

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
MAESTRIA EN CIENCIAS Y TECNOLOGIA DEL RECURSO HIDRICO**

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a crown on top, flanked by two lions. The shield is set against a background of a globe. The text "UNIVERSITAS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALIS" is written around the perimeter of the seal.

**RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LA ZONA URBANA DEL  
MUNICIPIO DE QUETZALTENANGO, DEPARTAMENTO DE  
QUETZALTENANGO**

**PREVIO A OPTAR EL GRADO ACADEMICO  
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DEL RECURSO HIDRICO**

**DAGOBERTO ALFREDO BAUTISTA JUÁREZ**

**Carnet No. 100030930**

**QUETZALTENANGO, JUNIO 2014**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE  
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**AUTORIDADES**

**RECTOR MAGNIFICO  
SECRETARIO GENERAL**

Dr. Carlos Estuardo Gálvez Barrios  
Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

**CONSEJO DIRECTIVO**

**DIRECTORA GENERAL DEL CUNOC** M Sc. María del Rosario Paz Cabrera  
**SECRETARIO ADMINISTRATIVO** M Sc. Cesar Haroldo Milian Requena

**REPRESENTANTE DE CATEDRATICOS**

Dr. Oscar Arango Benecke  
Ing. Edelman Monzón López

**REPRESENTANTES DE LOS EGRESADOS DEL CUNOC**

Dr. Luis Emilio Búcaro

**REPRESENTANTES DE ESTUDIANTES**

Br. Luis Ángel Estrada  
Br. Edson Amézquita

**DIRECTORA DEL DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS**

M Sc. Silvia Recinos Cifuentes

## **TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS**

**Presidenta:** M Sc. Silvia Recinos Cifuentes

**Secretario:** M Sc. Edgar Benito Rivera García

**Coordinadora:** M Sc. Mirna Santiago Montes

**Examinador:** M Sc. Israel Mauricio Reyna

### **Asesor de Tesis**

M Sc. Jorge Mario Ordoñez Cifuentes

**NOTA:** Únicamente el autor es responsable de las doctrinas y opiniones sustentadas en la presente tesis (artículo 31 del Reglamento de Exámenes Técnicos y Profesionales del Centro Universitario de Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala).



Quetzaltenango, 30 de mayo 2014

Respetable:

Consejo académico de posgrados  
Departamento de estudios de Postgrado  
Centro Universitario DE occidente  
Edificio Administrativo CUNOC

En seguimiento al acta No. 005-2012 inciso 3.1 y subinciso 3.1.3 de sesión celebrada por el Consejo Académico de Postgrados del Centro Universitario de Occidente, de fecha treinta y uno de mayo de dos mil doce, donde se me nombra como ASESOR DE LA TESIS DENOMINADA **RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE QUETZALTENANGO, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO** DEL INGENIERO DAGOBERTO ALFREDO BAUTISTA JUÁREZ, estudiante de la Maestría Ciencia Y Tecnología del Recurso Hídrico, con número de Carne 100030930

Por este medio ante ustedes en mi Calidad de asesor manifiesto lo siguiente:

- Se analizo y respeto el criterio del autor durante el proceso. Considerando que la Tesis asesorada llena los requisitos que exige la Universidad de San Carlos.

Por lo anterior expuesto emito **DICTAMENE FAVORABLE**, para que el trabajo en referencia siga el trámite respectivo

Deferentemente

**"ID, Y ENSEÑAD A TODOS"**

Msc. Ing. Jorge Mario Ordoñez Cifuentes  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA SANITARIA

Ingeniero CIVIL  
Colegiado No: 4,394

Asesor

Msc. Ing. Jorge M. Ordoñez C.  
Ingeniero Civil y Sanitario  
Colegiado No. 4,394



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
**Centro Universitario de Occidente**  
**Departamento de Estudios de Postgrado**



**Secretaria**

ORDEN DE IMPRESIÓN POST-CUNOC-009-2014

La Infrascrita Directora del Departamento de Estudios de Postgrado del Centro Universitario de Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de tener a la vista el dictamen correspondiente del asesor y la Certificación del acta No. 033-14 de fecha 20 de junio de 2014, suscrita por los Miembros del Tribunal Examinador designados para realizar Examen Privado de la Tesis Titulada **“Reconocimiento hidrogeológico de la zona urbana del municipio de Quetzaltenango, Departamento de Quetzaltenango”**, presentada por el maestrante **Dagoberto Alfredo Bautista Juárez** con número de carné **100030930**, previo a conferírsele el título de **Maestro en Ciencias en Ciencia y Tecnología del Recurso Hídrico**, **autoriza** la impresión de la misma.

Quetzaltenango 20 de junio de 2014.

**IMPRIMASE**

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

*M. Sc. Silvia del Carmen Recinos Cifuentes*  
Directora



cc. Archivo

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS Y A MI FAMILIA**

Dedico el éxito y la satisfacción de esta investigación a Dios quien me regala los dones de la Sabiduría y el Entendimiento, a mi familia quienes siempre han estado conmigo y me han brindado su apoyo y amor incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Me complace de sobre manera a través de este trabajo exteriorizar mi sincero agradecimiento a la División de Ciencia y Tecnología y a la Universidad de San Carlos de Guatemala puesto que con sus distinguidos docentes quienes con su profesionalismo y ética forman día a día profesionales con enfoque social y humanístico en pro del agro guatemalteco, de la conservación y aprovechamiento racional de los recursos especialmente en la materia que nos atañe el recurso hídrico.

Asimismo expreso mi agradecimiento a la FUNDACIÓN HOLANDESA PARA LA EDUCACIÓN SUPERIOR NUFFIC que en parte financió mis estudios al beneficiarme con una Beca parcial lo que coadyuvó a que pudiera realizar los cursos de la presente maestría.

## INDICE

	Pág.
1. Introducción	1
1.1 Planteamiento del Problema	2
1.2 Justificación de la Investigación	3
1.3 Objetivo General	4
2. Marco Teórico (Antecedentes teóricos):	5
2.1 Recarga Hídrica	5
2.2 formaciones acuíferas	7
2.3 Agua Subterránea	13
2.3.1 Importancia del Agua Subterránea	13
2.3.2 Distribución del Agua Subterránea	13
2.3.3 Movimiento de la Humedad del Suelo	14
2.3.4 Manifestaciones Exteriores del Agua Subterránea	15
2.3.5 Los Sistemas de Flujo	16
2.4 Ciclo Hidrológico	17
2.4.1 Influencia del Hombre en el Ciclo Hidrológico	18
2.5 Características de los acuíferos	18
2.6 Regiones Hidrogeológicas de Guatemala	21
2.7 Identificación y Mapeo de Áreas de Recarga Hídrica	25
2.8 Mapa Geológico	25
2.9 Estratigrafía	25
2.10 Orígenes del Agua Subterránea	27
2.11 Descarga de Aguas Subterráneas	27
3. 1. Marco conceptual metodológico	28
3.1 Investigación de campo y documental	28
3.2 Metodología	28
4. Delimitación espacial y temporal	35
5. Discusión y análisis de resultados	36
6. Conclusiones	123
7. Recomendaciones.	140

8. Bibliografía	141
-----------------	-----

## **ANEXOS**

Figura 36	Mapa delimitando la zona de estudio del área urbana de la ciudad de Quetzaltenango.	143
-----------	---	-----

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura	Descripción	Pág.
1	Acuífero No Confinado o Libre	9
2	Acuíferos Confinados o Artesianos	11
3	Nivel Piezométrico y Tipos de Pozos	12
4	Acuífero Colgado	12
5	Liberación de Agua en un Acuífero Confinado	21
6	localización de zonas urbanas de la ciudad de Quetzaltenango	29
7	Limite de zonas urbanas de la ciudad de Quetzaltenango	30
8	mapa límite de las zona urbana ciudad de Quetzaltenango	35
9	mapa geológico de la zona urbana ciudad de Quetzaltenango	36
10	mapa geológico de la zona urbana ciudad de Quetzaltenango	37
11	mapa geológico: volcán santa maría, el Santiaguito, el cerro quemado y el siete orejas	37
12	Estratigrafía y Litología	38
13	Estudio geofísico área urbana zona 6 ciudad de Quetzaltenango	39
14	Grafica mostrando las resistividades aparentes y profundidad del sondeo	40
15	Perfil estratigráfico	42
16	Ubicación de pozos mecánicos zona 6, ciudad Quetzaltenango	42
17	Estudio geofísico área urbana zona 9, ciudad de Quetzaltenango	43
18	Bajadas de la resistividad aparente a diferentes profundidades	44
19	Estudio geofísico área urbana zona 0, ciudad de Quetzaltenango	45
20	Perfil estratigráfico área urbana zona 0, ciudad de Quetzaltenango	46
21	PERFIL HIDROGEOLÓGICO área urbana zona 0, ciudad de Quetzaltenango	47
22	Sondeo eléctrico vertical área urbana zona 0, ciudad de	48

	Quetzaltenango	
23	PERFIL ESTRATIGRÁFICO área urbana zona 0, ciudad de Quetzaltenango.	49
24	PERFIL HIDROGEOLÓGICO área urbana zona 0, ciudad de Quetzaltenango.	50
25	Se puede observar en las bajadas de la resistividad aparente a diferentes profundidades	51
26	PERFIL ESTRATIGRÁFICO área urbana zona 1, ciudad de Quetzaltenango, Resultados del sondeo eléctrico vertical.	52
27	PERFIL ESTRATIGRÁFICO área urbana zona 1, ciudad de Quetzaltenango, Resultados del sondeo eléctrico vertical.	53
28	PERFIL ESTRATIGRÁFICO área urbana zona 2, ciudad de Quetzaltenango, Resultados del sondeo eléctrico vertical.	55
29	Pozo zoológico parámetros hidrogeológicos del acuífero. Zona 3, zona 9 y zona 1, ciudad de Quetzaltenango.	59
30	Pozo zoológico, Caudal optimo	60
31	Pozo PACAJA parámetros hidrogeológicos del acuífero. Zona 10 y zona 1, ciudad de Quetzaltenango.	66
32	POZO CENIZAL 1 parámetros hidrogeológicos del acuífero. SECTOR ANALIZADO ZONA 4, ZONA 2, Y ZONA 1, ciudad de Quetzaltenango.	73
33	POZO CHIRRIEZ 4 parámetros hidrogeológicos del acuífero. Sector analizado, zona 2, zona 5, zona 3, ciudad de Quetzaltenango.	78
34	POZO CHOQUI ALTO parámetros hidrogeológicos del acuífero. Sector analizado, zona 6, zona 7, ciudad de Quetzaltenango.	84
35	POZO ZONA 8, parámetros hidrogeológicos del acuífero. Sector analizado, zona 8, ciudad de Quetzaltenango.	91
36	Mapa delimitando la zona de estudio del área urbana de la ciudad de Quetzaltenango	143

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Pág.
1	Ensayo penetración estándar, zona 1 Quetzaltenango	97
2	Ensayo penetración estándar, zona 1 Quetzaltenango	98
3	Ensayo penetración estándar, zona 5 Quetzaltenango	99
4	Ensayo penetración estándar, zona 5 Quetzaltenango	101
5	Ensayo penetración estándar, zona 9 Quetzaltenango	103
6	Ensayo penetración estándar, zona 9 Quetzaltenango	105
7	Ensayo penetración estándar, zona 1 Quetzaltenango	107
8	Ensayo penetración estándar, zona 1 Quetzaltenango	108
9	Ensayo penetración estándar, zona 2 Quetzaltenango	109
10	Ensayo de penetración cónica – <i>cpt</i>	110
11	Ensayo penetración estándar, zona 9 Quetzaltenango	114
12	Ensayo penetración estándar, zona 3 Quetzaltenango	116
13	Peso unitario, gravedad específica, zona 3 Quetzaltenango	117
14	Ensayo penetración estándar, sondeo 2., zona 3 Quetzaltenango	118
15	Ensayo penetración estándar, sondeo 1, zona 3 Quetzaltenango	119
16	Ensayo penetración estándar, sondeo 2, zona 3 Quetzaltenango.	121

## 1. INTRODUCCIÓN

EL presente estudio consiste en establecer las características del acuífero y el comportamiento hidrogeológico de la zona urbana de la ciudad de Quetzaltenango. Y también en analizar la geología y geotecnia de la zona urbana en mención, con el fin de definir las unidades hidrogeológicas, litológicas y la estratigrafía, y parámetros geotécnicos en algunos puntos específicos.

También se determino y calculo el coeficiente de permeabilidad hidráulica de los suelos, su transividad de los suelos geológicos y Coeficiente de Almacenamiento de las Aguas Subterráneas.

En base a lo investigado la zona urbana de la ciudad de Quetzaltenango, su estructura geológica se encuentra Qp que pertenece a la edad geológica cuaternaria, siendo sus unidades hidrogeológicas, acuífero superior, volcánicos pleistocenicos, siendo su litología sedimentos de pómez con depósitos lacustres. En su parte este de la ciudad especialmente en el cauce de los ríos xequijel y samala encontramos Qa sedimentos aluviales, que pertenecen también a la edad cuaternaria, acuífero superior, siendo su litología sedimentos secundarios de materiales volcánicos.

En su parte sur del área urbana de la ciudad encontramos unidades hidrogeológicas Qv Volcánicos holocenicos que pertenecen a la edad geológica del cuaternario, su litología es de flujos de lava, lodo, tobas y cenizas. Principalmente donde se ubican los volcanes y cerros que rodean a la ciudad dentro los que podemos ubicar el volcán santa maría, el Santiaguito, el cerro quemado y el siete orejas.

En el Estudio realizado en el área urbana las Condiciones geotécnicas en base al ensayo de penetración estándar, las zonas con capacidad portante baja se encuentra la zona 2 y zona 5. Lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto. Dando una resistencia de 0.18, 0.14 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a 1.82, 1.37 Ton/mts<sup>2</sup> a la profundidad de 0 a 1 metro, presentando una capacidad de soporte del suelo muy baja

También se da los resultados del cálculo el coeficiente de permeabilidad hidráulica de los suelos, su transividad de los suelos geológicos y Coeficiente de Almacenamiento de las Aguas Subterráneas.

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

### 1.1.1. ANTECEDENTES

Guatemala tiene una superficie de 108,889 km<sup>2</sup> donde están incluidas 4 grandes provincias fisiográficas, y se encuentran grandes planicies, cordilleras, laderas, valles, quebradas, cañones cortados por ríos, formando cuencas hidrográficas. Las poblaciones que habitan en las cuencas, ejercen una fuerte presión sobre los recursos naturales allí presentes, haciéndose notar sus efectos en la disminución de calidad de vida y aumentando el costo de esta al ser más escasos los recursos físicos. Esto presenta un problema, debido a no contar con planes de manejo dentro del sistema cuenca para garantizar la sostenibilidad de las áreas.

Guatemala posee diversidad de recursos naturales que sirven de base para la vida de sus habitantes lo que constituye que cada año se vayan agotando, debido al aumento poblacional y por ende al aumento de la demanda de agua, energía, servicios de salud y de alimentos, por lo que la tierra constituye el recurso indispensable para la producción de los mismos.

A nivel mundial existe una escasez generalizada de agua dulce, no por la demanda, si no por la mala utilización y contaminación que el mismo hombre ejerce sobre el vital líquido. Según la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud de aquí en adelante (OPS/OMS) se estima que el 97.3% de agua en el mundo es salada y el 2.7% es agua dulce, pero sólo el 0.66% de agua dulce es usada para suministro a nivel mundial. La destrucción paulatina y la creciente contaminación de los recursos hídricos, la deforestación y la pérdida de los recursos naturales, han disminuido los caudales de los manantiales existentes en las cuencas hidrográficas, que poco a poco se han ido perdiendo y con ello disminuye el 0.66 % de agua dulce que a nivel mundial se utiliza para varios propósitos y servicios básicos como agua para consumo humano, diversión, saneamiento, agricultura, industria y otras actividades.

El agua es el recurso natural que más se utiliza en todo el mundo y el más importante para la vida, pero la necesidad de obtener otros servicios indispensables como lo es la producción de madera y alimentos a través de la agricultura, hace que los habitantes hagan un uso irracional del bosque, debilitando las cuencas hidrográficas y así provocando la pérdida del suelo,

---

agua, flora y la extinción de varias especies de animales y aumentando la impermeabilización de los suelos por el crecimiento de las zonas urbanas de la ciudad de Quetzaltenango.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN:**

Al no existir cobertura vegetal en la zona de recarga, que es el caso de la zona urbana de la ciudad de Quetzaltenango, disminuye la infiltración, no recarga el acuífero y disminuyen su almacenamiento, actualmente se desconoce la transividad, la permeabilidad hidráulica de los suelos geológicos y coeficiente de almacenamiento niveles y movimientos de las aguas subterráneas en el área de la ciudad antes indicado.

Esto puede provocar una reducción considerable en la disponibilidad de calidad y cantidad de agua subterránea con características adecuadas para el aprovechamiento antrópico, forzando al hombre a explotar el recurso hídrico de una manera insostenible, lo que provoca un desbalance en las entradas y salidas en el sistema originado por la sobreexplotación de los acuíferos.

Al haber deterioro del poco bosque existente en la subcuenca y suelos desprotegidos los cuales están susceptibles a la erosión y con la impermeabilización de suelos por el establecimiento de zonas urbanas, y actualmente tierras con uso de vegetación natural que está siendo y tendrá cambios de uso del suelo a proyectos de urbanización, conlleva a que exista una reducción de la recarga hídrica, lo que genera dicho desbalance. Es por ello que existió la importancia de realizar un estudio que permite conocer la situación actual y potencial de uso de los recursos hídricos y sentar bases sólidas a la conservación de los mismos.

---

### **1.3. OBJETIVOS.**

#### *1.3.1 GENERAL*

Establecer las características del acuífero y el comportamiento hidrogeológico de la zona urbana de la ciudad de Quetzaltenango.

#### *1.3.2 ESPECÍFICOS*

*1.3.2.1* Analizar la geología y geotecnia de la zona urbana de la ciudad de Quetzaltenango, con el fin de definir las unidades hidrogeológicas, litológicas y la estratigrafía, y parámetros geotécnicos en algunos puntos específicos.

*1.3.2.2* Determinar y calcular el coeficiente de permeabilidad hidráulica de los suelos, la transiividad de los suelos geológicos y Coeficiente de Almacenamiento de las Aguas Subterráneas.

## **2. MARCO TEÓRICO (ANTECEDENTES TEÓRICOS):**

### **2.1. Recarga Hídrica**

Es el proceso que implica un incremento de agua hasta la zona de saturación, donde se encuentra el nivel de las aguas subterráneas, Es decir, es la cantidad de agua adicionada (recarga artificial) o absorbida (recarga natural) en un acuífero. Además, puede ser directa (infiltración de la lluvia) y lateral (aporte de otras áreas o cuencas), (Herrera, 1995).

Los principales procesos de transferencia del ciclo hidrológico de una cuenca son: Precipitación pluvial, infiltración, evapotranspiración y escorrentía superficial. Estos son los elementos importantes en la estimación del balance hídrico de toda la cuenca (sin aporte de otras cuencas) para cuantificar la recarga al acuífero, (Herrera, 1995).

#### **2.1.1 Descarga Subterránea**

Es el agua liberada de la zona de saturación, es decir, es la salida natural del agua subterránea proveniente de un acuífero, que generalmente define un manantial.

#### **2.1.2 Recarga al Acuífero**

El agua subterránea se deriva de la infiltración de las aguas superficiales que provienen directamente de la lluvia, de corrientes superficiales y lagos alimentados por lluvia.

Lo anterior se demuestra sobre la base de datos cuidadosamente analizados, tales como los de penetración de la lluvia a través de los estratos, las pérdidas en las corrientes por infiltración, la pendiente del nivel freático, desde las áreas de entrada hasta las de descarga, (Herrera, 1995).

#### **2.1.3 Recarga por Infiltración de la Lluvia**

Las recargas de agua en la zona de saturación proveniente de fuentes superficiales, comprenden tres pasos:

A. Infiltración del agua desde la superficie a la zona de suelos.

B. El movimiento descendente del agua a través de los materiales comprendidos en la zona de aireación, y

C. La emigración de parte del agua al manto freático, aumentando así las reservas subterráneas.

La infiltración se produce debido a la acción combinada de las fuerzas de gravedad y atracción molecular. La atracción molecular se expresa como un gradiente de potencia en aquellos lugares donde la humedad del suelo no está en equilibrio. Una vez que la zona de los suelos ha recibido agua a toda su capacidad, toda el agua adicional desciende por gravedad, ya sea directamente hasta el manto freático o a la zona intermedia. En virtud de que la zona intermedia no es afectada por el fenómeno de la evaporación o absorción de las raíces de las plantas, normalmente retiene mucha agua, no obstante esto, la mayor parte del agua tiende a moverse hacia abajo en respuesta a la fuerza de gravedad.

#### 2.1.4 Recarga por Infiltración de las Corrientes

En general, las corrientes se pueden clasificar en incurrentes o influentes y excurrentes o efluentes, influentes si aportan agua al acuífero, si escurren encima del nivel freático aumentando su caudal de agua y excurrentes si escurren en un nivel inferior que el nivel freático, en cuyo caso el acuífero aporta agua a la corriente. La recarga se debe principalmente a la penetración en el subsuelo de la lluvia, sin embargo, si la lluvia cae más rápidamente que la infiltración, el agua correrá sobre la superficie formando la escorrentía superficial. Las condiciones que influyen en la cantidad de la recarga del agua subterránea son dos:

##### A. Las que se refieren a la precipitación pluvial

En general, la proporción de agua infiltrada aumenta en cierto grado con la precipitación si ocurre en forma de lluvias ligeras y escasas, puede ser absorbida por el suelo. Las lluvias que caen una vez satisfechas las deficiencias del suelo son las que enriquecen las reservas subterráneas. Si la lluvia cae a una intensidad alta de corta duración, solo una pequeña parte del agua se infiltra y otra parte aún más pequeña alcanzará el nivel freático.

##### B. Las que se refieren a las facilidades de entrada

Por ciertas condiciones que hacen variar el porcentaje de la lluvia infiltrada. La más importante es la permeabilidad del terreno. Formaciones tales como calizas cavernosas, rocas fracturadas, grava o arena de grano

grueso, permiten en gran parte que las lluvias alcancen el nivel freático, en cambio un suelo arcilloso sólo permite el paso del agua a poca profundidad.

Las facilidades para la infiltración del agua desde la superficie son controladas, en parte por el carácter de la formación subyacente de la cual se derivó el suelo (origen y tectónica), y por otra parte por el estado de desarrollo del mismo suelo, la vegetación y otros como la topografía del terreno que también tiene gran influencia en la infiltración del agua. En general, la infiltración es mayor en terrenos planos que inclinados.

