

01123
12



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

A la Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Escalona González

Héctor Manuel

FECHA: 24 - marzo - 2003

FIRMA: [Firma]

ESTIMACIÓN PREELIMINAR DE LA CAPACIDAD DE
INFILTRACIÓN DEL VALLE DE TIZAYUCA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Salazar Ledesma

Maricarmen

FECHA: 24/03/2003

FIRMA: [Firma]

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEÓLOGO

P R E S E N T A N:

SALAZAR LEDESMA | MARICARMEN

ESCALONA GONZÁLEZ HÉCTOR MANUEL

DIRECTOR DE TESIS:

ING. HÉCTOR LUIS MACÍAS GONZÁLEZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MÉXICO, D.F.

ABRIL DE 2003

A





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-1121

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SRITA. MARICARMEN SALAZAR LEDESMA
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Héctor Luis Macías González y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

ESTIMACIÓN PREELIMINAR DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DEL VALLE DE TIZAYUCA

- I INTRODUCCIÓN
 - II GENERALIDADES
 - III MARCO FÍSICO
 - IV GEOLOGÍA
 - V HIDROGEOLOGÍA
 - VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

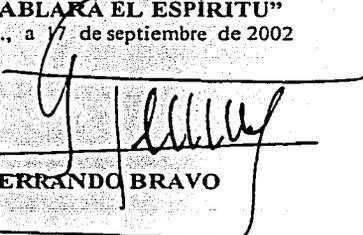
Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria, D. F., a 17 de septiembre de 2002

EL DIRECTOR


ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*RLLR*gtg

R

B



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-1122

SR. HÉCTOR MANUEL ESCALONA GONZÁLEZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Héctor Luis Macías González y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

ESTIMACIÓN PREELIMINAR DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DEL VALLE DE TIZAYUCA

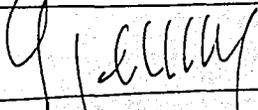
- I INTRODUCCIÓN
 - II GENERALIDADES
 - III MARCO FÍSICO
 - IV GEOLOGÍA
 - V HIDROGEOLOGÍA
 - VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 17 de septiembre de 2002
EL DIRECTOR


ING. GERARDO FERRANDO BRAYO

GFB*RLLR*gtg



C

Agradecemos especialmente a:

A nuestros padres, familiares y amigos, por su enorme apoyo y cariño.

Ing. Héctor Luis Macías González

Con nuestro más sincero reconocimiento por su valioso apoyo en la dirección de esta tesis.

A nuestros sinodales:

Ing. Emiliano Campos Madrigal

M.I. Rubén Martínez Guerra

Ing. Alberto Arias Paz

Ing. Martín Carlos Vidal García

Por su apoyo y acertadas sugerencias en la revisión de la tesis.

Contenido

Resumen.....	1
Capítulo 1. Introducción.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Método de Trabajo.....	5
1.4 Trabajos previos.....	7
Capítulo 2. Generalidades.....	8
2.1 Localización.....	8
2.2 Vías de comunicación.....	8
2.3 Población y actividad económica.....	10
Capítulo 3. Marco físico.....	12
3.1 Fisiografía.....	12
3.2 Geomorfología.....	14
3.3 Clima.....	17
- <i>Precipitación</i>	17
- <i>Evaporación</i>	20
- <i>Infiltración</i>	21
- <i>Estaciones climatológicas</i>	22
3.4 Vegetación.....	24
Capítulo 4. Geología.....	25
4.1 Geología Histórica y Tectónica.....	25
4.2 Geología Regional.....	28
4.3 Geología Local.....	31
4.4 Columna Litológica.....	47
4.5 Geología Estructural.....	49

Capítulo 5. Hidrogeología.....	54
5.1 Región Hidrogeológica.....	54
5.2 Región Hidrológica.....	57
5.3 Porosidad.....	59
- <i>Pruebas de porosidad de suelo y análisis al microscopio</i>	59
5.4 Permeabilidad o conductividad hidráulica del suelo.....	64
- <i>Descripción del permeámetro de Guelph</i>	64
- <i>Operación y medición del permeámetro</i>	66
5.5 Información disponible de pozos.....	71
- <i>Cortes litológicos</i>	71
- <i>Historia piezométrica</i>	75
5.6 Estimación de volúmenes infiltrados y capacidad de infiltración.....	77
5.7 Unidades hidrogeológicas.....	79
 Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones.....	 86
 Bibliografía.....	 88
Anexo.....	89
- <i>Aforos originales</i>	90,96
- <i>Diseño y Terminación de pozos</i>	92
- <i>Caudales actualizados</i>	97

Índice de Figuras

1. Localización del área.....	8
2. Vías de comunicación.....	11
3. Polígonos de Thiessen.....	19
4. Localidades donde se obtuvieron muestras de roca.....	42
5. Mapa geológico.....	43
6. Traza de las secciones A-B y C-D.....	44
7. Sección A-B.....	45
8. Sección C-D.....	46
9. Columna litológica Pozos La Laguna.....	47
10. Columna litológica Ramal Tizayuca-Pachuca.....	48
11. Modelo tectónico estructural de la Cuenca de México.....	51
12. Provincias hidrogeológicas.....	54
13. Localización de muestras de suelo.....	63
14. Diagrama esquemático del permeámetro de carga constante.....	65
15. Principio de funcionamiento del permeámetro de Guelph.....	67
16. Configuración de curvas de conductividad hidráulica.....	70
17. Configuración de curvas de profundidad del nivel dinámico.....	83
18. Configuración de curvas de elevación del nivel dinámico.....	84
19. Evolución del acuífero.....	85

Índice de Fotografías

1. Valle de Tizayuca.....	16
2. Horizontes de toba (El Tejocote).....	32
3. Ausencia de suelo sobre las tobas (El Tejocote).....	33
4. Variación en la estratificación de tobas (Villa de Tezontepec).....	34
5. Depósitos de tobas con estratificación gruesa.....	34
6. Acuñaamiento de horizontes de toba (Villa de Tezontepec).....	35
7. Gradación de depósitos vulcanoclásticos (Villa de Tezontepec).....	36
8. Ladera del Cerro 'La Cantera'.....	37
9. Brecha volcánica (La Cantera).....	38
10. Escoria basáltica (Xoconoxtle).....	38
11. Cantera 'La Escondida'.....	39
12. Vista panorámica del Cerro La Escondida.....	40
13. Medición con el permeámetro.....	68

Índice de Tablas

1. Áreas y precipitación según polígonos de Thiessen.....	20
2. Datos de precipitación.....	23
3. Datos de fenómenos especiales.....	23
4. Petrografía.....	41
5. Fallas que afectan la Cuenca de México de S a N.....	51
6. Análisis de porosidad en muestras de suelo.....	61
7. Conductividades hidráulicas del suelo.....	69
8. Datos de precipitación y evaporación.....	77
9. Volumen total anual infiltrado.....	78

RESUMEN

El Valle de Tizayuca está ubicado dentro de la Faja Volcánica Transmexicana. El área de estudio es una fosa tectónica rellena por depósitos vulcanoclásticos con intercalaciones de derrames andesíticos y basálticos del Terciario y Cuaternario.

Los lineamientos principales en el área de estudio de acuerdo a las estructuras volcánicas que se observan son en dirección NE-SW y E-W, los cuales corresponden con fracturas y fallas de edad Terciaria y Cuaternaria, por las cuales se desarrolló el vulcanismo que formó estos relieves.

En éstos depósitos se encuentra alojado un acuífero de más de 300 m de espesor que interconecta, debido a la extracción regional a las dos unidades hidrogeológicas, derrames vulcanoclásticos que sustentan el funcionamiento del ramal Tizayuca-Pachuca con la operación de 25 pozos. La descarga tiene lugar únicamente por la operación de estos pozos y alcanza un caudal de 42 millones de metros cúbicos por segundo, además de la extracción de los pozos de las porciones que se localizan hacia el suroeste y sureste del área estudiada. La extracción supera a la recarga, ya que el nivel del agua subterránea ha descendido de 8 a 12 m en los últimos diez años.

Las 20 pruebas de permeabilidad realizadas en campo como parte de este trabajo indican que la zona con mayores valores de conductividad hidráulica se presenta en la parte central del valle donde se alcanzan valores máximos de 1×10^{-3} m/s.

Sobre los 1,200 km² de superficie de la planicie se llevó a cabo un análisis de lluvia, evaporación y escurrimiento, y se concluyó que de los 672 millones de metros cúbicos precipitados se infiltran del orden de 62 millones de metros cúbicos. Ésta cifra permite recomendar que la planicie debería de conservarse con las condiciones actuales para favorecer la infiltración y la conservación del medio ambiente del valle.

PAGINACIÓN DISCONTINUA

1. Introducción

1.1 Antecedentes

El estado de Hidalgo es de creación tardía. Como tal, sus tierras pertenecieron primero al reino, luego a la intendencia y por último al estado de México; sin embargo, Pachuca y sus reales de minas, sus pueblos y sus villas tienen una larga historia.

Varios fueron los grupos humanos que lo habitaron desde tiempos precolombinos: en la porción noreste se encontraban los *huastecos*, en el Valle del Mezquital vivían los *hñahñú* (otomíes), que se desplazaron unos hacia Metztitlán y otros a Tenango y San Bartolo Tutotepec, llegando hasta Huehuetla.

Los *toltecas* de Tollan (Tula) sufrieron la invasión de los pueblos *chichimecas* que acabaron instalándose en la Sierra Gorda. Había *pames* en Pacula y Jiliapan; en el extremo norte del valle de México habitaban grupos *nahuas* y *hñahñú*. Provenientes de Veracruz se instalaron en la región de Huehuetla los *tepehua*.

Hacia 1500 a.C., se asentaron en el territorio del estado los *huastecos*, de la familia maya-quiché, de quienes se han encontrado restos arquitectónicos y cerámicos. Las primeras ocupaciones humanas conocidas en el Valle del Mezquital ocurrieron entre 500 y 150 a.C., cuando llegaron grupos de agricultores pertenecientes a la cultura de Ticomán. De ellos se han encontrado vestigios de pequeñas aldeas de 1 a 2 ha. al norte de Ixmiquilpan, y otra de unas 15 ha. cerca de Tepeji de Ocampo. Entre los años 150 a.C., y 300 d.C., la zona fue abandonada y la población se concentró en la región de Tula (Chingú, entre otras localidades) y el Valle de Teotihuacan. Del año 100 al 300 d.C. se establecieron en las proximidades del actual Tepeapulco, en las faldas del cerro del Xigüingo, grupos procedentes de la cuenca de México y del centro de Veracruz, portadores de la cultura teotihuacana.

Ocuparon también territorio hidalguense los *hñahñú*, llamados otomíes por los mexicas. Jaques Soustelle los relaciona con los olmecas de Nonoalco y con los *penomechochopolcas* del Altiplano, quienes para el siglo VIII ya se habían asentado en el

Valle de Tula y en el XIII ejercían preponderancia. Los *hñahñus* fueron agricultores, a la vez que recolectores y cazadores.

Grupos de cazadores nómadas y agricultores semisedentarios, entre ellos los *teochichimecas*, *pames* y *cuachichiles* provenientes del norte del país, entraron a territorio hidalguense.

A mediados del siglo XII, Tula fue establecida como la capital de los toltecas, pero las sequías y la consecuente crisis agrícola provocaron su decadencia, y hacia 1156 la ciudad de Tula fue abandonada y luego destruida por los *chichimecas-pames* de Xólotl y los *hñahñú*.

Aproximadamente para el año 1244, Cuextecatlichocayan y Coatepec - localizados por Jiménez Moreno al norte del cerro de Los Pitos, en Zempoala- fueron los primeros sitios de la cuenca de México en donde estuvieron los mexicas, habiendo salido de la mítica Aztlán hacia 1111, entraron a territorio de Hidalgo por el rumbo de Dañú y Nopala.

Estos grupos humanos estaban organizados en señoríos; así, la región de la sierra formaba el señorío independiente de Metztitlán, que comprendía los hoy municipios de Metztitlán, Metzquititlán, Zacualtipán, Tianguistengo, Molango y Xochiatipan.

El señorío de Acolhuacan lo formaban, entre otros, Almoloya, Tepeapulco, Apan, Zempoala, Epazoyucan, Singuilucan, Huasca y Atotonilco el Grande. En el suroeste estaba el señorío de Xilotepec, que comprendía Alfajayucan, Chapantongo, Huichapan, Nopala, Tecozautla, Tasquillo y la parte sur de Zimapán.

Territorio de *pames-chichimecas* era el norte de Zimapán, Pacula, Jacala, La Misión y Pisaflores, extendiéndose por Querétaro, Guanajuato y San Luis Potosí. Al señorío de Tula pertenecían Tepejí del Río, Tepetitlán, Tula, Tezontepec y parte de Mixquiahuala. Al oriente de estos lugares se encontraba la región conocida como Teotlalpan, que abarcaba Atitalaquia, Ajacuba, Atotonilco de Tula, Tezontepec, Tlaxiaca, Zapotlán, Tolcayuca y la región de Pachuca.

Los *mexicas* fueron quienes se impusieron a la mayoría de estos pueblos, que pasaron a formar parte de su imperio.

En los años que siguieron a la conquista de México-Tenochtitlán, los españoles se adentraron en el territorio circunvecino. Para 1527 se habla ya del pueblo de Pachuca. En 1530 los conquistadores Pedro Rodríguez de Escobar y Andrés Barrios se dirigieron a Ixmiquilpan donde el primero se instaló; en cambio Barrios continuó hasta Metztlán. Otro grupo se acomodó en el valle de Huichapan hacia 1531. Sin embargo fueron los frailes quienes recorrieron el territorio fundando conventos y levantando iglesias, evangelizando y sometiendo al dominio español a los diversos pueblos de la región. Durante la época colonial, la explotación de las minas fue la principal actividad económica.

En la actualidad el valle ha adquirido una mayor importancia desde el punto de vista económico y estratégico, ya que las autoridades lo han considerado como una de las opciones para la construcción de un aeropuerto alternativo al de la Ciudad de México, y a pesar de que la zona se encuentra un poco alejada de la ciudad, el área que conforma la planicie cumple con características óptimas de estabilidad y firmeza en el terreno, abastecimiento de agua, canteras cercanas de material como arcilla y roca, población y vegetación, así como un amplio espacio y estructuras montañosas no muy altas y que no representan peligro para los aviones. Sin embargo, la construcción del aeropuerto representa un gran problema para los habitantes de la región, que se niegan a aceptar dicha propuesta debido a que las tierras que se destinarían para ese fin, están siendo utilizadas tanto para el cultivo y alimentación de ganado local, como espacio habitacional en algunas áreas.

Siendo el agua uno de los recursos naturales de mayor importancia para el desarrollo y mantenimiento de asentamientos humanos, el estudio realizado en esta área se llevó a cabo con el fin de conocer el potencial hidrológico del valle, tomando en cuenta las características geológicas e hidrogeológicas de la zona, y así determinar el grado de explotación al que ha sido sometido el acuífero que sustenta las baterías de pozos localizadas en la región.

1.2 Objetivos

1. Definir la capacidad de infiltración del valle y analizar cómo influye la porosidad del suelo.
2. Diferenciar las unidades hidrogeológicas del área del valle de estudio, con base en el análisis de cortes litológicos de pozos, así como el tipo de acuífero existente.
3. Determinar la evolución del acuífero localizado en el Valle de Tizayuca para conocer las perspectivas de explotación del agua subterránea, con la finalidad de planear un mejor uso de dicho recurso.

1.3 Método de Trabajo

Campo

De acuerdo con los objetivos planteados para la realización del presente estudio, el trabajo que se realizó en campo comprendió varias etapas. La primera consistió en llevar a cabo un reconocimiento de la geología superficial del área de estudio con el fin de compararla con la información proporcionada por la carta geológica Tizayuca (E14-B11). Así mismo, se identificaron las principales estructuras volcánicas y se localizaron geográficamente los pozos pertenecientes a los ramales Tizayuca-Pachuca y La Laguna, siendo estos parte fundamental del estudio hidrogeológico de la zona.

Posteriormente se realizaron algunas mediciones con sonda piezométrica en ciertos pozos a los que se tuvo acceso, esto para obtener los valores de la profundidad del agua en el acuífero que sustenta a los ramales de pozos. También se recolectaron diversas muestras de suelo y roca; y finalmente se realizaron veinte pruebas con un permeámetro de carga constante, distribuidas a lo largo del valle, con el fin de obtener la conductividad hidráulica del suelo en cada uno de esos puntos.

Laboratorio

El trabajo de laboratorio se dividió en tres diferentes tipos de análisis. El primero tuvo como objetivo clasificar petrográficamente las muestras de roca recolectadas en campo. Se elaboraron cinco láminas delgadas que posteriormente fueron descritas bajo el microscopio petrográfico, identificando los minerales y texturas presentes en ellas.

El segundo análisis consistió en la preparación de cuatro muestras de suelo tomadas de la porción central del área de estudio. Estas muestras fueron limpiadas, cuarteadas, pesadas y saturadas, para posteriormente realizar los cálculos necesarios con el fin de determinar la porosidad superficial de la zona.

Como último análisis se lavaron las muestras de suelo con el fin de eliminar las partículas finas y hacer más clara su observación en el microscopio estereoscópico. Esto permitió conocer la composición mineralógica de la fracción gruesa del suelo.

Gabinete

En esta etapa del trabajo se procedió a recopilar toda la información bibliográfica disponible del área de estudio; se consultaron artículos relacionados con la zona, se obtuvo información de las cartas topográfica, geológica, edafológica e hidrológica de aguas subterráneas escala 1: 50 000. Se recopiló toda la información disponible de cada una de las diversas dependencias que se relacionan con la explotación del agua y la construcción de los pozos localizados en el área de estudio, como son: La Gerencia de Aguas del Valle de México (GAVM), La Comisión Nacional del Agua (CNA), La Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales de Pachuca, Hidalgo (CAASIM), y La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH).

Se procedió a ordenar y estructurar la información con el fin de realizar dos secciones hidrogeológicas para conocer la litología y distribución de las unidades que conforman el acuífero. Así mismo, se elaboraron varios mapas para representar la configuración de la profundidad del nivel dinámico, su elevación sobre el nivel del mar, y la conductividad hidráulica del suelo, junto con un mapa geológico y topográfico

digitalizado. Conjuntamente se crearon mapas de localización, ubicación de los pozos, estaciones climatológicas y tablas de todos los datos disponibles.

1.4 Trabajos Previos

A la fecha existen tres estudios hidrogeológicos del área. El primero de ellos fue realizado por la Gerencia de Aguas del Valle de México (GAVM) en 1986. El segundo trabajo lo elaboró la empresa TACSA (1986) para la Compañía Minera Real del Monte, pero este se limita exclusivamente a la Sierra de Pachuca. El tercer estudio fue elaborado por Huizar Álvarez (1993), en el que realiza un mapa hidrogeológico de la Cuenca del Río de las Avenidas de Hidalgo, hace un balance hidrológico, describe la evolución del acuífero y habla de una dirección de flujo regional N-S

Desde el punto de vista geológico, el área ha sido estudiada por Fries (1962), quien elaboró la hoja Pachuca; Mooser (1975) elaboró la carta geológica de la Cuenca de México; Cserna et al. (1987) presentan el mapa geológico-tectónico de toda la Cuenca de México.

En 1975 se realizó un estudio geofísico (geoelectrico) a lo largo de la carretera Tizayuca-Pachuca a cargo de la Comisión de Aguas del Valle de México, información a la cual no se pudo tener acceso directamente, pero cuyos resultados se obtuvieron gracias al trabajo realizado por Huizar (1993).

2. Generalidades

2.1 Localización

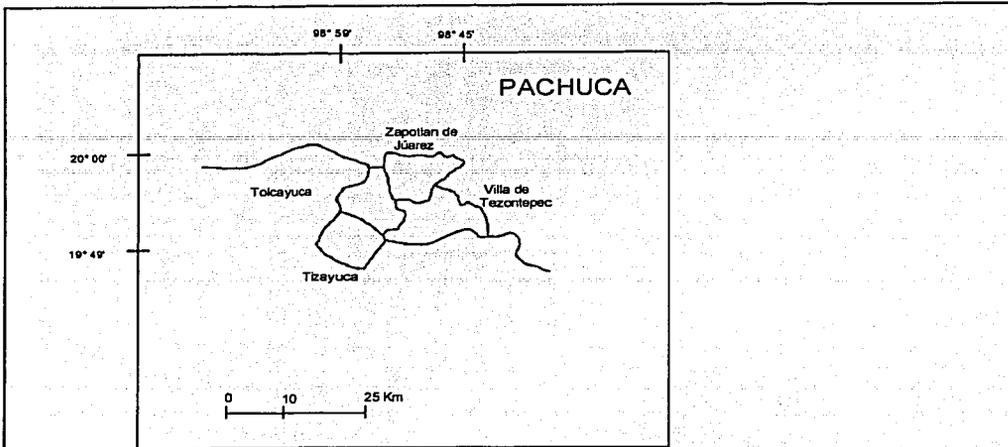
El estado de Hidalgo se encuentra ubicado en la porción centro-oriental de la República Mexicana, tiene una extensión territorial total de 20,836 km², y está conformado por ochenta y cuatro municipios (Consejo de Recursos Minerales, 1992). Limita al norte con los estados de San Luis Potosí, Veracruz y Querétaro, hacia el este con Puebla y Veracruz, al oeste con Querétaro y al sur con los estados de Tlaxcala y México (Figura 1).

El área de estudio se localiza al sur del estado de Hidalgo, a unos 28 kilómetros de Pachuca y a 53 kilómetros de la Ciudad de México por la carretera federal México – Pachuca; está definida por las coordenadas geográficas 19° 49' y 20° 00' de latitud Norte y 98° 59' y 98° 45' de longitud Oeste, a una altitud de 2200 metros sobre el nivel del mar y comprende un área de 497.35 kilómetros cuadrados. Forman parte del área de estudio los municipios de Tizayuca, Tolcayuca, Villa de Tezontepec y Zapotlán de Juárez, los cuales representan el 2.09% del total del territorio hidalguense (Figura 1).

2.2 Vías de comunicación

La principal ruta de acceso al área de estudio, partiendo de la ciudad de México, es a través de la autopista México – Pachuca. Como vía alterna se tiene la carretera No.85 México – Nuevo Laredo que comunica a la región con el Valle del Mezquital, y atraviesa el municipio de Tizayuca corriendo paralela a la autopista, a la cual se une a la altura del poblado Gral. Felipe de los Angeles. Dicha carretera comunica a los poblados mas importantes de la región.

El Valle de Tizayuca cuenta con 81.5 km de carretera federal, 45.2 km de caminos rurales pavimentados, 41.8 km de caminos de terracería y 70.5 km de vías de ferrocarril. El acceso a las zonas aledañas al área de estudio se logra por medio de brechas y caminos vecinales de terracería que cruzan los cultivos de temporal, así como



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

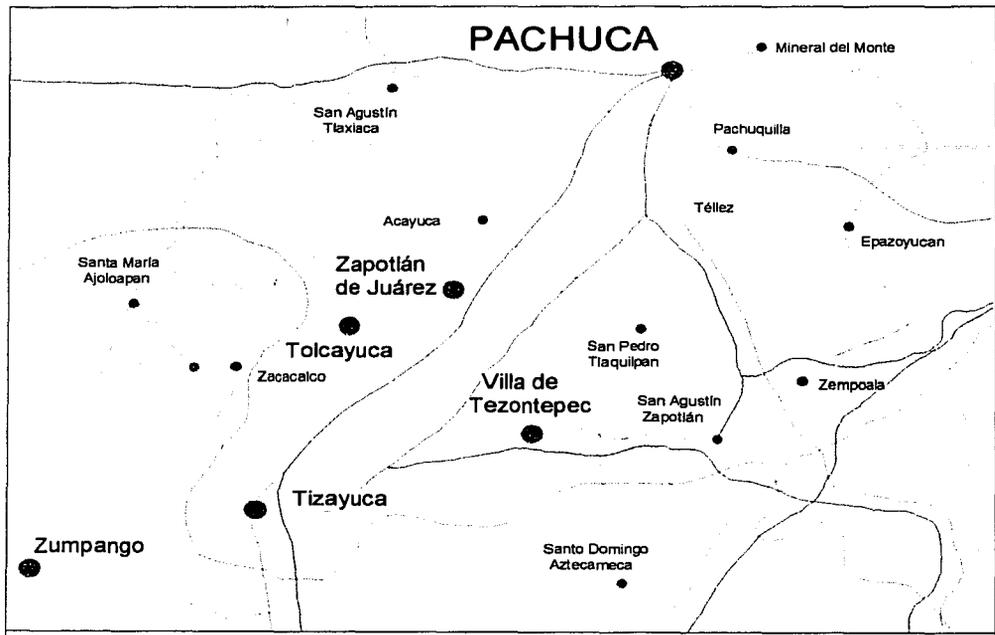
Facultad de Ingeniería UNAM	
ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DEL VALLE DE TIZAYUCA	
Localización del Area	
TESIS PROFESIONAL	
Escalona González Héctor M. Salazar Ledesma Maricarmen	Fig. 1

algunos caminos pavimentados que comunican poblaciones cercanas como Tolcayuca, Téllez, Villa de Tezontepec, Ixtlahuaca y San Javier, entre otras (Figura 2).

