



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO PASTOR ORTÍZ - LA PIEDAD (1605),
ESTADO DE MICHOACÁN**

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.....	6
3.1 Provincia fisiográfica	6
3.2 Clima	7
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Estratigrafía.....	9
4.2 Geología estructural	11
5. HIDROGEOLOGÍA.....	11
5.1 Tipo de acuífero.....	11
5.2 Parámetros hidráulicos	12
5.3 Piezometría.....	13
5.4 Comportamiento hidráulico.....	13
5.4.1 Profundidad del nivel estático.....	13
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	14
5.4.3 Evolución del nivel estático	14
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	15
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	15
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	15
7.1 Entradas.....	15
7.1.1 Recarga Natural	15
7.1.2 Recarga Inducida.....	16
7.1.3 Flujo Horizontal	16
7.2 Salidas	16
7.2.1 Evapotranspiración	16
7.2.2 Descargas Naturales	16
7.2.3 Descargas por Bombeo	16
7.2.4 Flujo Subterráneo.....	17
7.3 Cambio de almacenamiento.....	17
8. DISPONIBILIDAD	18
8.1 Recarga Total Media Anual (R)	18
8.2 Descarga Natural Comprometida (DNC)	19
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	19
8.4 Disponibilidad de Agua Subterránea (DMA).....	19

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 Pastor Ortíz-La Piedad, definido con la clave 1605 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción norte del estado de Michoacán, cubriendo una superficie aproximada de 1,781 km².

Limita al noroeste con el acuífero Pénjamo-Abasolo, al norte con Irapuato-Valle y al noreste con Ciénega Prieta-Moroleón, pertenecientes al estado de Guanajuato, al sureste con Morelia-Queréndaro, al sur con Zacapu, y al suroeste con Zamora y La Piedad, pertenecientes al estado de Michoacán (figura 1).

