

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Jalpa-Juchipila (3209),
Estado de Zacatecas***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación
20 de abril de 2015*

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

DXLVII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					

ESTADO DE ZACATECAS

3209	JALPA-JUCHIPILA	72.9	9.9	58.436577	38.3	4.563423	0.000000
------	-----------------	------	-----	-----------	------	----------	----------

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.



Comisión Nacional del Agua

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos

**DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD
DE AGUA EN EL ACUÍFERO
JALPA-JUCHIPILA,
ESTADO DE ZACATECAS**

CONTENIDO

		Página
1.	GENERALIDADES.....	2
	Antecedentes.....	2
1.1.	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	4
2.	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	6
3.	FISIOGRAFÍA.....	7
3.1	Provincia fisiográfica.....	7
3.2	Clima.....	7
3.3	Hidrografía.....	8
3.4	Geomorfología.....	9
4.	GEOLOGÍA.....	10
4.1	Estratigrafía.....	11
4.2	Geología estructural.....	13
4.3	Geología del subsuelo.....	13
5.	HIDROGEOLOGÍA.....	14
5.1	Tipo de acuífero.....	14
5.2	Parámetros hidráulicos.....	14
5.3	Piezometría.....	15
5.4	Comportamiento hidráulico.....	16
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	16
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	16
5.4.3	Evolución del nivel estático.....	17
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	17
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	19
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	20
7.1	Periodo y área de balance.....	21
7.2	Entradas y salidas por flujo horizontal.....	21
7.3	Recarga vertical.....	23
7.4	Infiltración en áreas de riego.....	23
7.5	Extracción por Bombeo.....	24
7.6	Evapotranspiración real.....	24
7.7	Descarga de manantiales.....	24
7.8	Cambio de almacenamiento.....	25
7.9	Solución de la Ecuación de Balance.....	25
8.	DISPONIBILIDAD.....	26
8.1	Recarga total media anual.....	26
8.2	Descarga natural comprometida.....	26
8.3	Rendimiento permanente.....	26
8.4	Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	27
8.5	Disponibilidad de aguas subterráneas.....	27
9.	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	28

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 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 (REPGA).

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 REPGA. La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, para 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 área del acuífero se localiza en la porción sur del estado de Zacatecas, dentro de la Región Hidrológica del Río Lerma-Santiago; se encuentra comprendida dentro de las coordenadas geográficas 21° 03' 00" de latitud norte y 102° 37' y 103° 29' 00" de longitud oeste; abarcando una superficie aproximada de 4,069 km² (Figura No. 1).

Dicha zona queda enmarcada totalmente en los municipios de Apozol, Huanusco, Jalpa, Juchipila, Mezquital del Oro, Moyahua, Tabasco y fracciones de los municipios de Joaquín Amaro, García de la Cadena, Nochistlán, Tepechtlán, Teúl de González Ortega, Tlaltenango y Villanueva. El área queda comprendida dentro de las cartas topográficas del INEGI escala 1:50,000 con las claves F13-B77 (Villanueva), F13-B78 (Cd. Cuauhtémoc), F13-B87 (Presa El Chique), F13-D17 (Calvillo), F13-D26 (Tepechtlán), F13-D27 (Jalpa), F13-D36 (Juchipila) y F13-D46 (Las Cruces).

Las principales vías de comunicación con que cuenta la región son la carretera federal N°. 54, que comunica a las ciudades de Guadalajara con Zacatecas la cual atraviesa de sur a norte toda el área, misma que pasa por los dos poblados más importantes de la región, que son Jalpa y Juchipila; de esta carretera parte un gran número de caminos secundarios que comunican al resto de las comunidades de la zona.

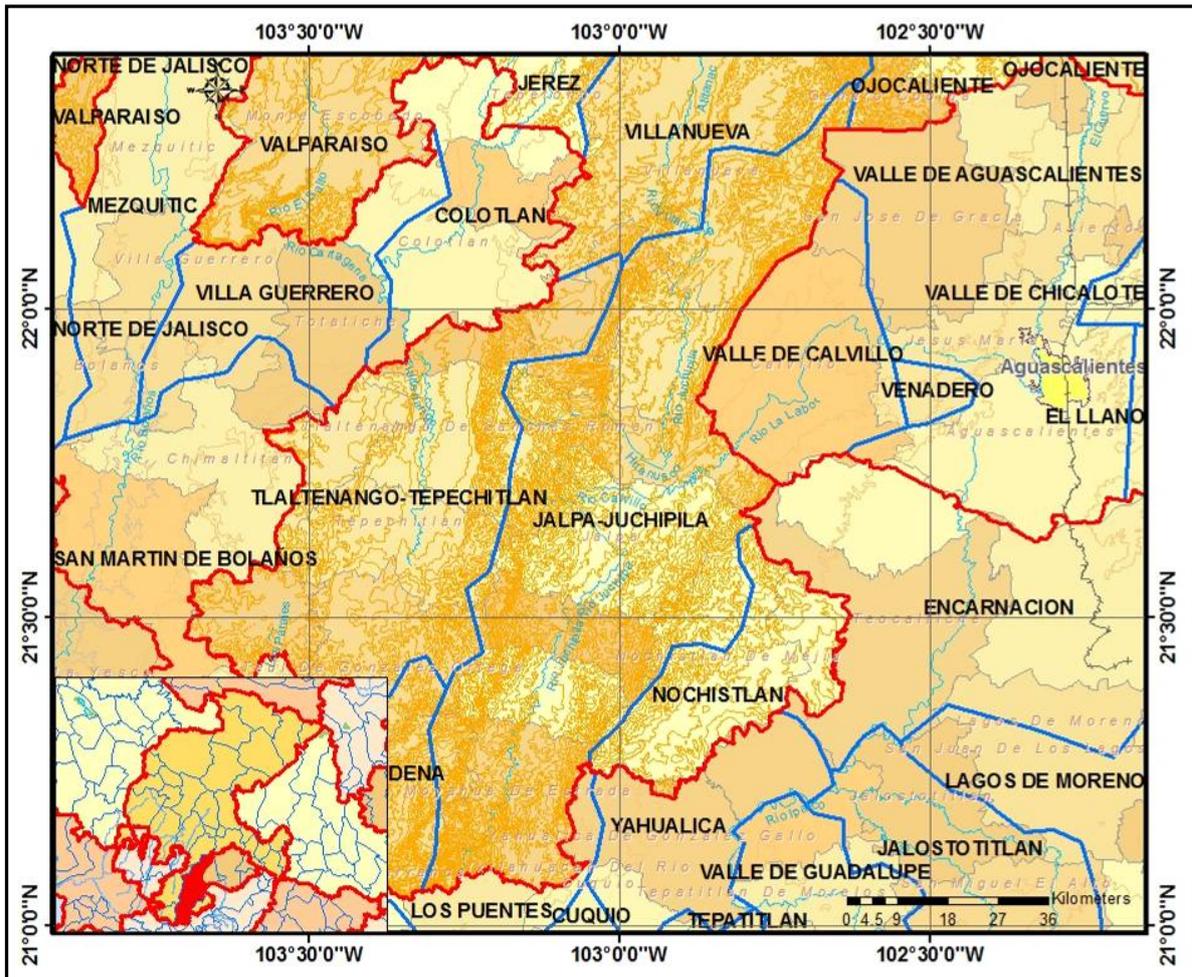


Figura 1. Localización del acuífero

En el Municipio de Jalpa, la actividad económicamente más fuerte es la agricultura, donde 38,309 hectáreas se cultivan con maíz, frijol, trigo, avena y cebada forrajera en el ciclo, primavera-verano, así como una importante producción de guayaba que ha alcanzado el tercer lugar a nivel nacional de producción, así como también durazno, aguacate y alfalfa forrajera. En cuanto a la ganadería es un rubro importante para este municipio, ya que la superficie ganadera es de 21,081 ha. La industria también tiene importancia en este municipio ya que en estos últimos años la balconería y el trabajo de tubos de lámina ha cobrado gran importancia, a parte de las talabarterías, fábrica de blocks y tubos de concreto, panaderías, tortillerías, fábrica de helados y paletas.

En el Municipio de Juchipila, la agricultura sigue siendo la principal actividad para el sustento familiar, esencialmente es de temporal ya que de riego sólo en los márgenes del río Juchipila, el total de superficie cosechada durante el año 2000 fue de 3,281 hectáreas. Los principales cultivos fueron en el ciclo de primavera – verano cacahuate, frijol, maíz, sorgo forrajero, sorgo grano, y en el de otoño – invierno avena forrajera, trébol forrajero. Los cultivos perennes fueron agave tequilero, aguacate, alfalfa verde, caña de azúcar, guayaba, lima y sábila. La Ganadería no es significativa, pues los ganaderos lo hacen a pequeña escala, no existiendo en esta localidad ni establos lecheros ni granjas porcinas, solamente una avícola. En cuanto a la industria existe la balconería, carpintería, fábrica de mosaicos, ladrillos, panadería, piloncillo y paletas. En relación con el turismo no hay atractivos turísticos relevantes, únicamente las ruinas del poblado llamado Las Ventanas que no han sido exploradas por falta de interés. El comercio local cuenta con una diversidad de tiendas

de ropa, mueblerías, zapaterías, alimentos, ferreterías, materiales para la construcción, papelerías y otros negocios.

Las coordenadas de la poligonal simplificada que delimita el acuífero se presentan en la tabla No. 1.

ACUIFERO 3209 JALPA-JUCHIPILA

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	102	48	26.4	21	35	36.0	
2	102	47	5.5	21	33	8.4	
3	102	48	11.0	21	28	48.9	
4	102	49	41.8	21	26	37.4	
5	102	52	9.9	21	27	25.8	
6	102	54	50.2	21	27	9.2	
7	102	55	56.7	21	24	27.4	
8	102	58	53.6	21	21	13.8	
9	102	59	48.0	21	19	40.1	
10	103	2	52.5	21	16	47.8	
11	103	2	51.2	21	15	50.5	DEL 11 AL 12 POR EL LIMITE ESTATAL
12	103	19	8.2	21	3	16.4	
13	103	17	47.1	21	6	51.7	
14	103	17	27.1	21	12	6.2	
15	103	18	29.6	21	19	3.6	
16	103	16	42.2	21	23	4.5	
17	103	15	54.3	21	24	52.0	
18	103	13	15.4	21	26	32.8	
19	103	14	45.3	21	32	45.5	
20	103	12	38.7	21	34	28.6	
21	103	10	49.4	21	41	2.6	
22	103	10	30.1	21	44	23.3	
23	103	9	24.0	21	48	23.8	
24	103	11	14.2	21	51	51.3	
25	103	10	23.9	21	54	47.3	
26	103	3	13.4	21	55	44.7	
27	103	0	45.7	22	0	58.4	
28	102	59	41.8	22	4	19.1	
29	102	57	43.0	22	6	50.9	
30	102	52	5.3	22	7	52.9	
31	102	51	9.3	22	15	28.2	
32	102	49	2.6	22	15	51.0	
33	102	44	47.7	22	15	3.8	
34	102	41	44.8	22	17	14.5	
35	102	39	26.5	22	20	35.2	
36	102	37	49.9	22	22	2.2	
37	102	36	58.6	22	21	53.0	
38	102	37	58.4	22	17	29.7	DEL 38 AL 39 POR EL LIMITE ESTATAL
39	102	39	8.9	22	12	31.9	DEL 39 AL 40 POR EL LIMITE ESTATAL
40	102	44	44.2	21	43	10.8	DEL 40 AL 41 POR EL LIMITE ESTATAL
41	102	46	55.5	21	38	52.3	
42	102	47	27.6	21	38	51.8	
43	102	48	31.1	21	38	9.4	
1	102	48	26.4	21	35	36.0	

