



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO LAGOS DE MORENO (1410), ESTADO
DE JALISCO**

CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE 2020

Contenido

1	GENERALIDADES.....	2
	Antecedentes.....	2
1.1	Localización.....	3
1.2	Situación Administrativa del acuífero	5
2	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	6
3	FISIOGRAFÍA	6
3.1	Provincias Fisiográficas	6
3.2	Clima	6
3.2.1	Temperatura media anual.....	7
3.2.2	Precipitación media anual.....	7
3.2.3	Evaporación potencial media anual.....	7
3.3	Hidrografía.....	7
3.3.1	Región Hidrológica	9
3.3.2	Cuenca.....	9
3.3.3	Subcuenca	9
3.4	Geomorfología	9
4	GEOLOGÍA.....	10
4.1	Estratigrafía.....	10
4.2	Geología estructural	15
4.3	Geología del subsuelo	16
5	HIDROGEOLOGÍA	17
5.1	Tipo de Acuífero	17
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA DEL BOMBEO	18
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	18
7.1	Entradas.....	19
7.1.1	Recarga total	19
7.2	Salidas.....	19
7.2.1	Bombeo.....	19
7.2.2	Salidas por flujo subterráneo	20
7.3	Cambio de almacenamiento.....	20
8	DISPONIBILIDAD	21
8.1	Recarga total media anual (R).....	21
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	21
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	22
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	22
9	BIBLIOGRAFÍA	23

1 GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-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 provenientes de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, organismos de los gobiernos de los estados y municipios, y de la CONAGUA.

El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDa).

El cálculo de la disponibilidad obtenida permitirá una mejor administración del recurso hídrico subterráneo ya que el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en acuíferos con disponibilidad de agua subterránea. Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPDa. La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, en la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, en los planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, y en las estrategias para resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1 Localización

El Acuífero de Lagos de Moreno se sitúa en el extremo nororiental del Estado de Jalisco; comprende una superficie de 3,080 km², correspondiente a un 3.92% del total de la superficie del estado, el área está limitada al oriente por el Estado de Guanajuato, al sur por San Francisco del Rincón, Gto., y San Miguel el Alto, Jal., al occidente por Villa Hidalgo, Teocaltiche y Valle de Guadalupe, (todos ellos municipios del Estado de Jalisco), y al norte por los Estados de Zacatecas y Aguascalientes.

Geográficamente el área del acuífero se encuentra dentro de la poligonal cuyos vértices se enlistan a continuación:

Tabla 1. Vértices de la poligonal del Acuífero de Lagos de Moreno, Jal.

ACUIFERO 1410 LAGOS DE MORENO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	36	24.2	21	35	16.7	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	101	38	32.7	21	21	11.2	DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	101	41	39.9	21	17	14.0	
4	101	45	57.6	21	19	34.1	
5	101	49	48.3	21	16	41.1	
6	101	52	22.0	21	14	45.7	
7	101	57	10.4	21	13	24.0	
8	102	1	10.7	21	1	52.0	
9	102	5	1.4	21	0	39.9	
10	102	6	32.7	20	57	8.5	
11	102	8	42.4	20	55	22.7	
12	102	13	6.0	20	55	5.0	
13	102	14	5.8	20	54	52.2	
14	102	15	7.4	20	55	46.1	
15	102	15	19.0	20	57	3.2	
16	102	13	8.0	20	57	41.7	
17	102	13	35.0	21	2	22.9	
18	102	15	22.8	21	8	5.7	
19	102	18	0.0	21	9	15.0	
20	102	20	46.4	21	9	3.5	
21	102	23	24.3	21	11	2.9	
22	102	24	49.1	21	12	12.2	
23	102	27	54.0	21	13	6.1	
24	102	32	27.4	21	16	57.2	
25	102	32	50.6	21	17	47.3	
26	102	28	12.2	21	21	29.8	
27	102	19	37.4	21	19	3.7	
28	102	12	12.6	21	16	18.4	
29	102	3	29.0	21	27	23.2	
30	102	2	34.7	21	25	36.9	
31	101	59	55.3	21	24	4.5	
32	101	59	46.0	21	23	9.1	
33	101	58	57.5	21	22	11.4	
34	101	57	2.0	21	23	48.4	
35	101	57	2.0	21	25	27.7	
36	101	57	41.3	21	27	32.4	
37	101	59	6.8	21	28	48.7	
38	102	1	43.2	21	29	37.5	
39	102	0	1.9	21	31	46.2	
40	101	58	58.3	21	34	6.0	
41	101	52	56.1	21	34	56.8	
42	101	50	17.3	21	36	44.8	
43	101	50	25.2	21	37	52.3	
44	101	47	25.7	21	38	1.1	
45	101	43	5.1	21	37	42.0	
46	101	39	10.0	21	36	25.8	
47	101	37	41.1	21	36	13.1	
1	101	36	24.2	21	35	16.7	

1.2 Situación Administrativa del acuífero

La zona comprende los municipios de Ojuelos, Lagos de Moreno, Unión de San Antonio, Encarnación de Díaz, San Juan de los Lagos, Jalostotitlán y parcialmente el municipio de Teocaltiche.