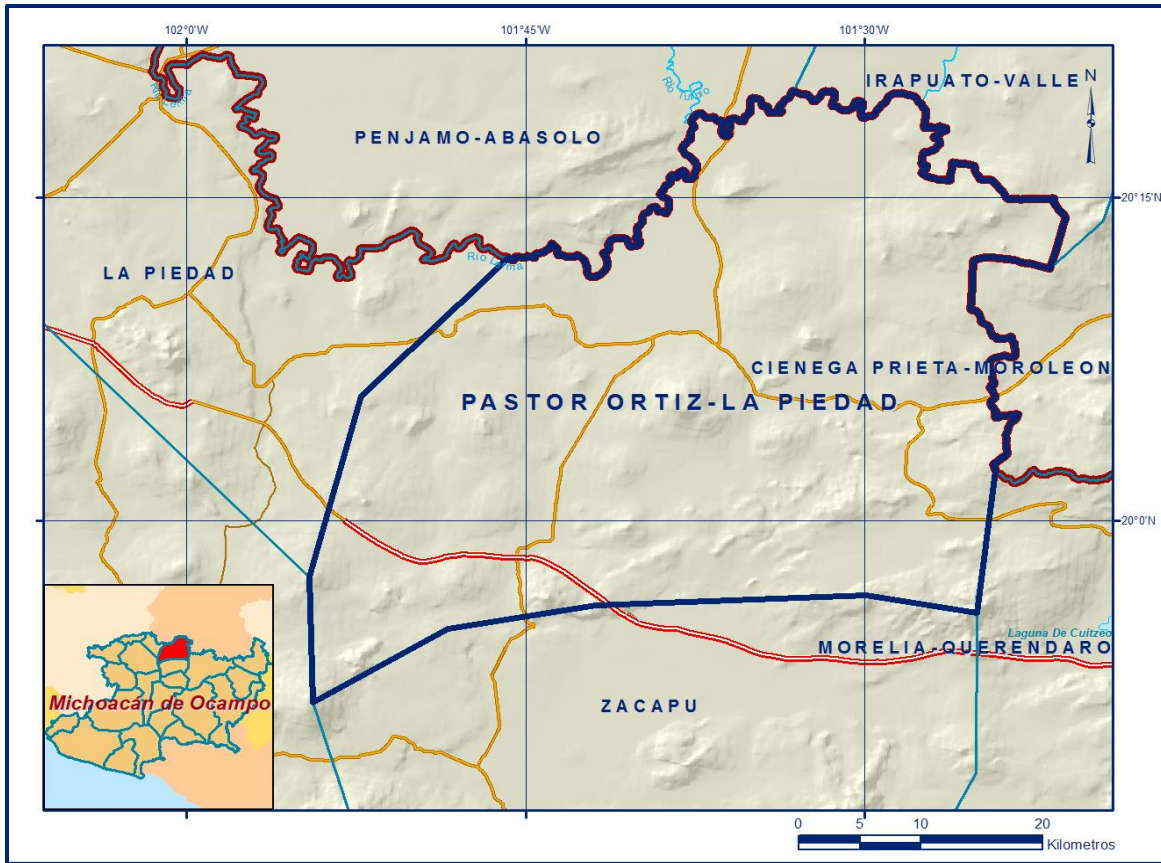


Figura 1. Localización del acuífero

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

A este acuífero lo conforman los municipios de Angamacutiro, Villa Jiménez, Morelos, Panindicuaro, Penjamillo, Puruandiro, Tlazazalca, Zacapu, J. Sixto Verduzco.

Los principales centros de población localizados en el área del acuífero se muestran la tabla 2.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	54	24.8	19	51	35.0	
2	101	54	33.0	19	57	24.8	
3	101	52	16.5	20	5	46.9	
4	101	45	44.5	20	12	11.0	
5	101	33	9.6	20	19	54.7	DEL 5 AL 6 POR EL LIMITE ESTATAL
6	101	21	49.2	20	11	42.0	DEL 6 AL 7 POR EL LIMITE ESTATAL
7	101	24	12.9	20	2	21.3	
8	101	25	2.0	19	55	45.5	
9	101	29	56.6	19	56	34.3	
10	101	41	51.8	19	56	6.0	
11	101	48	25.1	19	55	0.0	
1	101	54	24.8	19	51	35.0	

Tabla 2. Principales centros de población en el área del acuífero.

MUNICIPIO		POBLACIÓN NUMERO DE HABITANTES	POBLACIONES IMPORTANTES
CLAVE	NOMBRE		
004	ANGAMACUTIRO	17097	<u>Angamacutiro de la Uión</u>
063	PANINDICUARO	18611	<u>Paníndicuario</u>
071	PURUANDIRO	78821	<u>Puruandiro, Manuel Villalongin</u>
113	J. SIXTO VERDUZCO		Pastor Ortiz,

1.2 Situación administrativa del acuífero

Existen 6 decretos de veda en el Estado de Michoacán, el más reciente del 20 de octubre de 1987, en donde se estableció una veda en todo el estado por tiempo indefinido, para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los municipios, aunque se trata de una veda de control que no limita la construcción de nuevos aprovechamientos para todo uso, permitiendo extracciones limitadas para usos doméstico, industrial, de riego y otros.

Hasta la fecha no se ha decretado ninguna zona de reserva de agua para uso específico, en esta zona en particular se tienen la zona de veda: *Resto del estado* publicada el 20 de octubre de 1987. Los usuarios del agua subterránea no están organizados bajo ninguna figura asociativa dentro de este acuífero.

Dentro de la zona de estudio se encuentran los módulos de riego I (Angamacutiro) y VI (Pastor Ortiz) y parte del módulo II (La Piedad), todos del Distrito de Riego 087 Rosario Mezquite.

El volumen anual concesionado según los registros en el balance hidráulico de este acuífero a diciembre de 1999 es de 37.377 hm³, siendo los principales usuarios para uso agrícola, La Asociación de usuarios de riego del valle de Angamacutiro y la Asociación de usuarios de riego del Bajío Michoacano.

Dentro del uso público urbano los principales usuarios son: los Comités de agua potable de las diferentes comunidades de los municipios que conforman el acuífero; en el uso de servicios se encuentran como principales usuarios los hospitales rurales, escuelas y gasolineras y para uso industrial prácticamente no existen usuarios.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD
ESTUDIO DE DIAGNOSTICO DE LAS CONDICIONES GEOHIDROLÓGICAS ACTUALES Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE OPERACIÓN DEL ACUÍFERO DE PASTOR ORTIZ, MICHOACÁN (GERENCIA REGIONAL LERMA-BALSAS, 1992). El acuífero del valle está compuesto por rocas ígneas fracturadas y materiales aluviales, que se comportan como una sola unidad geohidrológica. Su recarga media anual es de unos 28 hm³, cerca del 70% de ella es originada por infiltración natural, y el 30% complementario corresponde a una alimentación inducida por la agricultura.

Actualmente, el acuífero es explotado por más de 250 captaciones de agua, cuya extracción anual se estima en el rango de 37 para 1983 a 64 hm³/año, de 1990 hasta 1992. Del acuífero escapaba hasta 1983, un volumen del orden de 10 hm³: 7 por evapotranspiración en áreas con niveles freáticos someros y 3 fluyendo subterráneamente hacia aguas abajo. Sin embargo, este volumen desapareció desde aquel año, ya que fue rápidamente interceptado por la sobreexplotación.

