

**Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación**

**Programa Universitario de Investigación de
Recursos Naturales y Ambiente -Puirna-**

**“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA
ZONA SATURADA PRESENTE EN EL VALLE DE
CHIMALTENANGO”**

**Guatemala, Enero de 2010
Instituto de Investigaciones Agronómicas y
Ambientales
Facultad de Agronomía**

**Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación**

**Programa Universitario de Investigación de
Recursos Naturales y Ambiente -Puirna-**

**“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA
ZONA SATURADA PRESENTE EN EL VALLE DE
CHIMALTENANGO”**

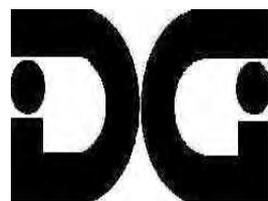
Equipo de Investigación

Ing. Agr. MSc. Eugenio Oliverio Orozco y Orozco	-Coordinador-
Ing. Agr. Julio J. Taracena Hernández	Investigador
Br. Alva Judith Montiel Montenegro	Auxiliar de Investigación

I

Guatemala, Enero de 2010

**DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN –DIGI-
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y
AMBIENTALES, FACULTAD DE AGRONOMÍA**



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES	6
Información general del área de estudio	6
Geología	8
Geología y Estratigrafía del Valle de Chimaltenango	8
Geología regional	9
Geología local	10
Estratigrafía	11
Agua subterránea	11
Regiones hidrogeológicas de Guatemala	12
Altiplano volcánico	12
JUSTIFICACIÓN	14
OBJETIVOS	16
General	16
Específicos	16
METODOLOGÍA	17
Foto geología	17
Información preliminar hidrogeológica e hidrometeorológica	17
Parámetros hidrogeológicos	17
Perfiles hidrogeológicos:	18
Mapas Hidrogeológicos:	18
Geofísica	18
Descripción del Arreglo Electrónico Schlumberger	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
Geología	20
Geología local	20
Estratigrafía	20
Interpretación de los registros de los sondeos eléctricos verticales en el valle de Chimaltenango	23
Lavas del Terciario	31
Tefras o depósitos piroclásticos cuaternarios	33

Tephra interestratificada con diamictones pomáceos y sedimentos Fluvio- lacustres	34
Tefra interestratificada con cenizas y paleosuelos	35
Hidrogeología	37
Unidades hidrogeológicas	37
Parámetros hidrogeológicos	43
Transmisividad:	43
Coeficiente de Almacenamiento:	43
Niveles y movimiento del agua subterránea	47
Límites accidentales de la zona saturada	48
Explotación actual de las aguas subterráneas	51
Balance de las aguas subterráneas	52
Precipitación efectiva	52
Relación entre infiltración de agua en suelos y la intensidad de lluvia (Kfc)	54
Factor de pendiente del terreno (Kp)	55
Factor de cobertura vegetal del terreno (Kv)	56
Ecuación de precipitación efectiva	57
Potencial hídrico	59
CONCLUSIONES	62
RECOMENDACIONES	644
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	
710	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla1	Valores de AB/2 (m) y Resistividades (Ohm.m) de los sondeos eléctricos registrados en el valle de Chimaltenango, Chimaltenango, Guatemala.	25
Tabla 2	Espesores y resistividades aparentes SEV 1	26
Tabla 3	Espesores y resistividades aparentes SEV 2	27
Tabla 4	Datos de abatimiento-tiempo del pozo de observación de la fabrica Dong-Bang	47
Tabla 5	Valores de coeficientes (Kp) según valores de pendientes.	56
Tabla 6	Valores de coeficientes (Kv) según tipo de cobertura vegetal	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Localización del área de investigación dentro de la república de Guatemala.	6
Figura 2	Área comprendida por el Valle de Chimaltenango.	7
Figura 3	Geología regional mostrando el ambiente en el que se desarrolla el proyecto	10
Figura 4	Configuración Schlumberger	19
Figura 5	Geología local del valle de Chimaltenango	21
Figura 6	Columna estratigráfica típica del valle de Chimaltenango	22
Figura 7	Ubicación geográfica de los SEV's en el valle de Chimaltenango	23
Figura 8	Gráfica de Sondeo Eléctrico Vertical 1	25
Figura 9	Gráfica de Sondeo Eléctrico Vertical 2	26
Figura 10	Gráfica de Sondeo Eléctrico Vertical 3	27
Figura 11	Gráfica de Sondeo Eléctrico Vertical 4	28
Figura 12	Gráfica de Sondeo Eléctrico Vertical 6	29
Figura 13	Gráfica de Sondeo Eléctrico Vertical 5	29
Figura 14	Perfil geoelectrico, resultante de los SEV's	30
Figura 15	Perfil hidrogeológico A ---A' en dirección Noroeste a Sureste	41
Figura 16	Perfil hidrogeológico B—B', en dirección preferencial Norte-Sur.	42
Figura 17	Curva tiempo-abatimiento del pozo de observación empresa Dong Bang	44
Figura 18	Curva de tiempo-abatimiento del pozo de observación Dong-BanG	45
Figura 19	Mapa de isofreáticas y líneas de flujo de agua subterránea.	49
Figura20	Mapa de límites horizontales inferidos de la zona saturada presente en el valle de Chimaltenango	50
Figura 21	Mapa de uso actual de suelos del valle de	60

Chimaltenango

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1	Afloramiento de lavas dacíticas en el río Pixcayá, al norte del valle de Chimaltenango	32
Fotografía 2	Afloramiento de rocas dacíticas al norte del valle de Chimaltenango.	33
Fotografía 3	Afloramiento de tefras, al norte del valle de Chimaltenango	35
Fotografía 4	Tefra interstratificada al norte del valle de Chimaltenango	36
Fotografía 5	Contacto entre tefras, bloques de andesitas subredondeados y pómez	37
Fotografía 6	Prueba de velocidad de infiltración por medio del método de Porchet	53
Fotografía 7	Topografía predominante en el área de estudio	55
Fotografía 8	Terrenos cultivados con hortalizas en el área de estudio	56

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.	Inventario de pozos de extracción de agua subterránea en el valle de Chimaltenango
ANEXO 2.	Datos de campo prueba de infiltración. Método de Porchet
ANEXO 3.	Análisis de Prueba de infiltración en el valle de Chimaltenango
ANEXO 4.	Balance hídrico de suelos
ANEXO 5.	Descripción de los registros litológicos de los pozos utilizados en la interpretación de los sondeos eléctricos verticales
ANEXO 6.	Datos climatológicos estación Alameda-ICTA
ANEXO 7.	Lista de integrante del equipo de Investigación

RESUMEN

El presente proyecto de investigación, es una contribución al conocimiento de los aspectos hidrogeológicos que determinan la presencia y flujo de aguas subterráneas en el valle de Chimaltenango.

Actualmente el agua subterránea que se encuentra dentro de la zona saturada del subsuelo (acuífero), es la principal fuente de aprovisionamiento de agua para usos domésticos, agrícolas, pecuarios e industriales en la zona, por lo que se hace necesario conocer las características propias del mismo, la potencialidad del uso de este recurso, para sentar las bases para ejecutar acciones posteriores que conlleven a una adecuada gestión integrada del recurso hídrico subterráneo.

Debido a lo anterior, se han estimado las condiciones de frontera de la zona saturada que se encuentra en el valle de Chimaltenango. Estas condiciones están determinadas por los límites espaciales de dicha zona saturada, es decir su geometría.

Horizontalmente los límites de la zona saturada presente en el valle de Chimaltenango siguen los accidentes geográficos que lo determinan, es decir, cerros, laderas, quebradas y barrancos que limitan a dicha área.

Al Norte se extiende hacia las inmediaciones de la carretera departamental que une la cabecera departamental (Chimaltenango), con el municipio de San Martín Jilotepéque, siempre del departamento de Chimaltenango. Mientras al sur sus límites coinciden con las quebradas y cauce principal del río Guacalate que limita al valle en estudio.

Tanto al Este como al Oeste se ve limitada la zona saturada por los cerros y quebradas que separan al valle de Chimaltenango de los valles de Zaragoza y Sumpango.

Los parámetros hidrogeológicos de la zona saturada dentro del valle son los siguientes: Transmisividad mayor a $7,000 \text{ m}^2/\text{día}$, que indica que la formación geológica que contiene al agua subterránea posee una muy buena disponibilidad para su transporte. El Coeficiente de Almacenamiento medio calculado fue de 0.014, lo que indica que la zona saturada contiene el agua a presión atmosférica, por lo que se le considera libre o freático.

Debido a que la zona saturada abarca las formaciones geológicas de tefras y roca volcánica del terciario, se considera que existe un sistema acuífero, ya que existe una continuidad hidráulica tanto horizontal como vertical entre dichos materiales.

Por las condiciones de sus suelos, topografía y régimen climático, se considera que el valle de Chimaltenango en sí mismo es una buena área de recarga para el agua subterránea contenida en su subsuelo, pero que debido al crecimiento demográfico y al cambio de uso de suelo, este potencial disminuye drásticamente. De igual manera conlleva peligros de contaminación a las aguas subterráneas por tal razón se aconsejan realizar estudios de vulnerabilidad del recurso hídrico subterráneo y programas de gestión de recursos.

INTRODUCCIÓN

El relieve del altiplano de la república de Guatemala, se compone de altas cumbres, laderas y valles. Dentro de los valles propiamente dichos revisten de importancia el valle de Quetzaltenango en el occidente del país, el valle de Las Vacas, lugar donde actualmente se asienta la Ciudad de Guatemala, y el valle de Chimaltenango, ya que en ellos se asientan grandes cantidades de habitantes y presentan un crecimiento demográfico sostenido, principalmente debido a migraciones internas en búsqueda de lugares cercanos a la capital del país. Lo anterior ejerce una enorme presión sobre los recursos naturales presentes, principalmente en lo que se refiere a cambios en el uso del suelo y a la presión sobre el recurso hídrico, vital para la sobrevivencia del ser humano, así como, para actividades de producción, tanto agrícolas como industriales.

Las características del valle de Chimaltenango, el cual está rodeado de laderas y pequeñas colinas, hacen que la fuente de aprovisionamiento principal de agua para los distintos fines de los municipios de Chimaltenango y El Tejar, sea el recurso hídrico subterráneo, ya que carece de corrientes de agua superficial con volúmenes de agua adecuados y con el agravante de que estas son altamente susceptibles a la contaminación.

Para la adecuada gestión de los recursos naturales, y en este caso del recurso hídrico subterráneo, es necesario conocer sus características físicas, tanto en sentido de su composición geológica, así como sus límites verticales y horizontales de la zona saturada de agua subterránea, y de igual manera el sentido general de la dirección de flujo subterráneo, es decir su geometría espacial.

Dentro de los principales resultados podemos mencionar que la principal formación geológica saturada son las denominadas tefras interestratificadas, constituidas principalmente de arenas blancas y pómez, con intercalaciones de arcillas y principalmente de materiales de caída de grano fino conocidos generalmente con el nombre de selecto, presenta espesores de entre 100 a 150 m en la parte sur del valle hasta más de 250 metros en la parte norte del mismo. La zona saturada con agua subterránea tiene una continuidad en profundidad con las lavas del Terciario de tipo andesítico-dacítico, y que se encuentran a profundidades mayores de 300 metros.

Debido a que en la zona ninguno de los pozos que se perforan para la explotación de agua subterránea posee profundidades mayores a 150 metros y que no cuentan con una descripción adecuada de los materiales que conforman las formaciones geológicas saturadas, se utilizó la técnica geofísica a través de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's) para inferir los distintos espesores de las formaciones geológicas que conforman la estratigrafía del valle de Chimaltenango.

Por otra parte se considera que tiene una continuidad lateral con otras formaciones geológicas, por lo que conforman en sí un sistema acuífero. Los límites de este sistema se extienden al norte hacia la carretera que conduce a San Martín Jilotepeque, estando limitado por quebradas y barrancos de la cuenca del río Pixcaya. Al sur se encuentra limitado principalmente por pequeñas quebradas y barrancos que conforman los tributarios y corriente principal del río Guacalate. Al Oeste este sistema acuífero se ve limitado por colinas y laderas que separan al valle de Chimaltenango, con el valle de Zaragoza, mientras al Este, son los barrancos y colinas que separan este valle de la población de Sumpango.

Dentro de los parámetros hidrogeológicos determinados se encuentra la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento, ambos obtenidos a través de pruebas de bombeo. En cuanto a la transmisividad de la formación geológica saturada, se encontraron valores mayores de 7,000 m²/día, lo que convierte a la zona saturada con un buen potencial de ser explotada debido a la facilidad de entrega y transmisión del sistema acuífero que conforma. En cuanto al valor del coeficiente de almacenamiento de 0.014, indica que el agua retenida, se encuentra a una atmósfera de presión, por lo que al sistema acuífero presente se le considera libre o freático.

ANTECEDENTES

Información general del área de estudio

El área de estudio abarca una región de la parte alta de la cuenca del río Guacalate, específicamente el “Valle de Chimaltenango”. Comprende una superficie de 30.5 km² que se ubica en el cuadrante entre las coordenadas UTM 734000 m y 745000 metros Este, 1,615000 m y 1,625000 m Norte del Datum horizontal NAD83/WGS84 (IGN, 2000). Dentro de dicha área se ubican municipios de importancia, tanto por su población, como también por formar parte de los componentes que se benefician y afectan al mismo tiempo los recursos hídricos subterráneos de la zona. Las poblaciones que se pueden mencionar como importantes son los municipios de Chimaltenango y El Tejar, del departamento de Chimaltenango. En la figura 1, se muestra la ubicación del área en la cual se realizó el presente estudio dentro del territorio de la república de Guatemala, mientras que en la figura 2 se detalla el valle en estudio.

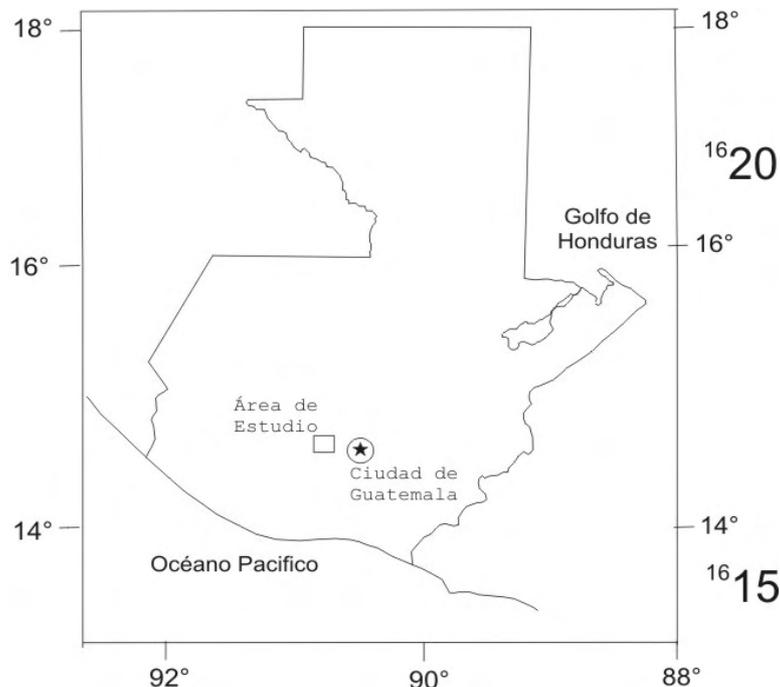


Figura 1. Localización del área de investigación dentro de la república de Guatemala.

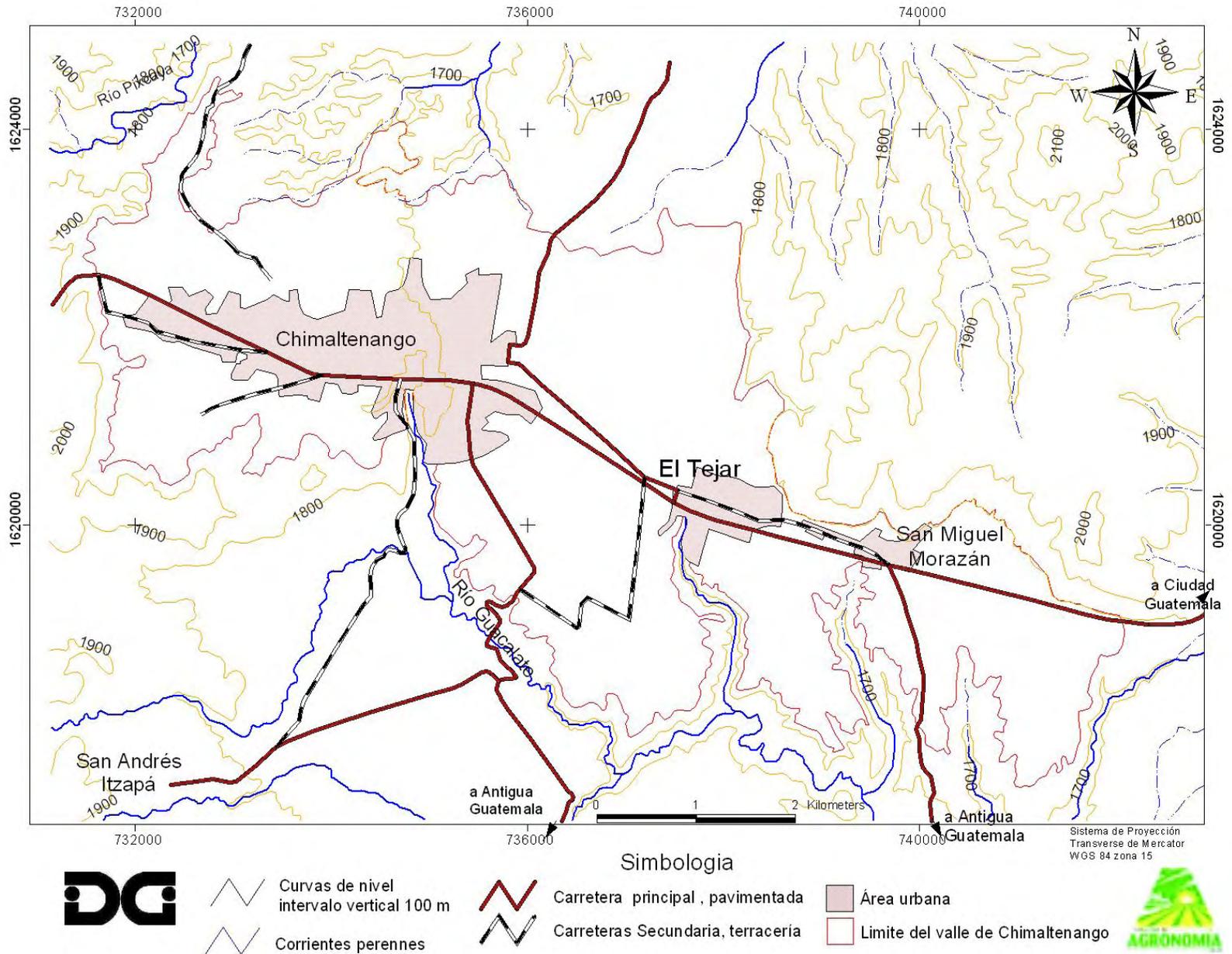


Figura 2. Área comprendida por el Valle de Chimaltenango.