La cantidad de recarga de un acuífero depende en cierto modo de la extensión del área de entrada. De hecho, los acuíferos más productivos son los lechos permeables, situados en áreas extensas. Por otra parte, la infiltración es mayor cuando en el área de entrada ocurren no solo la precipitación local, sino el escurrimiento superficial de alguna área tributaria, como sucede en pendientes aluviales que reciben aguas superficiales provenientes de áreas montañosas con fuerte precipitación.

#### 2.1.5 Acuífero

Es una unidad geológica saturada capaz de suministrar agua a pozos y manantiales, los que a su vez sirven de fuentes de abastecimiento de líquido. Para que un acuífero sea funcional, sus poros o intersticios deben de estar llenos de agua y ser lo suficientemente grandes como para que permitan que el agua se desplace hacia los pozos y manantiales con un caudal apreciable, (Herrera, 1995).

### 2.2. FORMACIONES ACUÍFERAS

Es una unidad geológica saturada Los sedimentos naturales tienen un rango muy amplio de conductividades hidráulicas. Cerca de la superficie terrestre existen muy pocas, si alguna, formaciones geológicas que sean absolutamente impermeables. Exposición a los elementos climáticos, fracturamiento, así como disolución han afectado, en algún grado, a la mayor parte de las rocas. Los materiales que de preferencia son propicios como medios permeables son los depósitos sedimentarios fluviales, aluviales, coluviales, lacustres y lagunares. La permeabilidad de éstos depende básicamente de la cantidad de arcilla que se presenten y secundariamente del grado.

Los sedimentos naturales tienen un rango muy amplio de conductividades hidráulicas. Cerca de la superficie terrestre existen muy pocas, si alguna, formaciones geológicas que sean absolutamente impermeables. Exposición a los elementos climáticos, fracturamiento, así como disolución han afectado, en algún grado, a la mayor parte de las rocas.

Un acuífero (latín aqua = agua y fero = llevar) es una unidad geológica que puede almacenar y transmitir agua a tasas suficientes para satisfacer la extracción desde un pozo de bombeo. La permeabilidad intrínseca de un acuífero es en general igual o superior a  $10^{-2}$  darcy. Arenas y gravas no consolidadas, arenillas, limos y dolomitas, basaltos, así como rocas metamórficas y plutónicas fracturadas son algunos ejemplos de unidades geológicas consideradas acuíferos.

Un estrato confinante es una unidad geológica que tiene una muy baja permeabilidad intrínseca - menor a  $10^{-2}$  darcy. Esta es una definición bastante arbitraria y depende de las condiciones locales de flujo. En áreas de arcilla, con permeabilidades del orden de  $10^{-4}$  darcy, -2

Un estrato confinante es una unidad geológica que tiene una muy baja permeabilidad intrínseca - menor a  $10^{-2}$  darcy. Esta es una definición bastante arbitraria y depende de las condiciones locales de flujo. En áreas de arcilla, con permeabilidades del orden de  $10^{-4}$ . un estrato de limo con una permeabilidad de 10 puede ser considerado un excelente sistema acuífero. De la misma manera, ese estrato de limo puede ser considerado un estrato confinante en la cercanía de un lecho de grava con una permeabilidad del orden de 100 o más. En general el agua subterránea se mueve a través de un estrato confinante pero a una tasa muy reducida.

Los estratos confinantes son subdivididos en acuitardos (tardere = demorar) y acuífugos (fugere = huir). Un acuitardo es un estrato de baja permeabilidad que puede almacenar agua y transmitirla lentamente desde un acuífero a otro. Un acuífugo es una unidad absolutamente impermeable que no puede almacenar o transmitir agua. Un ejemplo típico de acuitardo es un material arcilloso, el cual tiene una alta porosidad pero muy baja permeabilidad. Por su parte, una roca sana se puede considerar como ejemplo de un acuífugo.

## 2.2.1 Tipos de Acuíferos

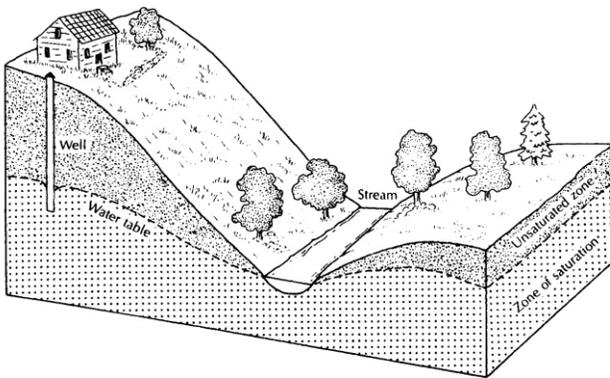
### 2.2.1.1 Acuífero No Confinado o Acuíferos Libres

Son una capa permeable parcialmente saturada de agua y situada sobre una capa relativamente impermeable, su límite superior está formado por una superficie libre de agua o de nivel freático, a una presión igual a la atmósfera. El nivel del agua en un pozo que se haya penetrado en un

acuífero libre no está, en general, por encima del nivel freático. En acuíferos de material granular fino o medio, el drenaje por gravedad de los poros no es instantáneo, de aquí que después de un bombeo, el nivel freático tarda en estabilizarse, cuando esto sucede los acuíferos se llaman libres con rendimiento retardado.

Los acuíferos pueden estar cerca de la superficie terrestre, con estratos continuos formados por materiales de alta permeabilidad intrínseca que se extienden desde la superficie del terreno hasta la base del acuífero. Este tipo de acuífero se conoce como un acuífero no confinado o libre. La recarga de este acuífero se produce debido a una infiltración vertical a través de la zona no saturada como se muestra en la Figura 1 Acuífero No confinado o libre. La recarga también se puede producir a través de flujo subterráneo lateral o desde estratos inferiores.

Figura 1.  
Acuífero No Confinado o Libre



Fuente: **Hidráulica de Aguas Subterráneas y Su Aprovechamiento**

#### 2.2.1.2 Acuíferos Semi-confinados

Son de este tipo los acuíferos que están totalmente saturados de agua, y en su límite inferior hay una capa impermeable o semipermeable, y en su límite superior una capa semipermeable (acuitardo). Una capa es semipermeable cuando la permeabilidad es baja, pero aún medible. Para detectar el movimiento principalmente vertical de este tipo de acuíferos, es necesario instalar un piezómetro tanto en el acuífero como en la capa semipermeable superior, y a veces también en la inferior. También en este caso el nivel piezométrico es superior al que tiene el agua dentro del acuífero, ya que se encuentra a mayor presión que la atmosférica, y en general, el descenso del

nivel del agua en la capa semipermeable es muy pequeño en comparación con el descenso del nivel piezométrico del acuífero.

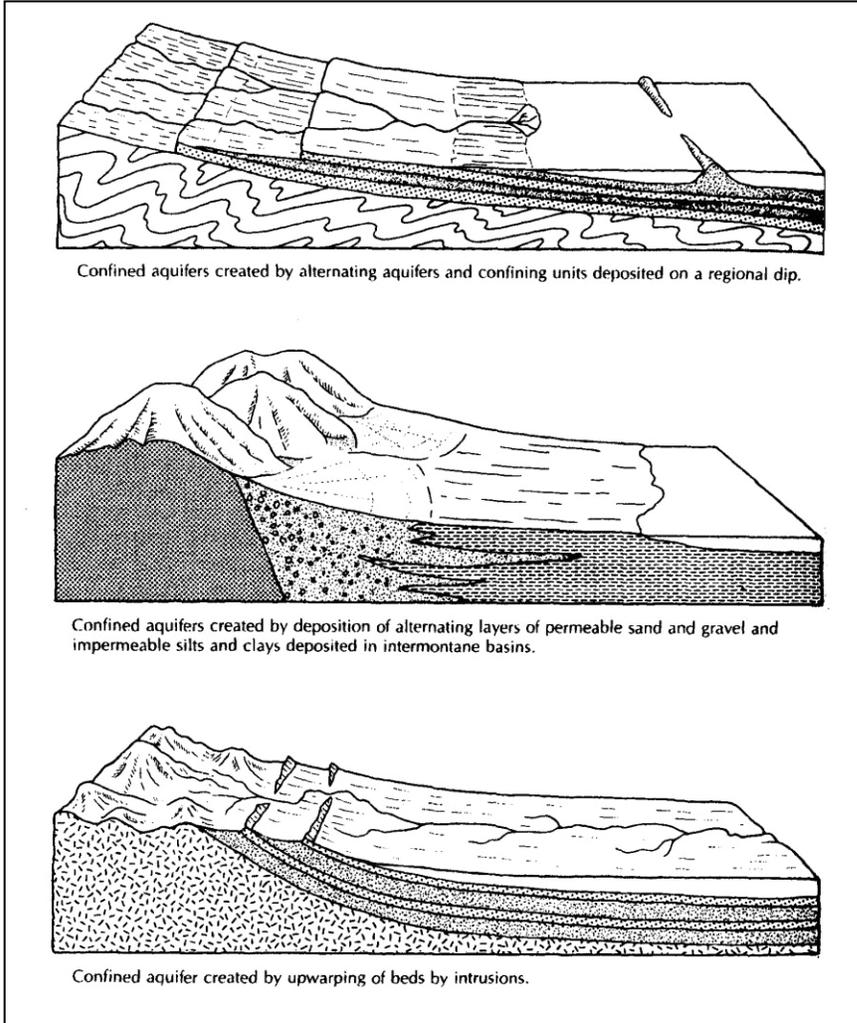
### 2.2.1.3 Acuíferos Confinados

Un acuífero confinado es el que está totalmente saturado de agua y sus límites superiores e inferiores son capas relativamente impermeables. En general, son poco comunes y en ellos la presión del agua suele ser mayor que la atmosférica, así como el nivel del agua en los pozos de observación es más alto que el nivel del límite superior del acuífero. Al agua que contienen estos acuíferos se les llama Confinada o artesianas. Si al perforar un pozo en un acuífero de este tipo, el agua supera el nivel de la superficie del terreno, entonces el pozo es surgente.

Algunos acuíferos, llamados acuíferos confinados o artesianos, están cubiertos por un estrato confinante superior. La recarga de estos acuíferos puede ocurrir a través de una zona de recarga superior en la cual los estratos afloran a la superficie de terreno, o a través de una infiltración vertical muy lenta. Ejemplos de acuíferos confinados se muestran en la Figura 2 acuíferos confinados o artesianos. Si un pozo muy bien sellado se instala a través de un estrato confinante el agua contenida en el acuífero se puede elevar por sobre la superficie del acuífero como se indica en la Figura 3 Nivel Piezométrico y Tipos de Pozos. Esta situación indica que el acuífero confinado se encuentra a presión (como una tubería). La superficie piezométrica de un acuífero confinado es la superficie que representa el nivel que alcanzaría el agua si un pozo es construido en dicha posición. Si el nivel piezométrico de un acuífero se encuentra sobre la superficie del terreno, un pozo artesianos puede ocurrir. En este tipo de pozo el agua escurre sin necesidad de instalar una bomba. Si se instala una bomba en dicho pozo, se podría obtener una gran cantidad de agua.

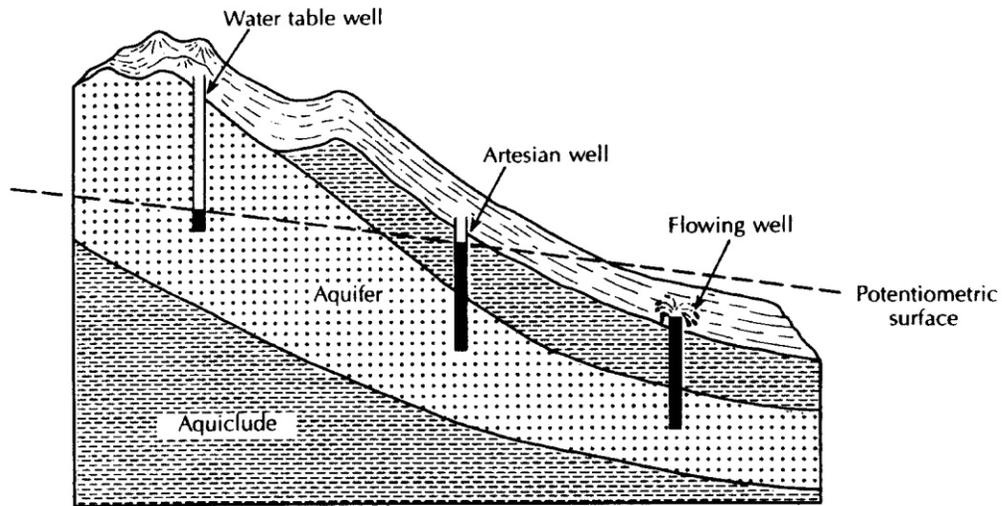
En algunos casos un estrato de material con baja permeabilidad se encuentra como un lente en una zona de mayor permeabilidad. El agua que se mueve en una dirección vertical descendente a través de la zona no saturada puede ser interceptada por este estrato y se producirá la acumulación de agua sobre el lente. La acumulación de agua en ese sector producirá una zona saturada aislada, lo que se denomina comúnmente un acuífero colgado. En muchos casos el escurrimiento en estos acuíferos se produce en forma lateral lo que provoca la ocurrencia de vertientes (ver Figura 4 acuífero colgado).

Figura. 2  
Acuíferos Confinados o Artesianos



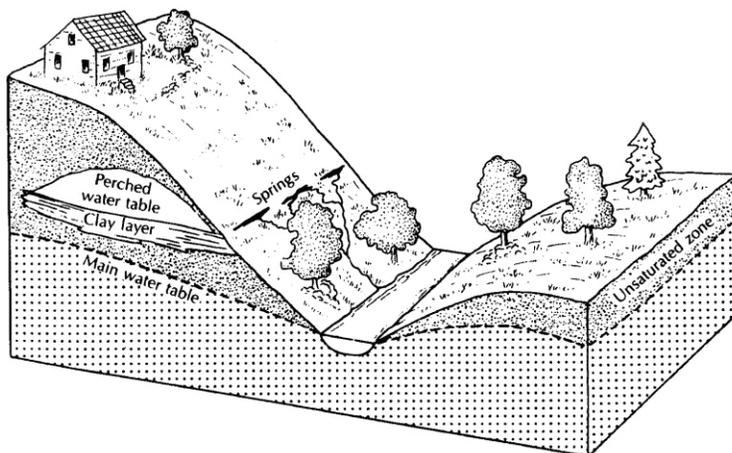
Fuente: Hidráulica de Aguas Subterráneas y Su Aprovechamiento

Figura 3  
Nivel Piezométrico y Tipos de Pozos



Fuente: **Hidráulica de Aguas Subterráneas y Su Aprovechamiento**

Figura 4.  
Acuífero Colgado



Fuente: **Hidráulica de Aguas Subterráneas y Su Aprovechamiento**

#### 2.2.1.4 Acuíferos Semi-libres

Se presentan cuando la conductividad hidráulica de la capa de material granular fino en un acuífero semiconfinado es tan grande que la componente horizontal del flujo no puede despreciarse, (como se hace en semiconfinados), entonces, el acuífero está situado entre los semilibres y los semiconfinados, Taracena, (37).

### 2.3 Agua Subterránea

#### 2.3.1 Importancia del 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.

En la antigüedad, probablemente la hazaña más grande en explotación de aguas subterráneas fue la construcción de largas galerías de infiltración que drenaban aguas de los conos aluviales de deyección y de las rocas sedimentarias blandas. Tales obras, llamadas KANAATS, se originaron en Irán desde hace más de 3,000 años y de ahí se extendieron a Afganistán y Egipto, en donde aún hay algunas en servicio, en aquellos tiempos, el agua que ocupaban se usaba tanto para fines domésticos como agrícolas.

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, (Herrera, 1995).

#### 2.3.2. Distribución del Agua Subterránea

En general, todos los materiales de la corteza terrestre, a mayor o menor profundidad tienen cierto espesor en el que son porosos, a esta parte se le conoce como zona porosa, a su vez estos poros pueden estar llenos total o parcialmente de agua.

El estrato superior, donde los poros no están completamente llenos de agua, es a lo que se le llama zona de aireación, debajo de ésta, donde los poros están totalmente llenos, se localiza la zona de saturación.

A su vez, la zona de aireación se divide en tres franjas, (Velasco, 1981):

A. La humedad del suelo, de gran importancia para la vegetación, ya que proporciona el agua necesaria para el desarrollo de las plantas; esta agua es retenida por atracción molecular y acción capilar contra la fuerza de gravedad, (Velasco, 1981).

B. La franja intermedia que se encuentra por debajo de la anterior, su espesor es variable, (Velasco, 1981).

El agua que contiene es un almacenamiento inútil o fósil, puesto que no se puede recuperar para utilizarla; esta parte funciona como tránsito del agua, de la zona húmeda hacia la franja capilar y la zona de saturación, (Velasco, 1981).

C. La franja capilar, situada inmediatamente arriba de la zona de saturación, sobre la que se retiene agua por acción capilar, contrarrestando la acción de la gravedad. Su espesor y la cantidad de agua que retiene depende del tamaño de los granos del material, llegando a alcanzar hasta 3 metros de altura en materiales finos como limos y arcillas, (Velasco, 1981).

El agua que se encuentra en la zona de saturación es la que propiamente se conoce como agua subterránea, agua del subsuelo o agua profunda. Esta agua subterránea puede encontrarse en forma de un solo cuerpo continuo o en estratos separados. Su espesor varía desde unos pocos metros hasta centenares, dependiendo de factores tales como la geología local, la presencia de poros intersticios en las formaciones, la recarga, grado de fracturación y el movimiento o desplazamiento del agua desde las zonas de recarga hasta las de descarga, (Velasco, 1981).

### 2.3.3 Movimiento de la Humedad del Suelo

La infiltración es el movimiento del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior del mismo, diferente a la percolación, que es el movimiento del agua a través del suelo profundo y las rocas. Una vez que el agua está en contacto con el suelo, el agua gravitacional penetra hacia

abajo a través de los intersticios más gruesos, mientras que los más pequeños toman agua por capilaridad. El agua gravitacional, en su trayecto de descenso, también es interceptada por los intersticios capilares. A medida que los poros capilares de la superficie se llenan de agua, la tasa de infiltración disminuye. En suelos homogéneos, la infiltración disminuye gradualmente hasta la zona de aireación saturada. Normalmente, el suelo es estratificado y las capas inferiores son menos permeables que en las capas superficiales; en este caso, la tasa de infiltración se reduce a la tasa de percolación del estrato menos permeable, (Amisial, 1978).

La infiltración a partir de una lluvia se caracteriza por la formación de capas de agua muy delgadas en la superficie del suelo, que se extienden sobre áreas de considerable magnitud. Las cantidades de agua infiltrada son en general muy pequeñas (unos pocos centímetros por día) raramente son capaces de saturar una profundidad considerable del suelo cuando la lluvia cesa, el agua gravitacional presente aún en el suelo continúa su trayectoria descendente y es también interceptada por los intersticios capilares.

Generalmente el agua infiltrada se distribuye dentro de las capas superiores del suelo, aportando muy poco al abastecimiento de agua subterránea, a menos que el suelo sea muy permeable o que la zona vadosa sea muy delgada, (Amisial, 1978).

#### 2.3.4 Manifestaciones Exteriores del Agua Subterránea

En general, en las áreas de recarga existe un déficit de humedad en el suelo en ciertas épocas del año, por lo menos en climas templados y con mayor razón en climas áridos y semiáridos. Por ello se caracterizan por tener una vegetación mucho más pobre que la existente en las zonas de descarga próximas. Este empobrecimiento de la vegetación también va acompañado de un suelo pobre, lo cual es un fenómeno ligado al anterior. Por otro lado, las zonas de recarga tienden a tener un sistema más homogéneo y estable que las de descarga.

En las zonas de descarga, que con frecuencia son además de extensión superficial más reducida que las de recarga, el terreno tiene un aporte de humedad suplementario que puede compensar total o parcialmente el déficit hídrico de ciertas épocas del año, produciendo así un fuerte contraste de vegetación según las circunstancias de ese aporte hídrico. Si el exceso de humedad es grande, en las zonas de descarga se inicia la red de drenaje

permanente a través de manantiales o zonas de rezume, con frecuencia acompañadas de rasgos morfológicos erosivos y acumulación superficial de sales.

La descarga de aguas viene señalada por la existencia de un nivel piezométrico creciente en profundidad, de modo que es posible construir pozos surgentes en acuíferos libres sin necesidad de que medie ninguna cobertura impermeable. En los mapas hidrogeológicos que señalan la amplitud del nivel piezométrico a lo largo del año, las zonas de descarga suelen coincidir con los mínimos de variación. En general las zonas de descarga se sitúan al pie de zonas más elevadas y la calidad y temperatura del agua es alóctona.

En ausencia de manantiales vistos, puede recurrirse a localizar zonas de descarga subterránea a través de los rasgos de campo que indican un exceso de humedad, los cuales varían con el clima, ambiente y topografía del punto de descarga.

La presencia de manantiales, cuyo caudal varía según el clima, régimen de recarga y volumen de embalse útil, se delata en ocasiones por la existencia de una depresión circular o semicircular.

A veces por la presencia de agua en el cauce del río en épocas frías, pueden aparecer nieblas debido al fuerte contraste térmico entre el ambiente y el agua (a la temperatura media anual aproximadamente o algo más caliente), (Herrera, 1995).

### 2.3.5 Los Sistemas de Flujo

El primer paso para determinar la recarga es conocer el sistema de flujo del acuífero.

Las características de circulación del agua subterránea dependen primariamente de tres factores que condicionan la recarga, presencia en el terreno y descarga:

A. Climatología e hidrología

B. Geología (litología y tectónica) C. Geomorfología

En un sistema con cierta geología, geomorfología y clima. Se establece un sistema de flujo en el que existen áreas de recarga, áreas de descarga y áreas de transferencia. En las primeras el flujo tiene una composición vertical

descendente, en las segundas una componente vertical ascendente y en las terceras el flujo es predominantemente horizontal. En un esquema simple, las zonas de recarga y de descarga están conectadas por una zona de transferencia. Las variaciones del potencial hidráulico en la vertical de un lugar delata el carácter de la zona. No obstante en la realidad los sistemas son muchas veces complejos, con una o varias áreas de recarga y una o varias áreas de descarga y varios modos de transferencia según el lugar y la profundidad. A este respecto es preciso tener en cuenta que el agua puede circular por terrenos considerados poco permeables y también a notables profundidades, aunque lo haga muy lentamente, quizá a solo pocos metros por año, ya sea en medios porosos o a través de fisuras.