2.3 Población y Actividad económica

Tizayuca, municipio que forma parte del territorio del estado de Hidalgo, para el año 2000 contaba con una población de 46,350 habitantes, siendo 22,852 hombres y 23,498 mujeres, lo cual representa el 2.08% del número total de habitantes en el estado. Esta población, localizada a 28 kilómetros de Pachuca y a 53 kilómetros de la Ciudad de México, tiene como actividad económica principal la ganadería, de la cual se deriva el procesamiento de la leche ultrapasteurizada y sus derivados, siendo una de las más importantes dentro de latinoamérica.

Otros de los municipios que se encuentran dentro del área de estudio son Tolcayuca, que para el año 2000 contaba con un total de 11,317 habitantes, así mismo Villa de Tezontepec con 8,982 habitantes y Zapotlán de Juárez con 14,888 habitantes. La actividad económica principal en estos municipios es la agricultura, destacándose el cultivo de maíz, cebada, alfalfa y maguey.



SIMBOLOGÍA	
	Autopista
	Carretera
	Camino Pavimentado
	Ferrocarril
	Cabecera Municipal, Localidad
	Límite Estatal

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Facultad de Ingeniería UNAM	
ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DEL VALLE DE TIZAYUCA	
Vías de Comunicación	
TESIS PROFESIONAL	
Escalona González Héctor M. Salazar Ledesma Maricarmen	Fig. 2

3. Marco Físico

3.1 Fisiografía

El área de estudio (sur del estado de Hidalgo), se encuentra ubicada fisiográficamente dentro de la provincia del Eje Neovolcánico (López Ramos, 1972-1974), la cual atraviesa con marcada expresión morfológica el centro de la República Mexicana, desde el Océano Pacífico hasta el Golfo de México, con una extensión de unos 920 km (desde Bahía de Banderas en el estado de Jalisco hasta Punta Delgada en el estado de Veracruz), y con una orientación NW – SE. Su anchura varía de 50 a 150 kilómetros y está limitada aproximadamente entre los paralelos 19° a 21° de latitud norte.

También conocida como Faja Volcánica Transmexicana (Luca Ferrari, 2000), ésta provincia representa una acumulación extraordinaria de rocas volcánicas de edad Cenozoica, cuyo desarrollo principal inició hace aproximadamente unos 25 millones de años.

Esta provincia fisiográfica está constituida predominantemente por rocas volcánicas terciarias y cuaternarias entre las que se encuentran brechas, tobas y derrames riolíticos, intermedios y basálticos, de composición y textura variada, las cuales forman en conjunto un extenso y grueso paquete que en algunas localidades del estado de Hidalgo, como Pachuca, alcanza varios miles de metros de espesor. Este conjunto ha sido superpuesto a las rocas sedimentarias mesozoicas por los fenómenos de volcanismo. Para Lugo Hubp (1990), el Sistema Neovolcánico Transmexicano está formado por un sistema de campos volcánicos como son conos monogenéticos, lavas y piroclastos, altiplanicies de tefra, piamonte de acumulación volcánica, altiplanicies de acumulación lacustre, volcanes monogenéticos principales, calderas, valles montañosos y estratovolcanes mayores.

Las características litológicas y estructurales de las rocas que afloran en la provincia de la Faja Volcánica Transmexicana indican que hubo diferentes eventos geológicos de tipo orogénico, que asociados al volcanismo y al relleno de cuencas dieron el carácter estructural a esta región.

En la Faja Volcánica Transmexicana el relieve estructural original está íntimamente relacionado con una intensa actividad volcánica, iniciada a principios del Terciario y desarrollada durante el Pleistoceno Inferior. El conjunto de estructuras que caracterizan al relieve de esta provincia evolucionaron sobre una paleogeografía constituida por sedimentos mesozoicos plegados, los cuales correspondían a la Sierra Madre Oriental.

Uno de los rasgos característicos de la Faja Volcánica Transmexicana es la presencia de un sistema de fracturas básicamente de tipo ortogonal, las cuales controlan el ascenso de los magmas dentro de la corteza y rigen la formación de fosas y pilares en todo su espacio. Se trata de un fracturamiento en forma de "x", con elementos dirigidos unos al SW y otros al SE.

De acuerdo a los diferentes criterios petrogenéticos que se tienen de la FVTM, se ha llegado a la conclusión que las zonas de expulsión lávica han migrado a través del tiempo geológico, variando también en composición (Hubp, 1985). Los cambios de posición de los focos magmáticos de la FVTM, así como su diversidad química y mineralógica, posiblemente reflejen las variaciones de angularidad y de profundidad que existen como resultado del proceso de subducción entre la placa oceánica de Cocos y la placa continental Norteamericana.

Debido a la subducción de la Placa de Cocos y a la efusión del magma hacia la superficie, los primeros esfuerzos fueron compresivos, formándose estratovolcanes generalmente de composición andesítica, riolítica y dacítica. Durante este proceso la provincia tectónica siguió emergiendo con etapas sucesivas de vulcanismo, erosión y sedimentación aluvial, fluvial y lacustre. Cuando los bloques de origen distensivo se conformaron en forma escalonada hacia la porción central de la FVTM, se presentaron otros episodios volcánicos de tipo explosivo con lavas y piroclastos de composición básica e intermedia.

La continuidad de los fenómenos volcánicos durante casi todo el Terciario, se manifiesta en el gran espesor y en la extensión que cubren las rocas ígneas de la FVTM, donde pueden encontrarse domos riolíticos, volcanes compuestos, conos cineríticos enteros y erosionados y mesetas formadas por flujos piroclásticos y derrames de basalto.

La mayoría de los autores coinciden en que la actividad de la Faja Volcánica Transmexicana comenzó en el Oligoceno y ha permanecido hasta el reciente (Mooser et al., 1974), sin embargo otros autores (Demant, 1978) consideran que el Eje Neovolcánico tiene una edad Plio-Cuaternaria, ya que las rocas oligo-micénicas que les subyacen, las sitúa como correspondientes a la prolongación de la sierra Madre Occidental.

Cabe mencionar que para el caso específico del área de estudio, ésta pertenece a la Subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac, la cual penetra por la parte sur del estado de Hidalgo y ocupa 15.86% de la superficie total de la entidad, cubriendo completamente los municipios de Tizayuca, Villa de Tezontepec, Tolcayuca y Zapotlán de Juárez.

3.2 Geomorfología

Para una descripción geomorfológica del área de estudio se requiere tomar en cuenta la estructura, origen, desarrollo y dinámica actual del relieve terrestre como resultado de la interacción de procesos endógenos y exógenos.

En términos generales el área de estudio está caracterizada por una planicie situada a más de 2200 m de altitud. En ella sobresalen numerosas elevaciones topográficas de varios cientos de metros de altura, formando un desnivel de aproximadamente 400 metros. La mayoría representan aparatos volcánicos, cuya composición litológica es predominantemente basáltica y andesítica, y sus depósitos varían desde lavas y brechas hasta cenizas.

Dichos volcanes tienen edades que van desde el Plioceno tardío hasta el Reciente y muestran grados variables de destrucción por la erosión.

Las llanuras y cuencas (foto 1) que separan los aparatos volcánicos están formadas en gran parte por rellenos aluviales intercalados con depósitos vulcanosedimentarios mal clasificados, y cuya granulometría varía de ceniza a lapilli.

En el área de estudio se pueden distinguir tres tipos diferentes de relieve, los cuales se describen a continuación:

a) Relieve Montañoso

Se encuentra representado principalmente por la Sierra de Tolcayuca y El Cerro de Los Pitos. La primera de ellas, a la que pertenecen los cerros La Lechuguilla, Las Lajas, El Rosal, Sotula y el Cordón Los Infiernillos y cuya altitud máxima es de 2750 metros, está localizada a unos 13 km al norte de Tizayuca. Dicha Sierra está formada por un conjunto de rocas ígneas extrusivas de composición básica, en su mayoría basaltos y andesitas.

En segundo término, localizado al Este del valle, y con una mayor expresión morfológica que la Sierra de Tolcayuca, destaca El Cerro de Los Pitos, el cual alcanza una altitud de 2950 metros y está formado por un conjunto de rocas andesíticas. Es importante decir que el Cerro de Los Pitos se caracteriza por un modelado muy acentuado, en donde los procesos erosivo - denudatorios ponen de manifiesto una topografía abrupta con barrancos muy angostos que exhiben escalones bien marcados en su fondo.

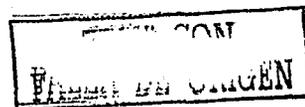
Existen dentro del valle otras estructuras volcánicas de menores dimensiones, aunque no por ello menos importantes; entre ellas se encuentran los cerros Xoconoxtle, Tleixpan, El Colorado, Santa Rosa, La Escondida y Cerro Verde, todos ellos formados por rocas andesíticas o basálticas; mientras que los cerros La Cantera y Coayucan están formados por brechas volcánicas.

b) Relieve erosivo

Este tipo de relieve se manifiesta por la acumulación de sedimento aluvial que integra el piedemonte de las sierras mas antiguas, en donde se forman abanicos aluviales, sobresaliendo el del Cerro Los Pitos, que está conformado por depósitos de arena gruesa a fina.

c) Relieve acumulativo

Esta integrado por sedimento fluvial y aluvial que constituye a la planicie, siendo en su mayoría arenas limos y arcillas derivadas de rocas volcánicas.



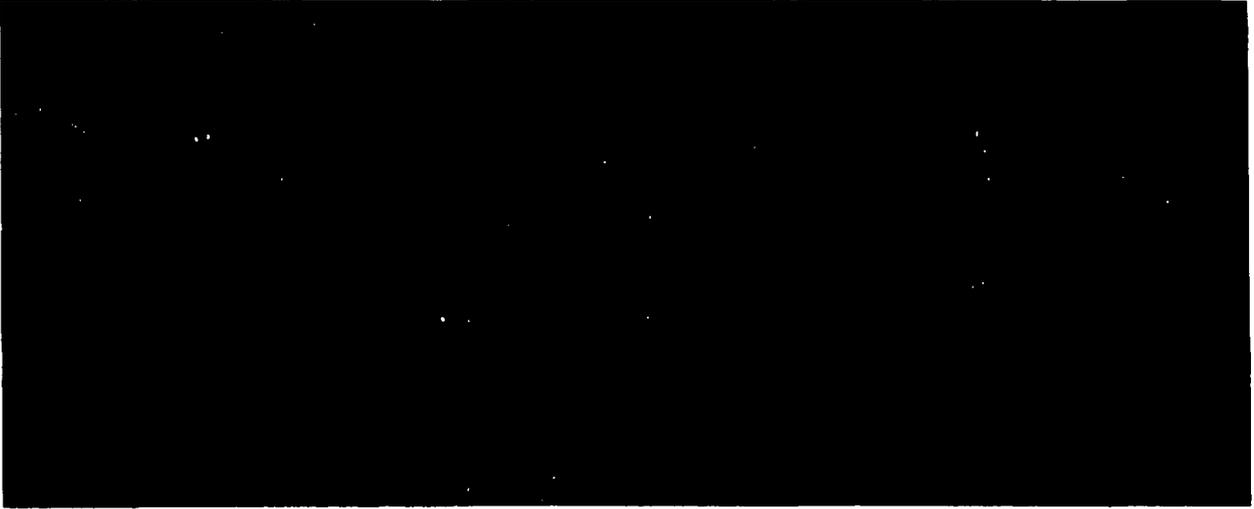


Foto 1. Valle de Tizayuca. Vista desde el Cerro "La Cantera".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3 Clima

Por su variado relieve topográfico el estado de Hidalgo presenta una gran variedad de climas que ofrecen marcados contrastes, desde la calurosa y húmeda Huasteca, o el clima semifrío – subhúmedo en las inmediaciones de Pachuca, hasta el clima seco – templado en el Valle del Mezquital. El clima predominante en el estado de Hidalgo es del tipo templado, con una temperatura media anual de 17°C y una precipitación media anual de 514 mm.

La Sierra Madre Oriental desempeña un papel importante en la distribución de los diferentes climas del estado, tanto por los efectos de la altitud, como porque constituye una barrera a los vientos húmedos del Golfo de México.

Para la región del Valle de Tizayuca, la morfología influye mucho en los climas que se presentan, ya que las elevaciones son verdaderas sombras meteorológicas, como el caso de la Sierra de Pachuca, donde los vientos húmedos chocan, producen precipitaciones y dejan humedad del lado norte, y pasan al otro lado como vientos secos provocando sequías. Aquí los rangos de temperatura son amplios, sin embargo se caracteriza por un clima templado. La variación media anual es de entre 12 y 18 °C, siendo diciembre, enero y febrero los meses más fríos con temperaturas de entre -4 y 12°C, y abril y mayo los meses más cálidos con temperaturas entre 22 y 29 °C.

Precipitación

Es uno de los componentes primarios del ciclo hidrológico. El vapor de agua contenido en una masa de aire, se reúne en gotas de agua o en cristales de hielo, a consecuencia de los cambios de presión y temperatura, el movimiento y, en ocasiones por minúsculos núcleos de condensación y material sólido en suspensión. Cuando el agua, en estado líquido o sólido, llega a la superficie de la tierra se dice que ha precipitado.

Según los fenómenos meteorológicos que las originan, o las acompañan, hay tres tipos de precipitaciones:

- a) Precipitación convectiva, originada por el calentamiento de las masas de aire próximas a la superficie de un suelo que ha recibido una fuerte insolación. Suelen ser tormentas locales propias de la estación cálida.
- b) Precipitación frontal o ciclónica, con origen en las superficies de contacto de masas de aire (frentes) con temperatura y humedad diferentes. Pueden ser de frente cálido o frío, o bien estar originadas por oclusión de un frente.
- c) Precipitación orográfica o lluvia de relieve, propia de zonas montañosas, por el enfriamiento y consiguiente condensación de vapor de agua en las masas de aire que al tropezar con una ladera ascienden por ella.

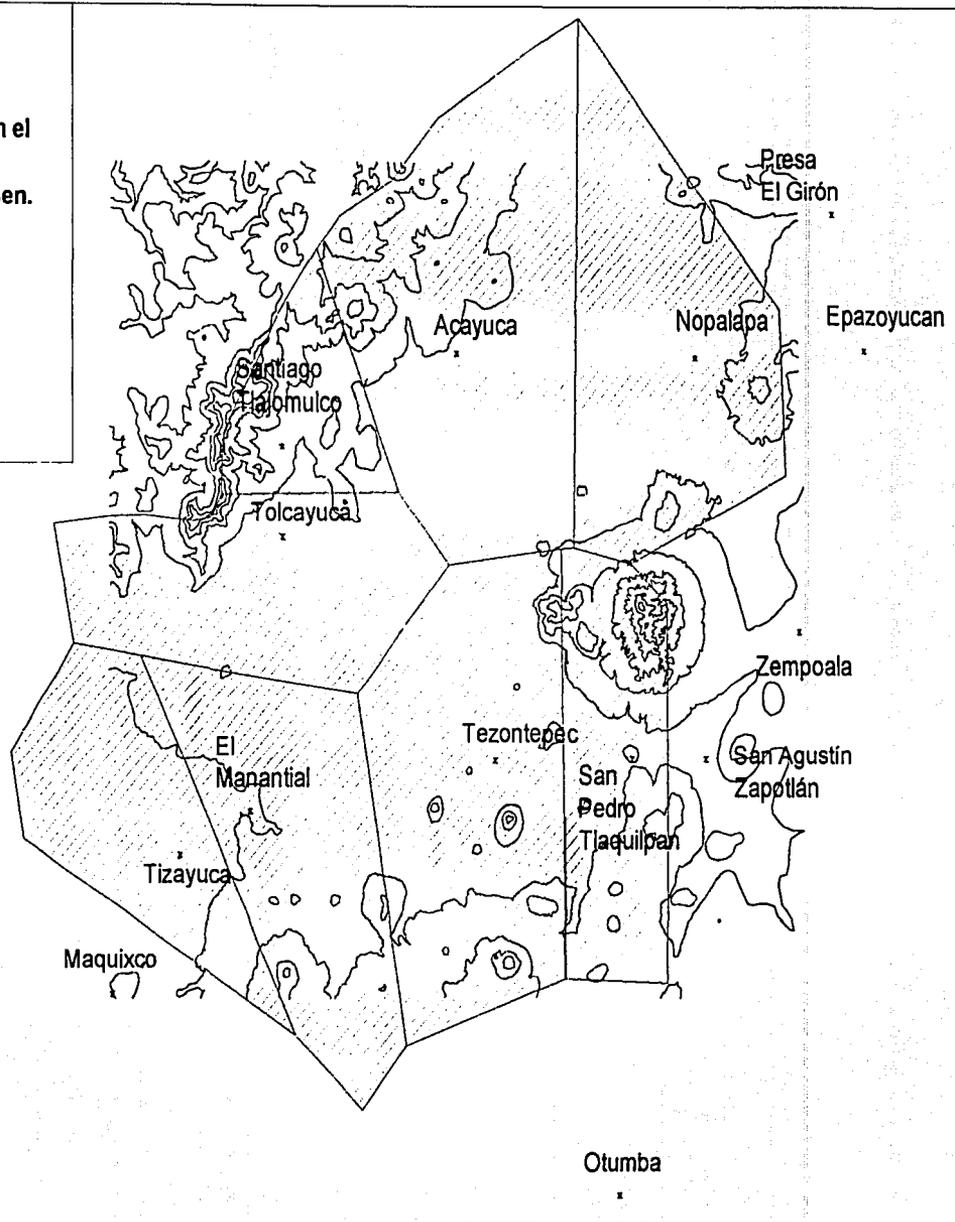
Con el fin de calcular la cantidad de agua que precipita en el área de estudio, se utilizó el método de los polígonos de Thiessen, para obtener el área de medición de cada una de las estaciones climáticas disponibles. Una vez definidas las áreas, se multiplicó la precipitación media anual de cada una de las estaciones por el área respectiva, obteniendo así la cantidad de agua precipitada anualmente. En la figura 3 se muestran los Polígonos de Thiessen obtenidos, junto con las estaciones climáticas correspondientes.

Figura 3.

Áreas obtenidas con el método de los polígonos de Thiessen.

— Límites entre polígonos

◊ Área de afectación



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las áreas resultantes con sus correspondientes datos de volúmen de agua anual precipitado fueron las siguientes:

<i>Est. climatológica</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Pp (mm)</i>	<i>Volumen (m³)</i>
Tolcayuca	122.07	775.5	94.67 x 10 ⁶
Acayuca	198.54	548.1	108.82 x 10 ⁶
Santiago Tlajomulco	51.07	594.38	30.35 x 10 ⁶
Nopalapa	157.58	523.9	82.56 x 10 ⁶
S.P. Tlaquilpan	90.44	538.64	48.71 x 10 ⁶
Tezontepec	168.26	540.16	90.89 x 10 ⁶
El Manantial	128.05	549.05	70.31 x 10 ⁶
Tizayuca	97.70	536.98	52.46 x 10 ⁶
S. A. Zapotlán	187.09	501.9	93.90 x 10 ⁶
TOTAL			672.67 x 10⁶

Tabla 1. Áreas y Precipitación según Polígonos de Thiessen

Evaporación

La evaporación es la cantidad de agua que puede evaporarse a partir de una superficie, dependiendo de la cantidad de calor proveniente del sol. La evaporación en el suelo es muy importante ya que afecta grandes áreas; no obstante, su acción se limita a una profundidad relativamente pequeña aproximadamente un metro en zonas templadas y dos metros en zonas áridas.

La evaporación disminuye la humedad superficial del suelo, lo cual produce un movimiento ascendente del agua por capilaridad; así, el valor de la evaporación depende de la cantidad de agua contenida en las capas superficiales, la cual obedece a la porosidad y al contenido de humedad del suelo en diferentes épocas.

Existen factores que inciden en la evaporación y que influyen en su intensidad, tales como la temperatura, humedad y presión atmosférica.

La transpiración es el resultado del proceso físico-biológico, por el cual, el agua cambia de estado líquido a gaseoso, a través del metabolismo de las plantas, y pasa a la

atmósfera. En su aspecto físico, la transpiración es afectada por los mismos factores que la evaporación, y en su aspecto biológico, influye en ella la especie vegetal, edad, desarrollo y tipo de follaje y profundidad radicular.

La **evapotranspiración** es la suma de la evaporación y la transpiración. Cuando el área de terreno estudiada carezca de vegetación, sólo se tomará en cuenta la evaporación.

Infiltración

La infiltración se define como el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares, quedando retenida por él o alcanzando un nivel acuífero incrementando el volumen acumulado anteriormente.

Horton (1933) llama capacidad de infiltración de un suelo, a la máxima cantidad de agua de lluvia que puede absorber en la unidad de tiempo y en unas condiciones definidas previamente. La relación entre la intensidad de lluvia y la capacidad de infiltración será la que determine la cantidad de agua que penetrará en el suelo y la que por escorrentía directa alimentará los cauces de las corrientes superficiales.

Esta capacidad de infiltración, va decreciendo con el tiempo a partir de un máximo al comienzo de la lluvia y después de alguna fluctuación. Cuando la intensidad de la lluvia es menor que la capacidad de infiltración se alcanzará una intensidad de infiltración inferior a la capacidad de infiltración. Esta es, por tanto, el valor máximo de la intensidad de infiltración, para unas determinadas condiciones del suelo.

No toda la infiltración alcanza la zona saturada (agua subterránea), pues en mayor o menor proporción, una parte queda en la zona superior (agua edáfica) y vuelve a la atmósfera por los fenómenos de evapotranspiración. El volumen de agua que alcanza la zona saturada, a veces se denomina lluvia eficaz, infiltración eficaz, recarga natural o recarga profunda. Humedecimiento del suelo es el volumen de agua procedente de precipitaciones, que no discurre sobre la superficie del suelo, dando lugar a la escorrentía

superficial. Comprende la infiltración, la retención superficial (charcos) y la intercepción por la vegetación.

Los factores que principalmente afectan la capacidad de infiltración son:

- A) Textura del Suelo.
- B) Contenido de humedad inicial.
- C) Contenido de humedad de saturación.
- D) Cobertura vegetal.
- E) Uso del suelo.
- F) Aire atrapado.
- G) Lavado de material fino.
- H) Compactación.
- I) Temperatura, sus cambios y diferencias.
- J) Pendiente del terreno.

Estaciones Climatológicas

Para realizar la medición de las diferentes variables meteorológicas existen diversas estaciones climatológicas que se encuentran localizadas estratégicamente, y que permiten obtener datos dependiendo de la instrumentación de la que dispongan.

Las diferentes variables medibles son:

- Medida de la radiación
- Medida de la temperatura
- Medida de la insolación
- Medida de la humedad
- Medida de la evaporación
- Medida de la presión
- Medida de la lluvia
- Medida de otros tipos de precipitación

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la práctica las estaciones climatológicas están equipadas principalmente con termómetro, pluviómetro, barómetro, evaporímetro y algunas con psicrómetro; los cuales

sirven para medir la temperatura, precipitación, presión, evaporación y la humedad, respectivamente.

En el área de estudio se localizan nueve estaciones climatológicas actualmente en funcionamiento, las cuales proporcionan datos de precipitación actualizados, aunque únicamente cuatro de ellas registran datos de evaporación.

A continuación se presenta la tabla 2 con las medias anuales de precipitación para cada una de las estaciones, así como los datos de fenómenos especiales.

Tabla No. 2 Datos de Precipitación

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	TEMPERATURA ANUAL (°C)	PERIODO CON DATOS	ENTIDAD	PRECIPITACIÓN (mm)
						MEDIA ANUAL
ACAYUCA	20° 01'	98° 50'	14.9	1980-1988	HGO.	548.1
EL MANANTIAL	19° 51'	98° 56'	14.6	1980-1997	HGO.	549.05
NOPALAPA	20° 01'	98° 43'	14.4	1980-1988	HGO.	523.9
SAN AGUSTIN ZAPOTLÁN	19° 52'	98° 43'	14.1	1980-1997	HGO.	501.9
SAN PEDRO TLAQUILPAN	19° 56'	98° 45'	15.1	1980-1997	HGO.	538.64
SANTIAGO TLAJOMULCO	19° 59'	98° 55'	15.4	1980-1997	HGO.	594.38
TEZONTEPEC	19° 52'	98° 49'	14.2	1980-1997	HGO.	540.16
TIZAYUCA	19° 50'	98° 58'	15.4	1980-1988	HGO.	536.98
TOLCAYUCA	19° 57'	98° 55'	16.1	1980-1997	HGO.	775.5

Tabla No. 3 Datos de Fenómenos Especiales

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ENTIDAD	PERIODO CON DATOS	NO. DIAS DESPEJADOS ANUAL	NO. DIAS C/NIEBLA ANUAL	NO. DIAS C/GRANIZO ANUAL	NO. DIAS C/HELADA ANUAL
ACAYUCA	20° 01'	98° 50'	HGO.	1980-1988	254.2	2.0	1.0	11.7
EL MANANTIAL	19° 51'	98° 56'	HGO.	1980-1997	120.0	12.2	3.3	61.1
NOPALAPA	20° 01'	98° 43'	HGO.	1980-1988	187.4	43.9	0.0	74.2
TEZONTEPEC	19° 52'	98° 49'	HGO.	1980-1997	155.0	1.4	61.0	50.0
TOLCAYUCA	19° 57'	98° 55'	HGO.	1980-1997	257.3	16.5	3.0	54.1

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

3.4 Vegetación

En el estado de Hidalgo están representados cinco tipos característicos de vegetación que son selva, bosque, matorral, pastizal y zonas de cultivo.

