al Organismo de Cuenca IV Balsas y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Michoacán. El acuífero pertenece al Consejo de Cuenca del Río Balsas instalado el 26 de marzo de 1999.

El acuífero se encuentra totalmente vedado y sujeto a las disposiciones del "*Decreto de veda por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la zona del Bajo Balsas, estableciéndose veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de aguas del subsuelo en*

dicha zona", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 27 de junio de 1975. Esta veda se clasifica como tipo II, en la que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1615 LA HUACANA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	101	33	21.4	18	55	40.5
2	101	37	38.0	18	52	13.1
3	101	46	29.4	18	46	24.3
4	101	50	11.8	18	38	12.6
5	101	52	15.4	18	35	56.1
6	101	57	2.8	18	43	38.1
7	102	3	26.3	18	48	46.6
8	102	3	44.8	18	52	48.1
9	102	0	56.1	19	2	3.2
10	101	46	7.2	19	6	27.0
11	101	44	30.6	19	9	24.0
12	101	35	33.3	19	9	24.6
13	101	40	23.7	19	4	10.2
14	101	40	7.8	19	0	13.8
1	101	33	21.4	18	55	40.5

2 FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

El acuífero se encuentra en la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico Transmexicano y la Sierra Madre del Sur, en las subprovincias fisiográficas Neovolcánica Tarasca, Escapa Limítrofe del Sur, en la Cordillera Costera del Sur y la Depresión del Tepalcatepec.

El Eje Neovolcánico está representado por grandes expresiones de vulcanismo explosivo, originado durante eventos relativamente reciente; alcanza desarrollo

significativo de sistemas de fallas asociado con manifestaciones volcánica y grabens o fosas. El vulcanismo de la región se generó a lo largo de lineamientos de fallas formando las sierras circundantes y creando paisajes de morfologías combinadas y notable singularidad.

La Sierra Madre del Sur se originó por el choque de las placas tectónicas Cocos y Norteamericana, está caracterizada por ser un sistema montañoso complejo disectado por corrientes fluviales que en su trayectoria labran valles y llanuras con cañadas, cuyas alturas varían de 150 msnm (presa Infiernillo y la ribera del río Balsas), hasta casi 2,000 msnm. Se localiza al sur de México y se extiende a lo largo de 1,200 km, desde el sur de Jalisco hasta el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca, con una dirección preferencial de noroeste a sureste; en ella nacen varias corrientes que desembocan en el Océano Pacifico y en su vertiente interior se localizan las cuencas de los ríos Balsas, Verde y Tehuantepec. Es la provincia de mayor complejidad geológica, en ella se encuentran rocas ígneas, sedimentarias y en mayor abundancia rocas metamórficas. Su representación dentro del acuífero se manifiesta con una serie de prominencias topográficas que adquieren sus mayores elevaciones en la parte norte, en donde configuran barrancas y hondonadas, así como cimas que alcanzan altitudes los 3,000 msnm.

2.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por E. García, para las condiciones de la República Mexicana, en el área cubierta por el acuífero predominan cuatro tipos de climas, en la parte norte el templado subhúmedo (A)C(w1)(w) con un rango de temperatura de 18° a 22°C, la parte central posee dos tipos de clima, el cálido subhúmedo Aw0(w) con una temperatura media de 25 °C y el semiseco muy cálido BS1(h')w(w) con temperatura de 27 ° C , mientras que en la parte sur se tiene un clima seco muy cálido BS0(h')w(w) con temperatura promedio de 28 °C.

Para la determinación de las condiciones climatológicas, se utilizaron los datos de 5 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero Coahuayutla en Guerrero, Turicato, Antúnez, La Pastoría y Tacámbaro en Michoacán. Con un periodo de registro que comprende 1981-2018 y utilizando el método de polígonos de Thiessen, se determinaron que los valores promedio anuales de temperatura y precipitación potencial son **24.2°C y 771 mm**, respectivamente.

El patrón de lluvias es marcadamente estacional y se concentra en los meses de junio a septiembre.

2.3 Hidrografía

El acuífero se ubica en la Región Hidrológica 18 Balsas; casi en su totalidad dentro de la cuenca Río Bajo Balsas y solo un área de 45 km^2 está comprendida en las cuencas Río Cupatitzio y Tacámbaro.

