

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO LÁZARO CÁRDENAS (1617), ESTADO DE
MICHOCÁN**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA.....	7
3.1 Provincia fisiográfica	7
3.2 Clima	7
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Estratigrafía.....	10
4.2 Geología estructural	12
4.3 Geología del subsuelo.....	12
5. HIDROGEOLOGÍA.....	14
5.1 Tipo de acuífero.....	14
5.2 Parámetros hidráulicos	15
5.3 Piezometría.....	15
5.4 Comportamiento hidráulico.....	15
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	15
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	17
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	18
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	19
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	19
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	20
7.1 Entradas.....	20
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	21
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	22
7.2 Salidas	22
7.2.1 Extracción por bombeo (B).....	22
7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	23
7.2.3 Evapotranspiración (ETR).....	23
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)	25
8. DISPONIBILIDAD	26
8.1 Recarga total media anual (R).....	26
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	26
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	27
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	27
9. BIBLIOGRAFÍA	28

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 Lázaro Cárdenas, definido con la clave 1617 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción sur del estado de Michoacán, cubriendo una superficie de 3,689 km², entre las coordenadas 17° 54' y 18° 52' de latitud norte y los meridianos 101° 51' y 102° 33' de longitud oeste. Colinda al norte con los acuíferos Apatzingán, Nueva Italia y La Huacana, al oeste con Ostula y Playa Azul, estos acuíferos dentro del estado de Michoacán; al este con los acuíferos Churumuco de Michoacán y Coahuayutla, La Unión y El Naranjito del estado de Guerrero; al Sur con el Océano Pacífico (figura 1).

Geopolíticamente el acuífero comprende parcialmente los municipios de Arteaga, Lázaro Cárdenas y Tumbiscatío, así como pequeñas porciones de los municipios de Apatzingán y La Huacana. El municipio de mayor importancia es Lázaro Cárdenas.

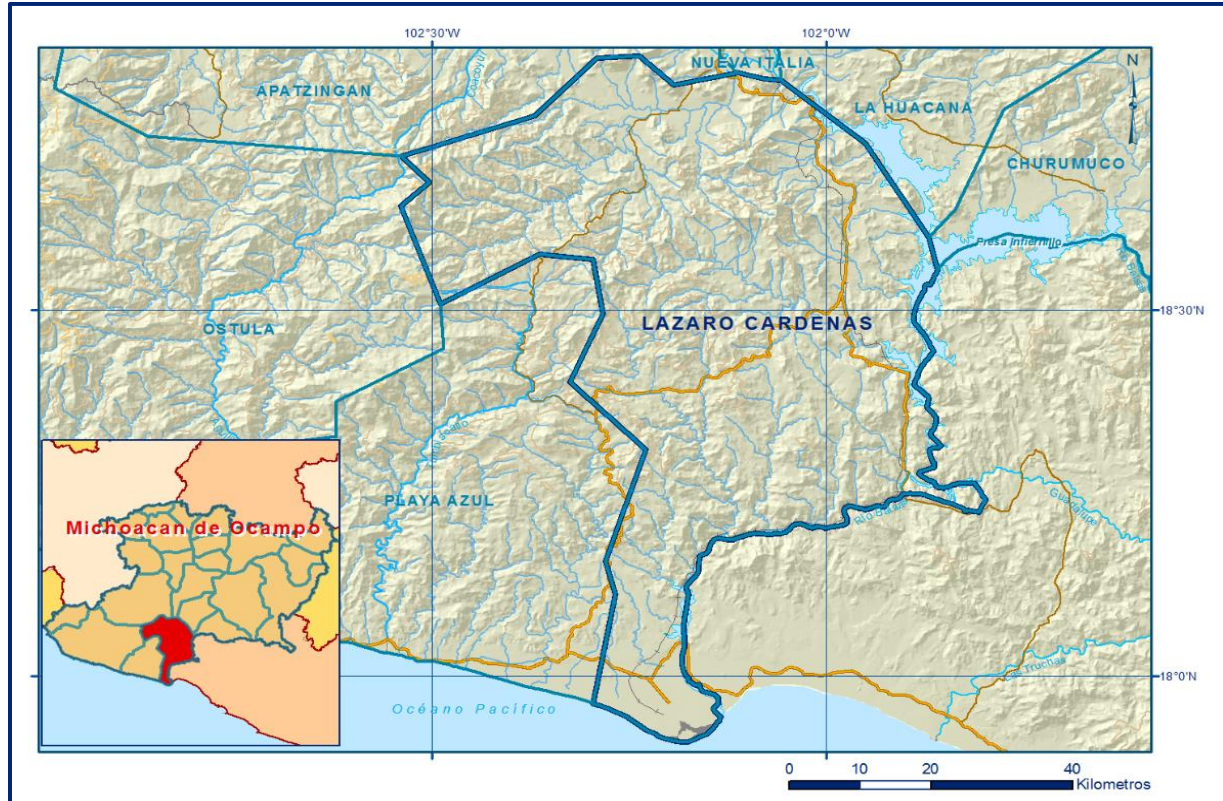


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1617 LAZARO CARDENAS							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	49	11.6	18	13	35.0	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	102	8	0.8	17	56	41.3	DEL 2 AL 3 POR LA LINEA DE BAJAMARA LO LARGO DE LA COSTA
3	102	17	45.7	17	57	45.4	
4	102	16	4.4	18	6	43.2	
5	102	16	47.8	18	9	22.4	
6	102	13	45.1	18	18	34.7	
7	102	19	32.0	18	24	3.4	
8	102	16	58.6	18	29	40.7	
9	102	17	46.9	18	34	5.3	
10	102	21	50.3	18	34	33.8	
11	102	29	22.4	18	30	27.5	
12	102	32	22.6	18	38	29.1	
13	102	30	9.1	18	40	26.3	
14	102	32	18.0	18	42	35.2	
15	102	22	8.0	18	45	54.4	
16	102	17	25.0	18	50	37.2	
17	102	14	14.9	18	50	47.8	
18	102	11	36.2	18	48	24.4	
19	102	6	42.2	18	49	23.8	
20	102	4	46.5	18	48	55.1	
21	102	3	26.3	18	48	46.6	
22	101	57	2.8	18	43	38.1	
23	101	52	15.4	18	35	56.1	
24	101	51	33.4	18	33	14.4	DEL 24 AL 25 POR EL LIMITE ESTATAL
25	101	49	48.5	18	15	49.4	
1	101	49	11.6	18	13	35.0	

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Lázaro Cárdenas, pertenece al Organismo de Cuenca “Balsas” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Michoacán. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones de dos decretos de veda. El primero cubre casi

todo el acuífero: “Decreto 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 (DOF) el 27 de junio de 1975. El otro decreto de veda rige en una pequeña porción al sur del acuífero y “Declara de utilidad pública es establecimiento del Distrito de Riego José María Morelos, en terrenos ubicados en los Estados de Michoacán y Guerrero, así como la construcción de las obras que lo integren y la adquisición de los terrenos necesarios para construirlas y operarlas”; publicado en el Diario Oficial de la Federación el 3 de abril de 1973. Ambos decretos son de tipo II, en el 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 3. El usuario principal del agua subterránea es el sector público-urbano. En la porción sur del acuífero se localiza el Distrito de Riego 098 José María Morelos, a la fecha no se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