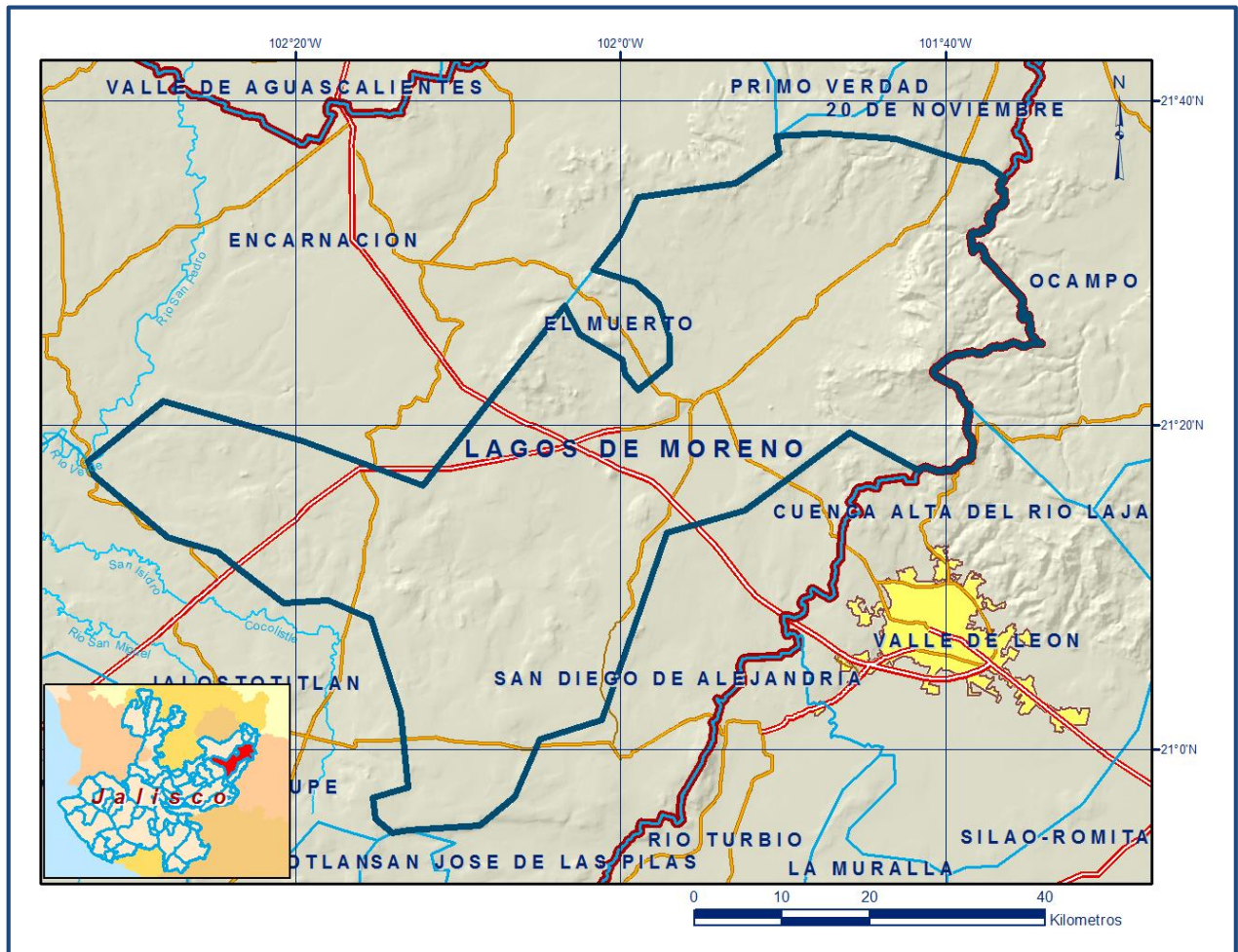


Figura 1. Localización del acuífero

La región se encuentra bien comunicada por caminos de primero, segundo y tercer orden. Entre los de primer orden destacan las Carreteras Federales No. 45, 80 y 70 que comunican con la Ciudad de León-Aguascalientes, Jalostotitlán-Ojuelos y Aguascalientes-Ojuelos. Las de segundo orden son: Teocaltiche-Encarnación de Díaz y Teocaltiche-Jalostotitlán-San Francisco del Rincón. Los de tercer orden comunican la mayoría de los poblados y rancherías con las cabeceras municipales de la región.