El periodo bajo el cual fue calculado el balance multianual, corresponde a uno en el que las lluvias acontecieron muy por debajo de su valor medio anual, por lo que la recarga se encuentra subvaluada.

Seguramente las condiciones serán mejores si el intervalo considerado en futuras calibraciones, involucra un valor más cercano al promedio anual.

Se ha calculado que reduciendo los volúmenes de extracción en un 30%, como mínimo, es posible mantener al agua subterránea en muy buena situación de producción agrícola y en condiciones de un desarrollo sostenible.

Según el censo de aprovechamientos de agua subterránea realizado en 1984, en ese año existían 215 captaciones de agua subterránea: 195 pozos, 15 norias y 5 manantiales. Los pozos tienen profundidad de 40 a 250 m. y las norias de 4 a 12 m.

Su volumen de extracción de agua subterránea se estimó en unos 37 Mm³/año, con la siguiente distribución por usos: 35 eran destinados al riego y los 2 restantes a servicios municipales y uso doméstico-abrevadero (ver cuadros siguientes):

TIPO DE APROVECHAMIENTO Y SU ESTADO EN EL VALLE DE PASTOR ORTIZ-LA PIEDAD				
Tipo de captación	No. de obras	ESTADO ACTUAL		Profundidad total de perforación (en metros)
		Activa	Inactiva	
Pozo	195	179	16	40 – 250
Noria	15	14	1	4 – 12
Manantial	5	5	---	-----
Total	215	198	17	-----

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

El área de estudio se ubica fisiográficamente en la porción centro oriental de la provincia denominada por Ordóñez como Meseta Central (1946). Raisz la llama Meseta Neovolcánica (1959) y otros autores la nombran como Eje Neovolcánico. Mooser (1975) la ha denominado como Faja Volcánica Transmexicana (FVT)

La provincia se ubica en la porción meridional de la República Mexicana con una orientación este – oeste, quedando limitada al norte por los extremos meridionales de la Sierra Madre Occidental, de la Mesa Central y de la Sierra Madre Oriental. Al sur la cuenca del Balsas y con la Meseta Oaxaqueña.

Este valle se ubica dentro de la región hidrológica 12 (RH-12), que corresponde a la cuenca del río Lerma-Chapala. La red fluvial ha desarrollado en los cerros un sistema de corrientes de tipo radial principalmente, aunque se puede observar en algunos casos un drenaje dendrítico en las cabeceras; en los materiales depositados sobre las laderas se han incrementado corrientes de tipo uniforme (pluma) debido a la consistencia de los materiales; así como de corrientes paralelas que se observan principalmente al sur del área.

Geomorfológicamente el área muestra la acción de los agentes modeladores del relieve, estos son: procesos magmáticos, tectónicos, erosivos y de relleno. Los dos primeros están representados por las manifestaciones volcánicas existentes y que han sido vertidas desde el Oligoceno a través de las fracturas y fallas que sucedieron al levantamiento y plegamiento del terreno mexicano.

3.2 Clima

En esta región se presentan tres tipos de clima: templado frío, templado cálido y semicálido. El primero entre los poblados de Las Fuentes y Pastor Ortíz; el templado cálido en el área donde se encuentran las poblaciones de Puruándiro, Corrales, Casa Blanca y Angamacutiro, y el semicálido en la franja que limita a los poblados de Santa Fé del Río y El Salto. Los datos climatológicos utilizados en el presente estudio son los registrados en las estaciones denominadas Angamacutiro, Pastor Ortíz, Puruándiro y Casa Blanca.

Respecto a la temperatura el valor medio anual varía entre 19 y 21° C, con un valor medio de 20° C, siendo enero el mes más frío con 15.05° C y mayo el mes más caluroso con 23.10 ° C. En la zona de estudio, la temporada de lluvias comprende a los meses de junio a septiembre y en ella se precipita alrededor del 82% de la lámina anual; el periodo de estiaje se extiende de octubre a mayo, correspondiéndole el 18% del volumen anual precipitado.

La precipitación media anual en el área estudiada es de 812.95 mm. La lámina de evaporación potencial media anual varía de 800 a 2,250 mm. y un valor medio anual de 891 mm.

3.3 Hidrografía

Se encuentran dentro de la Región Hidrológica 12 (Lerma-Chapala), Subregión Medio Lerma, cuenca Rio Lerma – Chapala, y subcuenca Rio Angulo.