Un terreno al que se considera como no acuífero, desde el punto de vista de que su aptitud para que en él se establezcan captaciones de agua subterránea, puede conducir grandes cantidades de agua subterránea si el gradiente y el espesor saturado es elevado y ello es de gran importancia geodinámicamente e hidrogeológicamente. El movimiento a través de esos acuitardos puede explicar muchos fenómenos a los que se les había buscado explicaciones complicadas y poco realistas.

#### 2.4 Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico inicia con la evaporación del agua en los océanos transportándose hacia los continentes a través de masas móviles de aire que bajo condiciones adecuadas se condensan y forman nubes o también puede transformarse en precipitación. La precipitación se dispersa parte es retenida por el suelo regresando a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas. Otra porción viaja por la superficie en forma de escorrentía y una pequeña parte llega a los acuíferos en forma de agua subterránea. Por gravedad tanto el agua superficial como la subterránea llega en algún momento a ser parte de los océanos aunque hay pérdidas por evaporación, transpiración, escorrentía superficial y subterránea, (UNEPAR 1,981) en Santos, (33).

El ciclo hidrológico se refiere a la circulación general que resulta del hecho de que en promedio hay más precipitación que evaporación sobre la superficie continental de la tierra. El agua precipitada sobre la tierra pasa a través de varios medios de almacenamiento que pueden referirse como subsistemas del ciclo hidrológico, Santos, (33).

## 2.4.1 Influencia del Hombre en el Ciclo Hidrológico

La influencia directa del hombre en el ciclo hidrológico se restringe principalmente a la parte del agua superficial. Cerca de una tercera parte de esta tierra puede cultivarse. Casi toda la precipitación que cae sobre la tierra se deriva directamente de los océanos y solamente cerca del 10% de ésta, aún en las más grandes masas de tierra, se origina de la superficie terrestre. Por lo tanto, muy poco puede hacer el hombre para incrementar la precipitación o nieve. Bajo un limitado rango de condiciones favorables la siembra de sustancias en las nubes para producir lluvia artificial, ha producido precipitación extra y algunos éxitos se han logrado en la prevención del granizo.

## 2.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS

### 2.5.1 Transmisibilidad o Transmisividad

Hasta este momento hemos considerado la permeabilidad intrínseca de algunos materiales así como su conductividad hidráulica para la transmisión de agua. Un concepto muy útil en la práctica habitual es la Transmisividad o transmisibilidad de un sistema acuífero, la que mide la cantidad de agua, por unidad de ancho, que puede ser transmitida horizontalmente a través del espesor saturado de un acuífero con un gradiente hidráulico igual a 1 (unitario).

La Transmisividad es el producto de la conductividad hidráulica y el espesor saturado del acuífero:

$$T = b \cdot K$$

donde T es la Transmisividad (L<sup>2</sup>/T), b es el espesor saturado del acuífero (L) y K es la conductividad hidráulica (L/T).

Para un acuífero compuesto de muchos estratos la transmisividad total es la suma de las transmisividades de cada estrato:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i$$

Donde n es el número total de estratos y T<sub>i</sub> es la transmisividad del estrato i. La transmisividad de un acuífero es un concepto que asume que el flujo a través de él es horizontal. En algunos casos este supuesto es válido, pero en otros no.

### 2.5.2 Coeficiente de Almacenamiento

Si se produce un cambio en el nivel de agua en un acuífero saturado, o una unidad confinada, una cantidad de agua puede ser almacenada o liberada. El coeficiente de almacenamiento,  $S$ , es el volumen de agua, por unidad de área y cambio en altura de agua, que una unidad permeable absorberá o liberará desde almacenamiento. De acuerdo a esta definición esta cantidad es adimensional.

En la zona saturada la presencia de agua induce una presión interna (usualmente denominada presión de poros) que afecta la distribución de los granos de mineral así como a la densidad del agua en los poros. Si la presión interna aumenta, el esqueleto mineral se expande, mientras que si la presión disminuye el esqueleto se contrae. Este concepto se conoce como elasticidad.

Asimismo, el agua se contrae debido a un aumento en la presión y se expande frente a una disminución en la presión. Cuando la carga hidráulica del acuífero disminuye, su esqueleto se contrae lo que reduce la porosidad efectiva y se libera agua. En forma adicional, una cantidad de agua es liberada debido a su expansión en los poros debido a la disminución de la presión interna.

El almacenamiento específico ( $SS$ ) es la cantidad de agua, por unidad de volumen, que es almacenada o liberada debido a la compresibilidad del esqueleto mineral y del agua en los poros debido a un cambio unitario en el nivel de agua en el acuífero. Este coeficiente se denomina *coeficiente de almacenamiento elástico*. Este concepto se aplica tanto a acuíferos confinados como no confinados.

El almacenamiento específico está dado por la siguiente expresión:

$$S_s = \rho_w \cdot g \cdot (\alpha + n \cdot \beta)$$

donde  $\rho_w$  es la densidad del agua ( $M/L^3$ ),  $g$  es la aceleración de gravedad ( $L/T^2$ ),  $\alpha$  es la compresibilidad del esqueleto del acuífero ( $1/(M/LT^2)$ ),  $n$  es la porosidad ( $L^3/L^3$ ), y  $\beta$  es la compresibilidad del agua ( $1/(M/LT^2)$ ). El almacenamiento específico tiene unidades de  $1/L$ , con valores inferiores a  $0.0001$   $1/m$ .

En un acuífero confinado la carga hidráulica puede disminuir pero el nivel piezométrico puede permanecer sobre la unidad confinante (Figura 2.24). En este caso una cantidad de agua es liberada desde almacenamiento y el acuífero permanece saturado. El coeficiente de almacenamiento ( $S$ ) de un acuífero

confinado es el producto del almacenamiento específico ( $S_s$ ) y del espesor del acuífero:

$$S = b \cdot S_s$$

Dado que  $SS$  tiene dimensiones  $1/L$  y el espesor del acuífero tiene unidades de longitud,  $L$ , el coeficiente de almacenamiento es adimensional. Toda el agua liberada desde el acuífero se puede relacionar con la compresibilidad del esqueleto mineral y el agua presente en los poros.

El agua proviene de todo el espesor del acuífero. El valor del coeficiente de almacenamiento de un acuífero confinado es inferior a 0.005.

En el caso de un sistema no confinado o libre el nivel de saturación (nivel freático) aumenta o disminuye debido a cambios en la cantidad de agua almacenada. A medida que el nivel de agua disminuye, parte del agua drena desde los poros del sistema acuífero. Este almacenamiento o liberación de agua se debe a la capacidad específica de la unidad ( $S_y$ ), así como al almacenamiento específico de ella. Para un acuífero no confinado el coeficiente de almacenamiento,  $S$ , se calcula como:

$$S = S_y + h \cdot S_s$$

Donde  $h$  es el espesor de la zona saturada del acuífero.

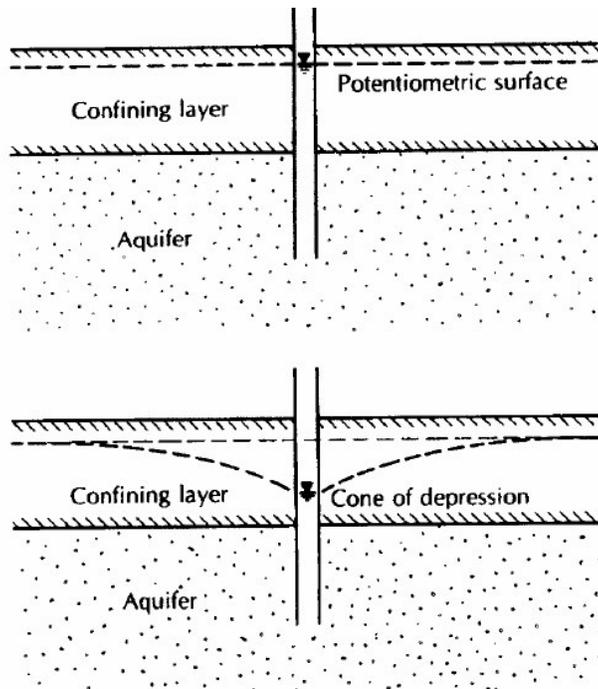
En el caso de un sistema no confinado el valor de  $S_y$  es algunos órdenes de magnitud mayor que  $h \cdot SS$ , por lo que el coeficiente de almacenamiento se supone igual a  $S_y$ . En el caso de una unidad geológica de grano muy fino la capacidad específica puede ser comparable a  $h \cdot SS$ . En general el coeficiente de almacenamiento es del orden de 0.02 a 0.30.

El volumen de agua drenado desde un acuífero, debido a una reducción en su carga hidráulica puede ser calculada como:

$$V_w = S A \Delta h$$

Donde  $V_w$  es el volumen de agua drenada,  $A$  es el área superficial de la zona drenada y  $\Delta h$  es la disminución promedio en la carga hidráulica.

**Figura 5**  
**Liberación de Agua en un Acuífero Confinado**



Fuente: **Hidráulica de Aguas Subterráneas y Su Aprovechamiento**

## 2.6. Regiones Hidrogeológicas de Guatemala

En 1,991 la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento, realizó un estudio hidrogeológico en el cual se identificaron de manera general cuatro distintas regiones hidrogeológicas en la república de Guatemala, las cuales son:

### 2.6.1 Llanuras Aluviales del Pacífico

Esta región hidrogeológica, según (DIRYA, 1991), presenta las siguientes características, está constituida por depósitos aluviales cuaternarios los cuales se extienden por toda la costa del océano pacífico, a lo largo de una longitud de 260 Km y un ancho entre 10 y 60 Km, con una elevación máxima en la parte más ancha de aproximadamente de 300 m.s.n.m.. La zona de vida es zona cálida seca, con un bosque seco sub-tropical en la parte sur, con

precipitaciones entre 500 y 1,000 mm anuales, y temperaturas medias anuales entre 19 y 26 °C. Y en la parte norte con una zona cálida húmeda, con bosque húmedo sub-tropical cálido, con precipitaciones de 1,200 y 2,000 mm anuales y con una temperatura promedio anual de 27 °C.

Está formada por depósitos aluviales cuaternarios, estos depósitos se encuentran en las llanuras del pacifico donde cubren prácticamente toda la región, con una superficie de aproximadamente de 7,500 km<sup>2</sup>. Los depósitos aluviales están formados por materiales de varios tamaños como gravas, arenas y arcillas, como producto de la erosión de los depósitos volcánicos cuaternarios y terciarios del altiplano. Los depósitos aluviales cuaternarios casi siempre constituyen un acuífero con porosidad primaria, con valores altos de almacenamiento (0.10 á 0.20) y transmisividad (150 hasta 2,000 m<sup>2</sup>/día) de muy buena productividad. En los Aluviones del Altiplano se ha efectuado registros de caudales de entre 3 y 58 L/s (promedio 30 l/s sobre 7 pozos), con capacidad especificas muy variables, de entre 0.1 y 5 L/s/m y niveles de bombeo entre 20 y 135 metros. La calidad de las aguas subterráneas es generalmente buena ya sea para agua potable o riego, (DIRYA, 1991).

Se reportan algunas características químicas bastante aceptables, con valores de 150 á 250 ppm de sólidos disueltos; conductividad eléctrica entre 200 á 400 micromhos/cm y un pH entre 6 á 7, clasificándolas entre las clases C1-S1 y C2-S1. Así mismos se reporta una infiltración media de 282 mm de agua, lo que corresponde al 14% de las precipitaciones medias anuales, las que en esta zona son de 2,000 mm, (DIRYA, 1991).

### 2.6.2 Altiplano Volcánico

Esta región se encuentra al norte de llanuras del pacifico 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, (DIRYA, 1991).

En esta región hidrogeológica se encuentran varias unidades hidrogeológicas entre las que se encuentran las siguientes, depósitos piroclásticos cuaternarios, esta unidad presenta valores de transmisibilidad de 50 a 750 m<sup>2</sup>/día en el valle de Guatemala y entre 100 y 300 m<sup>2</sup>/día en el valle de Quetzaltenango. Valores de coeficiente de almacenamiento entre 0.01 y 0.03 m<sup>2</sup>/día. 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 m<sup>2</sup>/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 micromhol/cm, (DIRYA, 1991).

### 2.6.3 Tierras Altas Cristalinas

Ubica esta región inmediatamente al norte del altiplano volcánico y está formado por una serie de cadenas montañosas orientadas de oeste hacia este-noreste, relacionada a los más importantes rasgos tectónicos regionales (fallas del Motagua y San Agustín), esta región presenta una longitud de aproximadamente 350 Km; comprendiendo varias cadenas montañosas como la sierra de Chuacús, la sierra de las Minas y la sierra del Merendón. Esta región está constituida principalmente por rocas ígneas de diferente naturaleza, rocas metamórficas como mármol, esquistos, lutitas, gneis, serpentinas. Esta región presenta precipitaciones anuales entre 400 y 2,500 mm y temperaturas entre 15 y 26°C, (DIRYA, 1991).

Hidrogeológicamente todas estas rocas presentan un comportamiento muy similar, siendo prácticamente impermeables. Pudiéndose desarrollar condiciones locales de una modesta circulación y acumulación de aguas subterráneas, (DIRYA, 1991).

#### 2.6.4 Región Sedimentaria Septentrional

Esta región ocupa la restante parte de Guatemala al norte de la faja de rocas cristalinas y puede ser dividida en dos subregiones, tierras altas sedimentarias y la región sedimentaria del Petén, (DIRYA, 1991).

Las tierras altas sedimentarias están definidas al norte por los márgenes de la cuenca del Petén, al sur por las fallas que la separan de las tierras altas cristalinas y se extiende desde la frontera con México en el oeste hacia las montañas de El Mico en el este. Está constituida por calizas cretácicas que presentan fenómenos de karstificación, (DIRYA, 1991).

La cuenca sedimentaria del Petén se extiende al norte de las tierras altas sedimentarias, a altitudes entre 300 y 600 m.s.n.m. en la parte más meridional, está formada por calizas cretácicas y en la parte centro septentrional por rocas sedimentarias de origen marino, que van desde el cretácico hasta el Terciario y terminan con las grandes depósitos cuaternarios del río Chocop-San Pedro y del norte de Belice. El clima de toda esta región presenta precipitaciones pluviales entre 500 y 4,100 mm, (DIRYA, 1991).

Toda esta región constituye un acuífero de buena potencialidad, si bien por las condiciones de permeabilidad por fracturación y circulación karstica, de muy difícil evaluación debido a variaciones amplísima de valores de coeficientes hidráulicos, reportándose algunos datos de permeabilidad de 1 – 2 m/día, con caudales específicos de unos 0.3 L/s/m. Al sur del lago de Petén Itzá donde se registraron permeabilidades de la caliza karstificada de 1 – 2 m/día, con caudales específicos de unos 0.3 L/s/m. Los datos de permeabilidad en las calizas fracturadas y karstificadas presentan rangos de variación, extremadamente grandes, entre 0.1 m/día hasta 4,000 y mas m/día. Los manantiales tienen una alta potencialidad presentándose caudales de varios L/s. En la parte norte de la ciudad de Guatemala se han reportado valores de transmisividad en calizas muy variables, de 10 á 80, m<sup>2</sup>/día en calizas poco fracturadas, de 250 a 500 m<sup>2</sup>/día y hasta 1,000 á 3,000 m<sup>2</sup>/día en calizas muy fracturadas. Los caudales tan bien son muy variables, desde 5 á 20 L/s hasta 50 a 60 L/s, (DIRYA, 1991).

## 2. 7 Identificación y Mapeo de Áreas de Recarga Hídrica

Para identificar las zonas de recarga hídrica a considerar en un análisis, se debe partir siempre de la ubicación y delimitación de una cuenca hidrográfica.

Se debe contar con por lo menos cuatro mapas fundamentales, que son:

- A. Mapa geológico, substrato de roca que recibe, almacena y conduce el agua.
- B. Mapa de serie de suelos o clasificación taxonómica de suelos.
- C. Mapa de uso de la tierra o de tipos de cobertura vegetal.
- D. Mapa de áreas de influencia de estaciones meteorológicas obtenido por el método de Thiessen o de Isoyetas.

## 2.8 Mapa Geológico

La geología está íntimamente relacionada con la evaluación de las aguas subterráneas, y que es en los materiales rocosos donde se realiza la circulación y almacenamiento de las mismas. Su localización y posterior aprovechamiento están íntimamente ligados al conocimiento de las rocas y estructuras en las que pueden encontradas aguas en cantidad y calidad suficientes, como para constituirse en una fuente de abastecimiento adecuado desde el punto de vista tectónico y económico, (Herrera, 1995).

Existen mapas geológicos de la república de Guatemala a escala 1: 250,000 que cubren todo el territorio y en algunas partes a escala 1: 50,000, también se han realizado estudios particulares, (Herrera, 1995).

Es importante contar con información detallada para poder definir de forma más precisa las unidades de interés hidrogeológicas, y determinar el comportamiento de las aguas subterráneas, (Herrera, 1995).

## 2. 9 Estratigrafía

La estratigrafía es la rama de la geología que trata de la formación, composición, distribución, cronología, clasificación, secuencia y correlación temporal de las rocas dispuestas en capas o estratos. La unidad principal es el estrato, que es la capa o unidad sedimentaria comprendida entre dos superficies paralelas que corresponden a discontinuidades o a bruscas variaciones petrográficas, que permiten separarla otras unidades de los materiales próximos, (Herrera, 1995).

Es de gran importancia realizar un estudio de la geología y estratigrafía de la zona, es decir conocer la disposición de los diferentes materiales geológicos, ya que estos pueden afectar grandemente la cantidad de recarga hídrica, por ejemplo, puede existir una cuenca cuyas características climáticas, de suelo y de cobertura vegetal favorezcan la infiltración de agua en el suelo, pero si existe una capa de material impermeable, no permitirá el paso del agua a mayor profundidad, y se genera un flujo subsuperficial que alimentara un río o cauce cercano y no recargara un acuífero, (Herrera, 1995).

Lógicamente cabe pensar que los estratos no son infinitos, sino que poseen un principio y un fin. Estos extremos distales son conocidos geológicamente por piso y techo del estrato, (Herrera, 1995).

Estos dos conceptos, que corresponden a superficies aproximadamente paralelas y planas, son llamados planos o juntas de estratificación y representa en la estratigrafía de la región, una interrupción temporal en el proceso sedimentario que posteriormente se reanuda con depósitos del mismo o distinto tipo.

En la realidad se acostumbra hablar de base y techo de formaciones geológicas, es decir, de un conjunto de estratos de características litológicas y sedimentos muy parecidas (es decir de facies análogas de gran extensión), prescindiendo de las individuales que corresponderían a cada estrato.

El espesor o potencia de los mismos, es otro concepto importante. Se define como la mínima distancia que existe entre el piso y el techo del estrato, o conjunto de ellos que le corresponde lógicamente a la distancia media perpendicularmente entre ambos. Ello es más importante en los estratos ligeramente inclinados, cuya apreciación, desde la superficie puede dar lugar a errores de consideración, en relación con el espesor aparente de los mismos, (Herrera, 1995).

## 2. 9.1 Columnas Estratigráficas

Los estratos o capas no se presentan aislados individualmente, sino formando parte de un conjunto de mayor o menor extensión y espesor, que recibe el nombre de serie o columna estratigráfica, ya que gráficamente suelen representarse en forma de columnas, (Herrera, 1995).

Cuando se estudia hidrogeológicamente un área determinada, el trabajo se realiza analizando las rocas de los afloramientos (lugares donde está expuesta la roca a la superficie terrestre), que son limitados en número y extensión. Al hacer columnas estratigráficas del afloramiento, se puede unir o comparar con los registros de las perforaciones (columna litológica) más o menos alejadas, que puedan alcanzar distinta profundidad, (Herrera, 1995).

Además se pueden relacionar sondeos de registros geofísicos, especialmente de registros eléctricos (basados en diferencia de resistividad de las rocas), debido a su economía en la exploración de las aguas subterráneas, comparativamente con la perforación de terrenos para extraer núcleos de roca. Sin embargo, hay que tener en cuenta que se pueden presentar cambios de facies, fenómeno muy frecuente y que consiste en “la variación de composición litológica de estratos de la misma edad geológica”, es decir, estratos sincrónicos. Algo importante a esto, es tener claro que a veces, las unidades se pueden engrosar y adelgazar en algunas zonas. Hay que tener presente que para un estudio de aguas subterráneas, es importante definir unidades hidrogeológicas, que son unidades litológicas con características similares en permeabilidad y porosidad, (Herrera, 1995).

## 2.10 Orígenes del Agua Subterránea

(Linsley, 1988), indica que 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.

## 2.11 Descarga de Aguas Subterráneas

Una cuenca alcanza su estado de equilibrio luego que descarga el excedente de agua a través de manantiales proveniente de la infiltración o recarga, (Linsley, 1988). A los ríos que interceptan la capa freática y reciben agua subterránea se les llama ríos de corrientes efluentes, por el contrario a los ríos que infiltran o aportan cierta cantidad de agua hacia la capa freática se les llama corrientes influentes, (Linsley, 1988).

Los manantiales o nacimientos de agua se forman debido a que el acuífero en ciertos puntos sale a la superficie de la tierra, (Linsley, 1988).

### **3. Marco conceptual metodológico**

3.1. Investigación de campo y documental: El presente estudio comprende una Investigación de campo y documental, la investigación documental se basa en fuentes ya elaboradas con anterioridad por otros investigadores o por el propio investigador. Estas fuentes pueden ser de lo más diversas: libros, revistas, periódicos, informes técnicos, apuntes de clase, etc. En la investigación de campo el investigador entra en contacto directo con su problema de investigación. Generalmente una investigación de campo parte de una investigación documental. La investigación de campo, dependiendo del área, utiliza la entrevista, la encuesta o la recolección de muestras, ensayos técnicos, cálculos y programas que ayuden a obtener mediante el mismo los parámetros objeto de análisis.

#### **3.2. Metodología:**

El Tipo de investigación se realiza según el objeto de estudio comprende una Investigación de campo y documental: Se trata de la investigación aplicada para comprender la hidrogeología de la zona urbana de la ciudad de Quetzaltenango. Mediante datos de campo y informes técnicos de la prueba de bombeo realizados a los pozos mecánicos ya perforados, especialmente de los pozos mecánicos municipales por tener un mejor acceso a la información del mismo, con ello se determino la permeabilidad, Transmisibilidad o Transmisividad, Coeficiente de Almacenamiento, la de la misma manera se realizo ensayos geofísicos y geotécnicos en puntos de acceso por necesitar el mismo de mucha área superficial lineal para los sondeos eléctricos verticales con el propósito de poder identificar la hidrogeología de la zona acuífera y parámetros geotécnicos del área de la ciudad de Quetzaltenango.