La porción central está comunicada por el ferrocarril, correspondiente a la línea México-Ciudad Juárez que pasa por León, Lagos de Moreno, Encarnación de Díaz y Aguascalientes.

Se cuenta además con los servicios de teléfono, telégrafo y correos, sin embargo, hay localidades con deficiencias de estos servicios.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2015, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1. La actividad de mayor importancia en la región es la agricultura, siguiéndole la ganadería, cría de cerdos y gallinas.

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Sólo se hace mención de las cartas Geológicas escala 1:50,000 elaboradas por el Detenal y trabajos de geología regional elaborados por PEMEX, así como trabajos locales hechos por el Consejo de Recursos Minerales. Se desconocen otros estudios geológicos en el área que se reporta.

3 FISIOGRAFÍA

3.1 Provincias Fisiográficas

El área del acuífero se localiza dentro de la Provincia Fisiográfica Mesa Central. Esta provincia se encuentra entre la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental.

En general la región se caracteriza por una serie de cerros y serranías con poca altura, cuyas elevaciones son del orden de 2800 msnm.

La dirección de las principales serranías tiene un rumbo NE-SW; son de origen ígneo extrusivo ácido y sus alineaciones coinciden con las direcciones de las principales corrientes fluviales del área, las cuales drenan hacia el SW.

En general la región se caracteriza por estar surcada, hacia el SW, por valles intermontanos que han sido rellenados por sedimentos de origen continental.

3.2 Clima

Para la zona se cuenta con la información climatológica proporcionada por 32 estaciones, de las cuales 26 se encuentran actualmente en operación y las restantes 6 están suspendidas.

Según la clasificación de Thornthwaite, el clima se identifica por las siglas Ci Bia, que corresponde al tipo semiseco, con invierno seco, semicálido sin estación invernal bien definida.

De acuerdo a la clasificación de Köppen, en la zona de estudio el clima se clasifica como CWag, equivalente a templado moderado lluvioso, con invierno seco no riguroso. La temperatura del mes más cálido es superior a 22° C y es anterior al solsticio de verano.

3.2.1 Temperatura media anual

Los datos mensuales de temperatura media de las estaciones Cuarenta, Encarnación de Díaz y Jalostotitlán registran temperaturas medias anuales en promedio de 18.4° C.

3.2.2 Precipitación media anual

En la zona de estudio se definió una precipitación promedio anual de 628 mm, en el período de julio-septiembre se encuentra un promedio de 82% de la precipitación anual, observándose que los valores máximos ocurren en el mes de julio y son equivalentes a un 24% del valor medio anual. Las láminas menores se presentan el mes de marzo, siendo inferiores a 10 mm.

3.2.3 Evaporación potencial media anual

La evaporación potencial media anual es del orden de 2108.3 mm; el mes con mayor índice de evaporación media es mayo, y en el período de julio a diciembre se observa una disminución en la evaporación.

3.3 Hidrografía

La zona de estudio comprende la Cuenca del Río Verde, localizada aguas arriba del paralelo 21° y dentro del estado de Jalisco.

El Río Verde nace en el Estado de Zacatecas y drena una cuenca considerable antes de penetrar al Estado de Jalisco.

El Río Verde es denominado en sus orígenes como Río Aguascalientes y nace en la falda norte del cerro El Devisador, a una altitud de 2370 msnm y a 6 km al oriente del poblado San Jerónimo, Zac.

Discurre hacia el sur y después de pasar por el poblado Ojo Caliente, capta por margen derecha al Río San Pedro, para posteriormente penetrar al Estado de Aguascalientes y recibir por la misma margen al Río Pabellón. Los escurrimientos de ambos afluentes son aprovechados en el riego mediante las presas de almacenamiento del mismo nombre.

A 400 m aguas abajo de la entrada del Río Pabellón y por la margen derecha, aporta al Río Aguascalientes el Río Santiago, cuyo caudal se regulariza en la Presa Calles para riego del distrito de Pabellón.

Después de esta afluencia, el Río Aguascalientes prosigue su curso al sur-suroeste, y unos 2 Km al oriente del poblado Jesús María, capta a su primer tributario importante en la margen izquierda, el Río Chicalote, que drena la porción este de su cuenca. A continuación el Río Aguascalientes pasa por el extremo poniente de la ciudad del mismo nombre e inmediatamente le afluyen por margen izquierda el Arroyo Cedazo, que atraviesa la parte sur de dicha ciudad y por margen derecha el Río Morcinique, en el que se desplanta la presa General Abelardo Rodríguez y cuya finalidad es proporcionar riego a terrenos vecinos.