El patrón de drenaje que predomina es de tipo dendrítico, con una dirección franca NE-SW es controlado por el río Balsas, dentro de las corrientes principales se encuentran los ríos La Huacana, Zicuirán y San Pedro Jorullo.

Dentro de sus límites se ubica la presa Zicuirán cuya capacidad de almacenamiento es de 70 hm^3; hacia el sur colinda con el vaso de la presa Infiernillo.

2.4 Geomorfología

El paisaje geomorfológico de la zona se caracteriza por estar constituido por sierras alargadas y macizos de aspecto morfoestructurales, su morfología sigue un rumbo NW-SE, se consideran como las rocas más antiguas, subyace a unidades terrígenas del grupo Balsas.

Sobresalen los conos cineríticos, distribuidos en forma irregular, con estructura de lavas sobrepuestas indicando diferentes emisiones en el mismo periodo, corresponde a derrames basálticos pocos erosionados y son las rocas más jóvenes.

Dentro de los puntos más sobresalientes están Cerro de Guadalupe, Santa Elena, El Pelón, Mesa El Zalate, Viejo, Las Bufas y Chupaderos, así como el volcán El Jorullo.

3 GEOLOGÍA

En el acuífero se presentan dos ciclos volcánicos: el de la Sierra Madre del Sur con sus secuencias inferior y superior, y el del Eje Neovolcánico. La distribución general de las distintas unidades litológicas se muestra en la figura 2.

