



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO LAGUNA TRES CASTILLOS (0813),
ESTADO DE CHIHUAHUA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1	GENERALIDADES.....	2
	Antecedentes.....	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	4
2	FISIOGRAFÍA.....	5
2.1	Provincia fisiográfica.....	5
2.2	Clima.....	6
2.3	Hidrografía.....	6
2.4	Geomorfología.....	7
3	GEOLOGÍA.....	7
3.1	Estratigrafía.....	8
3.2	Geología estructural.....	9
3.3	Geología del subsuelo.....	10
4	HIDROGEOLOGÍA.....	10
4.1	Tipo de acuífero.....	10
5	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	10
5.1	Entradas.....	11
5.1.1	Recarga vertical (Rv).....	11
5.2	Salidas.....	17
5.2.1	Bombeo (B).....	17
5.2.2	Descarga por manantiales (Dm).....	17
6	DISPONIBILIDAD.....	17
6.1	Recarga total media anual (R).....	18
6.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	18
6.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	18
6.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	19
7	BIBLIOGRAFÍA.....	20

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 Laguna Tres Castillos, definido con la clave 0813 en la CONAGUA, se localiza en la porción norte del estado de Chihuahua, entre las coordenadas geográficas 29° 34' y 30° 22' de latitud norte y 105° 19' y 106° 11' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 4578.94 km².

Limita al norte con el acuífero Los Lamentos y Laguna de Patos; al sur con Laguna de Hormigas; al noreste con Aldama-El Cuervo y al sureste con Bajo Río Conchos; al oeste

con Laguna de Tarabillas, todos pertenecientes al estado de Chihuahua (figura 1).



Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente, comprende parcialmente la superficie de los municipios Ahumada y Coyame del Sotol, así como porción menor de Aldama. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0813 LAGUNA TRES CASTILLOS						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	105	59	44.5	30	18	35.0
2	105	53	27.9	30	21	36.6
3	105	51	26.5	30	16	16.4
4	105	35	44.7	30	15	15.1
5	105	23	23.6	30	12	39.4
6	105	19	24.7	30	4	29.1
7	105	19	29.4	30	2	4.3
8	105	21	33.1	29	57	39.3
9	105	20	26.5	29	52	28.3
10	105	24	50.5	29	44	31.3
11	105	22	46.3	29	42	32.7
12	105	29	59.1	29	39	35.1
13	105	36	51.5	29	34	50.9
14	105	50	11.3	29	39	52.7
15	105	54	30.1	29	47	12.0
16	105	59	13.6	29	47	26.7
17	106	3	8.2	29	50	44.7
18	106	5	30.5	30	6	0.5
19	106	10	20.6	30	18	9.5
1	105	59	44.5	30	18	35.0

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Laguna Tres Castillos pertenece al Organismos de Cuenca VI “Río Bravo”, al Consejo de Cuenca “Río Bravo”, instalado el 21 de enero de 1999.

En la totalidad de su territorio no rige ningún decreto de veda, sin embargo, se encuentra sujeto a las disposiciones del *“ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento de las aguas nacionales del subsuelo en los 96 acuíferos que se indican”*, publicado en el DOF el 5 de abril de 2013, a través del cual en dicha porción del acuífero, no se permite la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, sin contar con concesión o asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua, quien la otorgará conforme a lo establecido por la Ley de Aguas Nacionales, ni se permite el incremento de volúmenes autorizados o registrados previamente por la autoridad, sin

la autorización previa de la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. No se han constituido ningún Distrito de Riego ni Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2 FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2001), el acuífero se ubica en territorio de las provincias fisiográficas Sierra Madre Occidental y Sierras y Llanuras del Norte, abarca las subprovincias Llanuras y Médanos del Norte y Sierras Plegadas del Norte respectivamente.

La Sierra Madre Occidental es una cadena montañosa que abarca todo el oeste mexicano y el extremo suroccidental de los Estados Unidos. En sus 1500 km de longitud recorre Arizona, parte de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Nayarit y Jalisco, lugar donde se une al Eje Volcánico Transversal de México. Cubre 289,000 km² y ocupa la sexta parte del territorio mexicano. Su ancho promedio es de 150 km, con alturas de hasta 3000 msnm. Presenta una orientación NW-SE y comprende la porción sur-occidental del estado de Chihuahua; es una extensa meseta formada por rocas volcánicas disectada por fallas normales y grabens, cuyo borde occidental se caracteriza por presentar una terminación abrupta con fallas normales que presentan grandes desplazamientos y zonas de barrancas profundas.

