



*Comisión Nacional del Agua*

*Subdirección General Técnica*

*Gerencia de Aguas Subterráneas*

*Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica*

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD  
DE AGUA EN EL ACUÍFERO  
VALLE DE TULANCINGO,  
ESTADO DE HIDALGO***

México, D.F., 30 de abril de 2002

# DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ACUÍFERO VALLE DE TULANCINGO, ESTADO DE HIDALGO

## Contenido

### **1 Generalidades**

- 1.1 Localización
  - 1.1.1 Coordenadas
  - 1.1.2 Municipios

### **2 Estudios técnicos realizados con anterioridad**

### **3 Fisiografía**

- 3.1 Provincias fisiográficas
- 3.2 Clima
  - 3.2.1 Temperatura media anual
  - 3.2.2 Precipitación media anual
  - 3.2.3 Evaporación potencial media anual
- 3.3 Hidrografía
  - 3.3.1 Región hidrológica
  - 3.3.2 Subregión
  - 3.3.3 Cuenca
  - 3.3.4 Subcuenca
- 3.4 Geomorfología

### **4 Geología**

- 4.1 Estratigrafía
- 4.2 Geología estructural
- 4.3 Geología del subsuelo

### **5 Hidrogeología**

- 5.1 Tipo de acuífero
- 5.2 Parámetros hidráulicos
- 5.3 Piezometría
  - 5.3.1 Profundidad del nivel estático
  - 5.3.2 Elevación del nivel estático
  - 5.3.3 Evolución del nivel estático

### **6 Censo de aprovechamientos e hidrometría del bombeo**

### **7 Balance de aguas subterráneas**

- 7.1 Entradas
  - 7.1.1 Recarga natural
  - 7.1.2 Recarga inducida
  - 7.1.3 Flujo horizontal
- 7.2 Salidas
  - 7.2.1 Evapotranspiración
  - 7.2.2 Descargas naturales
  - 7.2.3 Bombeo
  - 7.2.4 Flujo subterráneo horizontal

### 7.3 Cambio de almacenamiento

## 8 Disponibilidad

- 8.1 Recarga total media anual
- 8.2 Descarga natural comprometida
- 8.3 Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA
- 8.4 Disponibilidad de aguas subterráneas

### Figuras

- Figura 1 Localización del Acuífero Valle de Tulancingo, Hgo.
- Figura 2 Plano del Acuífero Valle de Tulancingo, Hgo.
- Figura 3 Profundidad del nivel estático
- Figura 4 Elevación del nivel estático

### Tablas

- Tabla 1 Vértices de la poligonal del Acuífero Valle de Tulancingo, Hgo.

# DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ACUÍFERO DEL VALLE DE TULANCINGO, ESTADO DE HIDALGO

## 1 Generalidades

### 1.1 Localización

El acuífero del Valle de Tulancingo se localiza en la porción suroriental del Estado de Hidalgo. El acuífero cubre una superficie 1,021 km<sup>2</sup>, que representa cerca del 4.98% del territorio estatal.

#### 1.1.1 Coordenadas

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

Tabla 1. Vértices de la poligonal del Acuífero del Valle de Tulancingo, Hgo.

Vértice	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	98	29	13.2	20	19	1.2	
2	98	26	27.6	20	18	46.8	
3	98	23	45.6	20	17	13.2	
4	98	18	21.6	20	15	32.4	
5	98	14	52.8	20	9	57.6	
6	98	11	31.2	19	59	52.8	
7	98	11	20.4	19	58	1.2	
8	98	12	36.0	19	55	37.2	
9	98	14	45.6	19	54	32.4	
10	98	19	8.4	19	56	56.4	
11	98	24	54.0	19	57	36.0	
12	98	27	21.6	20	0	36.0	
13	98	32	6.0	20	0	0.0	
14	98	33	36.0	20	1	1.2	
15	98	34	30.0	20	3	43.2	
16	98	31	48.0	20	4	19.2	
17	98	31	51.6	20	9	21.6	
18	98	30	0.0	20	11	52.8	
19	98	30	21.6	20	15	50.4	
1	98	29	13.2	20	19	1.2	

#### 1.1.2 Municipios

Dentro del Valle de Tulancingo quedan comprendidos parcialmente 9 municipios; ocupando aproximadamente una superficie correspondiente a, el 90% de Tulancingo, 85 % de Cuautepec, 80 % de Acatlán , 70 % de Metepec, 80% de Santiago Tulantepec, el 20% de Acaxochitlán, 5 % de Tenango de Doria, el 30% de Singuilucan y el 3 % de Huasca de Ocampo.

La zona en general se encuentra bien comunicada, la vía más rápida es la Carretera No. 130 Pachuca-Tulancingo-Huauchinango, la cual atraviesa el área en su parte central, entroncando sobre la misma el tramo San Martín Pirámides-Tulancingo, la cual cruza también los municipios de Singuilucan y Santiago Tulantepec. Asimismo de la carretera anterior, deriva el tramo Tulancingo-Cuautepec, Tulancingo-Santiago Tulantepec y la carretera estatal No. 51, que inicia a la altura del poblado de San Alejo y comunica Santa María Hueytlalpan, Metepec y Ferrería de Apulco.

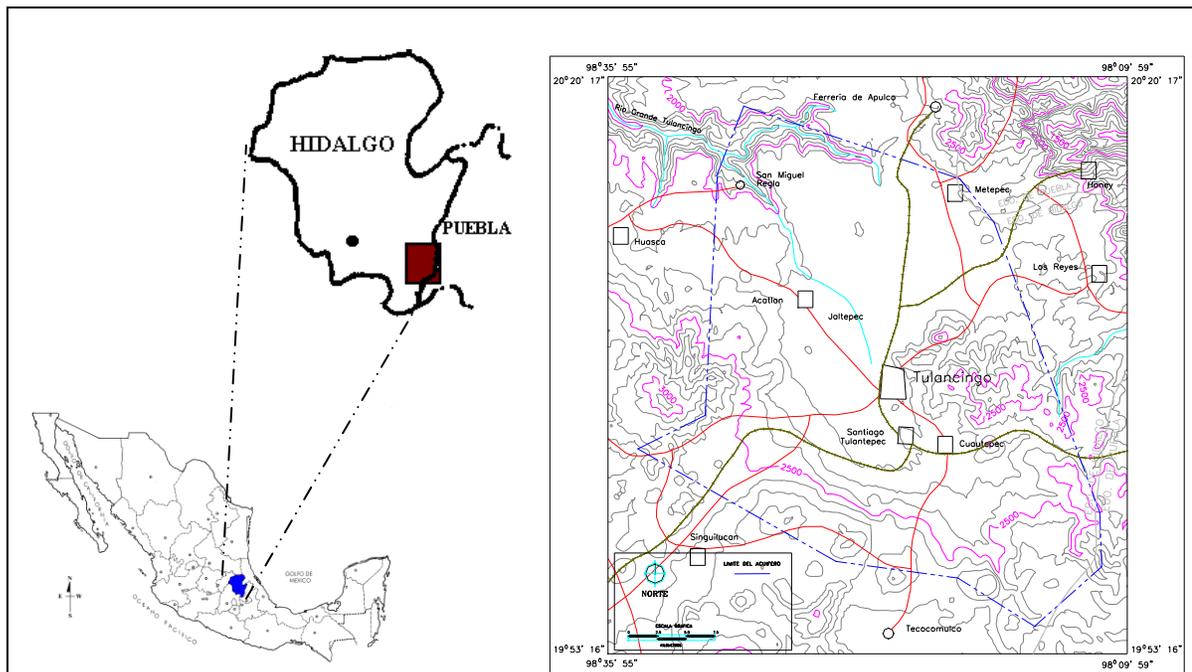


Figura 1. Localización del Acuífero Valle de Tulancingo, Hidalgo.

