

**III.11.2.3.4 Microcuenca del Río Tula**

La Microcuenca del Río Tula cubre una superficie de 452.9 Km<sup>2</sup>, agrupa a las nanocuecnas:

**Río Tula.-** Ocupa toda la porción centro-sur del área de estudio y se ubica al oriente de la Presa Zimapán, envuelve a las poblaciones de San Nicolás, Tasquillo, Orizabita, Felipe Ángeles Cardonal, Santuario, las rancherías El Olivo, Cantamave, El Espíritu, entre otras, los arroyos presentan textura fina, suave y rugosa, el modelo de drenaje varía de subparalelo a paralelo, cubre una superficie de 337.5 Km<sup>2</sup> y agrupa a 30 pétalos de captación.

La Tabla III.19 ilustra las clasificaciones en las jerarquías de cuencas para el área de estudio. Se muestra la conformación desde las microcuenas, nanocuecnas y petalos de captación con sus respectivas áreas.

**Tabla III.19. Clasificación hídrica del área de estudio**

MICROCUECNAS	NANOCUECNAS	PETALOS DE CAPTACION	AREA
1 RIO MOCTEZUMA SuperficieMC 1152.454	RIO MOCTEZUMA V, SuperficieNC 89.756 SuperficiePC 104.64	EL PANAL	8.656
		ARROYO NEGRO II	3.242
		ARROYO NEGRO I	4.123
		EL CARRIZAL	4.956
		XAJHA	6.644
		LAS PEDAS I	1.824
		XINDHA	5.414
		PIEDRA LISA	6.301
		YALHA	6.657
		MESA DE LEON II	4.855
		MESA DE LEON II	4.855
		MESA DE LEON II	4.855
		MESA DE LEON II	4.855
		LAS PEDAS II	2.605
		MEZQUITE	13.453
	EL PUERTO	6.085	
	RIO MOCTEZUMA	1.206	
	RIO MOCTEZUMA	14.055	
	RIO TOLIMAN SuperficieNC 264.461 SuperficiePC 300.519	PUERTO DEL JEFE	5.471
		TATHI	10.342
		TOLIMAN	35.491
		SAN PABLO	9.352
		CORRAL VIEJO	7.153
		EL CERROTE	21.101
		EL SABINO	8.711
		LAZARO CARDENAS	32.594
		SIN NOMBRE II	11.652
		TAIJAR	11.652
		PUETZOV	10.132
		CESAR	3.325
ZAPATITO		1.650	
BRAVO		2.596	
CUESTA BLANCA		7.116	
SAN MIGUEL		2.398	
CHEPINQUE		31.847	
ZIMAPAN		10.269	
ESTANZUELA		14.091	
DETZANI		6.488	
EL AGUACATAL	12.807		
TINTHA	18.814		
SIN NOMBRE I	11.652		
TAIJAR	11.652		
BOÐUL	2.164		
SAN JUAN SuperficieNC 48.069 SuperficiePC 48.021	<b>C) ARROYO MUERTO</b>	5.726	
	CARAVANTE	9.282	
	OJO DE AGUA	5.177	
	CARAVANTE	27.836	
EL SALITRE SuperficieNC 72.592 SuperficiePC 72.596	<b>D) LAS VIEJAS</b>	11.509	
	EL SALITRE	11.095	
	SAN MIGUEL	12.583	
	ARROYO XADHE	14.482	
MEDIA LUNA	22.926		
RIO MOCTEZUMA SuperficieNC 15.409 SuperficiePC 15.416	<b>E) RIO MOCTEZUMA</b>	15.416	
ARROYO AGUACATE SuperficieNC 71.673 SuperficiePC 71.673	<b>F) SIN NOMBRE. AGUACATE</b>	2.946	
	AGUACANTO	20.200	

		MILPAS VIEJAS	13.831
		CARRIZAL	4.591
		AGUACATE	30.104
	<b>BARRANCA SECA</b> SuperficieNA 292.246 SuperficiePC 292.211	<b>G) MAZANTI</b>	9.077
LA MINA		3.769	
LOMA TABAQUEROS		23.140	
CERRO PELON		6.755	
OCOTAL		18.867	
EL SALTO		36.943	
BARRANCA APEZCO		19.969	
EL TULE		24.274	
VILLANUEVA		12.786	
ARPARO		10.733	
LA HOYA		6.865	
BARRANCA LA CERCA		20.299	
HILOJUANICO		24.923	
BARRANCA ESCONDIDA		10.120	
BARRANCA SECA		27.373	
BARRANCA LOS MARMOLES		36.288	
BARRANCA LA CERCA		0.000	
BARRANCA LA CERCA		0.015	
LA HOYA		0.000	
LA HOYA		0.015	
<b>SANTA CLARA</b> SuperficieNC 155.846 SuperficiePC 155.901	<b>H) EL FRAILE</b>	7.482	
	EL OCOTE	15.006	
	JILIAPAN	43.563	
	POTRARILLO	18.321	
	LOMA LARGA IV	10.663	
	SANTA CLARA	8.834	
	RIO SANTA CLARA	19.396	
	RIO MOCTEZUMA IV	29.183	
RIO MOCTEZUMA	3.453		
<b>ARROYO PLAN DE HONGOS</b> SuperficieNC 59.247 SuperficiePC 59.307	<b>I) MINA VIEJA</b>	9.390	
	SALITRILLO	6.591	
	PACULA	11.744	
	OJO DE AGUA	18.690	
	LOS PICACHOS	3.474	
	RIO MOCTEZUMA	4.904	
RIO MOCTEZUMA	4.514		
<b>ARROYO TACHAY</b> SuperficieNC 82.321 SuperficiePC 112.916	<b>J) TIMBRAL</b>	23.498	
	TACHAY	0.000	
	LAS GUAYABAS	6.118	
	BARRANCA HONDA	0.000	
	SUBCUENCA A. TACHAY	0.000	
	LAS GUAYABAS	0.000	
	BARRANCA HONDA	7.227	
	TIMBRAL	0.000	
	TACHAY	11.540	
	SUBCUENCA A. TACHAY	28.333	
EL CAPULIN	3.449		
CADECITO	32.750		
<b>2 RIO AMAJAC</b> SuperficieMC 670.970	ORTIGA	0.684	
	PECHUGA	23.842	
	TOXHI	12.885	
	LOS ALAMOS	5.955	
	TAXHA	1.703	
	PIJAY	29.723	
	TIERRAS AMARILLAS	10.184	
	BARRANCA EL RICO	9.688	
	XAXNIZAL	15.034	
	MAINTHE	2.742	
	LOS LIRIOS	3.520	
	LA CANOA	5.833	
	LA NUEZ	5.085	
	LA DONCELLA	5.673	
	TEQUEDHO	5.656	
	PEÑA BLANCA	11.803	
	EL DETAI	0.014	
	XAXNHI	5.995	
	DOTHU	1.082	
	SUBCUENCA A. ADJUNTAS	36.044	
BOCUA II	2.945		
<b>ARROYO ADJUNTAS</b> SuperficieNC 85.035 SuperficiePC 74.225			