La vegetación de tipo selva se encuentra localizada predominantemente al noroeste del estado, en la región conocida como la Huasteca, este tipo de selva es mediana, subperennifolia y baja caducifolia.

La vegetación de tipo bosque está ubicada en la región que pertenece a la Sierra Madre Oriental, en la Sierra de Pachuca y al centro y sureste del estado; los diferentes tipos de vegetación que se presentan son pino y encino.

La vegetación tipo matorral se localiza al este y centro del Estado y en una pequeña parte al sur; dentro de estas zonas se encuentran distribuidos diferentes tipos de matorrales como los subinermes, espinoso, nopaleras y cardonales.

De acuerdo con la carta E14-B11 (Tizayuca) de Uso de suelos y Vegetación, el Valle de Tizayuca pertenece a una zona árida, en donde la vegetación que se observa está formada por matorrales inermes y subinermes de mezquites y huizaches, varias especies de nopales, órganos, cardonales, magueyes y lechuguillas.

Así mismo el valle se distingue por ser una amplia zona de cultivo, en donde la agricultura es de temporal y los cultivos son anuales, siendo el maíz el principal producto.

4. Geología

4.1 Geología Histórica y Tectónica

Las características del basamento precámbrico y paleozoico sobre el que evolucionó la amplia secuencia mesozoica del oriente de México no son claras, ya que en general son escasos los afloramientos. Los cinturones que conforman este basamento deben haber sido fuertemente dislocados por los movimientos laterales y verticales de la primera mitad del Mesozoico, cuando ocurrió la apertura del Golfo de México. Estos movimientos tectónicos prepararon la distribución paleogeográfica de cuencas y plataformas que posteriormente controlarían la sedimentación y las deformaciones laramídicas a finales del Mesozoico.

Durante el Triásico esta porción del país evolucionó en forma continental con el desarrollo de una tectónica distensiva que dio lugar a la formación de fosas y rellenos importantes de sedimentos continentales. Posteriormente, se instaura un dominio de tipo geosinclinal originado por la transgresión marina del Jurásico Superior sobre el oriente del país, al tiempo de la apertura del Golfo de México. Esta transgresión dio lugar a depósitos calcáreos en el marco de una subsidencia intermitente.

A principios del Cretácico Superior ocurre un marcado cambio en el régimen de sedimentación de esta región, como consecuencia del levantamiento y deformación del dominio occidental donde continuaba actuando la subducción de la placa paleopacífica debajo de la porción continental de México. Los sedimentos detríticos que comienzan a cubrir la secuencia calcárea del oriente se distribuyen ampliamente y llegan a alcanzar grandes espesores. De esta manera los dominios occidental y oriental de México, que habían actuado de manera independiente y con características propias, se ven interrelacionados estrechamente con las deformaciones de finales del Mesozoico.

Así pues la geología de Hidalgo está constituida por un basamento de rocas metamórficas de edad precámbrica que soportan en discordancia a una potente secuencia de rocas sedimentarias paleozoicas. Rocas sedimentarias mesozoicas del Triásico – Jurásico y Cretácico sobreyacen en discordancia angular a las rocas anteriores,

anteriores, estando éstas a su vez, cubiertas por un Cenozoico que en su base es marino, para cambiar hacia su cima a rocas volcánica de composición andesítica y basáltica.

Precámbrico.

Las rocas más antiguas que se conocen en Hidalgo son gneisses granulíticos de color gris verdoso, los cuales afloran en las cercanías del río Chinameca y de Huiznopala (Carrillo Bravo, 1965); Fries y Orta (1965) realizaron el estudio geocronológico por métodos radiométricos y encontraron que tienen una edad de $1,210 \pm 140$ millones de años.

Paleozoico.

El paquete de las rocas Paleozoicas que se conocen en el estado de Hidalgo corresponden a la Formación Guacamaya, la cual descansa discordantemente sobre las rocas metamórficas del Precámbrico. Esta formación consta de una potente secuencia rítmica de sedimentos del Pérmico Inferior consistentes en lutitas, limolitas y areniscas; y en menor proporción de conglomerados (Carrillo Bravo, 1965).

Mesozoico.

A principios del Triásico se registró un levantamiento, acompañado de un intenso período de erosión que produjo gran cantidad de sedimentos, constituidos por clastos que se depositaron en grandes cuencas formando gruesos espesores de areniscas y conglomerados de la Formación Huizachal.

Durante el Jurásico Inferior tuvo lugar una transgresión, depositándose un potente paquete de sedimentos de facies marinas en cuencas cerradas o de circulación restringida. Al final de esta época se suscitó posiblemente un pequeño movimiento orogénico que dio lugar a movimientos ascendentes y descendentes que originaron la depositación rítmica de lutitas y areniscas de la Formación Huayacocotla, que posteriormente fueron levantadas y plegadas.

Al principiar el Jurásico Superior hubo una transgresión marina que cubrió gran parte de la República Mexicana, la cual se inició en el Calloviano y predomina durante el Oxfordiano, Kimmeridgiano y Tithoniano (López R, 1982), depositándose los sedimentos de las formaciones Tamán y Pimienta.

Durante el Cretácico persistieron los mares y se desarrollaron algunas cuencas marinas de diferentes profundidades, dando origen a depósitos de cuenca y de aguas muy someras, a veces de tipo lagunar. Cabe mencionar que durante el Maestrichtiano comienzan las primeras pulsaciones de la Orogenia Laramide, que se manifiesta por el aporte de terrígenos hacia las cuencas.

Cenozoico.

La era Cenozoica en el estado de Hidalgo comprende dos grandes dominios: el Paleoceno Marino y el Terciario Volcánico Continental.

A principios del Terciario, el levantamiento que parece haber comenzado para finales del Cretácico, se intensificó en el Paleoceno y culmina en el Eoceno temprano con la Orogenia Hidalguense (De Cserna, 1960). Las capas del Eoceno superior, tanto las continentales como las marinas, descansan con discordancia angular en las rocas más antiguas, hasta las del Eoceno inferior. A medida que las rocas de la región fueron ascendiendo y plegándose, se intensificaba la erosión en las partes más elevadas.

Al cesar el plegamiento compresional hacia mediados del Eoceno y principios del Oligoceno, se verificó un fallamiento normal de distensión formándose grabens y horsts. Este proceso dio origen a la acumulación de materiales erosionados, depositándose así los sedimentos del Grupo El Morro. Durante el Oligoceno tardío terminan los movimientos activos y con ellos cesa la acumulación de los sedimentos del Grupo El Morro. Esto coincide con la iniciación de una larga época de volcanismo activo, que duró desde Oligoceno hasta el Plioceno temprano con la acumulación local de miles de metros de rocas volcánicas de composición variable, desde riolita hasta andesita y quizás aún de basalto.

En el Oligoceno-Mioceno se tiene la presencia de un arco volcánico intracontinental, activo en nuestros días, estando representado por la Faja Volcánica Transmexicana. La intensa actividad volcánica de esta época dio origen a las formaciones del Grupo Pachuca, que constan de alternancias de brechas, tobas, conglomerados y derrames lávicos de composición andesítica-dacítica.

Al parecer esta época de volcanismo culminó en el Plioceno temprano con la intrusión, en ciertos lugares, de numerosos diques y con otra temporada de fallamiento activo, acompañada de la mineralización metálica del distrito minero de Pachuca y en otros cercanos.

4.2 Geología Regional

Puesto que el área de estudio se ubica en la parte norte de la Cuenca de México, a continuación se hace una breve descripción de los eventos geológicos que le dieron origen.

Se han escrito muchos trabajos relacionados con la geología de la Cuenca, por lo que existe una gran cantidad de información que no es posible incorporar en este resumen. Por esta razón, los autores de la presente tesis han decidido hacer una recopilación de la información que consideraron mas importante con respecto a la evolución y desarrollo de la Cuenca de México.

De sus 9,600 kilómetros cuadrados de superficie, la Cuenca de México comprende aproximadamente 2,540 kilómetros cuadrados del sur de Hidalgo; es decir que de la superficie total de la Cuenca, el 26.46% corresponden a dicho estado.

De acuerdo con Aguayo y Marín (1989), la secuencia estratigráfica de la Cuenca de México, consiste de rocas volcánicas, depósitos aluviales, fluviales y lacustres del Terciario y del Cuaternario, que sobreyacen discordantemente a rocas calcáreas y calcáreoarcillosas del Cretácico.

Las rocas marinas del Cretácico conforman el basamento de la secuencia volcánica y sedimentaria continental del Terciario y del Cuaternario en la Cuenca de México, como lo demostró la perforación del pozo Mixhuca-1, en donde se encontraron calizas arcillosas del Cretácico Superior de la Formación Morelos a unos 1550 metros de profundidad, así como también calizas no tan arcillosas de la Formación Cuautla, encontradas a 2100 metros de profundidad al perforarse el pozo Tulyehualco-1 (Aguayo y Marín, 1987).

Entre las rocas del Cretácico y las del Terciario, existe una gran discordancia, puesto que no hay evidencias de rocas del Paleoceno hasta el Eoceno Medio. La discordancia está representada por los Grupos El Morro y Balsas del Eoceno Superior y del Oligoceno. El Grupo Balsas aflora en la porción sur de la cuenca y El Morro al norte de la misma, cerca de Amajac, Hidalgo. Estos dos grupos consisten de conglomerados

rojizos por oxidación, con clastos calcáreos bien consolidados; los estratos son masivos y lenticulares de origen fluvio-aluvial. Localmente los estratos conglomeráticos tienen intercalaciones de tobas y de lavas de composición andesítica y basáltica. En la cuenca, el pozo Texcoco-1 cortó una sección de 85 metros de conglomerados del Grupo el Morro a 1980 metros de profundidad.

Durante el Mioceno Inferior y Medio, se presentaron diversas reactivaciones tectónicas dentro de la cuenca, con el consecuente fracturamiento y fallamiento de la misma. Los sistemas estructurales conjugados SW-NE y SE-NW fueron probablemente generados por los esfuerzos compresivos de la Placa de Cocos (Mooser, 1975; Aguayo y Marin, 1987). El fracturamiento suroeste-noreste está representado por la falla Apan-Tláloc, mientras que el otro sistema estructural sureste-nororeste corresponde a los alineamientos Popocatepetl – Cerro de Los Pitos – Cerro de Chimalhuacán y Sierra de Guadalupe. El desarrollo de dichas fracturas y fallas se piensa que está asociado con actividad volcánica de diversa composición, desde andesitas y riodacitas hasta andesitas básicas y dacitas.

Durante el Mioceno Tardío también hubo actividad volcánica, lo que se manifiesta en las Sierras de Guadalupe, Tepetzotlán y Tepozán. La secuencia volcánica está compuesta por andesitas, dacitas y latitas, y las denominó Mooser (1975) como "Grupo de las Sierras Menores".

En el Plioceno nuevamente existió una fuerte reactivación tectónica, con la formación de sistemas de fallas y de fracturamientos conjugados SE-NW y SW-NE, formando fosas y pilares. La actividad volcánica se manifestó en toda la cuenca con la emisión de andesitas y dacitas porfídicas en las Sierras Nevada y Río Frio, al oriente, y en la Sierra de las Cruces y Zempoala, al poniente de la misma, denominadas por Mooser (1975) como "Grupo de las Sierras Mayores".

Al pie de las sierras que circundan a la Cuenca de México se depositaron abanicos aluviales y lahares, intercalados con capas de pómez, cenizas, suelos, gravas y arenas de origen fluvial; a todo este complejo volcano - sedimentario, se le conoce como Formación Tarango (Bryan, 1948; en Sánchez-Díaz, 1989) cuya localidad tipo está al sur-poniente en la Ciudad de México. Otros autores la han redefinido y la subdividieron en varios

miembros de acuerdo a la naturaleza de su composición (Arellano, 1951; Segerstrom, 1962; Mooser, 1961; y otros en Sánchez-Díaz, 1989).

Debido a que las capas inferiores de la Formación Tarango sobreyacen, y en parte se interdigitan con los derrames de la secuencia volcánica de la Sierra de las Cruces, se le asigna al Plioceno Tardío.

Hacia el centro de la Cuenca de México y hacia el norte, son comunes los suelos tobáceos y pumíticos como en la región de Tequisquiác, Nochistongo y Tula, además de los suelos tobáceos y pumíticos existen tobas lacustres bentoníticas, denominadas como Serie Nochistongo y Requena (Mooser, 1975).

Durante el Plioceno tardío y el Cuaternario temprano continuó la actividad volcánica en las zonas de las Grandes Sierras, formando comunmente domos andesíticos, riódacíticos y dacitas. La cuenca presentó una nueva reactivación tectónica, en la que los sistemas oeste-este fueron dominantes al norte de Puebla y en el Nevado de Toluca.

La actividad tectónica dio origen a efusiones de andesitas y sucesivamente andesitas basálticas; en el Cuaternario tardío, los basaltos fueron abundantes, dando lugar a la acumulación de más de 1000 km³ de rocas volcánicas que constituyen la Sierra de Chichinautzin. Este edificio de rocas volcánicas se desarrolló en los últimos 700,000 años y sirvió de umbral, creándose la Cuenca endorreica de México.

Del Cuaternario tardío al reciente los valles se cerraron entre el Popocatepetl, al este y la Sierra de Zempoala, al sur y las cabeceras del sistema hidrográfico al norte. Por esta causa la cuenca se fue azolvando rápidamente por un aporte considerable de acarreo fluvial en forma de abanicos de deyección, formados por los ríos Hondo, Mixcoac, Conteras y por otros ríos sepultados por las lavas del Ajusco.

Hacia el norte de la cuenca, el río de Las Avenidas de Pachuca, el de Cuautitlán, el de Teotihuacán y el de La Compañía, formaron conos de deyección. Hacia el centro de la cuenca los sedimentos limo-arenosos se estratificaron con cenizas volcánicas y pómez provenientes de las erupciones volcánicas de la Sierra del Ajusco - Chichinautzin.

Mooser (1975), describe sistemas ortogonales de fracturas y de fallas SE-NW y SW-NE, que se formaron en la Cuenca de México por los efectos compresivos que la

Placa de Cocos ejerce contra la Faja Volcánica Transmexicana. Marín y coautores (1986) y Aguayo y Marín (1987), entre otros autores, destacan la regionalidad del fallamiento y fracturamiento conjugado, con franca tendencia hacia el noroeste.

4.3 Geología Local

En la porción Norte de la Cuenca de México, donde se encuentra localizada el área de estudio, dominaron los depósitos producidos en la cuarta y quinta fase del vulcanismo del Terciario y Cuaternario, predominando los depósitos de la quinta fase, que se caracteriza por haber presentado emisiones explosivas andesíticas y basálticas (Mooser, 1975).

Para esta zona es muy probable que la actividad volcánica comenzara durante el Mioceno, con el emplazamiento de andesitas intercaladas con basaltos y brechas volcánicas. De acuerdo con Cantagrel y Robin (1979), es posible distinguir tres épocas de vulcanismo: El más antiguo, del Mioceno Medio, de composición andesítica; el intermedio del Mioceno Superior al Plioceno (característico del Eje Neovolcánico) también de composición andesítico – basáltico; y el último, a finales del Plioceno y Pleistoceno, muy ampliamente distribuido, y de carácter andesítico y basáltico.

De esta manera, es en el Pleistoceno donde se originó la emisión de lavas máficas que, por una parte, obstruyeron el drenaje existente, formando cuencas endorreicas y por otra, pequeños lagos donde se depositaron sedimentos lacustres constituidos por limos y arcillas.

A partir de las visitas realizadas al campo se llevó a cabo una etapa de reconocimiento de la geología superficial del área de estudio, la cual se limitó exclusivamente a hacer una descripción de las rocas que afloran en superficie, ya que por tratarse de un valle y dadas las condiciones topográficas del terreno, los únicos afloramientos que se pudieron observar fueron aquellos que formaban parte de alguna estructura volcánica, o bien los que formaban parte de los depósitos de la planicie y que fueron observados en las orillas de algunos jagüeyes, donde el agua no llegaba a su nivel mas alto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El Valle de Tizayuca está orientado en dirección SW-NE, y se caracteriza porque forma una planicie que se extiende de sur a norte desde el municipio de Tizayuca hasta los límites con la ciudad de Pachuca.

Dentro del área de estudio, esta planicie está constituida por la acumulación de sedimento vulcanosedimentario intercalado con depósitos piroclásticos formados por cenizas, tobas, arena y algunos horizontes de brechas, todos ellos cubiertos por una delgada capa de aluvión.

Cercano a la localidad El Tejocote fue posible apreciar un ojo de agua, que al estar seco, permitió distinguir las diferentes capas de material que conforman el suelo en dicha zona, las cuales consisten de tobas líticas con fragmentos de rocas volcánicas y escoria. En la Foto No. 2 se aprecia claramente cómo los horizontes de toba presentan distintos espesores que van desde 7 hasta 15 centímetros.



Foto No. 2. Horizontes de toba. Localidad 'El Tejocote'.

En la Foto No. 3, que pertenece a El Tejocote, se aprecia la ausencia de sedimento aluvial sobre las tobas. La falta de suelo es una característica común en las laderas contiguas a las formaciones volcánicas de esta parte del valle

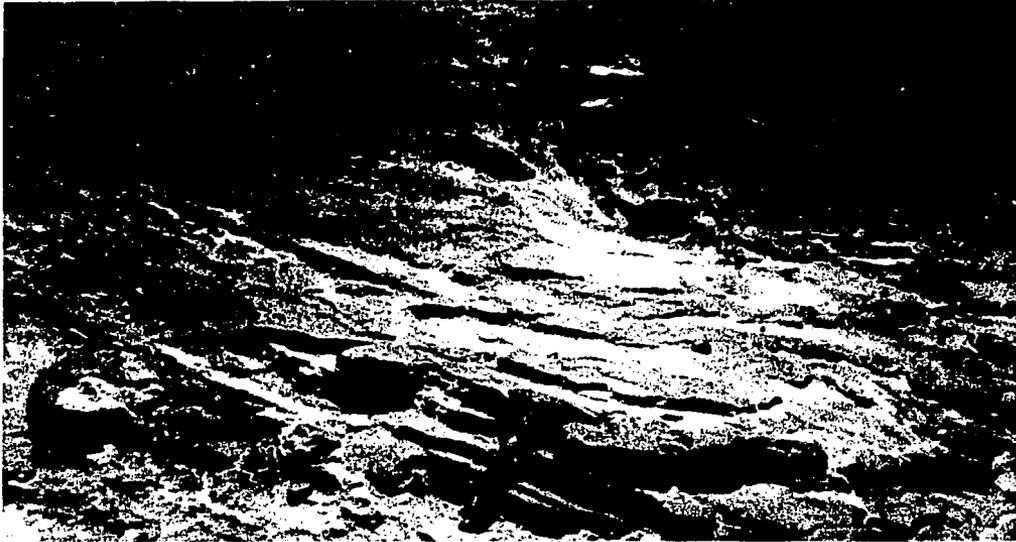


Foto No. 3. Ausencia de suelo sobre las tobas (El Tejocote).

En la parte central del valle, cerca del cruce de la carretera San Javier-Villa de Tezontepec con la vía del tren, se encontró un ojo de agua donde se pudieron identificar varios horizontes de tobas de color pardo claro, dispuestos en estratos pseudo horizontales y con espesores que variaban de 0.50 m a unos cuantos centímetros. Dichas tobas están compuestas principalmente por ceniza y piroclastos de tamaño de arena fina (1/4-1/8 mm), que se intercalan con otros horizontes de granulometría mayor (arena media a gruesa 1/2-1 mm).

En ésta parte del área de estudio los estratos de toba que se encuentran cercanos a la superficie del terreno presentan una estratificación delgada, mientras que aquellos que los subyacen tienden a presentar estratos de mayor espesor, como se muestra en las Fotos 4 y 5.

TRABAJO CON
FALTA DE CUIDADO



Foto 4. Variación en la estratificación de tobas (Villa de Tezontepec).



Foto 5. Depósitos de tobas con estratificación gruesa (Villa de Tezontepec).

Como se observa en la Foto 6 en algunas partes del valle los horizontes de toba muestran claramente sus límites, y en algunos casos se observa acuñamiento de los mismos.



Foto 6. Acuñamiento de los horizontes de toba (Villa de Tezontepec).

En la Foto 7 se puede notar con claridad la gradación que presentan algunos de los depósitos vulcanoclásticos.



Foto 7. Gradación de depósitos vulcanoclásticos (Villa de Tezontepec).

La planicie se ve ligeramente interrumpida por algunas elevaciones volcánicas ubicadas predominantemente en los flancos del valle, dentro de las que destacan la Sierra de Tolcayuca y el Cerro de Los Pitos ubicados al noroeste y al este de la zona respectivamente, así como también se observan otros cuerpos volcánicos de menor altura como los cerros La Escondida y La Cantera.

En la estructura volcánica conocida como el Cerro de Los Pitos, localizada al Este del valle, afloran principalmente rocas de composición andesítica de color gris claro, así como también brechas volcánicas. Estas rocas entran en contacto con areniscas

TEZONTEPEC
FALLA DE ORIGEN

conglomeráticas volcanoclásticas depositadas en el piedemonte del aparato volcánico y que en la planicie se interdigitan con los depósitos aluviales.

La Sierra de Tolcayuca se localiza al noroeste del área de estudio y está constituida por derrames de composición basáltica y dacítica, los cuales tienen mayor predominio que los productos volcanoclásticos de piedemonte, formados por depósitos de areniscas conglomeráticas, producto de la desintegración de rocas volcánicas preexistentes.

Otras estructuras volcánicas que se localizan dentro del área de estudio son los cerros La Cantera y El Xoconoxtle, ubicados en el flanco oeste del Cerro de Los Pitos, y compuestos de brecha volcánica y basalto respectivamente.



Foto 8. Ladera del Cerro La Cantera

Un poco más al sur se localiza el cerro Tleixpan formado por basaltos y hacia el suroeste se encuentra el cerro Coayucan compuesto por brechas.

TIENE CON
FALLA DE ORIGEN

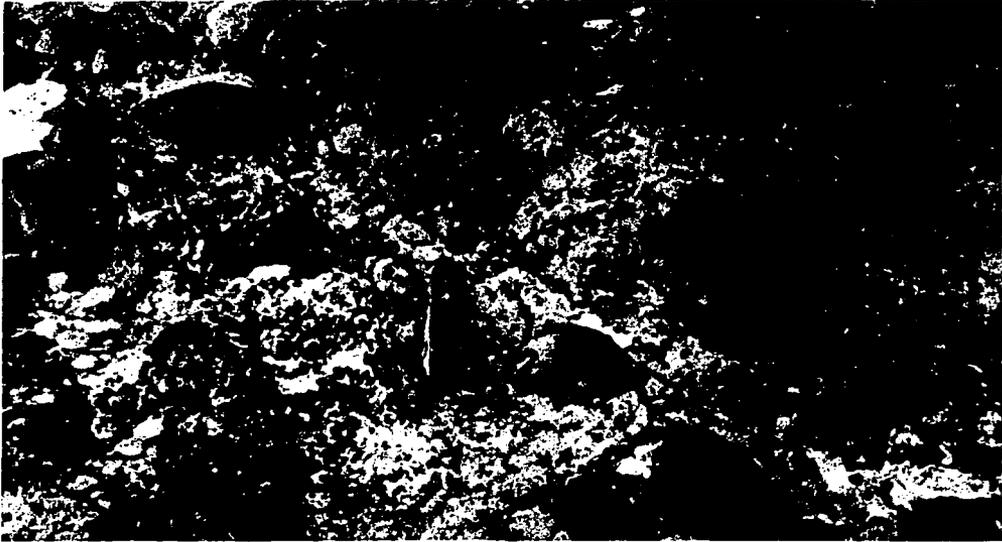


Foto 9. Brecha volcánica (Localidad La Cantera)

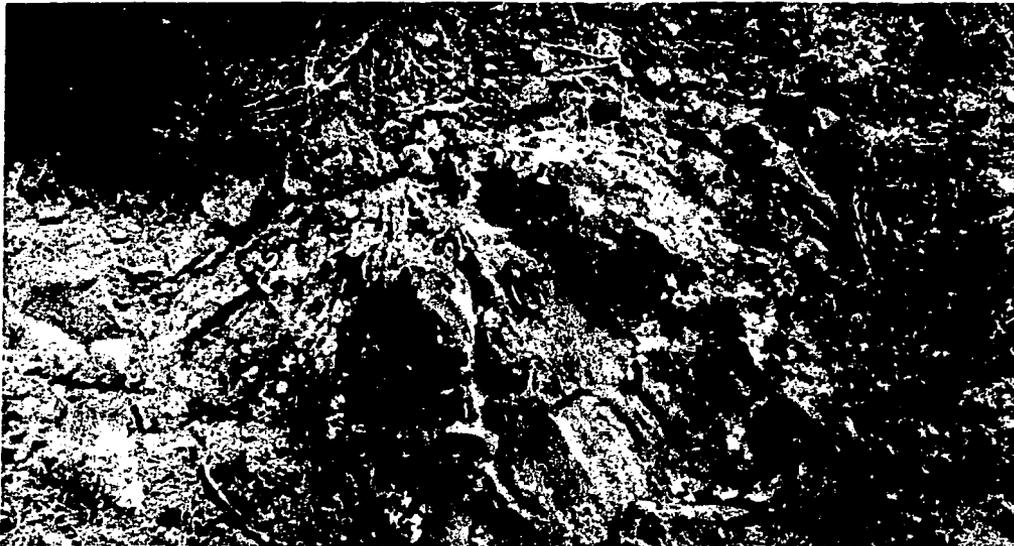


Foto 10. Escoria basáltica (Localidad Xoconoxtle)

TESE CON
FALLA DE ORIGEN

En el flanco oeste del valle, y en dirección norte-sur, se localizan los cerros Santa Rosa, La Escondida y Cerro Verde, de composición basáltica, andesítica y basalto-andesítica. Particularmente, el cerro La Escondida está formado por una roca de composición andesítica, que se utiliza como banco de material, lo que permite observarla al fresco, presentando una clara homogeneidad textural y litológica en toda la estructura.