Tabla 1. Coordenadas que definen al área del acuífero

1.2 Situación Administrativa del Acuífero.

El acuífero Jalpa-Juchipila pertenece a la Región Hidrológica-Administrativa VIII Lerma Santiago Pacífico y está sujeto a las disposiciones del Decreto de Veda tipo III "Resto del Estado", publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 5 de agosto de 1988. Por medio de este ordenamiento se declara de interés público por el Ejecutivo Federal, la conservación de las aguas del subsuelo, en las zonas no vedadas de los municipios del estado de Zacatecas, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para uso doméstico, industrial, de riego y otros, y establece que: *"únicamente en los casos en que de los estudios relativos se concluya que no se causarán los perjuicios que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse"*, así mismo: *"excepto cuando se trate de extracciones para uso doméstico y de abrevadero que se realicen por medios manuales,*

desde la vigencia del decreto nadie podrá ejecutar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada sin contar con la autorización” de la autoridad del agua.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2007), la Zona de Disponibilidad que corresponde a cada uno de los municipio que comprende el acuífero: el municipio de Joaquín Amaro se encuentra en la zona de disponibilidad 5; Tepechitlán en la zona 6, Tabasco, Villanueva, Tlaltenango, Apozol, Huanusco, Juchipila, Jalpa y Moyahua pertenecen a la zona 7; mientras que Mezquital del Oro, García de la Cadena, Nochistlán, y Teúl de Gonzalez Ortega se encuentra en la zona de disponibilidad 8. El principal uso del agua es agrícola, le sigue en importancia el público urbano.

El distrito de riego 034 del estado de Zacatecas, está conformado por seis presas de almacenamiento con sus respectivas zonas de riego, dos de éstas se localizan en el sur del estado, sobre el Río Juchipila, dentro del acuífero de nuestro interés. Asimismo, el acuífero pertenece al Consejo de Cuenca del Río Santiago, sin embargo, aún no se establece un Comité Técnico de Aguas Subterráneas, COTAS.

Hacia la porción suroeste del acuífero, se localiza el área natural protegida, cuyo decreto del 3 de agosto de 1949 declara zonas protectoras federales y de repoblación las cuencas de alimentación de las obras de irrigación de los Distritos Nacionales de Riego y, se establece una veda total e indefinida en los montes ubicados dentro de dichas Cuencas.

El 7 de noviembre de 2002, se publica en el Diario Oficial de la Federación el Acuerdo por el que se recategorizan como áreas de protección de recursos naturales, los territorios a que se refiere el Decreto Presidencial de fecha 8 de junio de 1949 publicado el 3 de agosto del mismo año. Dentro de las consideraciones más importantes se encuentran:

III. Que la deforestación, degradación ecológica y el cambio de uso del suelo forestal para actividades agropecuarias, representan hoy en día una amenaza para la persistencia de los ecosistemas y la biodiversidad, en particular de especies endémicas y prioritarias, así como para el mantenimiento de procesos ecológicos que generan servicios ambientales, como la recarga de mantos acuíferos, el reciclado de nutrientes, conservación del suelo y captura de carbono.

V. Que en tratándose de las reservas forestales, reservas forestales nacionales, zonas protectoras forestales, zonas de restauración y propagación forestal y las zonas de protección de ríos, manantiales, depósitos y en general, fuentes para el abastecimiento de agua para el servicio de las poblaciones, de conformidad con lo previsto por el artículo octavo transitorio del Decreto a que se refiere el considerando anterior, corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales realizar los estudios y análisis que sean necesarios para determinar si las condiciones que dieron lugar a su establecimiento no se han modificado y si los propósitos previstos en el instrumento mediante el cual se declaró su constitución, corresponden a los objetivos y características señalados en los artículos 45 y 53 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

VI. Que por estimarse necesario, en bien de la agricultura nacional y para tomar las medidas de protección indispensables para que en los distritos de riego que ha creado el Gobierno Federal se mitiguen adecuadamente las amenazas que constituyen, para sus obras, los acarros de detritus por las aguas, ocasionados por la erosión de los suelos de las cuencas hidrológicas respectivas, así como la reducción en la recarga de los mantos acuíferos, mediante Decreto Presidencial de fecha 8 de junio de 1949, publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el día 3 de agosto de ese mismo año, se declararon Zonas Protectoras Forestales y de Repoblación los terrenos que conforman las cuencas de alimentación de las obras de irrigación de los Distritos Nacionales de Riego.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.

Los estudios de carácter geohidrológico realizados en la zona, son los siguientes:

- Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en las zonas de Tlaltenango – Juchipila, estado de Zacatecas, SARH, 1980.

El estudio consistió en un reconocimiento de la zona, un inventario de aprovechamientos de agua subterránea, así como verificaciones geológicas e hidrológicas; también se recolectaron muestras de agua para su análisis químico. La finalidad del estudio fue conocer el marco geológico, definir la calidad y distribución del agua subterránea y dictaminar sobre las condiciones geohidrológicas.

- Reactivación de la red de monitoreo piezométrico en el acuífero de Jalpa–Juchipila, Comisión Nacional del Agua, 2004.

El estudio plantea el diseño de la red piezométrica del acuífero, en donde fueron analizados los datos de profundidad del nivel estático de 24 pozos. Se encontró que el nivel estático se encontraba a poco menos de 20 metros de profundidad a lo largo del cauce del río a la altura del poblado de Jalpa, a partir de donde el nivel se profundiza hacia los flancos del valle para llegar a alcanzar 40 metros de profundidad sobre la margen izquierda del río, y hasta 100 metros de profundidad sobre la margen derecha o sea hacia el noroeste del Río Juchipila. Alrededor del poblado Juchipila, el nivel estático se encuentra a poco menos de 20 metros de profundidad, en las cercanías del cauce del río, y se incrementa a hasta 80 metros en la margen izquierda del mismo. Se presenta la configuración de elevación del nivel estático para el año 2004. No se pudo realizar la configuración de la evolución por carecer de datos.

- Actualización hidrogeológica del acuífero Jalpa-Juchipila en Zacatecas, Comisión Nacional del Agua, 2005.

El objetivo general del estudio fue actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas para establecer un diagnóstico de la evolución de los niveles del agua y contar con la información geohidrológica necesaria para determinar la recarga media anual del agua subterránea. El estudio consistió en actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas que gobiernan la ocurrencia del agua subterránea en la zona, llevar a cabo el censo de captaciones de agua subterránea, obtener los valores de los parámetros físicos e hidráulicos regionales que rigen el movimiento del agua en el subsuelo, como son: conductividad hidráulica, espesor del acuífero, transmisividad y coeficiente de almacenamiento, que describan satisfactoriamente el comportamiento histórico y actual del recurso subterráneo, actualizar el modelo hidrogeológico y la caracterización hidrogeoquímica, determinar el volumen de extracción de aguas subterráneas para los diferentes usos, así como cuantificar la magnitud de los componentes de la recarga natural, inducida y artificial, elaborar el balance hidrometeorológico de la subcuenca y de aguas subterráneas del acuífero. En los recorridos realizados se visitaron un total de 400 aprovechamientos. La configuración de elevación del nivel estático permitió definir que en general las zonas de recarga se localizan hacia las partes oriente y poniente del valle y que al llegar a éste, su flujo es hacia el suroeste, siguiendo la dirección del río Juchipila. Por otro lado, no se aprecia la formación de conos de abatimiento importantes que indiquen una extracción excesiva del recurso. Se establece que no hay sobreexplotación en el acuífero. Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento.

3. FISIOGRAFÍA.

3.1. Provincia Fisiográfica

El área pertenece a la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental (Raisz, 1964), que se desarrolla en una longitud de cerca de 2,500 km en la porción poniente de la República Mexicana y se caracteriza por presentar sierras, valles y depresiones orientados sensiblemente NNE—SSW. Las depresiones definen profundidades mínimas de 500 m con respecto a las cimas planas de las sierras que las confinan, donde se desarrollan extensos bosques, ocurriendo ríos en el fondo de ellas cuyos regímenes son perennes, en aquellos que se ubican en la vertiente del Pacífico.

3.2. Clima

La zona se localiza sobre la cuenca del río Juchipila. De acuerdo con el sistema de Thornthwaite, el clima de la región se puede clasificar como (Dd-B4a') seco con pequeña demasía de agua estival, y cálido con baja concentración de calor en el verano, resultando un clima continental influenciado por el relieve de las montañas marginales, de suelos áridos y vegetación esteparia, cálido con oscilaciones térmicas muy marcadas, con tendencia a moderado, subseco y de regular precipitación.

En la zona existen estaciones climatológicas operadas por la Comisión Nacional del Agua. Para el análisis climatológico, se utilizaron datos mensuales de temperatura, precipitación pluvial y evapotranspiración, las estaciones utilizadas fueron seleccionadas por la longitud de su serie de datos, así como por la calidad de la información. En general se cubre el período de 1961 al 2004; sin embargo, no en todos los casos fue posible debido a la inexistencia de registros y periodos de operación de las estaciones. Entre los métodos de estimación de datos faltantes se utilizó la media aritmética y ceros para días ubicados fuera de temporada de lluvias.

Debido a la distribución espacial del acuífero, se ha considerado conveniente seleccionar tres estaciones representativas de la climatología (norte, centro y sur del acuífero). Se consideraron los registros meteorológicos de las estaciones: P. El Chique al norte de la zona; Tecomate, situada junto a la presa Achoquen al centro de la zona; y de la estación Juchipila en la zona baja del acuífero. A continuación se presentan las características climáticas de la región.

Precipitación media anual

Puesto que la variación espacial de las estaciones es muy disimilar geográficamente, se utilizarán los promedios anuales de tres estaciones representativas en la zona norte, centro y sur del acuífero.

La precipitación promedio anual en la cuenca es de 537.12 mm aproximadamente, ligeramente menor que la media nacional (777 mm). El comportamiento de la precipitación promedio a nivel mensual de la región, muestra que el 89% de la lluvia se concentra en los meses de junio a octubre, definido como la época de lluvias; la mayor precipitación se registra en el mes de julio y la mínima corresponde al mes de marzo.

La región presenta gran variación topográfica desde su parte norte, casi plana hasta 174 km al sur, donde se ubican los cañones con un desnivel de 600 m aproximadamente. No obstante la variación topográfica de la región, el comportamiento de la precipitación mensual a lo largo del año medio es muy similar, aunque se registran pequeñas variaciones en la precipitación, que aumentan desde la Presa Adame y en dirección Norte-Sur hasta la Estación Moyahua; coincidiendo con el comportamiento regional.

Temperatura media anual

La temperatura promedio mensual en la zona es de 20.4° C, con variación media hasta de 4.5° C de enero a junio. En junio se presenta la mayor temperatura (25° C), para luego descender de nuevo a 15° C, en enero. Las temperaturas extremas anuales corresponden a la estación Jalpa, en donde se han registrado máximas extraordinarias de 49°C y -6.5° C. En general a nivel mensual la temperatura tiene medias máximas próximas a 29° C y mínimas medias de 10° C.