El Ferrocarril atraviesa hacia la parte meridional del área estudiada de poniente a oriente; la vía férrea inicia en la estación de Tapa, situada en el tramo México-Pachuca, y que pasando por la estación Ventoquipa, Cuautepec y Cima de Togo, llega hasta Beristáin. De la estación Ventoquipa se desprende un ramal que pasa por la Ciudad de Tulancingo y al llegar a la estación Empalme Sototlán se bifurca; una de estas bifurcaciones sigue la dirección norte, hasta la estación de Apulco y la otra hacia el noroeste, terminando en la estación Honey.

La actividad de mayor importancia en la región es la agricultura, siguiéndole la ganadería, la industria de la transformación, el comercio y finalmente los servicios. Los principales cultivos son alfalfa, maíz y trigo. La abundancia de forrajes ha favorecido el desarrollo de la ganadería, que además cuenta con miles de cabezas de ganado ovino, para abastecer la industria textil (lanera), establecidas en las ciudades de Tulancingo y Santiago Tulantepec.

El valor de la producción forestal es insignificante, pues aunque crecen dentro de la región especies maderables como pino, encino y oyamel; éstas no se explotan, debido a que existe veda para estas, desde 1941.

## 2 Estudios técnicos realizados con anterioridad

De la información con que cuenta la dependencia estatal de los estudios geohidrológicos del valle y el acuífero, el primer censo de aprovechamiento data de 1966, y fue realizado por la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos, comprendiendo un inventario de aprovechamientos subterráneos para riego.

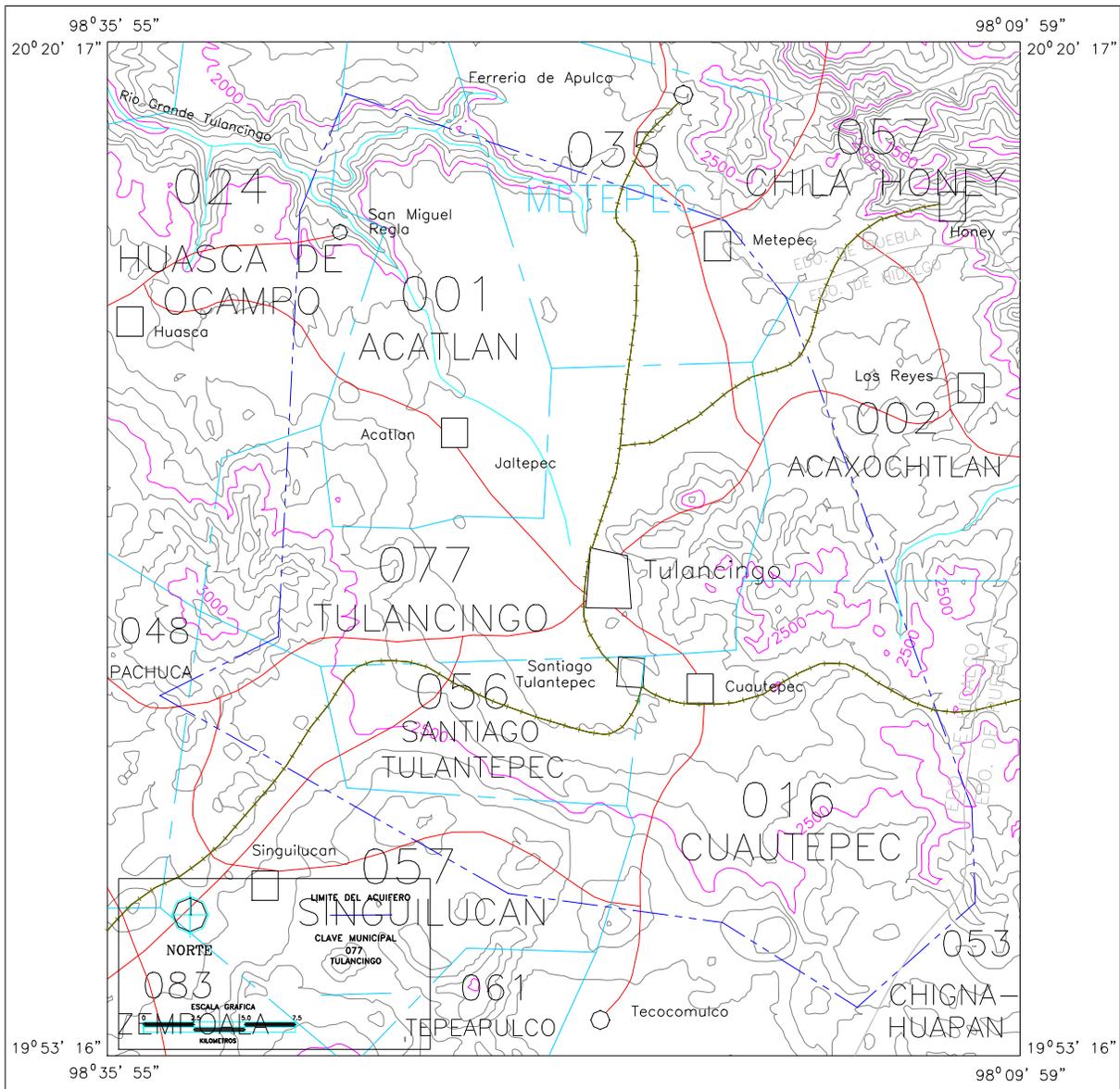


Figura 2. Plano del Acuífero Valle de Tulancingo, Hidalgo.

En 1973 se lleva a cabo el “Estudio Geohidrológico Preliminar en el Valle de Tulancingo, Estado de Hidalgo”, por la empresa Servicios Geológicos S.A., en cuyos resultados se identifican dos acuíferos: uno superficial o superior y otro profundo o inferior. Del censo realizado se identificaron 124 pozos, 125 norias y 16 manantiales. De acuerdo a la Estación Tulancingo y con datos de 1925-1972, se registro una precipitación media anual máxima de 923 mm en 1958 y una mínima de 295.7 mm en 1960.

Se identificó la recarga del acuífero inferior en los bordes de la cuenca. El bombeo genera una depresión piezométrica en los alrededores de Tulancingo. Los niveles estáticos descendieron 11.65 m de 1966 a 1973 con un promedio anual de 1.45 m.

De un balance general de 1966 a 1973, se dio una recarga de  $73.85 \text{ Mm}^3$  y un déficit de  $0.9 \text{ Mm}^3$ , en 7 años, evaluándose al acuífero como sobreexplotado.

En 1981 se llevo a cabo la “Actualización del Estudio Geohidrológico del Valle de Tulancingo, Hgo.” realizado por GEOMEX, S.A.

Mediante el estudio, se identificaron 156 pozos, 133 norias y 23 manantiales, en una superficie de  $1100 \text{ km}^2$ . Los datos climatológicos obtenidos en el período de 1961 a 1981, arrojan una precipitación media anual de 700 mm, una temperatura media anual de  $15^\circ \text{ C}$  y una evaporación media anual de 1600 mm.