Foto 11. Cantera La Escondida

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

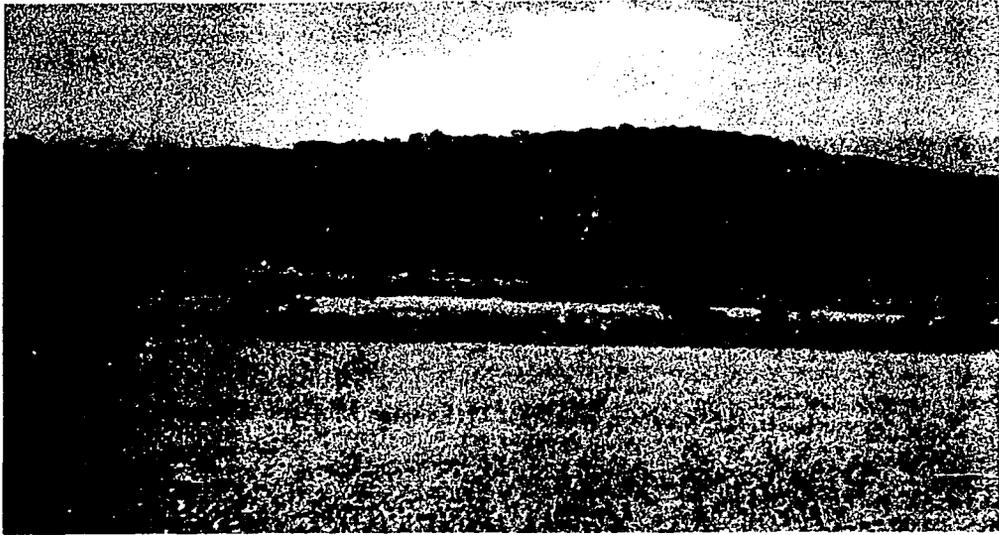


Foto 12. Vista panorámica Cerro La Escondida

Con el fin de conocer la composición mineralógica de las rocas que conforman a las estructuras volcánicas localizadas en el área de estudio, se recolectaron en campo algunas muestras de mano, y se preparó una lámina delgada para cada una de ellas. Las muestras de mano fueron descritas a partir de su color, textura y tamaño de los cristales, para posteriormente poder hacer una mejor descripción microscópica y clasificar dichas muestras.

En la Tabla 4 se presentan las descripciones petrográficas de las muestras recolectadas en el campo, así como el mapa de localización de los puntos donde fueron tomadas (fig. 4).

Posteriormente se muestra el mapa geológico del valle (fig. 5), así como las trazas de las secciones geológicas (fig. 6), cuyos cortes se pueden observar en las figuras 7 y 8.

TESIS CON
FALLA DE CRICEN

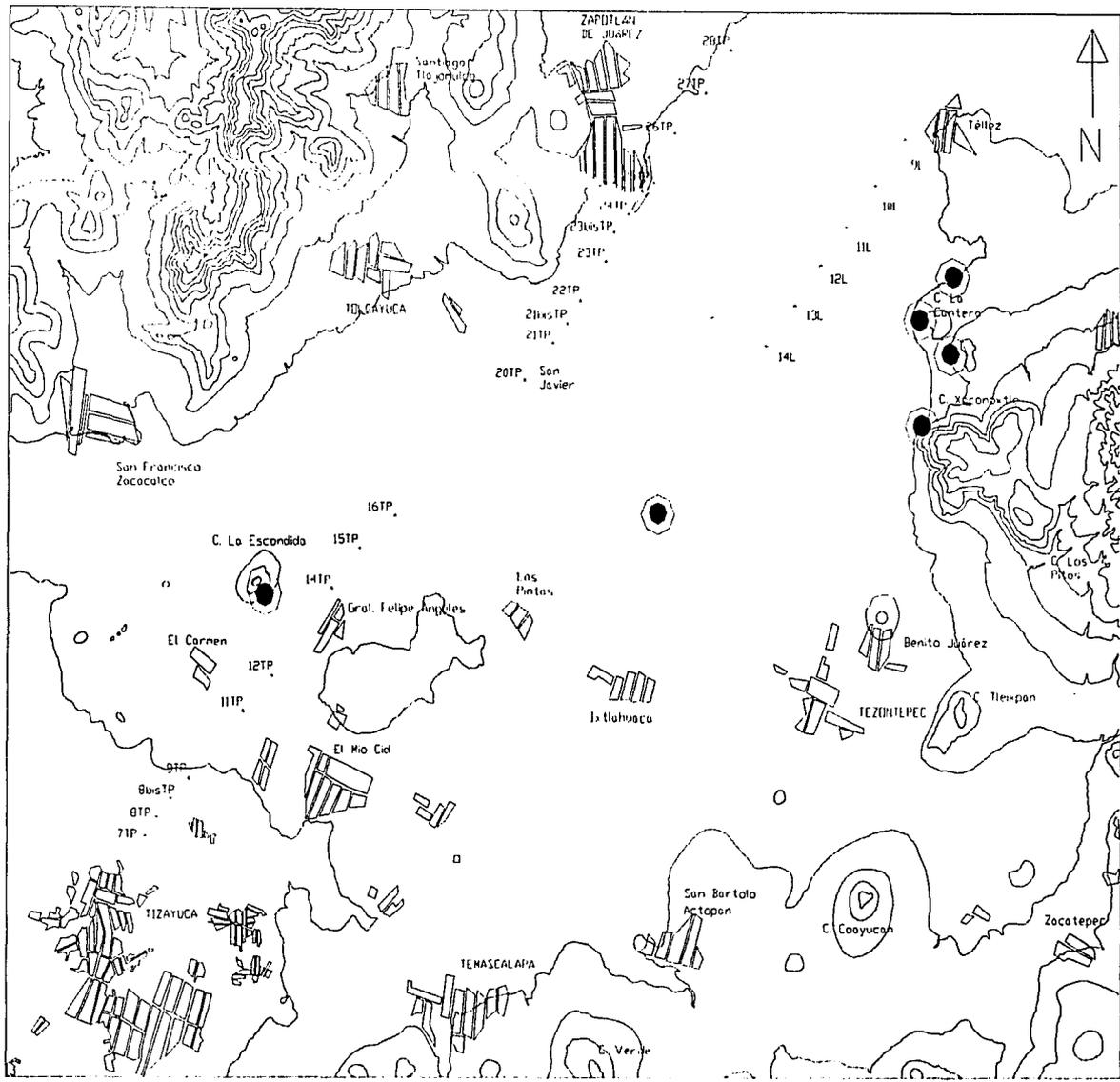
TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

LOCALIDAD	MUESTRA	TEXTURA	MINERALOGIA	CLASIFICACIÓN	OBSERVACIONES	DESCRIPCIÓN MUESTRA DE MANO
La Escondida	HM-1	Microlítica	Andesina Hornblenda Augita Hematita	Andesita de hornblenda	Matriz microlítica de andesina. Gran contenido de hematita por procesos de meteorización	Roca de color rosáceo con fenocristales de hornblenda y matriz afanítica.
La Cantera	HM-2	Microlítica	Labradorita	Basáltica vulcanosedimentaria	Matriz criptocristalina de labradorita.	Roca de color negro, afanítica c/pseudo estratificación cruzada.
La Cantera	HM-3	Traquítica	Labradorita Ferromagnesianos	Escoria basáltica	Gran cantidad de vesículas. Cristales pequeños	Roca negra muy porosa. Lava tipo pahoehoe.
La Cantera	HM-4	Vitroclástica	Ferromagnesianos	Escoria	Matriz oxidada Abundantes vesículas. Cristales pequeños	Roca pardo rojiza, muy porosa
El Tejocote	HM-5	Piroclástica	Andesina Vidrio volcánico Minerales arcillosos	Toba lítica con matriz vítrea	Fragmentos de andesita contenidos en una matriz vítrea en proceso de desvitrificación.	Roca pardo verdosa con fragmentos de andesita y escoria

Tabla 4. Petrografía de las muestras recolectadas en campo.

20°00'

20°00'



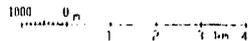
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2191000
19°49'

19°49'

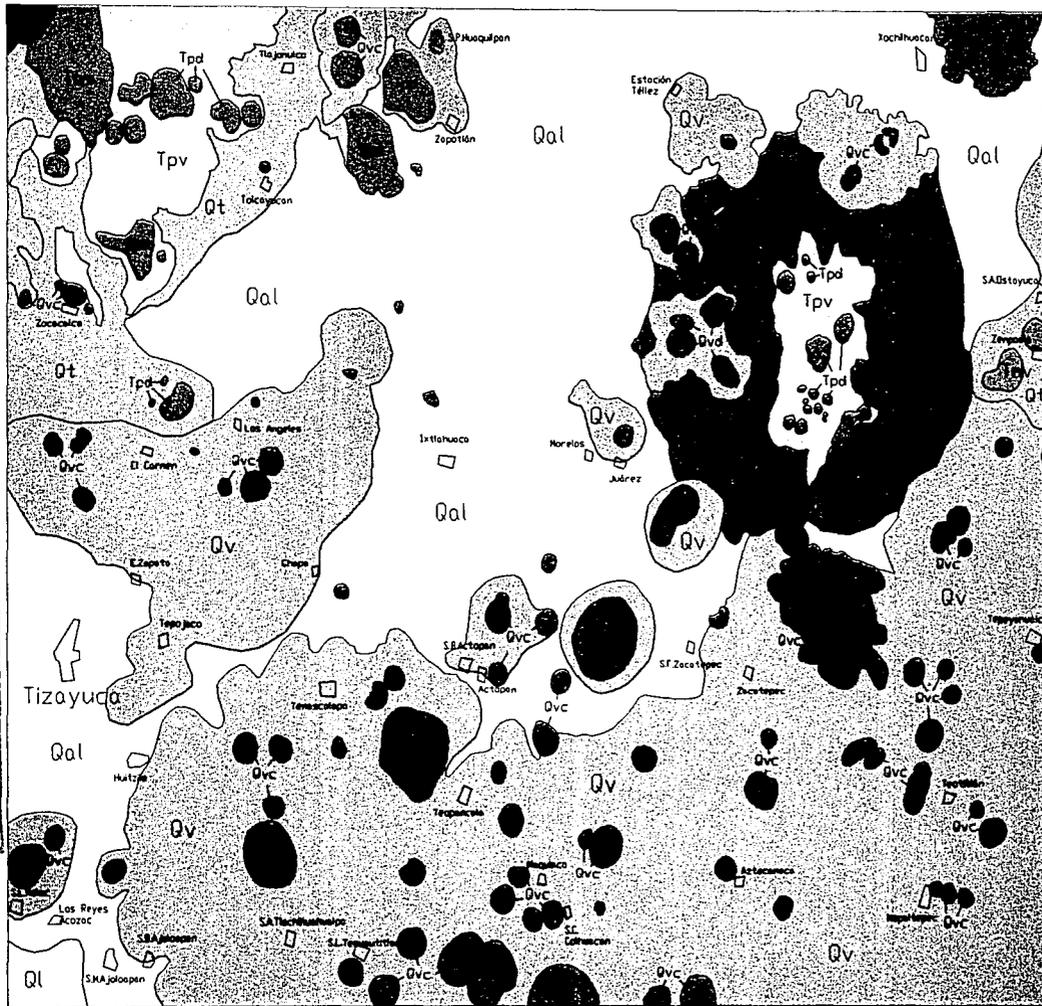
500100
99°00'

98°45'



99°00' Fig. 5. Mapa geológico del Valle de Tizayuca 98°40'

20°00'



Simbología y colores

- Qal Depósitos Aluviales
- Ql Depósitos locales
- Qt Tofos en depósitos de flancos
- Qv Rocas ígneas extrusivas de intermedios a básicos y tobas
- Qvc Rocas ígneas extrusivas intermedias y básicas
- Qvca Rocas ígneas extrusivas intermedias a básicas y tobas formando conos o domos
- T Tefrito andesitas volcánicas
- Tmv Lávaras, flujos proclásticos, gneissitas, tobas, pómez, depósitos fluviales
- Tpd Rocas ígneas extrusivas intermedias y dacitas formando estructuras
- Tcv Rocas ígneas extrusivas intermedias
- Tpv Rocas ígneas extrusivas intermedias y dacitas
- Contactos
- Poblados

Fuente de información:
 La geología se basó en los trabajos de F. Mooser, Arturo Montiel, Angel Zuñiga (1990), Carta Geológica Tizayuca E14-B11 Cetanal (1975)

0 5 km

19°45'

99°00'

98°40'

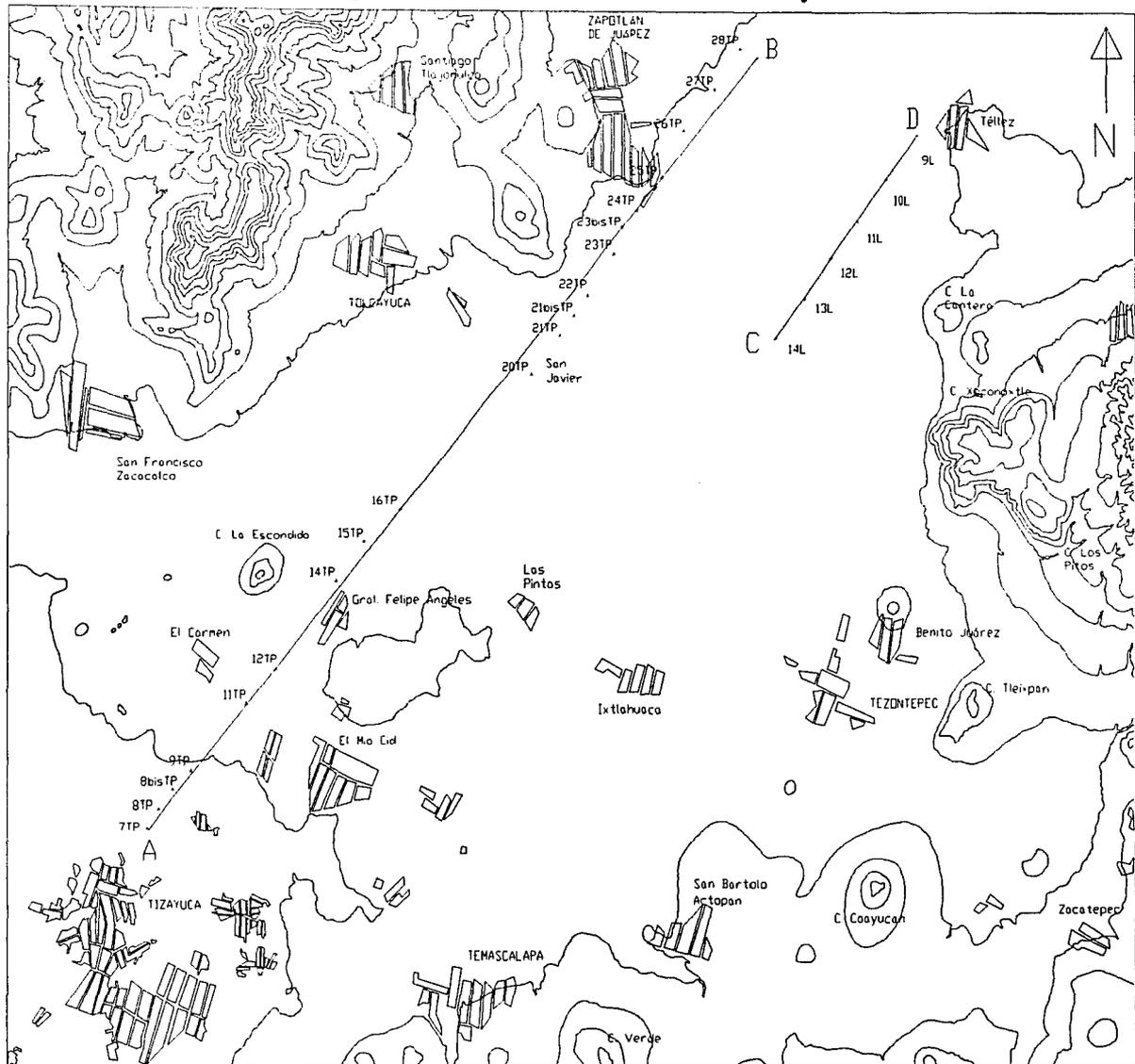
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 6. Traza de las secciones A-B y C-D

526.009
98°45'

20°00'

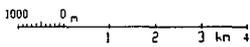
20°00'



TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

2191000m
19°49'

500000
99°00'



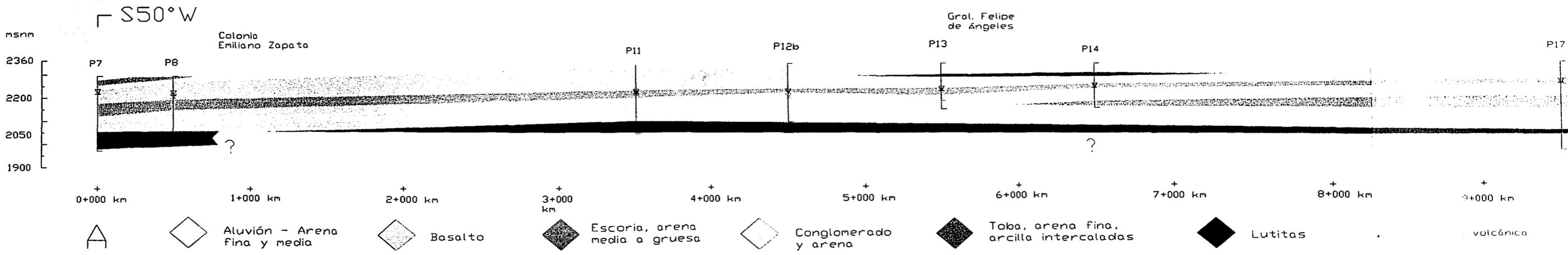
19°49'

98°45'

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

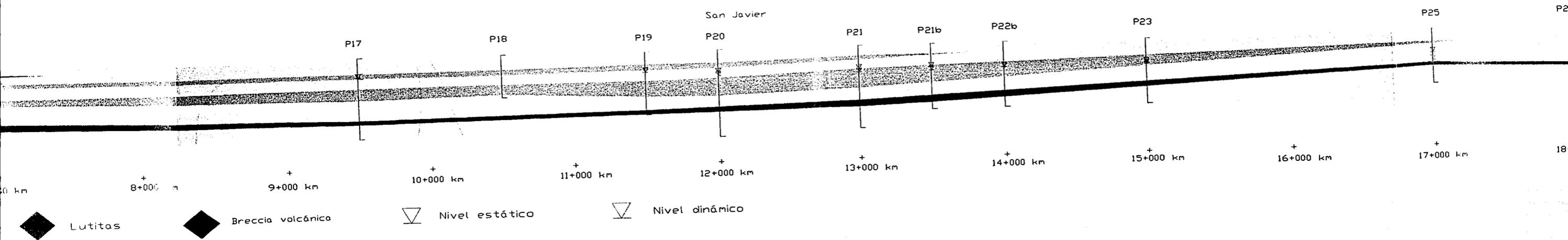
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 7. SECCIÓN A-B F



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 7. SECCIÓN A-B RAMAL TIZAYUCA-PACHUCA



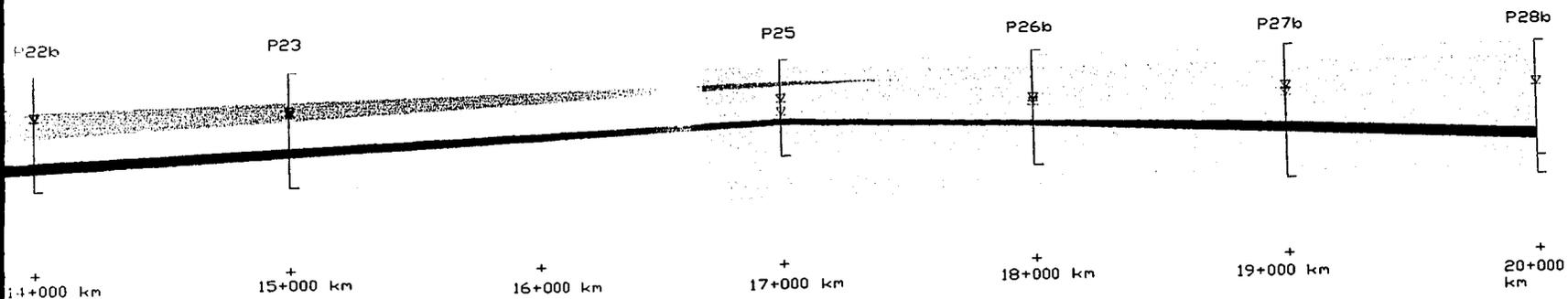
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

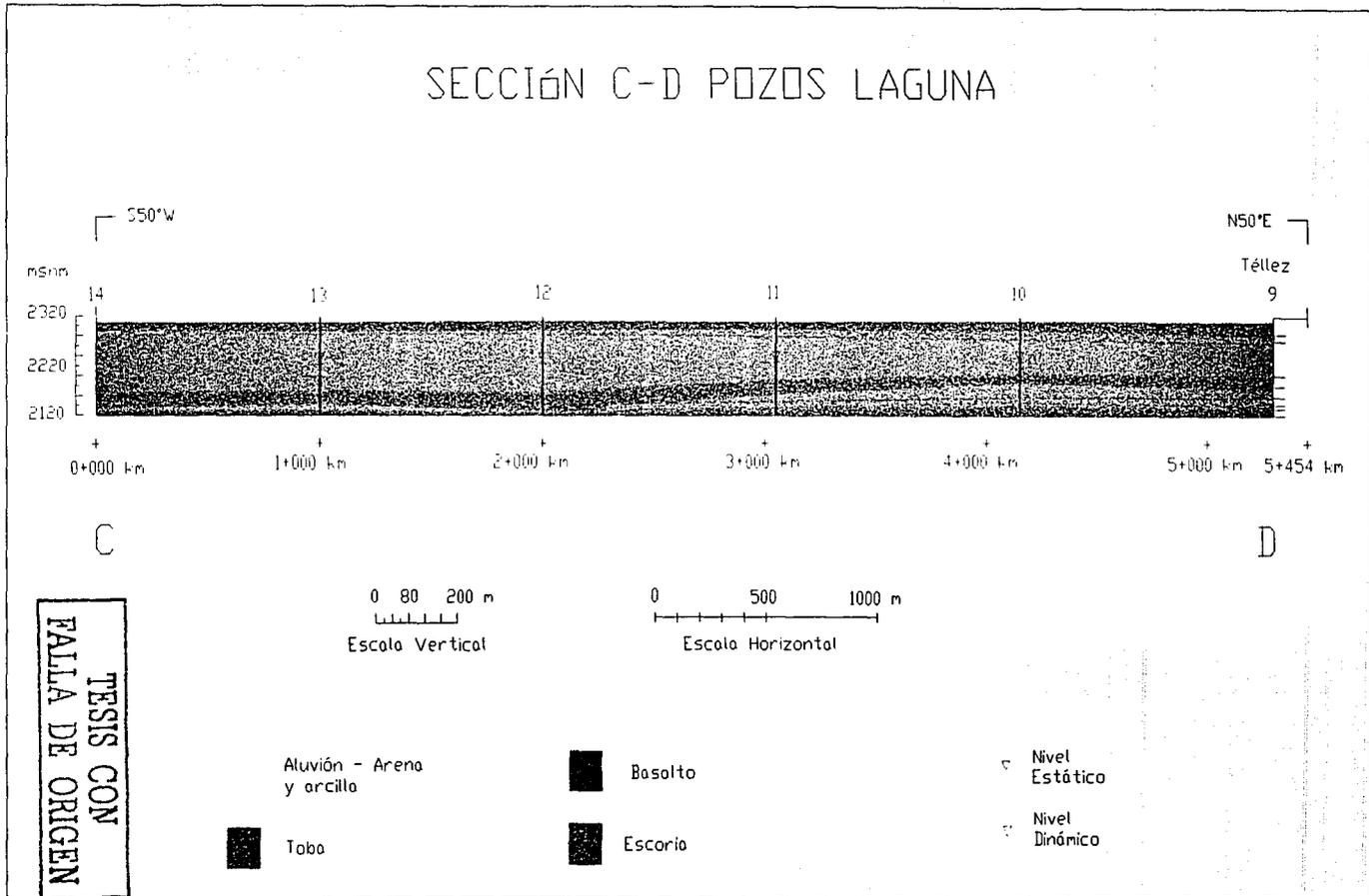
N50°E



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

45

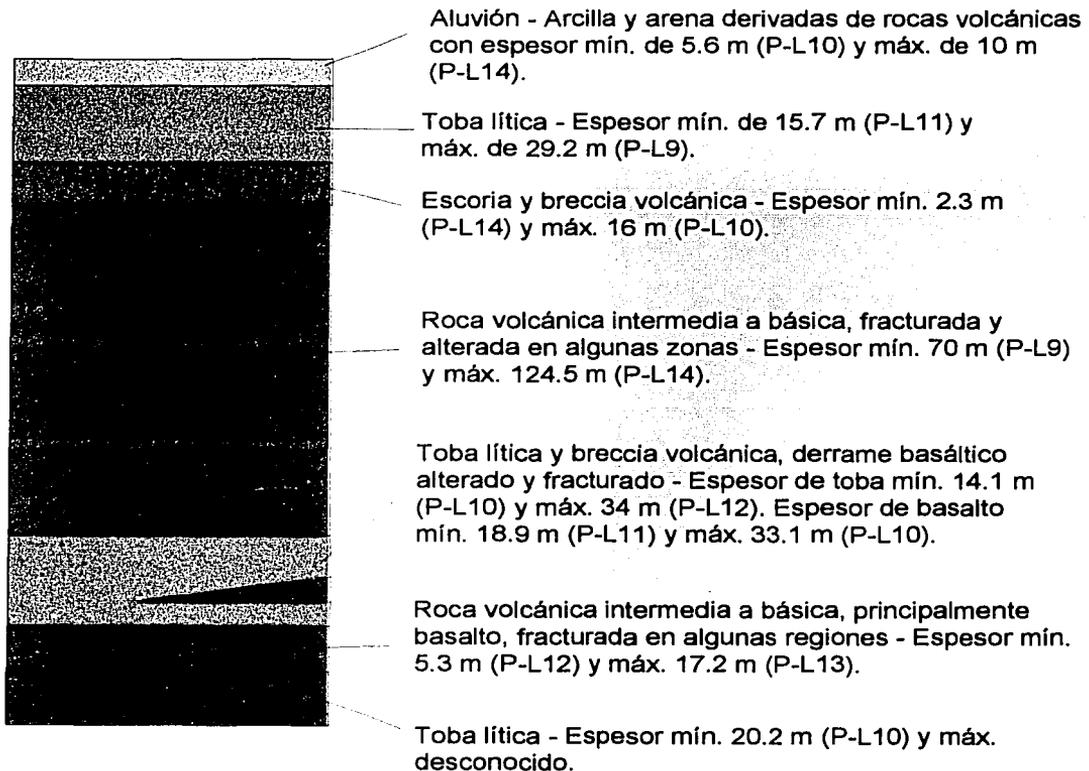
Fig. 8. Sección C-D. Pozos "La Laguna".