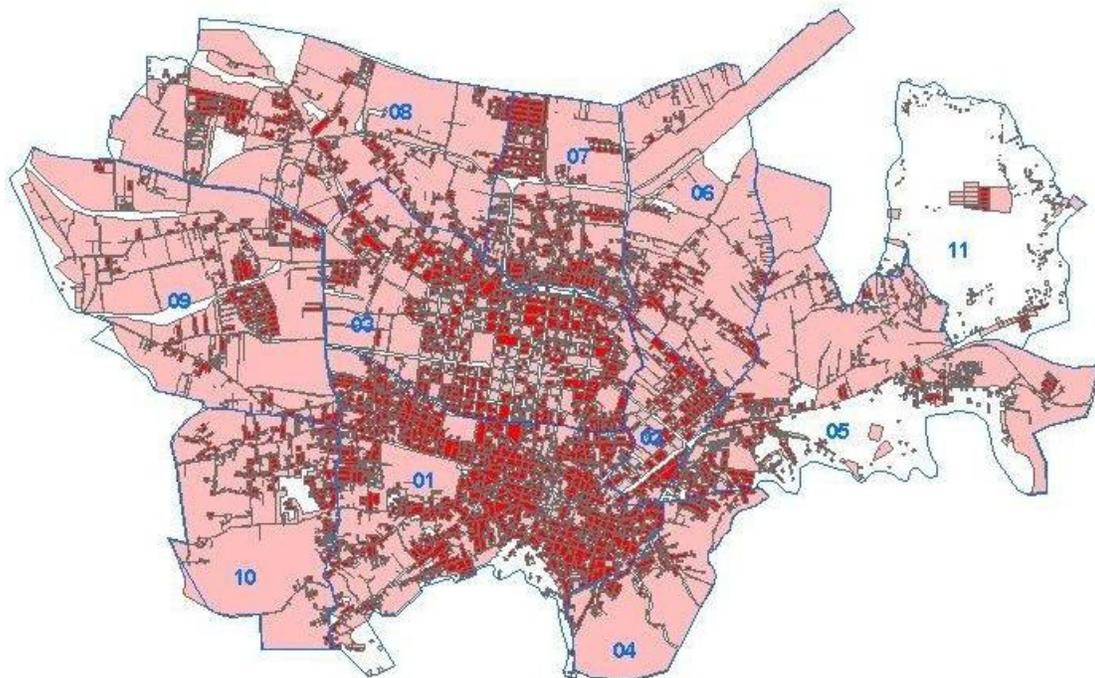
##### **3.2.1. Delimitación del Área de Estudio**

Con ayuda de los mapas cartográficos Guatemala y Quetzaltenango, escala 1:50,000, modelos de elevación digital (utilizando curvas de nivel a cada 10 mts), y ortofotos a escala 1:10,000 se delimito el área de estudio que es la zona urbana de la ciudad de Quetzaltenango. La zona urbana objeto de investigación comprende los siguientes sectores: 1 Ciudad llamada Quetzaltenango o Xelajú, con 11 zonas urbanas y una más la zona 12 aún no autorizada. La ciudad ocupa un área en su perímetro urbano de 34 kilómetros cuadrados cuenta en sus 11 zonas con 20 barrios, 5 colonias, 15 condominios y 52 lotificaciones, dentro del centro histórico existen 274 edificios en protección de

primero, segundo orden y varios de ellos se encuentran catalogados como arquitectura del entorno histórico. ver Figura 6: mapa de zonas urbanas de la ciudad de Quetzaltenango

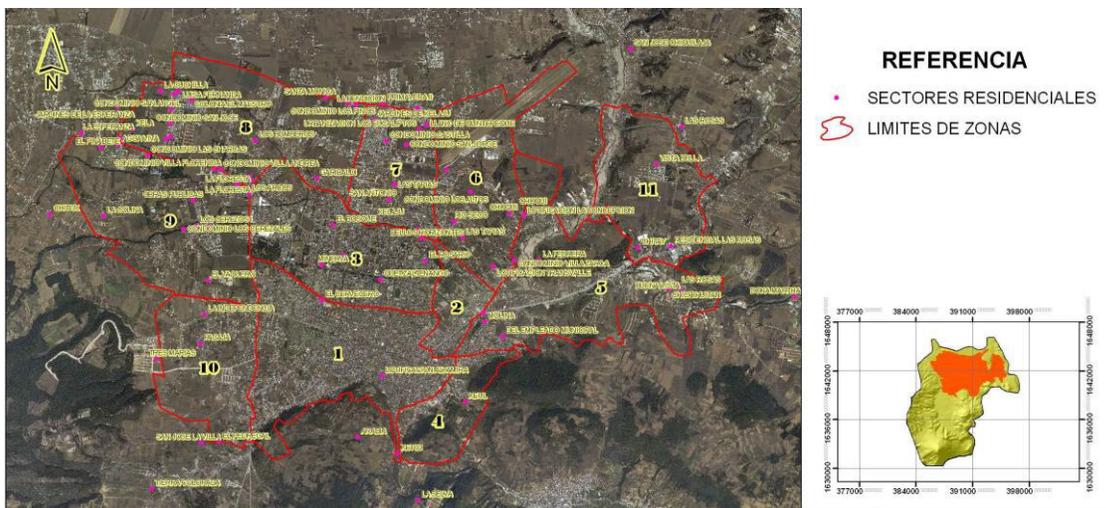
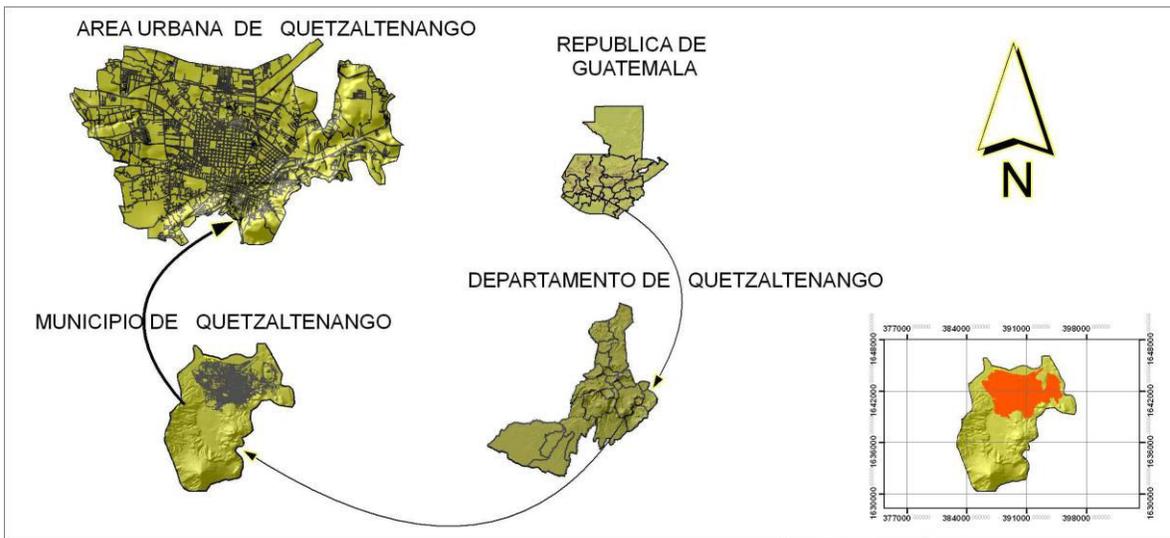
Figura 6: localización de zonas urbanas de la ciudad de Quetzaltenango y figura 7 limite de zonas urbanas de la ciudad de Quetzaltenango

Figura 6: localización de zonas urbanas de la ciudad de Quetzaltenango



Fuente: oficina del centro histórico de Quetzaltenango

Figura 7: Limite de zonas urbanas de la ciudad de Quetzaltenango



Fuente: oficina del centro histórico de Quetzaltenango

### 3.2.2. Geología

Se realizó la fotointerpretación de la zona urbana de la ciudad de Quetzaltenango, donde se definió los estratos geológicos entre unidades superficiales y lineamientos de fallas, utilizando los mapas geológicos existentes de la zona de estudio a escala 1: 50,000.

Por medio de estudios geofísicos se determino la estructura geológica del subsuelo dentro de la zona urbana de la ciudad de Quetzaltenango.

Se elaboraron los perfiles hidrogeológicos de acuerdo a la información del estudio geofísico y de afloramientos de rocas y de litología de pozos perforados.

El estudio geofísico se realizo dentro de la zona urbana de la ciudad de Quetzaltenango es el siguiente.

Estudio geofísico. Sondeo eléctrico vertical (SEV)

El método consiste en lo siguiente:

### **3.2.2.1 Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)**

El método que se utilizó es el **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)** con la configuración del tipo Schlumberger, que consiste en la inyección de corriente eléctrica continua en la tierra proveniente de una fuente artificial a través de un par de electrodos de hierro (AB). Este circuito se completa con un miliamperímetro que mide el valor de corriente. A través de otro par de electrodos de cobre o impolarizables (MN) colineales con AB, se mide la diferencia de potencial eléctrico entre ambos. La distancia de separación de los electrodos MN debe ser pequeña respecto a la separación de los electrodos de corriente (AB) de tal manera que la relación voltaje/separación de los electrodos se pueda aproximar a un gradiente del potencial en el punto medio del arreglo de electrodos.

El perfil eléctrico PE se basa en hacer circular una corriente eléctrica en el terreno que se va a estudiar. Esta corriente se inyecta por medio de dos electrodos (A y B) y el potencial causado por ella se mide usando otros dos electrodos (M y N), a una cierta distancia de los primeros. Con estos dos parámetros fue calculada la resistividad aparente de las rocas a una profundidad que estaba en función de la separación entre los electrodos de corriente y los de medición de potencial. En el caso particular de la zona a investigar, utilizamos tres perfiles sobrepuestos para dar mayor riqueza a los datos de campo, uno con la abertura de electrodos de corriente  $AB/2 = 1,3,5,10, 15,20,25$  m para cubrir la capa superficial y otro  $AB/2 = 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200$ , metros para catear la capa geológica más profunda en las áreas.

Durante la aplicación de esta técnica de investigación geofísica, en la respuesta del medio a los estímulos aplicados si se observaren mayores dificultades con corrientes telúricas o vagabundas, se estabilizaran con los circuitos de medición de los electrodos respectivos, (MN).

A partir de los valores a medir la corriente, de potencial eléctrico y del factor geométrico para cada disposición de electrodos se obtiene la respuesta de resistividad aparente  $r_a$ , que irá variando al aumentar la distancia entre electrodos (AB) y consecuentemente aumentando la profundidad de investigación. Por lo tanto para cada sitio de sondeo se obtendrá una curva de resistividad aparente en función de la semidistancia entre electrodos de corriente (AB/2). La interpretación de las curvas se realizara mediante la inversión de los datos experimentales de  $r_a$ , hallando modelos de resistividad eléctrica unidimensionales (1D), o sea unidades horizontalmente estratificadas, cuya respuesta ajuste la curva experimental minimizando el error cuadrático medio.

### **3.2.2.2 AMBIENTE TÍPICO EJECUCIÓN PERFILAJE GEOELECTRICO**

#### **3.2.2.2.1 Metodología de trabajo**

Se realizaron penetraciones en diferentes puntos (sondeos eléctricos verticales (SEV)). Las mediciones de voltaje se registrarán con aparato *data-logger* que permite monitorear los registros cada segundo, lo cual permitirá estudiar el error y sobre todo hacer una evaluación cuidadosa del mismo en las aberturas más grandes donde las mediciones son sustancialmente críticas. Se utilizarán electrodos impolarizables de cobre, con el propósito de bajar la diferencia de potencial natural del suelo lo más posible, la disminución de la diferencia de potencial y la estabilidad de la resistencia de contacto nos permitirán lograr mediciones de la respuesta del terreno de mejor calidad.

Las líneas exploratorias serán desplegadas bajo el criterio de seccionar a 90° los cursos de agua principalmente entre los dos puntos topográficos más elevados de la cuenca correspondiente, a fin de crear un contraste con eventuales anomalías, que corren por lo general, longitudinalmente con los cursos de agua. Las mediciones de resistividad aparente sobre la propia línea exploratoria se hicieron cada 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, metros a los niveles de penetración ya indicados.

#### **3.2.2.2.2**

**Sondeos Eléctricos Verticales, (SEV):** La determinación de la resistividad aparente de las rocas se efectuó por el método anterior, pero en lugar de llevar a cabo una cobertura superficial del área, se obtuvo en cada punto de observación la variación de la resistividad para diferentes profundidades, cambiando la separación de los electrodos.

### 3.2.3 Hidrogeología

#### 3.2.3.1 Características del Acuífero

se definió de acuerdo a la información de geología y estratigrafía, pero principalmente de la información recabada de los estudios geofísicos y los pozos en el área de estudio, es decir, niveles estáticos, litología, caudales y profundidad de perforación.

##### 3.2.3.1.1 Transmisividad

Para calcular se uso la prueba de bombeo, en los diferentes pozos que se incluyen en el área de estudio. Las pruebas incluyen tiempo y abatimiento, caudal constante en L/s, revestimiento, diámetro, profundidad total, columna de agua y nivel estático.

Además de ellos en base al estudio geofísico se determinara el grosor de los acuíferos y el tipo de cada uno, y así también se determinara también la conductividad hidráulica para cada caso.

Para el cálculo de la Transmisividad se realizo como se plantea seguidamente.

La transmisividad se calculo a través de los métodos de Jacob y Theis. El método de Jacob utiliza la relación siguiente:

$$T = \frac{2.3 Q}{4\pi \cdot \Delta s}$$

Donde: T, transmisividad (m<sup>2</sup>/día)

Q, caudal de bombeo (m<sup>3</sup>/día)

Δs, pendiente de la recta como la diferencia de abatimiento (m) entre dos valores de tiempo. Cuya relación sea de 10 en la escala X (un ciclo logarítmico).

π, número Pi (3.1416)

El método de Theis, utiliza la curva patrón la cual se sobrepone sobre la curva de tiempo - abatimiento dada por la prueba de bombeo y utiliza la siguiente relación:

$$T = \frac{QW(u)}{4\pi \cdot s}$$

Donde:

Q, caudal constante de bombeo (m<sup>3</sup>/día)

W(u), función u del pozo, determinada por una integral exponencial.

π, número Pi (3.1416)

s, abatimiento (m)

### **3.2.3.1.2 Coeficiente de Almacenamiento.**

Para este se utiliza el método de Jacob (1,946), el cual utiliza la siguiente fórmula:

$$S = 2.25 T t_0/r^2$$

Donde:

T, transmisividad (m<sup>2</sup>/día)

T<sub>0</sub>, valor que se obtiene al intersectar la recta de abatimiento – tiempo en el eje de abatimiento igual a cero en días.

r, distancia del pozo de observación al pozo de bombeo (m).

Este valor es adimensional y muestra si el acuífero es freático o confinado.

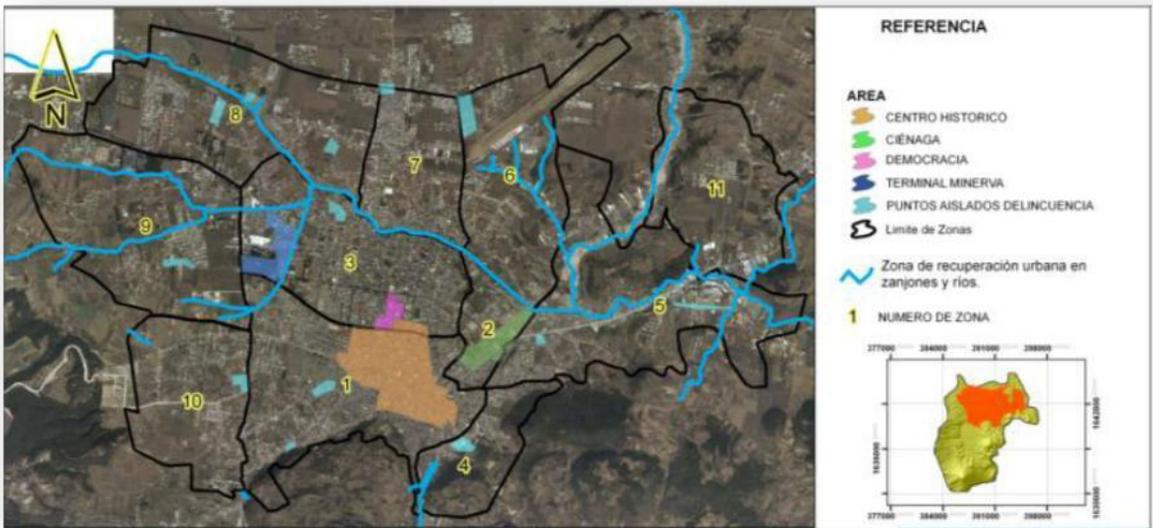
### **3.2.4 condiciones geotécnicas**

Los muestreos de suelos se realizo en los mismos puntos donde se hicieron las pruebas y el estudio geofísico procediendo a determinar la textura y su resistencia a la penetración para determinar sus condiciones geotécnicas a nivel de laboratorio.

#### 4. DELIMITACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL

La presente investigación se realizó dentro del área urbana de la ciudad de Quetzaltenango, la cual se encuentra delimitada por el siguiente mapa

Figura 8: mapa límite de las zona urbana ciudad de Quetzaltenango



Fuente: oficina del centro histórico de Quetzaltenango

Período durante el cual se realizó la investigación.

Se realizó la investigación en un periodo de 12 meses, durante el mes de Junio del 2012 al mes de mayo del 2013.

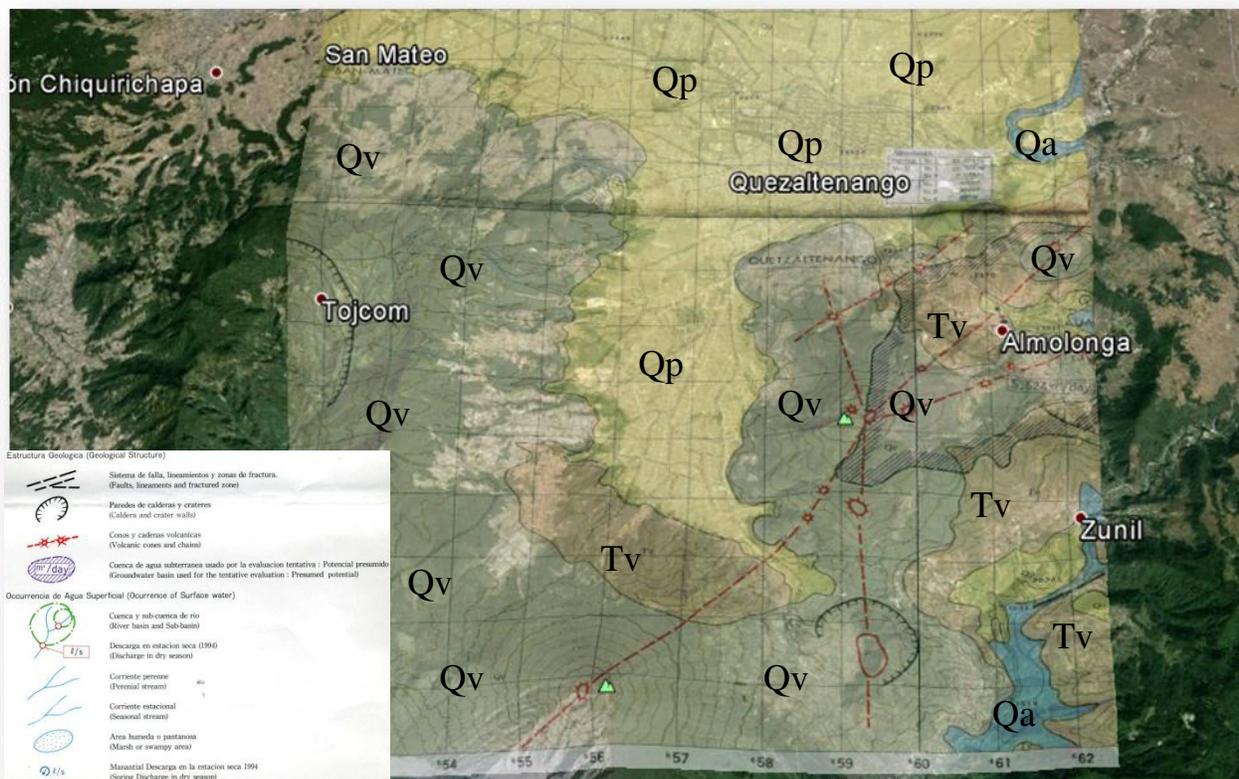
Procedencia del material utilizado, fueron con recursos propios, para ello se utilizó lo siguiente para la investigación geofísica se utilizó un telurómetro, electrodos, martillos de golpe, cables eléctricos, bobinas y para los demás actividades no se requirió de equipo de alta tecnología.

## 5. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Geología

Se realizó la fotointerpretación de la zona urbana de la ciudad de Quetzaltenango, donde se definió los estratos geológicos entre unidades superficiales y lineamientos de fallas, utilizando los mapas geológicos existentes de la zona de estudio a escala 1: 50,000. Presentando los siguientes resultados.