En una pequeña porción al sur del acuífero se localiza el Sitio RAMSAR denominado Laguna Costera El Caimán, con fecha de ingreso el 2 de febrero de 2005.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

El acuífero ha sido estudiado en distintas ocasiones con diferentes propósitos, a continuación, se hace mención de algunos estudios que se han realizado en la zona.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1981. ESTUDIO FOTOGEOLÓGICO EN LA ZONA LÁZARO CÁRDENAS, EDO. DE MICHOACÁN; elaborado por la empresa Consultores, S.A. En este estudio se clasificaron los rasgos geomorfológicos de la zona en montañas plutónicas, montañas volcánicas, montañas complejas y montañas plegadas, además una pequeña planicie costera. Geológicamente se cartografiaron 14 unidades, menciona que los primeros eventos geológicos a los cuales deben su origen estas unidades ocurrieron probablemente desde el Mesozoico, en el Terciario se intrusaron y que afines del Terciario y Cuaternario ocurrió su depositación. Concluye que geohidrológicamente las zonas más favorables son los valles por su alta permeabilidad y su recarga proviene de los ríos; recomienda la explotación del agua subterránea en los conglomerados terciarios y en los materiales aluviales mediante aprovechamientos perforados a profundidades entre 10 y 50 m.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1981. ESTUDIO GEOFÍSICO A BASE DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA A LO LARGO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DEL ACUEDUCTO AL PUERTO INDUSTRIAL MARÍTIMO DE LÁZARO CÁRDENAS, MICH., Realizado por la empresa Ingenieros Civiles Geólogos y Asociados, S.A. El objetivo del trabajo fue realizar un estudio geofísico de resistividad para definir la geología del subsuelo, hasta una profundidad teórica de 10 m.

Comisión Nacional del Agua, 2007. ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN DE MEDICIONES PIEZOMÉTRICAS EN LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE: TACÁMBAROTURICATO, LA HUACANA, LÁZARO CÁRDENAS Y PLAYA AZUL, DEL ESTADO DE MICHOACÁN. Elaborado por la empresa Servicios de Ingeniería e Investigación del Medio Ambiente, S.C (SIIMA, S. C). En el estudio se indica que se censaron un total de 110 aprovechamientos, de los cuales 20 se ubicaron en el acuífero Lázaro Cárdenas.

Concluye para el acuífero Lázaro Cárdenas, que las obras se concentran en la parte sur del acuífero y recomienda evitar modificar la red de pozos piloto, continuar las mediciones piezométricas cada 2 o 3 años en los mismos aprovechamientos y nivelar aquellos que no cuentan con esta información.

Comisión Nacional del Agua, 2009. ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS LAGUNILLAS-PÁTZCUARO, OSTULA, LÁZARO CÁRDENAS Y PLAYA AZUL, ESTADO DE MICHOACÁN. Realizado por la empresa Sanx, Ingeniería Integral, S.A. de C.V. Este estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos mediante el diagnóstico de la evolución de los niveles del agua para contar con información necesaria para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea.

Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que se analizan y discuten en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de provincias fisiográficas del INEGI (1997), el acuífero se ubica dentro de la Provincia de la Sierra Madre del Sur. La zona sur del acuífero forma parte de la subprovincia fisiográfica Costas del Sur, en tanto que las porciones centro y norte pertenecen a la subprovincia Cordillera Costera del Sur.

El conjunto de sierras que integran la Subprovincia de la Cordillera Costera del Sur se extiende fundamentalmente a lo largo de las costas Michoacanas, Guerrerenses y Oaxaqueñas. El paisaje que la identifica corresponde a una angosta llanura costera, que inicia en el lindero entre Michoacán y Colima, continúa por Guerrero y llega finalmente a Salina Cruz, Oaxaca.

3.2 Clima

Con base en la clasificación de climas elaborada por W. Köppen, modificada por Enriqueta García, para las condiciones de la República Mexicana, en el acuífero predominan los climas de tipo A (Cálido y Semicálido) y B (Árido) con algunas variantes.

A lo largo de la línea de la costa y centro del acuífero imperan los climas Aw0 y Aw1 (cálidos subhúmedos); en tanto que en las zonas altas ubicadas al noreste del acuífero predominan los climas del tipo BSl(h´)w y BSo(h´)w caracterizados por presentar una temperatura media anual mayor de 22° C y del mes más frío mayor de 18° C con lluvias de verano. Para el análisis climatológico se utilizó la información de la estación climatológica “Lázaro Cárdenas”, que cuenta con registro para el periodo 1970 a 2005.

De acuerdo con los datos de dicha estación, la temperatura media anual en la zona costera del acuífero es de 27.6° C, los meses más calurosos se presentan de mayo a octubre. La precipitación media anual en la parte costera es de 1,374 mm/año. El periodo de lluvias se presenta en los meses de junio a septiembre con un promedio de 285.1 mm/mes, sin embargo, se presentan 7 largos meses de bajas precipitaciones y en algunos no se presentan lluvias. La evaporación media anual es de 1775.7 mm/año.

3.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica No. 18 denominada Balsas; cuenca del Río Balsas, también es conocida como Depresión del Balsas. Su litología y estructura es muy variada y compleja.

Dentro de esta Región Hidrológica se encuentran las cuencas del Río Balsas-Zirándaro, Río Balsas-Infiernillo, Río Cutzamala, Río Tacámbaro, Río Tepalcatepec-Infiernillo y la del Río Tepalcatepec.

El acuífero se encuentra ubicado dentro de las Cuencas Río Balsas-Infiernillo y Río Tepalcatepec-Infiernillo. En la zona del acuífero se encuentran varias corrientes, tanto intermitentes como perennes.

El principal afluente es el río Balsas, el cual sirve de límite estatal entre los Estados de Michoacán y Guerrero, otros ríos que se encuentran en la región son el río Chuta y el río Habillal; además de los arroyos Colomo y Verde y la presa José María Morelos.

3.4 Geomorfología

Se distinguen 2 unidades geomorfológicas, El Valle Costero y La Sierra. El Valle tiene forma plana con ligera pendiente al mar, de dimensiones reducidas y drenaje denso de carácter intermitente; en la sierra las direcciones predominantes del drenaje son perpendiculares entre sí y paralelo en los valles.

4. GEOLOGÍA

En la zona costera del acuífero se han reconocido afloramientos de conglomerados con interestratificaciones de areniscas.

Aunque no existen dataciones de esta unidad clástica, por correlación tectonoestratigráfica, se le considera que pertenecen al Grupo Balsas, del Mioceno-Plioceno. En la figura 2, se muestra el mapa geológico del acuífero.