Evaporación potencial media anual

La evaporación potencial media mensual en la región es de 184 mm (anual acumulada de 2,201 mm), con variación de hasta -36% en el mes de diciembre (116.8 mm) a +56% en mayo cuando se presenta en promedio la evaporación mayor durante el año (287 mm).

Se observa también que las máximas evaporaciones se presentan principalmente en cuatro meses del año, que corresponden a los meses de marzo a junio. En este periodo se presentan evaporaciones por encima de la media y en promedio ocurre el 44% de la evaporación total. El comportamiento es similar a lo largo de toda la zona hidrogeológica. Las estaciones El Chique y Juchipila presentan evaporaciones medias de 192 mm, ligeramente mayor a la media de la zona; pero en la estación Moyahua se presentan las mayores variaciones en la evaporación respecto a su media local.

3.3. Hidrografía.

El río más importante en el área es el río Juchipila, que nace en la zona centro-sur del Estado de Zacatecas y desemboca en el río Grande de Santiago, Estado de Jalisco. En su recorrido de norte a sur, en su paso por el acuífero, atraviesa los municipios de Villanueva, Tabasco, Huanusco, Jalpa, Apozol, Juchipila, Moyahua y Mezquital del Oro, antes de entrar al estado de Jalisco. Su longitud estimada es de 250 km, recorre sus primeros 232 km con dirección sureste y sólo en los últimos 18 km cambia de rumbo hacia el oeste. El río nace a una altitud de 2,600 msnm y se une al río Santiago a los 800 msnm, por lo que su pendiente media es de 0.72%. Tiene un área de aportación de 8,552 km² y sus afluentes principales son los ríos Tabasco y Calvillo.

El río Juchipila funciona como colector principal a lo largo del acuífero y es alimentado por corrientes intermitentes, manantiales y arroyos entre los que destacan los arroyos de: San Nicolás, Clavellinas, El Rodeo, el Aguacate y el Teto entre otros. En el año 2003 se efectuó el encauzamiento del Río Juchipila, a la altura de la cabecera municipal, lo que ha permitido reducir las probabilidades de desbordamiento, antes muy comunes en la zona. Más abajo en el municipio de Villanueva, se incorporan al río Juchipila, los ríos Palomas, Zapoque y el Uncidero, que drenan la vertiente NW de la Pequeña Sierra Fría, que separa a Zacatecas del estado de Aguascalientes. En esta región se forma el río Calvillo que además drena las aguas de las sierra de Tlachichila y El Laurel, para finalmente desembocar en el río Juchipila. A partir de esta conjunción se forma el conocido Cañón del Juchipila. En esta región se amplía la cuenca del Juchipila y del acuífero hacia el oriente, aumentando también la influencia de la precipitación.

En la superficie del acuífero Jalpa-Juchipila, existen presas y bordos de importancia para la región que en su conjunto tienen una capacidad de almacenamiento de 211.40 Mm³ (ver Tabla 2). En su mayor parte las presas se utilizan para riego agrícola, principalmente por sistema de gravedad a través de canales y en algunos sitios por medio de bombas. El arroyo Malpaso y el río Palomas son afluentes del río Villanueva, el cual es controlado por las presas Tayahua (38 Mm³) y El Chique (140 Mm³) y toma el nombre de río Juchipila. A la altura de la ciudad de Jalpa, se incorpora el río Calvillo, y de nuevo el río Juchipila es

retenido, esta vez por la presa Achoquen (10 Mm³). De ahí toma dirección Norte-Sur hasta las cercanías de la ciudad de Juchipila, para dirigirse ligeramente al oeste donde se le incorpora el Arroyo Mezquital y finalmente desembocar en el río Grande de Santiago en el estado de Jalisco.

La cuenca del río Juchipila (J) es parte de la Región Hidrológica 12 Cuenca del Río Santiago, y forma parte de las subcuencas Zapoqui (F), Calvillo (E) y Juchipila Moyahua (C). El gasto máximo que se ha presentado en el río Juchipila y del que se tenga dato, ha sido de 830 m³/s y fue registrado en la estación hidrométrica “El Tecomate” en el año 1991. La densidad de drenaje de la zona es de 0.29318 corriente/km y la densidad de superficie de 0.0237 corriente/km.

NOMBRE OFICIAL	MUNICIPIO	CORRIENTE	CAPACIDAD Mm ³	LATITUD (°)	LONGITUD (°)
El Chique	Tabasco	R. Juchipila	139.95	21.990	-102.896
Ing. Julián Adame A. (Tayahua)	Villanueva	R. Juchipila	38.0	22.120	-102.863
Achoquen	Apozol	A. San Nicolás	15.5	21.523	-103.066
Ing. Adolfo Uribe Alba (Chihuahua)	Apozol	A. Clavellinas	6.0	21.491	-103.119
Santa Juana (Liberalismo Social)	Jalpa	A. El Rodeo	2.5	21.648	-102.922
Ing. Alfredo Ramírez M. (Huiscolco)	Tabasco	A. El Aguacate	2.5	21.921	-102.948
Ateto (San Agustín)	Apozol	A. El Teto	2.0	21.484	-103.085
San Nicolás	Apozol	A. El Viejo	1.0	21.532	-103.061
Tepezalá	Jalpa	A. Tepezalá	1.0	21.649	-103.045
San Miguel (los Luna)	Apozol	A. Los Luna	0.9	21.501	-103.100
El Soyate	Joaquín Amaro	Laguna	0.8	22.119	-102.835
El Brinco	Jalpa	A. El Tuitán	0.75	21.649	-102.946
Amoxochitl (A. Amoxochitl)	Juchipila	A. Amoxochitl	0.5	21.3877	-103.083

Tabla No. 2. Principales presas y bordos en la zona.

3.4. Geomorfología.

El área se localiza en una depresión conocida como “Cañón de Juchipila”, que toma el nombre de la población que se localiza en su porción centro-sur, al igual que la sierra donde se originan los primeros escurrimientos que forman el río, la cual se encuentra a unos 20 km al sur de la Ciudad de Zacatecas. Está caracterizada por ser una región montañosa, que presenta una morfología de sierras con cimas aplanadas y barrancas con profundidades de hasta 1,000 metros, que en conjunto observan una orientación N NW-S SW.

La longitud de la corriente es de aproximadamente 160 km, y en los primeros 140 km conserva el sentido N NE—S SW de su curso, el que se inflexiona al oeste franco en los últimos 20 km, antes de integrarse al Río Grande de Santiago, que fluye de Este a Oeste, siguiendo los lineamientos regionales predominantes de la Provincia Fisiográfica Eje Neovolcánico en la cual se localiza. En la confluencia con el Río Grande, el río tiene un desnivel de aproximadamente 1000 m con respecto a su cabecera, que define una altitud del orden de 2,200 msnm en la Sierra de Juchipila.

En las porciones de mayor desarrollo la amplitud del cañón varía de 4 a 8 km, como al sur de Tabasco, Norte de Jalpa y entre las poblaciones de Apozol y Juchipila; a diferencia de ello, la menor anchura, de unas cuantas decenas de metros, la define en los últimos 20 km de su curso, donde sí presenta el rasgo fisiográfico de un cañón. Es precisamente en las porciones de mayor amplitud donde el Río Juchipila ha desarrollado pequeñas llanuras de inundación de hasta unos 50 a 100 m, a uno y otro lado de su cauce, por donde éste divaga. A las llanuras, le suceden lomeríos de cimas un tanto aplanadas que se alcanzan hasta unos

100 m arriba de ellas, los que dan paso a frentes de alta pendiente (entre 20 y 25%) que culminan en mesetas que se elevan unos 500 a 700 m arriba del cauce del Río Juchipila. Las Mesetas alineadas constituyen la cima de la Sierra de Morones en la margen derecha del Cañón y la Sierra de Nochistlán en su margen izquierda.

4. GEOLOGÍA.

La litología del área, está representada por rocas ígneas extrusivas e intrusivas así como sedimentarias continentales y lacustres (Figura No. 2). Las ígneas son de composición ácida, intermedia y básica. Las ácidas son de tipo explosivo, emitidas principalmente a través de aparatos volcánicos tipo caldera y corresponden principalmente a flujos de ignimbritas. Las de composición intermedia corresponden a andesitas, extravasadas como derrames a través de aparatos volcánicos ya erosionados y en algunos casos asociadas a las calderas. Las rocas básicas son de composición basáltica y sus derrames evidencian que fueron a través de fracturas. También se observan cuerpos intrusivos del tipo de diques de composición diorítica. Los afloramientos mas extensos son los de las ignimbritas y en algunas áreas como están profundamente erosionadas, formando grandes depresiones que originaron lagos, donde se depositaron calizas y lutitas; además de arcillas, areniscas y conglomerados, éstas dos últimas conteniendo gran cantidad de finos.

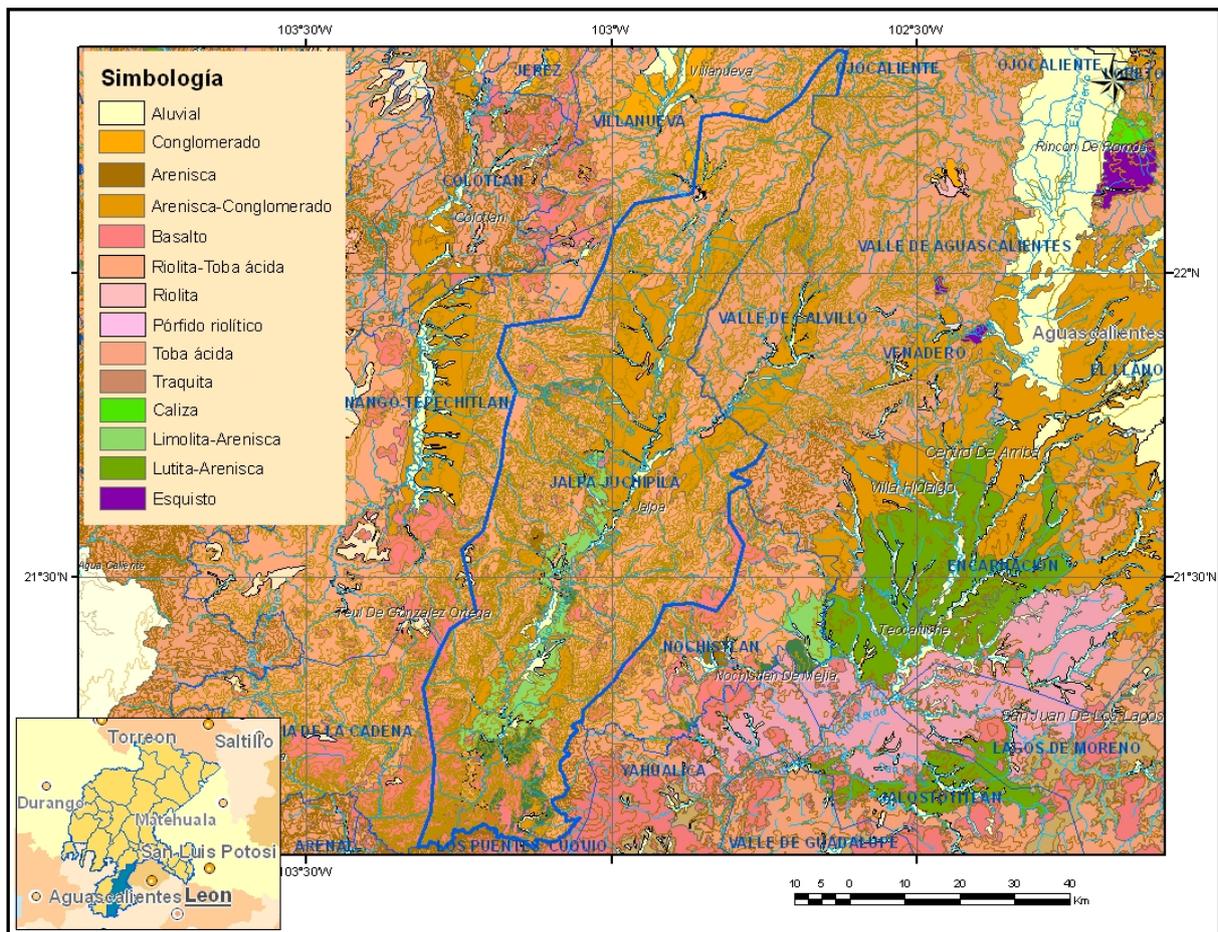


Figura No. 2. Mapa Geológico.