4.4 Columna Litológica

En la sección construida a partir de los pozos La Laguna, se obtuvo la columna litoestratigráfica siguiente:

Fig. 9. Columna Litológica de la sección Pozos Laguna



En la secci3n construida a partir de los pozos del ramal Tizayuca-Pachuca, se obtuvo la siguiente columna litoestratigr3fica:

4.5 Geología Estructural

Mooser (1975), describe sistemas ortogonales de fracturas y de fallas SE-NW y SW-NE, que se formaron en la Cuenca de México por los efectos compresivos que la Placa de Cocos ejerce contra el Cinturón Volcánico Transmexicano. Marín (1984), cartografió al sistema SE-NW y SW-NE en el Estado de Michoacán, Marín y coautores (1986) y Aguayo y Marín (1987), entre otros autores, destacan la regionalidad del fallamiento y fracturamiento conjugado, con franca tendencia hacia el noreste, como producto de la asimilación de fallas de transformación que dividen a la placa oceánica de Cocos en subplacas, cada una desciende hacia el manto durante su subducción con diferente inclinación y rumbo azimuthal. Los límites entre ellas se reflejan en la superficie del continente como sistemas de fracturas y de fallas conjugadas, pero con franca tendencia de alineación regional del SW-45° –55° NE, así como con cabalgaduras locales cuya vergencia es hacia el N-NE. Los sistemas estructurales descritos se extienden desde la vertiente del Pacífico hasta la provincia del Golfo de México. Estos sistemas están asociados con hidrotermalismo, rocas volcánicas básicas, zonas de mineralización y focos sísmicos. Naturalmente que las características estructurales que se mencionan son difíciles de detectar en el subsuelo de la Ciudad de México; sin embargo si son posibles de interpretar utilizando otros métodos indirectos de exploración, como son los geofísicos de gravimetría, magnetometría y sismológicos, con los que se detectan los sistemas estructurales que conforman al basamento y a la columna estratigráfica que lo sobreyace.

Mediante el análisis sísmico G.A. Pérez-Cruz reportó 7 secuencias en las cuatro unidades sismo-estratigráficas mayores, cuyas características sedimentarias y de espesor varían en el interior de la Cuenca, controlados estos factores por los patrones estructurales que inciden con la columna estratigráfica, y que se mencionan a continuación:

Promontorios.

El autor en mención, distinguió varios promontorios en los diferentes niveles sísmicos; uno de sus orígenes es estructural, como los altos: Mixhuca, Mixcoac, Xico, Cerro de la Estrella y Peñón del Marquez; los dos primeros del Paleoceno-Mioceno y los

tres últimos se formaron durante el Cuaternario. Existen otros altos debido a acumulación de material volcánico, como son los del Tepeyac, Roma-Tlatelolco y Balbuena Malinche.

Depresiones.

Las depresiones mas importantes reportadas por Pérez Cruz son profundas y se presentan al sur y al poniente de la ciudad, en las colonias: Nápoles, Copilco, Tulyehualco, Roma-Centro y Vaso de Texcoco.

Fallas.

De acuerdo con el autor durante el estudio geofísico se pudieron identificar tres tipos de fallas geológico-estructurales, considerando que todas son de origen distensivo.

(1) Fallas profundas que solo afectan la parte inferior de la columna estratigráfica, y que de acuerdo a la interpretación del autor, se desactivaron desde el Mioceno.

(2) Fallas locales causadas por desplazamientos superficiales en zonas de inestabilidad de los flancos de promontorios estructurales.

(3) Fallas locales alrededor del Cerro de la Estrella y el Peñón de los Baños, que deben su origen a movimientos verticales por deslizamiento de los estratos volcánicos y sedimentos superficiales.

Estos sistemas están a la vez controlados por sistemas estructurales regionales, que inciden afectando la Faja Volcánica Transmexicana. Aguayo y Marín (1987) reconocen 16 fallas principales que inciden en el interior de la Cuenca de México, todas distensivas y con rumbo NE 45°-55° SW, delimitando a 15 bloques estructurales mayores.

La separación promedio entre fallas es de unos 6 km y se manifiestan afectando a los sistemas N-S y E-W, así como a las estructuras NW-SE del Mioceno y a los estratos del Plio-Cuaternario.

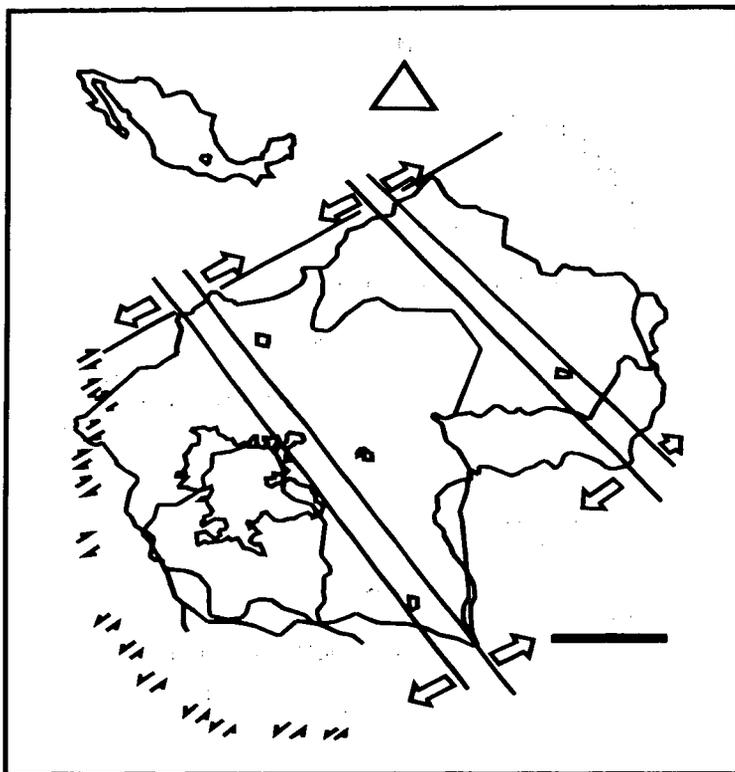


Fig. 11. Modelo tectónico estructural de la Cuenca de México.

F-1	En el extremo sur de la Cuenca de México, incide en el Volcán Popocatepetl.
F-2	Cruza entre los volcanes de la Sierra Nevada.
F-3	Atraviesa el Cerro del Sacramento y el poblado Santiago Cuautengo, hasta el cerro del Tezoyo al noroeste.
F-4	Cruza a unos 300 m al norte de los poblados Tenango del Aire y Tlamanalco, hasta el cerro del Papayo y en la ladera izquierda del Cerro Tepozán.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

F-5	Al suroeste incide en Milpa Alta y hacia el noreste incide en Chalco, Laguna las Animas y el poblado de Huehuetoca.
F-6	Al suroeste cruza el poblado de Tláhuac, atraviesa hacia el noreste al cerro El Pino, al poblado Emiliano Zapata, Laguna de Apan y continúa en los límites geográficos de los estados de Hidalgo y Puebla.
F-7	Al suroeste incide en el pueblo del Ajusco, hasta la Laguna de Tecocomulco al noreste.
F-8	En el suroeste incide con el pueblo de Contreras, afecta a la zona centro, en las colonias: Nápoles, Del Valle, Narvarte, Roma, Doctores, Juárez Cuauhtémoc y otras adyacentes. Hacia el NE continúa hacia el Caracol en el Lago de Texcoco y continúa hasta Otumba, Tlanalapan y Cuauhtepic de Hinojosa.
F-9	En el suroeste incide en el poblado El Zarco, hacia el noreste es paralela a la Avenida Constituyentes-Reforma, cruza la porción norte del Caracol en el Lago de Texcoco, San Martín de las Pirámides hasta el poblado de Singuilucan al noreste.
F-10	Al suroeste cruza el poblado de Huixquilucan de Degollado y hacia el noreste incide en los cerros el Chiquihuite y el Madroño, hasta Ecatepec y el Cerro de Tecajete.
F-11	Afecta al centro industrial de Tlanepantla, hacia el noreste incide en Coacalco, Tezontepec y Epazoyucan.
F-12	En el suroeste incide en el vaso de la Presa Guadalupe, hacia el noreste continúa hasta Tizayuca y Pachuquilla.
F-13	De suroeste al noreste, incide en los poblados de Tepozotlán y San Andrés Jaltengo, Zumpango, Zapotlán de Juárez y Mineral de Reforma.
F-14	Atraviesa a los poblados: Coyotepec y la porción suroriental de la ciudad de Pachuca, Hgo.
F-15/16	No inciden en poblaciones importantes dentro de la Cuenca de México.

Tabla 5. Fallas que afectan la Cuenca de México de S a N.

Los sistemas de fallas descritos de la F-1 a la F-16 delimitan a quince bloques distensivos escalonados, con dos depresiones mayores (grabens) paralelas entre sí, una de estas depresiones corresponde a los límites de las fallas 8 y 9; la otra depresión corresponde al valle Tizayuca-Pachuca y está limitado por las fallas 12 y 13.

Los sistemas de fallas transcurrentes y distensivos tienen dirección de movimientos izq. De la 1 a la 8 y der. De la 9 a la 16, debido a que la zona del lago de Texcoco, es un centro de distensión, orientado NW35°SE, paralelo al de las cuencas de Toluca-Malinalco, Edo. De México, y la de Actopan-Tlaxcala, al occidente y oriente, respectivamente.

La depresión distensiva NW35°SE, es consecuencia de los desplazamientos simultáneos que ocurren entre la placa de Norteamérica hacia el W-SW, de Cocos hacia el NE y la del Caribe hacia el Este franco. El eje distensivo se manifiesta hacia el noroeste de la Cuenca en el Tajo de Nochistongo, y hacia el sureste en Amecameca, su porción central está en el vaso de Texcoco, además de dos porciones de relieve abajo, como son Amecameca-Otumba (2460 msnm) y Tequisquiac Huehuetoca (2250 msnm) quedando alineadas zonas de hidrotermalismo como son: Cuautla al sureste y Apaxco-Pathé-Tecozautla al noroeste, y la zona termal del Peñón de los Baños.

Las principales estructuras cercanas al área de estudio, son los conjuntos de volcanes que se disponen en dirección NE-SW y E-W. Éstas estructuras corresponden con fracturas y fallas de edad terciaria y cuaternaria por las cuales se desarrolló el volcanismo que formó estos relieves.

La topografía presenta un escalonamiento hacia la planicie, que parece corresponder con fallas verticales cuya orientación es NE-SW y son afectadas por un sistema de fracturas en dirección N-S y NW-SE. Los escalones en la topografía permiten suponer que la planicie constituye una fosa tectónica o graben, delimitada por este relieve, el cual tiene aproximadamente un rumbo N55°E.

En la zona de estudio, no se detectaron indicios de fallas en superficie. Las estructuras volcánicas que se pudieron observar claramente como el Cerro La Escondida presentaban intenso fracturamiento, pero no se apreciaba un desplazamiento considerable en dirección de alguno de esos planos. Así mismo, los cortes litológicos de los pozos en las secciones geológicas muestran continuidad en las capas, por lo que si atraviesan algún tipo de falla, el desplazamiento o salto en esa dirección no es representativo.

5. Hidrogeología

5.1 Región Hidrogeológica

El área de estudio se localiza en la región hidrogeológica conocida como *Faja Volcánica Transmexicana*, que coincide aproximadamente con la provincia fisiográfica del mismo nombre; cubre un área de casi 130,000 km² y se extiende parcial o totalmente sobre algunos estados de la república mexicana, incluido el distrito federal.

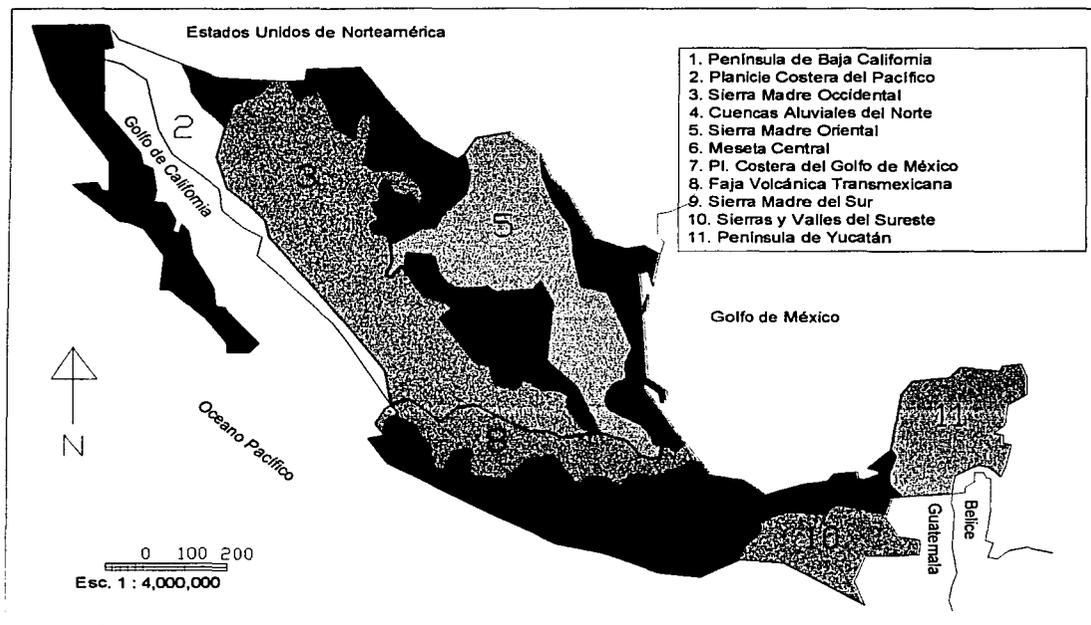


Fig. 12 Provincias Hidrogeológicas.

Los derrames basálticos y la mayoría de rocas que se extienden en toda la Faja Volcánica Transmexicana se caracterizan por una alta permeabilidad que varía en un amplio rango, controlado principalmente por su grado de fracturamiento, la presencia de tubificaciones en los derrames y la intercalación de material escoriaceo.

Las rocas consolidadas y no fracturadas forman barreras para el flujo de agua subterránea, como los derrames andesíticos que funcionan como basamento geohidrológico. Los basaltos y andesitas no fracturados intercaladas con relleno aluvial en diferentes profundidades forman acuíferos locales independientes en rocas adyacentes. En contraste, la mayoría de las rocas de composición ácida, forman acuíferos de gran densidad y de permeabilidad moderada debido a su fracturamiento.

En las partes más bajas de las cuencas, los acuíferos en derrames volcánicos fracturados están cubiertos por depósitos lacustres y aluviales de menor permeabilidad, por lo que son acuíferos confinados o semiconfinados y se caracterizan por un coeficiente de almacenamiento bajo, debido a su virtual incompresibilidad.

Los piroclastos tienen una alta porosidad, aunque su permeabilidad sea baja; en la zona de saturación funcionan como acuitardos, los cuales en escala regional pueden producir o transmitir grandes cantidades de agua a los acuíferos adyacentes. Estos materiales abundan en la base de los volcanes aunque con un espesor menor, son menos porosos y más permeables que los de arriba.

En un nivel regional, se encuentran en la superficie los depósitos lacustres muy porosos y de poca permeabilidad del Plioceno tardío, que forman acuitardos de algunos metros de espesor y de grandes volúmenes de agua.

Los materiales aluviales no consolidados, gravas, arenas y sedimentos finos, están ampliamente expuestos en los valles y forman acuíferos someros. Su permeabilidad y trasmisividad varía de acuerdo con el tamaño del grano y del espesor. El coeficiente de trasmisividad de los acuíferos aluviales oscila entre 5×10^{-4} y 5×10^{-2} m²/s. Los clásticos de alta permeabilidad son comunes en los arroyos, también forman canales activos y viejos que funcionan como acuíferos semiconfinados; los clásticos de permeabilidad moderada a baja (tamaño de grano medio a fino) son más abundantes sobre las extensas llanuras de inundación.

Los flujos de lava basáltica, y los gruesos paquetes de piroclásticos que forman el mayor volumen de las rocas volcánicas jóvenes, producen excelentes áreas de recarga y

rápidamente transmiten el agua a profundidad, alimentando al acuífero profundo, debajo de los valles adyacentes.

De acuerdo con observaciones realizadas y con planteamientos teóricos parece que hay continuidad hidráulica en la zona saturada, que consiste en el relleno, que constituye un sistema de flujo por sí mismo, además de que todos los estratos están hidráulicamente conectados. No obstante, debido a la heterogeneidad y anisotropía del relleno, hay diferencias significativas en la carga hidráulica, temperatura y calidad del agua en el sentido vertical.

5.2 Región Hidrológica

El estado de Hidalgo posee desde llanos semiáridos en los que no se presentan corrientes de importancia, hasta sierras muy lluviosas por cuyas cañadas bajan ríos caudalosos llevando sus aguas hacia el Golfo de México.

Esto se debe primordialmente a dos factores: el clima y la topografía. En las porciones norte y noreste, aunque los vientos húmedos del Golfo propician abundantes lluvias, lo abrupto de la Sierra Madre Oriental impide el aprovechamiento de los escurrimientos, ya que descienden rápidamente a las zonas bajas.

Esta sierra y la de Pachuca actúan como barrera orográfica, debido a que los vientos descargan su humedad en las laderas norte y este de las mismas; por ello en el resto de la entidad las lluvias son escasas, sin embargo el relieve es más suave y permite la utilización de los pocos ríos importantes (Tula, Tizahuapan y Tulancingo) que corren por ella; además es en esta parte donde hay un mayor aprovechamiento del agua subterránea.

El estado de Hidalgo se encuentra comprendido casi en su totalidad dentro de la región hidrológica Río Pánuco (No. 26), con una superficie de 19,793 kilómetros cuadrados. La cuenca del Río Pánuco es una de las regiones hidrológicas más importantes, ya que debido al volumen de escurrimiento en sus corrientes superficiales la sitúan dentro de las más grandes del país con una extensión del orden de los 85,000 kilómetros cuadrados. Debido a su gran superficie, se dividió a esta región en dos: Alto Pánuco y Bajo Pánuco, siendo la primera a la cual pertenece el Valle de Tizayuca.

Cuenca y Subcuenca

Hidalgo queda comprendido en parte de las dos subregiones hidrológicas del Alto y Bajo Pánuco, e incluye solamente una cuenca, la del Río Moctezuma. Dicha cuenca ocupa una superficie dentro de Hidalgo de 19,793 kilómetros cuadrados, y tiene como corriente principal el Río Moctezuma, que se origina en el cerro de La Bufa, Estado de México, a 3800 msnm.

Los afluentes de esta corriente en territorio hidalguense son: el río Tizahuapan, que nace en la Sierra de Pachuca, El Metztilán que deposita sus aguas en la laguna del mismo nombre para posteriormente continuar su curso hasta el Moctezuma como río Amajac. El río Tula inicia su recorrido con dirección norte hasta la población de Ixmiquilpan, de ahí cambia su curso hacia el noroeste para después confluir con el río San Juan del Río, a partir de donde recibe la denominación de río Moctezuma.

Esta cuenca reviste gran importancia tanto por su extensa superficie y la cantidad de afluentes que alimentan sus corrientes principales, como por los distritos de riego que se ubican en ella.

Como subcuenca, dentro del área de estudio se tiene la del Río de las Avenidas, que tiene una superficie de 1,941 kilómetros cuadrados, siendo el 25% de esta superficie correspondiente a la planicie que se extiende desde la Sierra de Pachuca al norte, hasta la Sierra de Guadalupe en el sur.

La cuenca del Río de las Avenidas aporta en promedio 1.3 m³/s de agua para completar las necesidades de la zona metropolitana e incluso las del Distrito Federal; así mismo el Río de las Avenidas también abastece a la población local, cuyas principales ciudades son Pachuca, Tizayuca, Zumpango y Ciudad Sahún, así como a los municipios de Tolcayuca, Villa de Tezontepec y Zapotlán de Juárez.

En el área de estudio la red hidrológica esta integrada por pequeños arroyos de longitud variable, siendo el de las Avenidas el principal río de la cuenca, y cuyo régimen hídrico está controlado por las condiciones meteorológicas de la zona, al ser la época de lluvia el periodo en el cual el río aumenta su caudal, y limitado por las condiciones hidrogeológicas del terreno.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.3 Porosidad

Un medio poroso está formado por un agregado de granos entre los cuales existen espacios vacíos que pueden ser ocupados por un fluido; estos espacios vacíos se llaman poros. El medio poroso puede ser consolidado o no consolidado si existe un cementante que aglutine y ligue las diversas partículas integrantes, o se establezca alguna cohesión entre las mismas.

De acuerdo con Custodio (1983), la porosidad de un material viene expresada por la relación entre el volumen de su parte vacía u ocupada por aire y/o agua y su volumen total.

En los materiales clásticos existen diversos factores que controlan la porosidad, entre ellos destacan, la distribución granulométrica, el grado de compactación, el grado de redondez de los granos, etc. En términos generales se establece que, entre menor es el tamaño medio del grano, tanto mayor es la porosidad. Así mismo se establece que los materiales mal clasificados son menos porosos que los bien clasificados o bien graduados, debido a que las partículas más pequeñas ocupan los espacios entre los de mayor dimensión.

Así, si se considera un cierto volumen de una muestra de roca o suelo cualesquiera se puede distinguir:

- a) Volumen de la parte sólida (V_s)
- b) Volumen de huecos (V_v)
- c) Volumen total ($V_t = V_v + V_s$)

Así, tenemos que: $n = V_v / V_t$, donde n se define como la porosidad del material.

Pruebas de Porosidad

Se trajeron del campo cuatro muestras de suelo a las cuales se les realizaron varias pruebas de porosidad, llevándose a cabo la siguiente metodología:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El primer paso fue limpiar cada una de las muestras, eliminando la mayor proporción de materia orgánica y basura. A continuación se realizó un proceso de cuarteo con el fin de homogeneizar la muestra, obteniendo al final cuatro porciones de las cuales dos fueron utilizadas para hacer la prueba.