En la Unidad de Pastor Ortíz se riegan 6,507 Has., mediante el Canal Principal Santa Ana, con una capacidad de 7 m³/s, que alimenta a su vez a los canales Santa Ana y Zurumuato, con 2,000 beneficiados.

Dicha unidad se localiza sobre la margen izquierda del Río Lerma, contando con la Derivadora Marcazusa y un canal principal con 6.5 km de longitud de revestimiento que alimenta a los canales antes mencionados.

La longitud total de los canales laterales y sublaterales es de 41.3 km. Existen dos pequeños almacenamientos, que son las presas Tres Mezquites y El Arco.

La superficie de riego de la unidad Angamacutiro es de 6,986 Has dividida en cinco secciones, donde se asientan 2,675 usuarios. Esta unidad es alimentada con las aguas de la presa Melchor Ocampo, con capacidad total de 200 Mm³ y capacidad útil de 185 Mm³. Anualmente, de dicha presa se utilizan 300 Mm³, parte de los cuales escurren por el río Lerma, para alimentar a varias unidades de riego.

Los canales principales, conocidos como canal principal Margen Derecha y canal principal Margen Izquierda, tienen una longitud de 39.5 y 8.1 km, respectivamente.

3.4 Geomorfología

La zona de Pastor Ortiz se encuentra en la parte de la provincia fisiográfica de la “Meseta Neovolcánica”, según Raisz (1969) y en la provincia geológica denominada “Eje Neovolcánico Transmexicano”, donde se desarrolla una planicie drenada por el Río Lerma.

El área de los valles comprende elevaciones de 1,600 y 1,700 msnm, con algunos lomeríos que sobresalen de la llanura.

Al sur se extiende otra zona de lomeríos conformados por rocas de origen ígneo, con elevaciones máximas de 2,800 msnm.

4. GEOLOGÍA

La geología superficial del acuífero Pastor Ortíz-La Piedad, está constituida por rocas ígneas intrusivas y extrusivas, así como depósitos recientes, su distribución se muestra en la figura 2.