Figura 9: mapa geológico de la zona urbana ciudad de Quetzaltenango



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

La zona urbana de la ciudad de Quetzaltenango su estructura geológica se encuentra Qp que pertenece a la edad geológica cuaternaria, siendo sus unidades hidrogeológicas, acuífero superior, volcánicos pleistocénicos, siendo su litología sedimentos de pómez con depósitos lacustres. En su parte este de la ciudad especialmente en el cauce de los ríos Xeqüijel y Samalá encontramos Qa

sedimentos aluviales, que pertenecen también a la edad cuaternaria, acuífero superior, siendo su litología sedimentos secundarios de materiales volcánicos. Ver figura 10

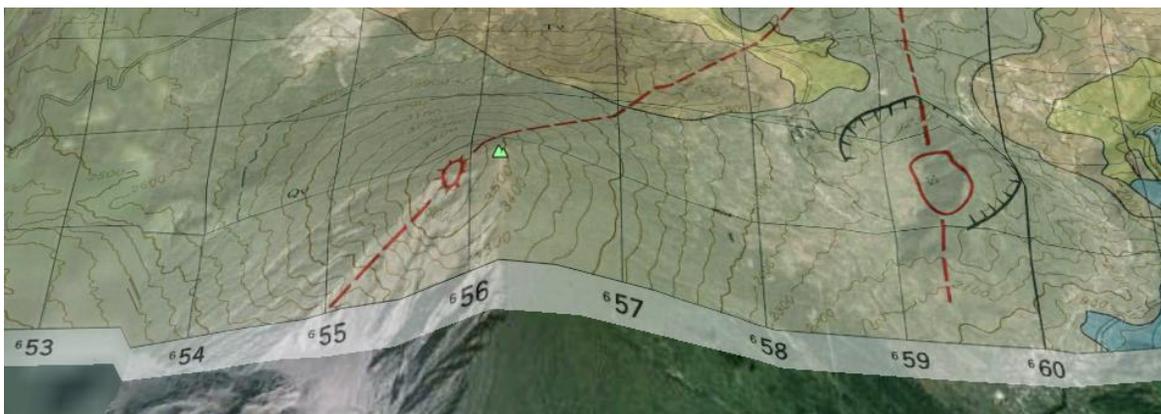
Figura 10: mapa geológico de la zona urbana ciudad de Quetzaltenango



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

En su parte sur del área urbana de la ciudad encontramos unidades hidrogeológicas Qv Volcánicos holocénicos que pertenecen a la edad geológica del cuaternario, su litología es de flujos de lava, lodo, tobas y cenizas. Principalmente donde se ubican los volcanes y cerros que rodean a la ciudad dentro los que podemos ubicar el volcán santa maría, el Santiaguito, el cerro quemado y el siete orejas. Ver figura 11

Figura 11: mapa geológico: volcán santa maría, el Santiaguito, el cerro quemado y el siete orejas



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

También en su parte sur encontramos la siguiente estructura geológica Terciario (Tv) Rocas Igneas y Metamórficas Periodo, Terciario, Rocas volcánicas sin dividir. Predominantemente Mio-Plioceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahático, y sedimentos volcánicos. Sus unidades hidrogeológicas son Acuífero inferior, Volcánicos terciarias, siendo su litología flujo de lavas y materiales piroclastos, encontrándose también latita, Dacita y toba soldada.

Figura 12: Estratigrafía y Litología

Unidades Hidrogeológicas (Hydrogeologic Units)		Litología (Lithology)	
Acuífero Super. (Upper Aquifer)	Qa	Sedimentos Aluviales (Alluvial Sediments)	Sedimentos secundarios de materiales volcánicos (Secondary sediments of volcanic materials)
	Qv	Volcánicos Holocénicos (Holocene Volcanics)	Flujos de lava, lodo, tobas y cenizas (Lava flows, mud flows, tuffs and ashes)
	Qp	Volcánicos Pleistocénicos (Pleistocene Volcanics)	Sedimentos de Pomez con depósitos lacustres (Pumice sediments with lake deposits)
Acuífero Infer. (Lower Aquifer)	Tv	Volcánicos Terciarias (Tertiary Volcanics)	Flujos de lava y materiales piroclásticos (Lava flows and pyroclastic materials)
			Latita / Dacita y toba soldada (Latitic / Dacitic welded tuffs)
Rocas de Basamento (Basement Rocks)	Ir	Rocas Intrusivas (Intrusive Rocks)	Granodiorita, cuarzo diorita etc. (Granodiorite, quartz diorite, etc.)
	Kc	Cretáceos en Serie (Cretaceous Series)	Rocas calcáreas y rocas volcánicas (Calcareous rocks and volcanic rocks)
	Pm	Rocas Metamórficas (Metamorphic Rocks)	Pilita y Esquisto (Phyllite and schists)

Fuente: mapas hidrogeológicos del altiplano central República de Guatemala

## 5.1. ESTUDIO GEOFÍSICO

Se elaboraron los perfiles hidrogeológicos de acuerdo a la información del estudio geofísico y de afloramientos de rocas y de litología de pozos perforados.

El estudio geofísico se realizó dentro de la zona urbana de la ciudad de Quetzaltenango es el siguiente.

Estudio geofísico. Sondeo eléctrico vertical (SEV)

El método consiste en lo siguiente:

*Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)*

El método utilizado es el *Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)* con la configuración del tipo Schlumberger.

Figura 13. Estudio geofísico área urbana zona 6 ciudad de Quetzaltenango

Ensayo de SEV Metodo de Schlumberger							Grafica	
No.	Distancia	MN/2	$\Omega$	Ksch	Pa Cal	Pa Apa	Y	X
1	10	1	2.15	155.509	334.34 $\Omega$ m		334.34	10
2	20	1	1.52	626.748	952.66 $\Omega$ m		952.66	20
3	30	1	2.26	1412.146	3,191.45 $\Omega$ m		3191.45	30
4	40	2	3.09	1253.495	3,873.30 $\Omega$ m		3873.30	40
5	50	5	2.32	777.544	1,803.90 $\Omega$ m		1803.90	50
6	60	5	0.49	1123.119	550.33 $\Omega$ m		550.33	60
7	70	5	2.95	1531.526	4,518.00 $\Omega$ m		4518.00	70
8	80	5	0.45	2002.765	901.24 $\Omega$ m		901.24	80
9	90	10	1.87	1256.637	2,349.91 $\Omega$ m		2349.91	90
10	100	10	1.39	1555.088	2,161.57 $\Omega$ m		2161.57	100
11	110	10	1.52	1884.956	2,865.13 $\Omega$ m		2865.13	110
12	120	10	1.48	2246.239	3,324.43 $\Omega$ m		3324.43	120
13	130	10	0.7	2638.938	1,847.26 $\Omega$ m		1847.26	130

### PERFIL ESTRATIGRAFICO

Profundidad Mts	Profundidad Pies	Resistividad Aparente	perfil hidrogeológico	$\Omega$
10	32.8	334.34	ARCILLAS INORGANICOS DE BAJA PLASTICIDAD Y CON GRAVAS, LIMOSAS ARENISCAS	2.15
20	65.6	952.66		1.52
30	98.4	3191.45	POMEZ Y ARENISCAS	2.26
40	131.2	3873.30		3.09
50	164	1803.90		2.32
60	196.8	550.33	ROCA CON ARENA Y CONGLOMERADOS	0.49
70	229.6	4518.00	POMEZ Y ARENISCAS	2.95
80	262.4	901.24	ARENISCAS Y CONGLOMERADOS+ pomez	0.45
90	295.2	2349.91		1.87
100	328	2161.57		1.39
110	360.8	2865.13	ROCA Y CONGLOMERADOS	1.52
120	393.6	3324.43		1.48
130	426.4	1847.26		0.70

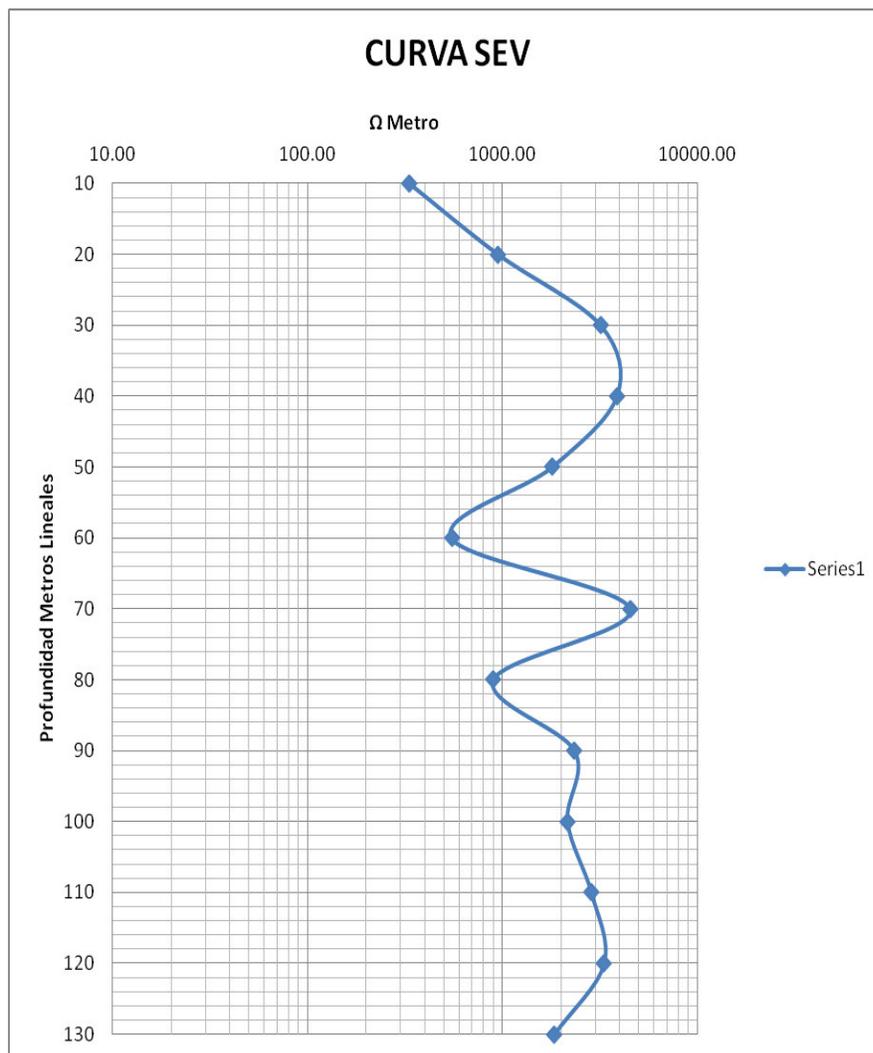
Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

FOTO Mostrando el equipo utilizado, en el área de la zona 6 de la ciudad de Quetzaltenango.



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

FIGURA 14. Grafica mostrando las resistividades aparentes y profundidad del sondeo



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

De acuerdo al sondeo realizado se dan las siguientes conclusiones.

1. En el horizonte de 50 a 60 metros se ubico una zona humedad, la resistividad aparente en este punto es variable, la retención de humedad se da por la litología existente en este punto.
2. De los 80 a 90 metros se ubico pómez, conglomerados y areniscas, también se pudo detectar la presencia de agua.
3. De los 90 metros en adelante se encontró roca y conglomerados, posiblemente se ubique material rocoso como andesita fracturada y conglomerados como roca poma, toda el área se encuentra presente una zona humedad.
4. A los 130 metros se vuelve ubicar la presencia de agua del acuífero inferior del periodo terciario presencia de roca andesita y basalto fracturado.
5. De acuerdo al estudio efectuado en la zona se concluye que el nivel estático se encuentra a 213.20 pies, el dinámico a los 255 pies, la humedad se empieza a localizar a los 196.80 pies.
6. La transmisividad (t) del acuífero inferior semi confinado, es de  $t = 27$  a  $100 \text{ m}^2/\text{día}$ .
7. El coeficiente de almacenamiento para el acuífero en estudio es de  $2.8 \times 10^{-4}$ , acuíferos semi confinados el valor del coeficiente de almacenamiento es variable de orden de magnitud inferior al de la porosidad eficaz en general  $10^{-5}$  y  $10^{-3}$  es adimensional. como puede observarse el valor dado se encuentra en el rango de  $1 \times 10^{-3}$  a  $5 \times 10^{-5}$  lo que indica, que el acuífero a explotar es un acuífero confinado.

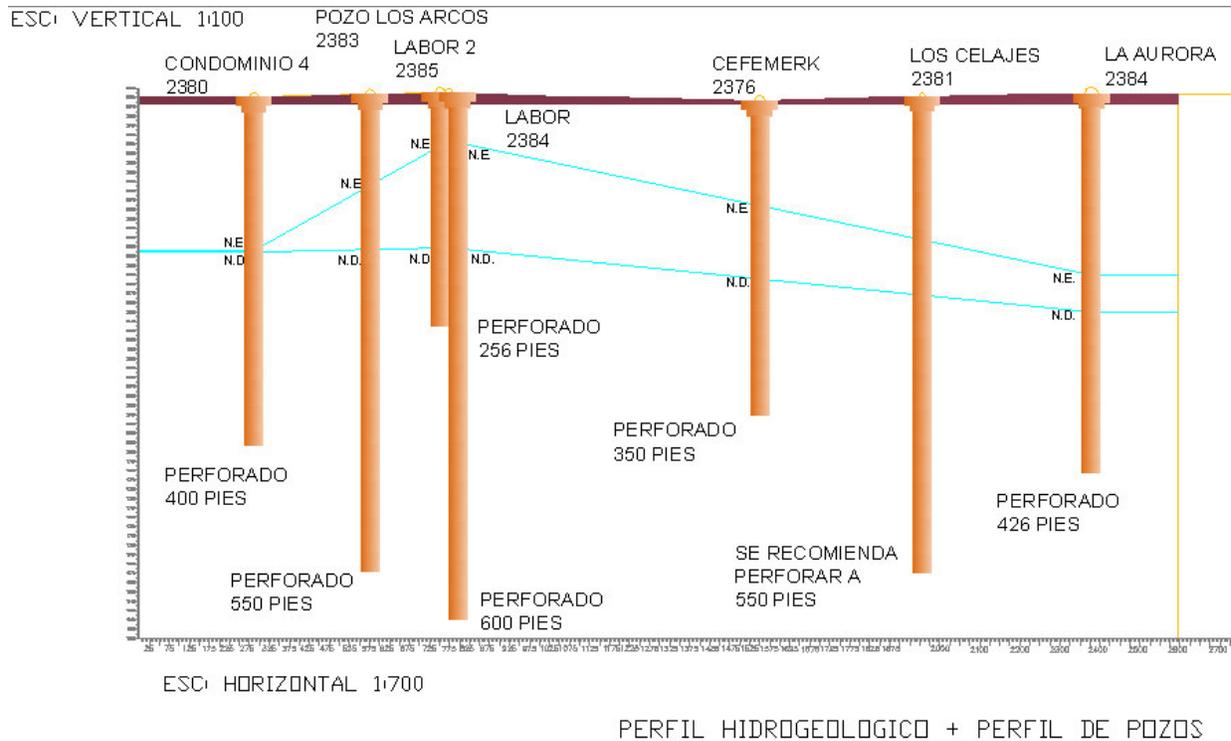
FIGURA 15. Perfil estratigráfico

Profundidad Mts	Profundidad Pies	Resistividad Aparente		$\Omega$
10	32.8	334.34	ARCILLAS INORGANICOS DE BAJA PLASTICIDAD Y CON GRAVAS, LIMOSAS ARENISCAS	2.15
20	65.6	952.66		1.52
30	98.4	3191.45	POMEZ Y ARENISCAS	2.26
40	131.2	3873.30		3.09
50	164	1803.90		2.32
60	196.8	550.33	ROCA CON ARENA Y CONGLOMERADOS	0.49
70	229.6	4518.00	POMEZ Y ARENISCAS	2.95
80	262.4	901.24	ARENISCAS Y CONGLOMERADOS+ pomez	0.45
90	295.2	2349.91		1.87
100	328	2161.57		1.39
110	360.8	2865.13	ROCA Y CONGLOMERADOS	1.52
120	393.6	3324.43		1.48
130	426.4	1847.26		0.70

Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

En el sector donde se ubica la zona 6 y 7 han proliferado los pozos mecánicos. de acuerdo al sondeo realizado en el área hay varios condominios.

FIGURA 16. Ubicación de pozos mecánicos zona 6, ciudad Quetzaltenango



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

Figura 17. Estudio geofísico área urbana zona 9, ciudad de Quetzaltenango  
*Sondeos Eléctricos Verticales, (SEV):*  
**PERFIL GEO ELÉCTRICO**

Ensayo de SEV -- Metodo de Wenner			Ubicación : 15p 0656929 E , 1641834 N msnm 2404					
No.	PROFUNDIDAD METROS	$\Omega$	Kw	Pa Calculado	Pa Aparato	Grafica		
						RESISTIVIDAD APARENTE	PROFUNDIDAD EN METROS	
1	1	32.7	6.283	205.46	226	226.00	1	
2	2	11.81	12.566	148.41	152.6	152.60	2	
3	3	6.91	18.850	130.25	131.7	131.70	3	
4	4	5.17	25.133	129.94	132	132.00	4	
5	5	4.23	31.416	132.89	133.2	133.20	5	
6	6	2.98	37.699	112.34	107.9	107.90	6	
7	7	4.92	43.982	216.39	222	222.00	7	
8	8	4.22	50.265	212.12	214	214.00	8	
9	9	3.34	56.549	188.87	192.7	192.70	9	
10	10	0.56	62.832	35.19	42.8	42.80	10	
11	11	3.32	69.115	229.46	226	226.00	11	
12	12	2.1	75.398	158.34	158.5	158.50	12	
13	13	3.12	81.681	254.85	259	259.00	13	
14	14	3.36	87.965	295.56	296	296.00	14	
15	15	3.27	94.248	308.19	282	282.00	15	
16	16	3.04	100.531	305.61	297	297.00	16	
17	17	2.66	106.814	284.13	281	281.00	17	
18	18	2.83	113.097	320.07	320	320.00	18	
19	19	1.96	119.381	233.99	245	245.00	19	

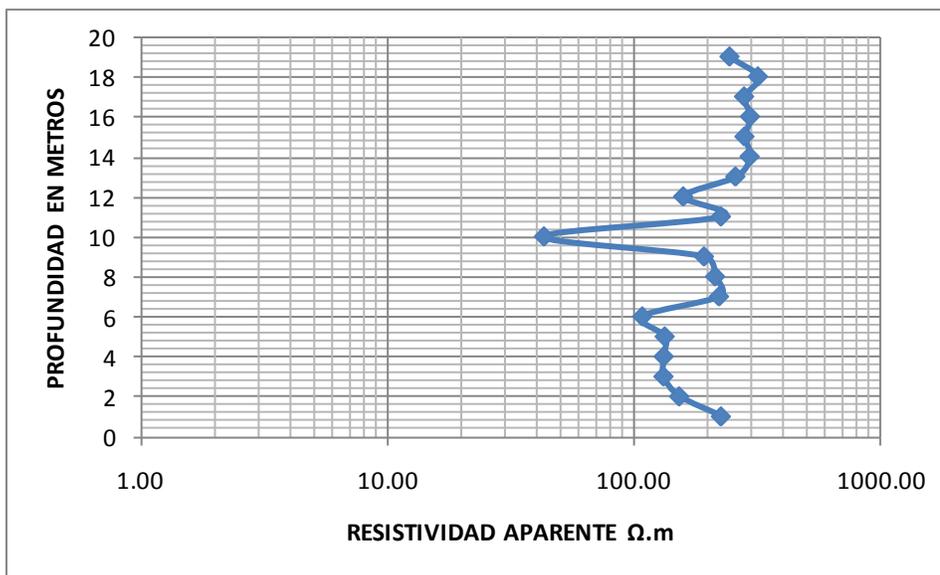
Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

**ESTRUCTURA GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Ensayo de SEV -- Metodo de Wenner			Ubicación : 15p 0656929 E , 1641834 N msnm 2404					
No.	PROFUNDIDAD METROS	$\Omega$	Kw	PERFIL GEOLOGICO	PERFIL GEOELECTRICO	Grafica		
						RESISTIVIDAD APARENTE	PROFUNDIDAD EN METROS	
1	1	32.7	6.283	LIMOS SUELO SECO	226	226.00	1	
2	2	11.81	12.566	LIMOS ARENOSOS	152.6	152.60	2	
3	3	6.91	18.850	ARENAS LIMOSAS	131.7	131.70	3	
4	4	5.17	25.133	LIMOS ARENOSOS	132	132.00	4	
5	5	4.23	31.416	LIMOS ARENOSOS	133.2	133.20	5	
6	6	2.98	37.699	LIMOS ARENOSOS	107.9	107.90	6	
7	7	4.92	43.982	ARENAS + POMA	222	222.00	7	
8	8	4.22	50.265	ARENAS + POMA	214	214.00	8	
9	9	3.34	56.549	ARENAS + POMA	192.7	192.70	9	
10	10	0.56	62.832	LIMOS	42.8	42.80	10	
11	11	3.32	69.115	ARENAS + ARCILLA + POMA	226	226.00	11	
12	12	2.1	75.398	ARENAS + POMA	158.5	158.50	12	
13	13	3.12	81.681	ARENAS + POMA	259	259.00	13	
14	14	3.36	87.965	ARENAS + POMA	296	296.00	14	
15	15	3.27	94.248	ARENAS + POMA	282	282.00	15	
16	16	3.04	100.531	ARENAS + POMA	297	297.00	16	
17	17	2.66	106.814	ARENAS+ROCA	281	281.00	17	
18	18	2.83	113.097	ARENAS+ROCA	320	320.00	18	
19	19	1.96	119.381	ARENAS+ROCA	245	245.00	19	

Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

**Figura 18. Bajadas de la resistividad aparente a diferentes profundidades**



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

Comentarios: los primeros estratos esta compuesto por arenas, limos, piedra pómez y areniscas, conglomerados, hasta llegar a los 19.00 metros de profundidad la zona húmeda inicia a esta profundidad.

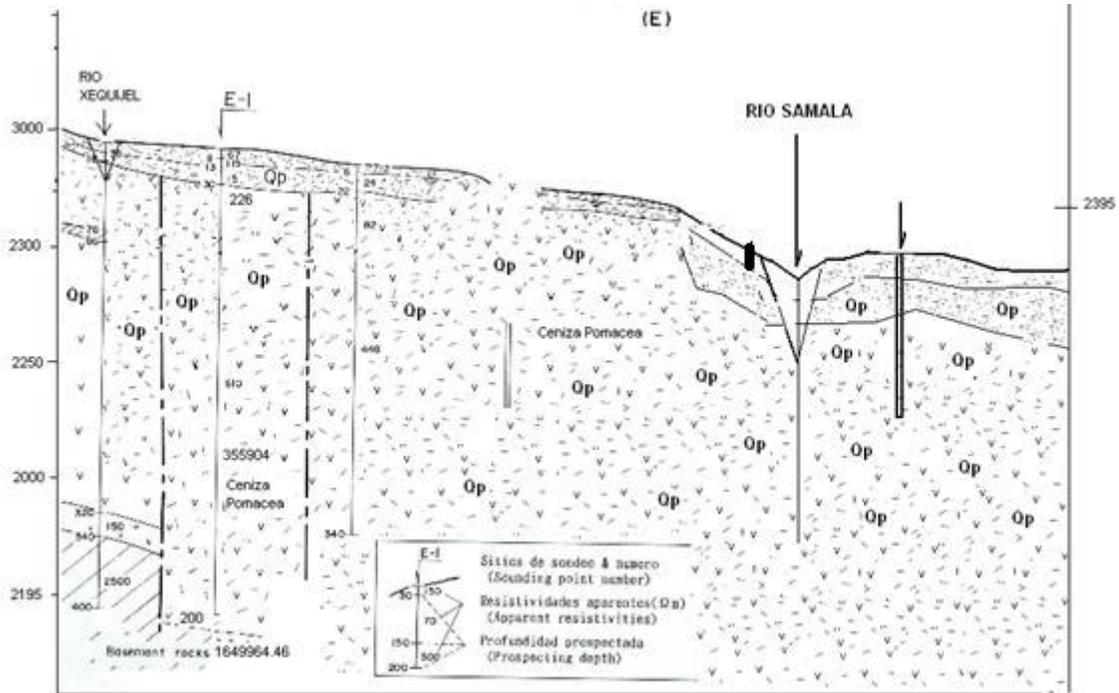
Edad geológica: cuaternario

Unidades hidrogeológicas: acuífero superior qp volcánicos pleistocenos.