Se pesaron 50 g de sedimento por porción en un vaso de precipitado y se mezclaron con un agitador para poder saturar la muestra bajo condiciones semejantes a las del depósito. Después se midió el volumen equivalente que marcaba el vaso de precipitado y posteriormente se calculó el volumen geométrico basado en la fórmula de volumen del cilindro. Finalmente se procedió a saturar cada una de las muestras con agua destilada, midiendo la cantidad de agua que el sedimento absorbió. Para obtener la porosidad se realizaron los siguientes cálculos:

Para la muestra **MS-1** se tiene:

$$W_{\text{seca}} = 100 \text{ g}$$

$$W_{\text{sat}} = 135.07 \text{ g}$$

$$V_m = \pi r^2 h = (3.1416) (3.25 \text{ cm})^2 (2.97 \text{ cm}) = 98.73 \text{ cm}^3$$

$$V_v = V_{\text{H}_2\text{O}} = (W_{\text{sat}} - W_{\text{seca}}) / \delta_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$V_v = (135.07 \text{ g} - 100 \text{ g}) / (1 \text{ g/cm}^3) = 35.07 \text{ cm}^3$$

$$n = (V_v / V_m) \times 100 = (35.07 / 98.73) \times 100 = 35.4\%$$

Donde:

W_{seca} -	Peso de la muestra en seco
W_{sat} -	Peso de la muestra saturada
V_m -	Volumen de la muestra
V_v -	Volumen de vacíos
$V_{\text{H}_2\text{O}}$ -	Volumen de agua
$\delta_{\text{H}_2\text{O}}$ -	Densidad del agua
n -	Porosidad

A continuación se presenta una tabla con los resultados de porosidad de las muestras:

No. Muestra	Wseca (g)	Wsaturada (g)	Vm (cm ³)	Descripción de Muestra	Porosidad (%)
MS-1	100	135.07	98.73	Muestra heterogénea, formada principalmente por arena fina y fragmentos de roca de color pardo. Presencia de tallos y raíces.	35.40
MS-2	100	142.41	99.54	Muestra pardo-grisácea, tamaño de partícula homogéneo compuesto por limos y arcillas.	42.60
MS-3	100	136.91	98.92	Muestra color pardo oscuro, contiene fragmentos de toba. Predominan limos sobre arenas finas. Presencia de tallos y raíces.	37.31
MS-4	100	148.19	99.95	Sedimento muy fino, formado por limos y arcilla con gran cantidad de materia orgánica.	48.21

Tabla 6. Análisis de porosidad en muestras de suelo.

Descripción de Muestras en el Microscopio Estereoscópico

Se lavaron las muestras para eliminar en lo posible limos y arcillas y poder observar claramente los minerales al microscopio.

MS-1. Esta muestra presenta principalmente partículas de tamaño de arena media. Contiene gran cantidad de fragmentos de cuarzo, toba, fragmentos de roca volcánica, feldespatos y algunos cristales alargados, opacos y de color oscuro (aparentemente anfíboles).

Porcentajes Aproximados: FR (40%), Qz (40%), MO (10%), Fd (5%), Otros (5%)

MS-2. Esta muestra presenta partículas de tamaño de arena gruesa a media, conformada por cuarzo incoloro y lechoso, así como algunos fragmentos de obsidiana. También tiene gran cantidad de fragmentos de toba y roca volcánica, que van de subangulosos a subredondeados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Porcentajes Aproximados: FR (35%), Qz (50%), MO (15%)

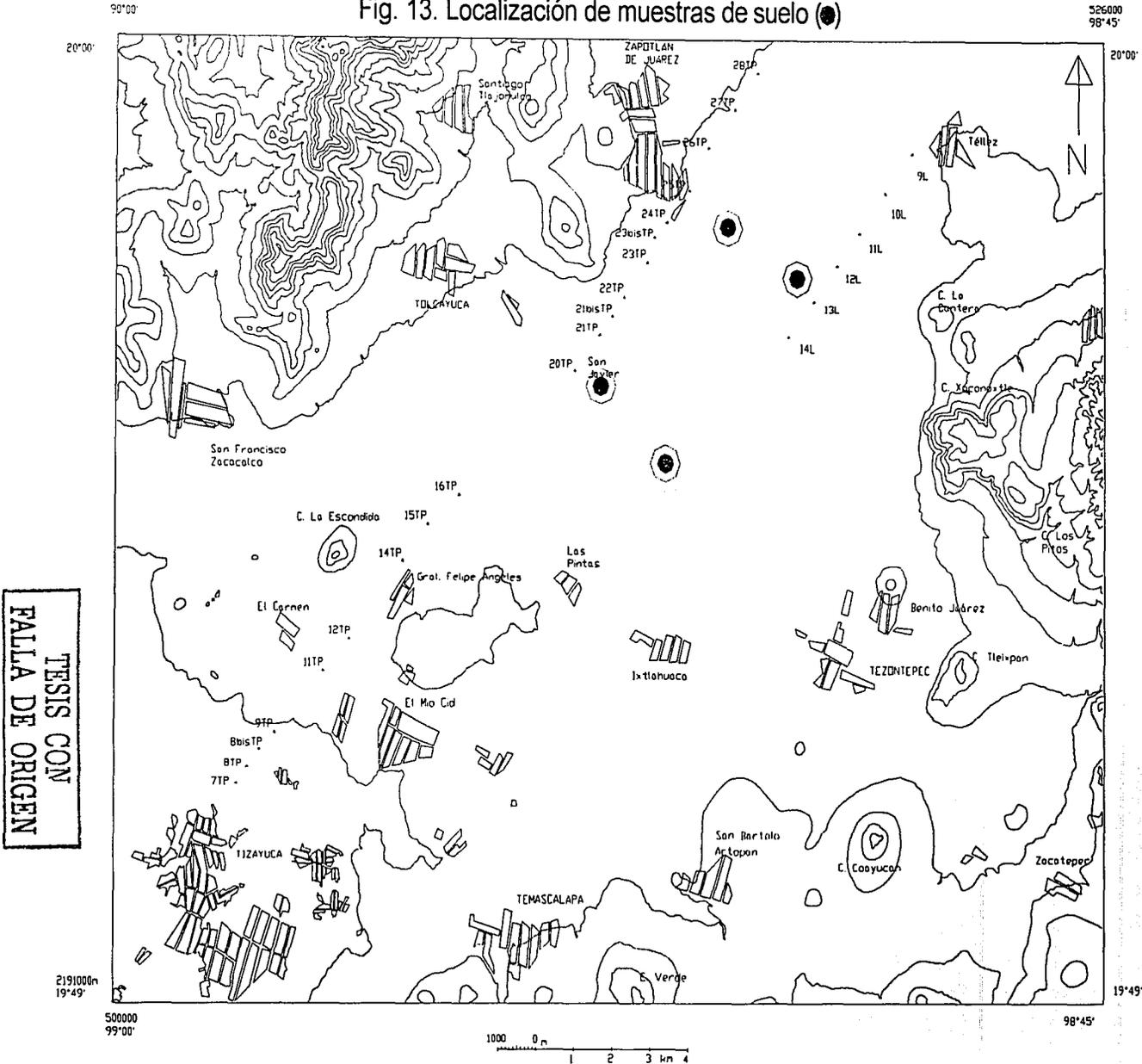
MS-3. Esta muestra presenta partículas de tamaño de arena media a fina compuesta por cuarzo lechoso subanguloso, cuarzo incoloro mas fino, feldespatos, algunos fragmentos de escoria y cristales de anfíbol. También contiene muchos fragmentos angulosos de roca, probablemente andesita.

Porcentajes Aproximados: FR (50%), Qz (35%), MO (10%), Otros (5%)

MS-4. Muestra formada principalmente por limo y arcilla, compuesto por fragmentos de cuarzo y material volcánico, así como por algunos fragmentos de escoria, toba, anfíbol y roca verde (andesita). Debido a que el sedimento es muy fino no fue posible obtener un porcentaje aproximado de los componentes de la muestra.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 13. Localización de muestras de suelo (●)



5.4 Permeabilidad o Conductividad Hidráulica

La permeabilidad es un coeficiente de proporcionalidad, tiene las dimensiones de una velocidad (L / T) y se define como el caudal que pasa por una sección unidad del acuífero bajo un gradiente unitario a una temperatura fija o determinada, y con ella se puede determinar la facilidad con que un fluido se mueve a través de un medio poroso.

Los factores que determinan la permeabilidad pueden ser intrínsecos y extrínsecos. Los intrínsecos son los propios del acuífero y dependen del tamaño de los poros. Si el resto de las condiciones se mantiene, siempre tendrá mayor permeabilidad el medio que tenga mayor diámetro de las partículas.

Los factores extrínsecos son los que dependen del fluido y son fundamentalmente su viscosidad y peso específico. Tanto la viscosidad como el peso específico dependen de la temperatura, por lo que en casos especiales debe tenerse en cuenta esta, sobretodo por la notable influencia de la viscosidad en la permeabilidad.

Descripción del permeámetro de Guelph.

El permeámetro puede ser visto como un sifón de Mariotte, construido esencialmente de tubos concéntricos de acrílico, donde el tubo interior provee el aire y el tubo exterior suministra el agua del tanque, y la lleva al pozo.

Consiste en un recipiente bastante grande para almacenar agua que esta cerrado por un tapón, el cual es atravesado por un tubo de vidrio abierto en sus dos extremos. En la base del recipiente se encuentra un tubo que permite vaciar el contenido del mismo. Para el llenado del tanque se tiene un tapón removible en la tapa superior.

En la parte inferior del permeámetro, antes de llegar a la punta, y pegado en el interior del tubo exterior, se localiza un paso en forma de embudo, el cual permite al paso de agua a la punta del permeámetro y a la vez es un retenedor del contenido del permeámetro y asiento de la válvula. La válvula de corte, que consiste en una pieza de acero inoxidable, es operada por un hilo de nylon que pasa a través del tubo admisor de aire y es utilizada para iniciar la medición y/o rellenar el permeámetro.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las dimensiones del permeámetro son las siguientes:

Componente	Diámetro (cm)	Longitud (cm)
Tubo Admisor de aire	0.6	190
Tubo exterior	1.9	150
Tanque	5.7	40

El volumen total del tanque es: $\pi r^2 h = 3.1416 \times (0.0285 \text{ m})^2 \times 0.40 \text{ m} = 0.001020 \text{ m}^3 = 1.02 \text{ L}$

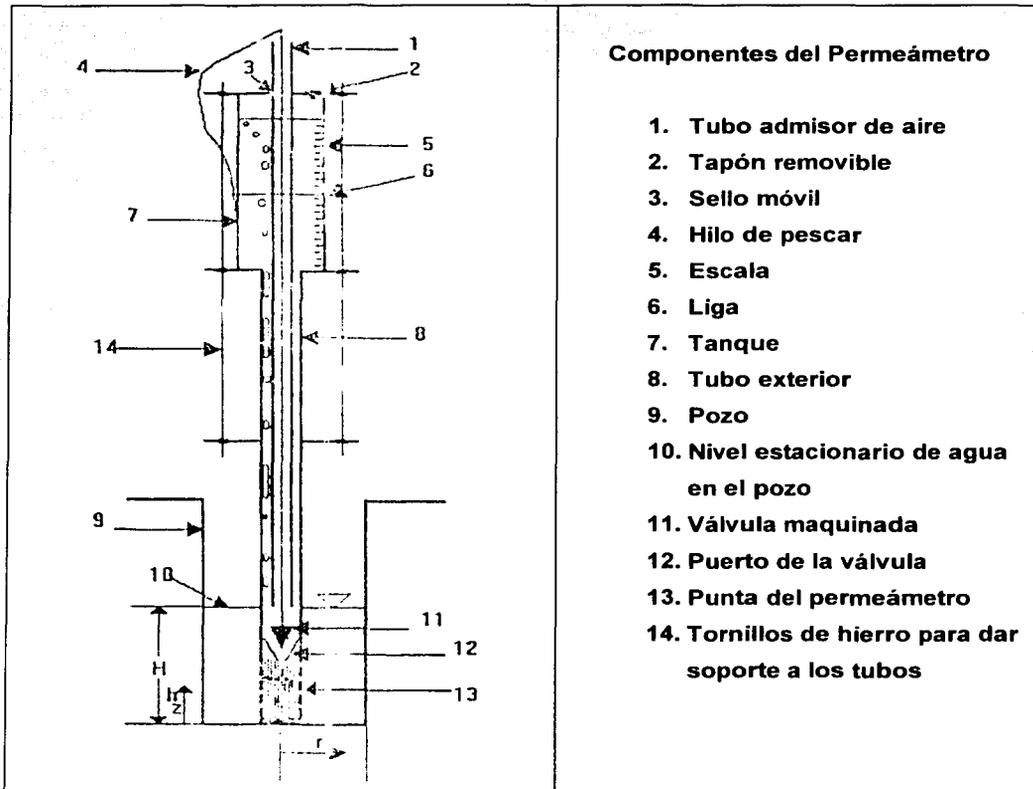


Figura 14. Diagrama esquemático del permeámetro de carga constante en el pozo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La punta del permeámetro es una sección del tubo de salida, perforada y revestida con una cubierta de nylon flexible y llenada con arena de cuarzo, lo que aminora la erosión de las paredes del pozo durante el llenado inicial del mismo. El extremo inferior del tubo exterior es sellado con una tapa del mismo acrílico.

Operación y Mediciones con Permeámetro de Guelph

Para llenar el permeámetro con agua, se baja la válvula (usando el hilo de nylon) al puerto de sello de la punta del permeámetro, se destornilla el tapón en la tapa del tanque, se llena el permeámetro y se tapa. El permeámetro puede ser llenado antes o después de colocarlo en el pozo.

Para hacer el pozo se utiliza un cilindro de hierro que se introduce en el punto deseado con la ayuda de un marro, y que permite hacer un orificio de 2 cm de radio y 15 cm de profundidad, con la desventaja de que al insertar el cilindro las paredes del pozo pueden ser afectadas al compactarse el sedimento. Para regresar las paredes del pozo a unas condiciones semejantes a las originales, se utiliza un escobillón que al rasparlas reduce la compactación originada por el cilindro. Esta operación se realiza en un medio no saturado.

Una vez llenado el permeámetro se introduce en el orificio y se inicia la medición jalando el hilo de nylon para elevar la válvula y permitir el acceso de agua al pozo, momento en el cual inicia el conteo del tiempo con el cronómetro.

Al llenarse el pozo con agua, la presión de la columna hidrostática en el tubo desplaza el aire contenido en los poros del sedimento, sustituyéndolo con agua. El aire expulsado por el sedimento entra al permeámetro a través de tubo admisor de aire en forma de burbujas provocando, que descienda el nivel de agua. Esta operación continúa hasta que el permeámetro se vacía por completo.

En el permeámetro el tubo admisor de aire, además de permitir la sustitución de agua por aire, establece la longitud de la carga de agua en el pozo comunicando la

presión atmosférica al punto A, con lo que el nivel de agua en el pozo sube únicamente hasta el punto B, como se muestra en la Figura No. 15.

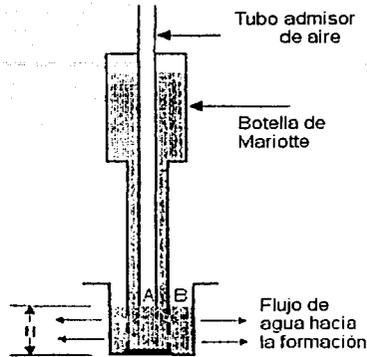


Figura 15. Principio de funcionamiento del Permeámetro de Guelph

Para obtener la conductividad hidráulica del suelo en cada uno de los puntos de medición, se calcularon los gastos correspondientes a partir de un volumen de agua de 500 ml, la cual se infiltraba en el suelo durante un intervalo de tiempo determinado. Al finalizar cada una de las pruebas se obtuvieron los datos necesarios para ser sustituidos en la ecuación:

$$k = cQ/2\pi h^2$$

Donde: k – Conductividad Hidráulica (m/s)
 Q – Caudal (m^3/s)
 $C = 3.29$
 H – parte del permeámetro introducida en el suelo (15 cm)

Siendo: $Q = V / t$

V – Volumen de agua ($5 \times 10^{-4} m^3$)
 t – Tiempo (seg)

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

En la Foto 12 se muestra la posición que debe llevar el permeámetro durante la medición.



Foto 13. Medición con el permeámetro.

A continuación se presentan la ubicación de los puntos donde se realizaron las mediciones con el permeámetro, junto con los valores de tiempo obtenidos y la conductividad resultante del suelo en cada uno de los puntos (Tabla 7).

Así mismo, en la figura 16, se muestra la configuración de curvas de conductividad generadas a partir de los valores obtenidos.

Como se puede observar, la conductividad es mayor hacia el centro del valle, alcanzando un máximo de 1×10^{-3} m/s, y disminuye hacia las zonas cercanas a las estructuras volcánicas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Punto	Coordenadas (UTM)	Tiempo (seg)	Q (m ³ /s)	K (m/s)
A	X: 20,872 Y: 08,203	242	2.06X10 ⁻⁶	4.79X10 ⁻⁵
B	X: 19,722 Y: 07,362	55	9.09X10 ⁻⁶	2.11 X10 ⁻⁴
C	X: 18,227 Y: 07,729	267	1.87X10 ⁻⁶	4.35 X10 ⁻⁵
D	X: 17,809 Y: 06,128	57.61	8.67X10 ⁻⁶	2.019 X10 ⁻⁴
E	X: 16,460 Y: 07,137	46	1.08X10 ⁻⁵	2.52 X10 ⁻⁴
F	X: 15,665 Y: 06,192	53.5	9.34X10 ⁻⁶	2.17 X10 ⁻⁴
G	X: 15,805 Y: 05,093	487	1.02X10 ⁻⁶	2.38 X10 ⁻⁵
H	X: 16,989 Y: 03,672	11	4.54X10 ⁻⁵	1.05 X10 ⁻³
I	X: 18,127 Y: 99,652	107	4.67X10 ⁻⁶	1.08 X10 ⁻⁴
J	X: 15,288 Y: 01,647	902	5.54X10 ⁻⁷	1.29 X10 ⁻⁵
K	X: 12,519 Y: 04,266	103	4.85X10 ⁻⁶	1.12 X10 ⁻⁴
L	X: 21,573 Y: 06,638	95	5.26X10 ⁻⁶	1.22 X10 ⁻⁴
M	X: 21,011 Y: 03,446	41	1.21X10 ⁻⁵	2.83 X10 ⁻⁴
N	X: 20,013 Y: 02,126	38	1.31X10 ⁻⁵	3.06 X10 ⁻⁴
O	X: 17,079 Y: 98,345	52	9.61X10 ⁻⁶	2.23 X10 ⁻⁴
P	X: 12,977 Y: 99,185	75	6.66X10 ⁻⁶	1.55 X10 ⁻⁴
Q	X: 12,643 Y: 01,560	27.5	1.81X10 ⁻⁵	4.23 X10 ⁻⁴
R	X: 05,856 Y: 99,969	360	1.38X10 ⁻⁶	3.23 X10 ⁻⁵
S	X: 05,132 Y: 01,015	180	2.77X10 ⁻⁶	6.46 X10 ⁻⁵

Tabla 7. Conductividades hidráulicas del suelo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.5 Información Disponible de Pozos

Dentro de la información disponible que se obtuvo a través de las distintas instituciones gubernamentales como la DGCOH, CAVM, CNA, CASSIM, etc., así como de los trabajos previos realizados en el área, se tienen los datos presentados a continuación:

Cortes Litológicos

a) Pozos La Laguna

Corte litológico del pozo 9 La Laguna			
Intervalo.m	Cantidad.m	Clase	Descripción
0-36	36	I	Toba arcillosa color café.
36-50	14	I	Escoria volcánica color rojizo (tezontle).
50-52	2	II	Material volcánico alterado c/intersticios de qz
52-70	18	III	Basalto color gris claro poco alterado.
70-105	35	III	Basalto color gris oscuro masivo compacto.
105-120	15	III	Basalto color gris poco alterado
120-142	22	II	Toba compuesta
142-164	22	III	Basalto color gris oscuro masivo compacto.
164-179	15	II	Escoria volcánica color negro
179-186	7	III	Basalto color gris oscuro masivo compacto con intersticios cuarcíferos.
186-201	15	II	Lutita de color gris verdoso deleznable jabonosa.
Corte litológico del pozo 10 La Laguna			
0-26	26	I	Toba arcillo-arenosa color café claro.
26-42	16	II	Escoria volcánica color negro a rojizo.
42-115	73	III	Sin recuperación de muestras.
115-123	8	II	
123-127	4	III	
127-129	2	II	
129-131	2	III	
131-137	6	III	
137-162	25	III	
162-169	7	II	
169-180	11	III	
180-195	15	II	
195-196	1	III	
196-200	4	II	

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Corte litológico del pozo 11 La Laguna			
0-24	24	I	Toba arcillo-arenosa color café claro.
24-38	14	II	Escoria volcánica color negro a rojizo.
38-97	59	III	Basalto color gris claro poco alterado.
97-129	32	III	Basalto color gris claro masivo compacto.
129-153	24	II	Sin recuperación de muestras.
153-172	19	III	
172-181	9	II	
181-187	6	III	
187-200	13	II	
Corte litológico del pozo 12 La Laguna			
0-26	26	I	Toba pumítica.
26-110	84	III	Basalto gris claro fracturado.
110-154	44	III	Basalto gris oscuro masivo compacto.
154-189	35	II	Sin recuperación de muestras.
189-194	5	III	Basalto
194-200	6	II	Sin recuperación de muestras.
Corte litológico pozo 13 La Laguna			
0-10	10	I	Material aluvial arcillo-arenoso color café.
10-30	20	II	Toba arcillo arenosa color café claro.
30-34	4	II	Arenisca.
34-40	6	I	Toba arcillo arenosa color café claro.
40-44	4	II	Basalto alterado.
44-50	6	III	Basalto color gris claro.
50-56	6	III	Basalto color gris oscuro.
56-80	24	III	Basalto color gris oscuro masivo compacto.
80-119	39	III	Basalto color gris claro poco alterado.
119-143	24	III	Basalto vesicular color gris.
143-147	4	III	Sin recuperación de muestras.
147-150	3	III	
150-160	10	II	
160-162	2	III	
162-165	3	II	
165-168	3	II	
168-174	6	II	
174-178	4	III	
178-188	10	II	
188-191	3	III	
191-200	9	II	

Corte litológico pozo 14 La Laguna			
0-10	10	I	Material aluvial arcillo-arenoso color café claro.
10-28	18	I	Toba arcillo-arenosa color café claro.
28-30	2	II	Sin recuperación de muestras.
30-155	125	III	
155-182	27	II	
182-187	5	III	
187-188	1	II	
188-191	3	III	
191-200	9	II	

b) Pozos del ramal Tizayuca-Pachuca**Pozo 28 bis**

300-350	Material tipo III
300-350	Basalto compacto gris claro, con pequeños fragmentos de feldespatos, escoria color ocre y calcita.

Pozo 27-bis

0-8	Suelo - limo arenoso (lacustre) café claro, arena: toba, qz, ferromagnesianos (I)
8-190	Basalto compacto poco fracturado, gris claro, con algunos horizontes alterados. (III)
190-230	Arena y brechas de origen volcánico (lapillis) gris claro a oscuro, fragmentos de basalto, qz, brecha volcánica. (II)
230-350	Basalto compacto gris claro a oscuro poco fracturado. (III)

Pozo 26 bis

0-43	Arena media y fina de origen lacustre, gris clara, constituida de fragmentos redondeados de toba, qz, basalto, escoria volcánica y minerales ferromagnesianos.(I)
43-130	Basaltos compactos gris claro con horizontes de arena fina de origen lacustre. (III)
130-138	Basaltos compactos gris claro alternados con horizontes de escoria volcánica color ocre. (II)
138-146	Basaltos compactos color gris claro. (III)
146-167	Escoria volcánica color ocre alternada con horizontes delgados de basalto compacto gris claro. (II)
167-182	Basalto medianamente fracturado gris claro. (III)
182-235	Alternancia de basalto café pardo con escoria volcánica ocre (182-197); basaltos vesiculares gris claro (197-218); basaltos medianamente fracturados gris claro (218-235) (II)
235-244	Basalto compacto gris claro. (III)
244-252	Basalto medianamente fracturado gris claro (II)
252-273	Basalto compacto, textura afanítica, gris claro (III)
273-300	Basalto vesicular medianamente alterado gris claro (II)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Pozo 26

0-42	Limo arenoso (andesita, feldespatos y ferromagnesianos)
42-126	Derrame de basalto andesítico, mediana alteración.
126-132	Pérdida de circulación
132-134	Andesita verdosa masiva
134-164	Basalto vesicular fracturado oscuro con relleno de zeolitas y oxidado.
164-194	Basalto oscuro con poca oxidación.
194-300	Andesita verde oscuro semialterada.

Pozo 23

0-64	Limo arcillo arenoso (arena fina). Posibles cenizas alteradas.
64-300	Derrames de basalto fracturado alternando con escorias.

Pozo 22 bis

0-16	Arcilla y arena de origen lacustre, con partículas de origen volcánico color café claro
16-44	Basalto vesicular alterado, gris claro, con fragmentos de escoria y vidrio.
44-300	Pérdida de circulación por cavernas.

Pozo 21-bis

0-236	Tobas vítreas alteradas, color gris claro a oscuro con algunos horizontes de escoria color ocre.
236-268	Escoria volcánica color ocre con horizontes de toba vítrea gris claro y osc.
268-300	Basalto sano color gris claro, alternado con pequeños horizontes de escoria volcánica color ocre.