3 PRESA ZIMAPAN Superficie 85.877	HONDO SuperficiePC 4.422	SuperficieNC 4.345	LA FLOR	2.732	
			LA MESA	2.173	
			CUESTA COLORADA	3.401	
			TAXCAANO	3.454	
			GODHO	2.319	
			NARANJOS	7.355	
	ARROYO SOYATAL SuperficieNC 92.582 SuperficiePC 92.501			XAXNHI	4.422
				BARRANCA SECA	10.283
				VILLA JUAREZ	14.318
				LAS PILAS	25.945
				SUBCUENCA A. SOYATAL	13.099
				SIN NOMBRE	12.486
	CUENCA RIO AMAJAC 72.889 SuperficiePC 76.16			LAS MILPAS	16.450
				SANTO DOMINGO	20.646
				COMATITLAN	13.443
				RIO AMAJAC	37.300
	CHICHICAXTLA SuperficieNC 24.940 SuperficiePC 32.167			DAMANTHI	4.771
				CHICHICAXTLA	6.064
				LAS CAMPANAS	9.943
				CHICHICAXTLA II	6.285
	ARROYO SECO 59.142 SuperficieNC 59.146			LOS MONOS	9.875
				ARROYO SECO	23.107
				OCTUPILLA	11.427
	RIO SuperficieNC185.288 186.116			CARRIZAL	24.612
				SIN NOMBRE	2.706
				BARRANCA GUAYABOS	37.322
				SAN NICOLAS	30.519
				BARRANCA ARRIBA	16.615
				PALOS PINTADOS	37.914
				SUBCUENCA SAN NICOLAS	61.034
	AGUAS BLANCAS 85.877 SuperficiePC 137.555			BARRANCA GUAYABOS	0.005
				PANLIHU I	60.026
LA GITANA				4.613	
EL SAUCILLO I				4.048	
PRESA I				3.399	
SAUCILLO II				10.227	
TADHO				3.224	
XITHA I				18.840	
EL TABLON				8.855	
PANLIHU II				8.963	
LLANO SEGUNDO				3.279	
RIO TULA Superficie 48.650					
	AGUAS BLANCAS II	2.418			
	EL MEGUI	11.031			
	XITHA III	1.213			
	XITHA II	5.362			
	EL SABINO	6.284			
	LA CEBOLLA	3.913			
	XHIBIU	8.247			
	CANDELARIA I	1.640			
	CANDELARIA II	1.337			
RIO TULA Superficie PT 59.549			MEGUI	7.364	
			RIO TULA	9.170	
			USTHEJE	3.987	

### III.11.2.4 Cuerpos de Agua Intermitentes

De manera general podemos mencionar que en el área de estudio se tienen muy pocas corrientes de agua permanentes las cuales están localizadas en: el municipio de Zimapán de Zavala, el Río Moctezuma, el Río Tula y el Río San Juan; para el municipio de Pacula, solo se tiene el Río Moctezuma; en Jacala de Ledezma no existe ninguno y para Nicolás Flores El Arroyo Zoyatal.

La Tabla No. III.20 muestra las diferentes corrientes y cuerpos de agua, presentes en la región de estudio.

Tabla III.20 Corrientes y Cuerpos de agua de la zona de estudio

Corrientes de agua			
Zimapán de Zavala	Pacula	Jacala de Ledezma	Nicolás Flores
Moctezuma (permanente)	Aguacatito	San Nicolás	El aguacate
Tula (permanente)	El carrizal	Amajaque	Chalma
San Juan (permanente)	Moctezuma (permanente)	Seco	Zoyotal (permanente)
La Media Luna	Ojo de Agua	Itatlaxco	Las Pilas
El Aguacate		Chichicaxtla	Itatlaxco
El Salitre			Bonanza
Tolimán			Las Adjuntas
San Miguel			La pechuga
SINDO			Los Duraznos
Agua Santa			La Campana
Buenavista			Villahermosa
Negro			El Zarco
Rancho Viejo			Los Monos
Aguacatal			
San Antonio			
Los Álamos			
El Carrizal			
Cuerpos de agua			
Presa San Juan			
Presa Hidroeléctrica Zimapán			

La Tabla III.20 representa a los cuerpos de agua superficiales, en su gran mayoría son arroyos intermitentes y que desaparecen en época de estiaje; en la parte centro del área de estudio existe el cuerpo final del arroyo San Nicolás afluente del Río Amajac; en el sur se encuentran los arroyos Zoyotal, Las Pilas y un par de ramales de los Álamos. Sin embargo la suma del drenaje de todos los arroyos no llega a más de 4 m<sup>3</sup>/min en promedio, pero en épocas de lluvias el arroyo Villa Hermosa puede llegar a 10 m<sup>3</sup>/min, la falta de vegetación y tipo de roca/suelo acrecenta la erosión y con ello la poca humedad ambiental.

La carta temática de hidrología en el SIG que acompaña este estudio, ejemplifica las delimitaciones geográficas de cada apartado, como son los acuíferos, cuerpos de agua, y pozos.

### III.11.2.5 Estaciones Hidrométricas

Dentro del área de estudio no se tiene ninguna estación hidrométrica, sin embargo, la CFE cuenta con una instalada en Tasquillo que monitorea el gasto de agua en el Río Tula (Figura III.42). Sabemos, debido a que esta estación es monitoreada diariamente, que en los últimos cinco años (2000-2005) se han registrado eventos climatológicos cíclicos los cuales nos permiten observar que el promedio del gasto anual es de 27 m<sup>3</sup>/s aproximadamente; este valor puede cambiar y ha cambiado debido a sucesos extremos, como ejemplo tenemos el 2003 en el cual se presentaron lluvias en más del 50% del año, lo cual provocó un aumento considerable en el gasto. A continuación se presenta una gráfica proporcionada por CFE, que ilustra mejor las variaciones mensualmente registradas.

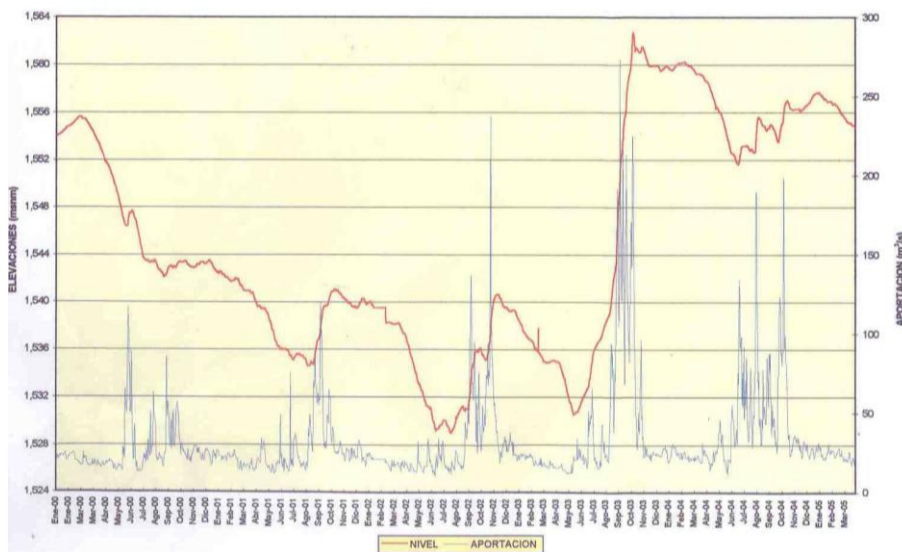


Figura III.42. Tendencia de la estación hidrométrica de Tasquillo contra las elevaciones hidrostáticas del embalse. Cortesía de la CFE. 2005.