Litología: sedimentos de pómez con depósitos lacustres

Figura 19. Estudio geofísico área urbana zona 0, ciudad de Quetzaltenango

Qp	Volcanicos Pleistocenicos (Pleistocene Volcanics)	Sedimentos de Pomez con depositos lacustres (Pumice sediments with lake deposits)
----	--	--



FUENTE: MAPAS HIDROGEOLÓGICOS ALTIPLANO CENTRAL

## 5.1. 1. RESULTADOS DEL ESTUDIO GEOFÍSICO

Figura 20: Perfil estratigráfico área urbana zona 0, ciudad de Quetzaltenango

Ensayo de SEV Metodo de Schlumberger							Grafica	
No.	Distancia	MN/2	$\Omega$	Ksch	Pa Cal	Pa Apa	Y	X
1	1	0.5	100.7	2.356	237.27 $\Omega$ m		237.27	1
2	2	0.5	20.1	11.781	236.80 $\Omega$ m		236.80	2
3	3	0.5	6.58	27.489	180.88 $\Omega$ m		180.88	3
4	4	0.5	3.18	49.480	157.35 $\Omega$ m		157.35	4
5	5	0.5	1.9	77.754	147.73 $\Omega$ m		147.73	5
6	6	0.5	1.43	112.312	160.61 $\Omega$ m		160.61	6
7	7	0.5	0.98	153.153	150.09 $\Omega$ m		150.09	7
8	8	0.5	0.89	200.277	178.25 $\Omega$ m		178.25	8
9	9	0.5	0.61	253.684	154.75 $\Omega$ m		154.75	9
10	10	0.5	0.38	313.374	119.08 $\Omega$ m		119.08	10
11	11	2	0.93	91.892	85.46 $\Omega$ m		85.46	11
12	12	2	0.83	109.956	91.26 $\Omega$ m		91.26	12
13	13	2	0.6	129.591	77.75 $\Omega$ m		77.75	13
14	14	2	0.55	150.796	82.94 $\Omega$ m		82.94	14
15	15	2	0.57	173.573	98.94 $\Omega$ m		98.94	15
16	16	2	0.98	197.920	193.96 $\Omega$ m		193.96	16
17	17	2	0.31	223.838	69.39 $\Omega$ m		69.39	17
18	18	2	0.38	251.327	95.50 $\Omega$ m		95.50	18
19	19	2	0.32	280.387	89.72 $\Omega$ m		89.72	19
20	20	2	0.32	311.018	99.53 $\Omega$ m		99.53	20
21	25	5	0.64	188.496	120.64 $\Omega$ m		120.64	25
22	26	5	0.53	204.518	108.39 $\Omega$ m		108.39	26
23	27	5	0.41	221.168	90.68 $\Omega$ m		90.68	27
24	28	5	0.42	238.447	100.15 $\Omega$ m		100.15	28
25	29	5	0.31	256.354	79.47 $\Omega$ m		79.47	29
26	30	5	0.34	274.889	93.46 $\Omega$ m		93.46	30
27	40	5	0.13	494.801	64.32 $\Omega$ m		64.32	40
28	50	5	0.22	777.544	171.06 $\Omega$ m		171.06	50
29	60	5	1.36	1123.119	1,527.44 $\Omega$ m		1527.44	60
30	70	5	1.28	1531.526	1,960.35 $\Omega$ m		1960.35	70

Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

Figura 21 PERFIL HIDROGEOLÓGICO área urbana zona 0, ciudad de Quetzaltenango

Profundidad Mts	Profundidad Pies	Resistividad Aparente		$\Omega$
1	3.28	237.27	LIMOS Y ARENISCAS	100.70
2	6.56	236.80		20.10
3	9.84	180.88		6.58
4	13.12	157.35		3.18
5	16.4	147.73		1.90
6	19.68	160.61		1.43
7	22.96	150.09		0.98
8	26.24	178.25		0.89
9	29.52	154.75		0.61
10	32.8	119.08		0.38
11	36.08	85.46	LIMOS	0.93
12	39.36	91.26		0.83
13	42.64	77.75		0.60
14	45.92	82.94		0.55
15	49.2	98.94		0.57
16	52.48	193.96	LIMOS Y ARENISCAS	0.98
17	55.76	69.39	LIMOS	0.31
18	59.04	95.50		0.38
19	62.32	89.72		0.32
20	65.6	99.53		0.32
25	82	120.64	LIMOS Y ARENISCAS	0.64
26	85.28	108.39		0.53
27	88.56	90.68	LIMOS	0.41
28	91.84	100.15	LIMOS Y ARENISCAS	0.42
29	95.12	79.47	LIMOS	0.31
30	98.4	93.46		0.34
40	131.2	64.32		0.13
50	164	171.06	LIMOS Y ARENISCAS	0.22
60	196.8	1527.44	PIEDRA Y CONGLOMERADOS	1.36
70	229.6	1960.35		1.28

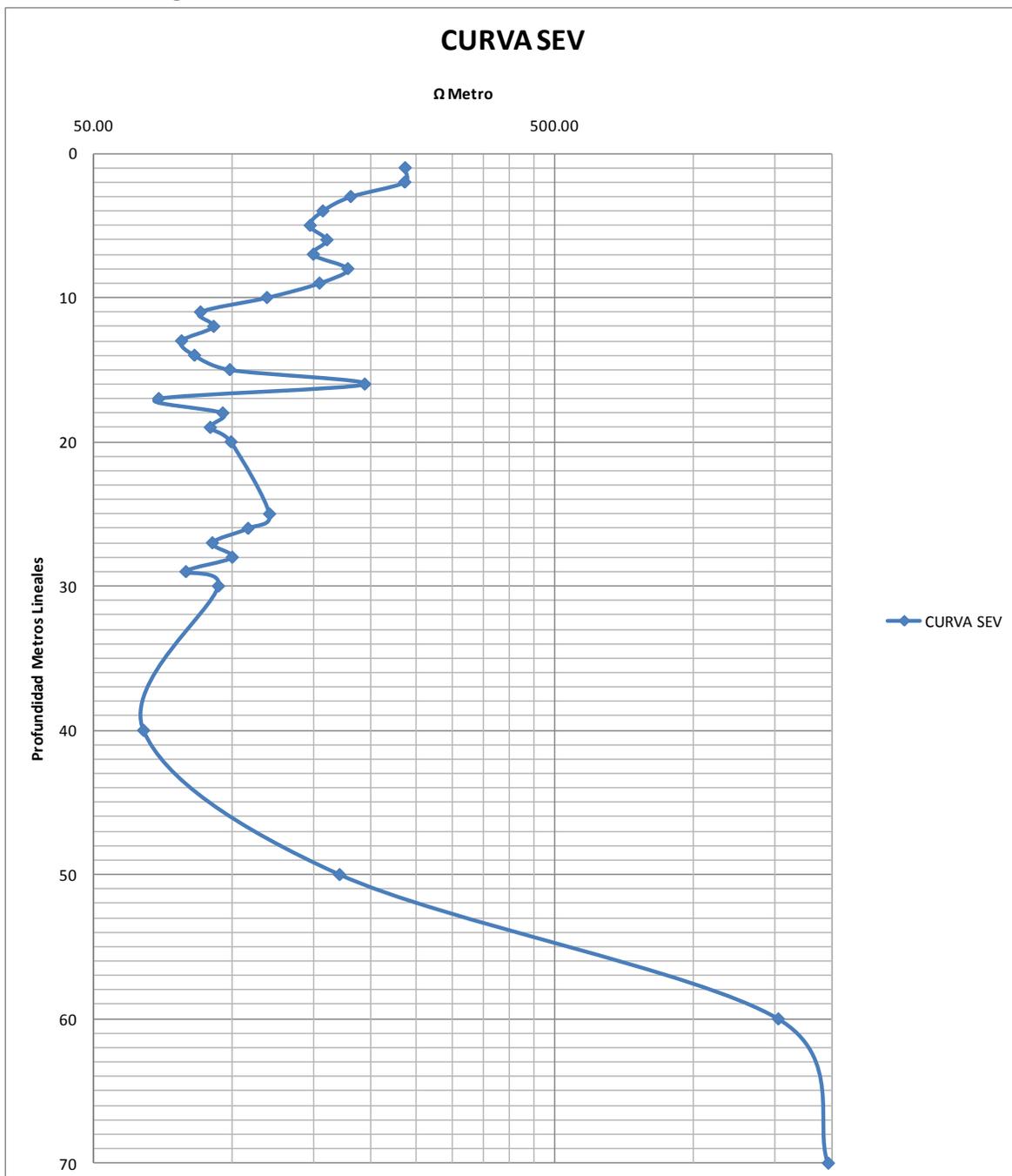
Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

**SUELO SATURADO:**

**AGUA ARTESIANA** 

**ACUÍFERO SEMICONFINADO** 

Figura 22: Sondeo eléctrico vertical área urbana zona 0, ciudad de Quetzaltenango



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

### 5.1. 2. CONCLUSIONES DE INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA

La investigación geofísica, de los sondeos eléctricos verticales SEV para el eje vertical, definió la existencia de un SUELO SATURADO a profundidad de 7 metros en material semi impermeable limos + areniscas, agua artesiana se encontró a los 16, 25 y 26 metros de profundidad y el acuífero semiconfinado esta a los 50 metros de profundidad el inicio. Existiendo una capa de material semiconfinante compuestos de limos y areniscas en algunos casos y limos en otros estratos .

El área estudiada se considera con el tipo de rocas saturadas con agua, los valores de resistividad nos indican que son rocas ígneas y metamórficas del periodo cuaternario. Cenizas pomáceas.

Figura 23 PERFIL ESTRATIGRÁFICO área urbana zona 0, ciudad de Quetzaltenango.

Ensayo de SEV Metodo de Schlumberger

No.	Distancia	MN/2	$\Omega$	Ksch	Pa Cal	Pa Apa
1	5	1	3.51	37.699	132.32 $\Omega$ m	
2	10	1	1.67	155.509	259.70 $\Omega$ m	
3	15	1	1.64	351.858	577.05 $\Omega$ m	
4	20	4	3.54	150.796	533.82 $\Omega$ m	
5	30	4	1.6	347.146	555.43 $\Omega$ m	
6	40	4	0.93	622.035	578.49 $\Omega$ m	
7	50	4	0.5	975.465	487.73 $\Omega$ m	
8	60	4	1.14	1407.434	1,604.47 $\Omega$ m	
9	70	4	0.51	1917.942	978.15 $\Omega$ m	
10	80	8	0.45	1244.071	559.83 $\Omega$ m	
11	90	8	0.58	1577.865	915.16 $\Omega$ m	
12	100	8	0.22	1950.929	429.20 $\Omega$ m	
13	110	8	0.88	2363.263	2,079.67 $\Omega$ m	
14	120	8	0.13	2814.867	365.93 $\Omega$ m	
15	130	8	1.26	3305.741	4,165.23 $\Omega$ m	
16	140	8	0.22	3835.885	843.89 $\Omega$ m	
17	150	8	0.38	4405.298	1,674.01 $\Omega$ m	

Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

Figura 24: PERFIL HIDROGEOLÓGICO área urbana zona 0, ciudad de Quetzaltenango.

Profundidad Mts	Profundidad Pies	Resistividad Aparente		$\Omega$
5	16.4	132.32	LIMOS	3.51
10	32.8	259.70		1.67
15	49.2	577.05	CONGLOMERADOS	1.64
20	65.6	533.82		3.54
30	98.4	555.43		1.60
40	131.2	578.49		0.93
50	164	487.73		0.50
60	196.8	1604.47	CONGLOMERADOS Y ROCA	1.14
70	229.6	978.15		0.51
80	262.4	559.83	CONGLOMERADOS	0.45
90	295.2	915.16		0.58
100	328	429.20	PIEDRA SANA	0.22
110	360.8	2079.67	PIEDRA SANA	0.88
120	393.6	365.93		0.13
130	426.4	4165.23	PIEDRA SANA	1.26
140	459.2	843.89		0.22
150	492	1674.01	CONGLOMERADOS Y ROCA	0.38

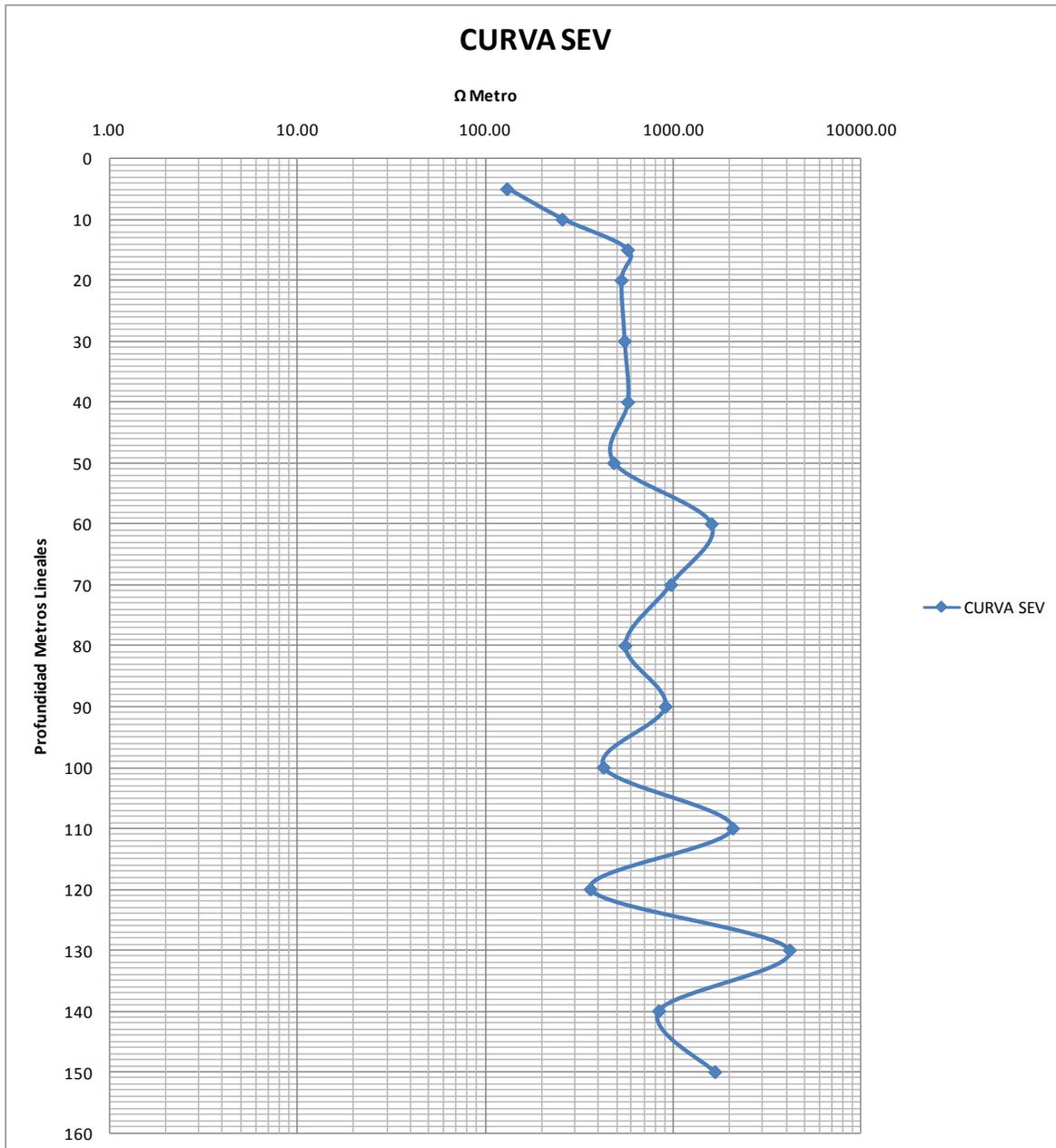
Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

ACUITARDO: 

ACUÍFERO SEMICONFINADO 

ACUÍFERO SEMICONFINADO 

**Figura 25:** Se puede observar en las bajadas de la resistividad aparente a diferentes profundidades



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

### 5.1. 3. CONCLUSIONES DE INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA

La investigación geofísica, de los sondeos eléctricos verticales SEV para el eje vertical, definió la existencia de un SUELO SATURADO COMPUESTO POR UN ACUITARDO a profundidad de 20 metros en material semi impermeable limos +areniscas, agua artesiana se encontró a los 16, 25 y 26 metros de profundidad y el acuífero semiconfinado esta a los 70 metros de profundidad el inicio. Existiendo una capa de material semiconfinante compuestos de limos y areniscas en algunos casos y limos en otros estratos.

El área estudiada se considera con el tipo de rocas saturadas con agua, los valores de resistividad nos indican que son rocas ígneas y metamórficas del periodo cuaternario. Cenizas pomáceas.

Figura 26 PERFIL ESTRATIGRÁFICO área urbana zona 1, ciudad de Quetzaltenango, Resultados del sondeo eléctrico vertical.

Ensayo de SEV -- Metodo de Wenner		Ubicación Geografica:		14°54'46" N - 91°22'06" W - 2457 MSNM		Grafica		Grafica Resistencia	
No.	Distancia	$\Omega$	Kw	Pa Calculado	Pa Aparato	y	x	y	x
1	1	31.6	6.283	198.55 $\Omega$ m	220	198.55	1	0.00	1
2	2	23.4	12.566	294.05 $\Omega$ m	302 $\Omega$ m	294.05	2	0.00	2
3	3	6.53	18.850	123.09 $\Omega$ m	125.7	123.09	3	0.00	3
4	4	5.2	25.133	130.69 $\Omega$ m	132.9 $\Omega$ m	130.69	4	0.00	4
5	5	5.76	31.416	180.96 $\Omega$ m	179.1	180.96	5	0.00	5
6	6	4.3	37.699	162.11 $\Omega$ m	157.7 $\Omega$ m	162.11	6	0.00	6
7	7	3	43.982	131.95 $\Omega$ m	134.9 $\Omega$ m	131.95	7	0.00	7
8	9	3.21	56.549	181.52 $\Omega$ m	178.8 $\Omega$ m	181.52	9	0.00	9
9	11	544	69.115	37598.58 $\Omega$ m	37510 $\Omega$ m	37598.58	11	0.00	11
10	13	3.72	81.681	303.85 $\Omega$ m	296 $\Omega$ m	303.85	13	0.00	13
11	14	4.1	87.965	360.65 $\Omega$ m	368 $\Omega$ m	360.65	14	0.00	14
12	15	4.47	94.248	421.29 $\Omega$ m	362 $\Omega$ m	421.29	15	0.00	15
13	16	2.89	100.531	290.53 $\Omega$ m	242 $\Omega$ m	290.53	16	0.00	16



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

Ensayo de SEV -- Metodo de Wenner		Ubicación Geografica:		14°54'46" N - 91°22'06" W - 2457 MSNM		Grafica	Grafica Resistencia
No.	PROFUNDIDAD METROS	$\Omega$	Kw	Pa Calculado			
1	0.20	20.80	1.257	26.14	$\Omega$ m		
2	0.35	6.79	2.199	14.93	$\Omega$ m		
3	0.50	5.07	3.142	15.93	$\Omega$ m		
4	0.70	4.12	4.398	18.12	$\Omega$ m		
5	0.85	3.53	5.341	18.85	$\Omega$ m		
6	1.00	3.55	6.283	22.31	$\Omega$ m		
				41.16			
7	1.20	3.30	7.540	24.88	$\Omega$ m		
8	1.35	3.05	8.482	25.87	$\Omega$ m		
9	1.50	3.05	9.425	28.75	$\Omega$ m		
				54.62			
10	2.00	3.26	12.566	40.97	$\Omega$ m		
11	3.00	2.37	18.850	44.67	$\Omega$ m		
				85.64			

Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

#### **5.1. 4. Análisis de los resultados sev:**

##### **Conclusión:**

1. En este perfil a los 16 m de profundidad en adelante analizados se encontró el inicio de una zona húmeda. lo que hace que baje considerablemente la resistencia mecánica del suelo en este estrato
2. La resistencia mecánica del suelo limoso arcilloso arenoso en presencia de humedad baja paulatinamente aniveles bajo
3. Pero el suelo limoso arenoso con baja cantidad de arcilla tiene una mayor resistencia mecánica en presencia de humedad la profundidad a los 3.00 y 5.00 metros
4. Las condiciones del suelo presenta condiciones similares de a los anteriores a excepción a la profundidad de 11 metros que existe un estrato de roca



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

En esta fotografía podemos apreciar cuando se está realizando el estudio geofísico en el área de la zona 1 de Quetzaltenango.

Figura 27 PERFIL ESTRATIGRÁFICO área urbana zona 1, ciudad de Quetzaltenango, Resultados del sondeo eléctrico vertical.

A continuación se presenta los resultados del perfilaje del sondeo eléctrico vertical

### Perfil geoelectrico

REGISTRO DE MEDICIONES DE RESISTIVIDAD			
PUNTO DE MEDICION	DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS	RESISTENCIA (Ohm)	RESISTIVIDAD (Ohm * m)
S1	1	0,004926108	2,35619449
S2	2	0,12037037	11,78097245
S3	3	0,037931034	27,48893572
S4	4	0,017369727	49,48008429
S5	5	0,026246719	77,75441818
S6	6	0,020779221	112,3119374
S7	7	0,013888889	153,1526419
S8	8	0,035087719	200,2765317
S9	9	0,011940299	253,6836068
S10	10	0,012269939	313,3738672
S11	11	0,006410256	379,3473129
S12	12	0,016447368	451,603944
S13	13	0,020477816	530,1437603
S14	14	0,032142857	614,9667619
S15	15	0,028571429	706,0729489

Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

En la siguiente fotografía se muestra el momento cuando se estaba realizando el perfilaje de método geofísico.



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

### 5.1. 5. Análisis:

1. En los primeros estratos el suelo presenta una resistividad baja debido que es un suelo franco arcilloso con una leve humedad, a mayor profundidad la resistividad del suelo aumenta, presentando un suelo franco arenoso limoso fino.
2. A mayor profundidad a los 15 metros la porosidad del suelo es menor
3. En el área del proyecto no se encontró ninguna capa freática colgada y ningún acuicluso.
4. A los 10 metros se tiene una buena resistividad del suelo para realizar la cimentación sea esta superficial o semiprofundas.