Pozo 20

0-38	Arena limosa de basalto
38-58	Derrame de basalto alterado
58-82	Arcilla con arena fina de vidrio y basalto
82-128	Derrame de basalto
128-212	Grava subredondeada mediana y gruesa de basalto con poco limo
212-400	Derrame de basalto alterado.

Pozo 12 bis

0-4	Limo con arena fina y media café claro
4-14	Basalto triturado gris claro
14-72	No se recuperó muestra
72-116	Basalto triturado con tezontle y escaso limo café grisáceo
116-142	Arcilla limosa con arena fina y mediana café rojizo.
142-218	Grava fina y arena gruesa con escaso limo gris y tezontle.
218-276	No se recuperó muestra

Pozo 12 bis

0-4	Toba
4-108	Basalto alterado
108-126	Tezontle
126-160	Basalto alterado
160-250	Arena arcillosa

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Historia Piezométrica (Pozos Ramal Tizayuca - Pachuca)
 Periodo 1990 - 2000

No. Pozo	Niveles (m)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1998	2000
7-b	E		62.51	71.35		72.77	73.29	74.97	75.68	75.68
	D			75.19		74.94	74.40	77.15	77.86	77.86
8	E	74.98	77.42	78.16		79.22		81.12	82.28	88.11
	D							97.48	94.45	94.95
8-b	E		82.49			85.26	86.48	87.47	88.11	91.10
	D								95.45	103.90
9	E		85.52	87.69		88.78		90.48	91.48	91.08
	D			89.52					96.90	96.90
9-b	E	85.06	84.52		86.00	97.05	97.23	98.27	98.27	98.27
	D								115.60	115.60
10	E	103.73		104.26		107.34			97.50	97.50
	D								109.30	109.30
11	E		109.12	116.46			116.44	120.27	122.45	122.45
	D								126.85	126.85
12-b	E	124.62	125.30		126.62				129.33	129.33
	D								148.97	148.97
13	E		115.73	116.42		123.16				
	D									
14	E	103.82	10.63		103.86	104.13	106.03	104.14	105.77	105.77
	D									119.71
15	E		98.94		99.28		99.66	99.46	103.43	103.43
	D								108.99	108.99
19	E		89.72		93.32	99.45		101.55		107.44
	D									
20	E		103.84		105.75	106.55			106.0	112.43
	D		109.50						119.35	
21	E		90.73	103.76	106.50	108.22			108.45	
	D								122.25	
21-b	E					106.12			107.62	
	D					121.60			121.60	123.0
23	E		105.17	109.74		114.16			111.30	
	D								116.13	
24	E	108.80		108.92		115.75			106.55	
	D			110.62					115.55	127.51
25	E		113.61		15.60	119.84			108.29	
	D								142.83	
26	E	123.93		123.52		129.62			132.34	135.15
	D								142.67	
27	E	128.24	128.85	129.63	132.75	133.09			117.19	
	D								134.19	
28	E	127.95	128.33		132.11					136.58
	D		129.26							147.40

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Niveles Piezométricos Pozos Tizayuca-Pachuca (2001)

No. Pozo	Año Perforación	Profundidad Pozo (m)	Niveles Originales		Febrero		Agosto		Octubre	
			NE (m)	NDI (m)	NE (m)	ND (m)	NE (m)	ND (m)	NE (m)	ND (m)
7 - A	1999	264	75.85	139.22	75.85	139.22	75.85	139.22	75.85	139.22
7 - bis	1976	170.25	45.15	53.65	95.39	132.50	95.39	132.50	138.55	149.45
8	?	294.28	53.51	62.65	83.53	101.50	83.53	101.50	99.5	109
8 - bis	1976	290.9	57.72	74.07	84.9	96.31	84.9	96.31	104.2	106.2
9	1977	294.86	61.13	75.55	91.08	107.35	91.08	107.35	91.08	107.35
9 - bis	1976	250.96	66.25	82.85	120.0	135.80	120.0	135.80	132.9	136.9
10	1976	406	70	96.05	108.20	126.0	108.20	126.0	120.5	130
11	1976	297	84.1	90.26	120.18	130.55	120.18	130.55	120.18	130.7
12					133.50	152.80	133.50	152.80		
12 - bis A	1976	280.41	92.47	115.75					135.35	167.2
14	1976	180.44	85.5	108.77	146.0	152.0	146.0	152.0	113.33	141
15	1976	180	87.44	117.3	108.51	148.85	108.51	148.85	108.51	163
20	1976	401.50	76.32	94.48		129.0		129.00		129.50
21	1977	398.36	67.88	80.00		122.73		126.90		134.30
21 - bis					123.56	125		123.53		124.10
22	1976	294.37	68.04	76.43		128.0		128.0		128.20
23		295.15	69.47	72.00		128.85		128.85		128.60
23 - bis	1977					140.28		140.28		
24	1976	296.21	72.16	80.93		128.80				
25	1977	269.54	79.05	114.25						
26	1976	298.24	89.26	103.70		148.95		149.55		148.55
27	1977	298.37	87.23	117.40	139.70		124.47		124.20	
28						149.66		142.79		149.45

Niveles piezométricos Pozos Laguna (2001)

Pozos	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
LAG 8-NE											
ND	107.9	110	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAG 9-NE											
ND	121.63	119.11	119	120.65	117.94	123	103	117.5	118.6	117.84	116.5
LAG 10-NE											
ND	121.7	119.32	119.5	121.24	119.53	123.28	123.75	122.24	120	118.94	119.2
LAG 11-NE											
ND	130.48	FO	FO	91.47	89.75	89.4	89.5	90.77	89.3		
LAG 12-NE											
ND	148.5	FO	160.68	96.87	93.3	92.47	149.4	157.27	92	93.55	93.58
LAG 13-NE											
ND	130.66	132	132.85	131.54	131.54	130.74	92.85	93.27	93.58	91.5	92.8
LAG 14-NE											
ND	93.6					93.1	92.9	91.95	150.73	95.33	95.5
LAG		128.26	128.2	127.69	126.97				122.54	126.28	125.8

X No entra la sonda
 XX No tiene manguera
 °O Fuera de operación

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

5.6 Estimación de volúmenes infiltrados y capacidad de infiltración.

Para calcular la evapotranspiración anual se usó la fórmula de L. Turc, el cual asienta que la evapotranspiración real anual se puede calcular en función de la temperatura media anual del aire, en grados centígrados, con lo cual expresa el poder evaporante de la atmósfera y la altura de la precipitación anual en milímetros que indica la humedad disponible. La fórmula empírica establecida es como sigue:

$$E_{vt} = P / (0.9 + (P/L)^2)^{1/2}$$

En donde:

- E_{vt} = evapotranspiración real anual en mm
- P = la altura de la precipitación media anual en mm.
- L = 300 + 25T + 0.05T³
- T = temperatura media anual en grados centígrados.

Al introducir cada uno de los datos de temperatura y precipitación en la fórmula se obtuvieron los siguientes resultados:

<i>E. climática</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Precipitación</i>	<i>Evapotransp.</i>	<i>Área (km2)</i>	<i>Vol.Ev. (m³)</i>
Acayuca	14.9	548.1	475.64	198.54	94.43 x 10 ⁶
El Manantial	14.6	549.05	472.96	128.05	60.56 x 10 ⁶
Nopalapa	14.4	523.9	456.16	157.58	71.88 x 10 ⁶
S.A. Zapotlán	14.1	501.9	440.04	187.09	82.33 x 10 ⁶
S.P.Tlaquilpan	15.1	538.64	472.07	90.44	42.69 x 10 ⁶
S. Tlajomulco	15.4	594.38	507.94	51.07	25.94 x 10 ⁶
Tezontepec	14.2	540.16	463.53	168.26	77.99 x 10 ⁶
Tizayuca	15.4	536.98	474.06	97.7	46.32 x 10 ⁶
Tolcayuca	16.1	775.5	608.47	122.07	74.28 x 10 ⁶

Tabla 8. Datos de Precipitación, Evaporación.

Para determinar el volumen infiltrado en el área de estudio, se tomó el volumen precipitado anualmente y se le sustrajo el volumen perdido por evaporación y el volumen perdido por escorrentías, que al carecer de un valor real, le fue asignado el valor empírico del 5%.

De esta manera, y considerando que el volumen de agua que no es evaporado o ha escurrido es infiltrado, tomando en cuenta las áreas obtenidas mediante el método de los polígonos de Thiessen, se obtuvieron los siguientes resultados anuales:

Estación climática	Precipitación (mm)	Evapotransp (mm)	V. Escurrido (mm)	Área (km²)	Vol. Infiltrado. (m³)
Acayuca	548.1	475.64	27.41	198.54	8.94 x 10⁶
El Manantial	549.05	472.96	27.45	128.05	6.23 x 10⁶
Nopalapa	523.9	456.16	26.20	157.58	6.55 x 10⁶
S.A. Zapotlán	501.9	440.04	25.10	187.09	6.88 x 10⁶
S.P. Tlaquilpan	538.64	472.07	26.93	90.44	3.61 x 10⁶
S. Tlajomulco	594.38	507.94	29.72	51.07	2.90 x 10⁶
Tezontepec	540.16	463.53	27.01	168.26	8.35 x 10⁶
Tizayuca	536.98	474.06	26.85	97.7	3.52 x 10⁶
Tolcayuca	775.5	608.47	38.75	122.07	15.66 x 10⁶
TOTAL					62.64 x 10⁶

Tabla 9. Volumen anual total infiltrado.

5.7 Unidades Hidrogeológicas

Una unidad hidrogeológica está formada por uno o varios paquetes de rocas o sedimento, en los cuales las características físicas como la porosidad, permeabilidad, grado de cementación, etc., son similares o equivalentes, al permitir un funcionamiento semejante en la recepción y almacenamiento de agua en el subsuelo. En el área de estudio se definieron las unidades hidrogeológicas siguientes:

Unidad hidrogeológica 1. Impermeable. Caracterizada por las rocas volcánicas ácidas del Cerro de los Pitos, en las cuales el denso drenaje muestra claramente que hay poca infiltración.

Unidad hidrogeológica 2. Semipermeable. Caracterizada por las rocas andesíticas y basálticas de la sierra de Tolcayuca y las estructuras volcánicas localizadas al sur del área de estudio. Estas rocas se encuentran fuertemente fracturadas y presentan un drenaje mucho menor al de la Unidad 1, por lo que se infiere una mayor infiltración. Ésta unidad funciona principalmente como recarga y acuífero fisurado.

Unidad hidrogeológica 3. Permeable. Caracterizada por las tobas y sedimento aluvial, que conforman una gran parte de la planicie y piedemonte. Ésta unidad presenta una capacidad de infiltración mucho mayor a las demás y presenta un drenaje casi nulo, es una gran zona de recarga y funciona principalmente como acuífero intergranular, intercalado con unidades volcánicas del acuífero fisurado.

Así, se pueden separar dos tipos de acuíferos: **fisurado e intergranular**, conectados entre sí, por lo que constituyen un sistema acuífero.

Acuífero fisurado. En las rocas volcánicas terciarias y cuaternarias que forma el relieve que rodea el área de estudio, esto es, alrededor del acuífero intergranular. Se puede subdividir en las siguientes unidades:

De productividad local y limitada, constituido por la sierra de Tolcayuca, en el cual los derrames de rocas andesíticas forman un grupo volcánico de estructura masiva afectadas

por diaclasas e interdigitado en el piedemonte con material piroclástico; no presenta afloramiento de agua.

En esta sierra, las lavas y el material epiclástico del piedemonte, por interdigitación, tienen comunicación con los sedimentos aluviales de la planicie.

Sin recurso de agua subterránea o no aprovechable, comprendido por las rocas riolíticas y dacíticas en estructura masiva, afectadas por fracturas, como en el Cerro de Los Pitos. La poca cubierta vegetal y baja permeabilidad de estos relieves favorecen más el escurrimiento superficial, por lo que la infiltración es incipiente. Los sedimentos semipermeables y tobas que cubren una parte de estas rocas, forman el límite semipermeable de los basaltos y el aluvión, propiciando probablemente afloramientos de agua en el límite de ambos.

Intergranular. Los sedimentos de la planicie, el valle y piedemonte. Comprende el mayor porcentaje del área de estudio y se clasifica como:

Extenso de alta productividad. Comprende la parte plana, donde se encuentran localizados los pozos que fueron utilizados para hacer el estudio, y su composición litológica de acuerdo a los mismos, es una alternancia de sedimentos aluviales, tobas y rocas volcánicas, los primeros predominando hacia el centro de la planicie con una granulometría que varía desde arcilla a conglomerado; las lavas son de composición andesítica y basáltica.

Por su evolución geológica, la sedimentación de esta planicie es compleja, pudiéndose presentar pequeños lentes; los materiales más gruesos se pueden localizar tanto en la periferia como en el centro de la planicie, así como diversas interdigitaciones, por lo que en las secciones se presentan los horizontes principales y de una manera simplificada.

Las secciones geológicas muestran dos tipos de acuíferos: el intergranular, que tiene mayor espesor del centro al sur, y el fisurado, en el caso de la sección del ramal Tizayuca-Pachuca, con mayor espesor hacia el norte, pues la sección está muy próxima a la sierra de Tolcayuca, donde se aprecian espesores de roca volcánica mayores a 300 m. Ambos acuíferos se alternan uno y otro, pero en comunicación hidráulica directa.

Este acuífero tiene relaciones hidráulicas con todas las rocas de la periferia, por interdigitación. Hacia el oeste, los depósitos epiclásticos de piedemonte, forman un límite semipermeable para el aluvión; en el SW los sedimentos tobáceos también forman un límite semipermeable. En el resto de la planicie las rocas volcánicas forman un límite lateral de alimentación continua o intermitente muy importante.

Piezometría. En el mapa de configuración de elevación del *nivel dinámico actual* se observa que hay una depresión en el nivel en la zona de los pozos La Laguna, siendo el punto más bajo el pozo 12L, a aprox. 2160 m; siguiendo el ramal Tizayuca-Pachuca el nivel comienza a descender para luego subir en el pozo 11TP (2200 m), presentándose en este punto un ligero domo, el cual desciende fuertemente al llegar a Tizayuca, presentándose el punto de mayor abatimiento en el pozo 7TP, a 2150 m de altura. La dirección del flujo subterráneo es preferencialmente en dirección sur. Ya que los valores de la tabla de agua incrementan en elevación hacia el norte de la planicie.

La evolución de la profundidad al nivel del agua se basó en el análisis del registro anual del nivel en pozos y piezómetros, para un período de aprox. 10 años (1990-2000), y únicamente para el ramal Tizayuca-Pachuca, pues no se obtuvo historia piezométrica de los pozos La Laguna.

En general el nivel estático tiene un descenso promedio de 8 m desde hace 10 años en la parte que proporciona agua a la zona metropolitana, pero muestra un incremento de 4 m en la parte norte del ramal, que proporciona agua a la ciudad de Pachuca.

Funcionamiento del sistema acuífero.

Como se mencionó anteriormente se encuentra constituido por varias unidades hidrogeológicas relacionadas directamente entre sí. El agua que circula por el acuífero fisurado entra al acuífero intergranular de productividad variable y forma la principal recarga de esta unidad. En los sedimentos piroclásticos o tobas el agua circula más lentamente y se infiltra, según sus relaciones estratigráficas, en la unidad fisurada o en la intergranular. La lluvia constituye la alimentación esencial del acuífero fisurado. La recarga lateral y la lluvia alimentan al acuífero intergranular.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La zona de descarga existente es de forma artificial, pues no hay manifestaciones de descarga natural en la planicie.

Se puede observar que la mayoría de los niveles dinámicos y estáticos mostrados en las secciones, se localizan a la altura del acuífero fisurado o casi en el contacto con el acuífero intergranular. Esto demuestra la gran capacidad de almacenamiento que presenta el acuífero fisurado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

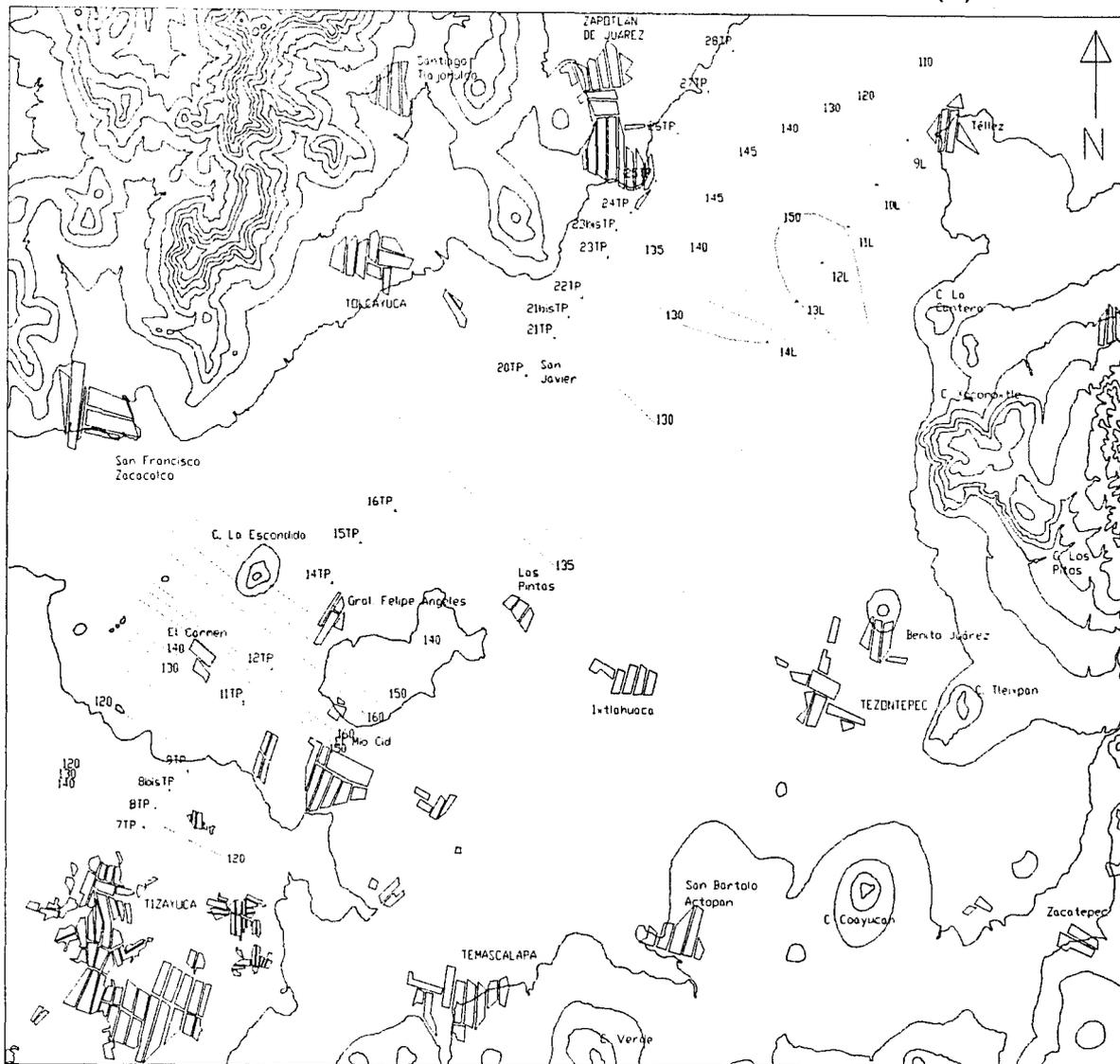
90°00'

Fig. 17. Configuración de curvas de profundidad del nivel dinámico (m)

526000
98°45'

20°00'

20°00'



TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

2191000
19°49'

19°49'

500000
99°00'

98°45'

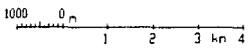
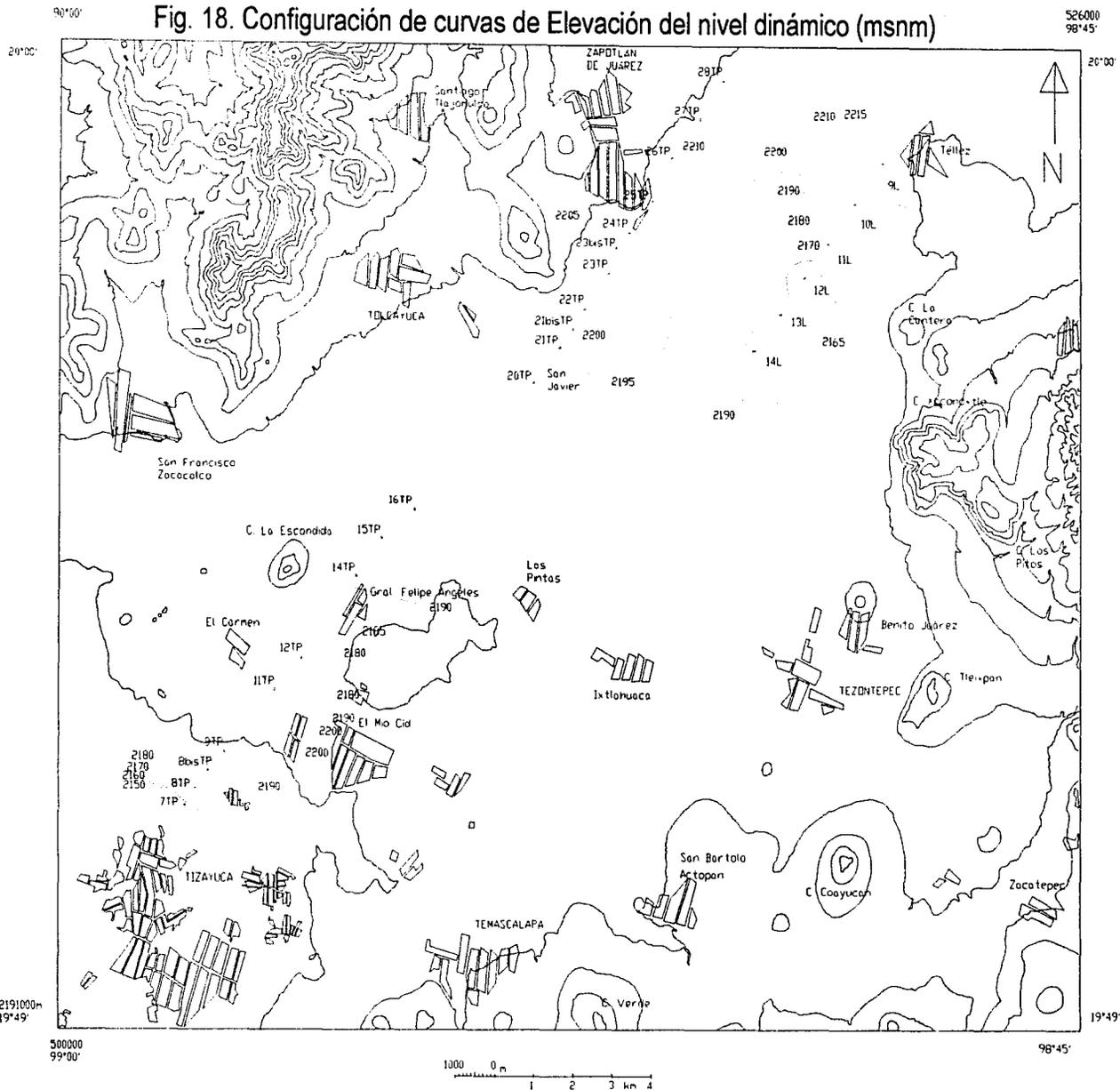


Fig. 18. Configuración de curvas de Elevación del nivel dinámico (msnm)



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- 1ª. En el área estudiada afloran dos tipos de rocas: Ígneas y sedimentarias. Las ígneas están representadas por las rocas volcánicas de la Faja Volcánica Transmexicana de edad terciaria y cuaternaria, y las sedimentarias por los abanicos aluviales de la formación Tarango y el relleno aluvial y fluvial del Valle.
- 2ª. Existe un lineamiento principal con rumbo aproximado N55°E-S55°W que delimita el valle con la sierra de Tolcayuca y Cerro de los Pitos, localizándose el acuífero en una fosa tectónica, rellena de material volcanoclástico y volcánico. Las rocas volcánicas se encuentran fuertemente fracturadas. No se encontraron indicadores de fallamiento, probablemente debido a que las secciones tienen el mismo rumbo del graben.
- 3ª. Las áreas principales de recarga natural de los acuíferos están constituidas por las zonas altas, localizadas al oeste y este del valle, la extensa superficie de éste, además de la recarga subterránea proveniente de la sierra de Pachuca hacia el norte.
- 4ª. El Valle de Tizayuca es una extensa planicie de aprox. 1200 km², formada por arenas finas con conductividades hidráulicas verticales que van de 1×10^{-4} a 1×10^{-3} m/s. Sobre ésta planicie se precipitan anualmente 672 millones de m³.
- 5ª. La conductividad hidráulica más alta se registró en el centro del valle, lo que permite inferir que ésta zona es donde más rápidamente se infiltra el agua de lluvia y también un buen lugar para colocar pozos de explotación y/o infiltración alternos.
- 6ª. En el ramal Tizayuca-Pachuca los niveles del agua subterránea muestran dos parteaguas en la zona suroeste debido a la explotación local. En términos generales el gradiente hidráulico subterráneo es en dirección SW.
- 7ª. El acuífero está constituido por sedimentos piroclásticos alternados con andesitas y basaltos. Aunque no se contó con pruebas de bombeo, se infiere, por la información de los cortes litológicos, que el acuífero funciona como semiconfinado.