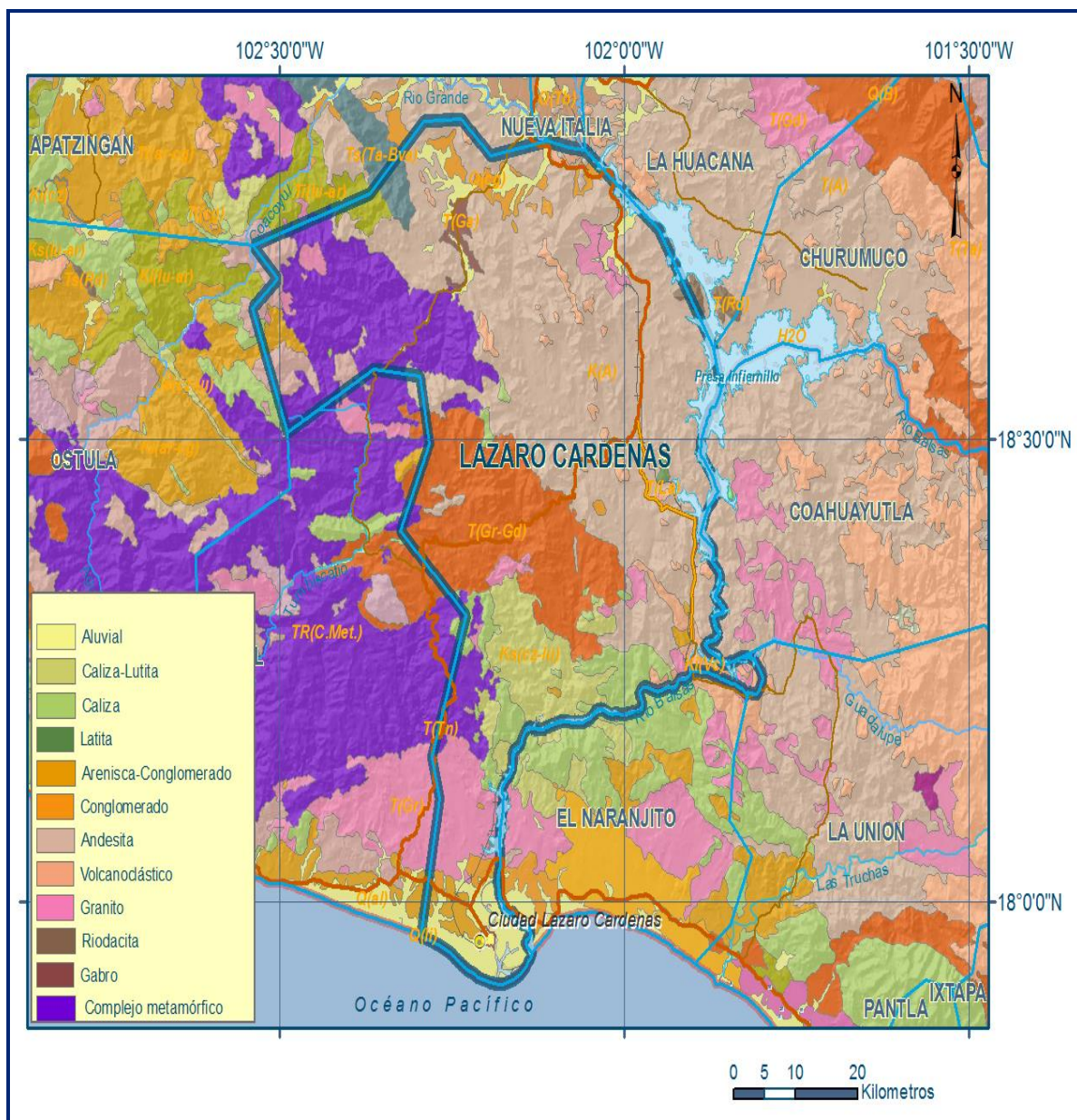


Figura 2. Geología general del acuífero

Las rocas ígneas intrusivas se encuentran abundantemente distribuidas en el sur de la entidad. En la región costera estas rocas son por lo general de composición granodiorítica, con variaciones a granito calcoalcalino, cuarzdiorita y, en menor cantidad, diorita.

La edad predominante de estos intrusivos se estima de finales del Mesozoico a principios del Paleógeno. Intrusionan tanto a las rocas metamórficas del complejo Tumbiscatío-Arteaga como a las secuencias volcanosedimentarias cretácicas que predominan al suroeste de la entidad.

Con frecuencia, dentro de los cuerpos intrusivos, es posible observar diques dioríticos, dacíticos y aplíticos así como masas de cuerpos hipabisales de pórfido andesítico.

Las manifestaciones más antiguas de un magmatismo Cretácico afloran cerca de la costa, donde rocas volcánicas y vulcanosedimentarias de composición andesítica y dacítica se intercalan con rocas pelíticas. Durante el Cretácico, el magmatismo está representado principalmente por las rocas volcánicas y vulcanoclásticas que conformaron las secuencias vulcanosedimentarias del suroccidente del estado.

De lo anterior se infiere la presencia de un arco insular del Cretácico Temprano, cuyo límite superior posiblemente alcance el inicio del Cretácico Tardío de la Formación Zihuatanejo.

Durante el Paleógeno se depositaron sedimentos continentales constituidos por areniscas y conglomerados.

A finales de este período se depositó un conglomerado de origen continental que se localiza como relleno en los valles intermontanos. Coronando la secuencia estratigráfica se encuentran los depósitos del Cuaternario, constituidos por material de origen aluvial mal clasificados, con tamaños que varían desde bloques hasta arcillas, resultado de la descomposición de rocas preexistentes.

4.1 Estratigrafía

En la región que cubre el acuífero afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias cuyo registro estratigráfico comprende del Triásico al Reciente. A continuación, se describen las distintas unidades litológicas, de la más antigua a la más reciente.

Complejo Tumbiscatío-Arteaga TR(C. Met.)

Consiste en dos miembros principales: los esquistos Arteaga y La formación Varales. El complejo Tumbiscatío-Arteaga consiste en una alternancia de rocas volcánicas submarinas con abundantes pelíticos metamorfoseados a facies de esquistos verdes, lutitas, areniscas de grano fino, grauvacas, algunos paquetes delgados de pedernal, lavas almohadilladas, capas delgadas de calizas alternadas con tobas y cuerpos graníticos y dioríticos foliados.

La secuencia de sedimentos terrígenos es denominada informalmente como Formación Varales y es la unidad de mayor exposición en el complejo Tumbiscatío-Arteaga.

En el área de El Ahijadero, este conjunto se caracteriza por afloramientos con intercalaciones de esquistos de clorita y micáceos, con pizarras y filitas que contienen abundantes lentes y cuerpos de cuarzo segregados con estructura de boudinage.

Formación Zihuatanejo-Coalcomán Ki(Cz)

Sobreyaciendo discordantemente al complejo metamórfico, se ha observado un grupo extenso de rocas constituido por varias formaciones o secuencias vulcanosedimentarias, que se extiende desde el suroeste de Guerrero hasta la localidad de Pihuamo, Jalisco.

Está constituido por rocas volcánicas andesíticas submarinas, basaltos almohadillados interestratificados con capas de limolita, conglomerado volcánico y caliza subarrecifal con microfauna del Albiano.