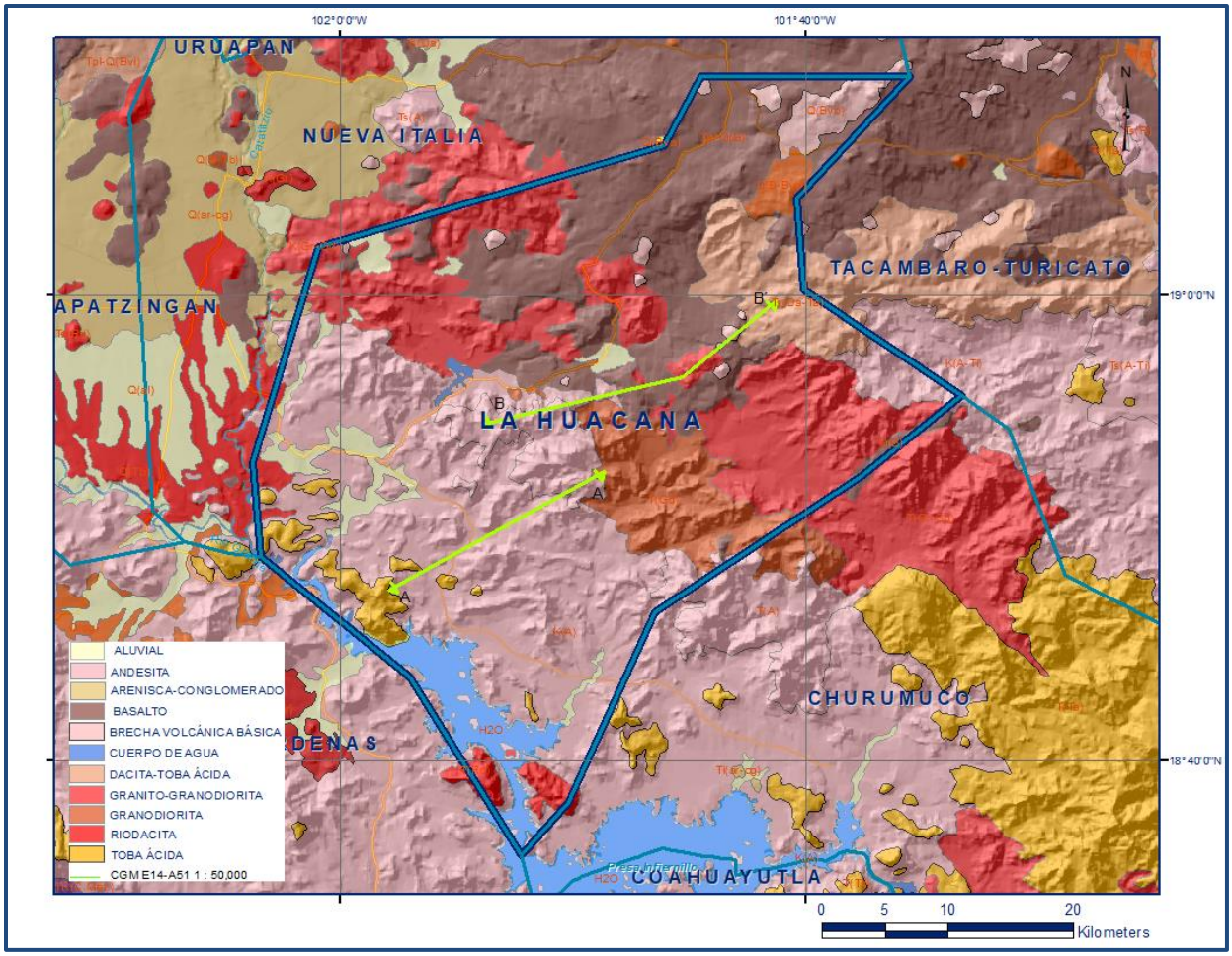


Figura 2. Geología general del acuífero

3.1 Estratigrafía

Las unidades cronoestratigráficas que afloran en el acuífero, están representadas por una secuencia de rocas ígneas extrusivas cenozoicas, intrusiones de tipo granítico y por último un evento también volcánico más reciente:

Rocas volcánicas

Conjunto Balsas

Peter J. Coney (1981) lo define como una variedad importante de rocas en la que incluye un conglomerado calizo principalmente y en menor proporción fragmentos volcánicos, limolitas incluyendo tobas y lavas, se ubica al noreste en línea recta del poblado La Huacana, mismo que ha estado sujeto a una alta erosión, al grado de presentarse como pequeños colgantes sobre el intrusivo. Consiste de dos miembros.

El inferior son andesitas de color gris claro, su estructura es compacta masiva, mientras que el superior, sobreyaciendo al derrame andesítico, afloran en forma caótica brechas y aglomerados de composición andesítica de color gris verdoso. El espesor de ambos miembros varia de 50 a 200 m, su estructura es semicompacta masiva y se considera corresponden a El Eoceno.

Volcanoclásticos Zicuirán "Arco Magmático Laramídico"

Tentativamente se da este nombre al paquete volcánico representado por derrames volcánicos de predominancia andesítica y que se puede distinguir en cinco miembros bien definidos, hacia la base existen andesitas porfídicas, le sobreyacen tobas andesíticas, el miembro intermedio está representado por tobas y derrames riolíticos poco comunes, el miembro más superior está constituido por tobas gruesas y brechas andesíticas, coronando a la secuencia existen algunos derrames andesíticos. Su distribución es bastante amplia, los afloramientos más característicos se encuentran en las inmediaciones de la población de Zicuirán y la presa del mismo nombre, así como al sur de la población La Huacana. El espesor máximo alcanza los 900 m y se le asigna una edad del Oligoceno.

Rocas ígneas intrusivas

Batolito Costero Michoacán Guerrero, Tronco La Huacana

Representada por tres tipos de rocas que son el tronco La Huacana, el cual está cortado por diques ácidos y diques dioríticos, cuya edad se ha determinado como Oligocénico Tardío. Es un intrusivo proveniente de un complejo cristalino producto de la diferenciación de una cámara magmática, que formó el batolito, presenta diferenciaciones texturales de grano grueso a fino conocido como microgranito, granito, granodiorita y una facie tonalítica poco conocida. Su espesor varía de 300 a 1,000 m.

Los diques ácidos y dioríticos son pequeños y angostos, no alcanzan el metro de espesor, pero su estructura es compacta masiva, es la unidad más joven de las rocas cenozoicas que afloran en la región, ya que afecta claramente al intrusivo granítico, pero no a las rocas básicas, por la sobreposición de eventos, se le ha asignado edad Oligoceno Tardío, posterior al del intrusivo granítico.