8ª. El acuífero está siendo sobreexplotado, como lo muestra el abatimiento en algunas zonas. Sin embargo, hay regiones en la parte norte del ramal Tizayuca-Pachuca en las cuales el nivel freático ha incrementado en los últimos 10 años.

Recomendaciones

Cuando se lleven a cabo nuevas perforaciones, sería conveniente que la persona que se encargue de describir los cortes litológicos sea un ingeniero geólogo o alguien capacitado en la clasificación de muestras, con el fin de obtener más información de las unidades en el subsuelo, además de llevar a cabo un registro eléctrico con el fin de correlacionarlos entre sí.

La realización de estudios encaminados a determinar coeficientes de infiltración en las unidades geológicas mencionadas, lo que se puede lograr realizando pruebas de bombeo en los pozos existentes, para determinar en esa forma por medio del valor de la transmisibilidad el flujo de agua subterránea a través de los acuíferos y poder correlacionarlo con el volumen precipitado en las zonas de recarga, para obtener finalmente una buena aproximación en los coeficientes de infiltración.

Del lado de los pozos La Laguna el nivel en los pozos 11 y 12 parece haber llegado a la capa semipermeable, pues por estar bajos en producción, se encuentran fuera de servicio. Observando la sección C-D, los pozos adyacentes están próximos a llegar a ese nivel, por lo que se recomienda disminuir el bombeo en esa zona.

Bibliografía

Aguayo Camargo J. E., Marín Córdova S., et al., 1989; **Evolución Geológica de la Cuenca de México**; Simposio sobre Tópicos Geológicos de la Cuenca del Valle de México, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. Pags. 25 – 41.

Aparicio Mijares, Francisco Javier; 2001. **Fundamentos de Hidrología de superficie**. Ed. Limusa. Págs. 177-179.

Cetenal, 1975; **Carta Geológica**; Hoja Tizayuca E14-B11; Esc. 1:50 000.

INEGI, año; **Carta Topográfica**; Hoja Tizayuca E14-B11; Esc. 1:50 000.

INEGI, año; **Carta Hidrológica de Aguas Subterráneas**; Hoja Tizayuca E14-B11; Esc. 1:50 000.

Alvarez Jr. M., 1962; **Provincias Fisiográficas de la República Mexicana**; Boletín de la Sociedad Geológica de México.

Demant A., Mauvois R., Silva L., 1976. **El Eje Neovolcánico Transmexicano**; México.

Ferrari Luca, 2000; **Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década**; Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. 3; Pags. 84-92.

Lugo Hubp J., 1990; **El Relieve de la República Mexicana**; Revista del Instituto de Geología; UNAM.

Macías González, Héctor L.; 1967; **Hidrogeología de las Cuencas de los ríos Cuautitlán, Tepetzotlán y Hondo en el Valle de México**. Tesis profesional. Fac. de Ingeniería, UNAM.

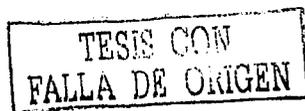
Mooser, Federico; Montiel, Arturo; Zúñiga, Angel. 1996. **Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla**; Comisión Federal de Electricidad. Págs. 28, Tizayuca 4d.

Viniegra Osorio F., 1992; **Geología Histórica de México**; Primera Edición; Facultad de Ingeniería; UNAM.

Lau Jaiven A., Sepúlveda Otaiza X., 1994; **Hidalgo una Historia Compartida**; Instituto de Investigaciones José Ma. Luis Mora; Pags. 15 y 16.

Vázquez Sánchez E., Jaimes Palomera L. R., 1989; **Geología de la Cuenca de México**; Simposio sobre Tópicos Geológicos de la Cuenca del Valle de México, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. Pags.

Velázquez Aguirre L., Ordaz Ayala A., 1988; **Provincias Hidrológicas de México**; Hidrogeology



Anexo

Aforos originales

Diseño y terminación de pozos

Caudales actualizados

Aforos Originales de los pozos CNA 27, 26, 25, 24, 23, 22, 21, 20

P27	1977	87.23	1500	95.38	8.15	30.41	3.73	298.37	21/01/77	22/01/77	10"		
			1600	100.48	13.25	48.09	3.63		10:00 h.	8:00 hrs.	150		
			1700	102.50	15.27	55.52	3.64	Recuperación del pozo: En 2 hrs. De 100.80 a 90.27 m.					
			1800	105.12	17.89	63.31	3.54						
			1900	107.40	20.17	71.32	3.53						
			2000	110.50	23.27	86.02	3.70						
			2100	114.46	27.23	94.56	3.47						
			2200	117.40	30.17	103.13	3.42						
			2000	110.80	23.57	80.46	3.41						
			1800	105.50	18.27	63.31	3.46						
			1600	100.80	13.57	48.09	3.54						
P26	1976	89.26	1500	89.33	0.07	27.76	396.57	298.24	7/09/76	8/09/76	10"		
			1600	91.98	2.72	54.12	19.89		7:00 hrs.	7:00 hrs.	150		
			1700	96.30	7.04	83.29	11.83	Recuperación del pozo: En 2 hrs. de 90.10 a 85.24 m.					
			1800	98.60	9.34	96.97	10.38						
			1900	100.80	11.54	108.95	9.44						
			1970	103.70	14.44	126.62	8.77						
			1900	101.04	11.78	108.24	9.19						
			1800	98.56	9.30	97.76	10.51						
			1700	96.52	7.26	83.29	11.47						
			1600	91.98	2.72	52.68	19.36						
			1500	90.10	0.86	27.76	33.04						
P25	1977	79.05	1500	84.26	5.21	30.41	5.83	259.54	31/01/77	31/01/77	10"		
			1600	89.38	10.33	39.26	3.80		6:00hrs.	24:00 hs.	150		
			1700	94.92	15.87	54.12	3.47	Recuperación del pozo: En 2 hrs. de 92.50 a 79.05 m.					
			1800	101.56	22.51	68.00	3.02						
			1900	108.33	29.28	80.46	2.74						
			2000	114.25	35.20	92.08	2.61						
			1800	102.20	23.15	66.86	2.88						
			1600	92.50	13.45	39.26	2.91						
P24	1976	72.16	1400	74.60	2.44	27.76	11.38	296.21	29/09/76	30/09/76	10"		
			1500	75.66	3.50	64.52	18.43		10:00 hrs.	14:00 h.	150		
			1600	77.07	4.97	87.79	17.88	Recuperación del pozo: En 2 hrs. de 74.60 a 74.26 m.					
			1700	77.34	5.14	100.10	19.47						
			1800	77.74	5.58	111.74	20.03						
			1900	78.70	6.54	131.98	20.18						
			2000	80.93	8.77	149.51	17.05						
			1900	78.97	6.81	131.98	19.38						
			1800	77.87	5.71	112.43	19.69						
			1700	77.30	5.14	100.10	19.47						
			1600	77.01	4.85	86.91	17.92						
			1500	75.85	3.69	63.31	17.16						
			1410	74.60	2.44	27.76	11.38						

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

P 23	197?	69.47	1300	70.10	0.63	48.09	76.33	295.15	17/05/??	18/05/??	10"
			1400	70.20	0.73	55.52	76.05		15 hrs.	13 hrs.	150
			1500	70.30	0.83	64.52	77.73	Recuperación del pozo: En 2 hrs. de 70.11 a 69.57 m.			
			1600	70.60	1.13	74.50	75.93				
			1700	70.95	1.48	88.67	59.91				
			2000	72.00	2.53	128.43	50.76				
			1900	71.65	2.18	114.47	52.71				
			1800	71.40	1.93	100.10	51.87				
			1700	71.10	1.63	88.67	54.40				
			1600	70.77	1.30	75.52	58.09				
			1500	70.39	0.92	63.31	68.82				
			1400	70.27	0.80	55.52	69.40				
			1300	70.11	0.64	48.09	75.14				
P 22	1976	68.00	1200	69.15	1.15	35.12	30.54	294.37	08/10/76	09/10/76	10"
			1300	69.68	1.68	46.46	27.65		2:00 hrs.	8:00 hrs.	150
			1400	70.27	2.27	56.90	25.06	Recuperación del pozo: En 2 hrs. de 69.78 a 68.04 m.			
			1500	70.81	2.81	65.70	23.38				
			1600	71.50	3.50	71.32	20.37				
			1700	72.18	4.18	84.21	20.14				
			1800	73.30	5.30	96.97	18.29				
			1900	74.18	6.18	106.08	17.16				
			2000	74.97	6.97	119.47	16.71				
			2100	76.43	8.43	126.62	15.02				
			1900	74.32	6.32	106.08	16.78				
			1700	72.57	4.57	84.21	18.42				
			1500	70.74	2.74	65.70	23.98				
			1300	69.78	1.78	48.09	27.01				
P 21	19??	67.88	1300	69.56	1.68	30.41	18.10	398.36	15/06/??	16/06/??	10"
			1400	71.30	3.42	54.12	15.82		14:30 hrs.	18 hrs.	150
			1500	72.50	4.62	66.86	14.47	Recuperación del pozo: En 1 hr. De 69.31 a 67.55 m.			
			1600	73.95	6.07	80.46	13.25				
			1700	75.74	7.86	98.55	12.54				
			1800	77.00	9.12	109.65	12.02				
			1900	80.00	12.12	137.14	11.31				
			1800	77.29	9.38	109.65	11.69				
			1700	76.02	8.14	97.76	12.01				
			1600	74.29	6.41	80.46	12.55				
			1500	72.40	4.52	66.86	14.79				
			1400	71.45	3.57	54.12	15.16				
			1300	69.31	1.43	30.41	21.26				

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

P 20	1981	76.32	1500	78.49	2.17	27.76	12.79	401.50	07/05/81	08/05/81	10"
			1600	80.33	4.01	49.66	12.38		16:00 hrs.	20:00 hs.	150
			1700	84.15	7.83	79.50	10.15	Recuperación del pozo: En 2 hrs. de 79.20 a 76.73 m.			
			1800	86.81	10.49	96.97	9.24				
			1900	89.26	12.94	113.11	8.74				
			2000	90.05	13.73	129.03	9.40				
			2100	94.48	18.16	143.19	7.89				
			2000	91.87	15.55	129.03	8.30				
			1900	90.16	14.84	113.11	7.62				
			1800	87.54	11.22	96.97	8.64				
			1700	85.47	9.15	79.50	8.69				
			1600	81.95	5.63	49.66	8.82				
			1500	79.20	2.88	27.76	9.64				

Diseño y Terminación de Pozos

- Pozo No. 30**

0 – 21 m	Cementación por gravedad. Contra ademe, Ø 26"
0 – 75.5 m	Ademe ciego de 16".
75.5 – 196 m	Ademe de canastilla, Ø 16". Reducción.
196 – 301 m	Ademe de canastilla ¿?

- Pozo No. 29**

0 – 35 m	Cementación.
0 – 78 m	Tubería ciega de 16".
78 – 199 m	Ademe de canastilla de 16" de diámetro.
199 – 301 m	Reducción a tubería de canastilla de 12".

- Pozo No. 28-bis**

0 – 40 m	Cementación. Contra ademe de 26" de diámetro.
0 – 135 m	Ademe ciego, Ø 18".
135 – 210 m	Ademe de canastilla de 18" de diámetro.
210 – 220 m	Reducción a tubería ciega de 14".
220 – 350 m	Reducción a Ø de 10", ademe de canastilla.

- Pozo No. 27-bis**

0 – 40 m	Cementación. Contra ademe de 26".
0 – 150 m	Ademe ciego de 18" de diámetro.
150 – 230 m	Ademe de canastilla de 18".
230 – 240 m	Campana de reducción. Ademe ciego de 14" de diámetro.
240 – 350 m	Tubería de canastilla con reducción a 10 Ø".

- Pozo No. 26**

0 – 76.6 m	Contra ademe de 26". Tubería ciega de 16" de diámetro.
76.6 – 200 m	Ademe de canastilla, Ø 16".
200 – 300 m	Reducción a ademe de canastilla de 12".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- **Pozo No. 25**

0 - 15 m	Cementación.
0 - 87 m	Tubería ciega de 16".
87 - 196 m	Ademe de canastilla, Ø 16".
196 - 260 m	Reducción de ademe de canastilla, Ø 12".
260 - 300 m	Tapón de concreto.

- **Pozo No. 24**

0 - 30 m	Cementación.
0 - 74 m	Tubería ciega de 16" de diámetro.
74 - 195 m	Ademe de canastilla de 16".
195 - 300 m	Reducción de ademe de canastilla, Ø 12".

- **Pozo No. 23**

0 - 30 m	Cementación.
0 - 76 m	Tubería ciega de 16" de diámetro.
76 - 196 m	Ademe de canastilla, Ø 16".
196 - 294 m	Reducción de ademe de canastilla a 12" de diámetro.

- **Pozo No. 22-bis**

0 - 40 m	Cementación.
0 - 115 m	Ademe ciego de 20" de diámetro.
115 - 180 m	Ademe de canastilla, reducción de Ø 20" a 16".
180 - 300 m	Reducción de ademe de canastilla a 12".

- **Pozo No. 21**

0 - 30 m	Cementación.
0 - 67 m	Tubería ciega de 16" de diámetro.
67 - 197 m	Ademe de canastilla, diámetro de 16".
197 - 400 m	Reducción de ademe de canastilla, 12".

- **Pozo No. 20**

0 - 35 m	Cementación.
0 - 78 m	Tubería ciega de 16".
78 - 199.6 m	Ademe de canastilla de 16" de diámetro.
199.6 - 400 m	Reducción de ademe de canastilla, 12" de diámetro.

- **Pozo No. 19**

0 - 30 m	Cementación.
0 - 81 m	Ademe ciego de 16".
81 - 200 m	Ademe de canastilla, 16" diámetro.
200 - 300 m	Reducción de ademe de canastilla, 12".
300 - 450 m	Campana de reducción, ademe de canastilla 6".

- **Pozo No. 14**

0 - 30 m	Cementación.
0 - 35 m	Ademe ciego de 16" de diámetro.
35 - 184.8 m	Ademe de canastilla, 16".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- **Pozo No. 15**

0 – 50 m	Cementación. Contra ademe de 30".
0 – 130 m	Tubería ciega de, diámetro 22".
130 – 180 m	Ademe de canastilla de 22". A los 180 m existe una campana de reducción.
180 – 250 m	Ademe de canastilla de 19" de diámetro.

- **Pozo No. 12-bis**

0 -50 m	Cementación.
0 -150 m	Ademe ciego de 20" de diámetro.
150 – 275 m	Ademe de canastilla, 20" de diámetro.

- **Pozo No. 11**

0 – 30 m	Cementación.
0 – 82 m	Tubería ciega de 16" de diámetro.
82 – 88 m	Ademe de canastilla de 16".
88 – 130 m	Ademe ciego de 16".
130 – 190 m	Ademe de canastilla de 16".
190 – 300 m	Reducción de ademe de canastilla, 12" diámetro.

- **Pozo No. 11-bis**

0 – 40 m	Cementación.
0 – 125 m	Contra ademe de 28". Ademe ciego de 20" de diámetro.
125 – 190 m	Ademe ranurado (de canastilla) de 20".
190 – 200 m	Reducción de ademe de canastilla, 16" de diámetro.
200 – 300 m	Campana de reducción, ademe de canastilla 12".

- **Pozo No. 10**

0 – 30 m	Cementación. Contra ademe de 26", ademe ciego de 16".
30 – 130 m	Ademe de canastilla de 16".
130 – 290 m	Reducción de ademe de canastilla, 12" de diámetro.

- **Pozo No. 9-bis**

0 – 60 m	Tubería ciega de 16" de diámetro.
60 – 160 m	Ademe de canastilla, 16" diámetro.
160 – 202 m	Ademe ciego, diámetro 16".
202 – 242 m	Reducción de ademe de canastilla, diámetro 12".
242 – 300 m	Tapón de concreto a los 242 m.

- **Pozo No. 9**

0 – 12.5 m	Cementación.
0 – 36.8 m	Ademe ciego, 16" de diámetro.
36.8 – 190 m	Ademe de canastilla de 16".
190 – 295 m	Ademe de canastilla, pulgadas?

TEJES CON
FALLA DE ORIGEN

- **Pozo No. 8-bis**

0 – 7 m	Cementación.
0 – 29.5 m	Tubería ciega de 16" de diámetro.
29.25 – 145 m	Ademe de canastilla de 16".
145 – 180 m	Tubería ciega, 16" diámetro.
180 – 200 m	Ademe de canastilla de 16".
200 – 300 m	Reducción de ademe de canastilla, 12" de diámetro.

- **Pozo No. 8**

0 – 29 m	Cementación. Contra ademe de 26" de diámetro.
0 – 36 m	Tubería ciega de 16".
36 – 182 m	Ademe de canastilla de 16" de diámetro.
182 – 293 m	Reducción de ademe de canastilla, 12" de diámetro.

- **Pozo No. 7**

0 – 30 m	Cementación.
0 – 75 m	Ademe ciego pulgadas?
75 – 125 m	Ademe de canastilla de 20" de diámetro.
125 – 135 m	Reducción de ademe de canastilla, 16" de diámetro.
135 – 350 m	Campana de reducción, ademe de canastilla, 12".

- **Pozo No. 7-B**

0 – 40 m	Cementación.
0 – 70 m	Tubería ciega de 20" de diámetro.
70 – 160 m	Ademe de canastilla, Ø 20".
160 – 170 m	Traslape de tubería. Reducción de ademe ciego de 16".
170 – 270 m	Ademe de canastilla de 12" de diámetro.

Pozos Laguna
Caudales Actualizados (2002)

No. Pozo	GASTOS (lps)					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Laguna 8	0	50.79	48.86	49.62	48.32	48.14
Laguna 9	26.48	22.73	31.66	30.38	27.81	26.04
Laguna 10	57.78	52.52	49.51	52.09	51.36	48.36
Laguna 11	FS	FS	FS	FS	FS	FS
Laguna 12	FS	FS	FS	FS	FS	FS
Laguna 13	33.96	30.44	31.33	31.46	30.9	28.68
Laguna 14	47.42	50.22	49.21	45.52	40.71	36.66

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Aforos Originales (Datos Aragon) Febrero 19, 2002.
Ramal Tizayuca-Pachuca

No. Pozo	Año	N.E (m)	RPM	N.D (m)	Abat. (m)	Caudal Q (lps)	Caudal Esp. (lps/m)	Prof. (m)	Inicio Aforo	Término Aforo	Longitud Ademe	
8-bis	1977	73.70	1400	75.66	1.96	39.0	19.90	291.50	6/03/77	07/03/77	16"/199.50 m	
			1500	77.80	4.10	60.4	14.73		15:30 hrs	10:00 hrs	12"/92.0 m	
			1600	79.59	5.89	77.0	13.07					
			1500	82.08	8.38	95.5	11.40					
			1800	84.73	11.03	110.3	10.0					
			1900	87.84	14.14	126.4	8.94					
			2000	90.84	17.14	138.5	8.08					
Recuperación de Pozo: En 3.45 horas hasta 73.91 m.												
15	1976	87.44	1300	94.38	7.44	32.85	4.42	180.0	30/08/76	31/08/76	10"/150.0	
			1400	98.58	11.24	49.66	4.42		7:00 hrs	3:00 hrs		
			1500	100.82	13.38	55.52	4.15					
			1600	104.70	17.26	64.52	3.74					
			1700	109.40	21.96	72.40	3.30					
1800	117.30	29.86	80.46	2.70								
Recuperación de Pozo: En 2 horas de 94.17 a 88.84 m.												
20	1976	76.32	1500	78.49	2.17	27.76	12.79	401.50	7/05/76	08/05/76	10"/150.0	
			1600	80.33	4.01	49.66	12.38		16:00 hrs	20:00 hrs		
			1700	84.15	7.83	79.50	10.15					
			1800	86.81	10.49	96.97	9.24					
			1900	89.26	12.94	113.11	8.74					
			2000	90.05	13.73	129.03	9.40					
			2100	94.48	18.16	143.19	7.89					
2000	91.87	15.55	129.03	8.30								
Recuperación de Pozo: En 2 horas de 79.20 a 76.73 m.												
25	1976	106.98	1600	113.60	6.62	35.12	5.31	259.54	21/08/76	22/08/76	16"/195.70	
			1700	120.12	13.14	51.19	3.90		8:00 hrs	10:00 hrs	12"/63.84	
			1800	131.78	24.80	72.40	2.92					
			1900	143.68	36.70	90.39	2.46					
Recuperación de Pozo: En 2 horas.												
26	1976	89.26	1500	89.33	0.07	27.76	39.57	298.24	7/09/76	8/07/76	10"/150.0	
			1600	91.98	2.72	54.12	19.89		7:00 hrs	7:00 hrs		
			1700	96.30	7.04	83.29	11.83					
			800	98.60	9.34	96.97	10.38					
			1900	100.80	11.54	108.95	9.44					
			1970	103.70	14.44	126.62	8.77					
			1900	101.04	11.78	108.24	9.17					
Recuperación de Pozo: En 2 horas de 90.10 a 85.54 m.												
27	1977	87.23	1500	95.38	8.15	30.41	3.73	298.37	21/01/77	22/01/77	10"/150.0	
			1600	100.48	13.25	48.09	3.63		10:00 hrs	8:00 hrs		
			1700	102.50	15.27	55.52	3.64					
			1800	105.12	17.89	63.31	3.54					
			1900	107.40	20.17	71.32	3.53					
			2000	110.50	23.27	86.02	3.70					
			2100	114.46	27.23	94.56	3.47					
			2200	117.40	30.17	103.13	3.42					
2100	110.80	23.57	80.46	3.41								
Recuperación de Pozo: En 2 horas de 100.80 a 90.27 m.												
28	1976		1600	90.68	4.08	35.12	8.61	400	9/07/76	10/07/76		
			1700	91.35	4.75	52.68	11.09		13:00 hrs	9:00 hrs		
			1800	92.51	5.91	74.50	12.60					
			1900	93.99	7.93	92.08	12.46					
			2000	94.95	8.35	109.65	13.13					
			1900	94.18	7.58	92.08	12.15					
Recuperación de Pozo: En 1 hora de 91.0 a 89.84 m.												

TESIS
FALLA DE ... GEN

Pozos Tizayuca - Pachuca
Caudales Actualizados (2001)

No. Pozo	GASTO (Ips)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
7-A	-	-	-	46	46	47	46	46	46	47	46	46
7-BIS	28	30	29	29	29	29	29	29	28	28	28	29
8	60	68	70	58	65	58	58	59	58	59	59	59
8-BIS	64	69	68	58	57	57	57	56	57	57	56	55
9	72	70	70	72	67	69	69	68	70	68	70	66
9-BIS	27	26	26	26	31	30	32	32	P	33	32	32
10	33	33	33	20	21	21	21	20	20	21	21	20
11	68	68	68	65	66	69	65	65	65	65	65	65
12-BIS	38	39	39	35	35	36	FS	36	36	36	34	36
14	24	23	23	FS	FS	21	21	22	21	22	22	22
15	ED	34	34	35	32	32	32	P	FS	FS	35	34
20 San J	43	40	40	37	36	36	FS	41	39	39	40	40
21SJ	38	40	44	42	43	37	36	FS	54	52	54	56
21-BIS SJ	51	44	43	FE	49	52	52	51	46	48	48	53
22 SJ	67	66	66	65	64	65	61	63	58	60	58	64
23 SJ	FS	60	58	60	60	61	61	60	59	59	58	60
23-BIS SJ	58	50	48	55	48	61	42	45	36	44	43	49
24 SJ	56	50	47	54	48	56	56	52	41	45	43	52
25 SJ	53	49	48	50	48	51	50	51	44	47	46	50
26 SJ	52	50	50	52	49	52	51	50	47	50	48	51
27 SJ	FS	FS	FS	FS	ED							
28-BIS SJ	55	56	54	56	56	54	53	53	52	47	49	51
32 SJ	71	59	57	72	74	76	69	69	65	64	68	71
31-BIS SJ	ND	32	31	27	29	27	27	26	34	24	29	26
32-BIS	35	36	36	34	36	36	36	37	36	37	37	36

ED Equipo desmontado
 FS Fuera de servicio
 B Boquea y/o expulsa aire

SV Sin válvula
 FE Falla eléctrica
 OC Opera con al.

P Parado
 SJ San Javier

Pozos Tizayuca - Pachuca
Caudales Actualizados (2002)

No. Pozo	GASTO (Ips)					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
32 CNA	0	74.33	67	66.64	69.93	69.09
28 CNA	34.74	34.64	42.57	54.14	50.87	49.14
26 CNA	49.03	48.06	41.24	43.34	44.02	44.21
25 CNA	48.24	48.68	47.3	45.97	41.14	44.37
24 CNA	45.23	46.04	46.27	56.14	54.69	55.67
23 BIS CNA	51.65	48.39	47.19	49.41	51.4	29.3
23 CNA	63.74	61.54	56.86	54.59	53.64	56.26
22 CNA	61.43	59.47	59.66	64.45	63.66	67.19
21 BIS CNA	47.69	48.13	48.26	48.47	45.63	47.38
21 CNA	52.49	50.6	50.97	53.38	53.05	52.53
20 CNA	40.88	38.37	38.8	40.55	38.45	35.58