Figura 28 PERFIL ESTRATIGRÁFICO área urbana zona 2, ciudad de Quetzaltenango, Resultados del sondeo eléctrico vertical.

#### Perfil estratigráfico

Cordenadas	15p	660292 E	1640706 N		
<b>Ensayo de SEV Metodo de Schlumberger</b>					
No.	PROFUNDIDAD EN METROS	MN/2	$\Omega$	Ksch	Resistividad Aparente
1	2	1	26.4	4.712	124.41 $\Omega$ m
2	4	1	3.97	23.562	93.54 $\Omega$ m
3	6	1	2.79	54.978	153.39 $\Omega$ m
4	8	1	1.82	98.960	180.11 $\Omega$ m
5	10	1	2.34	155.509	363.89 $\Omega$ m
6	12	1	2.81	224.624	631.19 $\Omega$ m

Profundidad Mts	Profundidad Pies	Resistividad Aparente	perfil	$\Omega$
2	6.56	124.41	sp-sm + ml limos inorgánicos	26.40
4	13.12	93.54	sm arenas limosas	3.97
6	19.68	153.39	sm+cl+ml arcillas+limos inorgánicos, arenosas	2.79
8	26.24	180.11	sm+cl+ml arcillas+limos inorgánicos, arenosas	1.82
10	32.8	363.89	sm+cl+ml arcillas+limos inorgánicos, arenosas	2.34
12	39.36	631.19	limos inorgánicos, arenosas, rocas	2.81

Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

### 5.1.6. Análisis de los resultados sev:

#### **Conclusión:**

1. En este perfil de 1.00 a 1.50 m de profundidad en adelante analizado se encontró el inicio de una zona húmeda. lo que hace que baje considerablemente la resistencia mecánica del suelo
2. La resistencia mecánica del suelo limoso arcilloso arenoso en presencia de humedad baja paulatinamente a niveles muy bajo
3. Pero el suelo limoso arenoso con baja cantidad de arcilla tiene una mayor resistencia mecánica en presencia de humedad la profundidad de 3.00 a 3.50 metros.

Las condiciones del suelo presenta condiciones similares de baja resistencia la profundidad de 12 metros.

Foto se muestra el momento cuando se estaba realizando el perfilaje de método geofísico



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

## 5.2. Hidrogeología

### 5.2.1 Características del Acuífero

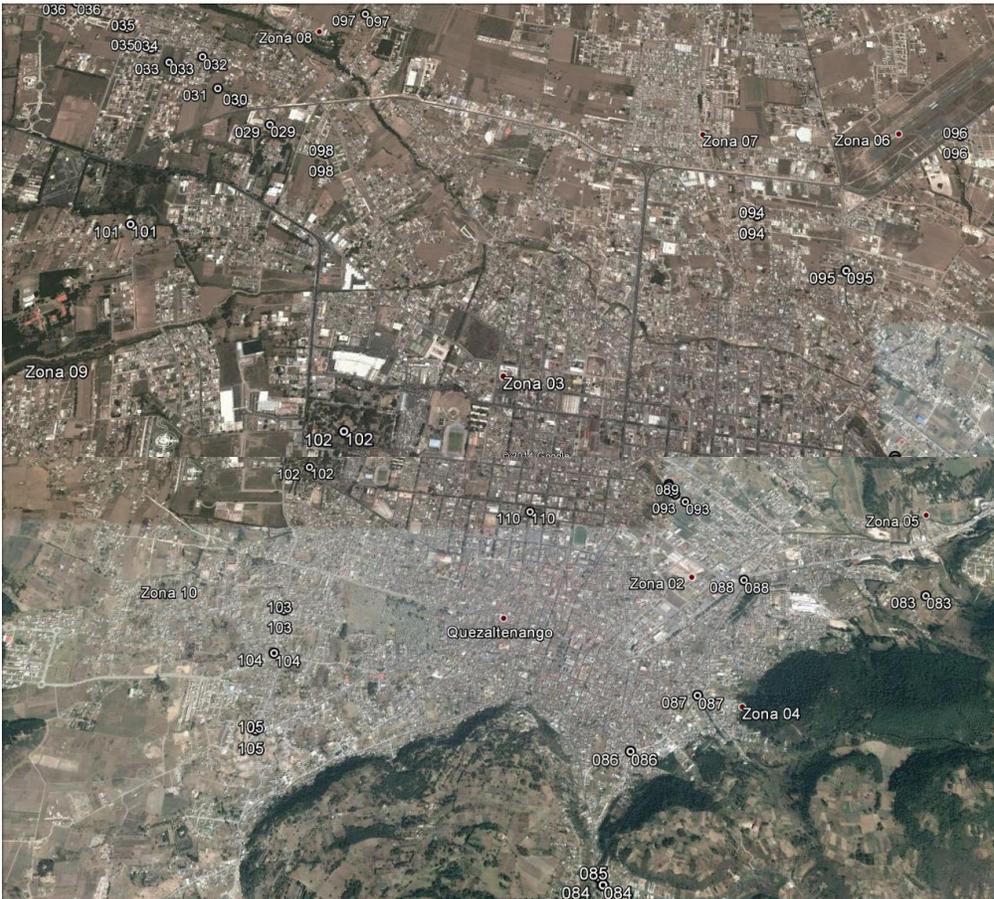
se definió de acuerdo a la información de geología y estratigrafía, pero principalmente de la información recabada de los estudios geofísicos y los pozos en el área de estudio, es decir, niveles estáticos, litología, caudales y profundidad de perforación.

En el área urbana de la ciudad de Quetzaltenango existen pozos del sector público que pertenecen a la municipalidad y del sector privado que pertenecen al área industrial y comercial.

Para fines de la investigación se tomaron los datos de los pozos del sector público Siendo los siguientes.

Referencia	punto	coordenadas geografica:	altura
Pozo las rosas	81	N14 50.725 W91 29.189	2352 m
Pozo las rosas	82	N14 50.725 W91 29.191	2348 m
Pozo Xeul alto	83	N14 50.245 W91 29.727	2393 m
Estación de bombeo Xeul chicua	84	N14 49.191 W91 30.974	2447 m
Pozo salida Almolonga	85	N14 49.217 W91 30.986	2438 m
Pozo Cenizal 1	86	N14 49.658 W91 30.859	2362 m
Pozo cenizal 2	87	N14 49.869 W91 30.606	2351 m
Pozo la rotonda	88	N14 50.329 W91 30.397	2330 m
Pozo el chirriez 5	89	N14 50.707 W91 30.654	2344 m
Pozo el Chirriez 6	90	N14 50.735 W91 30.663	2344 m
Pozo el chirriez 7	91	N14 50.744 W91 30.663	2345 m
Pozo el chirriez 4	92	N14 50.700 W91 30.640	2338 m
Pozo el chirriez 1	93	N14 50.670 W91 30.600	2329 m
Pozo zonz 7 fuera de servicio	94	N14 51.400 W91 30.966	2383 m
Pozo zona 6	95	N14 51.238 W91 30.733	2388 m
Pozo ona 6 Cefemerq	96	N14 51.650 W91 30.342	2378 m
Pozo la cipresada	97	N14 52.054 W91 32.128	2409 m
Pozo La democaracia	98	N14 51.590 W91 32.212	2410 m
Pozo salida a San Marcos	99	N14 51.848 W91 33.461	2470 m
Pozo Xitux	100	N14 51.282 W91 33.781	2498 m
Pozo zona 9	101	N14 51.365 W91 32.741	2418 m
Pozo zoologico	102	N14 50.804 W91 32.098	2396 m
Pozo Paraiso	103	N14 50.193 W91 32.138	2375 m
Pozo Pacaja	104	N14 50.021 W91 32.157	2377 m
Pozo la Americas	105	N14 49.732 W91 32.192	2381 m
Pozo Tierra Colorada baja	106	N14 48.945 W91 32.872	2407 m
Pozo Nuevo Tierra Colorada 2	107	N14 48.772 W91 32.909	2407 m
Pozo Llanos del Pinal	108	N14 47.477 W91 32.634	2461 m
Pozo Chuicavioc	109	N14 47.063 W91 32.129	2473 m
Pozo Benito Juarez	110	N14 50.610 W91 31.217	2372 m

Fotografía aérea se muestra la ubicación de los pozos mecánicos municipales ya perforados.



Fuente: google earth, Emax, Dagoberto bautista

### **5.2.1.1 ANÁLISIS DE POZOS DEL AREA URBANA DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE QUETZALTENANGO.**

#### **PARÁMETROS CALCULADOS:**

Permeabilidad.

Transmisividad

Coefficiente de almacenamiento

Cono de descensos.

Para la realización del análisis se procedió a sectorizar por zonas donde en la actualidad la empresa municipal de aguas cuentan con pozos perforados y en operación.

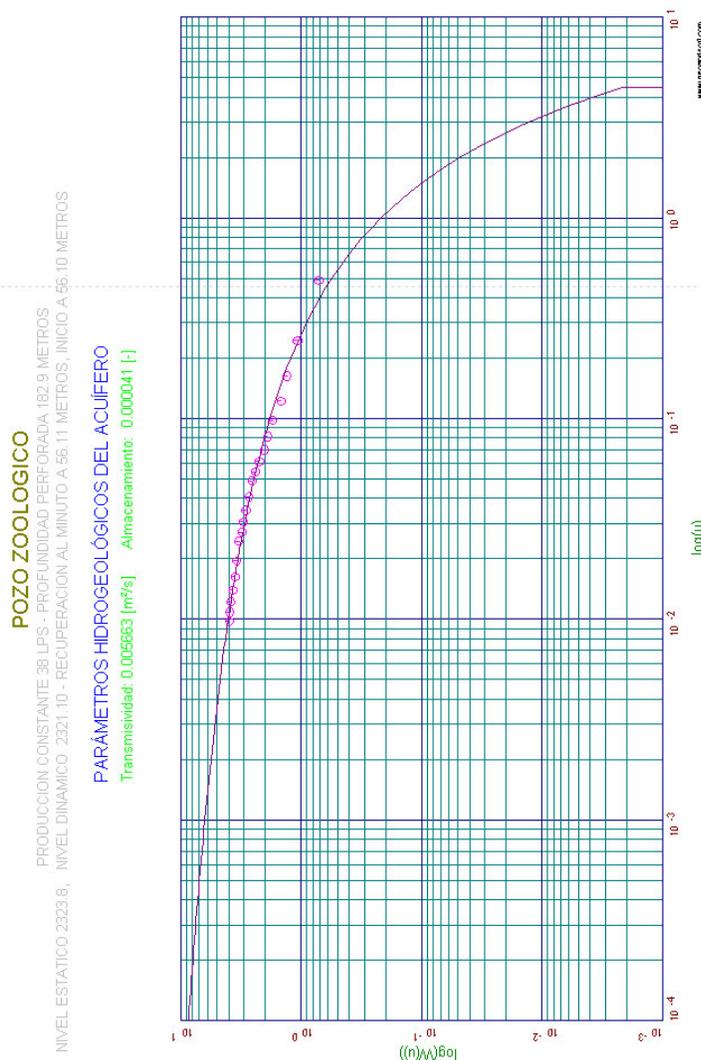
### 5.2.1.2 Transmisividad

Para calcular se uso la prueba de bombeo, en los diferentes pozos que se incluyen en el área de estudio. Las pruebas incluyen tiempo y abatimiento, caudal constante en L/s, revestimiento, diámetro, profundidad total, columna de agua y nivel estático.

La transmisividad se calculo a través de los métodos de Jacob y Theis. Resultados.

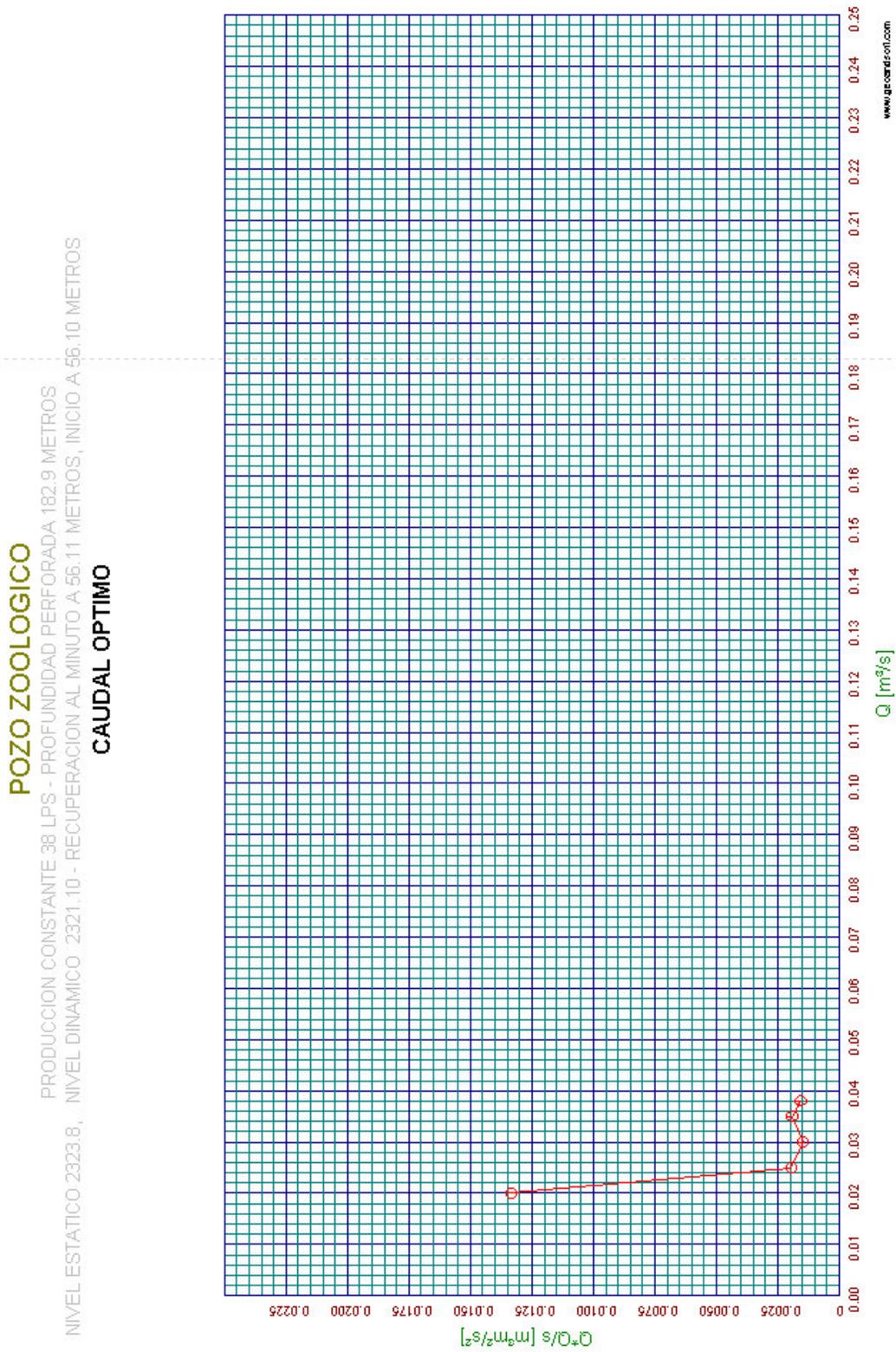
### POZO ZOOLOGICO

Figura 29: Pozo zoológico parámetros hidrogeológicos del acuífero. Zona 3, zona 9 y zona 1, ciudad de Quetzaltenango.



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

Figura 30: Pozo zoológico, Caudal optimo



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

## POZO ZOOLOGICO

PRODUCCION CONSTANTE 38 LPS - PROFUNDIDAD PERFORADA 182.9 METROS  
NIVEL ESTATICO 2323.8, NIVEL DINAMICO 2321.10 - RECUPERACION AL MINUTO A 56.11 METROS, INICIO A 56.10 METROS

### DIAGRAMA DESCENSO CAUDAL



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

**POZO ZOOLOGICO**  
**PRODUCCION CONSTANTE 38 LPS - PROFUNDIDAD PERFORADA 182.9 METROS**  
**NIVEL ESTATICO 2323.8, NIVEL DINAMICO 2321.10 - RECUPERACION AL MINUTO A 56.11 METROS, INICIO A 56.10 METROS**

**CONDICIONES EJECUCIÓN ENSAYO DE BOMBEO:**  
**Artesiana - Completo - Transitorio - Theis (n pz.; n t.)**

**Radio del pozo [m] 0.1016**

**DISTANCIAS PIEZÓMETROS**

Piezómetro	Distancias [m]
1	126.41
2	317.59
3	467.09
4	672.53

**DESCENSO POZOS**

n.	Tiempos [s]	Caudal [m³/s]	Descensos [m]
1	60.00	0.020000	0.03
2	120.00	0.020000	0.03
3	180.00	0.020000	0.03
4	240.00	0.020000	0.03
5	300.00	0.020000	0.03
6	360.00	0.020000	0.03
7	420.00	0.020000	0.03
8	480.00	0.020000	0.03
9	540.00	0.020000	0.03
10	600.00	0.020000	0.03
11	720.00	0.020000	0.03
12	840.00	0.020000	0.03
13	960.00	0.020000	0.03
14	1080.00	0.020000	0.03
15	1200.00	0.020000	0.03
16	1500.00	0.020000	0.03
17	1800.00	0.020000	0.03
18	2100.00	0.020000	0.03
19	2400.00	0.020000	0.03
20	2700.00	0.020000	0.03
21	3000.00	0.020000	0.03
22	3300.00	0.020000	0.03
23	3600.00	0.020000	0.03
24	3900.00	0.020000	0.03
25	4200.00	0.020000	0.03
26	4500.00	0.020000	0.03
27	4800.00	0.020000	0.03
28	12000.00	0.025000	0.32
29	19200.00	0.030000	0.61
30	26400.00	0.035000	0.64
31	33600.00	0.038000	0.92

Foto aérea: Sector analizado Zona 3, zona 9 y zona 1



Fuente: propia, 2013

**DESCENSO PIEZÓMETROS [m]**

Tiempos [s]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	pz1	pz2	pz3	pz4
60.00	0.020000	0.20	0.00	0.00	0.00
120.00	0.020000	0.30	0.00	0.00	0.00
180.00	0.020000	0.36	0.00	0.00	0.00
240.00	0.020000	0.41	0.00	0.00	0.00
300.00	0.020000	0.48	0.00	0.00	0.00
360.00	0.020000	0.53	0.00	0.00	0.00
420.00	0.020000	0.56	0.00	0.00	0.00
480.00	0.020000	0.62	0.00	0.00	0.00
540.00	0.020000	0.67	0.00	0.00	0.00
600.00	0.020000	0.72	0.00	0.00	0.00
720.00	0.020000	0.76	0.00	0.00	0.00
840.00	0.020000	0.80	0.00	0.00	0.00
960.00	0.020000	0.84	0.00	0.00	0.00
1080.00	0.020000	0.87	0.00	0.00	0.00
1200.00	0.020000	0.92	0.00	0.00	0.00
1500.00	0.020000	0.96	0.00	0.00	0.00
1800.00	0.020000	1.00	0.00	0.00	0.00
2100.00	0.020000	1.04	0.00	0.00	0.00
2400.00	0.020000	1.08	0.00	0.00	0.00
2700.00	0.020000	1.10	0.00	0.00	0.00
3000.00	0.020000	1.11	0.00	0.00	0.00
3300.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00
3600.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00
3900.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00
4200.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00
4500.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00
4800.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00
12000.00	0.025000	0.00	0.00	0.00	0.00
19200.00	0.030000	0.00	0.00	0.00	0.00
26400.00	0.035000	0.00	0.00	0.00	0.00
33600.00	0.038000	0.00	0.00	0.00	0.00

**RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS**

Transmisividad [m<sup>2</sup>/s] .... 0.005663  
Almacenamiento [-] ..... 0.000041

La transmisividad en esta zona 3 area del zoológico es de 0.005663 m<sup>2</sup>/s que equivale a 489.2832 m<sup>2</sup>/dia y un coeficiente de almacenamiento de 0.000041, siendo un acuífero confinado para el sector analizado. En un radio de 700 metros analizados. La permeabilidad hidráulica es de  $K = 10.40 \text{ m/dia} = 0.433333 \text{ mt / hr}$ , el DESCENSO DEL CONO es de 0.15 mts

## PERMEABILIDAD

METODO UTILIZADO:

LEFRANC Y GILG GAVARD

DATOS COMUNES:	Longitud zona filtrante: L=	125,5	mts
	Diámetro entubación: d_e=	0,2032	mts
	Diámetro zona filtrante: d=	0,2032	mts

Q =	2160	l/min
Q (m3/s)=	0,0360	m3/s
h <sub>m</sub> =	2,7	metros

$$K = \frac{Q}{C \cdot h_m}$$

$$C = \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{L}{d} + \sqrt{\left(\frac{L}{d}\right)^2 + 1}\right)}$$

C= 110,765  
 K= 1,20E-04 m/seg  
 K= 10,400 m/dia

$$K = \frac{Q}{600 \cdot A \cdot h_m}$$

K= 9,83E-03 cm/seg  
 K= 8,495 m/dia

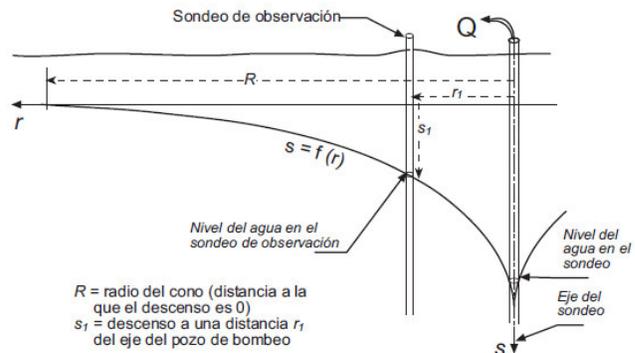
A = (1,032 · L + 30 d) (Si L > 6 m)

A = (1,032 · L + 30 d) · (-0,014 L<sup>2</sup> + 0,178 L + 0,481) (Si L < 6 m)

Dato para el cálculo se adopta el de K=10.400 m/dia (método LEFRANC)

CONO DE DESCENSOS:

FORMULA PARA EL CONO DE DESCENSO: En la siguiente figura se puede observar que la ecuación del cono ha de ser del tipo  $S = f(1/r)$ , (s=descenso, r= distancia), ya que a mayor distancia menos descenso. Será función del caudal Q, si se bombea una mayor caudal se genera un cono mayor. Y en régimen variable, será además función del tiempo.