La secuencia varía en diversos lugares de una facies predominante vulcanoclástica a una facies vulcanosedimentaria, con predominancia detrítica arcillo-arenosa.

En general, esta formación está constituida por una interestratificación de tobas, areniscas y aglomerados con derrames andesíticos e intercalaciones esporádicas de limolitas y lutitas. Se le ha asignado una edad del Barremiano-Aptiano.

Grupo Balsas Q(cg)

Los sedimentos clásticos del Paleógeno-Neógeno de origen continental afloran principalmente hacia el sureste del estado y, en forma dispersa, hacia el suroeste. Está representado por el Grupo Balsas, que presenta una litología y aspectos texturales muy diversos, desde conglomerados rojos con fragmentos de caliza, pedernal y arenisca, en una matriz fina compuesta de arena y limo, con calcita como cementante, hasta conglomerados con fragmentos volcánicos de textura gruesa a fina, alternando con areniscas, limolitas rojas y arcillas.

En ocasiones se presentan también capas de toba y arena tobácea de grano fino en delgados mantos de hasta 50 cm.

El espesor de estos depósitos de molasa continental pos-tectónica es muy variable, pero en promedio alcanza los 500 m. Debido a la ausencia de fauna fósil, ha sido difícil la datación de esta unidad; sin embargo, se le correlaciona con los conglomerados rojos de Guanajuato, en el que se han encontrado restos del roedor *Floresomys* guanajuatense, del Eoceno Superior u Oligoceno Inferior.

Cuaternario Clástico Continental Q(al)

Está formado por depósitos detríticos recientes de origen aluvial derivados, en su gran mayoría, de la erosión de rocas volcánicas.

Rocas intrusivas (Granito-Granodiorita) K(Gr-Gd), T(Gr)

Las rocas intrusivas en Michoacán se encuentran abundantemente distribuidas en el sur de la entidad, agrupándose en términos generales en dos regiones principales; la región costera y la región de La Huacana-Huetamo.

En la región costera, las rocas intrusivas son por lo general de composición granodiorítica, con variaciones a granito calcoalcalino, cuarzdiorita y, en menor cantidad, diorita. La edad predominante de estos intrusivos se estima de finales del Mesozoico a principios del Paleógeno.

4.2 Geología estructural

De acuerdo con el marco tectónico regional, las rocas han sido sometidas a esfuerzos de compresión, tensión y gravitación, producto de las cuatro fases tectónicas actuantes desde el Mesozoico hasta el Cuaternario.

Se han reconocido tres fases principales de compresión: una ocurrida a finales del Cretácico Inferior, otra durante el Paleoceno y otra a finales del Mioceno, las cuales dieron origen a la formación de fallas normales y laterales, principalmente al norte del acuífero.

A partir del Plioceno se ha desarrollado una fase tectónica que sigue activa hasta la actualidad. Las rocas metamórficas están fuertemente deformadas y foliadas, debido a los efectos de estas fases compresivas.

Se observan además diques aplíticos cercanos a la zona de costa, específicamente en las localidades de El Guayabito, El Manguito, El Zapote, El Saucito, El Pinito y El Litigio.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica y geofísica recaba, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos aluviales que constituyen el cauce y la llanura de inundación del Río Balsas, ahora controlado por la presa José María Morelos y Pavón, así como la planicie costera; y en su porción inferior por conglomerados, rocas sedimentarias e ígneas fracturadas.

El espesor del medio granular varía desde algunos metros en las estribaciones de la sierra, aumentando en las inmediaciones de los cauces de los ríos y arroyos, hasta algunas decenas de metros en la planicie costera.

El medio fracturado está asociado a la zona de alteración de las rocas intrusivas principalmente y a la presencia de fracturamiento en rocas sedimentarias; su espesor varía, de unos cuantos metros hasta alcanzar 30 m en promedio.

Dependiendo de la naturaleza de los materiales o rocas con los que se encuentra en contacto, hacia la parte alta del cauce del río los límites lateral e inferior del acuífero están constituidos por las rocas metamórficas, graníticas y las unidades impermeables del Grupo Balsas que constituyen el basamento y las barreras al flujo subterráneo.

Con base en las características físicas de las unidades litológicas y a su comportamiento en el subsuelo se pueden identificar 3 unidades hidrogeológicas, las cuales se describen a continuación.

Unidad I: material no consolidado con posibilidades altas. Comprende sedimentos aluviales no consolidados compuestos principalmente de gravas y arenas. Estos depósitos bien clasificados, tienen rangos de porosidad entre 25–50%. Esta es la unidad que actualmente se explota.

Unidad II: Material consolidado con posibilidades medias. Formada por areniscas-conglomerado y por rocas volcánicas de composición intermedia. Con base en el reconocimiento de campo y el estudio petrográfico de las rocas, se observa fracturamiento moderado y porosidad media.

Su porosidad secundaria se correlaciona con los valores de porosidad para basaltos fracturados de 5 -50% y permeabilidad entre 10^{-6} – 10^{-2} cm/s.

Unidad III: Material consolidado con posibilidades bajas. Esta unidad incluye al granito, a las andesitas, dacitas y rocas metasedimentarias, las cuales muestran fracturamiento escaso y valores bajos de conductividad hidráulica que retardan el movimiento del agua subterránea. Su porosidad es casi nula.

En la figura 3, se muestra una sección geológica esquemática del acuífero con una dirección N-S.