La provincia de Sierras y Llanuras del Norte es una provincia árida y semiárida que se extiende desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta cerca de Nazas en Durango y la Laguna de Mayrán en Coahuila. Se orienta más o menos noroeste-sur 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, que dieron lugar a la formación de cuencas endorreicas.

La subprovincia Llanuras y Médanos del Norte, está formada por extensos valles aluviales entre los cuales se intercalan algunas sierras. Predominan las rocas sedimentarias (principalmente conglomerados), aunque también se encuentran pequeños afloramientos de rocas ígneas intrusivas ácidas.

2.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por E. García, en 1981, con aportaciones del INEGI, para las condiciones particulares de la República Mexicana, en el acuífero, prevalece el clima muy árido templado BWkw. Se caracteriza por presentar una temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, la temperatura media del mes más frío es entre -3 °C y 18 °C y temperatura del mes más caliente mayor de 22 °C. Presenta lluvias en verano y el porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

En una porción menor del acuífero se presenta un clima árido templado BSokw. con una temperatura media anual entre 12° y 18°C, con una temperatura del mes más frío entre -3° y 18°C, con lluvias en verano.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de cuatro estaciones climatológicas con influencia en el área del acuífero: Rancho el Veinticuatro-CHIH. (8017), Rancho El Cuarenta-CHIH. (8118), Peguis-CHIH. (8255) y El Mezquite-CHIH. (8050). Con los registros obtenidos para el periodo 1971 a 1985 y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores medios anuales de precipitación y temperatura de **301.0 mm y 16 °C** respectivamente.

2.3 Hidrografía

El acuífero se localiza en la Región Hidrológica No. 34 Cuencas Cerradas del Norte, que corresponde a la Cuenca del Carrizo y Otros, encontrándose dentro de ésta la subcuenca A. del Burro.

La pendiente general en la Cuenca del Carrizo y Otros es en la parte alta es media, mientras que en la porción inferior es baja. El sistema orográfico que configura esta cuenca forma subcuencas cerradas que originan vasos de tipo lacustre aluvial muy azolvados y por tanto en proceso de extinción.

Los usos del agua superficial son reducidos, se limitan al riego de pequeñas áreas, abastecimiento a la industria minera, pecuario y doméstico.

2.4 Geomorfología

El sistema de topoformas del acuífero Laguna Tres Castillos se constituye principalmente de sierras plegadas y escarpadas, bajadas y lomeríos. Algunos de los principales rasgos son: las sierras La Víbora, La Lagrima, Los Olanes y El Jabal.

3 GEOLOGÍA

En el área del acuífero afloran rocas sedimentarias e ígneas. Forma parte del terreno tectonoestratigráfico Chihuahua, constituido por un conjunto cratónico de areniscas, lutitas y calizas del Paleozoico cubierto por sedimentos mixtos y continentales del Mesozoico depositados en la cuenca de Chihuahua y rocas Cenozoicas de origen volcánico y continental.