4.1 Estratigrafía.

Rocas ígneas: Andesitas (ToA).

Son derrames de andesitas de color gris medio a oscuro, con algunas intercalaciones de brechas y aglomerados. De textura tanto porfídica como afanítica y estructura compacta, con escasos sistemas de fracturas. A estas rocas se les ha asignado una edad del Eoceno-Oligoceno, de acuerdo al resultado de 48.1 ± 2.6 Ma., proporcionado por una determinación radiométrica practicada en una muestra obtenida en la Sierra Morones, cerca del Rancho Aréchiga, ubicado a unos 10 km al poniente del poblado de Jalpa. Sus afloramientos se ubican principalmente en la base de los altos de falla o pilares tectónicos de la Sierra Morones, que limita al cañón por su porción poniente. Los más septentrionales se definen al nor-poniente y poniente del poblado de Tabasco y poniente de Huanusco, donde se advierte al nor-poniente de Tabasco, un volcán al que están asociados los afloramientos de andesitas y en las otras dos localidades, dos aparatos volcánicos tipo caldera; otros de mayor extensión se localizan en la porción sur-poniente de la misma sierra, asociados también a pilares tectónicos y aparatos volcánicos; como es el caso del graben en el que el Río Mezquital ha labrado su cauce.

Afloramientos que abarcan superficies menores a 1 km^2 , se localizan al sur de Moyahua de Estrada y entre este poblado y Juchipila, en las estribaciones de la Sierra de Nochistlán, también al oriente del poblado de Apozol, donde es intrusionado por unos diques dioríticos. La importancia de estos afloramientos radica en que constituyen el basamento relativo de los acuíferos alojados en las ignimbritas.

Riolitas e ignimbritas (Tom TR, Tom Ig-R, Tom R-Ig).

Son depósitos derivados de flujos de piroclastos del tipo de nubes ardientes, por ello definen diferentes estructuras, texturas y composición, mismas que permiten poder ser diferenciadas en las 3 unidades en que se agruparon. La unidad Tom TR conforma la base de la secuencia y en ella predominan las tobas de constitución riolítica; la unidad Tom Ig- R, está compuesta principalmente por ignimbritas, esto es, rocas que presentan estructura compacta por solidificación de las partículas de lava que arrastró la explosión y se soldaron con los demás elementos, siendo estas rocas de composición principalmente dacítica, teniendo algunos derrames de composición riolítica. Por último, la unidad TomR-Ig, está constituida principalmente por derrames riolíticos e ignimbritas compactas, entre cuyos pseudo estratos se encuentran esporádicos derrames de basaltos.

Estas rocas presentan en conjunto una coloración rojiza, con tonos amarillentos y dan un aspecto fisiográfico de extensas mesetas profundamente disectadas, además de estar afectadas por diversos sistemas de fracturas y fallas. La edad que se les ha asignado va del Oligoceno Superior al Mioceno, de acuerdo a las determinaciones radiométricas realizadas en muestras de roca de esta unidad, que arrojaron las siguientes edades absolutas: 25.2 ± 2.2 Ma., 24.9 ± 2.7 Ma., y 23.7 ± 1.4 Ma. Las muestras fueron tomadas en el extremo sur de la Sierra Fría, unos 5 km al noreste de Juchipila. Los afloramientos de estas rocas constituyen las sierras de Morones al poniente y, Fría y Nochistlán al oriente. En la primera de ellas los afloramientos son principalmente de la unidad Tom TR, sobre las cuales yacen las otras unidades; afloran también en el interior de la depresión, al norte de Tabasco y entre los poblados de Huiscolo y Huanusco, así como al sur oriente de Jalpa, donde el río se encajona en estas rocas, y en la base de la porción occidental de la Sierra Fría, que limita al Graben de Calvillo por su ladera nor-oeste. En la Sierra Fría aflora principalmente la unidad TomR-Ig, en su porción poniente, así como en la Sierra de Nochistlán, donde dominan los afloramientos de estas rocas, cubiertas por los derrames de basaltos del Mioceno,

principalmente al sur de las sierras mencionadas. Los afloramientos de la unidad Tom Ig-R, se restringen a la porción norte de la Sierra Morones.

Derrames de basaltos. (TmB).

Son derrames emitidos durante el Mioceno Superior y corresponden a las primeras manifestaciones de la provincia geológica Eje Neovolcánico, con cuyo borde nor-central colinda el área del acuífero. En esta zona el volcanismo se manifestó tanto a través de aparatos volcánicos como por fracturas. Sus afloramientos constituyen una secuencia de brechas color gris oscuro y rojizo, de estructura compacta y fracturada; ocurren principalmente al sur del área en su colindancia con la provincia geológica mencionada, donde se encuentran varios aparatos volcánicos que derramaron grandes cantidades de lava que deben haber rellenado depresiones como la del Cañón de Juchipila, dando lugar a extensas mesetas que fueron disectadas por las corrientes superficiales, lo que originó profundos y estrechos cañones.

A medida que se adentra al área, los afloramientos de estas rocas se hacen menos frecuentes y de menor superficie, siendo prácticamente a la altura del poblado de Juchipila donde se localiza el último afloramiento de varios kilómetros de extensión de esta unidad; puesto que de este sitio hacia el norte, únicamente se localiza una exposición de unos 3 km² de extensión, en la parte central de la Sierra Morones, al W NW del poblado Huanusco.

Rocas sedimentarias:

Calizas y lutitas lacustres (Tpl cz-lu)

Las rocas lacustres están constituidas por un mudstone color gris claro a medio, en estratos delgados, con intercalaciones esporádicas de lutitas color gris verdoso y amarillento, mostrando las calizas algunos sistemas de fracturas y un echado persistente al noroeste, con inclinación máxima de 8°. Son cubiertas parcialmente por areniscas y un conglomerado arcilloso oligomíctico, de tonalidades rojizas y medianamente consolidado.

Los afloramientos de las rocas lacustres se distribuyen por todo el cañón de Juchipila, teniendo espesores máximos de 200 m (CRM, Carta geológica-minera de Aguascalientes), dando lugar a lomeríos de cimas aplanadas y pendientes bajas (máximo del 2%). El origen de los sedimentos lacustres es debido al cierre del Cañón en su extremo sur por los derrames de basalto del Mioceno Superior, formando una cuenca cerrada en la que se depositaron estas rocas.

Conglomerado oligomíctico (Tpl Cgo).

Los conglomerados afloran principalmente en la margen derecha del cañón, desde Tabasco hasta Jalpa, donde constituyen pequeñas lomas de cimas aplanadas; ampliando sus exposiciones al sur de este último poblado, donde ocupan casi todo el ancho del cañón; hacia el extremo sur afloran en reducidas extensiones.

El hecho de que el conglomerado aflore en casi toda la porción ubicada al poniente, sur y sur-oeste de la población de Jalpa, implica que en ésta parte es donde los depósitos lacustres alcanzan su mayor espesor, por el hecho de que no se han erosionado aún. Esta porción también es afectada por el fallamiento NE-SW que formó el Graben de Calvillo, por lo que también debe ser el área que observa mayor permeabilidad de la zona.

Depósitos de Aluvión (Qal).

Son acumulaciones de gravas arenas y limos mezclados en todas proporciones; se localizan en el fondo de la depresión, específicamente en las márgenes y lecho del Río Juchipila,

donde se distribuyen de tal manera que los más gruesos se ubican en el lecho del río, del cual constituyen el álveo y subálveo, siendo su espesores de un máximo de unos 5 m.

4.2 Geología Estructural.

El sistema de pilares y fosas tectónicas que se extiende desde el NW de Estados Unidos hasta el centro de México, ha afectado prácticamente a toda la Sierra Madre Occidental. Es el caso del cañón de Jalpa-Juchipila que se extiende por cientos de km, y pertenece al fallamiento regional "Cuencas y Sierras", asociado con el movimiento de placas litosféricas actuales. Bajo este fallamiento regional también se encuentran las fosas tectónicas de Calvillo y Tabasco, Zac asociadas a la Mega falla Aguascalientes –León (Mitre-Salazar et al., 1989), estudio basado en la observación de imágenes de satélite así como cartas geológicas de diferentes escalas de INEGI.

INEGI (SPP-DETENAL 1982) describe a la Región con un relieve abrupto representado por mesetas volcánicas piroclásticas intensamente disectadas y drenadas por corrientes dispuestas en patrones subparalelos, originados por el control estructural que ejercen las fallas y fracturas plio-cuaternarias sobre el drenaje; la apariencia general del relieve es interrumpida por valles de origen tectónico en los cuales se depositaron sedimentos lacustres y conglomeráticos, y en los que se reconoce un rejuvenecimiento evidenciado por la intensa erosión a que están sujetos dichos depósitos.

Estructuralmente se han reconocido fallas normales y fracturas, así como aparatos volcánicos con derrames asociados y extensas mesetas piroclásticas. Las fallas normales se presentan con una orientación norte-sur y conforman fosas tectónicas y escalonamientos estructurales. Las fracturas están dispuestas en dos orientaciones preferenciales de NW-SE y NE-SW y asume que son originadas por eventos distensivos comunes a toda la región.

La zona se puede caracterizar como una asociación de mesetas y valles; las mesetas son de origen volcánico intensamente disectadas y drenadas por corrientes dispuestas en patrones subparalelos originados por el control estructural que ejercen las fallas y fracturas plio-cuaternarias. Los valles son fosas tectónicas limitadas por fallas normales (grabens), rellenas parcialmente por materiales continentales clásticos, vulcanoclásticos y lacustres.