### III.11.2.6 Almacенamientos

En el área de estudio se tienen principalmente dos presas de almacenamiento: P. Zimapán y P. San Juan, se desconocen la información básica de la presa, solamente que se ubica en el municipio de Zimapán de Zavala.

#### III.11.2.6.1 Presa Zimapán

La obra de infraestructura representativa de la región de estudio es la Presa Hidroeléctrica De Zimapán “Ing. Fernando Hiriart Valderrama”.

Fisiográficamente la Presa se localiza en el límite de las provincias Eje Neovolcánico Transmexicano y Sierra Madre Oriental. El sitio donde se ubica la cortina se encuentra en la parte occidental del estado de Hidalgo, colindando con el estado de Querétaro, al NNW de la ciudad de Pachuca. Sus coordenadas geográficas son 20° 40' de latitud Norte y 99° 30' de longitud Oeste, en la confluencia de los ríos Tula y San Juan, en el sitio conocido como Cañón de El Infiernillo. Las poblaciones más cercanas a la presa son Zimapán, Hidalgo y Cadereyta, Querétaro.

La central Hidroeléctrica capta las aguas del Río Tula y Río San Juan, su capacidad de almacenamiento es de 1,426 millones de m<sup>3</sup>. Fotografía III.4 Las aguas captadas son conducidas a lo largo de un túnel de 21,132 m hasta la casa de maquinas, donde su función es mover dos unidades de 146 MW de potencia cada una y generan un promedio anual de 1,292.4 Gwh. Dada su localización y su cercanía a las ciudades de Querétaro y México, así como su facilidad de interconexión con el sistema eléctrico nacional por la proximidad con las plantas termoeléctricas de Tula, Hidalgo y el Sauz, Querétaro, ayuda a satisfacer las demandas de energía eléctrica de la región central del país. Tablas III.21 y III.22



Fotografía III.4. Cortina de la Presa Zimapán, inicio del Río Moctezuma y conjunción de los Ríos San Juan y Tula, límite natural de los estados de Querétaro e Hidalgo.

Tabla III.21. Datos de la Cortina de la Presa de Zimapán.

Tipo	Arco-bóveda de concreto
Elevación de la corona	1,565 msnm
Longitud de la corona	122.0 m
Altura total del desplante	203.0 m
Volumen de concreto	220,000 m <sup>3</sup>
Elevación de desplante	1,362 msnm
Bordo libre	2.0 m

Tabla 22. Obras de excedencias de la Presa de Zimapán.

Gasto máximo de la avenida	2,960 m <sup>3</sup> /s
Gasto de diseño	2,520 m <sup>3</sup> /s
Periodo de retorno (tr)	10,000 años
Volumen de la avenida	1,209 millones m <sup>3</sup>
Elevación de la cresta	1,545.27 msnm
Longitud de la cresta	19.80 m
Compuertas	2 radiales de B=9.90 m x H=18.50 m
Sección de los túneles	B=9.90 m x H=13.90 m
Tipo portal	8.50 m
Velocidad máxima en el túnel	2.5m/s
Longitud de tuneles	No.1=567 m, y No.2=533 m
Relación de llenado	0.65

### **III.11.2.6.2 Presa San Juan**

Para este almacenamiento no se tiene información ya que se encuentra asolvada y fuera de uso.

## **III.11.3 Hidrología subterránea**

La permeabilidad de los materiales constituyentes del relieve es un factor importante en la cantidad de escurrimiento, ya que dependiendo de esta característica, se infiltra un mayor o menor porcentaje del volumen de agua precipitada, la falta de cubierta vegetal es un factor determinante para que ese escurrimiento se dé en la parte centro y norte se conserva la infiltración y el escurrimiento, sin embargo en la parte sur no se cuenta con estas propiedades, lo anterior por la aridez del terreno.

El comportamiento hidrogeológico de las rocas consolidadas depende de su textura y estructura, siendo los grados de fracturamiento, disolución y cementación, las características de mayor influencia. Por su parte el comportamiento hidrogeológico de las rocas clásticas depende de su granulometría, compactación y cementación. La zona de estudio se encuentra localizada dentro de las provincias geológicas del Eje Neovolcánico y Sierra Madre Oriental permitiéndole poseer una litología formada por rocas ígneas, volcánicas y sedimentarias, que ocasionan desde el punto de vista geohidrológico que se presenten diversas condiciones para la acumulación del agua subterránea.

Se considera que una roca es permeable si almacena y deja circular agua subterránea a través de ella en una cantidad tal que permita su extracción y aprovechamiento. Por otra parte, las rocas impermeables son todas aquellas que no permiten el flujo y almacenamiento de agua subterránea. Por su porosidad las rocas se pueden dividir en primarias y secundarias. Como rocas con porosidad primaria, se incluyen a las calizas, dolomitas, areniscas de grano medio a grueso y basaltos vesiculares entre otros y los sedimentos granulares cuya permeabilidad está en función de su mayor o menor contenido arcilloso, así como por su porosidad, grado de compactación de los granos, tamaño, tipo de empaquetamiento y distribución por tamaños. Las rocas con porosidad secundaria, son aquellas que la adquieren como consecuencia de fracturamientos, fallamientos y/o conductos de disolución producidos después de la litificación de las mismas. Cabe hacer mención que hidrogeológicamente las rocas se clasifican en, acuíferos: si tienen alta permeabilidad; acuitardos: si la roca que los contiene es de permeabilidad media y acuífugos: si la roca tiene características de permeabilidad muy baja a nula.

### **III.11.3.1.1 Rocas Permeables.**

Las unidades permeables que cubren el área de Estudio están representadas por las rocas calcáreas del cretácico inferior (Formaciones El Doctor y Tamaulipas Inferior), así como rocas volcánicas ácidas del Terciario, compuestas por tobas ácidas de la Formación Don Guino; lavas, brechas y escoria de composición basáltica y tobas conglomeráticas del grupo San Juan y los depósitos no consolidados del reciente formado por aluviones y pie de monte.

### **III.11.3.1.2 Rocas Semipermeables.**

Dentro de ese grupo se incluye a las unidades: Grupo El Morro, constituido por un conglomerado calcáreo con intercalaciones de lavas y tobas básicas, y Formación Tarango constituida por conglomerados, arenas, material piroclástico y algunos derrames basálticos.

### **III.11.3.1.3 Rocas Impermeables**

Como rocas impermeables se considero a toda la secuencia calcáreo arcillosa del Jurásico Superior y Cretácico. Las formaciones impermeables para esta área son: Soyatal conformada por una alternancia de delgadas capas de caliza con lutitas, margas y lomolitas; Santuario constituida por areniscas y lutitas y Las Trancas con litología de margas, lutitas y calizas.