Aguas abajo de esta aportación, el caudal del Río Aguascalientes, es almacenado en la Presa El Niágara para ser utilizado en el riego.

Después de la Presa El Niágara, el Río Aguascalientes recorre un pequeño tramo y penetra con dirección sur en el Estado de Jalisco, recibiendo por margen derecha al Río San Juanico, que nace a una elevación cercana a 2100 msnm, en las faldas del Cerro Las Campanas, dentro del Estado de Aguascalientes.

Su curso inicial es suroeste y luego sur, e inmediatamente después de internarse en el Estado de Jalisco se ubica en la estación hidrométrica San Juanico, que mide el régimen de 100 km² de cuenca.

Seguidamente cambia su curso a sureste y después de recibir por margen derecha al Arroyo Soltepe, descarga el Río Aguascalientes a unos 8 km al noreste del Cerro El Refugio.

Prosigue su curso el Río Aguascalientes y a unos 10 km aguas abajo de la afluencia anterior se localiza la Presa Derivadora Ajojúcar y a otros 1500 m la estación hidrométrica del mismo nombre; hasta este punto el Río Aguascalientes drena una cuenca de 6597 km².

A continuación el curso del Río Aguascalientes transcurre a través de zonas de cultivo y capta por margen izquierda al Río Encarnación, siendo éste su segundo aportador en orden de importancia por este margen, después de Río de Lagos.

3.3.1 Región Hidrológica

El Acuífero de Lagos de Moreno pertenece a la Región Hidrológica No. 12 “Lerma-Santiago”.

3.3.2 Cuenca

El área en estudio está localizada dentro de la Cuenca Río Verde Grande.

3.3.3 Subcuenca

El área en estudio está localizada dentro de la Subcuenca Río Verde.

3.4 Geomorfología

Las principales elevaciones de la región las forman las prominencias de la Sierra San Isidro, Cerro Noche Buena, Sierra Alta y Cerro Berben.

La mayor elevación es de 2800 msnm y se ubica en la Sierra San Isidro. La mayor depresión observada en el área de estudio se encuentra en el Río Verde, al sur de Teocaltiche, Jal., la que tiene una elevación de 1650 msnm.

Los valles son más estrechos en la parte oriental del área y se hacen más extensos y con afloramientos de rocas extrusivas hacia el occidente del área. En gran parte del área las llanuras se interrumpen por mesetas de basalto y la más importante son las siguientes: Mesa Redonda, La Mesita, Mesa Larga, Mesa Los Indios y Mesa Lozano; estas dos últimas se localizan al Sur de San Juan de los Lagos.

Se tienen mesetas de rocas ígneas extrusivas ácidas como son: Mesa La Culata y Mesa Las Cuevas; así mismo, las llanuras se ven interrumpidas por cerros aislados de rocas extrusivas ácidas de grandes dimensiones como el Cerro Los Gallos al sur de Aguascalientes y Cerro Mina de los Micos, éste último con elevaciones promedio de 2250 msnm.

La altura de los diferentes valles del área de estudio oscila entre 1700 y 2000 msnm. Muchos de estos valles forman parte de antiguas cuencas lacustres, las que posteriormente fueron remodeladas y profundamente disectadas por corrientes que finalmente lograron romper las barreras naturales que daban lugar a las mencionadas cuencas endorreicas.

4 GEOLOGÍA

Las rocas que afloran en el área son esencialmente de origen continental; y corresponden con rocas ígneas de origen extrusivo de composición riolítica y basáltica, rocas intrusivas, rocas metamórficas, y afloramientos muy pequeños de rocas sedimentarias de origen marino.

Los depósitos lacustres se encuentran en contacto con riolitas y basaltos, por lo que es evidente que se han producido varias etapas de vulcanismo.

Las rocas más antiguas se observan en la Sierra Alta de Comanje y se ubican en forma tentativa en el Triásico Superior.

4.1 Estratigrafía

En la zona en la que se ubica el acuífero afloran rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas cuyo registro estratigráfico varía del Triásico Superior al Reciente (figura 2). Debido a la existencia de los elementos tectonoestratigráficos definidos anteriormente, la estratigrafía del área presenta diferencias notables en conformación.

Por esta razón la descripción de las unidades se realiza de manera separa por elemento.

TRIASICO SUPERIOR

Formación Zacatecas. Se conoce con este nombre a una sucesión de Lutitas y areniscas que en parte tienen metamorfismo. Las rocas atribuidas a esta formación se observan en algunos afloramientos que se localizan en el camino que conecta a Comanja de Corona con el Rancho La Venta. Los sedimentos cartografiados tentativamente como pertenecientes a la Formación Zacatecas, están constituidos por una alternancia de areniscas de color verde oscuro, en la parte más afectada por el metamorfismo se observan minerales de color verde, que posiblemente correspondan con epidota.