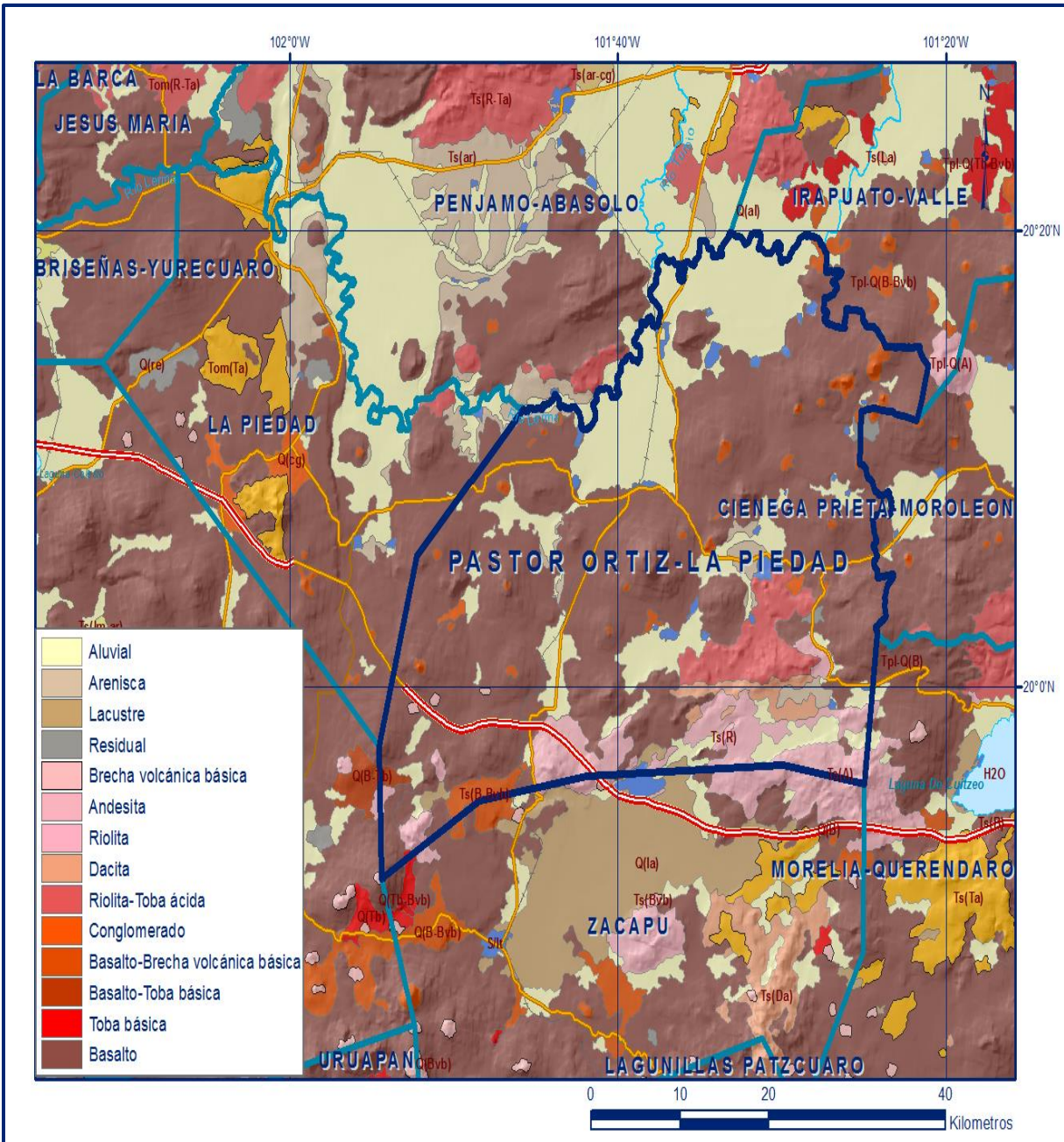


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

Las unidades se agruparon por su permeabilidad y están descritas atendiendo sus características litológicas.

Rocas riolíticas (R)

Los afloramientos de rocas riolíticas representados por tobas ignimbritas, se encuentran ampliamente distribuidos en gran parte de la zona.

Según el grado de intemperismo a que estuvieron sujetas, estas rocas adquieren coloraciones que van del café claro a rosa y aún el blanco, están constituidas mineralógicamente por cristales de cuarzo, feldespato y micas empacadas en una matriz de la misma composición y vidrio volcánico, presentando ocasionalmente fragmentos irregulares de pómez.

Los depósitos de ignimbritas son el resultado de nubes ardientes y presentan una gran compactación, con una matriz vítrea de coloración rojiza.

Paralelamente a los eventos que formaron a esas rocas, se llevaron a cabo períodos de erosión y depósito de sedimentos continentales, lo cual provocó intercalaciones de depósitos lacustres y aluviales con rocas riolíticas.

Los afloramientos de tobas ignimbríticas tienen, por lo general, una cierta estratificación, formando frecuentemente mesetas. Las rocas riolíticas aparecen extensamente en esta zona, en donde sus capas están expuestas casi horizontales, con un espesor que alcanza los 500 m. aproximadamente sin aflorar la base, su edad estimada es del Terciario Medio.

Existen además derrames de lavas y tobas, adoptando formas de mesetas, debido a la pseudo estratificación de las tobas, con presencia de ignimbritas e intercalaciones de materiales continentales de grano fino a medio, de baja permeabilidad.

Rocas basálticas (B)

Posterior a la formación de las rocas antes referidas, a fines del Terciario, se manifestó en la región la emisión de rocas basálticas, que alternan con períodos de intensa erosión, lo que dio origen a los depósitos clásticos en alternancia ocasionalmente rítmica de arenas, grava y arcilla con material piroclástico.

Las erupciones volcánicas basálticas–brechas y scoreas, continuaron hasta el Cuaternario y se encuentran ampliamente distribuidas en la zona, en forma de lomeríos y conos volcánicos que sobresalen de la llanura por su elevación. Por sus características hidráulicas se les considera de permeabilidad media.

Al manifestarse un período de erosión y de emisiones de materiales piroclásticos que rellenaron los valles, con edad contemporánea a las rocas basálticas antes mencionadas.

Sus afloramientos están constituidos por una alternancia de conglomerados y tobas-arenosas y limosas-interestratificados con basaltos. La permeabilidad de estos depósitos es considerada como media.

Depósitos aluviales (Qal)

Los depósitos aluviales producto de los últimos acontecimientos geológicos, corresponden al Cuaternario, y se les encuentra rellenando los valles. En su porción superior, consisten en depósitos de origen fluvial y están conformados por limos arcillosos de baja permeabilidad.

Se les encuentra en las partes topográficamente bajas de la zona, en las proximidades de los lomeríos, donde afloran las rocas basálticas; los materiales de relleno son de menor espesor, al contrario del área próxima al Río Lerma, donde presentan su potencia máxima, de más de 130 m.

4.2 Geología estructural

La estructura geológica dominante en esta zona consiste en un valle fluvial, relleno de sedimentos aluviales, limitado por estructuras volcánicas que definen el cauce del río, el cual se abre paso por las áreas más bajas. En esta zona abundan los conos cineríticos y los volcanes compuestos que, seguramente tienen mucha influencia en el subsuelo al intercalarse con los depósitos aluviales.