En el área ampliada del proyecto, se observan las principales poblaciones del valle de Chimaltenango, siendo estas la cabecera municipal del departamento de Chimaltenango con el mismo nombre, donde para el censo poblacional de 2002 se reportan un total de 74,077 habitantes (INE, 2002), de igual manera el valle es compartido en su parte mas al Este por el municipio de El Tejar, que incluye a la aldea de San Miguel Morazán, el cual para el mismo año reporta 13,823 habitantes en total. (INE, 2002)

El valle de Chimaltenango limita al norte con barrancos y quebradas que drenan sus aguas hacia la vertientes del mar Caribe, por medio del afluentes del río Pixcayá y posteriormente drenando sus aguas al río Motagua. Al sur el valle se ve limitado por quebradas que drenan sus aguas al río Guacalate, el cual es parte de la vertiente del Pacífico, mientras que al Oeste sus limites lo constituyen colinas y montañas, siendo la principal la Montaña El Soco en jurisdicción de Patzicia, mientras al este es limitado por pequeñas hondonadas y quebradas en dirección hacia la ciudad de Guatemala.

La principal vía de acceso se constituye por la carretera CA-2, la que atraviesa el valle de Oeste a Este y comunica las principales poblaciones antes descritas con la Ciudad de Guatemala y otras poblaciones del occidente del país.

Dentro del valle no se distinguen corrientes superficiales de agua, ya sean pequeños río o riachuelos, por lo que la principal fuente de agua para los habitantes del valle es el agua subterránea.

Geología

Geología y Estratigrafía del Valle de Chimaltenango

El valle de Chimaltenango está constituido por rellenos piroclásticos, limitado por algunos barrancos profundos con

paredes casi verticales y montañas muy quebradas. Fisiográficamente el área está comprendida entre las tierras volcánicas altas. En esta región, predominan basaltos, andesitas, y riolitas, desarrolladas sobre el basamento cristalino sedimentario que se encuentra hacia el Norte. La formación de esta región volcánica fue seguida por fallas causadas por tensión local, la cual fracturó y movió el material de la superficie.

Geología regional

El valle de Chimaltenango, se encuentra dentro del Altiplano Volcánico. Está constituido por rocas volcánicas terciarias y cuaternarias, como lavas, tobas y cenizas, que descansan sobre un basamento levantado, formado por rocas carbonatadas cretácicas y rocas ígneas, en el que se han originado varias depresiones tectónicas que rellenas por depósitos piroclásticos constituyen los mayores valles donde está concentrada la mayoría de la población del país (Valle de Guatemala, Valle de Quetzaltenango, Valle de Chimaltenango). Una cadena volcánica constituida por conos volcánicos, algunos de los cuales todavía activos, marcan el borde sur del altiplano, alcanzando alturas de hasta 4220 ms.n.m. (DIRYA, 1991)

El altiplano se extiende a elevaciones mucho menores, comprendidas entre los 1500 y los 2000 ms.n.m., y constituye la divisoria continental de las aguas que drenan hacia el Pacífico de un lado y el Atlántico del otro.

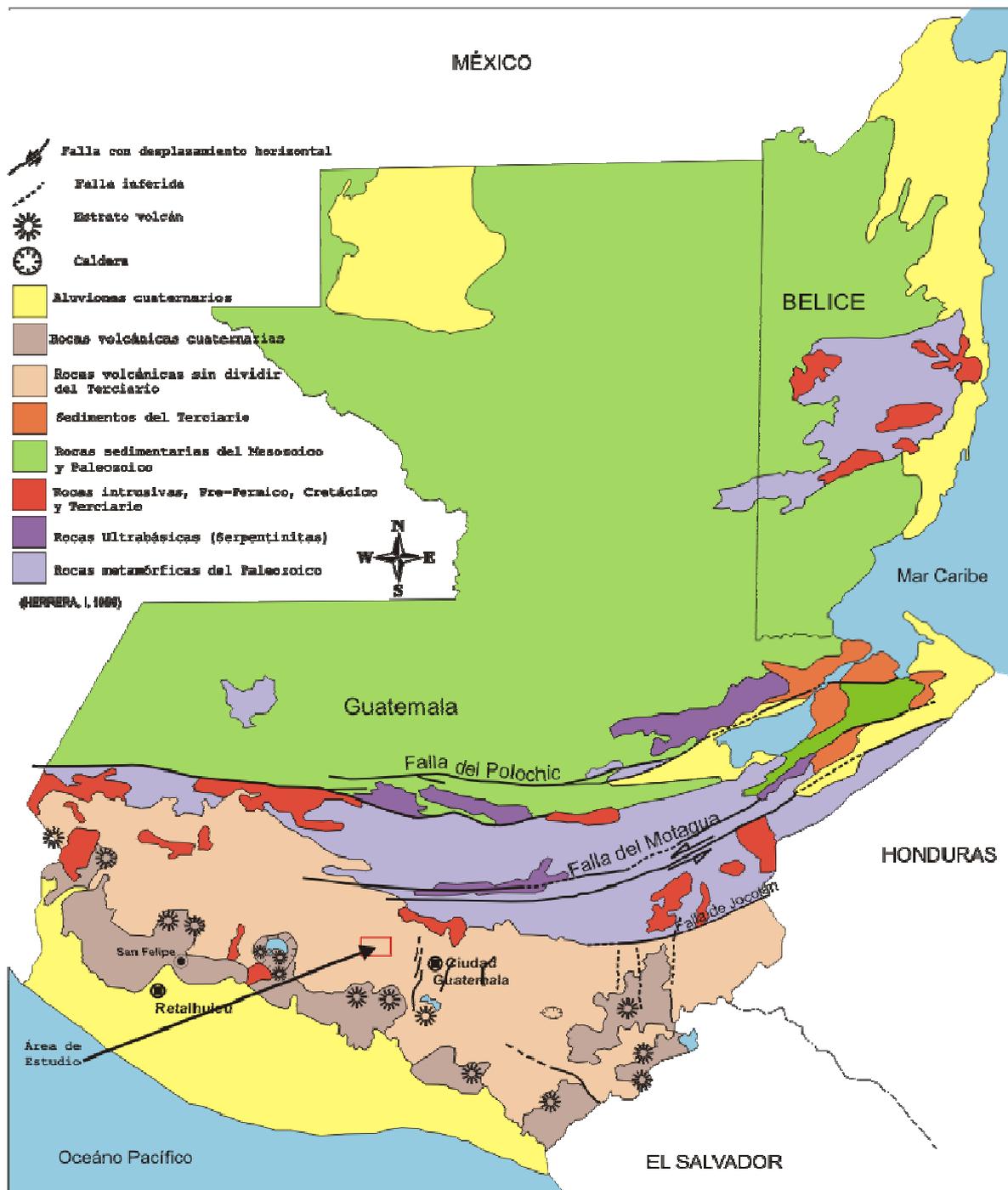


Figura 3. Geología regional mostrando el ambiente en el que se desarrolla el proyecto

Geología local

La geología del área consiste principalmente de rocas volcánicas terciarias y cuaternarias de interés hidrogeológico. Las rocas han sido separadas en tres grupos: Grupo Volcánico Terciario, formado

por rocas altamente fracturadas, que constituyen el basamento del área; y el Grupo Volcánico Cuaternario, formado por flujos piroclásticos que cubrieron a los bloques basculados.

Estratigrafía

Las unidades litológicas presentes en la zona son de edades de los períodos Terciario y Cuaternario, conformadas por lavas andesíticas-dacíticas basálticas que constituyen el grupo volcánico Terciario (Mioceno superior- Plioceno) y las Tefras (piroclastos) que constituyen el grupo volcánico cuaternario.

Agua subterránea

El uso del agua subterránea se conoce desde hace muchos siglos, quizá desde los tiempos bíblicos, aunque lógicamente en aquellas épocas la explotación se hacía en forma rústica y primitiva.

Gran parte de las aguas subterráneas provienen de las precipitaciones pluviales o sea el agua meteórica. Esta llega a formar parte del agua subterránea por infiltración y percolación de corrientes y lagos. El proceso más efectivo en la recarga del agua subterránea es la percolación directa, especialmente en los suelos con alta permeabilidad o donde la capa freática está bastante cerca de la superficie del terreno (Linsley, 1,988).

Durante la edad media, el uso del agua subterránea fue impulsado en Europa por el descubrimiento de los llamados pozos artesianos surgentes, y en épocas más modernas (siglo XVIII), este fue el motivo que impulsó el desarrollo de las técnicas de perforación. La Hidrogeología se vislumbra como ciencia desde el siglo XVII, su desarrollo es más bien moderno y comienza formalmente en el siglo pasado, con los estudios de Darcy, Dupuit, Theis y otros.

Regiones hidrogeológicas de Guatemala

En Guatemala, en un estudio hidrogeológico (MAGA, 1,991), se identificaron de manera general cuatro distintas regiones hidrogeológicas en la república de Guatemala, las cuales son:

- i. Las llanuras aluviales de la costa del pacífico.
- ii. El altiplano volcánico.
- iii. Las tierras altas cristalinas
- iv. La región sedimentaria septentrional.

Altiplano volcánico

Esta región se encuentra al norte de llanuras del pacífico y se extiende de oeste-noroeste hacia este-sureste, a lo largo de una franja de 350 Km. de largo. Esta área está constituida por rocas volcánicas terciarias y cuaternarias, principalmente lavas, tobas y cenizas, las cuales descansan sobre un basamento levantado, formado por rocas carbonatadas e ígneas, en el que se originaron grandes depresiones tectónicas que fueron rellenados por depósitos piroclásticos, las cuales son los valles de Quetzaltenango, Guatemala y Chimaltenango.

Esta región presenta las siguientes características hidrogeológicas, se encuentran lavas basálticas, andesíticas y riolíticas y además materiales como arenas, bombas, escorias, cenizas y lahares provenientes de los conos volcánicos, el espesor de estos materiales puede ser muy variable y hasta un máximo de 500 m. Todo el conjunto de materiales constituyen a esta región como un acuífero muy permeable, con permeabilidad primaria y secundaria, además es un área de recarga muy importante.

En esta región, se encuentran varias unidades hidrogeológicas entre las que se encuentran las siguientes, depósitos piroclásticos cuaternarios, esta unidad presenta valores de transmisividad de 50 a 750 m²/día en el valle de Guatemala y entre 100 y 300 m²/día en el valle de Quetzaltenango. Valores de coeficiente de

almacenamiento entre 0.01 y 0.03. Lavas cuaternarias, en esta unidad en varias zonas del altiplano y reportados por el proyecto miniriego de DIGESA en pozos a profundidades de 150 m se encontraron caudales entre 10 y 45 l/s con capacidades específicas medias de 0.8 l/s/m y niveles de bombeo entre 30 y 90 m.

Lavas y tobas terciarias, esta unidad presenta valores de transmisibilidad en varios pozos del valle de Guatemala de entre 500 y 5,000 m²/día, en el valle de Ipala los caudales varían entre 12 y 30 l/s con capacidades específicas de alrededor de 1 l/s/m y niveles de bombeo de entre 35 y 90 m y en el valle de Guatemala caudales de 4 á 15 l/s con capacidades específicas de 0.4 á 1.8 l/s/m y niveles de bombeo de entre 30 y 90 m. En cuanto a la calidad del agua según la conductividad eléctrica se reportan valores menores de 500 micromhos/cm.

JUSTIFICACIÓN

En Guatemala, aunque se reconoce su importancia, las investigaciones hidrogeológicas son escasas. El conocimiento de cuencas hidrográficas en lo relativo a planificación y manejo de recursos es escaso. En lo concerniente al manejo de aguas subterráneas esto se acentúa aún más. El aprovechamiento del agua subterránea, ya sea a través de pozos municipales y privados, se lleva a cabo en una forma desordenada y sin lineamientos tendientes a lograr un aprovechamiento sostenible, haciéndose necesario establecer con mayor objetividad las cantidades de agua subterránea disponibles.

Dos instituciones que a partir de 1982 han tratado de generar información básica sobre la situación de los recursos naturales del país y su utilización, son la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) a través de la Facultad de Agronomía y el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH), quienes dentro del recurso hídrico, ya sea superficial o subterráneo han tenido como objetivo principal planificar y garantizar su aprovechamiento dentro del marco de la conservación y racionalización de estas dos fuentes de agua.

Dicho marco actualmente ha tomado mayor importancia debido principalmente al crecimiento demográfico existente en las regiones del país, con lo que la presión sobre el recurso hídrico ha aumentado. Una de estas regiones la constituye la del valle de Chimaltenango, dentro del cual se asientan los centros urbanos de los municipios de El Tejar y Chimaltenango del departamento del mismo nombre, las que dependen de aguas subterráneas para el abastecimiento de agua potable.

Con el presente trabajo de investigación y sus resultados, se pretende contar con información técnica que sirvan de base para estudios posteriores tendientes a beneficiar a la población urbana y rural del citado departamento brindando lineamientos de manejo con el fin de lograr una explotación racional y por ende un aprovechamiento sostenido del agua subterránea del valle. Es decir, la temática constituye un avance en la hidrogeología del país y uso racional del recurso hídrico subterráneo.

OBJETIVOS

General

- Realizar un estudio para determinar las características litoestratigráficas presentes en el valle de Chimaltenango con el fin de definir la geometría del acuífero presente y su hidrodinámica.

Específicos

- Estudiar la estratigrafía del valle de Chimaltenango, con el fin de definir las unidades litológicas, y las características de la zona saturada (acuífero) a través de la determinación de sus parámetros hidrogeológicos (unidades hidrogeológicas, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, caudales, niveles y movimiento de las aguas subterráneas).
- Determinar la extensión vertical y horizontal de la zona saturada (acuífero) presente en el valle de Chimaltenango.
- Determinar el estado actual de explotación para fines domésticos, industrial y de riego, a través del inventario de las perforaciones existentes y sus regímenes de explotación.
- Generar información para la determinación a posteriori de la vulnerabilidad y riesgos de contaminación del agua subterránea presente en la zona saturada (acuífero) del valle de Chimaltenango.

METODOLOGÍA

Foto geología

Se realizó la fotogeología de la zona con fotografías aéreas a escala 1:20,000 y/o 1:30,000 y mapas geológicos a escala 1:50,000, identificando principalmente alineamientos de fallas y fracturas para definir áreas con posibilidades de tener alta permeabilidad secundaria, barreras positivas o negativas que definan espacialmente las fronteras (límites accidentales) del acuífero presente en el valle de Chimaltenango.

Información preliminar hidrogeológica e hidrometeorológica

Se recopiló la información de los pozos perforados del área (perfiles litológicos y pruebas de bombeo), además de solicitar información de las municipalidades y empresas que han perforado pozos dentro del área del valle de Chimaltenango y en sus alrededores. Así como, los datos meteorológicos e hidrológicos reportados por el INSIVUMEH, con el fin de poder determinar la dirección del flujo de agua subterránea.

Parámetros hidrogeológicos

Los parámetros hidrogeológicos que se han determinado dentro del proyecto de investigación están los siguientes:

- A. La Transmisividad, se define como la capacidad de un medio para transmitir agua, es decir, la razón por la cual fluye agua, a través de una franja vertical del acuífero de ancho unitario y de altura igual al espesor saturado del mismo cuando el gradiente hidráulico es igual a la unidad. En otros términos, nos muestra la capacidad que se tiene para el suministro de agua para diferentes propósitos (domésticos, industriales, municipales o de riego).

B. El coeficiente de almacenamiento, se define como el volumen de agua liberada o cedida por una columna del acuífero de altura igual al espesor del mismo y de sección unitaria, al disminuir la presión en una unidad. Básicamente, nos muestra que tipo de acuífero se está estudiando de acuerdo a las características de presión bajo las cuales está almacenada el agua teniendo implicaciones en su aprovechamiento.

Perfiles hidrogeológicos:

Se refiere a las representaciones gráficas realizadas que ponen de manifiesto la naturaleza de las formaciones rocosas tanto las visibles en superficie, como las que se encuentran a profundidades típicas de perforación y que se describen de acuerdo a registros de perforaciones de pozos, correlación estratigráfica entre dichos pozos, así como afloramientos en los alrededores del área de estudio geofísica y que se encuentran en secuencias lógicas de deposición.