La Formación Zacatecas sobreyace a los granitos e infrayace a las rocas extrusivas ácidas; sus afloramientos se localizan circundando al cuerpo intrusivo de Comanja de Corona.

Por sus características litológicas, es posible correlacionar estas rocas con la Formación Zacatecas del Triásico Superior que afloran en el Arroyo de La Pimienta, al oeste de la Ciudad de Zacatecas; no se le ha encontrado fauna por lo que se carece de datos paleontológicos para asignar una edad definitiva.

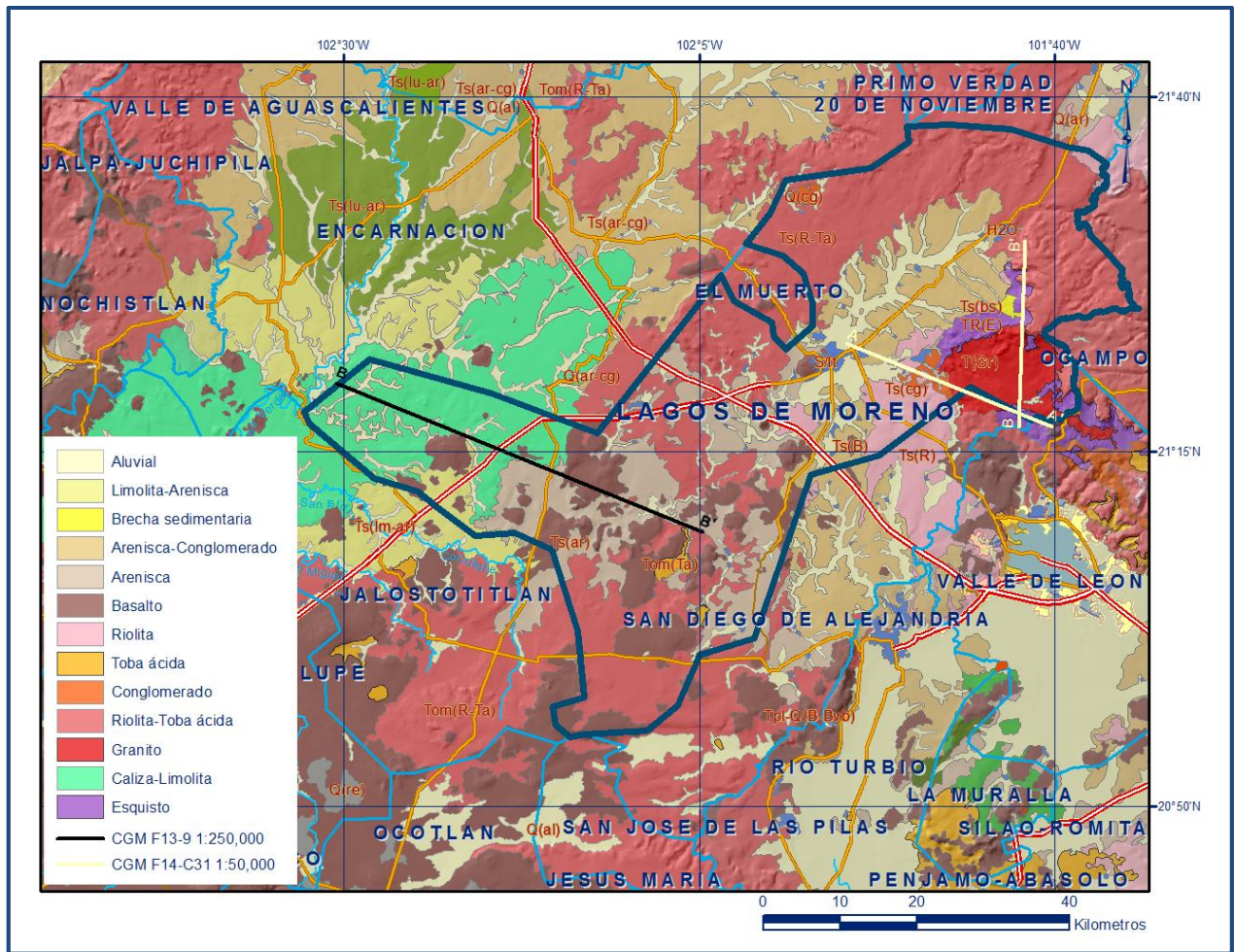


Figura 2. Geología general del acuífero

TRIASICO SUPERIOR

Granito. Roca ígnea extrusiva de color café claro al intemperismo; cuando está sana es muy compacta y se le observan abundantes cristales de feldespatos de color rosa, tiene xenolitos de color verde de dimensiones pequeñas y vetas de color negro que la cortan con frecuencia. Aflora únicamente en Comanja de Corona, Rancho El Pirúl, Santa Elena, Los Llanitos y otros ranchos que se localizan al oriente de Lagos de Moreno.