### ***Geohidrología superficial***

Vistos geohidrológicamente, el comportamiento de las infiltraciones es influenciada por las rocas que afloran en la zona de estudio como ya se ha mencionado, son sedimentarias, ígneas y metamórficas y la distribución de las primeras ocupa la Sierra Madre Oriental donde se desarrolla un patrón de drenaje dentrítico subparalelo de densidad media y controlado por fallas y fracturas sobre rocas de naturaleza clástica como son lutita-arenisca, arenisca y conglomerado cementado.

El drenaje disminuye a densidad baja sobre rocas carbonatadas debido a la alta permeabilidad

---

producida por la existencia de pequeñas dolinas y procesos de disolución, razón por lo cual existe una alta relación entre la formación de acuíferos y zonas de extracción de agua. En un patrón de tipo radial-anular de densidad media no existen pendientes muy prolongadas por lo que se presenta controlados por plegamientos de tipo dómico y que dan paso a la delimitación de las cuencas para el aprovechamiento superficial del agua.

Los materiales ígneos desarrollan un sistema de drenaje radial en conos cineríticos y lávicos, paralelo y subparalelo sobre los derrames y tobas de mediana densidad. Los depósitos volcano clásticos y aluviales no desarrollan patrón de drenaje, debido principalmente a su densidad y estructura molecular.

### **Geohidrología subterránea**

De acuerdo a la descripción litoestratigráfica y geológica, se puede afirmar, a nivel regional, que de las rocas mesozoicas existentes en la zona estudiada, únicamente las calizas de la Formación el Doctor y Tamaulipas Superior revisten importancia desde el punto de vista hidrogeológico; las formaciones restantes de la misma Era, como son Las Trancas, Santuario, Soyatal, Mezcala y Méndez carecen de interés por su textura predominantemente arcillosa.

Las rocas carbonatadas de la Formación el Doctor presentan denso fracturamiento y gran desarrollo Kárstico, características que le confieren alta capacidad de infiltración y elevada permeabilidad. Constituyen acuíferos heterogéneos con respecto a sus características hidráulicas, debido a la errática distribución de las fracturas y conductos de disolución; no obstante dicha heterogeneidad, puede afirmarse que en términos generales su capacidad transmisora es alta, como lo demuestran los caudalosos manantiales generados por su descarga y el buen rendimiento de algunos pozos que los captan. Las direcciones de flujo para la Formación el Doctor es de NE-SW descendiendo de la porción occidental de la Cabalgadura y para la Formación Tamaulipas Superior es de NW-SE proveniente de las calizas flanqueadas por las barreras laterales y norte de las formaciones Soyatal y Trancas.

Las rocas cretácicas y jurasicas forman estructuras muy deformadas, cuyo plegamiento, fallamiento y erosión afectan la continuidad de las calizas acuíferas y controlan la circulación del agua subterránea.

De las rocas cenozoicas terciarias, las que integran los Grupos El Morro, Pachuca y San Juan, las cuales son correlacionables en esta área, no constituyen acuíferos por la compactación y cementación de los clásticos o por la textura masiva y el escaso fracturamiento de los derrames lávicos; por su permeabilidad sumamente nula o baja, se comportan como confinantes de los acuíferos y como barreras al flujo del agua subterránea.

La Formación Tarango Constituye la fuente de agua subterránea aprovechada por la mayoría de las captaciones existentes dentro del sur de Zimapán. Este acuífero es también muy heterogéneo y de transmisividad media a baja.

En las inmediaciones de las corrientes superficiales, los materiales aluviales constituyen acuíferos de reducida extensión y espesor, los cuales funcionan a su vez como fuentes de recarga de la formación Tarango. En las partes bajas de la zona, esta formación y de los depósitos aluviales están hidráulicamente intercomunicados; en cambio, es probable que en las partes altas aquellos depósitos formen acuíferos “colgados”, es decir aislados y de recarga también aislada que son descubiertos y mal llamados manantiales.

Por su reducida extensión superficial, los basaltos cuaternarios fracturados expuestos en la porción sur de la zona considerada, tienen poca importancia desde el punto de vista regional; si acaso localmente pueden revestir cierto interés como acuíferos o receptores de recarga.

#### **III.11.3.1.4 Unidades permeables susceptibles de formar acuíferos**

**a).- Calizas de la Formación El Doctor:** Las rocas calcáreas de la Formación El Doctor del Cretácico Inferior, forman un acuífero, pertenecen a un ambiente de depósito de plataforma, que por naturaleza presenta buenas condiciones de acumulación de agua subterránea evidenciado por sus características litológicas de buena porosidad, fracturamiento (en ocasiones intenso) y algunos huecos de disolución que le permiten tener una porosidad secundaria. Además su posición estructural de cabalgamiento sobreyace a la formación impermeable Soyatal, lo que ocasiona la presencia de pequeños manantiales y lloraderos que brotan sobre su contacto.

Esta formación puede considerarse con funcionamiento geohidrológico de recarga, sin considerar que los afloramientos localizados en las porciones bajas forman lomeríos de menores elevaciones, y se encuentran cubiertos por rocas volcánicas de grandes espesores, comprobándose esto en los cortes litológicos recopilados por CITSA (1982), que reporta no haber cortado estas rocas, conociendo además que la mayor parte de la zona de estudio extrae sus aguas de las rocas volcánicas, sin embargo en dictámenes geohidrológicos elaborados

---

para el poblado de Vizarrón (1974) y la Tesis profesional de Javier Matus (1978), recomiendan perforaciones de 300 ó 400 m de profundidad, con la finalidad de estudiar el comportamiento geohidrológico de esta formación. Actualmente en esta formación no existe ninguna perforación profunda que la hubiera cortado en subsuelo o iniciado sobre ella.

**b).- Calizas de la Formación Tamaulipas Superior:** Esta formación calcárea se consideró para este estudio como acuífera, por su fracturamiento y algunos huecos de disolución que le confieren una buena porosidad secundaria, sin embargo, si se considera por su ambiente de depósito de cuenca, ésta por su naturaleza no presentaría las mismas posibilidades acuíferas.

Como comprobación de las condiciones acuíferas de la Formación Tamaulipas Superior, existen dos perforaciones profundas ubicadas, una de ellas al noreste de Zimapán (Pozo El Muy) y la otra al noroeste del mismo poblado (Pozo Detzani), misma que la Comisión Nacional del Agua reporta como productoras en las calizas de esta formación, proporcionando solamente información del Pozo El Muy el cual se perforó a 190 m, con caudal aproximadamente de 50 lps. y determinaciones físico-químicas de su agua analizada recientemente para metales pesados, con contenidos de arsénico, de la otra perforación no se cuenta con datos.

**c).- Depósitos no consolidados del cuaternario (Aluvión):** En la zona de la población Lázaro Cárdenas, existen numerosas norias que extraen aguas en los depósitos aluviales y de las tobas, escoria y brechas basálticas de pequeños afloramientos del Grupo San Juan con caudales de 1 a 4 lps.