Mapas Hidrogeológicos:

Son los mapas que representan las unidades hidrogeológicas (formaciones geológicas saturadas de agua) el nivel y dirección preferencial del flujo del agua subterránea, cuya finalidad principal es proporcionar indicaciones sobre áreas de manejo y explotación instantánea de un acuífero y la disponibilidad de aguas subterráneas de forma global y a largo plazo.

Geofísica

Descripción del Arreglo Electrónico Schlumberger

En el dispositivo Schumberger (Fig. 4), la distancia AB entre los electrodos de corriente se hace aumentar por pasos escalonados

simétricos con respecto al centro del sondeo, quedando fijos en el centro los electrodos de potencia MN, abriéndose estos únicamente hasta que el campo potencial creado por la corriente eléctrica transmitida entre los electrodos AB no pueda ser leído, al abrir los electrodos MN se debe cumplir con la condición de que la distancia AB sea menor o igual a 5MN, entre mayor sea la separación entre los electrodos de corriente AB, más profunda es la investigación en el subsuelo.

La ventaja de utilizar el dispositivo Schlumberger está en la calidad de las curvas de campo, las cuales son superiores a las obtenidas con cualquier otro tipo de arreglo electrónico.

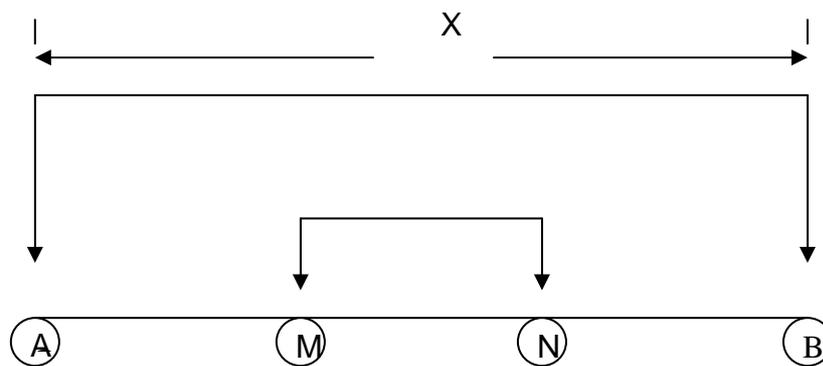


Figura 4. Configuración Schlumberger

La ecuación general que rige a cualquiera de los arreglos electrónicos lineales (Wenner, Schlumberger, Diplo-Dipolo, etc), aplicados sobre una superficie plana y un medio homogéneo es la siguiente:

$$\Delta V = \rho I / 2 \pi x (1/AM - 1/BM - 1/AN + 1/BN) \text{ donde,}$$

ΔV = Diferencia de potencial (voltaje) medida entre los electrodos MN

I = Intensidad de la corriente eléctrica transmitida en el terreno por medio de los electrodos AB

ρ = Resistividad aparente del medio (formación rocosa)

Despejando de la ecuación, se obtiene:

$$\rho_a = 2\pi \times (1/AM - 1/BM - 1/AN + 1/BN)^{-1} \times \Delta V/I$$

ρ_a = Resistividad aparente del medio

La resistividad calculada con los parámetros de corriente y potencia medidas en el campo será aparente (ρ_a) y no real (ρ), debido a que regularmente en las áreas donde se aplican métodos geofísicos la superficie de terreno no es completamente plana y las rocas situadas bajo la superficie terrestre nunca son homogéneas debido a sus diferentes características físicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

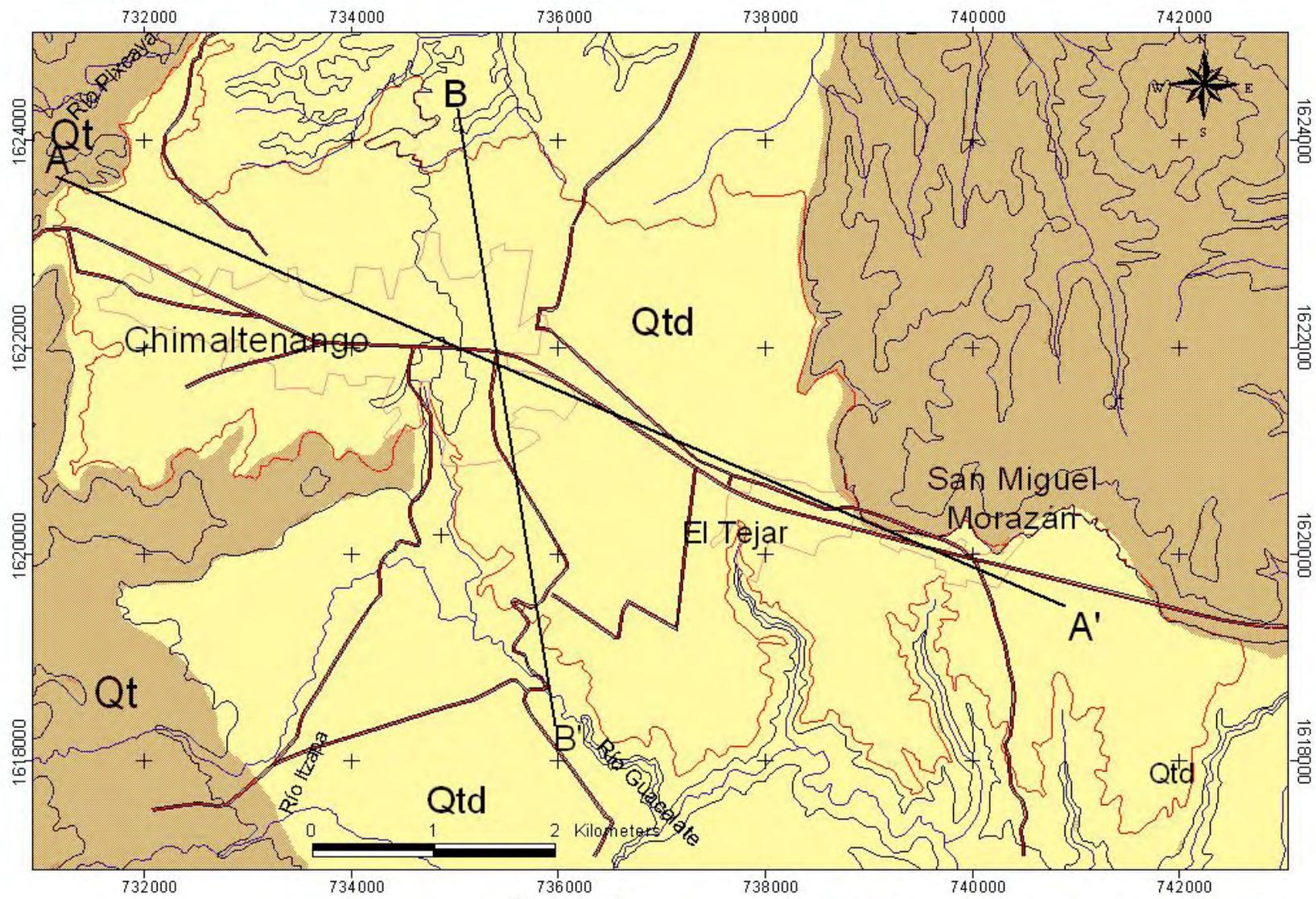
Geología

Geología local

La geología del área consiste principalmente de rocas volcánicas terciarias y cuaternarias de interés hidrogeológico. Las rocas han sido separadas en tres grupos: Grupo Volcánico Terciario, formado por rocas altamente fracturadas, que constituyen el basamento del área; y el Grupo Volcánico Cuaternario, formado por flujos piroclásticos que cubrieron a los bloques basculados.

Estratigrafía

Las unidades litológicas de la zona son descritas en esta parte en orden ascendente, de la más antigua a la más reciente, es decir, de las lavas andesíticas-dacíticas basálticas que constituyen el grupo volcánico Terciario (Mioceno superior- Plioceno) y las Tefras (piroclastos) que constituyen el grupo volcánico cuaternario.



- Simbología**
- Corrientes perennes
 - Curvas de nivel Intervalo vertical 100 m
 - Línea de perfil A--A'
 - Límites valle de Chimaltenango
 - Qt, Tephra (pómez gris a blanco y a negra interestratificada)
 - Qtd, Tephra interestratificada con diamictones pómaceos,



Figura 5. Geología local del valle de Chimaltenango

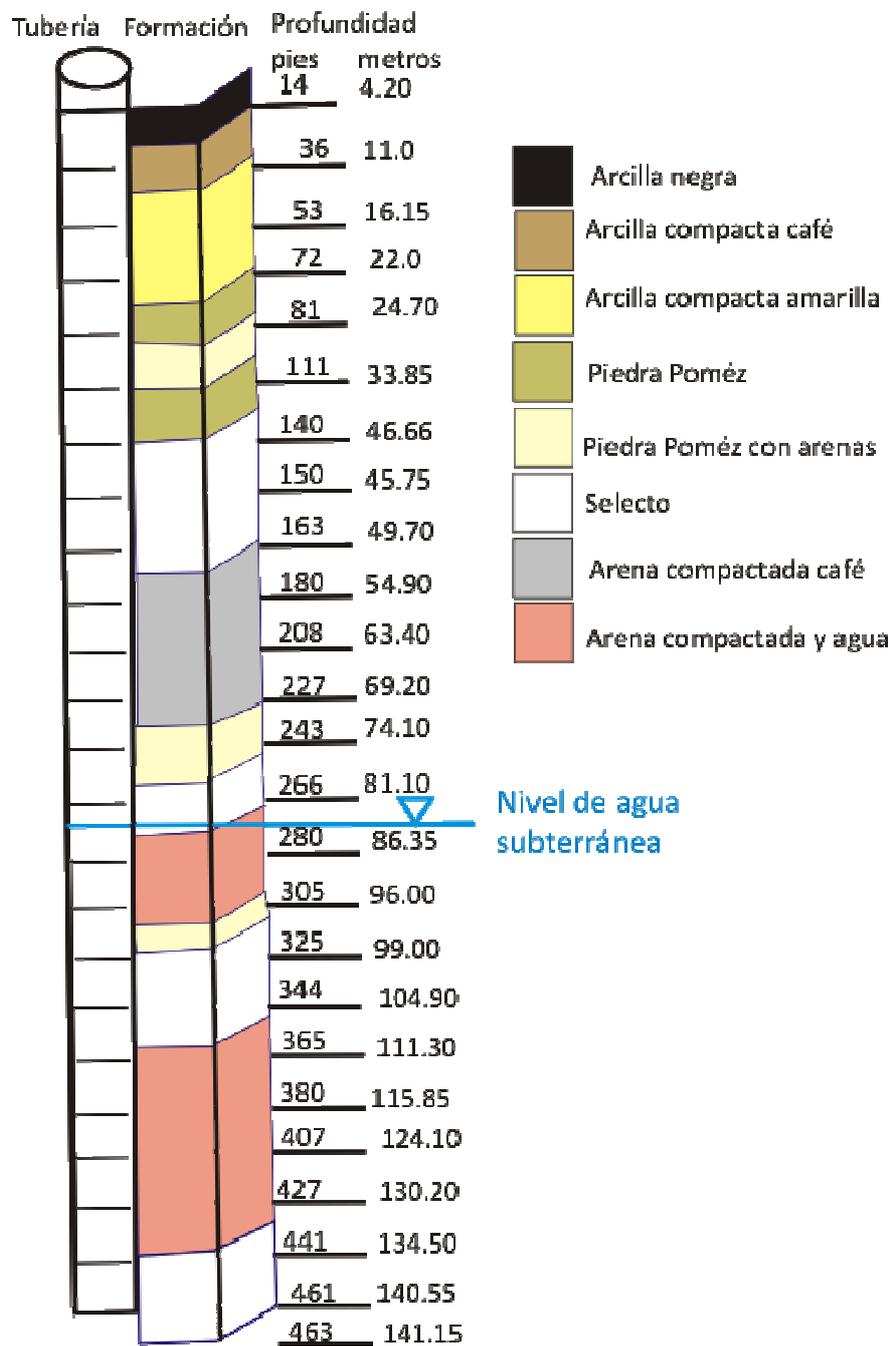


Figura 6. Columna estratigráfica típica del valle de Chimaltenango

Tabla 1. Valores de AB/2 (m) y Resistividades (Ohm.m) de los sondeos eléctricos registrados en el valle de Chimaltenango, Chimaltenango, Guatemala.

AB/2	SEV 1	SEV 2	SEV 3	SEV 4	SEV 5	SEV 6
3	174.2	171.9	1062.5	1375	153.1	168.75
5	86	90	750	800	80	86.7
7.5	64.3	62.85	500	598.7	55	65.7
10	55,9	52,5	480	525	51,25	57.5
15	54.7	46	600	460	49.5	57.5
20	56	47.8	685	400	50	58.75
30	68	53.75	840	323	58.75	66
40	80	60	950	300	65	70
60	80	55	1125	346.2	62.9	66
80	60	55	1000	390	53.75	53
100	54.7	58	1094	455	48	57.5
120	56	56	1244	440	52.5	60
150	56	50	1406.25	470	52.5	57.5
200	50.6	46	1343.75	480	46	55
250			1000	450	45	52.5
300	50	46	840	440	44	52.5
400	50	39.25	686	377	40	41.8
500	45	39.1	562.5	323	38.6	41
650	45	37.7		222	37.2	41
750	43	35		211.1		39.3

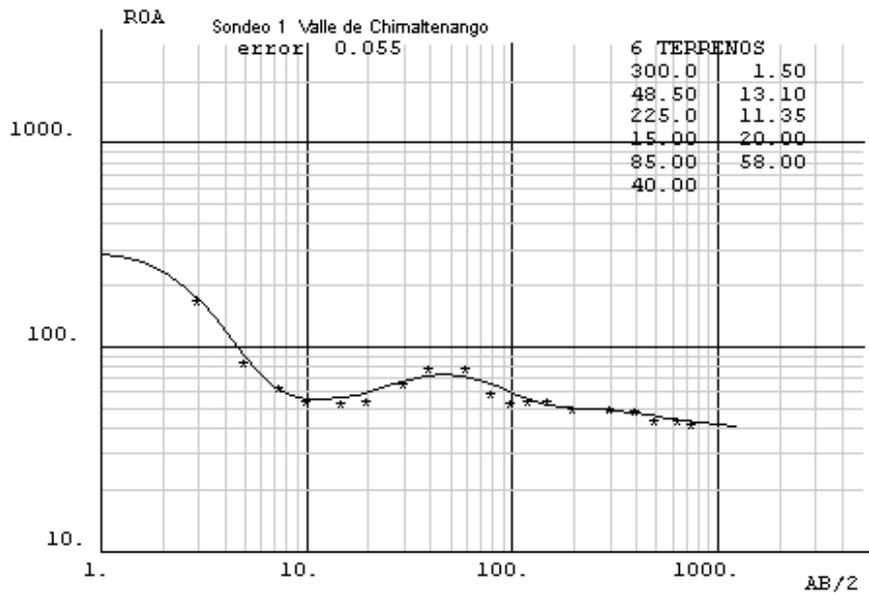


Figura 8. Gráfica de Sondeo Eléctrico Vertical 1

Los espesores asignados y los respectivos valores de resistividad de cada uno de los materiales son:

Tabla 2. Espesores y resistividades aparentes SEV 1

Tipo de material	Espesor (m)	Resistividad (Ohm.m)
Arenas y gravas	1.5	300
Tefras	9.2	46
Andesita	15	120
Andesitas y diamictones	70.6	50
Dacitas	????	45

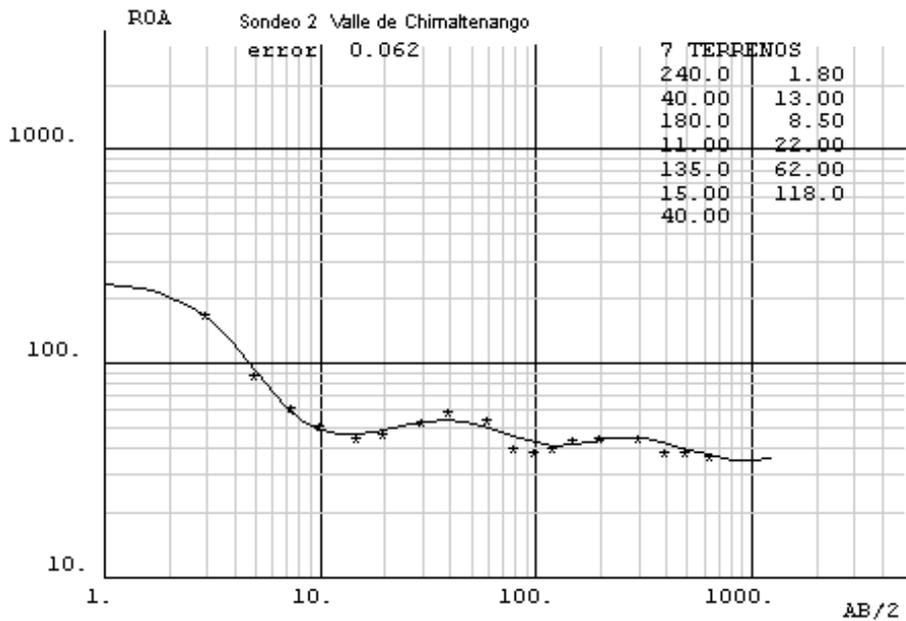


Figura 9. Gráfica del Sondeo Eléctrico Vertical 2

Tabla 3. Espesores y resistividades aparentes SEV 2

Tipo de material	Espesor (m)	Resistividad (Ohm.m)
Gravas	1.55	288
Tefras	26.30	48
Andesita	32	85
Intercalación de pómez	29.50	41
Dacitas	????	40

SEVs 3 Y 4

Para estos sondeos, se asociaron valores de resistividades relativamente altas (1350-2225 Ohm.m) con materiales de Tefra tanto de caídas como estratificadas.