El modelo conceptual inferido es de un flujo permanente de sur a norte con una depresión en la porción central del valle y otra de la porción oriental al norte del valle.

De la piezometría realizada, se detecta una profundidad del nivel estático de 45 a 60 m, una evolución negativa de 1 m de 1973 a 1981, considerando factible la extracción adicional de  $4 \text{ Mm}^3/\text{año}$  del acuífero superior en la porción noroeste y suspenderlo totalmente en el centro del mismo.

En este estudio se consideró que tanto el acuífero superior como el inferior se encontraban en equilibrio dinámico.

Se estimó una recarga de  $35 \text{ Mm}^3$  y una extracción de  $39.1 \text{ Mm}^3$  para el acuífero inferior; con respecto al superior no se hizo balance, sin embargo, en función de la configuración piezométrica se estimó subexplotado.

En 1991, se realizó el “Estudio de Actualización Geohidrológica en el Valle de Tulancingo, Estado de Hidalgo”, por la compañía THORSA, S.A.

En este estudio se concluye, que el acuífero inferior se encuentra sobreexplotado en un volumen de  $15.5 \text{ Mm}^3$ , ya que la extracción fue del orden de los  $35 \text{ Mm}^3$ , contra una recarga de  $19.5 \text{ Mm}^3$ .

En todos los demás aspectos se ratifica lo hecho en los estudios anteriores, considerando y aislando el acuífero superior del inferior.

### **3 Fisiografía**

#### **3.1 Provincias fisiográficas**

De acuerdo a la clasificación de las Provincias Fisiográficas hecha por Raiz (1964), la región estudiada queda comprendida dentro de las Provincias Fisiográficas del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental.

#### **3.2 Clima**

Dentro del Valle de Tulancingo, se tienen 4 estaciones climatológicas localizadas en la Presa de la Esperanza, Tulancingo, comunidad de Alcholoaya y Metepec.

##### **3.2.1 Temperatura media anual**

Utilizando las mismas estaciones, se calculó una temperatura media anual de 15° C, para el área de estudio con pocas variaciones de un mes a otro, siendo mayo el mes más cálido y enero el más frío.

##### **3.2.2 Precipitación media anual**

En el valle, la precipitación media anual es de 525.45 mm y son los meses de junio a octubre los de mayor precipitación.

##### **3.2.3 Evaporación potencial media anual**

Utilizando el método de Thorntwaite y considerando los datos de las estaciones de Santiago Tulantepec, Tulancingo, El Caimán (Pue), La Esperanza, Acatlán y Alcholoaya, se calculó un valor de 756.31 mm para la evapotranspiración del acuífero.

### **3.3 Hidrografía**

El sistema de drenaje en la región es del tipo dendrítico y las corrientes más importantes que lo forman son los ríos Huitzongo-San Lorenzo-Grande de Tulancingo-Chico-Tortugas, que junto con los arroyos Camarones, La Cueva y Acocul, forman parte de la Cuenca Hidrográfica Alta del Río Metztitlán.

Exceptuando al Río Grande de Tulancingo que es de régimen perenne, el resto de las corrientes en la región, son del tipo intermitente. Esta fuente en las cercanías de la Ciudad de Tulancingo drena hacia un canal, el cual 1 km aguas abajo, recibe por la margen derecha al Río Santa María, corriente alimentada aguas arriba por la Presa La Esperanza.

Ambas corrientes, continúan a través de un canal denominado Río Nuevo, del cual se desprenden canales principales que son utilizados para abastecer de agua las zonas de cultivo aledañas. Uno de estos canales, el nombrado Los Enlamaderos, se dirige hacia el NW uniéndosele a este diversos canales, entre ellos algunos provenientes de la Laguna de Zupitlán, cuyas aguas son el resultado de las excedencias generadas con el riego.

A dos kilómetros aguas arriba, en la localidad de Alcholoaya, se le unen otros canales mas, uno de los cuales corresponde a la captación del Río Grande Tulancingo.

Aguas abajo, se encuentra la estación hidrométrica Alcholoaya, la cual sirve para aforar el volumen de agua que fluye por el cauce antiguo del Río Alcholoaya, al cual descarga el canal Los

Enlamaderos. Así, los volúmenes cuantificados en la estación Alcholoya sirven para conocer los volúmenes no utilizados en la zona de riego.

En cuanto al canal Río Nuevo, este continúa hacia el norte hasta drenar, cerca de la localidad de Acocul La Palma, en el cauce natural del Río Cocula., continuando en esa dirección y cambiando su curso hacia el oeste, hasta unirse por la margen derecha al Río Alcholoya. De este punto continúa como Río Grande de Tulancingo hasta drenar en el Lago de Metztlán.

De la confluencia con el Río Grande Tulancingo, la corriente se aleja del área de estudio entrando a la Sierra Madre Oriental.

### **3.3.1 Región Hidrológica**

El valle de Tulancingo, se ubica en la Región Hidrológica No. 26 “Cuenca del Río Pánuco”, ubicada al centro-noreste de la República Mexicana.

### **3.3.2 Subregión**

La Subregión corresponde al Alto Pánuco del Río Moctezuma, del cual es afluente el río que recibe diferentes nombres: Quetzalapa, Amajac, Metztlán y Río Grande Tulancingo.

### **3.3.3 Cuenca**

La cuenca en la que se aloja el acuífero corresponde a la Parte Alta de la Cuenca del Río Metztlán, cuya superficie abarca porciones de los Estados de Puebla, Hidalgo y Veracruz.

### **3.3.4 Subcuenca**

Se denomina Valle de Tulancingo a la subcuenca en donde se aloja el acuífero del mismo nombre, dentro del cual el Río Grande Tulancingo se forma en el estado de Puebla y con diferentes nombres cruza la subcuenca hasta su confluencia con el Río Metztlán.

## **3.4 Geomorfología**

Dentro de las formas de relieve de origen endógeno, tenemos a las cadenas montañosas, las elevaciones aisladas, y una gran cantidad de volcanes pequeños, mesetas y elevaciones de poca extensión asociadas a derrames de lava.

El área de estudio se caracteriza por conformar una extensa altiplanicie rodeada por sierras volcánicas, con innumerables abanicos y llanuras aluviales, localmente esta constituida por un amplio valle intermontano, con elevación media sobre el nivel del mar de 2150 m, con un marcado desnivel de sur a norte y de forma burdamente triangular, con su parte mas angosta localizada al sur de la población de Tulancingo, sitio que se puede considerar prácticamente como la zona donde se inicia el valle, ampliándose hacia el Norte, sobre una línea de orientación NW-SE, que pasa por los poblados de Totolapa el Grande y Santa Ana Hueytlalpan, alcanzando en estos lugares, una anchura del orden de 22 km. La longitud del valle en dirección sur-norte, desde el poblado de Santiago Tulantepec hasta la porción septentrional del área estudiada es de unos 25 km, aunque continúa al norte por algunos kilómetros mas.