Basaltos

El último evento volcánico y más reciente consiste de coladas basálticas y material piroclástico sin cementar, evento relacionado con los fenómenos magmáticos intracontinentales que originaron al Eje Neovolcánico Transmexicano, su edad se ha determinado como del Plioceno-Holoceno. Se encuentran distribuidos irregularmente en el acuífero y algunas de sus manifestaciones se dan en los volcanes El Jorullo, El Estribo, La Pilita, Cerro Pelón y el Volcancito, distribuidos en el extremo noroeste del acuífero. Tienen un espesor de 150 m, incrementándose las cotas en donde existen los estratovolcanes compuestos de material piroclástico y derrames, llegando alcanzar hasta 500 m.

Depósitos Aluviales

Producto de la erosión de rocas pre-existentes, están constituidos principalmente por arenas, arcillas y limos. Se localizan en las riberas de los afluentes a la presa Infiernillo.

3.2 Geología estructural

Por su ubicación geográfica, en la parte occidental del continente, el área ha estado afectada por la subducción de la placa del Pacífico sobre la de Norteamérica, motivo por el cual se tiene gran complejidad estructural a nivel regional y local. La zona ha estado sujeta a dos eventos tectónicos distintos, el más antiguo y que dio origen a la Sierra Madre del Sur y el que originó la formación del Eje Neovolcánico; existen cuatro grandes lineamientos que atraviesan el acuífero, las cuales llevan un rumbo que varía de N20°W a N60°W, rasgo que localmente son enmascarados por un segundo fracturamiento de rumbo que va de N45°E y que cambia de oriente poniente.

El acuífero está ubicado en un bloque hundido, que hacia el norte presenta un horst que corresponde a la sierra de Ario de Rosales, en tanto que hacia el sur continúan una serie de bloques escalonados en donde el horst principal es la sierra de infiernillo, el cual es limitado por los ríos Balsas y su prolongación poniente es el río Tepalcatepec.
Los rasgos estructurales de deformación frágil, única en el acuífero está presente en todas las litologías manifestándose en mayor grado en el paquete volcanoclástico y con menos incidencia en el cuerpo intrusivo granítico, esta deformación está representada por fallas y fracturas de dimensiones variables, la falla más extensa interpretada por rasgos topográficos, sigue una dirección N70°W cambiando a N45°E dando un aspecto curvilíneo; existen otras fallas de menores dimensiones las cuales

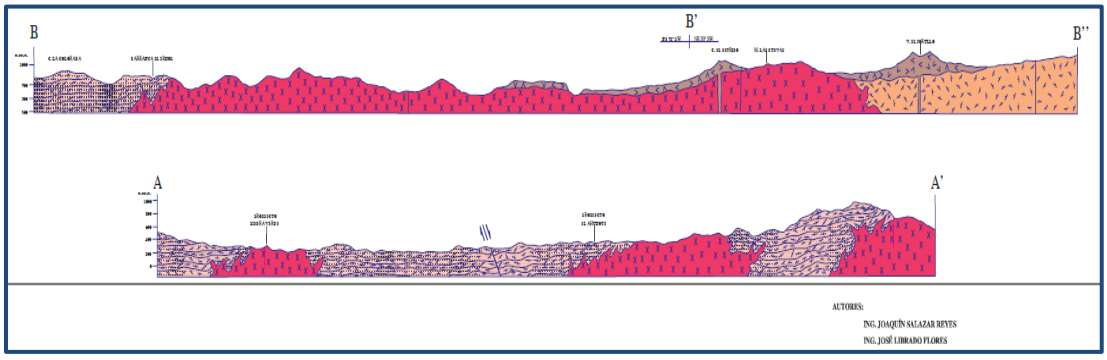
presentan un rumbo que varía de N40°W a N50°W, estas últimas mostrando superficies subverticales sobre las que se imprimen estrías horizontales, ocasionalmente se sobreimprimen estrías subhorizontales producto de movimientos compuestos; estructuras de este tipo se observan en la presa Zicuirán. Las fallas normales presentan planos subverticales representadas por escalones de dimensiones locales.

3.3 Geología del subsuelo

La geología del subsuelo es compleja debido a que se trata de una extensa zona volcánica (figura 3), encontrándose rocas permeables como son las que constituyen los conos cineríticos, los cuales están constituidos por cenizas volcánicas y piroclásticas que permiten que el agua de lluvia se infiltre a través de ellos. Una gran parte del acuífero se encuentra constituido por alternancia de derrames lávicos, escorias, brechas volcánicas, cenizas volcánicas, tobas y materiales volcano-sedimentarios, cuya permeabilidad es variable.