En la zona, es notoria la presencia de materiales de este tipo en la parte superior del subsuelo. En base a los registros de los pozos se asocian valores de resistividades entre 835 a 1380 Ohm.m a materiales que se interpretan como coladas de lavas andesíticas. Posteriormente, se encuentra un estrato de pomez. Las resistividades para este estrato se encuentran entre 300 a 675 Ohm.m. En la parte baja se ubicó un estrato de dacita de espesor desconocido y con resistividad de 150 Ohm.m

Los espesores de cada uno de los estratos van dentro de los intervalos siguientes: Tefra, espesores que van desde 5.70m hasta casi 32.00 m, Andesitas, son variables. Se registran desde 100 m hasta casi 145 m de espesor. Material pomaceo, presenta espesores de 20 m aproximadamente. En la base de la estratificación, existen dacitas, con espesores desconocidos y con una resistividad de 150 Ohm.m

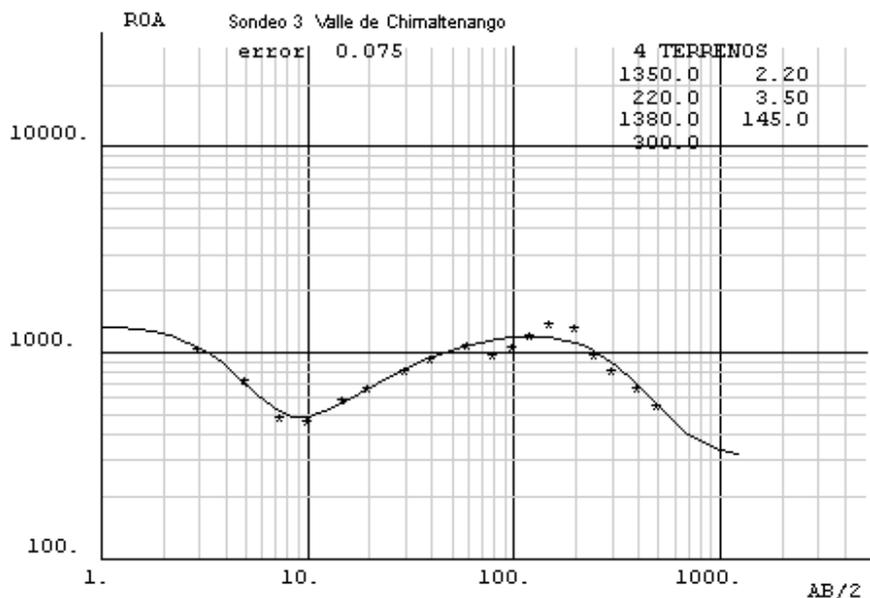


Figura 10. Gráfica del Sondeo Eléctrico Vertical 3

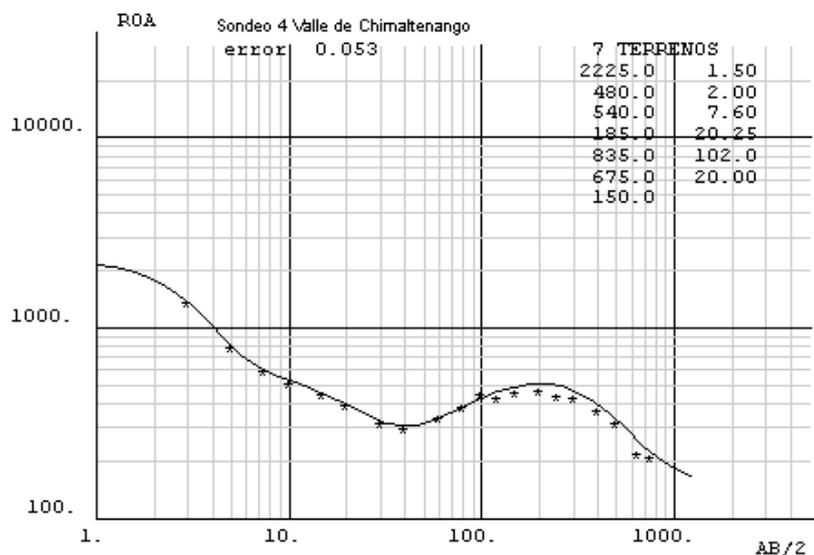


Figura 11. Gráfica del Sondeo Eléctrico Vertical 4

SEVs 5 Y 6

Los materiales geológicos presentes son arenas y gravas, con espesores de 1.5 m y resistividades de 275 – 300 Ohm.m. Se encuentran también Tefras, las que registran resistividades de 44 a 50 Ohm.m y alrededor de 125 Ohm.m. Estas diferencias se asocian con el hecho de que estén formando estratos relativamente sueltos o se encuentren interestratificadas. Este material geológico, tiene un espesor de 25 m aproximadamente.

Posteriormente se encuentran lavas andesíticas con resistividades en la cercanía de los 30 Ohm.m y espesores de 23.5 a 32 m. Siempre de acuerdo a la geología de toda la zona, se encuentra un estrato de pomez con espesores de casi los 70 m y con resistividades cercanas a los 75 Ohm.m. En la base, se encuentran materiales volcánicos dacíticos a los que se les asoció en este caso con resistividades bajas de 33 Ohm.m sin poder especificar su espesor.

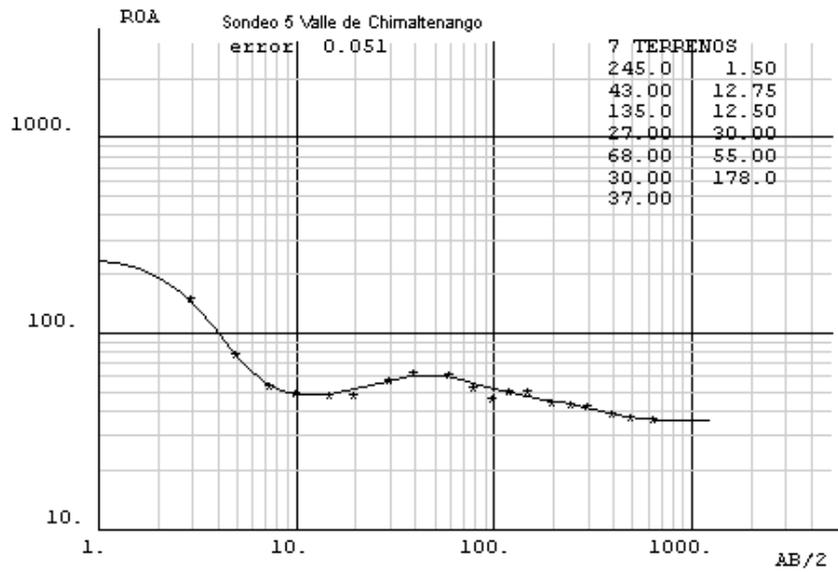


Figura 12. Gráfica del Sondeo Eléctrico Vertical 5

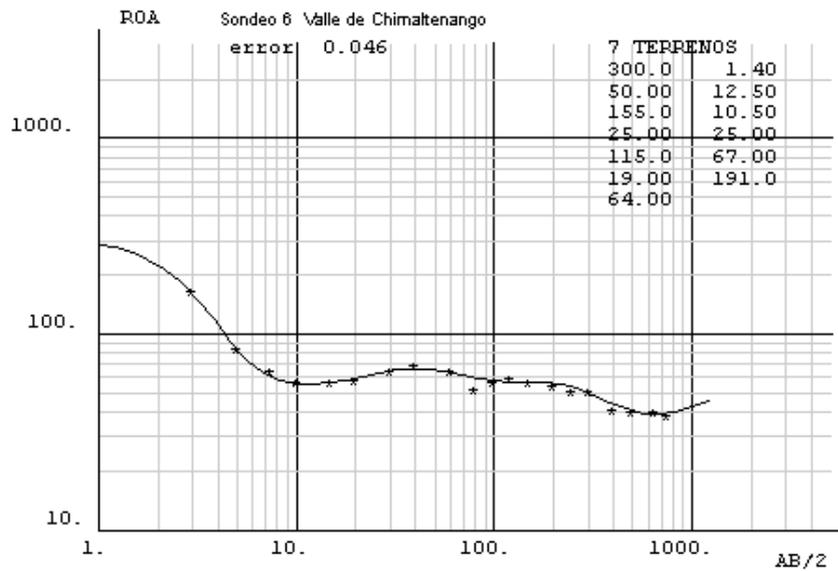


Figura 13. Gráfica del Sondeo Eléctrico Vertical 6

En general, en el valle los materiales geológicos tienen espesores de 1.5 m y resistividades de 250 – 300 Ohm.m. Se encuentran también las que registran resistividades de 50 a 150 Ohm.m. Estas diferencias se asocian con el hecho de que estén formando estratos relativamente sueltos o se encuentren interestratificadas. Este material geológico, tiene un espesor de 50 m aproximadamente. Posteriormente se encuentran resistividades de 68 a 115 Ohm.m y espesores de 55 a 67 m. Manteniendo la geología de toda la zona, se encuentra un estrato con espesores de casi 190 m y con resistividades cercanas a los 25 Ohm.m. En la base se asoció en este caso con resistividades de 35 a 65 Ohm.m sin poder especificar su espesor.

El perfil geoléctrico generado con la información de los SEVs se presenta en la figura 14.

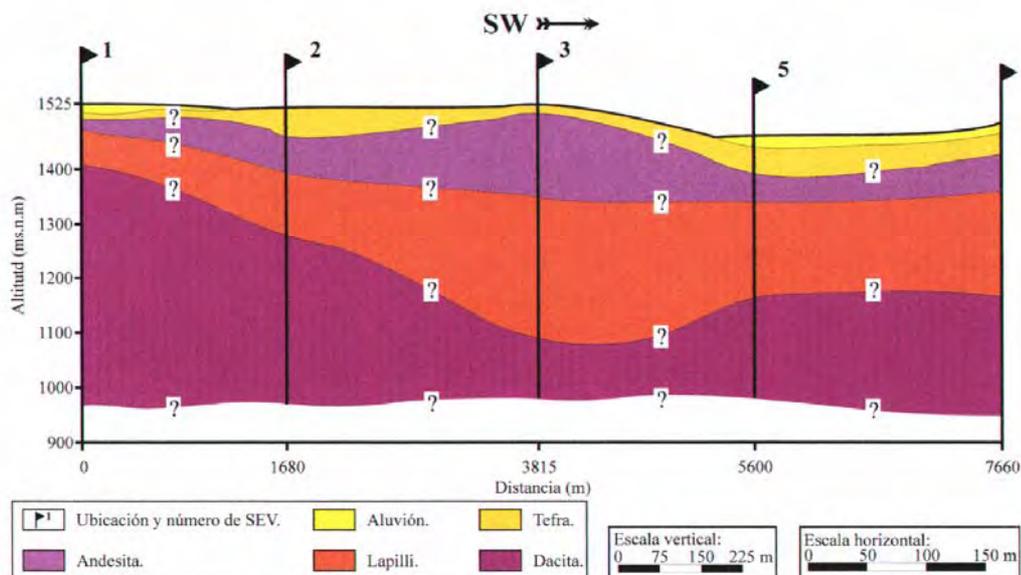


Figura 14. Perfil geoléctrico, resultante de los SEV's

Lavas del Terciario

Esta unidad comprende a todo el complejo eruptivo depositado durante el Terciario Superior, constituido por coladas de lava de variada composición, tobas de diferente grado de consolidación y diversa naturaleza litológica que constituyen una gran cubierta sobre los depósitos cretácicos y/o rocas cristalinas.

Tanto las lavas como las tobas consolidadas, presentan generalmente una intensa fracturación, causada por condiciones de enfriamiento rápido o por actividad tectónica secundaria, que dejan a todo el conjunto un elevado grado de permeabilidad, permitiendo una circulación de agua subterránea notablemente desarrollada. Claramente la fracturación se presenta mas intensa cerca de la superficie y disminuye en profundidad. El espesor fracturado de interés práctico para la circulación de las aguas subterráneas ha sido considerado de no más de 500 metros desde la superficie y probablemente menor (DIRYA, 1991).

En la zona de estudio afloran lavas de composición andesítico-dacítica y basáltica. Los afloramientos son escasos, Sin embargo, su distribución es mayor, localizándose en la mayoría de los pozos perforados en la planicie de Parrámos y El Tejar. Microscópicamente, la roca es de color gris oscuro a gris violáceo, de textura afanítica porfirítica con fenocristales de plagioclasa, anfíboles, cuarzo y clorita, así como piroxeno (Herrera, 1998). En los afloramientos la roca es de color oscuro, de textura afanítica y de forma lajeada.



Fotografía 1. Afloramiento de lavas dacíticas en el río Pixcayá, al norte del valle de Chimaltenango

Al Noroeste de la cuenca del Río Guacalate y sobre las lavas terciarias existe una unidad formada por dacíticas y obsidianas (perlita); se encuentran aflorando en el manantial Xipacay, al Noroeste del valle de Chimaltenango, en los alrededores de San Andrés Itzapa, presentando una textura hipocristalina porfirítica, con fenocristales de plagioclasa, biotita, cuarzo reabsorbido y menos del 1% de magnetita y horblenda, la matriz tiene textura hialina perlítica con pocos cristalitos (Kussmaul, 2002). La edad de la unidad del grupo volcánico terciario, se asume que abarca del Mioceno Superior y el Plioceno (JICA-INFOM, 1995).



Fotografía 2. Afloramiento de rocas dacíticas al norte del valle de Chimaltenango.

Tefras o depósitos piroclásticos cuaternarios

Esta unidad comprende a todos los depósitos piroclásticos sueltos o muy poco consolidados. Estas rocas corresponden con depósitos de pómez interestratificados con diámictones, por lo que son piroclastos de caída y de flujo, denominados en forma general “Depósitos de caída o Tefra”, término definido por Howel (1957), para designar colectivamente a todos los materiales volcánicos clásticos que durante la erupción son expulsados desde un cráter o algunos otros tipos de aberturas y transportados directamente por el aire,

incluyendo ceniza, polvo volcánico, lapilli, escoria, pómez, bombas y bloques. Mientras que el término “Diamictón”, se refiere principalmente a los flujos piroclásticos no clasificados que rellenaron los valles, introducido por Koch y Macklean (1975).

Estas capas de piroclastos se encuentran cubriendo toda la cuenca y se extienden a toda la región del altiplano volcánico. En el área, Koch y Macklean (1977), diferencian dos tipos de tephra, las cuales se encuentran interdigitadas:

- A. La tephra interestratificada con diamictones pomáceos y sedimentos fluvio-lacustres, y
- B. La tephra con pómez gris a blanco y ceniza gris a negra interestratificada con paleosuelos.

Tephra interestratificada con diamictones pomáceos y sedimentos Fluvio- lacustres

Esta unidad se localiza principalmente en la planicie al noroeste de la cuenca del alto Guacalate. Los poblados de Chimaltenango, El Tejar y Parrámos se asientan sobre esta unidad de piroclastos. Litológicamente se compone de sedimentos de pómez blancos y amarillentos, con granos de 0.5 a 8 cm de diámetro, de forma subangular y subredondeada.

En menor porcentaje en esta unidad se encuentran piroclastos de fragmentos líticos grises, cafés y negros, entre 0.5 a 5 cm de tamaño en una matriz fina (arcillosa a limosa). También existe vidrio volcánico, feldespatos y cuarzo de forma subangular y

subredondeada. Esta variación en composición y color hace que en algunas partes tome la apariencia de un lahar (Herrera, 1998).



Fotografía 3. Afloramiento de tefras, al norte del valle de Chimaltenango

Los espesores son de más de 150 m, en el valle de Chimaltenango y El Tejar. En el área de estudio, la unidad se encuentra saturada en gran porcentaje, constituyendo la parte superior del sistema acuífero al Norte de la cuenca, como se observa en los perfiles hidrogeológicos.

Tefra interestratificada con cenizas y paleosuelos

Estas tefras se localizan principalmente en las partes montañosas, al noroeste y al este del valle de Chimaltenango y El Tejar. Siendo materiales volcánicos de color pardo amarillento, compuestos de bloques de andesitas grisáceas entre 5 a 45 cm de tamaño, de forma subangular y subredondeada. La matriz está compuesta de ceniza, lapilli, escoria y pómez blanca con mucho vidrio volcánico, cuarzo, minerales máficos y fragmentos líticos.



Fotografía 4. Tefra interstratificada al norte del valle de Chimaltenango

Esta unidad es de mucha importancia porque constituye en gran porcentaje la Zona No Saturada en las partes altas (montañas). Álvarez (INSIVUMEH-BRGM, 1997) menciona que esta unidad de piroclastos es importante como geopurificadora y por su composición química y mineralógica permite un cribado a nivel molecular, así como, un intercambio iónico con los contaminantes, principalmente metales pesados. La edad asignada a estos materiales es del Pleistoceno-Holoceno (JICA-INFOM, 1995).



Fotografía 5. Contacto entre tefras, bloques de andesitas subredondeados y pómez

Hidrogeología

Unidades hidrogeológicas

En el área de estudio existe un acuífero libre o freático que se encuentra localizado en la cuenca alta del río Guacalate. Desde el punto de vista hidrogeológico las diferentes formaciones litológicas existentes dentro de la región pueden ser agrupadas según las particularidades que permiten dentro de ellas un comportamiento del agua más o menos homogéneo y característico.