El valle esta limitado en su parte sur-oriental y centro-orientale por una cadena montañosa, en la que se localizan los cerros de Tlachaloya, La Paila, Tlancues, La Cantera, El Abra y Napateco,

con alturas que varían entre 2,450 y 3,050 msnm, se encuentran constituidos por rocas riolíticas y sus correspondientes piroclásticos. Hacia el sur-oeste, se localizan las estribaciones de la sierra de Pachuca, con orientación NW-SE, constituida principalmente por flujos de lavas y flujos de piroclásticos basálticos, exceptuando el Cerro del Milagro (3,150 msnm), formado por derrames riolíticos; mientras al NE se ubica el Cerro Viejo (2,750 msnm), de constitución riolítica y los lomeríos basálticos, con elevaciones de hasta 2,300 msnm, de San Mateo y Buenavista.

En la misma región se han modelado formas topográficas arredondeadas, en los cerros constituidos por rocas poco resistentes a la erosión y acantilados con fuertes pendientes, en aquellos en los que las rocas son más resistentes. Por otra parte, las corrientes en el valle tienen cauces de poca profundidad, lo que aunado a las características fisiográficas de las partes elevadas, permite concluir que la región está en una etapa de erosión fluvial correspondiente a un estado de juventud.

En la zona de las sierras la infiltración se realiza a través de fallas, fracturas y diaclasas; en los valles, ocurre a través de los espacios abiertos entre la granulometría que los constituyen. Las zonas con mayor potencial en la recarga natural, son sin duda los valles, debido al tipo de materiales que los constituyen

#### **4 Geología**

El área de estudio queda comprendida dentro de las Provincias Geológicas del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental; sin embargo, en superficie únicamente se encuentran rocas volcánicas características de la primera provincia, las cuales se estima que están sobreyaciendo discordantemente a las rocas mesozoicas de la Sierra Madre Oriental. De tal forma la edad de las formaciones geológicas en esta región, varía desde el Terciario Inferior (Oligoceno) hasta el Reciente.

##### **4.1 Estratigrafía**

La zona estudiada presenta afloramientos de rocas volcánicas, representadas por flujos de lavas, flujos de piroclastos y materiales sedimentarios de abanicos aluviales y fluviales con un rango de edad que varía del Mioceno al Reciente.

Rocas del Grupo Pachuca. Las rocas de este grupo se agruparon en 8 formaciones, de composición riolítica o basáltica, predominando las andesitas y dacitas. En el área de estudio se consideró como una sola formación compuesta por flujos de lavas, tobas y brechas, de composición riolítica, y dacítica cuya edad se asignó al Mioceno. Las riolitas son masivas, de color rosa, presentan estructura fluidal, cubren extensas superficies del área estudiada específicamente en los sectores nororiental, centro-oriental y meridional, en donde conforman elevaciones prominentes con fuertes pendientes. Las dacitas son masivas de color gris y gris pardo, presenta pseudoestratificación y conforma la parte basal de la unidad. El espesor estimado para esta formación fue de 400 m.

Riolitas Navajas. Estas rocas se encuentran aflorando hacia el sector centro-occidental del área. Corresponden con flujos de lava masivos, de color rosa claro, de estructura fluidal. Se les estimó un espesor de 500 m, del mismo modo, consideran que están cubriendo discordantemente a las rocas del Grupo Pachuca. Su edad la estiman dentro del Terciario Superior (Plioceno).

Formación Atotonilco El Grande. Los materiales de esta unidad se distribuyen en la porción centro-oriental del área, específicamente 50 km al NE de Tulancingo. Está compuesta principalmente por flujos de piroclásticos, representados por capas de pómez, flujos de cenizas, e intercalaciones de flujos de lavas de composición basáltica. La Formación Atotonilco se le consideró un espesor superior a 100 m, por otra parte, al igual que la Riolita Navajas, se le asignó una edad Plioceno, interpretándose que ambas formaciones se encuentran interdigitadas a profundidad.

Basaltos. Son los que se encuentran mas ampliamente distribuidos en el área de estudio; su estructura física, notablemente fracturada, varia de vesicular a poco vesicular. Presenta espesores desde 40 m en la porción sur, hasta casi desaparecer en la porción norte, a la altura de la Laguna de Zupitlán. Intercalados con los basaltos se encuentran materiales piroclásticos de color gris oscuro, los cuales se originaron al mismo tiempo que aquellos, por la erupción de conos cineríticos tales como El Tepenacasco, localizado al noroeste de la ciudad de Santiago Tulantepec y El Tezontle, ubicado en las cercanías de la Ciudad de Tulancingo. Los basaltos y piroclásticos datan del Cuaternario; descansan concordantemente en la Formación Atotonilco El Grande, y discordantemente en las rocas del Grupo Pachuca y Riolitas Navajas.

Aluvión Regolita. El aluvión se considera que está conformado por materiales, depositados a través de abanicos aluviales y corrientes fluviales de granulometría diversa, constituyendo espesores variables: la regolita es material que proviene de la alteración “in situ” de las rocas basálticas y/o sus clásticos asociados, aflorando en las laderas de los valles.

#### **4.2 Geología estructural**

En la región existen una gran cantidad de fallas y fracturas, que han afectado primordialmente a las rocas volcánicas. En términos generales, es posible diferenciar dos sistemas de fracturas y fallas, el principal con una orientación promedio de N30°E y al cual corresponde la falla de mayores dimensiones (32 km de longitud), que se manifiesta en la superficie por una persistente alineación de aparatos volcánicos. Asociado con esta discontinuidad se presenta otro patrón de fallas con esta tendencia y buzamiento entre 45° y 70° al NW y SE, se presentan distribuidas ampliamente sobre rocas volcánicas pertenecientes al Grupo Pachuca, con saltos hasta de 7 m y longitudes que varían de 300 a 1000 m.

Por otra parte, el segundo sistema de fracturamiento, que presenta una orientación general N50°W, tiene su manifestación más importante en la falla localizada sobre el valle en la parte NW del área, donde se le observa sobre una longitud aproximadamente 12 km y se le ha considerado como el conducto por el cual fluyeron los derrames lávicos basálticos mas recientes, que afloran sobre el valle.

Fracturas y fallas de menores dimensiones afectaron las rocas del Grupo Pachuca así como la Formación Atotonilco El Grande y en el afloramiento de esta última unidad, situada al NE de Tulancingo, actualmente en explotación para material de construcción, es posible observar que las capas de pómez han sido desplazadas entre 0.30 a 7 m, por una familia de fallas que tienen longitudes superiores a 70 m.

Estructuras del tipo de pliegues no se observan en la región, pues en términos generales, los horizontes clásticos de las diferentes formaciones no han sufrido deformaciones notables y

conservan sobre el valle una posición casi horizontal y en las laderas de los cerros un buzamiento hacia el centro de la cuenca, lo que indica que su posición actual corresponde a la de su depósito original.

### **4.3. Geología del subsuelo**

Para el estudio y exploración del subsuelo del Valle de Tulancingo se ha utilizado además de la correlación geológica de las formaciones litológicas, los cortes litológicos de los pozos y sondeos eléctricos verticales (SEV's).

De los tres estudios realizados, se analizaron un total de 27 cortes litológicos, 50 registros eléctricos verticales de resistividad y sondeos eléctricos con profundidades de exploración de 300 y 1300 m llegando a la siguiente interpretación.

*Material aluvial.* Corresponde a sedimentos subsuperficiales constituidos por gravas, arcillas y limos que presentan de 1 a 20 m de espesor, cuyas resistividades varían de 23 a 42  $\Omega$ -m. Los valores más bajos se asocian con materiales predominantemente arcillosos; en tanto que los más altos, se asocian con gravas.