Los derrames lávicos y las escorias, generalmente presentan buena permeabilidad. Las brechas volcánicas varían en su carácter geohidrológico de acuerdo a su contenido arcilloso, las cenizas, tobas y material volcano-sedimentarios, generalmente debido a su compacidad o presencia de material fino, se comporta como impermeable.

Debido a lo anterior, el conjunto que constituye a la unidad Cuaternario Volcánico Basáltico, presenta hacia algunos sectores rocas que permiten la infiltración y circulación de agua, junto a materiales que lo impiden y que llegan a funcionar como confinantes, lo que se clasificó a esta unidad como ocasionalmente permeable.



Fuente: Carta Geológico-Minera E14-A51 “La Huacana”. Esc. 1:50,000 (SGM,1996)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

4 HIDROGEOLOGÍA

4.1 Tipo de acuífero

Los grandes desniveles topográficos existentes aunados a la errática distribución de materiales permeables e impermeables, originan la existencia de un sinnúmero de pequeños **acuíferos colgados de baja permeabilidad**, los cuales en muchos casos se descargan a través de manantiales, constituyendo éstos el principal tipo de aprovechamiento de agua en la región.

La porción inferior se aloja en un medio fracturado constituido por rocas volcánicas, vulcanosedimentarias y sedimentarias, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y alteración.

El flujo subterráneo está definido por el río Tepalcatepec y por el vaso de la presa Infiernillo.

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 **1,634.1 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 masa

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas están 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 La Huacana 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 del acuífero, mediante la siguiente expresión:

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

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:

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

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (1,634.1 km^2) por la lámina de precipitación media anual (771 mm):

$$V_{LL} = 1{,}634.1\ km^2\ (0.771\ m) = 1{,}259.9\ hm^3 \text{ anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Coutagne, considerando el valor medio anual de precipitación de 771 mm y temperatura de 24.2 °C. Coutagne propuso la ecuación siguiente para calcular la evapotranspiración real:

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

La fórmula sólo es aplicable para valores de la precipitación media anual (P) comprendidos entre 1/8X y 1/2X, en la que ETR y P se expresa 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 ecuación de Coutagne se obtiene una lámina de evapotranspiración real de **629.0 mm anuales.** Por lo tanto el volumen de ETR es:

V_{ETR} = 1,634.1 km² (0.629 m) = 1,027.8 hm³ 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 de 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 y Geografía, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 2 y se determina el uso actual del suelo.

Tabla 2. Valores de k en función del tipo y uso del suelo

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

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;

De acuerdo con 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 La Huacana, predominan los siguientes tipos de suelo: Acrisol, Andosol, cuerpos de agua, Feozem, Litosol, Luvisol, Regosol, Rendzina y Vertisol que se clasifican en dos tipos de suelo: B y C (figura 4).