Los depósitos aluviales por sus características de material no consolidados constituidos por cantos rodados (vegas de ríos), conglomerados (pie de monte), gravas, arenas y arcillas (valles) presentan una permeabilidad primaria que les permite la extracción de caudales bajos debido a su pobre espesor y distribución, sin embargo esta extracción se puede efectuar por medio de norias que permiten extraer caudales entre uno y 4 lps.

Se recomienda verificar esta información con la expuesta en la parte de geología y con la carta geológica en SIG para ubicar las formaciones geológicas.

### III.11.3.1.5 Rocas con permeabilidad media o acuitardos

**a).- Rocas Vulcano-sedimentarias del Terciario (formación Tarango):** La formación tarango, consiste de tobas híbridas y lacustres cementadas por una matriz arcillosa, así como arenas, paleosuelos y conglomerados semicompactos constituidos por clastos subredondeados a redondeados de caliza y basalto, empacados en una matriz arenosa y cementante calcáreo. Esta formación presenta una permeabilidad de media a baja esto aun considerando el constituyente arenoso, sin embargo, la morfología que presenta (lomeríos bajos) le permite tener un comportamiento geohidrológico de recarga a unidades permeables más bajas topográficamente hablando. Es de esperarse que la constitución litológica que tiene esta formación, permita explotar agua subterránea a través de norias o pozos profundos, siempre y cuando se puedan encontrar sus afloramientos formando un valle o que reposen sobre una unidad impermeable. Usualmente la profundidad es de alrededor de 100 m.

**b).- Rocas fluvio-lacustres del Terciario Grupo El Morro:** El Grupo El Morro se encuentra constituido por conglomerados fluvio-lacustres formados por clastos subangulosos a redondos de calizas, areniscas y rocas volcánicas embebidas en una matriz arenosa. Por su composición litológica, se considera este grupo con una permeabilidad media a baja dado su fracturamiento de moderado a intenso, los afloramientos del grupo el morro se dan en la parte baja de la sierra, lo cual permite que tengan un funcionamiento de recarga al acuífero. Existen afloramientos de esta unidad al norte de Zimapán, lugar en donde a pesar de existir rancherías no se manifiesta la presencia de norias sobre ella, ya que estas se proveen de agua a través de la red municipal.

Ahora bien, desde el punto de vista del material consolidado que permite la infiltración y recarga de los mantos acuíferos así como la formación de lentes que puedan garantizar el abasto subterráneo del vital líquido tenemos:

La primera parte, la más abundante es la referida al Material Consolidado Con Posibilidades Bajas; esta constituida por rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas. Por lo general todas estas rocas forman las partes topográficamente más altas y abruptas de la zona. Las rocas sedimentarias son alternancias de lutita con calizas o areniscas, se presentan desde el Pérmico hasta el Terciario, a excepción del Cretácico Inferior, el cual está representado únicamente por rocas calcáreas que tienen una permeabilidad secundaria debido a la disolución en fracturas y planos estratificados, por lo que se comporta como área de recarga. Esto más en las Barrancas donde la acumulación puede ser mayor en épocas de lluvias pasando de arroyos intermitentes a cuerpos de flujo perenne y donde la vegetación puede contrarrestar la erosión hídrica.

---



Las rocas ígneas que predominan son las volcánicas terciarias y cuaternarias, la permeabilidad que llegan a presentar es debido al fracturamiento, presentan una topografía en la cual se dan desniveles bruscos que limitan sus características hidrológicas. Las rocas ígneas intrusivas (Granodiorita, Monzonita y Tonalita) se encuentran en reducidos afloramientos al norte del parque. Las rocas metamórficas están representadas por pequeños afloramientos de Gneis y Skarns. Todo lo anterior proporciona sales a las aguas dándoles un cierto grado de dureza.

### III.11.3.1.6 Acuíferos

Tres acuíferos conforman el área de estudio (ver carta Temática Hidrológica). En términos territoriales, el acuífero de Zimapán abarca una superficie de 1211.6 km<sup>2</sup>, el de Orizatlan 597.8 km<sup>2</sup> y el Ixmiquilpan 144.7 km<sup>2</sup>. Aunado a lo anterior solo se tienen registros de los pozos en el acuífero de Zimapán, lo que resulta una incertidumbre al realizar los balances hídricos que se exponen en el diagnóstico.

En casi todos los casos la extracción de agua proviene de pozos para riego y sin necesidad de prácticas especiales de control de salinidad se pueden producir plantas moderadamente tolerantes a las sales, sin embargo se puede afirmar que la vegetación mayor ya se ha adaptado a estos periodos de sales.

Así mismo las aguas de estos pozos son bajas en sodio con un promedio de 55 mg/L, la cual puede usarse para el riego de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles de sodio intercambiable. No obstante los cultivos sensibles como algunos frutales (manzanas y duraznos) y aguacates pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio (centro y norte del Parque).

La CNA ilustra en las siguientes Tablas (III.23 a III.25) el abastecimiento del agua según el municipio y la fuente. Zimapán es el municipio con mayor cantidad del recurso hídrico, sus aguas provienen de dos principales fuentes, primero los manantiales que tienen su origen en el agua subterránea y segundo los arroyos que se alimentan de las precipitaciones y de aguas subterráneas. La Tabla 19 arroja el total de m<sup>3</sup> que se extraen y a su vez el origen de dicha agua. La misma Tabla muestra que en el municipio de Zimapán se cuenta con los cinco tipos de abastecimiento. Del total extraído en la zona de estudio, Zimapán es responsable alrededor del 97% de este recurso. El segundo en riqueza hídrica es Jacala con cerca del 1.4% y el resto es dividido entre Nicolás Flores y Pacula.

Municipio	Total	Arroyo	Barranca	Manantial	Presa	Rio
Jacala	1,216,548.91	188,856.25	0.00	244,230.26	0.00	783,462.40
Nicolas Flores	659,448.37	9,600.00	0.00	649,848.37	0.00	0.00
Pacula	306,788.37	62,962.00	0.00	243,826.37	0.00	0.00
Zimapan	987,606,289.63	124,510.50	40,598.00	1,089,712.50	985,592,000.00	759,468.63
<b>Total</b>	<b>989,789,075.28</b>	<b>385,928.75</b>	<b>40,598.00</b>	<b>2,227,617.50</b>	<b>985,592,000.00</b>	<b>1,542,931.03</b>

El municipio de Zimapán consume la mayor cantidad de agua para consumo humano y agrícola de los arroyos y las barrancas, donde la acumulación de agua es notable (llamados vegas en términos agrícolas). El consumo de agua para la presa hidroeléctrica es dado por el consumo en el río. Por otro lado Jacala es surtido totalmente por el Moctezuma. Se desconoce si existen aportes del Amajac.

Municipio	Total	Arroyo	Barranca	Manantial	Presa	Rio
Jacala	149	26	0	30	0	93
Nicolas Flores	53	1	0	52	0	0
Pacula	33	1	0	32	0	0
Zimapan	152	3	3	110	1	35
<b>Total</b>	<b>387</b>	<b>31</b>	<b>3</b>	<b>224</b>	<b>1</b>	<b>128</b>

Por su parte, Jacala cuenta con 26 arroyos que lo dotan de agua y 30 manantiales (suelo cavernoso y poroso) sumado a 93 aprovechamientos en el río. La Tabla 24 muestra que el uso consuntivo del agua es principalmente en servicio público urbano, le sigue los usos agrícolas y es de observarse que los usos domésticos representa cerca del 2% del total de las fuentes y ello solo en centros urbanos.