Las características hidrogeológicas más importantes son aquellas relacionadas con el régimen de flujo; derivado de la textura y

estructura de la fase sólida del medio subterráneo y de las condiciones de continuidad y carga hidráulica que manifiesta el agua.

Fundamentalmente se presentan dos tipos de estructura: granular con porosidad de intersticios y un medio fracturado con porosidad de fisuras. En el medio granular el flujo es lento y laminar y en el medio fracturado el flujo es rápido y turbulento.

Los límites de circulación o los contrastes en la velocidad de desplazamiento marcan los límites espaciales de cada unidad hidrogeológica (geometría del acuífero), pudiéndose afirmar que la continuidad hidráulica; horizontal y vertical, no es completa dentro de las formaciones geológicas del valle de Chimaltenango, traduciéndose este hecho en la existencia de zonas preferenciales de circulación.

De acuerdo con la geología que se aprecia superficialmente y la información geológica del subsuelo, se definieron las siguientes unidades hidrogeológicas como unidades acuíferas:

- 1) Las rocas volcánicas fracturadas constituidas principalmente por andesitas y en algunos casos ríolitas. Estas se estima que están altamente fracturadas y pueden constituir la zona saturada en mayor porcentaje en profundidad, esta formación geológica no está actualmente explotada, ya que las profundidades de perforación no han logrado sobrepasar los 150 metros.

La unidad acuífera formada por rocas volcánicas fracturadas en términos generales, puede decirse que es

la más importante de las existentes en el Altiplano Volcánico, donde constituye un acuífero muy utilizado y que se encuentra generalmente en condiciones freáticas, y ocasionalmente en condiciones confinadas por capas de lava o de toba no fracturadas o por depósitos cuaternarios impermeables o semipermeables. Esta unidad de rocas fracturadas ofrece mayores producciones de caudales, entre 9,5 a 31,5 l/s (200 y 500 gpm). (VELASQUEZ, 1995).

- 2) Los piroclastos del período Cuaternario, los cuales sobreyacen a las lavas. Estos están constituidos por intercalaciones de diferentes materiales de caída y de flujo, constituye la parte superior de la zona saturada (acuífero) que es explotada actualmente. Este acuífero lo forman depósitos piroclásticos del periodo Cuaternario que cubren a las lavas. Los espesores saturados varían de acuerdo a la elevación de los bloques inferiores de lava. Esta unidad acuífera, es la que predomina en el Valle de Chimaltenango (Chimaltenango y El Tejar), por los depósitos piroclásticos presentes en estas localidades, y presenta producciones relativamente altas de 95 a 113 l/s (1500 a 1800 gpm) (HERRERA, 1998).

El perfil hidrogeológico A-A', con dirección NorOeste-SurEste, se aprecia que las perforaciones efectuadas de pozos de agua subterránea, no son lo suficientemente profundos como para llegar a penetrar las rocas andesíticas que subyacen a las tetras interstratificadas. El nivel de agua estático del agua subterránea varía desde 1800 msnm en la parte Oeste hasta ir descendiendo hasta los 1700 msnm conforme se desplaza a zonas con elevaciones

menores al Este del valle. Las profundidades del agua subterránea a partir del nivel de la superficie van de 65 (200 pies) hasta 85 metros (280 pies). Las profundidades de perforación típica no sobrepasan los 150 m (400 a 450 pies).

La zona saturada está constituida por tefra interestratificada y continua dentro de las lavas del terciario, de naturaleza andesítica y dacítica.

En el perfil hidrogeológico B-B', se aprecia que el espesor de la tefra interestratificada tiende a formar un paquete hacia la parte Norte del valle de más de 200 metros de espesor, la cuales cortada por diferentes quebradas y barrancos, donde aflora el agua subterránea (manantiales), como es el caso del nacimiento Pachipup. Mientras tanto en la parte sur este material presenta espesores de 50 hasta 100 metros, está cortado de igual manera por la depresión que forma el río Guacalate, y otras quebradas y barrancos, tal es el caso del manantial de San Lorenzo El Tejar.

Por lo anterior se puede apreciar que existe una correlación entre la corriente del río Guacalate, de igual manera con el manantial de San Lorenzo El Tejar y los pozos municipales del Hospital Nacional de Chimaltenango y otro que se localiza en La Terminal de buses. Por lo tanto las fronteras naturales horizontales de la zona saturada (agua subterránea), son las mismas que limitan y dan forma al valle en estudio.

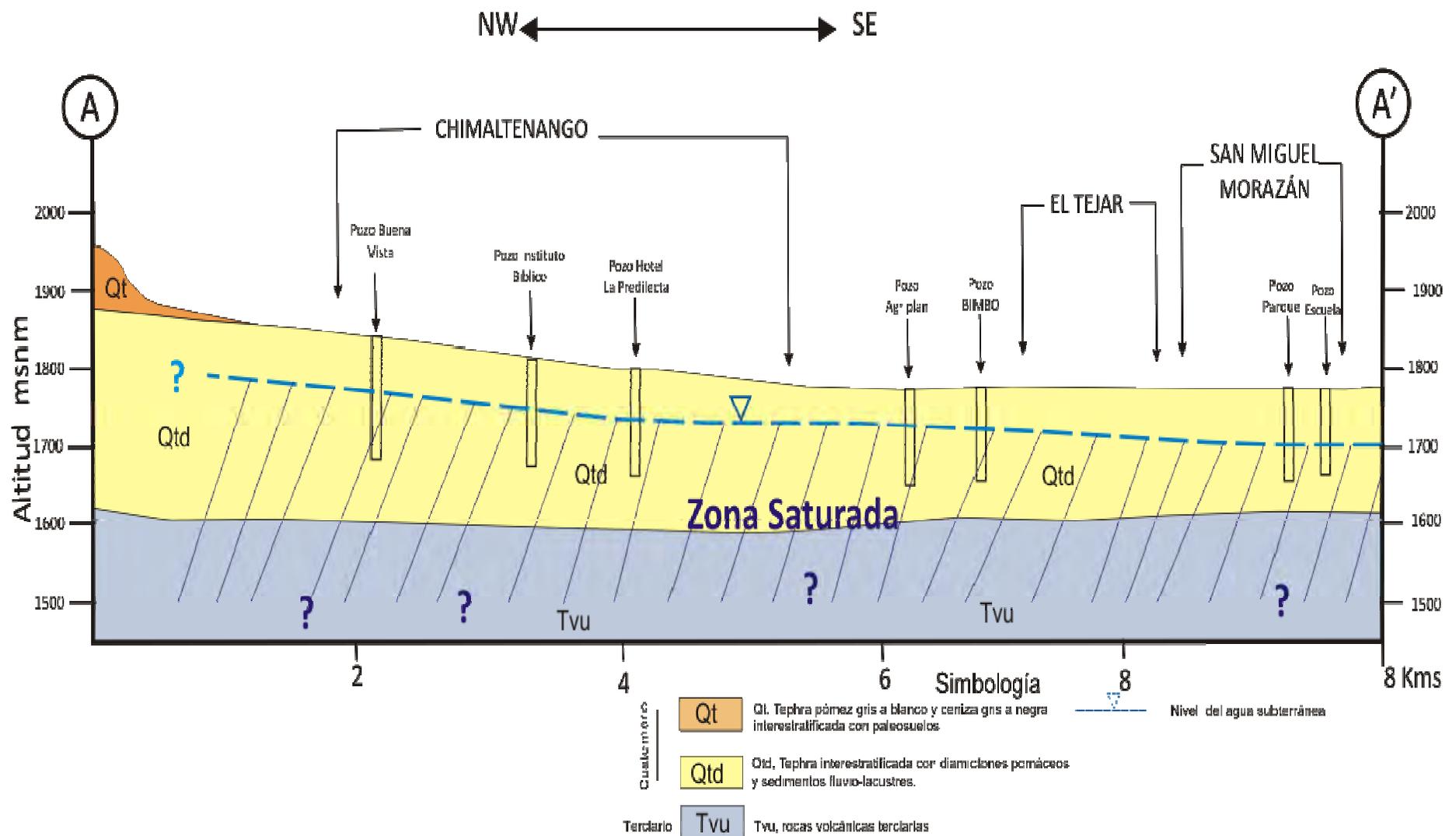


Figura 15. Perfil hidrogeológico A ---A' en dirección Noroeste a Sureste

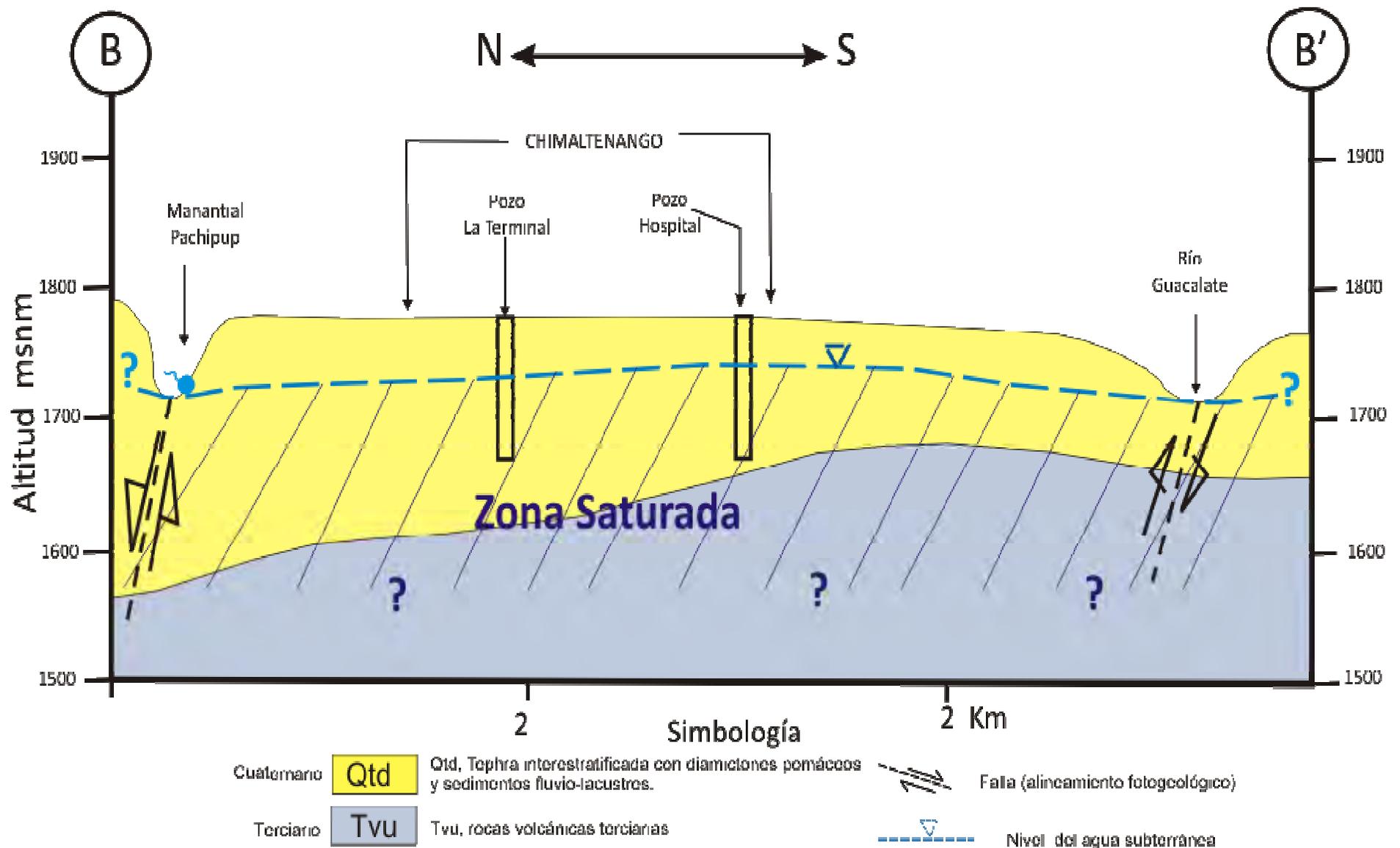


Figura 16. Perfil hidrogeológico B—B', en dirección preferencial Norte-Sur.

Parámetros hidrogeológicos

Transmisividad:

En la prueba de bombeo realizada en la empresa Dong Bang, utilizando el método de Cooper-Jacob, de la gráfica de tiempo-descenso de nivel, se estimó una transmisividad de 7142 m²/día.

Al utilizar el método de Theis en el pozo de observación que se encuentra a 89 metros del pozo de bombeo la transmisividad obtenida fue de 7150 m²/día.

Coefficiente de Almacenamiento:

El coeficiente de almacenamiento se obtuvo a partir de la prueba de bombeo realizada en la empresa Dong Bang, el abatimiento registrado en el pozo de observación situado a 89 metros del pozo de extracción fue de 0.021 metros, obteniendo un coeficiente de almacenamiento (S) de 0.014, por tal razón se ha llegado a determinar que el agua contenida en la zona saturada (acuífero), dentro del valle de Chimaltenango se encuentra a presión atmosférica catalogándose como un acuífero libre.