4.3 Geología del subsuelo.

Los cañones y barrancas de la porción sur occidental de la Sierra Madre Occidental, se originaron por la concentración de esfuerzos de tensión que dieron lugar a sistemas de fallas y fracturas que fracturaron las rocas y facilitaron la acción de los agentes erosivos. Estos sistemas de fracturas afectaron todo el espesor de las ignimbritas y les imprimieron permeabilidad secundaria, por lo que es evidente que tales zonas fracturadas se corresponden con las zonas de mayor permeabilidad en la región, y constituyen áreas por donde preferentemente circula y se acumula el agua subterránea, dando lugar a acuíferos. Estas rocas riolíticas fracturadas constituyen el acuífero de la región, de gran espesor que tiene como fronteras y barreras al flujo subterráneo a las rocas andesíticas. De igual manera, las rocas depositadas en el cañón, como son las calizas lutitas, areniscas y conglomerados areno-arcillosos, definen también, conjuntamente con los depósitos de los subálveos de los ríos y arroyos, acuíferos que en algunas zonas se encuentran en continuidad hidrogeológica con el acuífero de las ignimbritas. Al ser formados los cañones, particularmente el del área del acuífero, los acuíferos alojados en las ignimbritas quedaron mas cerca de la superficie y con mayor oportunidad de ser alcanzadas por perforaciones, que deben ser profundizadas para penetrar en él y elevar la productividad de la captación.

Las ignimbritas presentan un cierto arreglo en paquetes debido a las particularidades de sus depósitos: son rocas extrusionadas por efusiones de piroclastos, del tipo de nubes ardientes, cuyos componentes por tener diferentes pesos específicos, se depositaron con una cierta estratificación, los de mayor peso primero, aunque sin llegar a una clasificación por tamaños, puesto que arrastraban también a los menores, teniendo las capas fragmentos de todas dimensiones; mostrando algunas de ellas cierta compacidad por haber contenido lavas que posteriormente se solidificaron y otras están compuestas por material tobáceo arcillo-arenoso y lítico, éstas últimas al haber incorporado a rocas depositadas en los sitios sobre los que se asentaron las primeras efusiones. La persistencia en la extrusión de éstos tipos de rocas, generó una intercalación de “capas” con diferentes texturas y estructuras y por lo tanto con permeabilidades variables, aunque tienden a ser bajas por el contenido de finos (cenizas y lapilli).

5. HIDROGEOLOGÍA.

5.1 Tipo de acuífero

La evidencia de acuíferos en las ignimbritas y su carácter regional, es proporcionada por los pozos que se han perforado fuera de los rellenos del cañón, tanto en su extremo norte, en el área de Tayahua y Villanueva como en las localidades de Tabasco, Juchipila y Moyahua de Estrada, ésta última población localizada en el extremo sur. En todas esas localidades los pozos, del orden de 150 a 350 m de profundidad, muestran en sus cortes litoestratigráficos haber cortado las ignimbritas. El acuífero es libre pero en algunos sitios se presenta confinado por sedimentos arcillosos. Dentro del cañón, las ignimbritas con carácter acuífero yacen a diferentes profundidades, puesto que se encuentran desde 20 hasta poco más de 200 m. En el primero de los casos subyaciendo a tobas arcillosas en el pozo de agua potable del poblado Ciénega de Abajo, en el Municipio de Tabasco y, en el segundo debajo de 236 m de sedimentos granulares arcillo-arenosos, de acuerdo al corte del pozo de agua potable del poblado Jaralillo, también localizado en el anterior municipio.

De hecho, la mayoría de los pozos perforados en los lomeríos del cañón a profundidades mayores a los 200 m, ya deben de estar penetrando a las ignimbritas, puesto que algunas de las rocas granulares identificadas como arenas arcillosas y conglomeráticas, bien pueden pertenecer a la secuencia ígnea explosiva, como es fácil entender al analizar el corte litoestratigráfico del pozo Ciénega de Abajo, al cual se le identificó un espesor de 50 m de gravas y arenas empacadas en arcillas, intercalado con riolitas y tobas riolíticas, horizonte que debe pertenecer a una toba lítica arcillosa. La existencia de galerías filtrantes en varios sitios del río, evidencian la existencia de un acuífero en el subálveo, el cual debe de presentar mayor potencialidad en las zonas donde la planicie aluvial se define más amplia. El funcionamiento hidrogeológico en la región es muy variado, debido a la heterogeneidad de las diferentes emisiones de rocas que afloran y a su grado o intensidad de fracturamiento; por lo anterior, sólo algunos de estos materiales son capaces de constituir buenos acuíferos.

5.2 Parámetros hidráulicos.

Debido al contenido de elementos finos en las rocas que conforman los acuíferos, sus parámetros hidráulicos son bajos, así lo confirman los caudales específicos de algunos pozos mostrados en la Tabla No. 3.

Los parámetros hidráulicos del acuífero, se obtuvieron a partir de los resultados de 6 pruebas de bombeo. Para el caso de la transmisividad (T), se tiene que los mayores valores se encontraron tanto en un pozo ubicado en la parte más al norte (pozo B-291), como en otro en la parte más al sur (pozo B-343), en donde se obtuvieron transmisividades de 252 y

2450 m²/día respectivamente, aunque éste último valor hay que tomarlo con las reservas del caso. En los demás sitios, los valores oscilaron entre 16 y 39 m²/día.

Pozo	Profundidad (m)	N.E.	N.D. (m)	Caudal (lps)	Caudal específico (lps/m)
Huiscolo-1	300	65	125	39	0.65
Ciénaga de Abajo	250	12	36	20	0.83
Juchipila-1	250	Brot.	34	38	1.11
Juchipila-2	250	Brot.	134.5	38	0.28
Juchipila-3	250	Brot.	128	8	0.06
Amoxóchitl	250	Brot.	50	2	0.04
El Remolino	250	Brot.	128	7.76	0.06
El Ranchito (Juchipila)	300	25.3	136	3.44	0.031
La Pitaya (S de Jalpa)	200	32	114	42.52	0.52
Guadalajarita-1	240	10	60	9	0.18
San José Huaracha (La Jabonera)	?	42	98	42	0.75
ETA-7 (Tabasco)	200	54.5	91.28	21.3	0.6
Tabasco (AP)	230	68	131.8	21.30	0.333
San José de Cosalima (Tabasco)	-----	76.55	85.3	26	3.0

Tabla 3. Características hidráulicas de los pozos de la zona

En cuanto a la permeabilidad, ésta se obtuvo partiendo de que:

$$T = k \cdot b,$$

siendo: T = trasmisividad; K = permeabilidad y b = espesor saturado

De esta manera, considerando la profundidad de cada uno de los pozos en donde se realizaron las pruebas de bombeo (ver Tabla No. 4), y despejando k para cada caso, se tiene:

Pozo	Nivel estático (m)	Profundidad total del pozo (m)	Espesor saturado (b en m)	Trasmisividad (T en m ² /día)	Permeabilidad (k en m/día)
CNA-B-291	27.00	130	103	232	2.2
CNA-B-189	47.38	170	123	146	1.19
CNA-B-30	124.37	210	86	33	0.38
CNA-B-114	38.92	150	111	27	0.24
CNA-B-315	85.72	200	114	14	0.12
CNA-B-343	5.58	90	84	2451	29.18

Tabla No. 4. Parámetros Hidráulicos de los pozos

5.3 Piezometría.

Los primeros datos relativos a la posición del nivel del agua fueron tomados durante el estudio del año de 1980. En el año 2004 se realizó el estudio denominado “Reactivación de redes de monitoreo piezométrico en el acuífero Jalpa-Juchipila”, cuyo objetivo fue establecer una red de monitoreo simplificada. La red piezométrica actual del acuífero la componen 24 pozos piloto.

Con los datos piezométricos obtenidos se hizo una selección de ellos para realizar las configuraciones de profundidad y elevación del nivel estático, la evolución del nivel estático se tomó en relación a la piezometría existente del año del 2004. Para obtener los dos primeros planos se interpolaron los valores de profundidad y elevación del nivel estático (N.E.) de cada obra seleccionada, para posteriormente trazar las curvas de igual profundidad o elevación (equipotenciales), según el caso.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático 2005

En general las mayores profundidades se localizan hacia los límites del valle con las sierras ubicadas al este y oeste de la zona, en donde los valores alcanzaron en algunos casos más de 100 m, lo cual evidentemente se asocia a la topografía. Las profundidades más someras se localizaron en las partes bajas del valle, en donde los valores alcanzaron menos de los 5 m (Figura No. 3). A nivel más local y describiendo su comportamiento desde las localidades del norte hacia el sur de la zona, entre Santiago y Tayahua las profundidades oscilan entre 10 y 40 m; cerca de Tabasco oscilan entre 10 y poco más de 20 m, en Jalpa varían de los 10 a los 100 m, mientras que en Juchipila varían de 5 a 10 m.