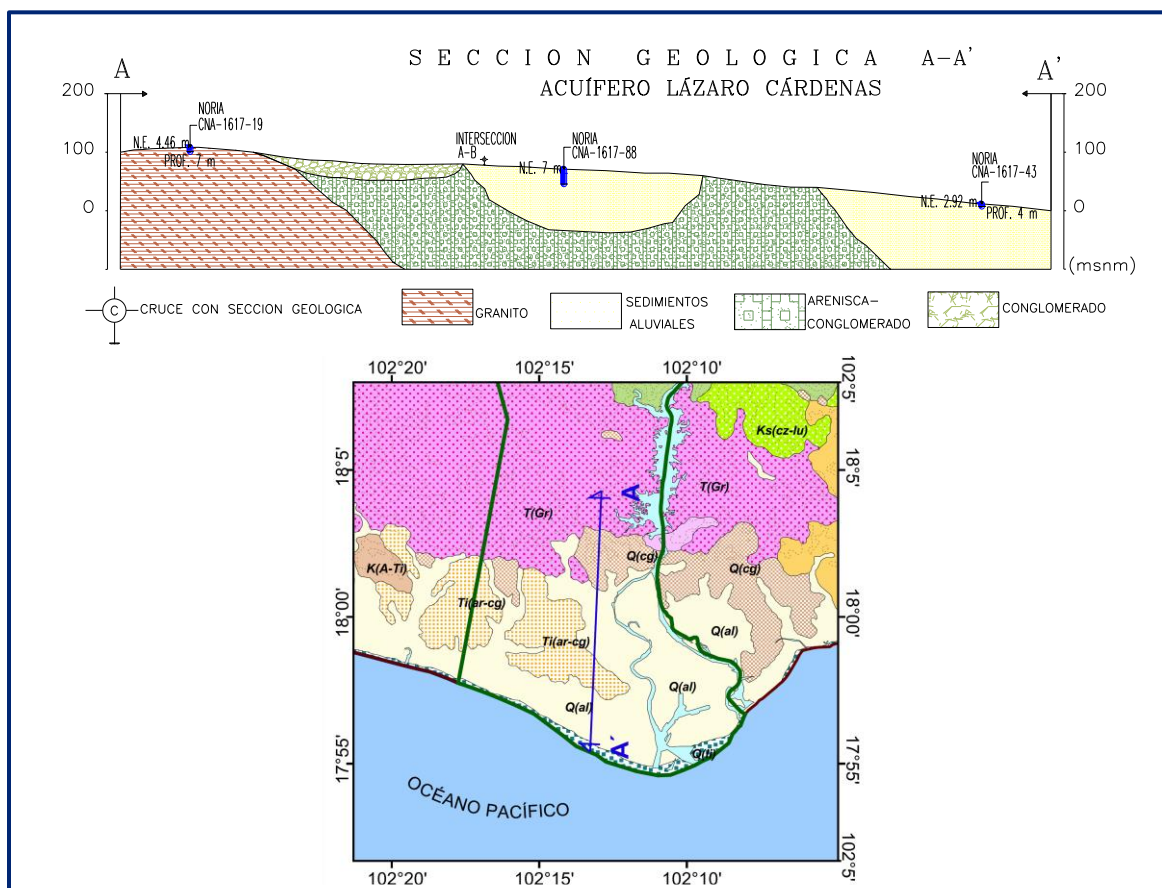


Figura 3. Sección geológica esquemática

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El acuífero es de **tipo libre**, emplazado en sedimentos aluviales derivados de la erosión de las rocas volcánicas existentes.

Esta es la unidad que actualmente se explota; sin embargo, los conglomerados y las rocas sedimentarias y volcánicas conforman otra unidad que aún no ha sido explorada. El acuífero tiene reducidas dimensiones y baja capacidad de almacenamiento, con permeabilidad media a alta.

El acuífero en explotación se aloja en una superficie de 98 km², emplazada en la zona costera, a la altura de los poblados Isla de La Palma, El Baden, El Limoncito, Santa Ana, El Caimán, El Manguito, Lázaro Cárdenas (Las Truchas), Cayacal, El Mirador y Guacamayas. Fuera de esta área se encuentran algunos aprovechamientos aislados, en el centro del acuífero, en los poblados de Arteaga, Las Minas y Las Minitas.

5.2 Parámetros hidráulicos

De acuerdo con los datos obtenidos de la interpretación de cuatro pruebas de bombeo, realizadas como parte de las actividades del estudio de 2009, la transmisividad es variable, dependiendo de la granulometría.

Las pruebas fueron realizadas en la zona costera y centro del acuífero, sus resultados se enlistan en la tabla 2.

Los valores varían de **0.4 a $17.9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , para el caso de la transmisividad, y de 0.05 a 0.12 para el rendimiento específico.

Tabla 2. Valores de T, Sy y K obtenidos del análisis de las pruebas de bombeo.

Pozo	T ($\text{m}^2/\text{día}$)	Sy	K (m/día)
CNA-1617-2	872.7	0.05	12.47
CNA-1617-8	787.1	0.01	19.68
CNA-1617-13	1550.6	0.12	38.77
CNA-1617-102	33.23	0.02	0.47

5.3 Piezometría

Con respecto a la información piezométrica, se dispone de datos históricos para los años 2007 y 2009, que se tomaron en cuenta para las configuraciones respectivas.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La configuración de profundidad al nivel estático para el 2007 presenta valores que varían entre 0.5 y 19.0 m, por efecto de la topografía, aumentando gradualmente desde la zona costera hacia las estribaciones de la sierra. Para el año 2009, las profundidades varían de 0.5 a 16 m (figura 4).

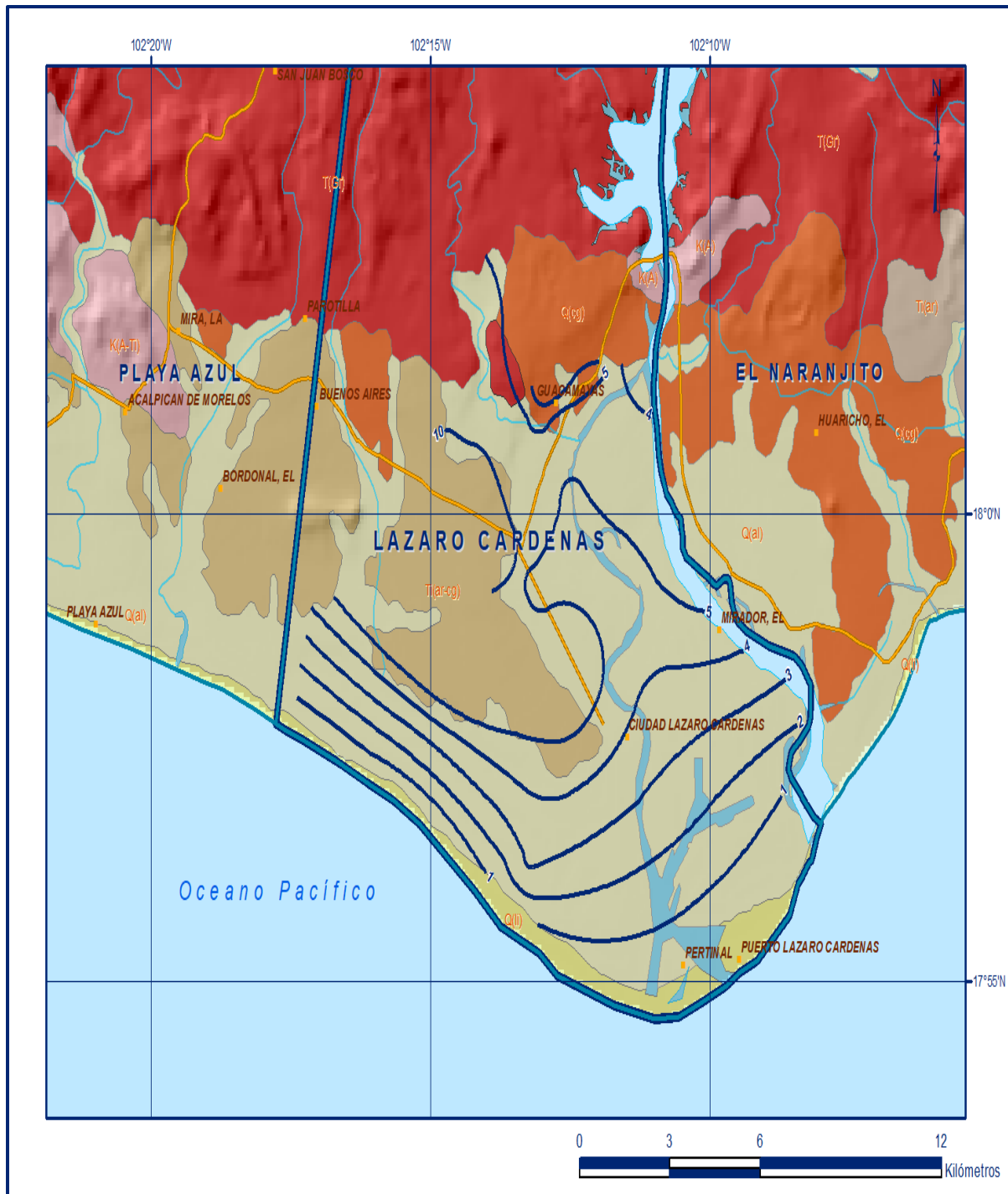


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2009)

La zona con profundidad al nivel estático más alta, se observa en Lázaro Cárdenas, en las colonias Reforma y Flor de Abril para los años 2007 y 2009. Hacia la zona costera, se registran valores someros y hacia la porción media del acuífero el valor promedio de profundidad es de 6.0 m.