Se observa que dichos volcanes, sobre todo los ubicados al sureste de Pastor Ortiz, tienen un burdo alineamiento noreste-suroeste, denunciando una posible zona de debilidad sobre las laderas de dichos volcanes, se encuentran emplazadas un gran número de captaciones someras, para aprovechar los niveles freáticos locales.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Las rocas más antiguas expuestas en la zona de estudio, son las riolitas y tobas riolíticas, con estructura masiva y poco fracturamiento, cuya porosidad y permeabilidad son bajas, con transmisividades del orden de 0.003 a 0.001 m/s. Afloran en las sierras del norte del Valle de Pastor Ortiz.

Por sus características hidráulicas, éstas funcionan como barreras al flujo subterráneo, que impiden la comunicación de esta zona con los acuíferos aledaños.

Por su parte, los basaltos y las tobas fracturadas tienen permeabilidad secundaria de media a alta, y se les localiza en los bordes del valle, formando lomeríos y conos volcánicos. Estas actúan como receptoras de recarga y, en el subsuelo del valle, subyacen a los depósitos aluviales.

Finalmente, los depósitos aluviales del Cuaternario están ampliamente expuestos en el valle, su espesor aumenta de los flancos montañosos hacia el Río Lerma, donde se han registrado valores hasta de 130 m. En general, el relleno aluvial es de granulometría muy variada; a escala regional, constituye una sola unidad geohidrológica con las rocas fracturadas y aloja tanto horizontes acuíferos como acuitardos. En fajas de amplitud variable a lo largo de las corrientes principales, se hallan depósitos fluviales muy permeables.

5.2 Parámetros hidráulicos

Para valuar el coeficiente de transmisividad del acuífero, se han realizado 38 pruebas de bombeo de corta duración y aforos en diferentes fechas, según sus resultados, en general los valores varían en el rango de 0.0001 a 0.009 m/s; las transmisividades más altas se registran en la faja del Río Lerma, que se extiende desde Pastor Ortíz hasta Corrales, así como en los lomeríos ubicados en las porciones oriental y occidental de la zona.

Al sur, en un área cercana a los cerros constituidos por rocas basálticas, la transmisividad es de 0.005 m²/s. De este estudio se desprende que la transmisividad más alta es superior a 9x10⁻³ m²/s y decrece conforme se aleja uno del Río Lerma, hasta llegar a valores de 1x10⁻⁴ m²/s. Cabe señalar que esta aseveración es relativa, ya que, en las partes cercanas a los afloramientos basálticos del límite sur de la zona, la transmisividad varía entre 1 y 4x10⁻³ m²/s y las áreas de más baja transmisividad se encuentran donde se exponen los depósitos de planicie de inundación del río. Considerando a escala regional un acuífero de tipo “libre”, se estimó que su coeficiente de almacenamiento está comprendido entre 0.05 y 0.10, adoptando para el balance el mismo valor que tiene el estudio de ICATEC (1983), el cual tiene un valor de 0.07.

La transmisividad más alta (mayo) da 9x10⁻³ m²/s, se encuentra a lo largo de una franja paralela al Río Lerma, que se extiende desde Pastor Ortiz hasta Corrales; hacia el norte y sur de esta zona se encuentran cordones de transmisividad decreciente hasta llegar a valores de 1x10⁻⁴ m²/s.

En las partes cercanas a los afloramientos basálticos del límite sur, la transmisividad varía entre 1 y 4×10^{-3} m²/s y en las áreas donde se alojan los depósitos aluviales del río Lerma, es donde se tienen los valores más bajos.

5.3 Piezometría

En los meses de diciembre de 1983 y mayo 1992, se llevaron a cabo observaciones piezométricas en los alumbramientos piloto de la zona estudiada.

No. POZO	ELEV. DE BROCAL	DIC. 1983	MAY. 1992
32	1695.36	10.00	0.00
73	1694.74	11.54	25.80
83	1691.96	0.00	20.90
89	1690.36	288	0.00
97	1690.63	2.38	0.00
100	1689.79	4.47	0.00
105	1691.00	5.65	0.00
107	1690.43	2.24	0.00
110	1690.84	3.60	1.62
112	1691.88	0.00	19.63
114	1690.55	5.16	25.50
122	1691.08	7.02	31.27
131	1691.40	5.17	11.60
140	1688.83	0.00	19.70
141	1688.83	5.45	0.00
153	1692.03	6.60	0.00
164	1692.16	6.00	17.90
170	1692.96	7.45	24.83
171	1692.48	5.52	21.62
174	1692.45	4.00	19.68
187	1694.36	7.72	0.00
217	1693.67	11.88	25.32
228	1689.46	4.00	0.00
233	1689.49	3.60	0.00
235	1688.83	5.47	0.00
237	1688.26	6.71	0.00
249	1686.38	0.00	23.62
250	1687.36	15.57	0.00
253	1686.56	0.00	24.36

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel estático en diciembre de 1978, registraron valores que variaron entre 3 y 10 m, aumentando de la porción central del valle hacia los flancos montañosos.