*Basaltos.* Es la unidad geológica de mayor distribución en la zona de estudio. En la parte más somera, los basaltos presentan intenso fracturamiento y alta vesicularidad, disminuyendo estas características conforme se profundizan; en algunas porciones aflora, y en otras subyace al material aluvial, su espesor varía entre 20 y 44 m en promedio y su resistividad entre 16 y 140  $\Omega$ -m. Las variaciones de resistividad se interpretan como variaciones en su grado de fracturamiento y vesicularidad.

*Piroclásticos intercalados con rocas volcánicas (Formación Atotonilco El Grande).* Es una alternancia de materiales piroclásticos, capas de cenizas volcánicas (tezontle y pómez) y eventualmente, riolitas y basaltos; se distribuyen ampliamente en el valle, tiene espesores que varían de 50 m a posiblemente más de 120 m, se encuentran poco consolidados, y subyace a los basaltos. Esta unidad geológica registra resistividades que varían entre 75 y 175  $\Omega$ -m.

*Riolitas Navajas.* Son potentes derrames de riolitas masivas poco fracturadas, que subyacen a la formación Atotonilco El Grande y a los derrames basálticos. Esta unidad presenta resistividades altas comprendidas entre 140 y 1000  $\Omega$ -m, y posiblemente descansen en forma discordante en rocas del Grupo Pachuca y de la Formación Mezcala.

## **5 Hidrogeología**

### **5.1 Tipo de Acuífero**

Dentro del Valle se tienen dos acuíferos, uno superior, que es de tipo libre, y el inferior sobre el cual se han hecho 24 pruebas de bombeo, de las cuales 4 resultaron de tipo libre, 2 de acuífero confinado y las restantes de semiconfinado.

*Formaciones impermeables.* Dentro de esta unidad se agrupan las rocas cartografiadas como Grupo Pachuca y Riolitas Navajas; las primeras constituidas por derrames de riolitas, "brechas" riolíticas, tobas riolíticas y corrientes dacíticas, que afloran en la porción central oriente y sur del área, cubriendo una zona aproximadamente 300 km<sup>2</sup>, formando cerros escarpados de laderas con

fuerter pendientes, así como cerros arredondeados coronados por mesetas de poca amplitud.

La Riolitas Navajas se presentan en formas de gruesos derrames, que cubren una superficie de aproximadamente 40 km<sup>2</sup>, en la porción central-poniente de la región estudiada y constituyen cerros altos de laderas con fuertes pendientes y algunos acantilados. En ambas formaciones geológicas la cubierta del suelo es del orden de unos 50 cm, que en general tiene un carácter caolinítico, retienen cantidades poco significativas del agua de lluvia y sobre esta se desarrolla con relativa abundancia pinos, encinos, matorrales y pastizales.

El conjunto de estas rocas impermeables constituyen, al oriente, poniente y noroeste del área, las “fronteras laterales” del flujo subterráneo y en la parte sur-central y noroeste forman la roca basal del acuífero en estudio. El extremo noroeste del basamento del acuífero, probablemente este constituido por la Formación Méndez (lutitas impermeables), como se observa a unos cuantos kilómetros al norte de Alcholoaya, en las profundas cañadas que ha labrado el río del mismo nombre.

*Formaciones permeables.* Incluyen todas las rocas del Cuaternario, descritas a continuación de la mas antigua a la mas moderna y de acuerdo con su posición estratigráfica:

*Formación Atotonilco El Grande.* Dentro de la región estas rocas sólo están presentes en un afloramiento de escaso medio kilómetro cuadrado de extensión, situado al NE de Tulancingo, habiéndose determinado sus características a partir de los cortes litológicos obtenidos en algunos pozos.

La unidad estratigráfica esta constituida por material clástico (gravas, arenas y arcillas), poco consolidado, con intercalaciones de capas de cenizas volcánicas, pómez y delgados derrames de basalto. En el subsuelo de la región estudiada correspondiente al valle, esta formación se presenta sobre una extensa área y con espesores que sobrepasan a los 100 m; su permeabilidad es a través de medios porosos del tipo intersticial en los clásticos y primaria por vesicularidad en la pómez y el basalto. De las formaciones geológicas presentes en la región, la denominada Atotonilco El Grande es la de mayor importancia, pues constituye el acuífero principal.

Los flujos de lavas basáltica de hasta de 60 m de espesor, intercaladas entre horizontes de piroclásticos basálticos de 5 a 30 m de potencia, que forman laderas y cerros en la porción sur y NE del área, cubren una superficie aproximada de 250 km<sup>2</sup>.

Esta formación que se caracteriza por tener una permeabilidad alta (por vesicularidad y fracturamiento), se considera como una de las zonas de recarga más importante, como consecuencia de la infiltración del agua de lluvia.

Flujos de lavas de basalto intercaladas en horizontes de material piroclástico también basáltico, ambas con espesores de 4 a 8 m, se presentan en las laderas de las prominencias situadas en la porción NW del área así como dentro del valle en su parte norte.

Material piroclástico con abundancia de clásticos aluviales y algunos horizontes arcillosos, que se presentan cubriendo a las unidades estratigráficas antes mencionadas, con espesores hasta de 13 m; afloran sobre una superficie aproximada de 350 km<sup>2</sup>, únicamente sobre el valle.

La regolita y el aluvi3n son cl3sticos de muy diferente granulometr3a, que se presentan sobre una 3rea de unos 40 km<sup>2</sup>, formando una cubierta de 1 a 20 m de espesor, sobre las partes planas de las laderas y a los lados de los cauces de los arroyos.

## 5.2 Par3metros hidr3uticos

Las caracter3sticas hidr3uticas dentro del ac3ifero, se han estimado en los diferentes estudios realizados obteni3ndose los siguientes resultados:

### Estudio Geohidrol3gico 1973

#### Zona I Tulancingo

Coeficiente de Almacenamiento (S) = 0.0016  
Coeficiente de Infiltraci3n (I) = 0.0051

#### Zona II 3rea Noroeste

Coeficiente de Almacenamiento (S) = 0.01004  
Coeficiente de Infiltraci3n (I) = 0.126

#### Zona III 3rea Noreste

Coeficiente de Almacenamiento (S) = 0.0071  
Coeficiente de Infiltraci3n (I) = 0.00195

Coeficiente de Almacenamiento Medio Regional =  $1.6 \times 10^{-3}$   
Coeficiente de Transmisividad Media Regional =  $2.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

### Estudio Geohidrol3gico (1991)

Coeficiente de Almacenamiento Regional = 0.00624  
Coeficiente de Transmisividad Regional =  $2.10 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

15 pruebas de bombeo var3a de  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  en Acocul La Palma a  $30 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  en Huapalcalco.

Transmisividad de  $0.09 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  a  $5.32 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$   
Promedio de  $2.19 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

Zona I Tulancingo	S= 0.0016	Coef. I = 0.0051
Zona II Zona Noroeste	S= 0.01004	Coef. I = 0.126
Zona III Zona Noreste	S= 0.0071	Coef. I = 0.00195
Promedio = 0.013		

## 5.3 Piezometr3a

Se han hecho mediciones piezom3tricas desde los a3os 60, sin embargo, es hasta 1973, 1980, 1991 y 1999 cuando se configur3 la piezometr3a y se elaboraron los planos base del nivel est3tico y su evoluci3n, a excepci3n de 1999. Las mediciones se efectuaron durante la temporada de estiaje y de lluvias.