5.4.2 Elevación del nivel estático

Con respecto a la elevación del nivel estático, las configuraciones para los años 2007 y 2009 presentan prácticamente la misma disposición de curvas, en las que las variaciones están relacionadas con la topografía, de tal forma que los valores máximos se presentan hacia el norte del acuífero, en la localidad de Guacamayas, con un valor de 25.0 msnm, disminuyendo gradualmente hasta alcanzar la cota 1.0 msnm, a la altura de las localidades El Manglito, Las Truchas y El Caimán (figura 5). La dirección preferencial del flujo subterráneo muestra una dirección de norte a sur, desde las estribaciones de la sierra que constituyen la zona de recarga, hacia la planicie costera.

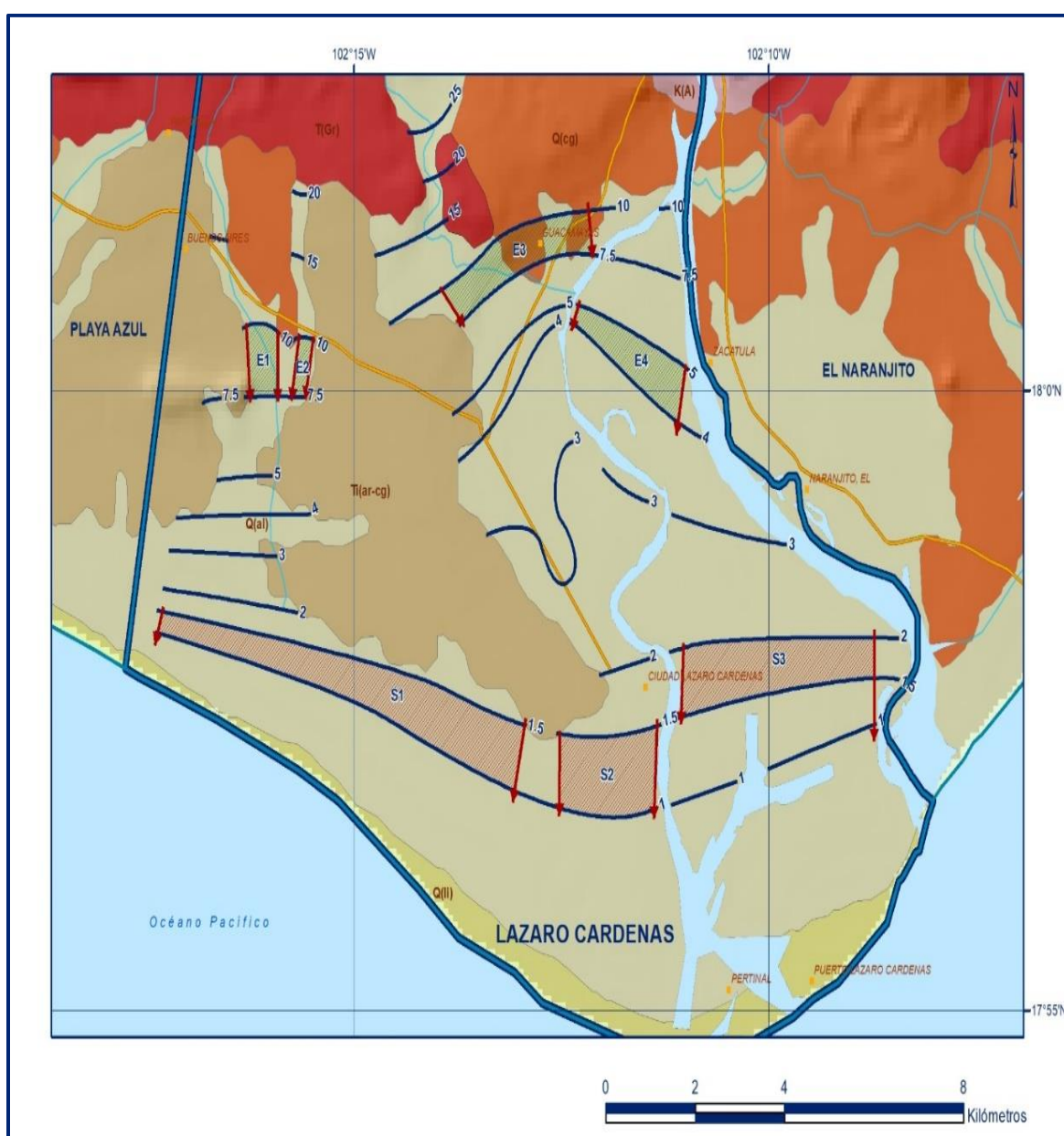


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2009)

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, la configuración para el periodo 2007-2009, mostrada en la figura 8, presenta valores de abatimiento que varían de 0.5 a 3.0 m, que representan un ritmo anual de 0.2 m a 1.5 m.

En la parte más alta de la zona de explotación se registran abatimientos puntuales de 2.0 a 3.0 m.

Los valores mayores se presentan a la altura del poblado El Baden y los menores a lo largo de la línea de costa, entre los poblados Corregidora y Cayacal.

En la porción occidental los abatimientos varían de 0.5 a 1.0 m, entre los poblados de Santa Ana y El Limoncito (figura 6).