METODO DE JACOB

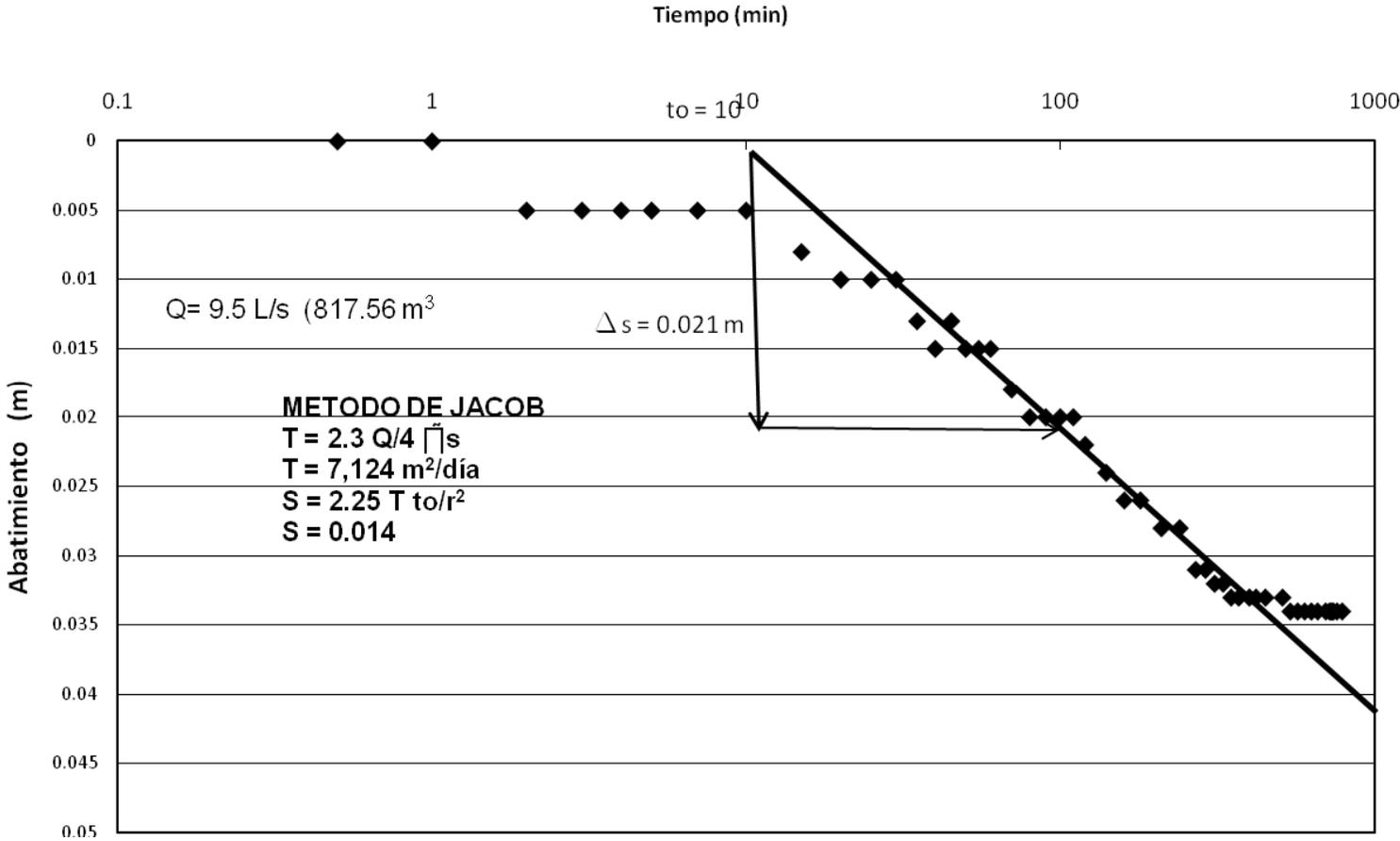


Figura 17. Curva tiempo-abatimiento del pozo de observación empresa Dong Bang

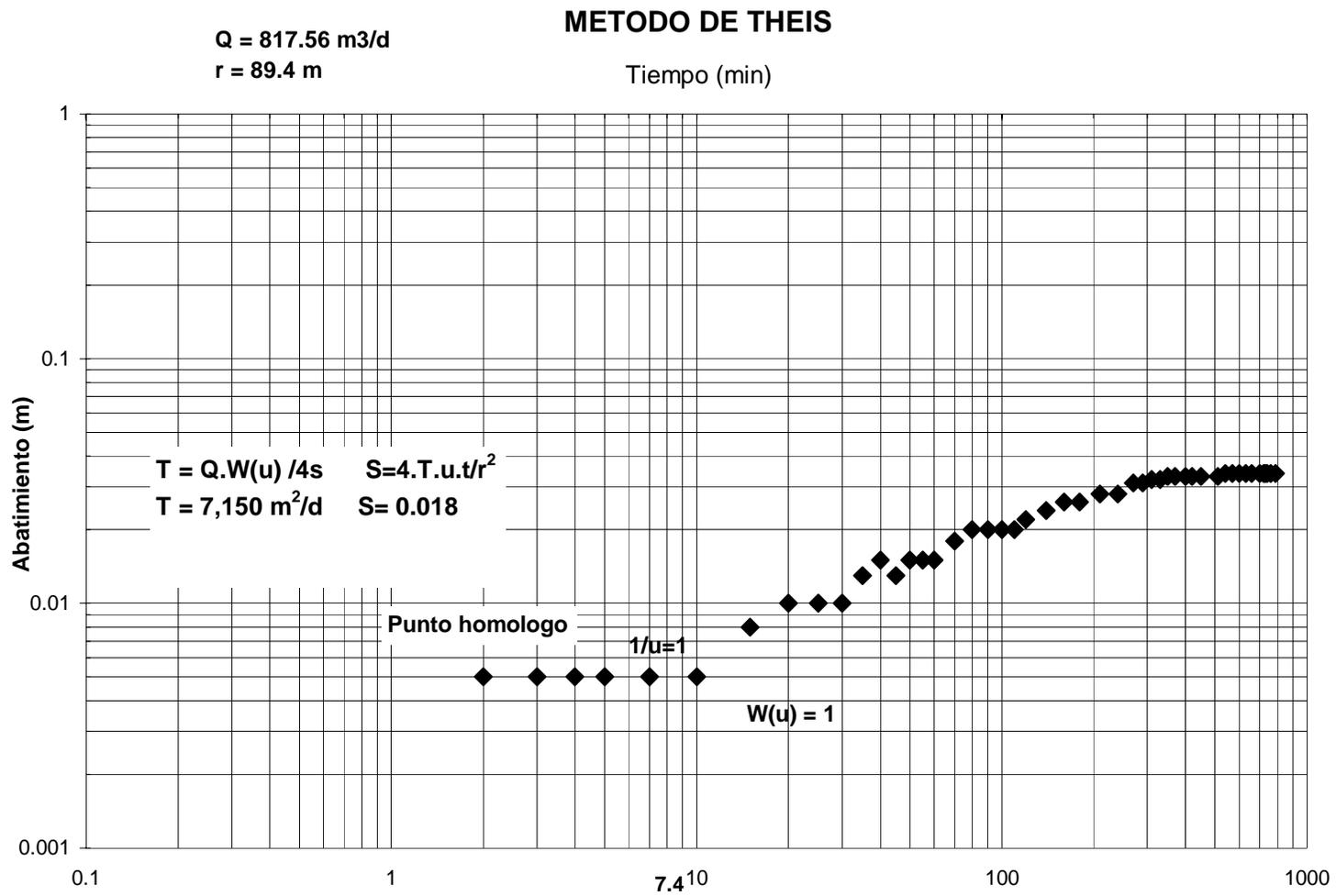


Figura 18 .Curva de tiempo-abatimiento del pozo de observación Dong-Bang

Tabla 4. Datos de abatimiento-tiempo del pozo de observación de la fabrica Dong-Bang

Tiempo (min)	Abatimiento (m)	Tiempo (min)	Abatimiento (m)
0	0	160	0.026
0.5	0	180	0.026
1	0	210	0.028
2	0.005	240	0.028
3	0.005	270	0.031
4	0.005	290	0.031
5	0.005	310	0.032
7	0.005	330	0.032
10	0.005	350	0.033
15	0.005	370	0.033
20	0.008	390	0.033
25	0.010	400	0.033
30	0.010	420	0.034
35	0.010	450	0.034
40	0.013	480	0.033
45	0.015	510	0.033
50	0.015	540	0.033
55	0.015	600	0.033
60	0.015	630	0.034
70	0.018	660	0.034
80	0.020	700	0.034
90	0.020	730	0.034
100	0.022	760	0.034
110	0.022	790	0.0342
120	0.022		
140	00.24		

Caudal: 9.5 L/s (8817.56 m³/día)

Con los resultados de transmisividad se infiere que la matriz de la zona saturada es capaz de transmitir un flujo de agua subterránea de proporciones relativamente grandes, lo que hace que a zona se apta para la explotación de este recurso hídrico

Niveles y movimiento del agua subterránea

Con base en datos recopilados de niveles estáticos del inventario de pozos que se llevó a cabo en el área de estudio (anexo 1), se definieron las isolíneas de niveles del agua subterránea predominantes en el flujo de agua subterránea del valle. En la figura 19, se muestra la ubicación de los pozos medidos en el valle y al mismo tiempo se observa el comportamiento de las isolíneas y dirección de flujo de agua subterránea en el acuífero, con una tendencia general en Noroeste a Sureste. De acuerdo con la dirección de flujo del agua subterránea presente en el acuífero, puede inferirse que el flujo responde a los cambios topográficos superficiales, desde una zona de mayor a menor altura.

Las líneas de flujo de agua subterránea, señalan que las aguas tienden a seguir una divisoria de aguas semejante a la de las cuencas hidrográficas, de tal manera que el valle drena parte de sus aguas subterráneas a las quebradas y riachuelos que se encuentran tanto en el norte del valle (tributarios del río Pixcayá) y de igual manera a quebradas que drenan sus aguas a tributario del río Guacalate al sur de dicho valle.

Para evitar variación por efecto de la topografía, se determinaron los niveles estáticos con respecto al nivel del mar, dando como resultado que los niveles se encuentran entre 1790 a 1700 msnm para el sistema acuífero captado en el valle de Chimaltenango.

Las fluctuaciones estacionales del nivel de agua en el acuífero, varia entre 0.30 a 2.3 metros, los descenso se observan de abril a junio, mientras que los niveles ascienden durante los meses de julio a octubre (Taracena, 1999).

Límites accidentales de la zona saturada

Los límites horizontales que delimitan la zona saturada presente en el valle de Chimaltenango, corresponde en gran medida a los accidentes geográficos que definen dicho valle.

Al norte se extiende unos 2 a 3 kilometros en dirección a la carretera que conduce a San Martín Jilotepeque, a alturas de 1550 a 1600 msnm, mientras que al sur, se extiende por los barrancos y quebradas que limitan al valle, hasta alturas de 1600 a 1700 msnm, teniendo su expresión principal de límite el río Guacalate y el manantial de San Lorenzo El Tejar.

Tanto al Este como al Oeste, la zona saturada se ve limitada por cambios en la formación geológica que los contiene, siempre presentando una tendencia a seguir los límites geográficos del valle de Chimaltenango. Los límites accidentales descritos, se muestran en la figura 20.

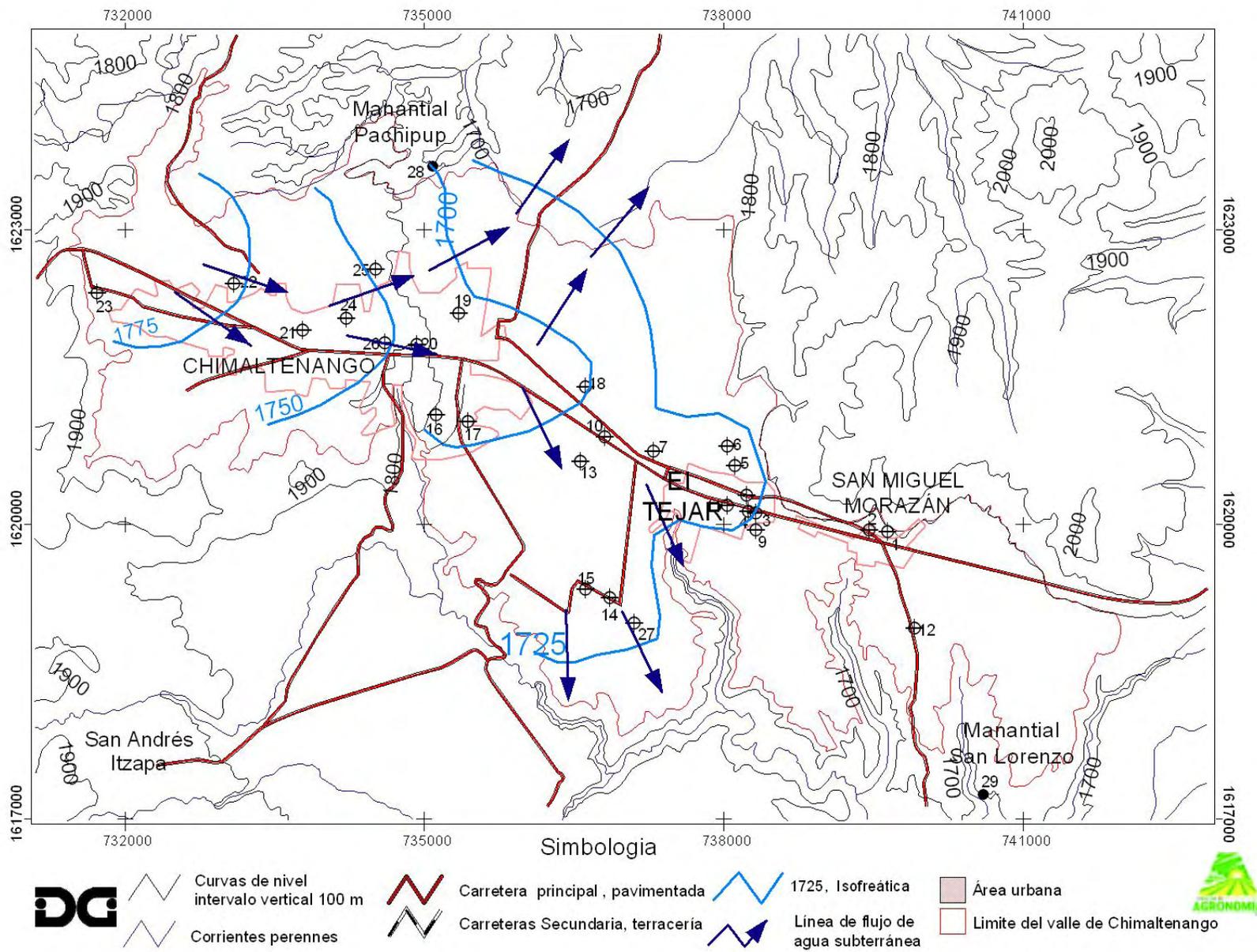


Figura 19. Mapa de isofreáticas y líneas de flujo de agua subterránea.

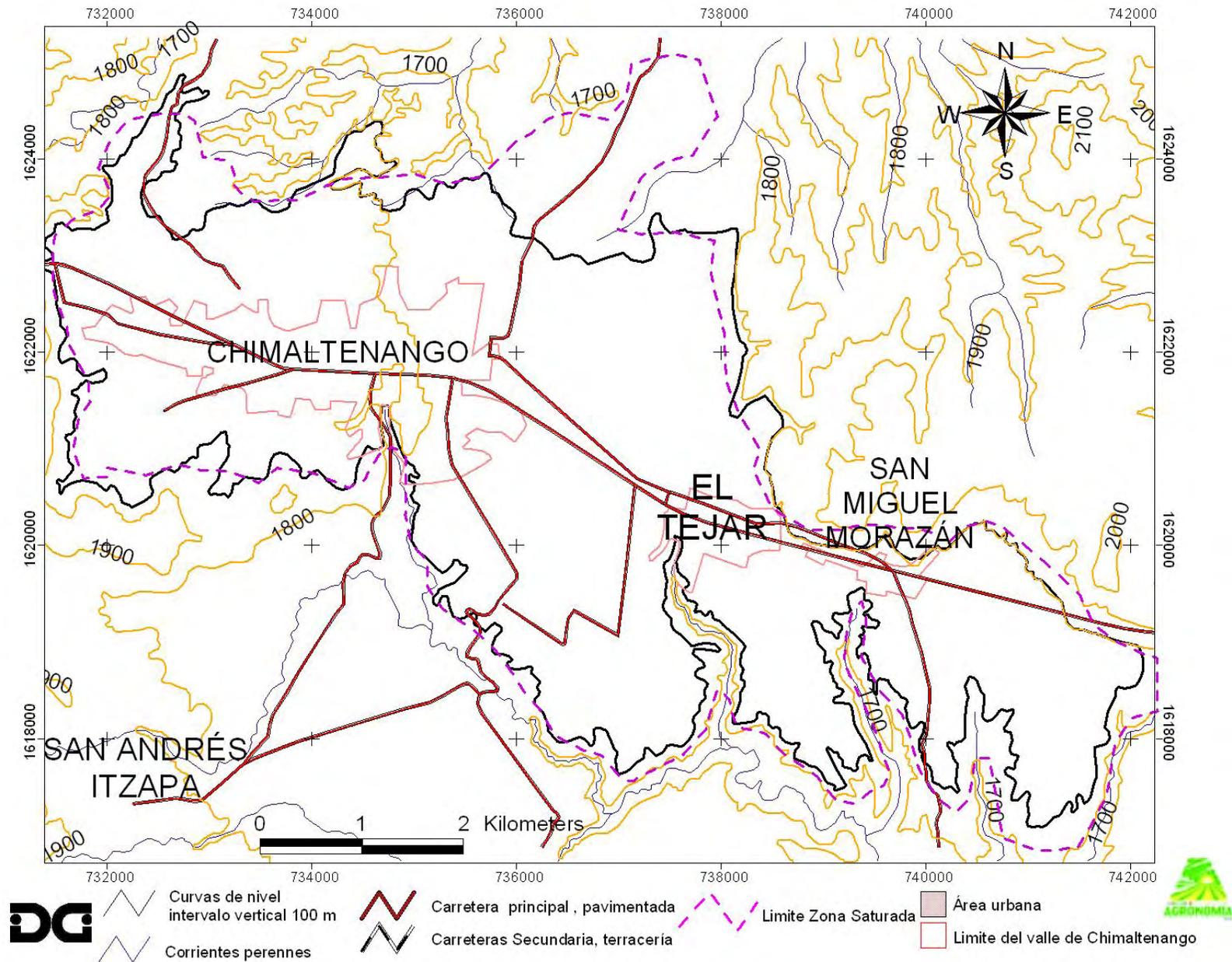


Figura 20. Mapa de límites horizontales inferidos de la zona saturada presente en el valle de Chimaltenango

Explotación actual de las aguas subterráneas

En el área estudiada el agua subterránea es captada por medio de pozos, la mayoría son perforados y con profundidades que varían de 150 a 220 m con diámetros de 0.1524 0.2036 y 0.3048 m (6, 8 y 12 pulgadas) y revestidos con tubería metálica, existiendo algunos pozos excavados que son hechos a mano con diámetros entre 0.8 y 1.0 m y sin revestimiento. Las características y producciones de los pozos en el área se presentan con más detalle en el anexo 1.

En general, la explotación del agua subterránea en la zona de estudio, se da por medio de pozos con caudales que oscilan entre 5 y 30 l/s. El uso principal de la explotación para agua potable, y en menor grado para riego, uso industrial y producción pecuaria. Estos bombeos generalmente no son continuos, los pozos municipales bombean de 16 a 20 horas al día, mientras que los pozos particulares un promedio de 8 a 10 horas.

Con la información anterior, se estimó que el caudal extraído por los pozos inventariados dentro del valle y de acuerdo a su régimen de explotación, sean estos municipales o privados es de 12.350 millones de metros cúbicos por año. Este volumen puede variar, debido a pozos particulares que no se encuentran dentro del inventario, y algunos que no se pudo determinar el volumen de extracción, por tal motivo se tomó un 5% extra del total, para tener una estimación más cercana del caudal real extraído de aproximadamente 13,000 millones de metros cúbicos anuales.

Balance de las aguas subterráneas

La forma adecuada para cuantificar la potencialidad de un sistema acuífero, es comparando los volúmenes totales de la recarga y de la extracción de las aguas subterráneas de forma temporal (anual), con el fin de determinar las reservas potenciales reguladoras, sin tomar en cuenta las reservas permanentes (Castany, 1975) razón por la cual, se realizó un balance hidrogeológico anual de la cuenca a través de un **balance de humedad de suelos**. En el balance se considera el clima, el suelo, la cobertura, la topografía y valores de infiltración de la región.

En este caso la zona, comprende planicies del valle y pequeña partes montañosa del Noreste y Noroeste. Los suelos son de textura franco arcillo arenosa, clasificados como de la serie Tecpán, con cobertura principalmente de Maíz, Frijol, hortalizas y Bosque abierto de coníferas.

Los datos meteorológicos de precipitación y evaporación que se utilizaron son de la estación meteorológica Alameda-ICTA, ubicada dentro del valle a una altitud de 1766 msnm., considerada representativa para el área en estudio. Los datos meteorológicos de esta estación se presentan en el anexo.

Precipitación efectiva

La precipitación efectiva se considera como la porción de la precipitación pluvial que logra infiltrarse en el suelo y que se encuentra disponible para ser utilizada por las raíces de las plantas o para recargar al acuífero (Pacheco, 1981). Existen varios factores que intervienen en la determinación de la precipitación efectiva, principalmente los siguientes: intensidad de la precipitación, la

velocidad de infiltración en el suelo, la cobertura vegetal y la topografía. A partir de estos factores existen diversos métodos para calcular la precipitación efectiva. La infiltración básica de los suelos del área de estudio, se determinó por medio de pruebas de infiltración.

El método utilizado en cada una de las pruebas fue el de Porchet, descrito en Custodio y Llamas (2003) por considerarse de buen grado de precisión y por su versatilidad en el campo. Datos y análisis de una prueba de infiltración representativa se presentan en el anexo.