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

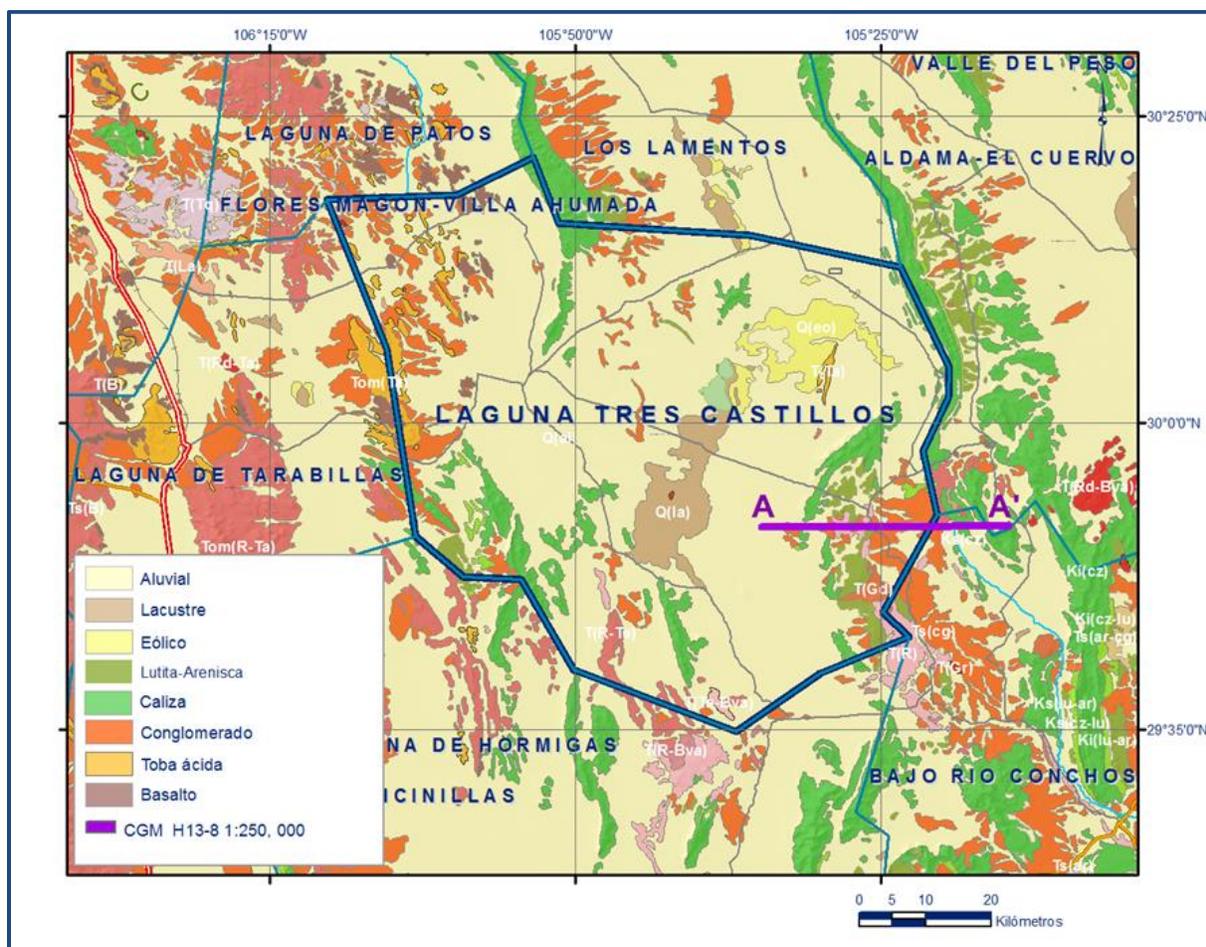


Figura 2. Geología general del acuífero

3.1 Estratigrafía

La columna estratigráfica está conformada por rocas sedimentarias e ígneas. A continuación, se presenta de manera breve la descripción de las unidades de la más antigua a las más reciente:

CRETACICO INFERIOR

Formación Las Vigas

La Formación Las Vigas de edad Valanginiano-Hauteriviano, está constituida por una secuencia de areniscas con intercalaciones de lutita, limolita y algunas intercalaciones de caliza en la base, sobreyacen de manera transicional y concordante los depósitos del Grupo Cuchillo.

Grupo Cuchillo

El Grupo Cuchillo de edad Barremiano-Aptiano constituido por las formaciones La Virgen (yeso con intercalaciones de caliza) Cupido (caliza) y La Peña (caliza con intercalaciones de arenisca calcárea, lutita y lutita calcárea).

Grupo Aurora

El grupo Aurora de edad Albiano Inferior, consiste en un conglomerado polimíctico con intercalaciones conformado por la Formación Benigno (caliza), Formación Chihuahua (caliza y lutita) y Formación Finlay (caliza masiva); le sobreyace de manera transicional y concordante los sedimentos representados por la Formación Benavides.

Formación Benavides

De edad Albiano Medio-Superior, está constituida por lutita con intercalaciones de caliza arcillosa, le sobreyace concordantemente la Formación Loma de Plata.