### **5.3.1 Profundidad del nivel estático**

Haciendo una comparación de los planos de profundidad del nivel estático de 1973 y 1990, se observa una mejoría en los niveles correspondientes, en los alrededores de Santiago Tulantepec, donde pasaron de 57.80 m a 50.80 m, así como en las inmediaciones de Tulancingo donde pasaron de 59.60 m a 57.25 m y en la porción norte del acuífero al pasar de 23.80 m a 22.70 m. Mientras que en la porción oriental existe un incremento en la profundidad, pasando de 52 m a 55 m.

Estudios realizados por la Comisión Nacional del Agua, reportan que actualmente el nivel promedio de la profundidad del nivel estático varía de 60 m en la porción sur a 80 m en la zona norte. Cabe hacer mención que durante el año de 1999, se han observado recuperaciones parciales, sobre todo en los pozos que tienen conexión hidráulica con el acuífero superior.

### **5.3.2 Elevación del nivel estático**

De acuerdo a las primeras mediciones realizadas en los 60's, la elevación del nivel estático variaba entre las cotas 2110 y 2130; para 1973 esta era de 2070 a 2130 y para 1990, de 1983 a 2395. Mientras que para 1999, según datos recientes, para los mismos lugares esta se encuentra a 2040 y 2100.

En lo referente al cono de abatimiento actual, que se tiene en las inmediaciones de Tulancingo, en el año de 1966 este se ubicaba en la cota 2110, en 1981 en la 2095, en 1991 en la 2101.93 y en 1999 en la 2070 y al parecer se comienza a formar otro cono de abatimiento en la zona oriente, en las inmediaciones de San Pedro Tlachichilco, pero que por falta de datos no se ha podido configurar.

### **5.3.3 Evolución del nivel estático**

Desde 1971 que se efectuó las primeras evoluciones se detectó que el período de 1966 a 1971, hubo descenso de 11.65 m en la zona Tulancingo, es decir, un promedio de 1.45 m/año, dándose una disminución del almacenamiento de  $0.9 \text{ Mm}^3$ .

De 1973 a 1981 se reportó un abatimiento del nivel estático cuyo valor se da en función a la distancia al área de mayor concentración de aprovechamientos (Tulancingo) y éste fue de 5 a 0 m del centro a la periferia.

De 1966 a 1999 se estimó con base en mediciones en menor número de pozos, que la evolución del nivel estático tuvo una variación de 1 a 4 m; en las inmediaciones de Tulancingo y noroeste de Acatlán respectivamente.

Correlacionando esta evolución negativa y las configuraciones que se tenían en 1996 y en 1999, se comprueba que año con año se disminuye el almacenamiento del acuífero que a nivel regional en la zona sur el abatimiento es de 30 m, en la zona de Tulancingo de 40 m y en la zona norte de 60 m en un lapso de 33 años; es decir, a un promedio de 0.9, 1.21 y 1.81 m respectivamente. El abatimiento promedio en el área de estudio es de 1.3 m/año.

## 6 Censo de aprovechamientos e hidrometría del bombeo

Dentro del valle y acuífero, se han efectuado 3 censos de aprovechamientos, obteniéndose resultados diferentes, debido por un lado al incremento de aprovechamientos en los lapsos de tiempo, entre uno y otro y por otro, al área cubierta, en cada uno de ellos. El concentrado se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 2. Censos de aprovechamientos realizados en el Acuífero Valle de Tulancingo, Hgo.

Estudio	No. Pozo	No. Norias	No. Manantiales	Total	
Superficie					
1973	124	125	16	265	798
1980	156	133	23	312	1100
1991	145	7	12	164	298

Así tenemos que del último recorrido en campo, efectuado en 1991, se llevó a cabo un inventario de aprovechamientos de agua subterránea censándose un total de 145 pozos, 7 norias y 12 manantiales; de los 145 pozos, 13 se encuentran inactivos, principalmente por reparación. De estos aprovechamientos el 75% se destina a las actividades agrícolas, el 19% para uso público urbano y el 6% restantes en otras actividades. El volumen extraído por bombeo es de 30.63 Mm<sup>3</sup>/anuales, cifra que se calculó en función del régimen de operación de los aprovechamientos.

En el último censo, realizado por Ariel (1999), se reportaron un total de 308 aprovechamientos de agua subterránea. De estos aprovechamientos 209 se destina a las actividades agrícolas, 33 para uso público urbano, 35 para uso doméstico y 31 para uso industrial. El volumen total extraído por bombeo, para este año es de 111 Mm<sup>3</sup>/año, de los cuales 83.6 son para uso agrícola, 19.8 para uso público urbano, 1.85 para uso doméstico y 6.2 para uso industrial.

Por último, para finales de 1999, se tiene registrados un total de 298 aprovechamientos en el REPDA, de los cuales 203 son de uso agropecuario, 66 uso público urbano y doméstico, 15 de uso industrial y 14 de servicios.

## 7 Balance de aguas subterráneas

El área donde se tiene información piezométrica, considerada para la realización del balance es de 250 km<sup>2</sup>. Tomando en consideración el comportamiento del agua subterránea en el periodo de noviembre de 1990 a abril de 1991, en el Valle de Tulancingo, y a partir de la configuración de elevación del nivel estático para este último año, se trazó la red de flujo y área de balance.

La ecuación general de balance de acuerdo a la Ley de la Conservación de la Masa es como sigue:

$$\text{Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio de almacenamiento .....(1)}$$

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa, al cambio de almacenamiento de una unidad hidrogeológica, representada como sigue:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento} \\ \text{en la unidad hidrogeológica .....(2)}$$

Más específicamente la ecuación queda como sigue:

$$[\text{Eh} + \text{I}_1 (\text{Volumen lluvia}) + \text{I}_2 (\text{ Uso público urbano}) + \text{I}_3 (\text{Usos agrícola + otros})] - \\ [\text{Sh} + \text{Q}_{\text{base}}, + \text{Manantiales} + \text{Evapotranspiración} + \text{Extracción}] = \\ \mathbf{V_d S = \Delta A .....(3)}$$