Fotografía 6. Prueba de velocidad de infiltración por medio del método de Porchet

Para determinar la precipitación efectiva, se utilizó el método desarrollado por Schosinsky (2001), el mismo considera la velocidad de infiltración del suelo como el factor principal que condiciona la cantidad de precipitación pluvial que puede infiltrarse.

El método considera tres aspectos:

- i) Relación entre la infiltración de agua en el suelo y la intensidad de lluvia (K_{fc}) (Fracción que infiltra por efecto de textura del suelo,
- ii) Factor de pendiente del terreno (K_p) (fracción que infiltra por efecto de pendiente y
- iii) Factor de cobertura vegetal (K_v) (fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal).

La suma de cada uno de los factores indica el valor de coeficiente de infiltración para el respectivo suelo e indica la capacidad del mismo a permitir la infiltración dentro de él. Adicionalmente se considera la cantidad de agua de lluvia que retiene la vegetación a través de sus hojas y que se evapora sin llegar al suelo y por consiguiente no se infiltra.

Relación entre infiltración de agua en suelos y la intensidad de lluvia (K_{fc})

La ecuación que relaciona la capacidad de infiltración de agua en el suelo (infiltración básica) con la intensidad de lluvia generada por Schosinsky (2000) es la siguiente:

$$K_{fc} = 0,267 \times \ln (f_c) - 0,000154 \times (f_c) - 0,723$$

Donde:

K_{fc} = Factor de infiltración de agua en el suelo e intensidad de lluvia

\ln = Logaritmo Neperiano (natural)

F_c = Valor de infiltración básica en mm/h

El valor de K_{fc} obtenido es 0.974

Factor de pendiente del terreno (K_p)

Los valores de este factor propuestos por Schosinsky (2000) se presentan en el Tabla 5.

Tabla 5. Valores de coeficientes (K_p) según valores de pendientes.

Valor de pendiente	Coficiente(K_p) propuesto
Muy plana (0,02-0,06%)	0,30
Plana (0,3-0,4%)	0,20
Algo plana (1-2%)	0,15
Promedio (2-7%)	0,10
Fuerte (>7%)	0,06



Fotografía 7. Topografía predominante en el área de estudio

Factor de cobertura vegetal del terreno (Kv)

Este factor, depende de la cobertura vegetal del terreno, los valores que se asignan se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Valores de coeficientes (Kv) según tipo de cobertura vegetal.

Tipo de cobertura vegetal	Coeficiente (Kv) propuesto
Zacate (< 50%)	0,09
Terrenos cultivados	0,10
Con pastizales	0,18
Bosques	0,20
Zacate (>75%)	0,21



Fotografía 8. Terrenos cultivados con hortalizas en el área de estudio

Ecuación de precipitación efectiva

La ecuación de precipitación efectiva (Pef), según Schosinsky (2000) es la siguiente:

$$Pef = (1 - Ki) \times Ci \times P$$

Donde:

Pef = Precipitación efectiva (precipitación que infiltra)

Ki = Valor de retención vegetal (hojas). Para bosque, la retención es de 0.20, para cultivos en general 0.12 y para techos de casas, caminos y áreas construidas es de 0.1 a 0.05

Ci = Coeficiente de infiltración (Kfc + Kp + Kv)

P = Precipitación mensual

El balance hídrico de los suelos se efectuó por medio de una hoja electrónica, que se basa en el método de Penman y Grindley, el cual considera dos formas de estimar la evapotranspiración real con respecto a la evapotranspiración potencial. Variación constante, que considera que las plantas, conservan la misma habilidad de extraer agua, independientemente de la cantidad de agua presente en el suelo, y la variación lineal, que considera que entre más se acerque el contenido de humedad del suelo a valores mínimos, como por ejemplo el punto de marchitez permanente, la dificultad para las plantas de obtener agua por medio de sus raíces aumenta, y que por tal razón, éstas cierran sus estomas, con el fin retener humedad, disminuyendo de esta forma la evapotranspiración.

En este balance hídrico se considera la última situación para evaluar la transpiración real y consecuentemente la recarga hídrica directa al sistema acuífero, ya que se considera que la recarga ocurre, cuando la evapotranspiración real se ha efectuado y el suelo se encuentra en capacidad de campo.

Se asume que la evapotranspiración real, es una fracción de la evapotranspiración potencial considerando los factores de humedad del suelo, siguiendo la relación:

$$ETR = ETP * \left[\frac{(HF + P_{ef} - pmp)}{cc - pmp} \right]$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real

ETP = Evapotranspiración potencial

HF = Humedad del suelo al final del mes anterior o humedad inicial del presente mes (mm)

P_{ef} = Precipitación efectiva del mes (mm)

cc = Valor de humedad de la capacidad de campo del suelo (mm)

pmp = Valor de humedad del punto de marchitez permanente del suelo (mm)

Para el factor suelo, se tomaron en cuenta los parámetros de humedad capacidad de campo y punto de marchitez permanente, que se obtuvieron de los análisis de muestras de suelo de cada uno de los puntos donde se realizaron las pruebas de infiltración, y se han expresado en forma de lámina (cm) a partir de un porcentaje en base a peso seco de la muestra y considerando la densidad del mismo, a través de la siguiente expresión:

$$\text{Humedad (cm)} = \frac{\text{Humedad (\%)} * \text{Profundidad radicular (cm)} * \text{Densidad (g/cm}^3\text{)}}{100}$$

Para el caso del factor cobertura vegetal, se tomo en cuenta el uso actual del suelo, se definieron zonas de recarga y la profundidad radicular se determino de acuerdo con el criterio de Sandoval (1985).

Potencial hídrico

La zona donde se encuentra el valle de Chimaltenango comprende planicies del valle y pequeña partes montañosa del Noreste y Noroeste. Los suelos son de textura franco arcillo arenosa, con cobertura principalmente de cultivos anuales, hortalizas, café y bosque abierto de coníferas. Los datos meteorológicos que se utilizaron registran una precipitación media de 1100 mm/año.

De acuerdo al mapa de uso actual de suelo (Fig. 21) la mayor parte del valle de Chimaltenango presenta actividades de producción agrícola, con un área de 18.77 km² que equivale al 67% del total, los cultivos predominantes son maíz, frijol, hortalizas y algunos viveros de flores, el área urbana de los municipios de Chimaltenango y El Tejar corresponde a un área de 8.15 km² es decir el 29% del total del valle, los bosques, matorrales y cultivo de Café ocupan el resto del área en estudio, con áreas menores a 1 km². Se realizaron pruebas de infiltración en cada una de las unidades de uso de suelo, obteniendo velocidades de infiltración de de 144 a 360 mm/día.

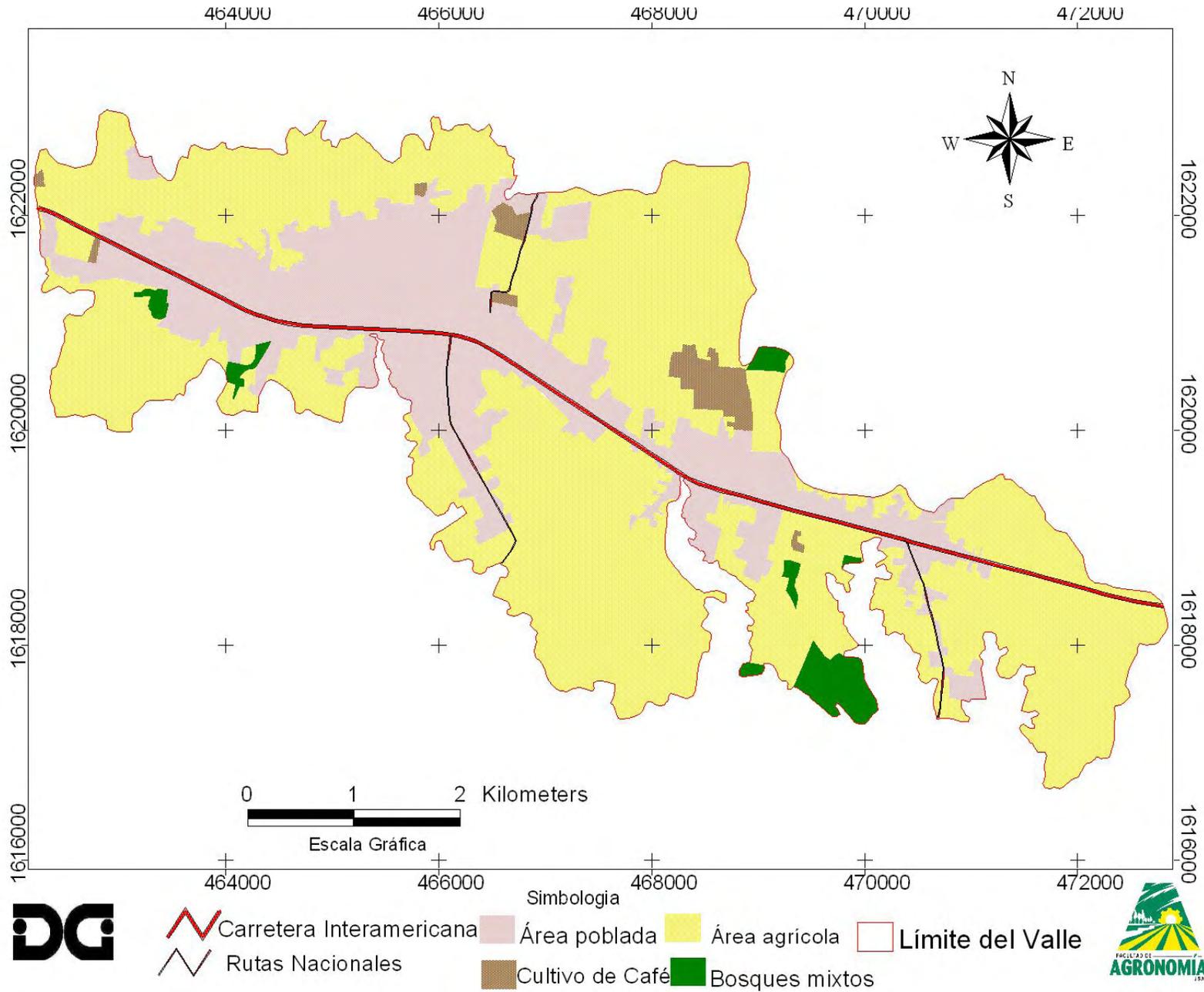


Figura 21. Uso actual del suelo en el valle de Chimaltenango

Con la anterior información se procedió a realizar un balance hídrico de suelos para cada unidad de cobertura, y se obtuvieron diferentes laminas de recarga potencial dentro del valle, las cuales varían de 0.673 a 0.770 m (721.5 mm en promedio), de acuerdo con las cuales aproximadamente 18.3 millones de metros cúbicos de agua de lluvia se presenta como el potencial de recarga natural anual, además de lo anterior, se estimó una recarga lateral de 3.2 millones de metros cúbicos al año, representando un balance anual positivo de disponibilidad de agua subterránea

CONCLUSIONES

- La zona saturada presente en el valle de Chimaltenango, se encuentra a profundidades de 65 a 75 metros a partir de la superficie del terreno predominante plano.
- La zona saturada con agua subterránea está conformada por dos formaciones interconectadas, las tefras interestratificadas con diámictones pomáceos y las lavas volcánicas Terciarias de naturaleza andesítica y dacítica predominantemente.
- Los límites horizontales o superficiales de la zona saturada, coinciden en gran medida con la forma geográfica del valle de Chimaltenango, extendiéndose hacia el norte en dirección de la carretera departamental que conduce a San Martín Jilotepeque, al sur limita con los accidentes geográficos que forman el cauce principal del río Guacalate y sus tributarios. Al Oeste y al Este, se ve limitado por cerros y laderas que lo separan de los valles de Zaragoza y Sumpango respectivamente.
- El agua subterránea en el valle de Chimaltenango drena tanto al norte como al sur, alimentando quebradas y barrancos, que conforman las cuencas de los ríos Pixcaya al norte y el río Guacalate al sur.
- Los parámetros hidrogeológicos determinados indican una zona saturada con mucho potencial para conducir y almacenar el agua subterránea, los valores de transmisividad van de 6,500 a 7,000 m²/día.

- El valor de coeficiente de almacenamiento estimado es 0.014, por lo tanto el agua subterránea se encuentra en una zona saturada o acuífero libre o freático.
- En el valle de Chimaltenango se localiza un sistema acuífero, conformado por las dos formaciones geológicas saturadas, siendo este el que se utiliza como fuente principal de abastecimiento de agua en sus diferentes usos.
- En el valle, se estimó una lamina media de 0.725 m de recarga representando un potencial hídrico anual de 21.5 millones de metros cúbicos. Dicho potencial puede disminuir debido a los cambios de uso de suelo.
- Se ha generado la información básica necesaria para realizar evaluaciones de vulnerabilidad del recurso hídrico subterráneo del valle que conlleven la finalidad de una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH)

RECOMENDACIONES

- Mantener actualizado el inventario de pozos de extracción de agua subterránea por parte de las autoridades municipales, de tal forma que se convierta en un insumo para la correcta planificación del uso de dicho recurso natural.
- Llevar un registro detallado de las características de cada pozo que se perfore en el futuro, tales como profundidad total, nivel estático del agua subterránea, tipo de material encontrado y datos de las pruebas de bombeo realizadas.
- Determinar las zonas de crecimiento urbano de acuerdo a un plan de ordenamiento territorial (POT), de tal forma que se pueda mantener un área adecuada de recarga de agua subterránea dentro del mismo valle de Chimaltenango.
- Realizar un monitoreo constante en el tiempo y en el espacio de las condiciones de la calidad, tanto química como bacteriológica de las aguas subterráneas que se explotan en el área del valle de Chimaltenango.
- Que la información obtenida en esta investigación, sirva de insumo básico para la realización de estudios de vulnerabilidad del recurso hídrico subterráneo de la zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMISIAL, R. A. 1978. Aprovechamiento y modelos de aguas subterráneas. Mérida, Venezuela. Editorial CIDIAT. Serie Hidrología. 75 p.
2. CABRERA, C. 1986. Caracterización de los recursos naturales renovables de la subcuenca del río pensativo. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. 212 p.
3. CABRERA C., A. 1997. Determinación de políticas de explotación de las aguas subterráneas para las aldeas San José Pacul y Pachalí del municipio de Santiago Sacatepéquez, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. 52 p.
4. CASTANY, G. 1975. Prospección y exploración de las aguas subterráneas. Ediciones Omega. Barcelona, España. 738 p.
5. CASTILLO, S. 1989. Análisis y calidad del agua con fines de riego. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agrícolas. 108 p.
6. CRUZ, J. R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala, basada en el sistema de Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.

7. COGUANOR. 1975. Características y especificaciones físicas y químicas para agua potable. Comisión Guatemalteca de Normas. Guatemala.
8. CUSTODIO, E., LLAMAS, R. 2001. Hidrología subterránea. Segunda Edición corregida. tomo I y II. Ediciones Omega. Barcelona, España. 2100 p.
9. DIRECCION DE RIEGOS Y AVENAMIENTO. 1991. Plan maestro de riego y drenaje, disponibilidad de agua subterránea. División de estudios. Guatemala, proyecto PNUD/OSP/Gua/88/003. 71p.
10. FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. 1979. Groundwater. Ed. Prentice. Englewood Cluffs. New Jersey, EEUU. 604 p.
11. GEOCONSA., 1999. Informe hidrogeológico desde el valle de Chimaltenango hasta la población de San Luis Las Carretas. Informe técnico. Guatemala. 43 p.
12. GEOCONSA., 1999. Informe hidrogeológico de la quebrada La Ventanilla, y alrededores de Jocotenango. Informe técnico. Guatemala. 25 p.
13. GEOCONSA., 2000. Informe de estudio de resistividad eléctrica efectuado en área "Alto Guacalate". Informe técnico. Guatemala. 20 p.
14. HERRERA, I. 1984. Levantamiento semidetallado de suelos de la cuenca del río Achíguate (fase I). Tesis Ing. Agr.

Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. 199 p.

15. HERRERA, I. 1995. Manual de hidrología. Primera edición. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. 223 p.
16. HERRERA, I. 1998. Reconocimiento hidrogeológico de la cuenca del río Itzapa, departamento de Chimaltenango, Guatemala. Tesis maestría. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. 152 p.
17. INSTITUTO NACIONAL FORESTAL. 1983. Mapa de clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Geográfico Militar. Escala 1:60000. Color.
18. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 2006. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja cartográfica de Chimaltenango, no. 2059 IV. Guatemala. Escala. 1:50,000. Color.
19. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1996. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja cartográfica de San Juan Sacatepéquez, no. 2060 II. Guatemala. Escala. 1:50,000. Color.
20. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1996. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja cartográfica

de Tecpán, no. 2060 III. Guatemala. Escala. 1:50,000. Color.

21. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1977. Mapa geológico de la república de Guatemala, hoja cartográfica de Chimaltenango, no. 2059 IV G. Guatemala. Escala. 1:50,000. Color.
22. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1981. Mapa geológico de la república de Guatemala, hoja cartográfica de San Juan Sacatepéquez, no. 2060 II G. Guatemala. Escala. 1:50,000. Color.
23. INSIVUMEH. 1978. Informe hidrogeológico del pozo de explotación Dueñas III. Sección de aguas subterráneas. Guatemala. s.p.
24. INSIVUMEH. 1979. Informe hidrogeológico del pozo exploratorio perforado en la zona de San Miguel Dueñas (Dueñas I y II). Sección de aguas subterráneas. Guatemala. s.p.
25. INSIVUMEH. 1981. Informe hidrogeológico del pozo Guacalate (Jocotenango I). Sección de aguas subterráneas. Guatemala. s.p. [Informe interno]
26. INSIVUMEH. 1994. Reconocimiento hidrogeológico en la cuenca del río Guacalate hasta la estación San Luis Las Carretas. Sección de aguas subterráneas. Guatemala. 90 p.