Tabla III.25.Volúmenes anuales consecionados (por uso) metros cúbicos										
Municipio	Total	Agrícola	Doméstico	Industrial	Múltiples	Pecuario	Pub, urb,	Servicios	Acuicultura	Gen, E.L.
Jacala	121,654,891.00	971,862.40	109.50	0.00	0.00	346.75	244,230.26	0.00	0.00	0.00
Nicolas Flores	659,448.37	51,600.00	328.50	0.00	0.00	0.00	607,519.87	0.00	0.00	0.00
Pacula	306,788.37	30,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	276,788.37	0.00	0.00	0.00
Zimapan	987,606,289.63	1,379,608.43	2,878.00	4,479.00	162,300.40	0.00	464,341.30	682.50	0.00	985,592,000.00
<b>Total</b>	<b>989,789,075.28</b>	<b>2,433,070.83</b>	<b>3,316.00</b>	<b>4,479.00</b>	<b>162,300.40</b>	<b>346.75</b>	<b>1,592,879.80</b>	<b>682.50</b>	<b>0.00</b>	<b>985,592,000.00</b>

La carta temática de hidrología que acompaña este estudio contiene el listado de los pozos que se encuentran en los dos acuíferos: Zimapán e Ixmiquilpan. Cada capa de información (shape), lleva adjunto los límites geográficos, en los pozos profundos y en los pozos de extracción de agua en el registro de la CNA hasta julio del 2004.

La segunda parte se refiere al Material No Consolidado con Posibilidades Bajas que conforma el restante 5% de subsuelo del PNLM y esta constituido por material aluvial con contenido de arcilla, estos son de escaso espesor de depósitos volcano clásticos terciarios así como areno-conglomerados, en esta unidad se localizan escasos aprovechamientos sin ninguna importancia económica.

### III.11.3.1.6.1 Acuífero de Zimapán

El acuífero de Zimapán se comporta de la siguiente manera: presenta un flujo subterráneo preferencial de E-SE, sin embargo este flujo alimenta lateralmente al acuífero somero y no es representativo del nivel estático regional. De igual manera como se configuró la elevación, se pudo obtener la configuración de la profundidad al nivel estático, en donde se observa que la mayor profundidad está en el área de Lázaro Cárdenas en tanto que las menores se localizan formando los alrededores del Valle y principalmente al SE de la ciudad de Zimapán. La figura III.43 muestra las elevaciones al nivel estático, pudiéndose encontrar agua desde los 1860 msnm, siendo que Zimapán se encuentra aproximadamente en los 1800 y 1900 msnm, la profundidad de explotación se encontraría a los 100 metros.

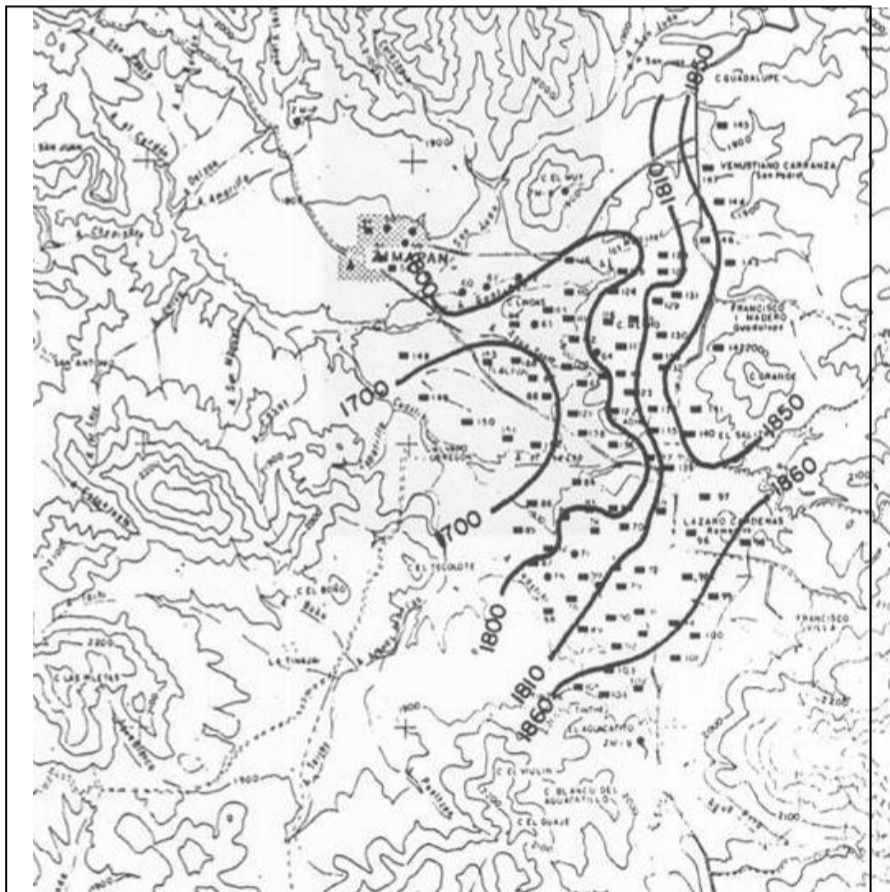


Figura III.43. Elevación al nivel estático. Acuífero de Zimapán.

Sin embargo los tres acuíferos que cohabitan esta zona determinan características únicas para la explotación del agua. No existen registros de pozos para el acuífero de Orizatlan, pero si para Zimapán e Ixmiquilpan. La Figura III.44., integra y despliega el modelo conceptual de los acuíferos de la zona.