Formación Loma de Plata

Está constituida una alternancia de caliza nodular en estratos delgados con cuerpos de caliza masiva y con bandas de pedernal de edad Albiano Superior.

CRETACICO SUPERIOR

Grupo Washita

Durante el Cenomaniano se depositaron de manera transicional y concordante los sedimentos del Grupo Washita constituido por las Formaciones Del Río y Buda, que consisten de una alternancia de caliza arcillosa y lutita en estratos delgados y

medianos. Su distribución se manifiesta de forma aislada sobre la sierra La Lagrima.

Formación Ojinaga

Está formada por una secuencia de lutita fisil con estratos delgados de caliza arcillosa y esporádicas intercalaciones de capas delgadas de arenisca calcárea de grano medio a grueso, es de edad Cenomaniano-Turoniano.

CENOZOICO

PALEOGENO

Formación El Uno

El proceso erosivo se presenta durante el Paleoceno, como lo demuestra el depósito de arenisca y conglomerado polimíctico denominado informalmente como Formación El Uno.

Durante el Oligoceno se desarrolla un vulcanismo bimodal evidenciado por derrames andesíticos y por el emplazamiento de unidades riolíticas y tobas riolíticas; todas las unidades anteriores están cubiertas por coladas de basalto. Los cuerpos ígneos intrusivos del Oligoceno son tonalita que se encuentra afectando a rocas Mesozoicas.

CUATERNARIO

Durante el Cuaternario afloran los depósitos semiconsolidados y no consolidados del Pleistoceno y Holoceno, están constituidos por conglomerados polimícticos, aluviones de planicie, depósitos eólicos y lacustres.

3.2 Geología estructural

Dentro del acuífero se definieron estructuras del tipo dúctil-frágil, como resultado de la Orogenia Laramide provocando un esfuerzo de máxima compresión que afecta principalmente a las unidades mesozoicas, formando anticlinales, sinclinales y cabalgaduras.

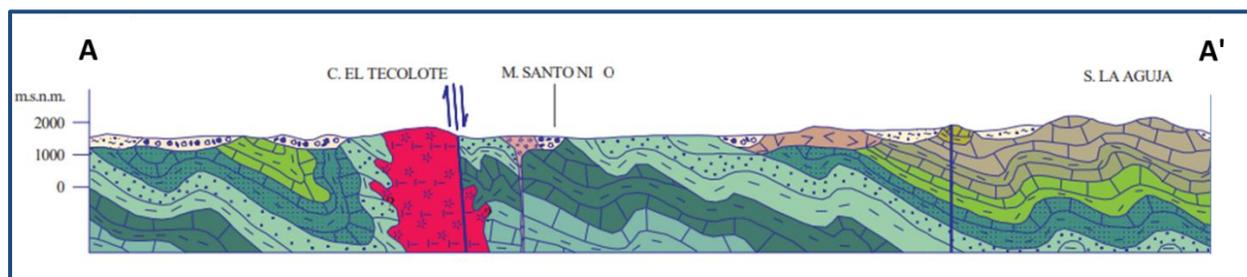
La deformación frágil se origina como resultado del evento distensivo de Sierras y Cuencas y la apertura del rift del Río Grande generando principalmente fallas normales y fosas tectónicas.

Los eventos tectónicos que han afectado la región en el Paleozoico se registran las Orogenias Taconiana, Apalacheana y Marathon-Owachita sobre unidades Paleozoicas,

la mejor representada es la Orogenia Laramide afectando a la Secuencia Sedimentaria Mesozoica. En el Cenozoico se desarrollaron los eventos distensivos asociados a “Cuencas y Sierras” del Oligoceno y el rift del Río Grande del Plioceno-Pleistoceno.

3.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la geología superficial y por correlación con acuíferos vecinos, se determina que el acuífero está constituido, en su porción superior, por depósitos no consolidados de granulometría variada, que conforman el relleno del valle, estos depósitos cubren a conglomerados y areniscas con una buena permeabilidad. Esta unidad constituye el acuífero regional que tiene mayor potencial hidrogeológico debido al fracturamiento. Por debajo se extiende una secuencia de calizas y lutitas que sobreyacen a una secuencia de arenisca y conglomerado polimíctico (figura 3).