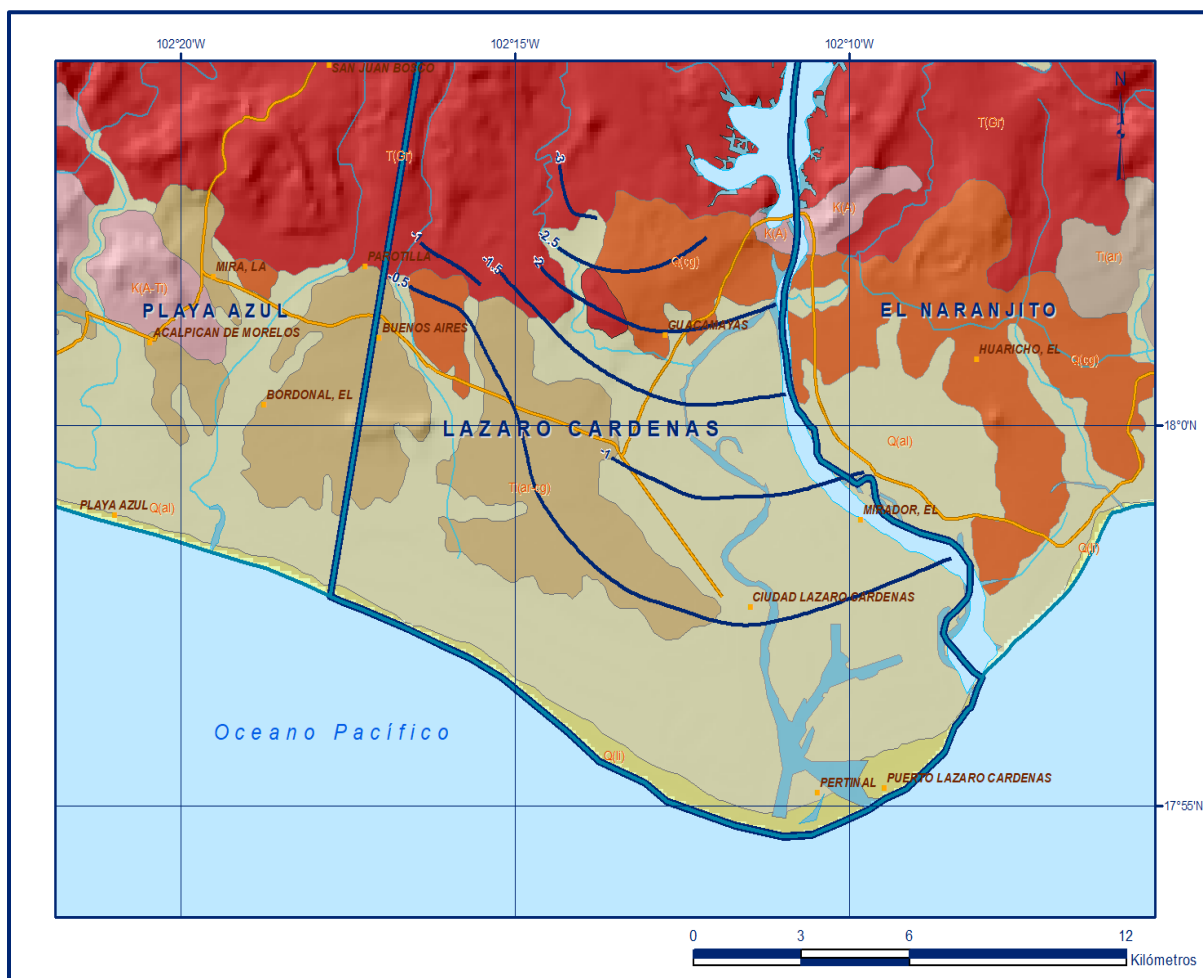


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2007-2009)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2009, se tomaron muestras en 6 aprovechamientos, distribuidos en la zona de explotación, para su análisis fisicoquímico correspondiente.

Las determinaciones incluyeron tres grupos de parámetros organolépticos, fisicoquímicos y bacteriológicos iones: iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, Nitratos, dureza total, sólidos totales disueltos, Fe Mn, coliformes fecales y totales, etc, para identificar los procesos geoquímicos y de contaminación, y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

Las condiciones hidrogeológicas y topográficas tienen una influencia directa en la distribución espacial de las concentraciones de los diferentes parámetros químicos.

Con respecto a la calidad del agua, tomando en cuenta los resultados de los análisis fisicoquímicos, se puede observar que los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) varían de 316 a 882 ppm.

Las menores concentraciones, de 316 a 360 ppm, se registran en los aprovechamientos ubicados hacia las partes topográficamente más altas, aumentando hacia este y sur.

La familia de agua predominante es la bicarbonatada-cálcica, que representa agua de reciente infiltración. De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en 2009, se registraron un total de 120 aprovechamientos, de los cuales 89 corresponden a norias y 31 a pozos profundos.

Del total de aprovechamientos, 96 están activos y los restantes 24 inactivos.

La explotación del acuífero se realiza principalmente en la Ciudad de Lázaro Cárdenas y en las poblaciones Guacamayas e Isla de La Palma, para dotación de agua potable. Del total de obras, 75 se destinan al uso doméstico, 32 para dotación de agua potable, 12 para uso industrial y 1 para la actividad pecuaria.

El volumen de extracción estimado asciende a **12.8 hm³/año**, de los cuales 10.6 hm³ (82.8%) se utilizan para dotación de agua potable a la población de las comunidades de la región, 0.1 más (0.8 %) para satisfacer las necesidades del uso doméstico abrevadero y los 2.1 hm³ anuales restantes (16.4 %) para uso industrial.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el período 2007-2009, en un área de 98 km², en la que están dispersos la gran mayoría de los aprovechamientos. 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:

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual del funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R) ocurre por dos procesos naturales principales por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración de los escurrimientos de arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y por flujo subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola (Rr), que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; y

del agua residual de las descargas urbanas (Rpu), constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri).

No existe información confiable de las superficies y láminas de riego para estimar la recarga inducida que se produce en la zona agrícola que se abastece de agua superficial del Río Balsas y el distrito de riego no opera de manera regular.

Adicionalmente, se desconoce la eficiencia del sistema de distribución de agua potable.

Por estar razones, para fines del balance, no se desglosará la recarga inducida y su valor quedará implícito en la recarga vertical.

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento (ΔV), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance definida por la expresión:

$$Eh + Rv - B - Sh - ETR = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

Eh: Entradas por flujo subterráneo horizontal

Rv: Recarga vertical

B: Bombeo

Sh: Salidas por flujo subterráneo horizontal

ETR: Evapotranspiración

ΔV : Cambio de almacenamiento

S: Coeficiente de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$Rv = B + Sh + ETR \pm \Delta V(S) - Eh \quad (2)$$

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

La cuantificación del caudal de agua subterránea que participa como flujo de entrada subterránea horizontal al acuífero, para un periodo considerado, se realiza aplicando la Ley de Darcy a la red de flujo a través de una sección limitada por dos isolíneas equipotenciales y dos líneas de corriente, definidas en la configuración de elevación del nivel estático para el período analizado.

La Ley de Darcy, se expresa mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

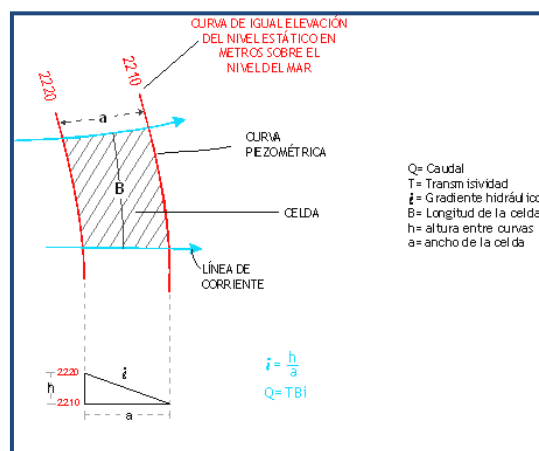
Donde:

Q = Caudal (m³/s)

B = Longitud de la celda (m)

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)

T = Transmisividad (m²/s)



De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático para los años 2007 y 2009, mostradas en las figuras 7 y 8, los resultados de cada uno de los canales de entradas aparecen en las tablas 3 y 4, respectivamente, de las que es posible establecer que la entrada subterránea promedio anual es de **3.5 hm³/año**. La principal zona de entrada se ubica a la altura del poblado Guacamayas.