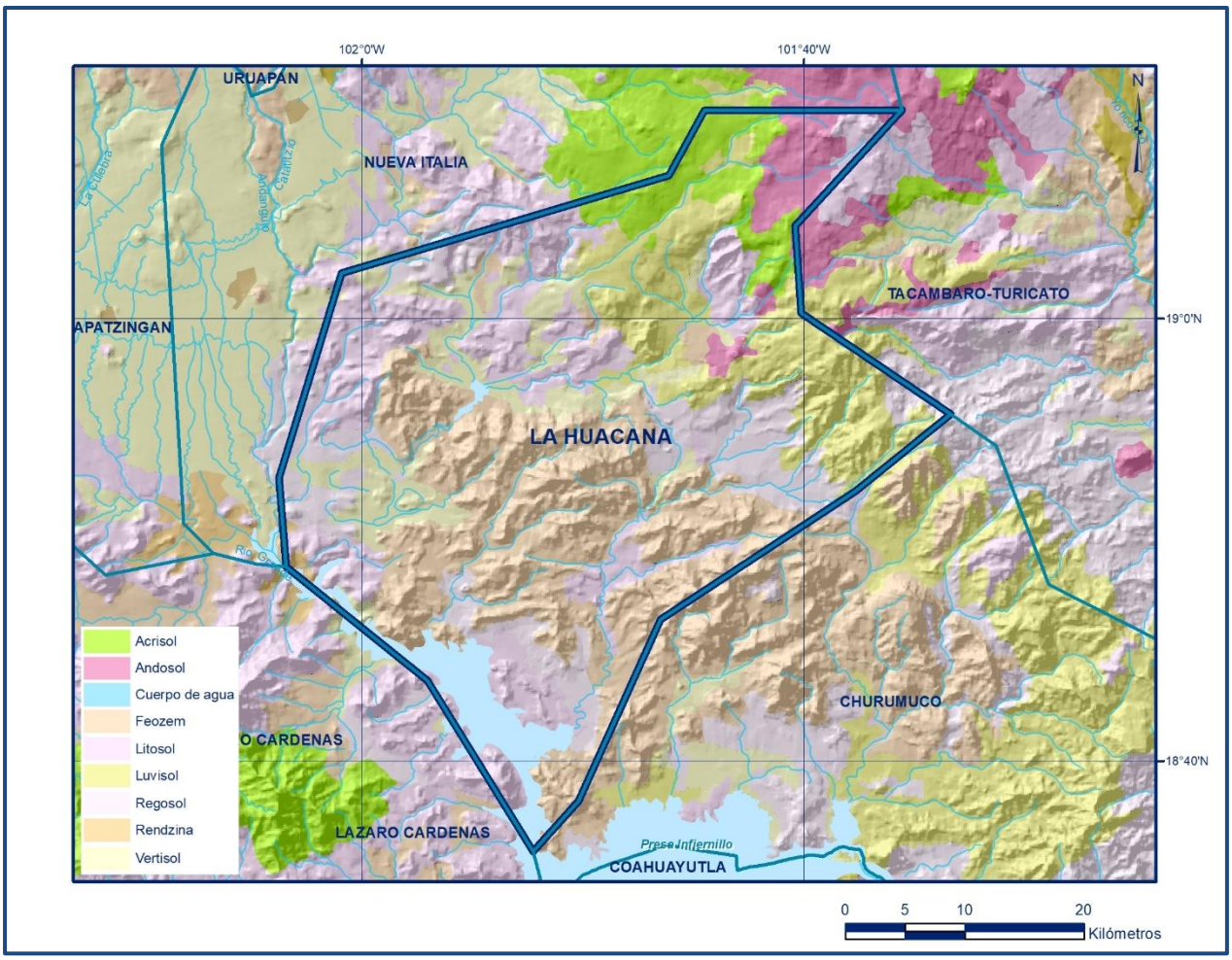


Figura 4. Tipo de suelo

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 cinco usos de suelo diferentes: agricultura, asentamientos humanos, bosque, cuerpos de agua, otros tipos, pastizal y selva (figura 5).