Fuente: Carta Geológico-Minera H13-8 “Ojinaga”. Esc. 1:250,000 (SGM, 2003)

Figura 3. Sección geológica esquemática

4 HIDROGEOLOGÍA

4.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica, es posible definir la presencia de un acuífero de **tipo libre a semiconfinado**, heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior por depósitos recientes de granulometría variada, además de conglomerados polimícticos y areniscas. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas sedimentarias fracturadas con permeabilidad de media a alta.

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 **4,564.9 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:

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

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

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

5.1 Entradas

Las entradas al acuífero Laguna Tres Castillos están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (R_v).

5.1.1 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 de balance 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 (4,564.9 km²) por la lámina de precipitación media anual (301.0 mm):

$$V_{LL} = 4,564.9 \text{ km}^2 (0.3010 \text{ m}) = 1,374.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Coutagne, considerando el valor medio anual de precipitación de 301.0 mm y temperatura de 16 °C.

Coutagne propuso la siguiente expresión para el cálculo de la evapotranspiración real:

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

La fórmula solo es aplicable para valores de la precipitación media anual (P) comprendidos entre 1/8X y 1/2X, estando ETR y P en metros, y T en °C. Si P es menor que 1/8λ 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 317 mm anuales.

Se optó por la estimación conservadora de la infiltración que se obtiene al tomar en cuenta la lámina de evapotranspiración obtenida con la fórmula de Coutagne, que es de **271 mm anuales**, que representa el 89.2 % de evapotranspiración respecto a la lluvia; por lo que el volumen de la ETR (V_{ETR}) es:

$$V_{ETR} = 4,564.9 \text{ km}^2 (0.271 \text{ m}) = 1,237.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, publicada en el

Diario Oficial de la Federación, de fecha 27 de marzo del 2015, en la que se señala que para los casos en los que no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento. El volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento.

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

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

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

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

En el caso de que, en la cuenca en estudio, existan diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas para obtener el promedio ponderado.

Dependiendo del valor obtenido para K , el coeficiente de escurrimiento (C_e), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual expresada en mm:

Si K resulta menor o igual que 0.15

$$C_e = K (P-250) / 2000$$

Si K es mayor que 0.15

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

Donde:

P = Precipitación anual;

Ce = Coeficiente de escurrimiento anual;

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

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

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO A	TIPO DE SUELO B	TIPO DE SUELO C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
Cultivos:			
En hilera:	0.24	0.27	0.3
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.3
Granos pequeños	0.24	0.27	0.3
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% -poco-	0.14	0.2	0.28
Del 50 al 75% -regular-	0.2	0.24	0.3
Menos del 50% -excesivo-	0.24	0.28	0.3
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.3
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3
TIPO DE SUELO	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		

De acuerdo con la cartografía de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), escala 1:1,000,000 en la zona que comprende el acuífero Laguna Tres Castillos, predominan los siguientes tipos de suelo: Feozem Fluvisol, Litosol, Regosol, Rendzina, Solonchak, Vertisol, Xerosol y Yermosol, que se clasifican en tres tipos de suelo: A, B y C (figura 4).