Con los datos piezométricos de mayo de 1992, se encontró que la profundidad al nivel estático registró valores menores de 10 m. en la porción central de valle y de 30 a más de 50 m.

5.4.2 Elevación del nivel estático

De estudios anteriores, se obtuvieron las cotas de la nivelación de los brocales de 44 pozos. Con estos datos altimétricos se refirieron sus niveles de agua a una misma elevación base para trazar la configuración de los niveles de agua en diferentes fechas.

La aportación principal del flujo subterráneo, proviene de las sierras del sur, con dirección sur a norte y hacia la zona del Distrito de Riego, al sudoeste y en el poblado de Pastor Ortiz, en la curva 1,660 msnm,

En la parte nororiental, en los límites con Pénjamo, en el Estado de Michoacán, se forma un domo con la curva 1,675 probablemente debido a los depósitos más arcillosos, de baja permeabilidad.

En el estudio geohidrológico realizado en 1981, se describe que el flujo subterráneo tenía una orientación preferencial norte-sur, en contra de la topografía de la región, es decir, con inversión del gradiente hidráulico, por lo que se analizó la configuración de diciembre de 1983, encontrando que este acuífero no aportaba agua al valle, sino que alimentaba al Río Lerma, puesto que las profundidades al nivel estático eran muy someras, creando un corriente efluente.

Actualmente, por el bombeo, se ha cambiado esa dirección, y se han invertido los gradientes hidráulicos en algunos sitios de la franja norte de la zona.

5.4.3 Evolución del nivel estático

En general, se observaron abatimientos entre menos de uno y más de 5 m en toda la zona, con los valores mayores en el área de Pastor Ortiz, donde se tiene la más alta concentración del bombeo.

La zona de Pastor Ortiz-Angamacutiro, con un área de 225 km², el abatimiento medio fue de 0.55 m por año, evolución negativa que refleja una incipiente sobreexplotación o, por lo menos el efecto de una recarga menor que la media durante los años analizados que fueron relativamente secos.

En la evolución correspondiente al lapso 1983-92, se puede observar un amplio cono de abatimientos con valores de 15 a 20 m, que se extiende en las porciones central y sur del valle, el abatimiento medio respectivo fue de 10 m.

Esta evolución negativa confirma que ya se ha iniciado la sobreexplotación del acuífero. La evolución de los niveles estáticos en el lapso 1990-92, puede observarse un cono de abatimiento en la porción central de la zona, con valores de 4 a 6 m; una de las áreas más afectadas es la de Pastor Ortiz, mientras que, en el sector suroriental, los niveles del agua prácticamente no tuvieron evolución significativa. El ritmo variaba entre 0.5 y 2 m/año.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

No se cuenta con información referente a la hidrogeoquímica y la calidad del agua en el acuífero Pastor Ortiz-La Piedad.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

En la actualidad se estima que existen 338 aprovechamientos subterráneos, de los cuales se tiene un volumen de extracción anual del orden de 37.377 hm³, de los cuales su distribución por tipo de uso es:

TIPO DE USO	No. ESTIMADO DE POZOS	%	VOLUMEN EXTRAIDO hm ³ /año
AGRICOLA Y PECUARIO	268	79.29	33.489
PUBLICO URBANO	54	15.98	3.513
SERVICIOS Y OTROS	16	7.73	0.375
SUMAS	338	100.00	37.377

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

7.1 Entradas

7.1.1 Recarga Natural

La recarga natural del acuífero procede de la infiltración directa de la lluvia en los afloramientos de rocas basálticas. La recarga vertical se considera como incógnita por ser el parámetro más inconsistente ($R_v = ?$).

7.1.2 Recarga Inducida

En el distrito de riego, que ocupa la porción suroccidental de la zona de interés, el acuífero recibe una alimentación considerable derivada de las pérdidas en la red de canales y del riego de aguas superficiales, la cual asciende a un 30% de la recarga vertical, la cual en el ESTUDIO DE DIAGNOSTICO DE LAS CONDICIONES GEOHIDROLÓGICAS ACTUALES Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE OPERACIÓN DEL ACUÍFERO DE PASTOR ORTIZ, MICHOACÁN es del orden de: $R_{rr} = 8.40 \text{ hm}^3/\text{año}$.