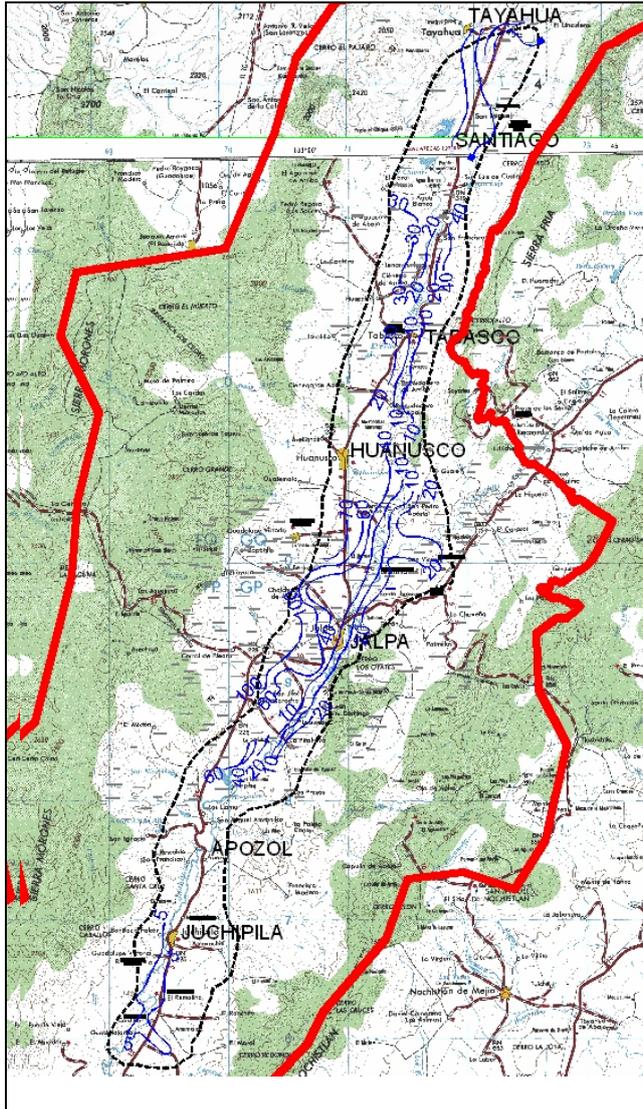


Figura 3. Profundidad al nivel Estático 2005

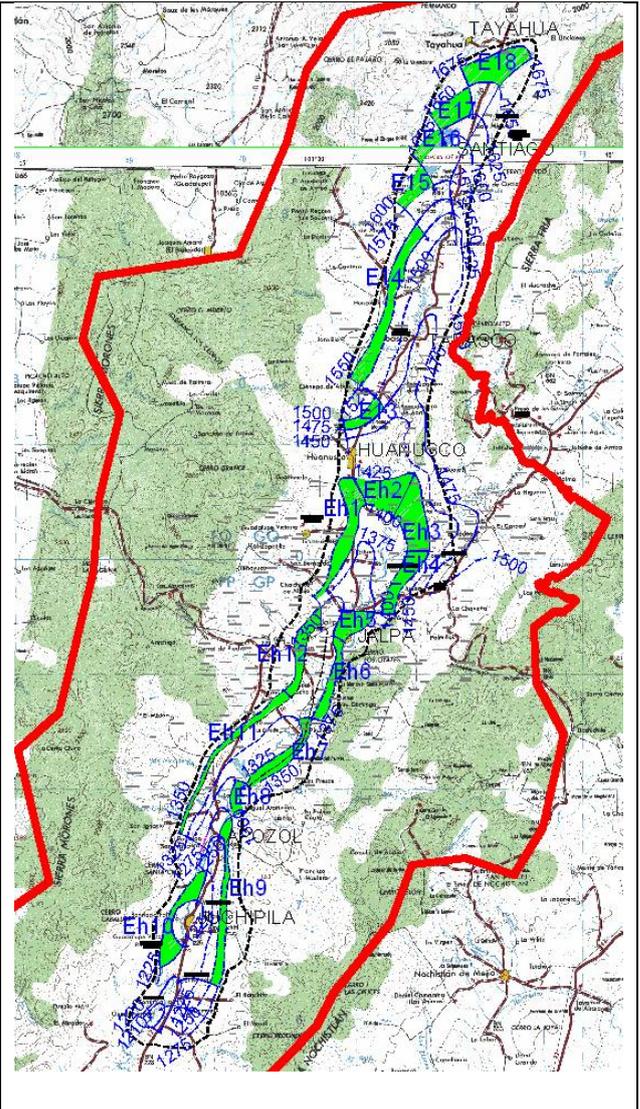


Figura 4. Elevación del nivel Estático 2005

5.4.2 Elevación del nivel estático 2005

La configuración de las curvas muestra que en general las zonas de recarga se localizan hacia las partes oriente y poniente del valle y que al llegar a éste, su flujo es hacia el suroeste, siguiendo la dirección del río Juchipila (Figura No. 4). Con excepción de la zona cercana a Juchipila, en donde se observa una deflexión de las equipotenciales debido a una concentración en la extracción, no se aprecia la formación de conos de abatimiento que

indiquen una extracción excesiva. La dirección preferencial del flujo subterráneo es del NE hacia el SW, en la misma dirección del escurrimiento del Río Juchipila.

5.4.3 Evolución del nivel estático

Aunque existen datos de piezometría recabados durante 1980, éstos tienen una menor distribución espacial y algunos tienen problemas de correlación con respecto a los registrados en el 2005. Por esta razón, se optó por utilizar los datos de 2004 y 2005 (Figura No. 5). En esta configuración se hacen presentes las pequeñas zonas de abatimientos que denotan, generalmente, que el agua subterránea que se explota es a costa del almacenamiento del acuífero (zona al sur de Juchipila); aparecen también varias zonas con valores positivos; estas deben corresponder a porciones donde se infiltran los retornos de las aguas aplicadas durante los riegos de las zonas agrícolas; aunque en general, la carencia de una adecuada cobertura piezométrica del año 2004 arroja evoluciones muy grandes, tanto negativas como positivas que indican que en esta configuración los valores mayores a ± 10 m habría que tomarlos con reserva.

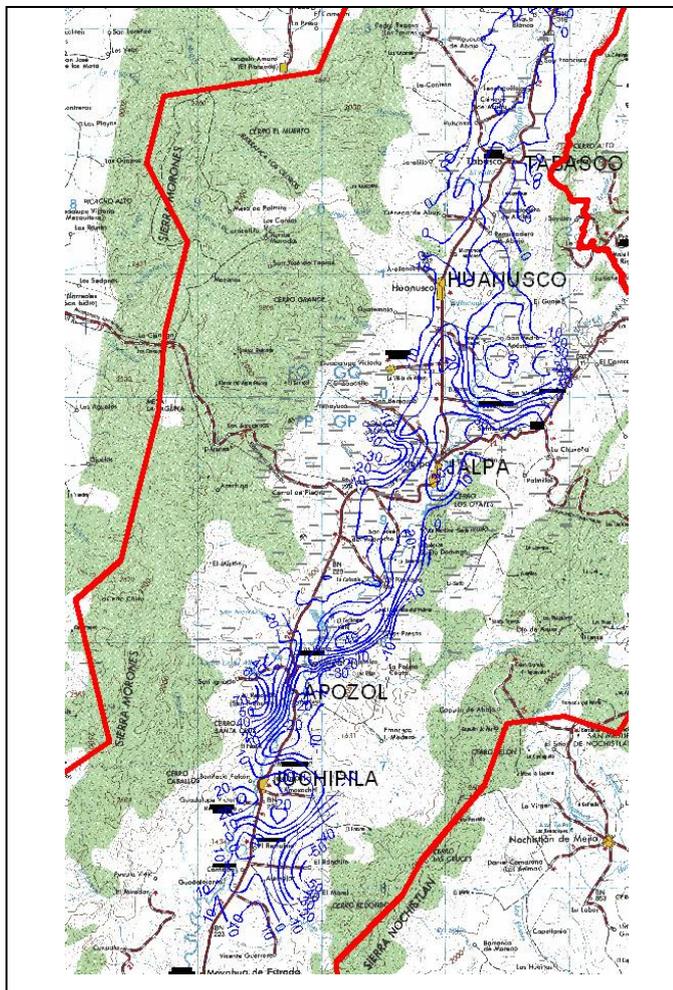


Figura 5 Evolución del nivel estático 2004 – 2005.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Durante el estudio del año 1977, se llevaron a cabo 87 análisis químicos de muestras de agua, distribuidas en toda el área del acuífero. De cada una de las muestras se llevó a cabo la determinación de los parámetros siguientes: calcio, magnesio, sodio potasio, bicarbonatos, carbonatos, cloruros, sulfatos, conductividad eléctrica, sólidos totales

disueltos, alcalinidad total, dureza total, dureza de calcio, dureza de magnesio y el potencial de hidrógeno.

Los estudios de carácter hidrogeoquímico en el Acuífero Jalpa - Juchipila se iniciaron en el año 1980, de éste trabajo se seleccionaron 19 sitios para su revisión y comparación. Los resultados indican el origen meteórico del agua subterránea en la mayoría de los casos. Las concentraciones de sólidos totales disueltos (STD) se reportaban por lo general entre 222 mg/l y 831 mg/l, con un promedio de 500 mg/l, la excepción es un pozo con concentraciones mayores a 1,000 mg/l en donde prevalecen aguas con exceso de yesos (prevaleciendo el Ca^{++} y el $\text{SO}_4=$). Las conclusiones del estudio mencionado indicaban que, aunque la información obtenida no era suficiente para hacer un diagnóstico aceptable, se establecía la existencia de una zona de recarga hacia la porción norte del área; por otro lado, se determinaba la presencia de dos tipos de agua: uno de carácter general bicarbonatadas sódicas (tipo II) y otro, bicarbonatadas cálcicas (Tipo I) hacia la porción sur.

Durante el estudio del año 2005, se definieron 15 sitios para su análisis físico-químico; la selección de los sitios se realizó para tratar de representar las diferentes condiciones hidrogeológicas del acuífero. En este muestreo se consideró apropiado contar con el análisis del agua que corre a lo largo del río Juchipila; así de las 15 muestras, tres corresponden al agua superficial: una en el norte, a la altura de la localidad de Tabasco, otra en el centro en la población de Jalpa y la más al sur, en la localidad de Juchipila.

Distribución de la salinidad

La salinidad del agua subterránea parece presentar, por lo general, una cierta evolución en su concentración de norte a sur, en sentido del cauce de las corrientes principales; es decir, hacia la porción norte, en las inmediaciones de la población de Tabasco, las concentraciones promedio de Sólidos Totales Disueltos (STD) son del orden de 317 mg/l, muy parecidas al agua del cauce del río Juchipila en esas latitudes. Hacia el centro del área en cambio, la salinidad presenta un pequeño incremento, su valor promedio llega apenas a 376 mg/l de STD (el agua del río en la localidad de Jalpa presenta 367 mg/l), sin embargo se tiene un rango entre 273 a 545 mg/l.

Al sur en cambio se observa un incremento, alcanzando un promedio de 553 mg/l, valor también similar al río en la localidad de Juchipila (530 mg/l). No obstante lo anterior, en otras ocasiones, la salinidad queda supeditada por una lado, a la elevación del aprovechamiento, así hacia las porciones altas se tienen bajas salinidades y por otro, a las condiciones locales en donde se tengan elementos altamente solubles como algunos yesos que se encuentran intercalados en el material lacustre.

Los valores de ambas épocas (1980 y 2005) no permiten establecer alguna evolución en la salinidad, aunque no se pudieron contar con muestras de los mismos sitios, el rango de las concentraciones por área es muy similar, por lo que se desprende que no ha habido incremento notorio en la salinidad.

Caracterización Hidrogeoquímica

Con objeto de establecer los posibles orígenes del agua subterránea y la identificación de los principales procesos geoquímicos, se parte de la caracterización hidrogeoquímica mediante la aplicación de los diagramas de Piper. Se tomó un diagrama preparado con las muestras del año 1980 y las obtenidas en el 2005, encontrándose dos principales tipos de aguas: Bicarbonatadas – Cálcicas (tipo I) y Bicarbonatadas – Sódicas (tipo II), las primeras asociadas a materiales “carbonatados” presentes hacia la zona centro y sur y, las últimas influenciadas por ignimbritas y riolitas de la zona de recarga, hacia las porciones localizadas al norte de la Cuenca.

Por otro lado, cabe mencionar que si bien en la zona no se ha experimentado un incremento de la salinidad, se manifiesta, sin embargo, una cierta evolución hacia agua de tipo II, en donde prevalece el ión bicarbonato, pero en donde el ión sodio sustituye al ión calcio. Esto posiblemente se deba al proceso geoquímico de Intercambio Iónico.

Calidad del Agua

De acuerdo a los valores máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA 1-1994 para agua potable, se establece que en ninguno de los sitios analizados se sobrepasan las normas establecidas. Cabe mencionar que en cuatro sitios de la zona centro sur, los valores de los Sólidos Totales Disueltos (STD) se encuentran entre 500 a 1,000 mg/l.

En cuanto al agua para riego, se determina que la mayoría de las aguas tienen baja adsorción de sodio ($RAS < 10$) con bajo riesgo de alcalinización del suelo; asimismo, presentan bajo potencial de salinización ($CE < 750 \mu S/cm$).

Finalmente, el potencial de contaminación por actividades humanas (riesgo antropogénico) podría ser evidenciado por la asociación de un incremento notorio de los Nitratos (NO_3^-) y el Potasio (K^+). En la zona, sólo en dos sitios las concentraciones de NO_3^- son relativamente altas (sin rebasar el máximo permisible de 10 mg/l) con concentraciones moderadamente bajas de K^+ (entre 6 y 8 mg/l). Estos sitios corresponden a aprovechamientos cercanos a dos localidades: el número B-291 en "Agua Blanca" aguas debajo de la Presa "El Chique" y, la otra No. B-343 cercano a la población de "Guadalajarita" al sur de Juchipila.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

En los recorridos realizados se visitaron un total de 400 aprovechamientos, de estos 325 corresponden a pozos (52 inactivos); 71 a norias (9 de ellas inactivas); 3 galerías y 1 manantial.