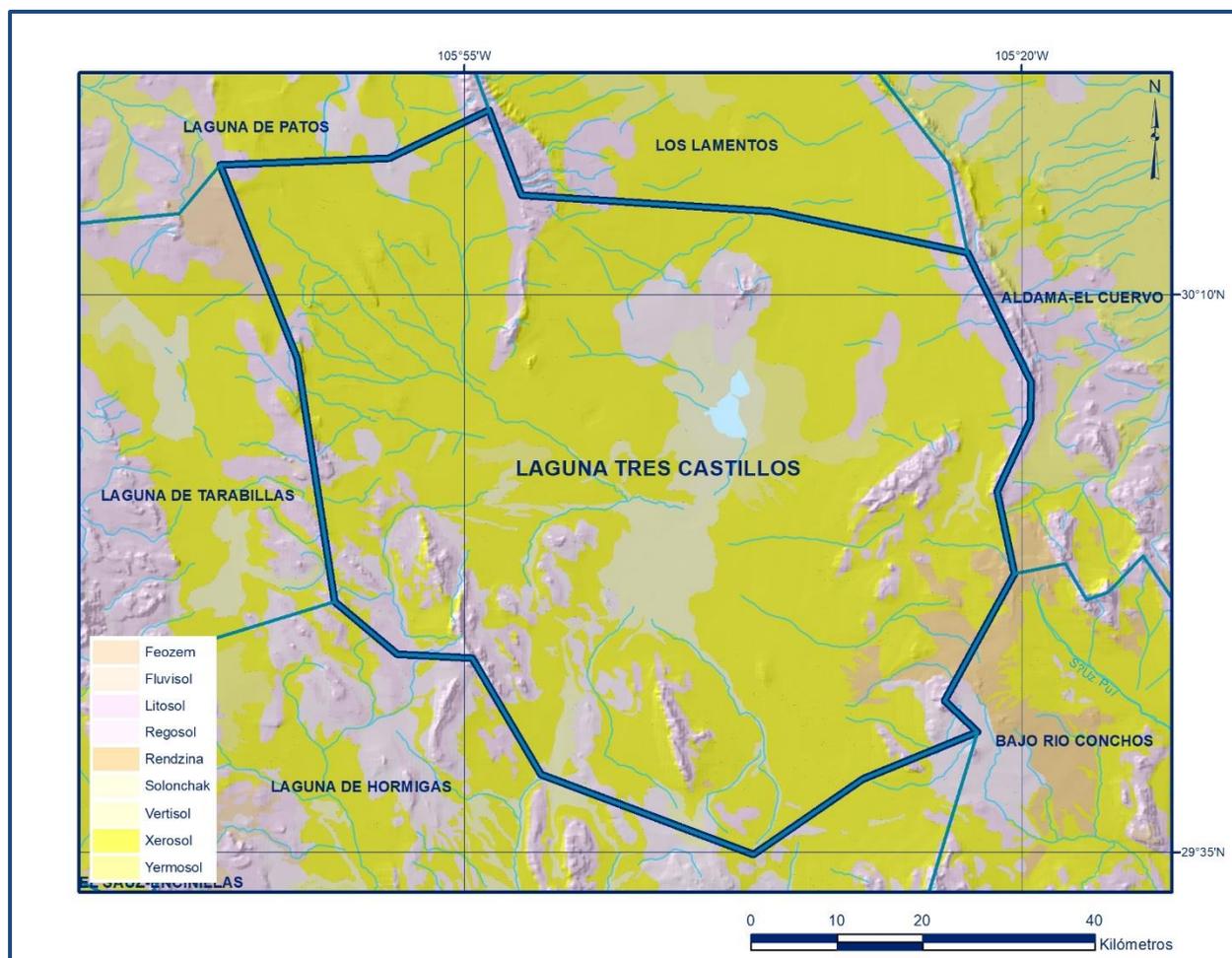


Figura 4. Tipo de suelo

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

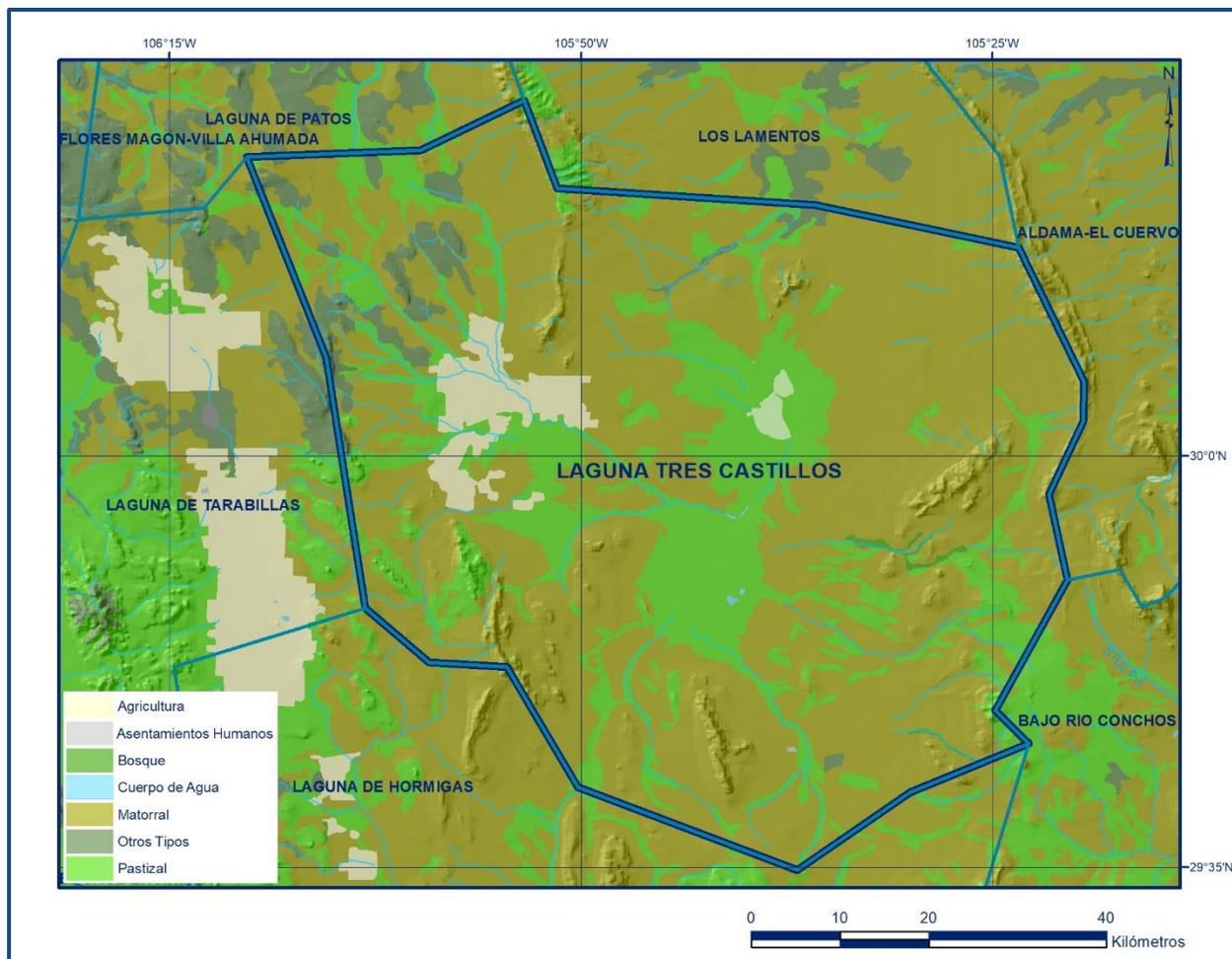


Figura 5. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.27, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (C_e):

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

$$C_e = 0.087$$

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

$$V_{ESC} = 0.087 (1,374.0 \text{ hm}^3) = 119.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$\begin{aligned}V_{INF} &= V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2) \\V_{INF} &= 1,374.0 - 1,237.1 - 119.5 \\V_{INF} &= 17.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales}\end{aligned}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es 1,374.0 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.012664.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 17.4 hm³/año en la superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 17.4 hm³ 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), Descarga Natural Comprometida (DNC) y posiblemente a través de salidas subterráneas y evapotranspiración, pero no se cuenta información piezométrica ni hidrométrica para su estimación.

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 **52.6 hm³ anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

5.2.2 Descarga por manantiales (Dm)

El caudal conjunto que descargan los dos manantiales representan un volumen anual de **Dm = 0.02 hm³ 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:

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

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

6.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **17.4 hm³ anuales**, todos ellos son de recarga natural.

6.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para este caso, su valor es de 0.02 hm³ anuales, que corresponde a la descarga de manantiales. Por lo tanto, **DNC = 0.0 hm³ anuales**.

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 (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean

efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **52,639,827 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre del 2022**.

6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 17.4 - 0.0 - 52.639827 \\ \text{DMA} &= -35.239827 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **35,239,827 m³ anuales** que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.

7 BIBLIOGRAFÍA

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1977. Estudio Geohidrológico de la porción norte del estado de Chihuahua. Elaborado por CASTHER S.A.

Servicio Geológico Mexicano, 1998. Carta Geológico-Minera H13-8 "Ojinaga", escala 1:250,000.