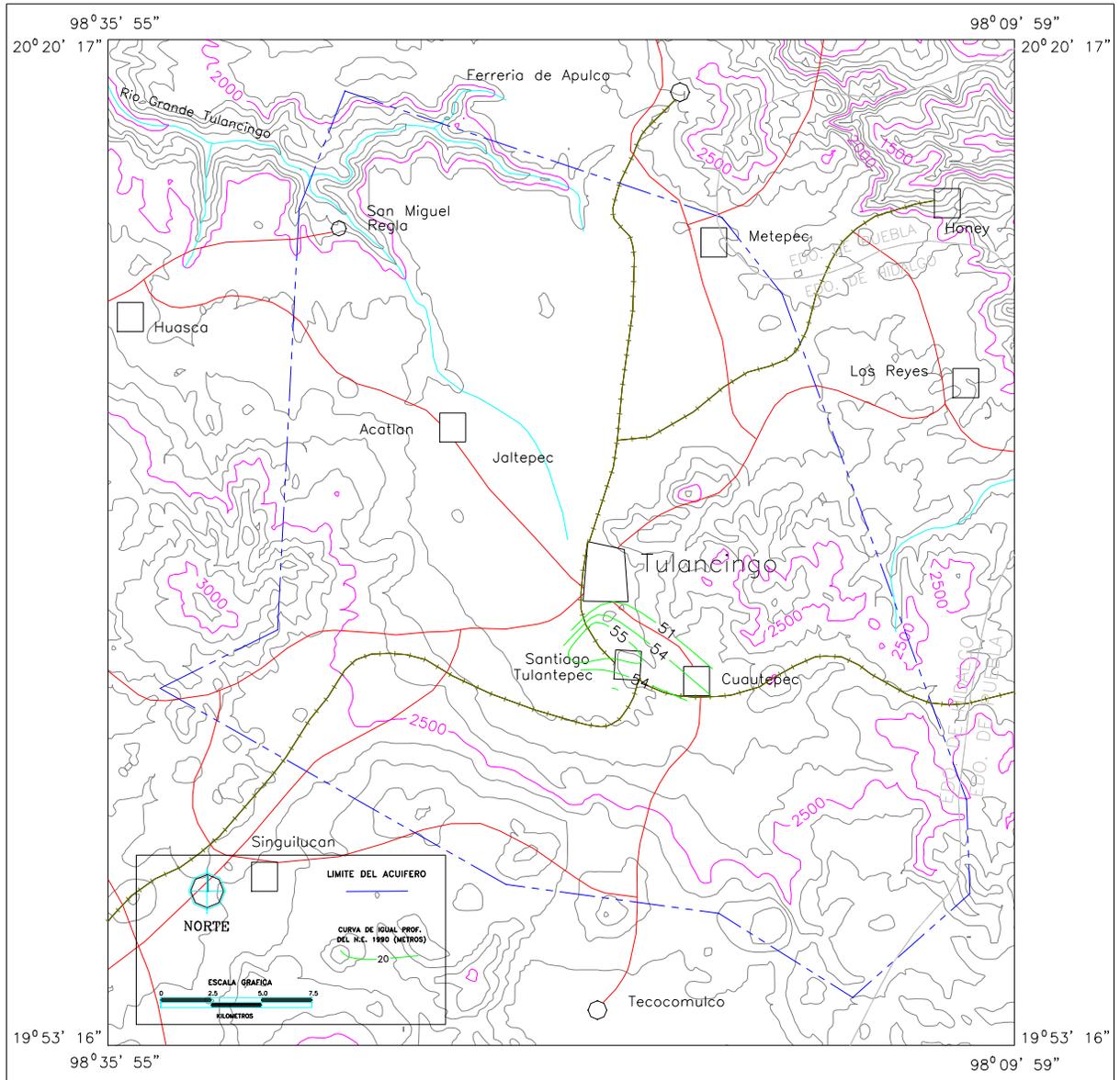


Figura 3. Profundidad del nivel estático 1990.

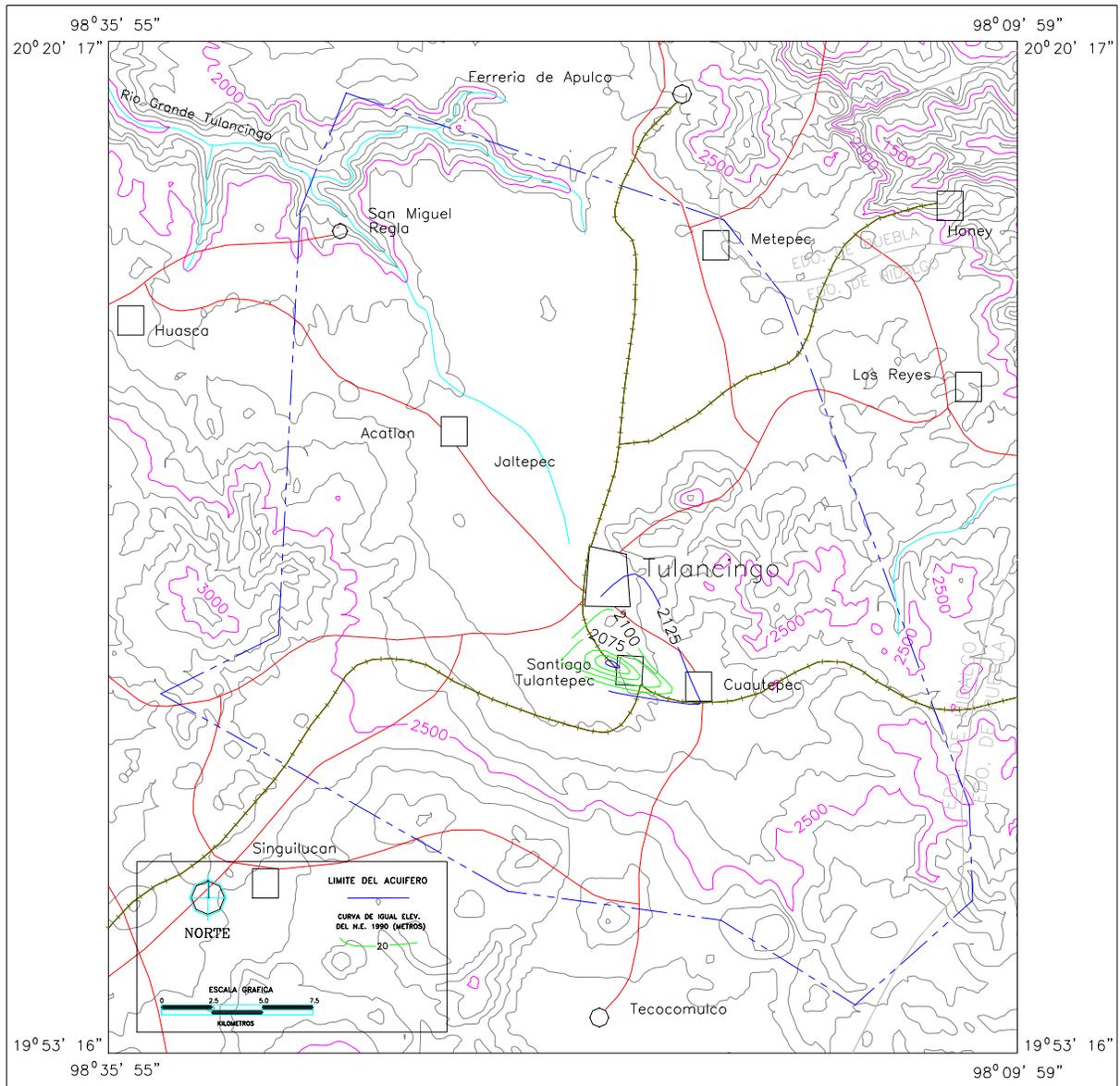


Figura 4. Elevación del nivel estático msnm 1990.

## 7.1 Entradas

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

### 7.1.1 Recarga natural

La precipitación media anual promedio en la zona de estudio, calculada por polígonos de Thiessen es de 525.45 mm y el área de balance, considerando exclusivamente el valle, es de aproximadamente 250 km<sup>2</sup>, dando un volumen total precipitado de 131.36 Mm<sup>3</sup>/año. De lo anterior y tomando en consideración que el valor del coeficiente de infiltración, calculado en los estudios anteriores en el área de estudio, es de 0.126 se tiene que la recarga al acuífero por lluvia es de 16.6 Mm<sup>3</sup>/año.