De acuerdo al uso principal que tienen estos aprovechamientos, 162 se emplean para fines agrícolas y 94 para uso público-urbano, que representan el 40% y 24%, respectivamente. Del resto, 33 tienen uso doméstico, 17 se destinan a uso pecuario, 18 tienen uso múltiple o combinado, 8 para servicios y los restantes 67 no se les ha dado uso en los últimos años.

Para conocer el régimen de extracción que se tiene en el acuífero, en las obras que se encontraron operando, se midió por principio el caudal que están extrayendo, para posteriormente en gabinete efectuar el cálculo correspondiente al volumen de agua anual que extraen las obras. Este cálculo se pudo realizar en 339 aprovechamientos; para evaluar el caudal en campo, se utilizaron los métodos de la escuadra, del medidor de flujo, del tiempo de llenado de un recipiente de volumen conocido y método de sección velocidad.

La extracción de los 339 aprovechamientos activos se determinó en $38.32 \text{ hm}^3/\text{año}$, sin embargo, el 90% de este volumen se extrae en 150 pozos. En cuanto a los usuarios principales el 75% de este volumen (28.6 hm^3) se dedica al riego agrícola; 23% se usa en el abastecimiento de agua potable (8.7 hm^3) y el restante 2% se dedica al suministro pecuario, doméstico y servicios.

En cuanto al equipamiento se censaron 25 pozos con gastos mayores a 50 lps que extraen el 25% del volumen; 69 pozos con gastos entre 20 y 50 lps, que extraen el 36.4% del volumen y 129 pozos con gastos entre 5 y 20 lps cuya extracción equivale al 34.7%; el resto de los aprovechamientos, principalmente norias, tienen gastos menores a 5 lps y extraen apenas el 3.9%.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Para la realización del balance de aguas subterráneas, se tomaron en cuenta los aspectos litológicos de los materiales que conforman acuíferos, su posición estratigráfica, la topografía de la zona y la posible interacción que pudiera tener el funcionamiento hidrogeológico de la zona, con el río Juchipila.

Por otro lado, dado que para el planteamiento tradicional de la ecuación de balance, se requiere de al menos otra medición piezométrica que permita evaluar la evolución en el almacenamiento del acuífero, se tomó como referencia la configuración de elevación del nivel estático del estudio de la CNA del año 2004.

Asimismo, es importante mencionar que los valores de las variables que se presentan, corresponden a la situación actual del acuífero en algunas de ellas (como el bombeo), mientras que otras reflejan sólo su cuantificación en el área de balance.

La ecuación que se utilizó para el balance de aguas subterráneas, es la que expresa su análisis en el cálculo de entradas y salidas en un sistema, y la cual tiene la siguiente forma:

$$Et - St = \Delta V$$

Donde:

Et = Entradas totales al sistema

St = Salidas totales del sistema

ΔV = Cambio en el volumen almacenado

En la Tabla No. 5 se muestran las variables que intervienen tanto en las entradas como en las salidas del sistema, las cuales sirvieron de base para el planteamiento de la ecuación.

COMPONENTES	
Entradas	Salidas
Flujo subterráneo a través de los límites del área de balance.	Extracciones de agua subterránea por bombeo para uso: agrícola y público-urbano.
Recarga vertical total al sistema (infiltración del agua de lluvia, retornos de riego y retornos por pérdidas del sistema de agua potable).	Flujo subterráneo hacia fuera del área de balance.
Infiltración de las áreas de riego	Evapotranspiración Real en zonas con niveles someros.
	Descarga de manantiales

Tabla 5. Identificación de variables que intervienen en el balance

A partir de lo anterior, la ecuación se planteó de la siguiente forma:

$$(Es + Rv + Ir) - (B + Ss + ETR + Dm) = \pm \Delta V$$

En donde las entradas totales al sistema están constituidas por:

Entradas por flujo subterráneo (Es) a través de las entradas subterráneas a través de los límites del área de balance.

Recarga vertical (Rv). En donde se incluye, como fuente principal a la infiltración de la lluvia que realmente llega a la zona de saturación, así como los retornos de riego en las zonas de cultivo, y los retornos que pudieran existir por las pérdidas en el sistema de agua potable, en las zonas urbanas.

Infiltración de las áreas de riego (Ir).

Las salidas totales del sistema están dadas por:

Extracción por bombeo (B)

Salidas por flujo subterráneo a través de los límites del área de balance (Ss).

Evapotranspiración Real (ETR) en zonas con niveles someros

Descarga de Manantiales (Dm)

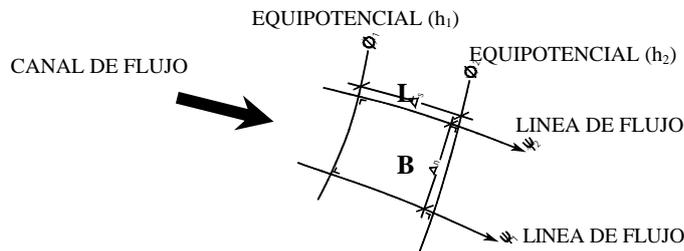
$\pm \Delta V$ representa el cambio en el almacenamiento de agua en el acuífero.

7.1 Periodo y área de balance

El período de balance se determinó, como ya se mencionó, con base en la información disponible más confiable en cuanto a las variables involucradas, así como a los datos piezométricos; de ésta manera, se seleccionó el periodo de julio del 2004 a octubre del 2005, lo que arroja un período de balance de catorce meses. La definición del área de balance del acuífero, se realizó con base en las configuraciones del 2004 y 2005, con las que se determinó un área de balance máxima, que corresponde a la coincidencia de ambas, esta área es de 614 km².

7.2 Entradas y salidas por flujo horizontal subterráneo (Es y Ss)

Este parámetro corresponde con la cantidad de agua que entra o sale del acuífero subterráneamente como parte de un sistema de flujo hidrogeológico, además del agua que recarga al acuífero desde las zonas montañosas. Para obtener éste parámetro se partió de las configuraciones de elevación del nivel estático, en donde se delinearon los patrones de flujo de agua subterránea (2004 y 2005). El método tradicional para el cálculo de estas variables consiste en establecer en las configuraciones, tubos de entrada y de salida de flujo subterráneo que tengan la siguiente forma:



Posteriormente se aplica la ecuación de:

$$Q = TBi$$

Donde:

Q = Caudal instantáneo que pasa por el canal de flujo (m³/s)

T = Coeficiente de Transmisividad (m²/s); (T=Kb, donde K es la conductividad hidráulica en m/s y b es el espesor del acuífero en m)

B = Ancho del canal de flujo (m)

i = Gradiente hidráulico $\Delta h/L$ (adimensional)

La expresión anterior permite obtener el caudal que pasa a través de cada tubo y al final se calcula el caudal anual de cada tubo y se suman todas las entradas y todas las salidas subterráneas para cada configuración (Figura No. 4). De esta manera, y con el apoyo de los valores de transmisividad obtenidos a través de las pruebas de bombeo, se calcularon las entradas y salidas horizontales, aplicando la ecuación de $Q = TBi$ a cada uno de los nodos asociados a estas zonas, utilizando la transmisividad promedio de pozos más próximos al nodo; posteriormente se calculó el caudal anual en cada nodo, así como el total de cada zona. La cuantificación para el 2004 y el 2005 se presenta en las Tablas No. 6 y 7 respectivamente.

No. tubo	B (m)	i	T (m ² /día)	Q(m ³ /día)	Q(Mm ³ /año)
1	5156.25	0.03	39.50	6,110.16	2.23
2	1510.42	0.03	39.50	1,789.85	0.65
3	1562.50	0.03	39.50	1,851.56	0.68
4	4,531.25	0.04	39.50	7,159.38	2.61
5	7,812.50	0.03	39.50	9,257.81	3.38
6	10,052.08	0.03	39.50	11,911.71	4.35
7	5,572.92	0.03	39.50	6,603.91	2.41
8	8,437.50	0.05	39.50	16,664.06	6.08
9	4,947.92	0.03	39.50	5,863.28	2.14
10	3,437.50	0.03	39.50	4,073.44	1.49
11	3,541.67	0.03	39.50	4,196.88	1.53
12	9,062.50	0.03	39.50	10,739.06	3.92
13	7,656.25	0.02	39.50	6,048.44	2.21
14	3,281.25	0.04	39.50	5,184.38	1.89
15	2,395.83	0.05	39.50	4,731.77	1.73
16	2,864.58	0.02	39.50	2,263.02	0.83
17	1,302.08	0.03	39.50	1,542.97	0.56
18	4,062.50	0.03	39.50	4,814.06	1.76
19	4,166.67	0.03	39.50	4,937.50	1.80
20	4,200.00	0.04	39.50	6,636.00	2.42
21	14,200.00	0.03	39.50	16,827.00	6.14
22	3,700.00	0.02	39.50	2,923.00	1.07
23	3,100.00	0.03	39.50	3,673.50	1.34
24	4,600.00	0.01	39.50	1,817.00	0.66
25	5,100.00	0.01	39.50	2,014.50	0.74
26	1,300.00	0.01	39.50	513.50	0.19
				150,147.73	54.80

Tabla No. 6. Cálculo de Entradas subterráneas para 2004

No. tubo	B (m)	i	T (m ² /día)	Q(m ³ /día)	Q(Mm ³ /año)
1	8050.00	0.03	39.5	9,539.25	3.48
2	6850.00	0.01	39.5	2,705.75	0.99
3	4850.00	0.01	39.5	1,915.75	0.70
4	6,300.00	0.02	39.5	4,977.00	1.82
5	3,050.00	0.03	39.5	3,614.25	1.32
6	7,350.00	0.03	39.5	8,709.75	3.18
7	8,300.00	0.03	39.5	9,835.50	3.59
8	2,900.00	0.03	39.5	3,436.50	1.25
9	14,000.00	0.03	39.5	16,590.00	6.06
10	7,900.00	0.03	39.5	9,361.50	3.42
11	15,900.00	0.03	39.5	18,841.50	6.88
12	8,000.00	0.03	39.5	9,480.00	3.46
13	4,200.00	0.04	39.5	6,636.00	2.42
14	14,200.00	0.03	39.5	16,827.00	6.14
15	3,700.00	0.02	39.5	2,923.00	1.07
16	3,100.00	0.03	39.5	3,673.50	1.34
17	4,600.00	0.01	39.5	1,817.00	0.66
18	5,100.00	0.01	39.5	2,014.50	0.74
19	1,300.00	0.01	39.5	513.50	0.19
				133,411.25	48.70

Tabla No. 7. Cálculo de Entradas subterráneas para 2005

Para el caso de las salidas subterráneas (ver Tablas No. 8 y 9), su cálculo se limitó sólo a un tubo de flujo, quedando de la siguiente manera:

No. tubo	B (m)	i	T (m ² /día)	Q (m ³ /día)	Q (Mm ³ /año)
S1	6,510.42	0.02	139.14	18,117.19	6.61

Tabla 8. Cálculo de Salidas subterráneas para 2004

No. tubo	B (m)	i	T (m ² /día)	Q (m ³ /día)	Q (Mm ³ /año)
S1	6,800.00	0.03	139.14	28,384.56	10.36

Tabla 9. Cálculo de Salidas subterráneas para 2005

Con base en lo anterior se obtuvieron los siguientes resultados anuales para 2004 y 2005:

Es 2004 = 54.80 Mm³

Ss 2004 = 6.61 Mm³

Es 2005 = 48.70 Mm³

Ss 2005 = 10.36 Mm³

Promediando ambos valores se obtuvo lo siguiente:

Es 2004-2005 = 51.7 Mm³

Ss 2004-2005 = 8.5 Mm³

7.3 Recarga vertical (Rv)

Este parámetro corresponde con el volumen de agua de lluvia que se infiltra en el subsuelo. Para éste caso, esta variable se manejó como la incógnita a despejar de la ecuación.