Los valores T utilizados para el cálculo de entradas y salidas corresponden al promedio obtenido de las pruebas de bombeo realizadas en el 2009, adaptadas al espesor saturado de cada celda.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por evapotranspiración (ETR), bombeo (B) y las salidas por flujo subterráneo horizontal hacia el mar (Sh).

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **12.8 hm³/año**.

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

El cálculo de las salidas subterráneas se realizó de la misma manera como se evaluaron las entradas, a partir de las configuraciones de ENE de los años 2007 y 2009, mostradas en las figuras 7 y 8. Las celdas de salida se localizaron en la parte más baja del área de explotación, a lo largo de la línea costera. En las tablas 5 y 6 se muestran los resultados del cálculo. El valor promedio para el periodo 2007-2009 es de **1.2 hm³ anuales**.

7.2.3 Evapotranspiración (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto, es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema.

Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real).

El escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR) es un parámetro utilizado para la recarga potencial de infiltración.

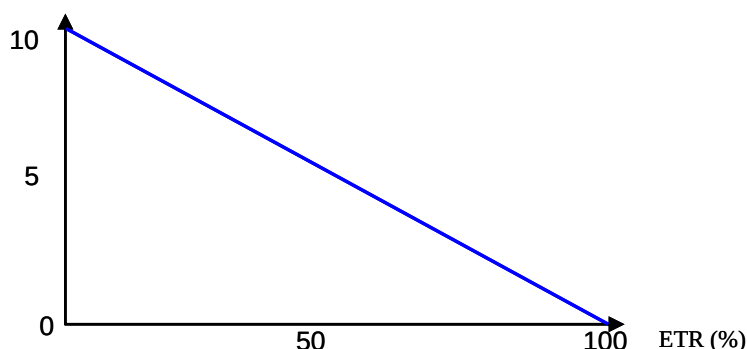
Para la obtención de este parámetro se utilizó la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación, considerando los valores medios anuales de temperatura = 27.6° C y precipitación= 1374 mm. La lámina de ETR que se obtiene es de 1181.2 mm.

$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$			
T (°C) =	27.6		
P(mm) =	1374	P ² =	1887876
L =	2041.2288	L ² =	4166615.01
ETR (mm)	1181.2		

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 10 m, bajo el siguiente proceso:

En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR.

Suponiendo una profundidad límite de extinción de 10 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 10 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 5 m el 50%, a 2 m el 80% etc.



Para realizar una estimación más real del valor de la evapotranspiración, se tomará en cuenta únicamente la evapotranspiración del agua freática que se produce durante los meses de estiaje que es cuando el agua se transfiere del subsuelo a la atmósfera por el proceso de evapotranspiración, y durante el periodo de lluvias, el agua susceptible de evapotranspirarse es la que queda almacenada en la superficie, sobre todo en depresiones del terreno, antes de infiltrarse al subsuelo.

De esta manera, considerando que el periodo de lluvias se presenta en 4 meses, de junio a septiembre, el periodo de estiaje representa el 67 % del año, dicho factor se aplicará a la lámina de ETR obtenida por el método de Turc.

En el área de balance existe una superficie de 53 y 41 km², respectivamente para los años 2007 y 2009, de la zona costera donde se presentan niveles freáticos someros, eliminado el área de la zona urbana de la ciudad de Lázaro Cárdenas donde no se produce ETR debido a su cubierta impermeable.

Si tomamos en cuenta el 67 % de la lámina de ETR (791 mm) y una profundidad promedio al nivel del agua subterránea de 3 m, de acuerdo con la gráfica anterior.

$$ETR_{2007} = 53 \text{ km}^2 (0.791 \text{ m}) (0.7) = 29.3$$

$$ETR_{2009} = 41 \text{ km}^2 (0.791 \text{ m}) (0.7) = 22.7$$

Por lo tanto, el valor promedio es **ETR = 26.0 hm³/año**

7.3 Cambio de almacenamiento (ΔV_S)

El cambio de almacenamiento está definido por la expresión: Cambio de almacenamiento = $\Delta h \cdot \text{Área} \cdot \text{Coeficiente de almacenamiento (Sy)}$. Para la estimación del cambio de almacenamiento se utilizó el software Surfer V.8.01, a partir de la configuración de la evolución del nivel estático para el periodo de 2007-2009 que se muestra en la figura 9.

El resultado arroja un valor de -32.7 hm³ de volumen drenado del acuífero que aplicado al área de balance de 98 km² resulta un abatimiento promedio de 0.33 m anuales. Al considerar un coeficiente de almacenamiento (o rendimiento específico) de 0.06 (CONAGUA, 2009), el resultado es:

$$\text{Cambio de almacenamiento} = (-0.33 \text{ m}) (98 \text{ km}^2) (0.06) = -1.9 \text{ hm}^3$$

$$\Delta V_S = -1.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Solución de la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes que intervienen en la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la recarga vertical, despejando este término de la ecuación definida, se tiene:

$$R_v = B + S_h + ETR \pm \Delta V(S) - E_h$$

$$R_v = 12.8 + 1.2 + 26.0 - 1.9 - 3.5$$

$$R_v = 34.6 \text{ hm}^3/\text{año}$$

En este valor se incluye la recarga que se produce a lo largo de los ríos y arroyos y la recarga inducida. De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de la recarga vertical y las entradas horizontales subterráneas.

$$R = R_v + E_h$$

$$R = 34.6 + 3.5$$

$$R = 38.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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:

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

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 **38.1 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 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 particular, se considera un volumen de descarga natural comprometida de **19.5 hm³ anuales**, que corresponden a las salidas por flujo subterráneo hacia el mar para mantener la posición de la interfase marina y el restante al 70 % de la evapotranspiración que deben preservarse para proteger la flora ribereña y el ecosistema costero del humedal RAMSAR denominado “Laguna Costera El Caimán.

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 **16,742,813 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 38.1 - 19.5 - 16.742813 \\ \text{DMA} &= 1.857187 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **1,857,187 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2007. Estudio de Actualización de Mediciones Piezométricas en las Unidades Hidrogeológicas de: Tacámbaro-Turicato, La Huacana, Lázaro Cárdenas y Playa Azul, estado de Michoacán. Realizado por la empresa Servicios de Ingeniería e Investigación del Medio Ambiente, S.C.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1981. Estudio Fotogeológico en la Zona Lázaro Cárdenas, Estado de Michoacán. Realizado por la empresa Consultores, S.A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1981. Estudio Geofísico a base de Resistividad Eléctrica a lo Largo de la Línea de Conducción del Acueducto al Puerto Industrial Marítimo de Lázaro Cárdenas, Michoacán. Realizado por la empresa Ingenieros Civiles Geólogos y Asociados.