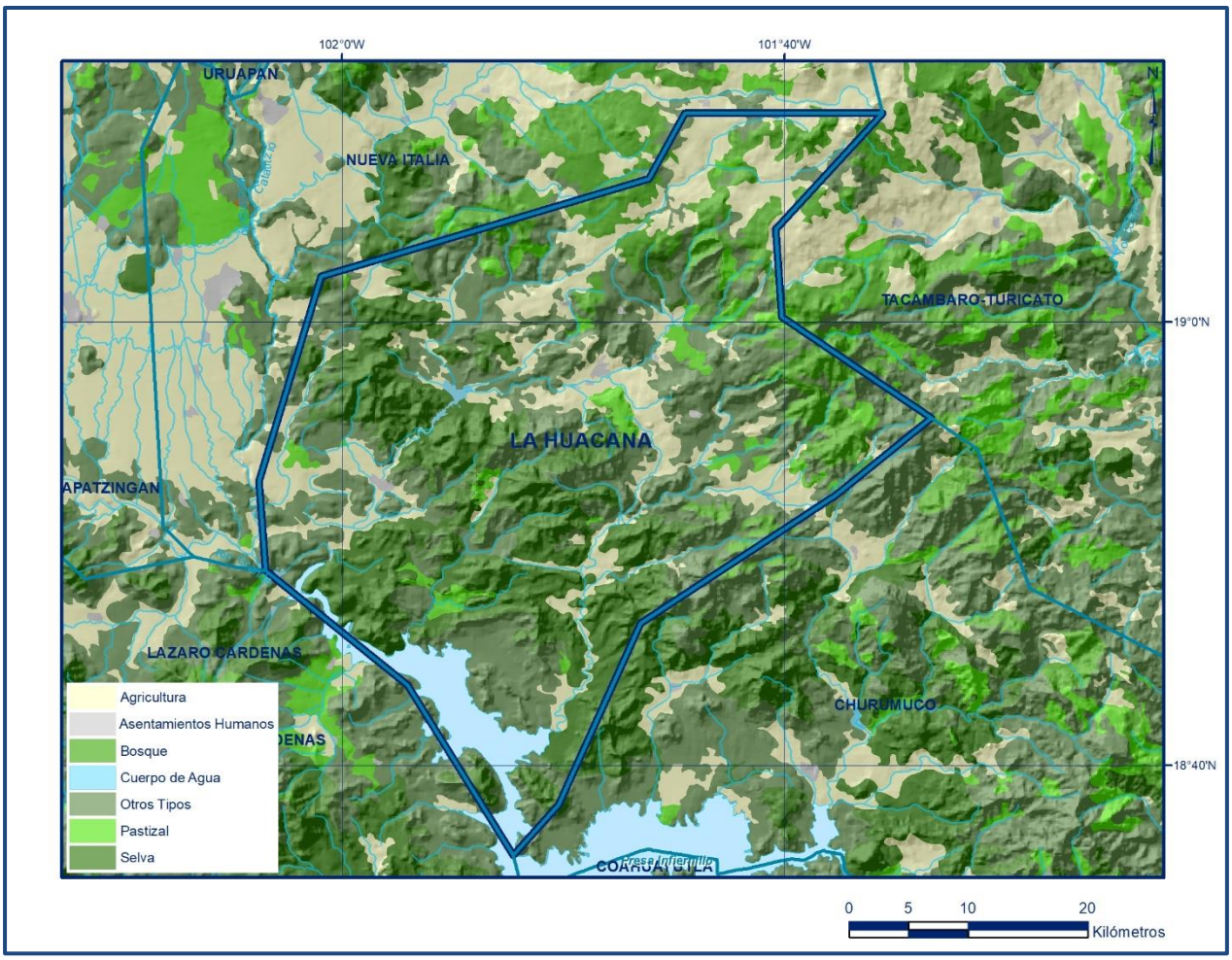


Figura 5. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado, es igual a 0.27, 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 = 0.154

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

V_{ESC} = 0.154 (1,259.9 hm^3) = 194.0 hm^3 anuales

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

$$\mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC}\ (2)}$$
$$\mathbf{V_{INF} = 1{,}259.9 - 1{,}027.8 - 194.0}$$
$$\mathbf{V_{INF} = 38.1\ hm^3\ anuales}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es 1,259.9 hm^3/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0302. De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 38.1 hm^3/año en los 1,634.1 km^2 de superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 38.1 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) y por la descarga de los manantiales (Dm) existentes.

5.2.1 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 **8.7 hm^3 anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

5.2.2 Descarga a través de manantiales (Dm)

De acuerdo con información de 2017, se identificó la existencia de 142 manantiales, que en conjunto descargan **28.8 hm^3 anuales.**

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 a la suma de los volúmenes que ingresan al acuífero en forma de recarga vertical.

Para este caso, el valor estimado de la recarga total media anual que recibe el acuífero es de **38.1 hm³ anuales.**

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 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 este caso, su valor es de **28.8 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 **8,686,157 m³ anuales,** que reporta el Registro Público de Derechos e 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 aguas subterráneas.

DMA = R – DNC – VEAS
DMA = 38.1 – 28.8 – 8.686157
DMA = 0.613843 hm³ anuales

El resultado indica que existe un volumen disponible de **613,843 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones.

7 BIBLIOGRAFÍA

Servicio Geológico Mexicano, 1996. Carta Geológico-Minera E14-A51 “La Huacana”. Escala: 1:50 000.

Servicio Geológico Mexicano, 1996. Carta Geológico-Minera E14-A62 “Churumuco”. Escala: 1:50 000.

GEOFIAP, S.A., 1980, Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en la zona de La Huacana, Mich.