7.4 Infiltración en áreas de riego (Ir)

El volumen de agua que anualmente retorna al acuífero como consecuencia del riego que se realiza en el área, se calculó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$I_r = \text{vol. r} * Cr$$

Donde:

- Ir: Infiltración por riego
- vol. r: volumen de agua aplicado al riego
- Cr: Coeficiente de infiltración en la parcela

El Cr, varía regionalmente desde 0.1 (Acuífero de Jeréz, Zac.) hasta 0.25 (Acuífero de Calvillo, Ags.), para la zona del acuífero se considera un valor conservador similar al del acuífero Jeréz.

Sustituyendo valores: $I_r = 28.6 * 0.10 = 2.9 \text{ hm}^3/\text{año}$

7.5 Extracción por Bombeo (B)

Para el cálculo de la extracción por bombeo, se tomó como base la delimitación que se hizo del área de balance, ya que si bien es cierto, se tuvo información de este tipo para un gran número de los aprovechamientos visitados en la zona de trabajo, la cuantificación de esta variable dentro de la ecuación de balance, tomó en cuenta sólo a las obras que se encuentran dentro del área analizada. Ante la falta de información histórica, se tomó como único el valor calculado en el 2005. Extracción de agua subterránea por bombeo 2005 = **38.3 hm³**

7.6 Evapotranspiración Real (ETR).

Para obtener un valor representativo de ETR, se aplica una relación lineal inversa con base en la profundidad del nivel freático y supone una profundidad límite de extinción de 10 m; de esta manera a menor profundidad mayor será el porcentaje de evapotranspiración. Así que para 10 m de profundidad del nivel del agua en el acuífero el valor de ETR es cero y, cuando el nivel freático se encuentre a nivel del terreno la ETR será del 100%.

La relación queda establecida de la siguiente manera: a 5 m el 50%, a 7 m el 30%, etc. Con estas consideraciones, y a partir de la configuración de la profundidad al NE del 2005, se tomaron en cuenta las áreas comprendidas entre las curvas menores e iguales a 10 m, teniéndose así 4 áreas que reunían dichas condiciones.

El resultado de multiplicar el área por el valor de la lámina de ETR correspondiente a cada una de las zonas en la que se ubica (norte, central y sur), se ponderó de acuerdo con la relación inversa lineal mencionada anteriormente, y se multiplicó por el factor resultante de dicha relación, obteniéndose así un volumen evapotranspirado total de **11.4 hm³**, tal y como se muestra en la Tabla No. 10.

Zona	Área (km ²)	ETR (mm)	Volumen Mm ³	Factor ETR	Volumen Final Mm ³
Norte (A ₁)	17.16	473.81	8.13	0.3	2.44
Norte (A ₂)	7.44	473.81	3.53	0.25	0.88
Centro (A ₃)	22.31	584.73	13.04	0.25	3.26
Sur (A ₄)	18.24	527.77	9.63	0.5	4.81
Suma	65.15		34.33		11.40

Tabla No. 10. Estimación del volumen de Evapotranspiración Real (ETR)

7.7 Descarga de manantiales (Dm)

El cálculo de la descarga por manantiales, se hizo por un lado con base en la delimitación del área de balance, y por el otro con base en la información obtenida a partir del registro del

volumen de extracción de manantiales que se localizan dentro del área, y cuyos datos se obtuvieron a partir del REPDA. De acuerdo con lo anterior, la cuantificación de ésta variable dentro de la ecuación de balance, tomó en cuenta sólo 58 manantiales que se localizan dentro del área analizada, y de la cual resultó que de la descarga de manantiales, se tiene un volumen de **1.4 hm³** que forma parte de las salidas del sistema acuífero.

7.8 Cambio en el Almacenamiento ($\Delta V \cdot S$)

Este parámetro se estimó con base en la evolución de los niveles estáticos del agua subterránea en el acuífero para el período 2004–2005, Tabla No. 11. Para efectos de cálculo, se tomó un valor del coeficiente de almacenamiento regional de 0.049. El área considerada en el balance corresponde a 614 km², área menor que la superficie administrativa del acuífero.

NO. POZO	COTA msnm	TIPO APROVECH.	COORDENADAS		N.E.	E.N.E	N.E.	E.N.E	EVOL
			LATITUD	LONGITUD	m	m	m	m	
					2004	2004	2005	2005	04-05
JJ-01	1,215	POZO	21°20'59"	103°08'09"	5.49	1,210	4.98	1,210	+0.51
JJ-10	1,285	POZO	21°29'40"	103°05'08"	14.95	1,270	14.64	1,270	+0.31
JJ-11	1,295	POZO	21°30'45"	103°05'30"	6.00	1,289	5.67	1,289	+0.33
JJ-13	1,400	POZO	21°36'20"	103°01'07"	60.70	1,339	59.86	1,340	+0.84
JJ-17	1,420	POZO	21°41'12"	102°57'05"	34.85	1,385	34.63	1,385	+0.22

Tabla No. 11. Evolución del nivel estático

Si se toma la evolución promedio estimada de +0.442 m y se aplica en el área de balance, nos arroja el volumen recuperado de 271'399,492 m³; de esta manera, con un $S = 0.049$ el $\Delta V \cdot S$ será de **+13.3 hm³ / año**.

7.9 Solución de la Ecuación de Balance

Con base en las consideraciones anteriores se plantea la solución de la ecuación de balance:

$$Et - St = \Delta V$$

Dado que se cuenta con datos confiables en 6 de las 7 variables de la ecuación, se estimó conveniente dejar como incógnita a la recarga vertical. De esta manera, para una aproximación inicial a la solución de la ecuación se tomaron los valores siguientes, (Tabla No. 12):

Parámetro	Promedio anual Mm ³
Infiltración por riego (Ir)	2.9
Entradas horizontales por flujo subterráneo (Es)	51.7
Salidas horizontales por flujo subterráneo (Ss)	8.5
Extracción por bombeo (B)	38.3
Evapotranspiración Real	11.4
Descarga de manantiales (Dm)	1.4
Cambio en el volumen almacenado ΔV	+13.3

Tabla 12. Valor de los parámetros utilizados en la ecuación de balance

$$\begin{aligned} & (I_r + E_s + R_v) - (B + S_s + ETR + D_m) = \pm \Delta V \\ & (2.9 + 51.7 + R_v) - (38.3 + 8.5) + 11.4 + 1.4 = + 13.3 \\ & R_v = 13.3 - 51.7 - 2.9 + 8.5 + 38.3 + 11.4 + 1.4 \\ & \mathbf{R_v = 18.3 \text{ hm}^3/\text{año}} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales)} \end{aligned}$$

8. DISPONIBILIDAD

Con base en lo anterior y tomando en cuenta, tanto los resultados del balance geohidrológico como el hidrometeorológico se procede a estimar la disponibilidad en el acuífero apegándose a la normatividad existente:

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece la Metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\mathbf{DAS = R_t - DNCOM - VCAS} \text{ ---- (3)}$$

Donde:

DAS = Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica.

R = Recarga total media anual.

DNCOM = Descarga natural comprometida.

VCAS = Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA.

8.1 Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida, que para el acuífero Jalpa - Juchipila, en el Estado de Zacatecas se estimó de la siguiente manera:

$$R_t = E_s + R_v + I_r$$

$$R_t = 51.7 + 18.3 + 2.9 = \mathbf{72.9 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

8.2 Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante la 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 los acuíferos adyacentes. Para el acuífero Jalpa - Juchipila, solo se tomará como descarga natural comprometida los 8.5 hm³/año correspondientes a las salidas subterráneas y 1.4 hm³/año producto de la descarga de manantiales, ya que no se tienen datos para estimar los volúmenes de agua de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero.

$$\mathbf{DNCOM = 9.9 \text{ (hm}^3/\text{año)}}$$

8.3 Rendimiento permanente

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Por lo tanto, para el caso del acuífero Jalpa-Juchipila, el rendimiento permanente equivale a **63.0 hm³ anuales**.

8.4 Volumen concesionado de aguas subterráneas

En el acuífero Jalpa - Juchipila, el volumen anual concesionado, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, actualizados al 30 de abril del 2007 es de **44,931,085 metros cúbicos por año (m³/año).**

8.5 Disponibilidad de aguas subterráneas

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

Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica	=	Recarga total media anual	-	Descarga natural comprometida	-	Volumen anual de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPGA
---	---	---------------------------	---	-------------------------------	---	---

18.068915	=	72.9	-	9.9	-	44.931085
-----------	---	------	---	-----	---	-----------

El resultado indica que existe actualmente un volumen de 18'068,915 m³ anuales disponibles para otorgar nuevas concesiones en el acuífero Jalpa - Juchipila, en el Estado de Zacatecas.

9. BIBLIOGRAFÍA

Angel F. Nieto-Samaniego, Luca Ferrari, Susana A. Alaniz Álvarez, Guillermo Labarthé-Hernández & José Rosas-Elguera., "Variation of Cenozoic extension and volcanism across the southern Sierra Madre Occidental volcanic province, Mexico" 1999. Geological Society of America Bulletin, v.111, No. 3, p. 347-363.

Carta Geológica, escala 1:250,000 F13-9 "Aguascalientes" INEGI, 1982-

Carta Geológica Digital, escala 1:250,000 F13-9 "Aguascalientes" INEGI, 2000.

Carta Geológica, escala 1:250,000 F13-9 "Aguascalientes" Consejo de Recursos Minerales (CRM), 1998.

Comisión Nacional del Agua (CNA), 1997. Diagnóstico de la Región Lerma Santiago.

Comisión Nacional del Agua (CNA), Gerencia de Aguas subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica, 2000. "Determinación de la Disponibilidad de Agua en los Acuíferos de Jerez y Benito Juárez, Estado de Zacatecas".

Comisión Nacional del Agua, 2005. Actualización Hidrogeológica del acuífero Jalpa-Juchipila en Zacatecas.

Custodio E., Llamas M. R., 2001. Hidrología Subterránea 2da. Edición, Tomo II. Ediciones Omega S.A.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), 1999. Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC II, v. 2.0).

Lesser y Asociados, S. A. de C.V., 2004. Reactivación de la Red de Monitoreo Piezométrico en el Acuífero de Jalpa – Juchipila.

Técnicos Asesores y Constructores, S.A., 1980. Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en las zonas de Tlaltenango–Juchipila, Estado de Zacatecas.