### 7.1.2 Recarga inducida

Para riego se utiliza un volumen de aguas subterráneas de 16.74 Mm<sup>3</sup>/año y 6.26 Mm<sup>3</sup>/año de aguas superficiales (Presa La Esperanza y aguas negras), dando un volumen total de 23 Mm<sup>3</sup>/año de agua utilizada para el riego. Tomando en cuenta el valor del coeficiente de infiltración, tenemos que la recarga inducida es de 2.9 Mm<sup>3</sup>/año.

### 7.1.3 Flujo horizontal

Para obtener el volumen de agua que entra naturalmente al área de balance mediante flujo subterráneo, se tomaron en cuenta los parámetros hidráulicos del acuífero y el plano donde se constituyeron los canales de flujo, a partir de los cuales se obtuvieron las entradas horizontales, para finalmente obtener el volumen que entra al acuífero para el período considerado.

El flujo del agua subterránea tiende regionalmente hacia el norte, aun cuando se generen flujos locales de inversión (conos de abatimiento), a consecuencia de la extracción masiva del líquido cerca de la ciudad de Tulancingo.

Las recargas al acuífero por flujo subterráneo provienen de los materiales volcánicos de las sierras circundantes, en especial de los derrames basálticos de la Formación Atotonilco. La cuantificación de estas se realizó solamente en parte, ya que al oeste de la Laguna de Zupitlán, la insuficiencia de aprovechamientos impide su exacta evaluación.

El cálculo de entradas por flujo horizontal (Eh), se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático del año 1991, obteniéndose un promedio, y a la transmisividad obtenida a través de las pruebas de bombeo efectuadas en las zonas distribuidas en la zona de estudio, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

- Q = gasto que pasa por un determinado canal de flujo;
- T = transmisividad;
- B = ancho de la celda;
- i = gradiente hidráulico

La entrada natural al sistema acuífero por flujo subterráneo para el mes de Abril de 1991 es del orden de  $0.622 \text{ m}^3/\text{s}$  que llevado a su equivalente anual es de  $19.6 \text{ Mm}^3$ .

## **7.2 Salidas**

### **7.2.1 Evapotranspiración**

En el área de estudio de acuerdo con las profundidades de los niveles estáticos, se considera una evapotranspiración nula.

### **7.2.2 Descargas naturales**

Para calcular el volumen que se descarga de forma natural del área de balance por flujo subterráneo, se tomaron en cuenta los parámetros hidráulicos del mismo y las configuraciones de las isopiezas, donde se constituyeron al igual que para el cálculo de entradas, canales de flujo. Atendiendo a los resultados anteriores se tiene que para el periodo de abril de 1991 se obtiene un volumen de agua del orden de  $0.166 \text{ m}^3/\text{s}$  que llevado a su equivalente anual es de  $5.22 \text{ Mm}^3/\text{año}$ .

Los manantiales existentes como el de Ventoquipa, en realidad corresponden a descargas de las recargas ya que además de presentarse normalmente a niveles topográficamente más altos que el nivel medio del valle, la turbiedad de sus aguas hace suponer en recargas de régimen turbulento y de rápida penetración.

### **7.2.3 Bombeo**

El cálculo de la extracción de aguas subterráneas por bombeo para 1991, se realizó mediante los caudales medidos y tiempo de operación de los pozos activos. Los resultados de estos cálculos concluyen que el volumen extraído por bombeo para el período considerado es de  $30.63 \text{ Mm}^3/\text{año}$ .

### **7.2.4 Flujo subterráneo horizontal**

El acuífero somero o superior de tipo colgado ubicado en la zona de la Ciudad de Tulancingo es posible drene cierto volumen al Río Grande Tulancingo, al cual se añaden las descargas de aguas negras que le aporta la ciudad.

El agua subterránea del sistema acuífero en el valle de Tulancingo tiene un movimiento general con sentido Sur-Norte, de esta manera se considera la existencia de salidas de agua por flujo subterráneo hacia la parte norte, coincidiendo con las salidas de agua superficiales, por un total de  $5.227 \text{ Mm}^3$  anuales.

## **7.3 Cambio de almacenamiento**

Para el cálculo de este término se consideró la evolución piezométrica del acuífero en el intervalo de tiempo de 1990 a 1991, con base en la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático. Determinando que la variación de los niveles es de  $1.3 \text{ m/año}$ , valor que aplicado al área de valle ( $250 \text{ km}^2$ ), resulta un volumen drenado (Vd) de  $325 \text{ Mm}^3/\text{año}$ , lo que aplicado al coeficiente de almacenamiento de  $0.00624$ , resulta un cambio de almacenamiento de  $-2.028 \text{ Mm}^3/\text{año}$ .

En forma resumida el balance, para el periodo de 1990 a 1991, se presenta en la tabla 3, de acuerdo con la expresión (3).

## 8 Disponibilidad

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

$$\begin{array}{l} \text{Disponibilidad media} \\ \text{anual de agua} \\ \text{subterránea en una} \\ \text{unidad hidrogeológica} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Recarga total} \\ \text{media anual} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Descarga natural} \\ \text{comprometida} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Volumen anual de} \\ \text{aguas subterráneas.....(5)} \\ \text{concesionado e} \\ \text{inscrito en el REPDA} \end{array}$$

### 8.1 Recarga total media anual

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural, más la recarga inducida, que para este caso es de 39.1Mm<sup>3</sup>/año.

### 8.2 Descarga natural comprometida

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

### 8.3 Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, al 30 de abril de 2002, es de 55,694,816 m<sup>3</sup>/año.

### 8.4 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 total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA, que de acuerdo con la expresión (5) resultó ser de -16,594,816 m<sup>3</sup>/año.

$$\mathbf{-16,594,816 = 39,100,000 - 0.0 - 55,694,816}$$

La cifra indica que no existe volumen disponible para nuevas concesiones en la unidad hidrogeológica denominada Acuífero Valle de Tulancingo, Hidalgo.

México, D.F., 30 de abril de 2002.

Tabla 2. Balance de aguas subterráneas.

Área total del acuífero			Km <sup>2</sup>	1021
<b>RECARGA TOTAL</b>				
Área del valle			Km <sup>2</sup>	250
Coeficiente				0.126
Precipitación			mm/año	525.45
Recarga natural por lluvia			Mm <sup>3</sup> /año	16.6
Entradas naturales			Mm <sup>3</sup> /año	19.6
Total de recarga natural				
Público Urbano				
Recarga inducida P.U.				
Agrícola más otros				
Recarga inducida Agrícola + otros			Mm <sup>3</sup> /año	2.9
<b>RECARGA TOTAL</b>			Mm <sup>3</sup> /año	39.1
<b>DESCARGA TOTAL</b>				
Salidas horizontales			Mm <sup>3</sup> /año	5.227
Caudal base			Mm <sup>3</sup> /año	5.22
Evapotranspiración			Mm <sup>3</sup> /año	0
Extracción total			Mm <sup>3</sup> /año	30.630
Manantiales comprometidos				0
Agrícola				
Público				
Urbano				
Industrial				
Otros				
<b>DESCARGA TOTAL</b>			Mm <sup>3</sup> /año	41.077
Cambio de almacenamiento			Mm <sup>3</sup> /año	-2.0280
<b>Coefficiente de almacenamiento</b>				0.00624
<b>Volumen drenado</b>			Mm <sup>3</sup> /año	325
<b>AGUA SUPERFICIAL</b>				
Agrícola				
Público Urbano				
Industrial				