7.1.3 Flujo Horizontal

Ante la carencia de pozos piloto que apoyaran la elaboración de curvas equipotenciales en la región, necesarias para realizar el cálculo de las entradas horizontales al sistema y asumiendo que las unidades con mayor potencial son los depósitos granulares y las rocas fracturadas, las cuales se encuentran limitadas en tanto a sentido vertical como horizontal por el resto de las unidades geohidrológicas existentes en la zona, el área de balance se delimitó desde el parteaguas.

Suprimiendo de esta manera el cálculo de las entradas horizontales del sistema. ($R_{fhz} = 0$).

7.2 Salidas

7.2.1 Evapotranspiración

La evapotranspiración tuvo lugar donde los niveles del agua se encontraban a menos de 10 m de la superficie del terreno, situación que ya para 1985 no se presentaba, por lo que se desprecia este parámetro.

7.2.2 Descargas Naturales

Según el censo de aprovechamientos de agua subterránea realizado en 1984, en ese año existían 5 manantiales de los cuales se extraían aproximadamente $0.11 \text{ hm}^3/\text{año}$, considerando este dato se tiene que: $S_m = 0.11 \text{ hm}^3/\text{año}$.

7.2.3 Descargas por Bombeo

Con fundamento en el historial administrativo de la Subgerencia de Ingeniería, se establece que la extracción total a través de 338 aprovechamientos subterráneos es del orden de $37.377 \text{ hm}^3/\text{año}$. $S_b = 37.377 \text{ hm}^3/\text{año}$.

7.2.4 Flujo Subterráneo

Del acuífero escapaban hasta 1983 un volumen del orden de 3 hm³/año fluyendo subterráneamente hacia aguas abajo, sin embargo, este volumen desapareció desde aquel año, ya que fue rápidamente interceptado por la sobreexplotación.

7.3 Cambio de almacenamiento

El más alto abatimiento fue en el área de Pastor Ortiz-Angamacutiro, siendo el abatimiento promedio de 10 m.; en el resto de la superficie los niveles del agua prácticamente no tuvieron evolución significativa, siendo el abatimiento medio de 3 m.

El cambio de almacenamiento correspondiente, se calculó cubicando el volumen del acuífero vaciado durante el periodo de 10 años, con un coeficiente de almacenamiento medio de 0.05.

EVOLUCIÓN	ÁREA Km ²	ABATIMIENTO PROMEDIO	VOLUMEN ANUAL hm ³
6 – 12	225.00	5.00	1,125.0
0 – 3	505.43	1.25	631.787
		SUMAS	1,56.787

$$1,756.787/10 \times 0.05 = 8.783 \text{ hm}^3/\text{año}$$

ECUACIÓN DE BALANCE

$$\begin{array}{l} \text{RECARGA TOTAL} \\ \text{(SUMA DE} \\ \text{ENTRADAS)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{CAMBIO DE} \\ \text{ALMACENAMIENTO} \\ \text{DE LA UNIDAD} \\ \text{HIDROGEOLÓGICA} \end{array} + \begin{array}{l} \text{DESCARGA} \\ \text{TOTAL} \\ \text{(SUMA DE} \\ \text{SALIDAS)} \end{array}$$

Entradas

$$R_v = ?$$

$$R_{rr} = 8.40 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Salidas:

$$S_m = 0.11 \text{ hm}^3/\text{año}$$

$$S_b = 37.377 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Cambio de Almacenamiento:

$$\Delta V = -8.783 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Aplicando la ecuación de balance:

$$\begin{aligned} R_v + R_{rr} &= \Delta v + (S_m + S_b) \\ R_v + 8.40 &= -8.783 + (0.11 + 37.377) \end{aligned}$$

Despejando R_v , se tiene:

$$\begin{aligned} R_v &= -8.783 + 0.11 + 37.377 - 8.40 \\ R_v &= 20.304 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad del agua subterránea, se aplica el procedimiento indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece la expresión siguiente:

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

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, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida, que para el acuífero Pastor Ortiz-La Piedad es de **28.7 hm³/año**.

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 acuífero Pastor Ortiz-La Piedad la descarga natural comprometida es de **0.1 hm³/año**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **116,589,452 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 de Agua Subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, conforme a la metodología indicada en la norma referida, se obtiene de restar el volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas:

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 28.7 - 0.1 - 116.589452 \\ \text{DMA} &= -87.989452 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **87,989,452 m³ anuales**.