Se considera que este intrusivo provocó el metamorfismo de la Formación Zacatecas. En parte de su periferia está en contacto con rocas ígneas extrusivas ácidas que lo sobreyacen, así como en contacto con conglomerados que en parte lo sobreyacen. En forma tentativa se le atribuye edad Triásico Superior.

CRETÁCICO MEDIO

Calizas y Lutitas. Calizas de color gris oscuro en capas medianas, interestratificadas con capas delgadas de lutitas de color verde oscuro. Ambas rocas están muy alteradas por el intemperismo y ligeramente silicificadas. Sus afloramientos son muy restringidos y se localizan en las estribaciones de la Mesa del Toro, en el Arroyo Las Negritas y al SE del Rancho La Paz.

La caliza es de origen marino (de ambiente de mares profundos) con radiolarios calcificados y espículas de esponja. Infrayacen a las rocas ígneas extrusivas ácidas cuyo contacto discordante se observa en el Arroyo Las Negritas; en el campo no se observa a que roca sobreyacen. Por sus características litológicas es posible correlacionarlas tentativamente con rocas del Cretácico Medio.

Tomando en cuenta los escasos afloramientos y las características litológicas y topográficas, se estima que se tienen pocas posibilidades de obtener agua en este tipo de roca.

MIOCENO

Rocas ígneas extrusivas ácidas. Se encuentran ampliamente distribuidas en toda el área estudiada, siendo la parte NE en donde afloran con más frecuencia, en serranías de poca altura que se orientan en dirección NE-SW.

La riolita es una roca de color rosado, aun cuando en ocasiones presenta colores café rojizo, tiene textura microcristalina, pero algunas veces presenta textura porfídica con fenocristales de cuarzo. El espesor de estos derrames y piroclastos es desconocido, aunque se considera que puede variar de 100 a 200 m.

En el Arroyo Las Negritas se observa que sobreyacen a rocas sedimentarias de origen marino, probablemente del Cretácico Medio, e infrayacen a rocas extrusivas de tipo básico, así como a conglomerados, areniscas y depósitos de origen lacustre.

Las rocas ígneas extrusivas ácidas (flujos piroclásticos) son consideradas del Cenozoico Medio (Mioceno), etapa de vulcanismo generalizado y reconocida en todo el país.

PLIOCENO-PLEISTOCENO

Depósitos Lacustres. A estos sedimentos de origen lacustre no se les asigna nombre formacional. Aflora en gran parte del área, principalmente en las zonas de topografía más baja; las mejores expresiones de estos sedimentos se tienen en los cortes de los arroyos en donde se observan sus estratos de posición horizontal y su litología que consiste principalmente de caliza, lutita y arenisca de origen continental.

Se encuentran en capas horizontales de espesores diversos, hay estratos de calizas lacustre con impureza de arcilla y arena y están alternadas con lutitas y capas de arenisca de color verde claro y de grano grueso, muy compacta y bien cementada en alguna de sus capas. Estas características no son iguales en toda el área, ya que en otras partes las areniscas están mal cementadas y son muy deleznales. Se observan cortes en donde las arcillas predominan sobre los demás estratos y también afloramientos de las calizas lacustres predominan sobre las areniscas y las lutitas. El espesor de estos sedimentos es variable y se estima que puede ser hasta de 500 m. Estos sedimentos afloran en la mayor parte del área, pero de manera más frecuente en Teocaltiche y Villa Hidalgo, en donde se considera tienen su mayor espesor.

Las cuencas lacustres donde se depositaron estos sedimentos se formaron sobre derrames y flujos piroclásticos del Terciario medio, y con frecuencia están infrayaciendo a mesetas de basalto que son más recientes. Los contactos con las rocas que subyacen y sobreyacen son discordantes.

Se considera una edad Plioceno-Pleistoceno para estas rocas que presentan similitud con las rocas de la Formación Tarango del Valle del Mezquital, y por su composición se suponen como las más atractivas para la exploración geohidrológica.

Depósitos Continentales. Se constituyen por areniscas de cuarzo, conglomerados y brechas; afloran en toda el área y principalmente en Teocaltiche, Encarnación de Díaz y San Juan de los Lagos. Se encuentran en capas horizontales constituidas por fragmentos de origen volcánico cementados de manera muy heterogénea.