27. JICA-INFOM. 1995. Estudio sobre el desarrollo de las aguas subterráneas en el altiplano central de la república de Guatemala. Informe principal. KOKUSAI KOGYO CO. Guatemala. s.p.
28. KOCH, A., McKLEAN, H. 1975. Pleistocene tephra and ash flow deposits in the volcanic highlands of Guatemala. Geol. Soc. Am. Bull., 86. pp. 529-541.
29. LINSLEY RAY, K., Jr. 1988. Hidrología para ingenieros. 2da. Edición. México, Mc-Graw Hill. 357 p.
30. PACHECO, B.L. 1981. Precipitación efectiva. - Universidad Autónoma de Chapingo. México. 22 p.
31. PENMAN, L. 1984. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings Royal Soc. Series A. Vol 193. p 120-145.
32. SANDOVAL, J. 1985. Principios de riego y drenaje. Primera edición. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. 284 p.
33. SCHOSINSKY, G. & LOSILLA, M. 2000. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. - Revista geológica de América Central. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica. No.23. pp. 44-54.

34. SIMMONS, C.H., TARANO & PINTO. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Traducido por Pedro Tirado Sulsona. Editorial José de Pineda Ibarra. Guatemala. 1000 p.

35. TARACENA H., J. 1999. Determinación de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo y propuestas de políticas y estrategias de uso en la cuenca del río Itzapa del departamento de Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 81 p.

36. VELASQUEZ, E. 1995. Estudio hidrogeológico preliminar del Alto Guacalate. Guatemala. 45 p.

ANEXOS

ANEXO 1. Inventario de pozos de extracción de agua subterránea en el valle de Chimaltenango

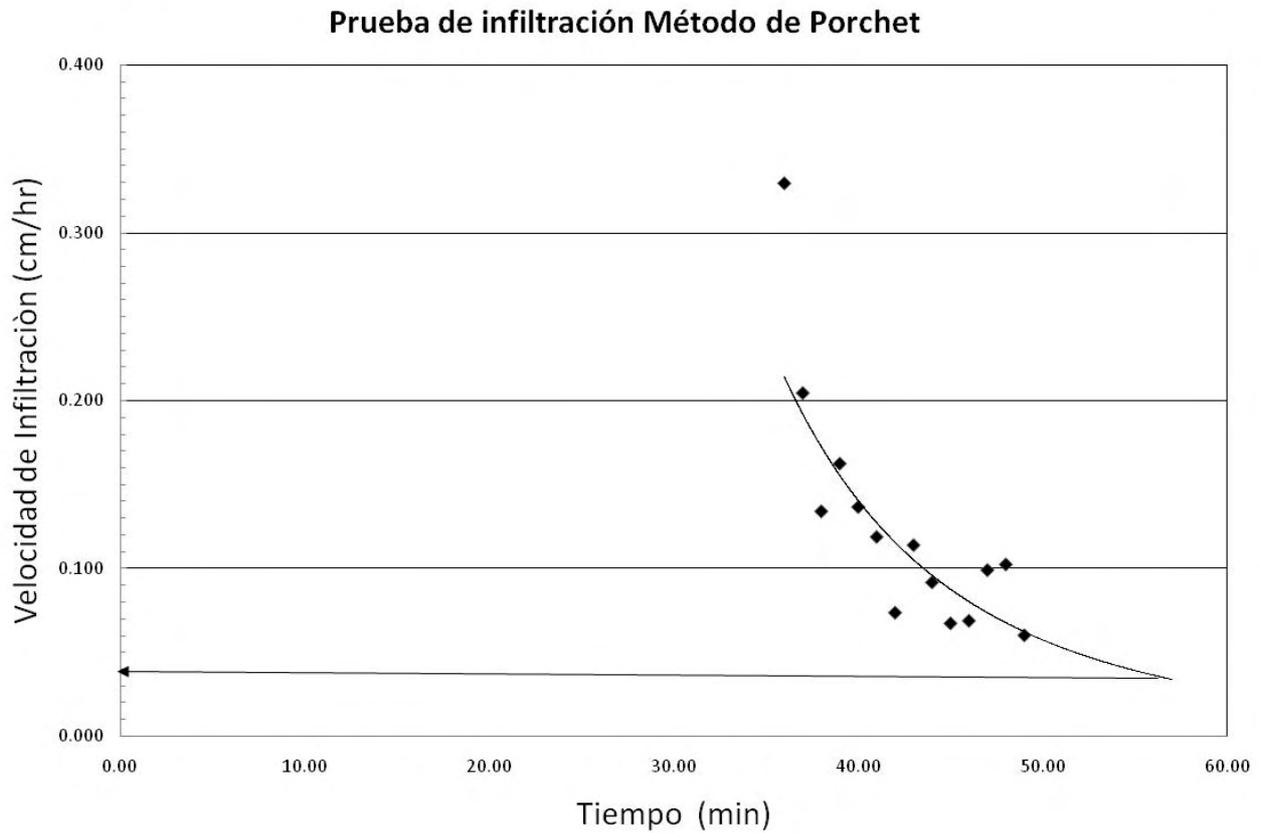
NO_	MUNICIPIO	LUGAR	X (m)	Y (m)	ALTITUD msnm	CAUDAL L/s	NE Bajo superf	NE msnm
1.0	El Tejar	Escuela San Miguel Morazán	739750	1619933	1779	3.40	81	1698
2.0	El Tejar	Parque San Miguel Morazán	739560	1619953	1779	7.32	80	1699
3.0	El Tejar	Fabrica Dong Bang	738400	1620123	1763	5.00	72	1691
4.0	El Tejar	Fabrica Avantex	738320	1620143	1763	6.30	72	1691
5.0	El Tejar	En el pueblo, El Potrerito	738180	1620603	1770	4.70	68	1702
6.0	El Tejar	El Calvario	738100	1620803	1770	4.70	68	1702
7.0	El Tejar	Fabrica BIMBO	737350	1620753	1766	0.32	41	1725
8.0	El Tejar	El Trébol	738300	1620303	1765	4.70	0	0
9.0	El Tejar	Fábrica INAPSA	738400	1619953	1763	29.70	0	0
10.0	El Tejar	Fabrica AGRIPLAN	736850	1620903	1790	4.70	0	0
11.0	El Tejar	Fábrica MALHER	738100	1620203	1765	9.50	0	0
12.0	El Tejar	Residenciales Vista Los Volcanes	740020	1618953	1775	9.00	0	0
13.0	Chimaltenango	DIGESA I	736600	1620653	1767	0.00	46	1721
14.0	Chimaltenango	DIGESA III	736900	1619263	1766	18.00	59	1707
15.0	Chimaltenango	Alameda-ICTA	736650	1619353	1766	17.00	58	1708
16.0	Chimaltenango	Quinta Los Aposentos	735120	1621123	1789	6.00	58	1732
17.0	Chimaltenango	Hospital Departamental	735450	1621053	1785	2.00	55	1730
18.0	Chimaltenango	Quintas Las Victorias	736650	1621403	1775	9.00	45	1730
19.0	Chimaltenango	La Terminal	735350	1622153	1795	15.00	67	1728
20.0	Chimaltenango	Hotel La Predilecta	734920	1621833	1805	7.25	76	1729
21.0	Chimaltenango	Costado Estación de Bomberos	733750	1621983	1825	4.40	64	1761
22.0	Chimaltenango	Buena Vista	733050	1622453	1745	18.90	68	1678
23.0	Chimaltenango	La Pedrera	731650	1622363	1861	18.90	69	1792
24.0	Chimaltenango	Al sureste del parque, La bodega	734600	1621853	1800	14.80	52	1749
25.0	Chimaltenango	4 av. Final z.3, NW del parque	734500	1622603	1810	15.10	68	1742
26.0	Chimaltenango	Instituto Bíblico Guatemalteco	734200	1622103	1825	0.32	61	1764
27.0	Chimaltenango	Fabrica Tierra Fría	737150	1619003	1765	22.10	0	0
28.0	Chimaltenango	Nacimiento Pachipup	735090	1623650	1720	0.00	0	0
29.0	El Tejar	Manantial San Lorenzo	740723	1617266	0	0.00	0	0

ANEXO 2. Datos de campo prueba de infiltración. Método de Porchet

A. PRUEBA DE INFILTRACIÓN METODO DE PORCHET					
SUELOS SEGÚN SIMMONS:		Tecpán	Valle de Chimaltenango		
Radio agujero:	6 cms				
Profundidad de agujero	40 cms				
Longitud	736811.00	Cobertura	Hortalizas		
Latitud	1619196.00				
Altura	1765.00				
	Tiempo (min)	Altura cms	R/2(t2-t1)	$\ln^2 \frac{h_1+r}{2h_2+r}$	f (cms/hora)
	0	40.00	3	0.274	0.821
	1.00	29.70	3	0.073	0.219
	2.00	27.40	3	0.126	0.378
	3.00	23.80	3	0.090	0.269
	4.00	21.50	3	0.029	0.087
	5.00	20.80	3	0.052	0.155
	6.00	19.60	3	0.027	0.081
	7.00	19.00	3	0.037	0.111
	8.00	18.20	3	0.038	0.115
	9.00	17.40	3	0.045	0.135
	10.00	16.50	1.5	-0.791	-1.186
	12.00	40.00	3	0.012	0.035
	13.00	39.50	3	0.375	1.126
	14.00	26.20	3	0.067	0.202
	15.00	24.30	3	0.060	0.181
	16.00	22.70	3	0.048	0.143
	17.00	21.50	3	0.037	0.112
	18.00	20.60	3	0.043	0.130
	19.00	19.60	3	0.027	0.081
	20.00	19.00	3	0.037	0.111
	21.00	18.20	3	0.029	0.086
	22.00	17.60	3	0.035	0.104
	23.00	16.90	3	-0.770	-2.311
	24.00	40.00	3	0.235	0.705
	25.00	31.00	3	0.086	0.258
	26.00	28.20	3	0.073	0.219
	27.00	26.00	3	0.049	0.148
	28.00	24.60	3	0.052	0.156
	29.00	23.20	3	0.039	0.117
	30.00	22.20	3	0.032	0.097
	31.00	21.40	3	0.042	0.126
	32.00	20.40	3	0.035	0.104
	33.00	19.60	3	0.022	0.067
	34.00	19.10	3	0.028	0.083
	35.00	18.50	3	-0.504	-1.513
	36.00	32.60	3	0.110	0.329
	37.00	28.90	3	0.068	0.204
	38.00	26.80	3	0.045	0.134
	39.00	25.50	3	0.054	0.162
	40.00	24.00	3	0.045	0.136

	41.00	22.80	3	0.040	0.119	
	42.00	21.80	3	0.024	0.073	
	43.00	21.20	3	0.038	0.114	
	44.00	20.30	3	0.031	0.092	
	45.00	19.60	3	0.022	0.067	
	46.00	19.10	3	0.023	0.069	
	47.00	18.60	3	0.033	0.099	
	48.00	17.90	3	0.034	0.102	
	49.00	17.20	3	0.020	0.060	
	50.00	16.80	-0.06	1.887	-0.113	

ANEXO 3. Análisis de Prueba de infiltración en el valle de Chimaltenango



ANEXO 5. Descripción de los registros litológicos de los pozos utilizados en la interpretación de los sondeos eléctricos verticales.

SEV 1 Y 2.

Pozo No. 5

<i>Profundidad (m)</i>	<i>Descripción litológica</i>
0 - 2	Arenas y gravas
2 - 9	Tephra constituida por pómez blanco, anguloso con arena negra andesítica (10%).
9 - 25.5	Andesita con fenocristales de plagioclasa y máficos.
25.5 - 74	Pómez y ceniza de naturaleza andesítica, ceniza negra cuarzosa, limo - arcillosa.

Pozo No. 10

<i>Profundidad (m)</i>	<i>Descripción litológica</i>
0 - 12	Tephtras, constituidas principalmente de lapilli pomáceo color blanco, fibroso, redondeado a subredondeado. Arena muy gruesa de naturaleza andesítica color gris a negro; suelta con arena cuarzosa fina.
12 - 23.5	Andesita con coloración negra a gris, estrato suelto con ceniza gruesa color negro.
23.5 - 92	Material pomáceo y ceniza color negro.
92 - 165	Dacita, gris clara con plagioclasas, biotita y anfíboles. Textura fluidal y granular.

Pozo No. 14

Profundidad (m)	Descripción litológica
0 – 1.8	Grava y cantos rodados
1.8 –38	Tephra con cenizas y paleosuelos. Tephra interestratificada con diamictón pomáceo y sedimentos fluviales color gris claro.
38 – 73 m	Lava andesítica y andesitas color gris oscuro a gris claro. Presencia de plagioclasas con fenocristales de baja densidad. Fragmentos de color café rojizo y gris verdoso.
73 – 120	Material volcánico gris oscuro, compuesto de fragmentos líticos, escorias de andesita, pómez y feldespatos de forma angular y subangular. Relleno piroclástico, existe poco retrabajamiento por acción fluvial.
120 – 240	Dacitas de tamaño grava y arena, subangulares y subredondeados, rojos y negros.

SEV 3 Y 4.**Pozo No. 19**

Profundidad (m)	Descripción litológica
0 – 4.70	Tephra mixta. Pómez gris, arena andesítica. Estrato suelto y bien graduado. Arena volcánica, predominantemente basáltica (meteorizada)
4.70 – 12	Andesita con fenocristales de plagioclasa. Presenta fracturación y meteorización equigranular. Presenta interticios. Andesita sana con buena fracturación.

12 – 150 Pómez color blanco en matriz limo-arcillosa de color negro.

SEV 5 y 6.

Pozo No. 22

Profundidad (m)

Descripción litológica

1 – 1.9

Arena gruesa y gravas

1.9 – 33.5

Tephra. Pómez gris a blanco. Ceniza gruesa.

33.5 - 51.8

Lavas (basaltos – andesitas)

51.8 – 110

Pómez

ANEXO 6. Datos climatológicos

Precipitación mm
Estación Alameda-ICTA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	0	2.7	1.7	21.1	80	257.5	137.4	91.4	0	76.7	32.9	0.4	701.8
1991	2	0	0	7.6	233.7	226.3	46.2	67.2	182.1	82.9	8	35.6	891.6
1992	0.2	0	23.8	24.2	33.1	148.7	91.9	84.8	174	162.7	7.4	23.5	774.3
1993	0	0	1.2	17.7	334.7	69.1	81	217.5	54	107.1	3.7	0	886
1994	9.7	2.4	4.8	23.5	171.1	165	95.4	213.6	117.8	77.6	9.6	6.1	896.6
1995	0	0	23.5	46.5	94.6	267.6	149.2	149.3	232.9	126.1	3.5	30.6	1123.8
1996	6.7	0	0	91.9	143.9	211.2	286.1	139.2	227.2	81.6	23.9	27	1238.7
1997	0	5	0	17	79.5	210.5	88	80.2	288.9	98.1	49.5	8	924.7
1998	0	0	2	0	116	206.5							324.5
1999	0.0	0	0	0	0	320.4	277.7	119	285.3	--	14.7	16.3	1033.4
2000	0.3	--	--	--	--	--	--	115	136.9	39.3	0	38.2	329.7
2001	0	4.9	0	17.9	232.8	66.9	209.4	172.9	225.3	90.7	12.2	1	1034
2002	25.5	2.8	1	0	92.9	220.9	176.4	68.1		90.9	51.1	0.4	730
2003	3.6			35.5	157.8	280.9	162						
	3.7	1.5	4.8	23.3	136.2	204.0	138.5	126.5	174.9	94.0	18.0	15.6	

Evaporación de tanque mm
Estación Alameda-ICTA

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	3.5	3	5.5	5.7	5	4.5	4.8	4.1		3.7	3.2	2.9	5
1991	3.1	4.6	5.9	5.2	8.5	4.5	4.3	3.9	3.7	2.7	3.1	2.9	5
1992	3.3	4.6	5.4	5.3	4.4	3.9	4.2	4.1	3.2	3.1	2.8	3.7	4
1993	3.6	4.7	4.8	5.1	4.3	5.6	4.4					3.1	5
1994	3.2	4.1	5.2	4.7	5.2	4.3	4.2	3.3	3.9	3.6	2.8	3.1	4
1995	3.3	4	5.4	5.7	5.5	7.5	4	4	5.8	4.4		2.9	5
1996	3.5	4.1	5	6	5.6	5	5	3.7	3.8	3.6	3	3.4	5
1997	3.5	3.6	5	5.5	5.3	4.4	5	4	6.1	3.8	2.4	2.6	5
1998	2.6					4.4							4
2001	5.1	4.8	6	2.5	7	5	5.3	6.4	5.1	4.7	4.4	4.2	5
2002	5.2	5.3	6.5	7	5.1	5.4	5	4.3		4.3	4.2	3.8	5
2003	3.9			6.1	5.3	4.6							
	3.7	4.3	5.5	5.3	5.6	4.9	4.2	4.2	4.0	3.8	2.9	3.6	5.8
	2.9	3.4	4.4	4.3	4.5	3.9	3.4	3.4	3.2	3.0	2.3	2.9	4.6

ANEXO 7. Lista de todos los integrantes del equipo de investigación

Nombre	Categoría	No. De Personal	Pago SI NO	Firma
Ing, Eugenio O. Orozco y Orozco	Coordinador de proyecto	14671	NO	
Ing, Julio Taracena	Investigador	950840	SI	
Br. Alva Montiel	Auxiliar de Investigación I	20080977	SI	