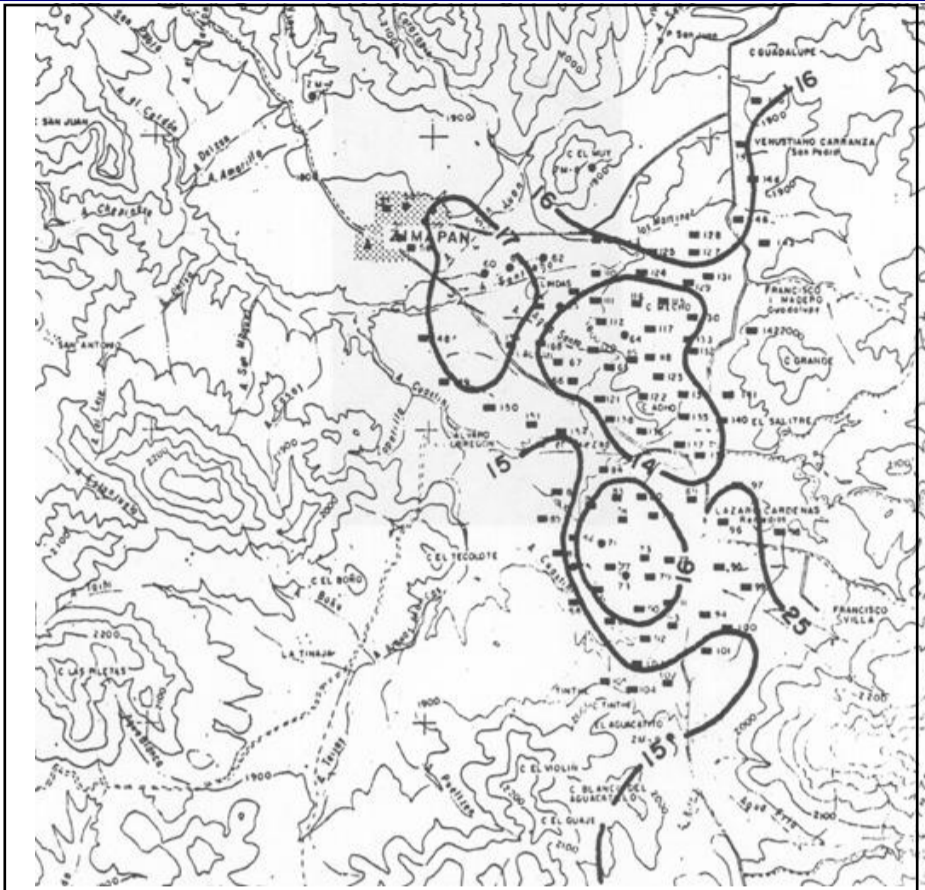


Figura III.44. Profundidad al nivel estático. Acuífero de Zimapán.

#### III.11.3.1.6.2 Acuífero de Ixmiquilpan

El comportamiento hidrogeológico de las rocas clásticas depende de su granulometría, compactación y cementación, mientras que el comportamiento de las rocas masivas o consolidadas depende de su textura y estructura, siendo los grados de fracturamiento, disolución y cementación, las de mayor influencia.

De las rocas mesozoicas, las calizas El Doctor están constituidas en un medio cárstico con permeabilidad elevada en general, pero sus características hidráulicas los catalogan como heterogéneos debido a la distribución errática de las fracturas y medios de disolución. Su transmisividad puede variar entre media y alta, lo cual se deduce por el comportamiento de los pozos, pues no se tiene apoyo en pruebas de bombeo.

En cuanto a los materiales clásticos de la formación Tarango principalmente y aluviales, constituidos en un medio granular, constituyen también un acuífero heterogéneo, de transmisividad media a baja, lo que se infiere también por el comportamiento de los pozos, pues no se tiene aforo en pruebas de bombeo.

#### Niveles de agua subterránea

A continuación se presentan las configuraciones de profundidad y elevación del nivel estático regional, representativas de las condiciones imperantes el año de 1999.

#### Profundidad del nivel estático

En la figura III.45, se muestra la configuración de las curvas de igual profundidad al nivel estático en los pozos de la región, representativa del año 1999, o sea que puede considerarse prácticamente representativa de las condiciones actuales. En el área de Ixmiquilpan-Maguey Blanco las profundidades varían entre 20 y 30 m, en tanto que hacia la porción noroccidental, al poniente de Tasquillo, varían entre 15 y 30 m.

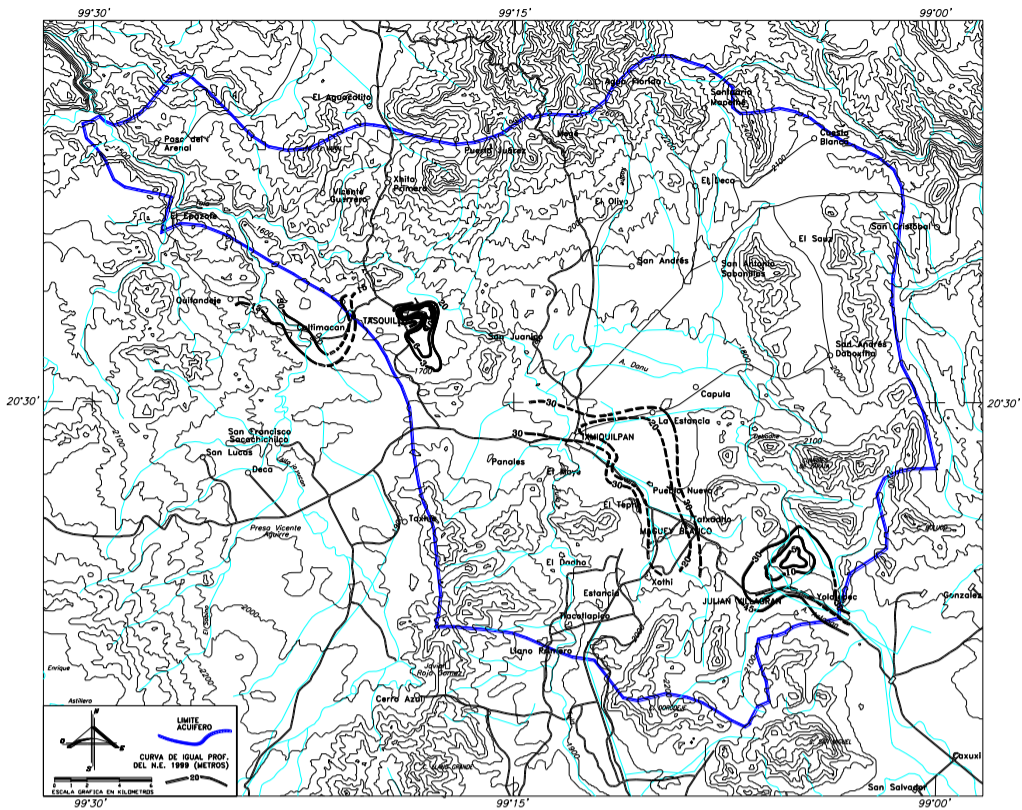


Figura III.45. Profundidad al nivel estático. Acuífero de Ixmiquilpan. 1999. CNA.

### Elevación del nivel estático

En la figura III.46, se muestra la distribución de las curvas de igual elevación de los niveles estáticos regionales, para la misma fecha de 1999. Se aprecia que el sentido general es de SE-NW, desde el poblado Julián Villagrán hasta Ixmiquilpan, pasando por Maguey Blanco y siguiendo hasta Tasquillo, según indican las curvas de igual elevación, desde los valores máximos hasta los mínimos. Se advierte una depresión piezométrica en Ixmiquilpan, producto de una sobre explotación local del acuífero, por medio de la curva cerrada 1,680 msnm; por lo demás, la configuración denota un gradiente hidráulico más o menos suave y uniforme.