Los espesores estimados para esta unidad varían de unos cuantos metros hasta 500 m, sobre todo entre Ojuelos y Aguascalientes. Las rocas descritas se encuentran suprayaciendo a las rocas extrusivas ácidas en discordancia angular, a las cuales en parte también infrayacen.

Su edad se considera Plioceno-Pleistoceno y se suponen depositadas en cuencas que fueron cerradas por actividad volcánica.

Rocas extrusivas básicas. Son basaltos de tipo vesicular, muy fracturados y ligeramente intemperizados. Se localizan principalmente al oeste y sureste de San Juan de los Lagos y oeste de Lagos de Moreno. Se trata de basaltos de olivino que se localizan al NE de Unión de San Antonio, los cuales presentan un espesor de 150 m.

Sobreyacen a depósitos continentales y lacustres, así como a rocas metamórficas y riolitas, en discordancia petrográfica; se ubican a nivel del Pleistoceno y se correlacionan con sus similares del Eje Neovolcánico.

CUATERNARIO

Aluvión. Está constituido por gravas, arenas, limos y arcillas que se han depositado principalmente en los cauces de los arroyos y ríos, en terrazas fluviales, con una compactación prácticamente nula.

La cubierta aluvial está constituida por fragmentos de origen ígneo mal clasificados y generalmente sin consolidar; su potencia es muy variable, teniendo el mayor espesor en las zonas aledañas a los cauces principales de ríos y arroyos. Se presenta cubriendo discordantemente a cualquiera de las unidades descritas con anterioridad y se origina como producto del intemperismo de las rocas que afloran en la región.

4.2 Geología estructural

El marco tectónico-estructural que se observa en el área de estudio está relacionado a un vulcanismo de tipo riolítico principalmente, que produce la presencia de ignimbritas, tobas y brechas riolíticas. Durante esta fase y de manera más o menos simultánea existe gran actividad tectónica, básicamente un fallamiento de tipo distensivo, que da origen a grandes bloques delimitados por fallas normales que, en la región donde queda involucrada el área del acuífero, presentan una orientación general NNE-SSW, originándose de esta manera “fosas” o “cuencas” de dimensiones considerables (a finales del Mioceno).

Las fallas mayores originadas por la tectónica descrita, produjeron sistemas locales de fallamiento y fracturamiento, como es el caso de los sistemas conjugados, que se pueden detectar y medir en las rocas que afloran en el área de estudio.

Por otra parte, al sur y al norte de Comanja de Corona, podría bosquejarse un pliegue anticlinal, abierto en rocas sedimentarias metamorfizadas, del Triásico Superior, originado durante la fase de deformación laramídica.

4.3 Geología del subsuelo

Tomando en cuenta las secciones geológicas elaboradas en el estudio de 1982, se puede describir la geología del subsuelo de la siguiente manera:

Hay porciones donde el terreno no es muy favorable para la acumulación de acuíferos, debido a que la geología del área corresponde con rocas ígneas extrusivas ácidas que prácticamente tienen permeabilidad baja en todos los afloramientos.

Se presentan en el subsuelo rocas ígneas intrusivas ácidas (granito) y metamórficas (hornfels); ambas unidades tienen baja permeabilidad y las posibilidades de que contengan agua son muy remotas, excepto donde se presenten sistemas de fracturas donde pueden localizarse acuíferos de poca importancia, así como en áreas de granito alterado, que en algunas partes tiene espesores considerables.

Al NW de las unidades citadas, se localizan cuerpos de roca con características más favorables para almacenar agua subterránea, como son las unidades litológicas de areniscas y conglomerados que tienen permeabilidades altas, y condiciones geológicas y topográficas propicias para almacenar acuíferos de importancia económica.

Las rocas de origen continental y lacustre pueden presentar buenas permeabilidades, debido a sus características granulométricas y su pobre cementación, con espesores que pueden ser superiores a los 300 m.

Los basaltos se consideran como buenas zonas de recarga debido a su intenso fracturamiento que los hace muy permeables y en ocasiones buenos almacenadores de agua.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de Acuífero

De acuerdo a estudios geofísicos, el área se puede dividir en dos grandes regiones: la primera donde predomina material ígneo que aflora o se encuentra subyaciendo a material de tipo sedimentario, y la segunda que se caracteriza por estar constituida principalmente por material sedimentario impermeable.

Por otra parte, en la zona se distinguen siete unidades geoeléctricas que se consideran representativas de la estructura del acuífero y que se describen como sigue:

Unidad A(1). Corresponde a un estrato de alta conductividad que se asocia a la de un material de baja permeabilidad y posiblemente media baja saturación. Se le ha considerado como una lutita arenosa, aun cuando podría corresponder también a una toba soldada.

Unidad A(2). Se le considera como de media permeabilidad y media saturación, corresponde principalmente a una arena con intercalaciones de lutita.

Unidad A(3). Está constituida principalmente por arena de grano medio a grueso, de permeabilidad media y de saturación que va de media a alta.

Unidad A(4). Corresponde a un estrato constituido por arenas y conglomerados de media a baja permeabilidad y posiblemente saturación media.

Unidad A(5). Constituido por arena con intercalaciones de gravas, materiales gruesos o de talud, su permeabilidad se ha considerado de media a alta, pero su saturación de media a baja.

Unidad B(1). Corresponde a material de tipo riolítico de baja saturación y de media a baja permeabilidad.

Unidad B(2). Corresponde a riolita fracturada y/o material de talud, su permeabilidad es alta pero su saturación es baja.

Unidad B(3). Corresponde a una riolita alterada y/o toba riolítica de baja permeabilidad y de baja saturación.

Unidad B(4). Corresponde a material de tipo riolítico con intercalaciones de material lutítico-arenoso. Su permeabilidad, a causa de esas intercalaciones, se considera media, así como su saturación.

Unidad C. Corresponde a un material que no se identifica completamente y que puede corresponder a dos tipos: el primero sería una roca fracturada y el segundo una arenisca; en ambos casos se considera la permeabilidad y la saturación media.

Unidad D. Material constituido por una caliza arcillosa de baja permeabilidad y posiblemente media saturación.

Unidad E. Corresponde a material ígneo de tipo basáltico con una permeabilidad que va de media a alta y saturación es de media a baja.

Unidad F. No se han determinado sus características sobre permeabilidad y saturación, sin embargo podrían corresponder a rocas de la unidad anterior.

Unidad G. Material de relleno determinado únicamente bajo sondeos eléctricos verticales, tienen permeabilidad media y saturación media.

Con lo anterior se deduce que el acuífero, por sus características litológicas, es de tipo libre en algunas zonas y de tipo semiconfinado en aquellas partes donde haya capas de material impermeable.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA DEL BOMBEO

Dentro del área estudiada se localizaron 699 perforaciones activas, de las cuales se extraen 85 Mm³/año para uso agrícola, 5 Mm³/año para uso público y 3 Mm³/año para uso industrial.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La ecuación general de balance de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

Entradas(E) - Salidas(S)= Cambio de almacenamiento(1)

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 cambio de almacenamiento de una unidad hidrogeológica, representada como sigue:

Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento.....(2)
en la unidad hidrogeológica

Más específicamente la ecuación queda como sigue:

$[E_h + I_1 (\text{Volumen lluvia}) + I_2 (\text{Uso público urbano}) + I_3 (\text{Usos agrícola + otros})] -$
 $[S_h + Q_{\text{base}} + \text{Manantiales} + \text{Evapotranspiración} + \text{Extracción}] = V_d S = \Delta A \dots\dots(3)$

7.1 Entradas

La recarga total está constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida por la aplicación de agua en las actividades humanas, tanto de origen superficial como subterránea.

7.1.1 Recarga total

De acuerdo con los datos proporcionados por la CNA (2000), la recarga total del acuífero es de **196 Mm³/año**.

7.2 Salidas

7.2.1 Bombeo

El volumen extraído total del acuífero a través del bombeo, para todos los usos resultó de **211.1 Mm³/año**.

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo

Este parámetro no está cuantificado, pero por la ubicación y la alta presencia de la humedad en el suelo, se estima que es por lo menos de **25.7** Mm³/año.

No se cuenta con información sobre las salidas por descargas naturales y por evapotranspiración.

7.3 Cambio de almacenamiento

El cálculo de este parámetro no es posible, ya que no se cuenta con los datos suficientes sobre las salidas en el acuífero.

En forma resumida los datos del balance, se presenta en la tabla 2, de acuerdo con la expresión (3).

Nota: Los datos para el Balance de Aguas Subterráneas se obtuvieron de la Relación de acuíferos considerados por la Comisión Nacional del Agua, enero de 2000.

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:

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

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

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. Para este caso, su valor es de **196.0 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes. Para el caso de la zona en estudio la descarga natural comprometida se considera prácticamente nula.

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 **228,111,730 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **20 de febrero del 2020**

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 249.6 - 0.0 - 228.111730 \\ \text{DMA} &= -32.111730 \text{ hm}^3/\text{año}.\end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **32, 111,730 m³ anuales** que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.

9 BIBLIOGRAFÍA

Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en Lagos de Moreno, Jalisco. Geólogos Consultores, S.A., 1982.

Atlas Nacional del Medio Físico. 1981. S.P.P