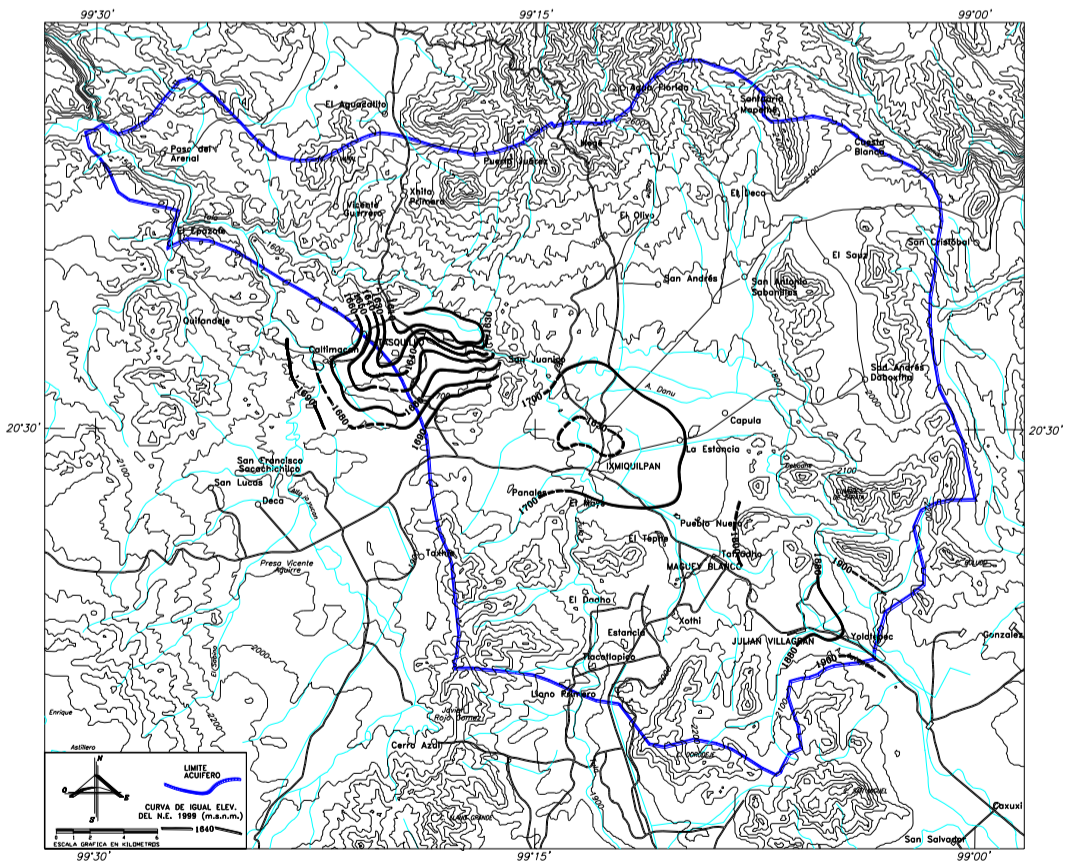


Figura III.46. Elevación al nivel estático. Acuífero de Ixmiquilpan. 1999. CNA

También es de citar una recarga natural subterránea procedente de Julián Villagrán y Maguey Blanco, tanto de los acuíferos granulares como de los calcáreos.

### **Evolución del nivel estático**

No hay información suficiente que permita formar un plano como los anteriores; sin embargo, se tiene noticia de un hecho irrefutable, consistente en la continua y gradual recuperación de los niveles piezométricos regionales, indicativo de un llenado de los acuíferos debido a la infiltración el agua conducida en el sistema de canales del Distrito, y por exceso de riego a nivel parcelario.

### **Censo de aprovechamientos e hidrometría**

En el censo realizado en 1977, aparecen 87 aprovechamientos, de los cuales 26 eran pozos, 9 norias y 52 manantiales, estadística que actualmente debe ser mucho más importante. Los principales volúmenes eran, y al parecer todavía son, las aportaciones de manantiales utilizados para agua potable, abrevadero y riego en pequeñas áreas y en el ámbito de autoconsumo. Los manantiales termales todavía se explotan con fines turísticos, como los de Dios Padre, Tephé, Tzindejeh, Bidho, Xidopathe y Totango.

Se hace mención en el estudio que los manantiales localizados en las partes altas son menos productivos, llegando al agotamiento algunos de ellos durante el estiaje, mientras que en las partes bajas los manantiales aportaban caudales considerables, como los de Tolantongo con algo más de 3 m<sup>3</sup>/s, Maguey Blanco con 274 l/s, Bidho con 185 l/s y Tzindejeh con casi 100 l/s.

En la parte sur de Ixmiquilpan es donde están localizados el mayor número de pozos, que se aprovechan en forma combinada para suministro de agua potable, abrevadero y riego de pequeñas áreas de cultivos, tal y como fue comentado.

La recarga del acuífero proviene principalmente de la lluvia y de las infiltraciones de los canales de riego, del exceso de agua de irrigación en los campos de cultivo, y en menor proporción de aportes laterales del flujo subterráneo natural.

La recarga natural considerada como la suma de la infiltración del agua de lluvia más el flujo subterráneo proveniente de las zonas montañosas que rodean al valle se ha calculado en 18.4 Mm<sup>3</sup>/año. Se incluyeron como componentes de la recarga inducida las fugas en la red de canales de riego, las fugas en las redes de agua potable y de drenaje en las ciudades, las infiltraciones por sobre riego directamente en las parcelas, ya sea por riego mediante pozos como por las aguas residuales. El monto total de la recarga inducida se ha calculado en 59.6 Mm<sup>3</sup>/año.

### **Descargas**

Las salidas del sistema acuífero están integradas por las descargas naturales que en condiciones originales presentaba el sistema, y que aún cuando hayan sido modificadas por las condiciones actuales de explotación, aún persisten; más las descargas artificiales por efecto del bombeo en los pozos. Las salidas totales del sistema se han calculado en 78 Mm<sup>3</sup>/año, distribuidos de la siguiente manera.

Las principales descargas naturales del acuífero consisten en las descargas por flujo base al Río Tula, calculadas en 10 Mm<sup>3</sup>/año, más la descarga hacia los manantiales localizados en la zona, y que se ha calculado en 50 Mm<sup>3</sup>/año.

La extracción de agua subterránea calculada en 18 Mm<sup>3</sup>/año, considera la extracción en pozos de bombeo. Las descargas por flujo subterráneo se consideran nulas ya que casi todas las salidas naturales suceden hacia los manantiales y el flujo base del Río Actopan. El acuífero de Ixmiquilpan se encuentra, hasta el momento (2005), en veda.

En general, los acuíferos listados en la Tabla III.26 cuentan con características en común, como es la conexión del nivel piezométrico hacia el sur y el flujo subterráneo de algunos acuíferos en condición de sobreexplotación.

**Tabla III.26. Datos simplificados de la extracción del agua subterránea para acuíferos.**

subregion	nombre acuífero (mm <sup>3</sup> /año)	recarga (mm <sup>3</sup> /año)	extracción (mm <sup>3</sup> /año)	Balance	condición geohidrológica
Subregión Pánuco, Región IX, Golfo Norte	Zimapan	4.00	5.00	-1.00	<b>Sobreexplotado - local</b>
	Orizatlan	2.00	0.50	1.50	<b>Subexplotado</b>
Subregión Tula, Region XIII, Aguas Valle de México	Ixmiquilpan	18.00	18.20	-0.20	<b>Sobreexplotado</b>

Fuente: CNA Gerencia Estatal Hidalgo. El cálculo es para 1998.