**SUPUESTOS BASICOS:**

- Acuífero confinado perfecto.
- Acuífero de espesor constante, isótropo y homogéneo.
- Superficie piezometrica inicial horizontal (sin flujo natural)
- Caudal de bombeo constante
- Sondeo vertical con diámetro infinitamente pequeño (agua almacenada en su interior despreciable)
- Captación completa (que atraviesa el acuífero en todo se espesor

Aplicando la ley de Darcy al flujo del agua subterránea a través de una de estas secciones cilíndricas de radio r medido desde el eje del sondeo:  $Q = K * A * i$

**DONDE:**

Q = caudal que atraviesa la sección de área A.  
 A = Sección por la que circula el agua =  $2 * r * b$   
 b = Espesor del acuífero  
 K = permeabilidad del acuífero  
 I = gradiente hidráulico = dh/dr  
 $Q = (2 * r * b) * K dh/dr$

Que al desarrollar tenemos como resultado la ultima ecuación que se expresa así:  
 $S_1 - s_2 = Q / (2 * T * \ln r_2/r_1)$ , expresión que se conoce como la formula de Dupuit-Thiem y refleja la forma del cono de descenso en función de la distancia, y también en función del caudal y de la transmisividad.

**PARA EL CÁLCULO DEL DESCENSO DEL CONO CONTAMOS CON LOS SIGUIENTES DATOS:**

Q = 36 LIT/SEG = 129.6 mt<sup>3</sup> / hr  
 T = 0.005663 m<sup>2</sup>/seg = 489.28 m<sup>2</sup> / dia = 20.39 mt<sup>2</sup>/ hr  
 K = 10.40 MT/DIA = 0.433333 mt / hr  
 R<sub>2</sub> = 126.41  
 R<sub>1</sub> = 60  
 S<sub>1</sub> = 1.5

Se calcula el descenso que se genera a 126.41 metros de distancia del pozo bajo estudio.

$$S_1 - s_2 = Q / (2 * T) \ln r_2/r_1$$

$$1.5 - s_2 = (129.6 \text{ mt}^3 / \text{hr}) / (2 * 20.39 \text{ mt}^2/\text{hr}) \ln 126.41/60$$

$$= 1 - s_2 = (2.16 \text{ mt}^3 / \text{hr}) / 128.11 * 0.745186$$

$$1.5 - s_2 = 129.6 / 95.469 = 1.35$$

$$-s_2 = 1.35 - 1.5 = 0.15$$

$$s_2 = 0.15 \text{ metros.}$$

El descenso producido a los 126.41 metros de distancia es de 0.15 metros.

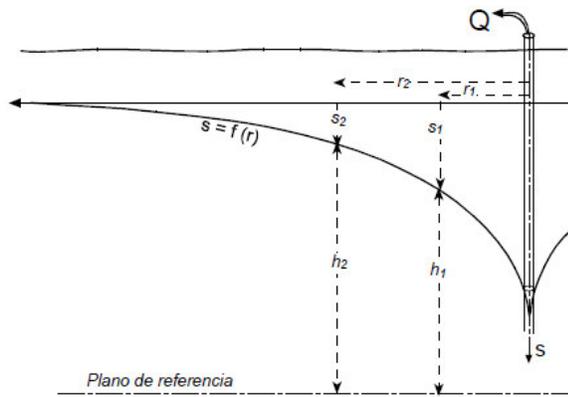
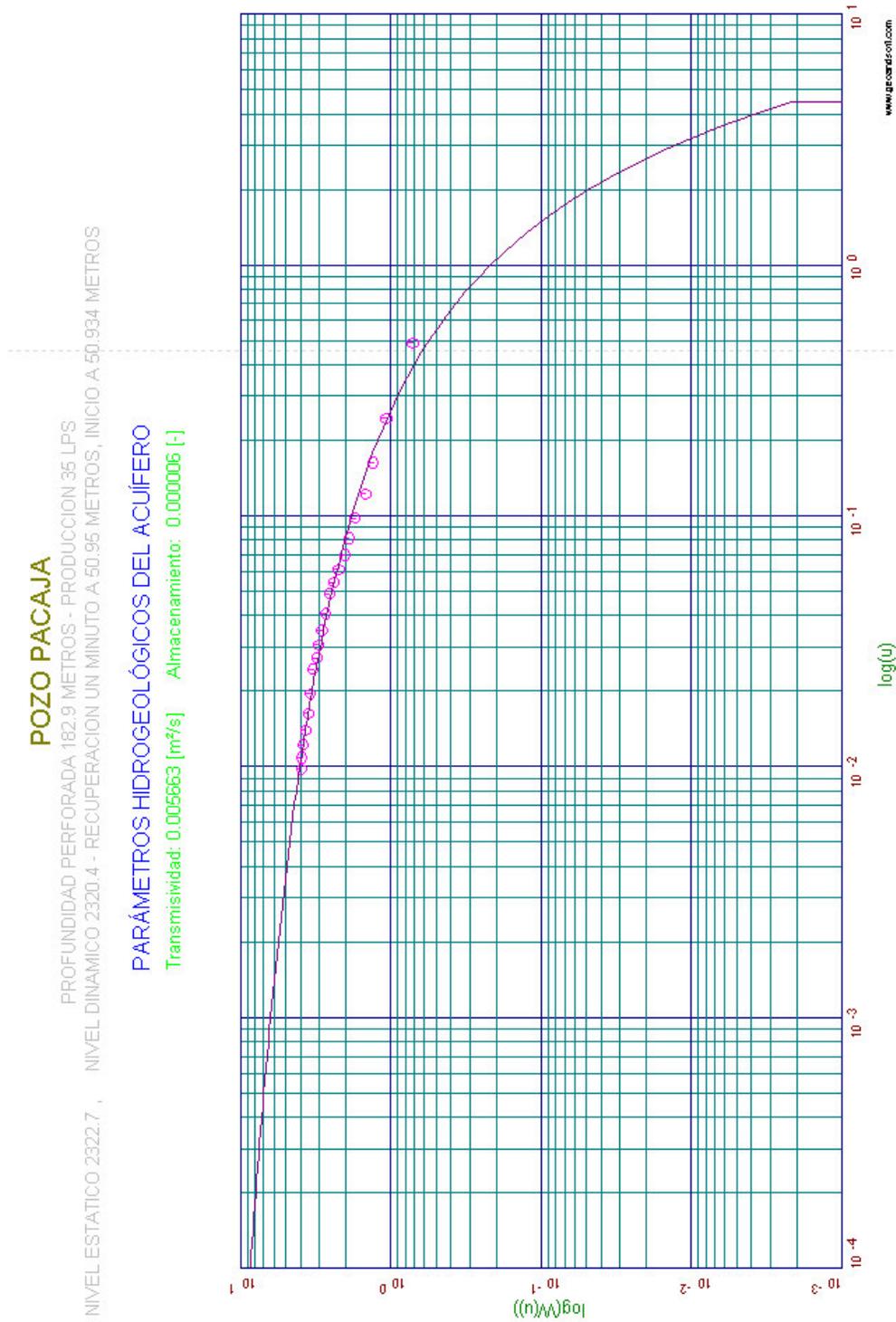


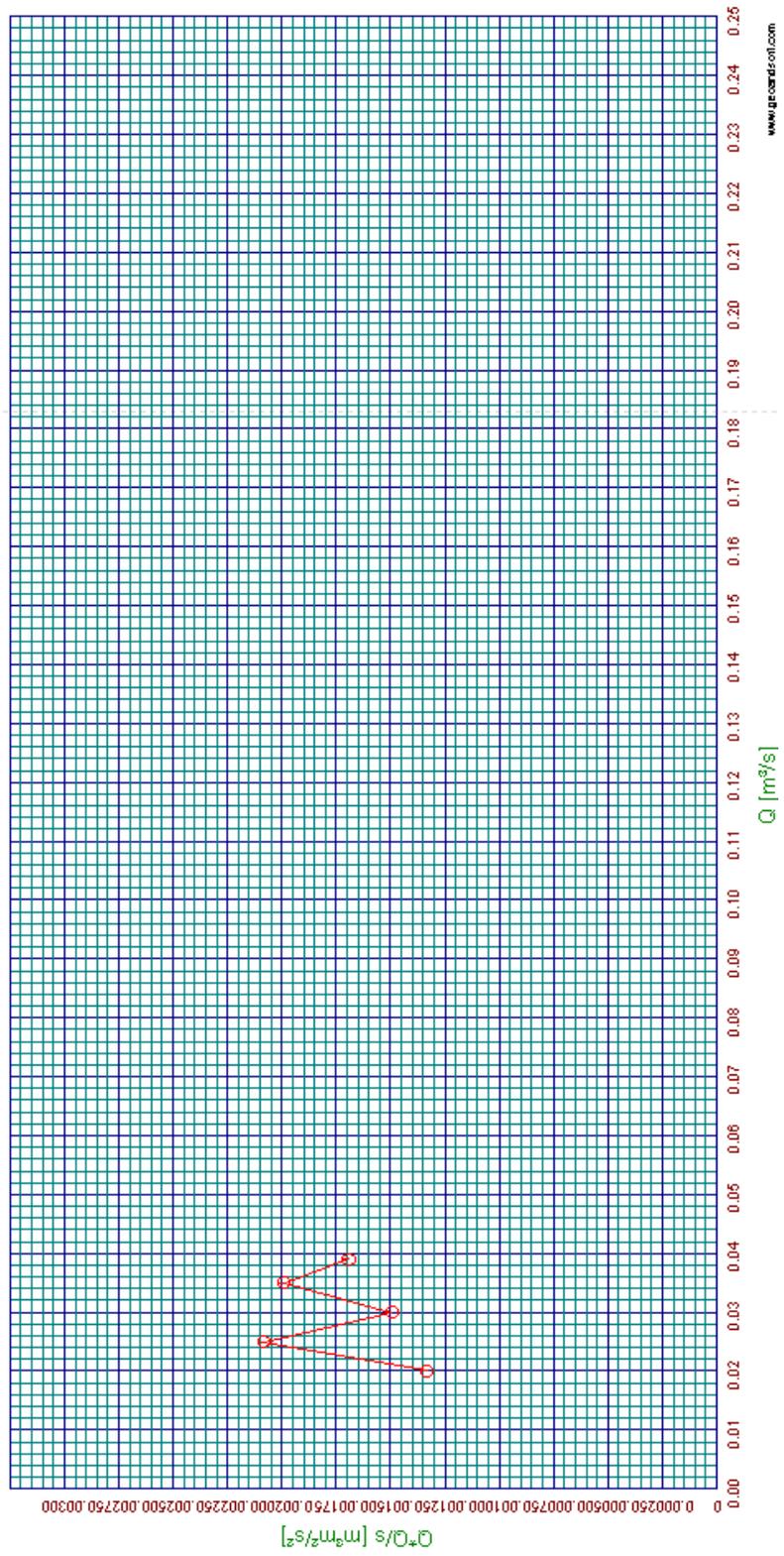
Figura 31: Pozo PACAJA parámetros hidrogeológicos del acuífero. Zona 10 y zona 1, ciudad de Quetzaltenango.



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

## POZO PACAJA

NIVEL ESTÁTICO 2322.7 , PROFUNDIDAD PERFORADA 182.9 METROS - PRODUCCIÓN 35 LPS  
NIVEL DINÁMICO 2320.4 - RECUPERACIÓN UN MINUTO A 50.95 METROS, INICIO A 50.934 METROS  
CAUDAL ÓPTIMO



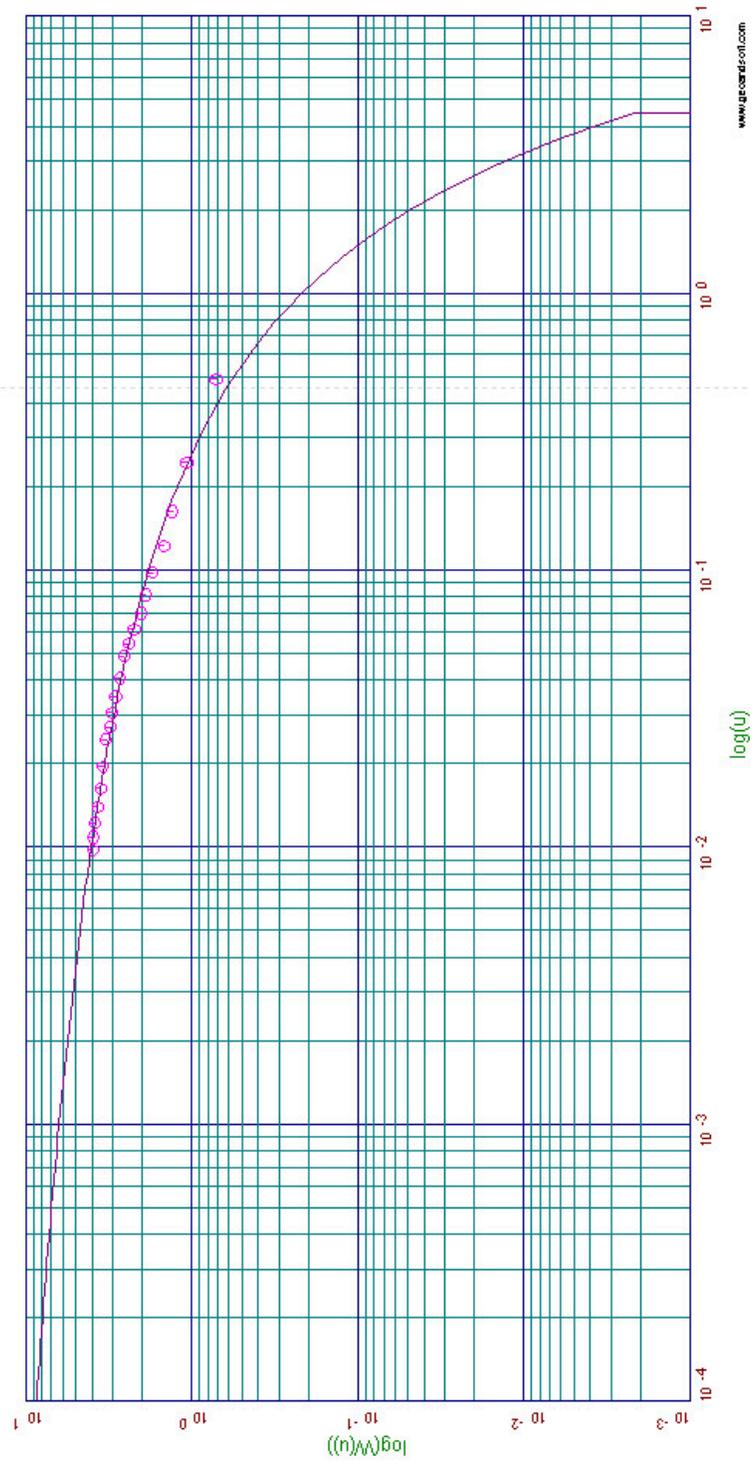
Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

## POZO PACAJA

NIVEL ESTÁTICO 2322.7 , NIVEL DINÁMICO 2320.4 - RECUPERACIÓN UN MINUTO A 50.95 METROS, INICIO A 50.934 METROS  
PROFUNDIDAD PERFORADA 182.9 METROS - PRODUCCIÓN 36 LPS

### PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS DEL ACUÍFERO

Transmisividad: 0.005663 [m<sup>2</sup>/s] Almacenamiento: 0.000006 [-]



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

## POZO PACAJA

PROFUNDIDAD PERFORADA 182.9 METROS - PRODUCCION 35 LPS  
NIVEL ESTÁTICO 2322.7 , NIVEL DINÁMICO 2320.4 - RECUPERACION UN MINUTO A 50.95 METROS, INICIO A 50.934 METROS

### DIAGRAMA DESCENSO CAUDAL



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

**POZO PACAJA**  
**PROFUNDIDAD PERFORADA 182.9 METROS - PRODUCCION 35 LPS**  
**NIVEL ESTÁTICO 2322.7 , NIVEL DINÁMICO 2320.4 - RECUPERACION UN MINUTO A 50.95 METROS, INICIO A 50.934 METROS**

**CONDICIONES EJECUCIÓN ENSAYO DE BOMBEO:**  
 Artesiana - Completo - Transitorio - Theis (n p.z.; n t.)

Radio del pozo [m] 0,1016

**DISTANCIAS PIEZÓMETROS**

Piezómetro	Distancias [m]
1	319.50
2	559.00

**DESCENSO POZOS**

n.	Tiempos [s]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Descensos [m]
1	60.00	0.020000	0.30
2	120.00	0.020000	0.30
3	180.00	0.020000	0.30
4	240.00	0.020000	0.30
5	300.00	0.020000	0.30
6	360.00	0.020000	0.30
7	420.00	0.020000	0.30
8	480.00	0.020000	0.30
9	540.00	0.020000	0.30
10	600.00	0.020000	0.30
11	720.00	0.020000	0.30
12	840.00	0.020000	0.30
13	960.00	0.020000	0.30
14	1080.00	0.020000	0.30
15	1200.00	0.020000	0.30
16	1500.00	0.020000	0.30
17	1800.00	0.020000	0.30
18	2100.00	0.020000	0.30
19	2400.00	0.020000	0.30
20	2700.00	0.020000	0.30
21	3000.00	0.020000	0.30
22	3300.00	0.020000	0.30
23	3600.00	0.020000	0.30
24	3900.00	0.020000	0.30
25	4200.00	0.020000	0.30
26	4500.00	0.020000	0.30
27	4800.00	0.020000	0.30
28	12000.00	0.025000	0.30
29	19200.00	0.030000	0.60
30	26400.00	0.035000	0.61
31	33600.00	0.039000	0.89

Foto aérea: Sector analizado Zona 10 y parte de la zona 1



Fuente: propia, 2013

**DESCENSO PIEZÓMETROS [m]**

Tiempos [s]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	pz1	pz2
60.00	0.020000	0.20	0.00
120.00	0.020000	0.30	0.00
180.00	0.020000	0.36	0.00
240.00	0.020000	0.41	0.00
300.00	0.020000	0.48	0.00
360.00	0.020000	0.53	0.00
420.00	0.020000	0.56	0.00
480.00	0.020000	0.62	0.00
540.00	0.020000	0.67	0.00
600.00	0.020000	0.72	0.00
720.00	0.020000	0.76	0.00
840.00	0.020000	0.80	0.00
960.00	0.020000	0.84	0.00
1080.00	0.020000	0.87	0.00
1200.00	0.020000	0.92	0.00
1500.00	0.020000	0.96	0.00
1800.00	0.020000	1.00	0.00
2100.00	0.020000	1.04	0.00
2400.00	0.020000	1.08	0.00
2700.00	0.020000	1.10	0.00
3000.00	0.020000	1.11	0.00
3300.00	0.020000	0.00	0.00
3600.00	0.020000	0.00	0.00
3900.00	0.020000	0.00	0.00
4200.00	0.020000	0.00	0.00
4500.00	0.020000	0.00	0.00
4800.00	0.020000	0.00	0.00
12000.00	0.025000	0.00	0.00
19200.00	0.030000	0.00	0.00
26400.00	0.035000	0.00	0.00
33600.00	0.039000	0.00	0.00

**RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS**

Transmisividad [m<sup>2</sup>/s] .... 0.005663  
Almacenamiento [-] ..... 0.000006

La transmisividad en esta zona 10 y parte de la zona 1 es de 0.005663 m<sup>2</sup>/s que equivale a 489.2832 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.000006, siendo un acuífero confinado para el sector analizado. En un radio de 600 metros analizados. La permeabilidad hidráulica es de  $K = 11.403$  m/día = 1.27179 mt / hr, el DESCENSO DEL CONO es de 0.41 metros.

**PERMEABILIDAD:**

<b>DATOS COMUNES:</b>	Longitud zona filtrante: L=	131,5	mts
	Diámetro entubación: d_e=	0,2032	mts
	Diámetro zona filtrante: d=	0,2032	mts

Q =	2100	l/min
Q (m3/s)=	0,0350	m3/s
h <sub>m</sub> =	2,3	metros

$$K = \frac{Q}{C \cdot h_m}$$

$$C = \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{L}{d} + \sqrt{\left(\frac{L}{d}\right)^2 + 1}\right)}$$

C=	115,304
K=	1,32E-04 m/seg
K=	11,403 m/dia

$$K = \frac{Q}{600 \cdot A \cdot h_m}$$

K=	1,07E-02 cm/seg
K=	9,272 m/dia

$$A = (1,032 \cdot L + 30d) \quad (\text{Si } L > 6 \text{ m})$$

$$A = (1,032 \cdot L + 30d) \cdot (-0,014L^2 + 0,178L + 0,481) \quad (\text{Si } L < 6 \text{ m})$$

Dato para el cálculo se adopta el de 11.403 m/dia (método LEFRANC)

**PARA EL CÁLCULO DEL DESCENSO DEL CONO CONTAMOS CON LOS SIGUIENTES DATOS:**

Q = 35 LIT/SEG = 126 mt<sup>3</sup> / hr  
 T = 0.005663 m<sup>2</sup>/seg = 489.28 m<sup>2</sup> / dia = 20.39 mt<sup>2</sup> / hr  
 K = 11.403 MT/DIA = 1.27179 mt / hr  
 R<sub>2</sub> = 319.50  
 R<sub>1</sub> = 60  
 S<sub>1</sub> = 1.0

Se calcula el descenso que se genera a 319.50 metros de distancia del pozo bajo estudio.

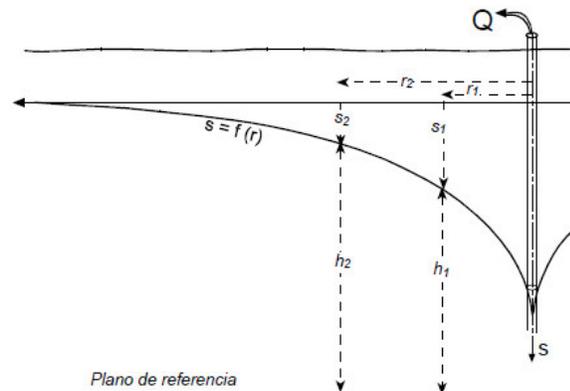
$$S_1 - s_2 = Q / (2 * T) \ln r_2/r_1,$$

$$1 - s_2 = (126 \text{ mt}^3 / \text{hr}) / (2 * 20.39 \text{ mt}^2/\text{hr}) \ln 319.50/60 =$$

$$-s_2 = 0.59 - 1 = 0.41$$

$$s_2 = 0.41 \text{ metros.}$$

El descenso producido a los 319.50 metros de distancia es de 0.41 metros.



**Figura 32: POZO CENIZAL 1 parámetros hidrogeológicos del acuífero. SECTOR ANALIZADO ZONA 4, ZONA 2, Y ZONA 1, ciudad de Quetzaltenango.**

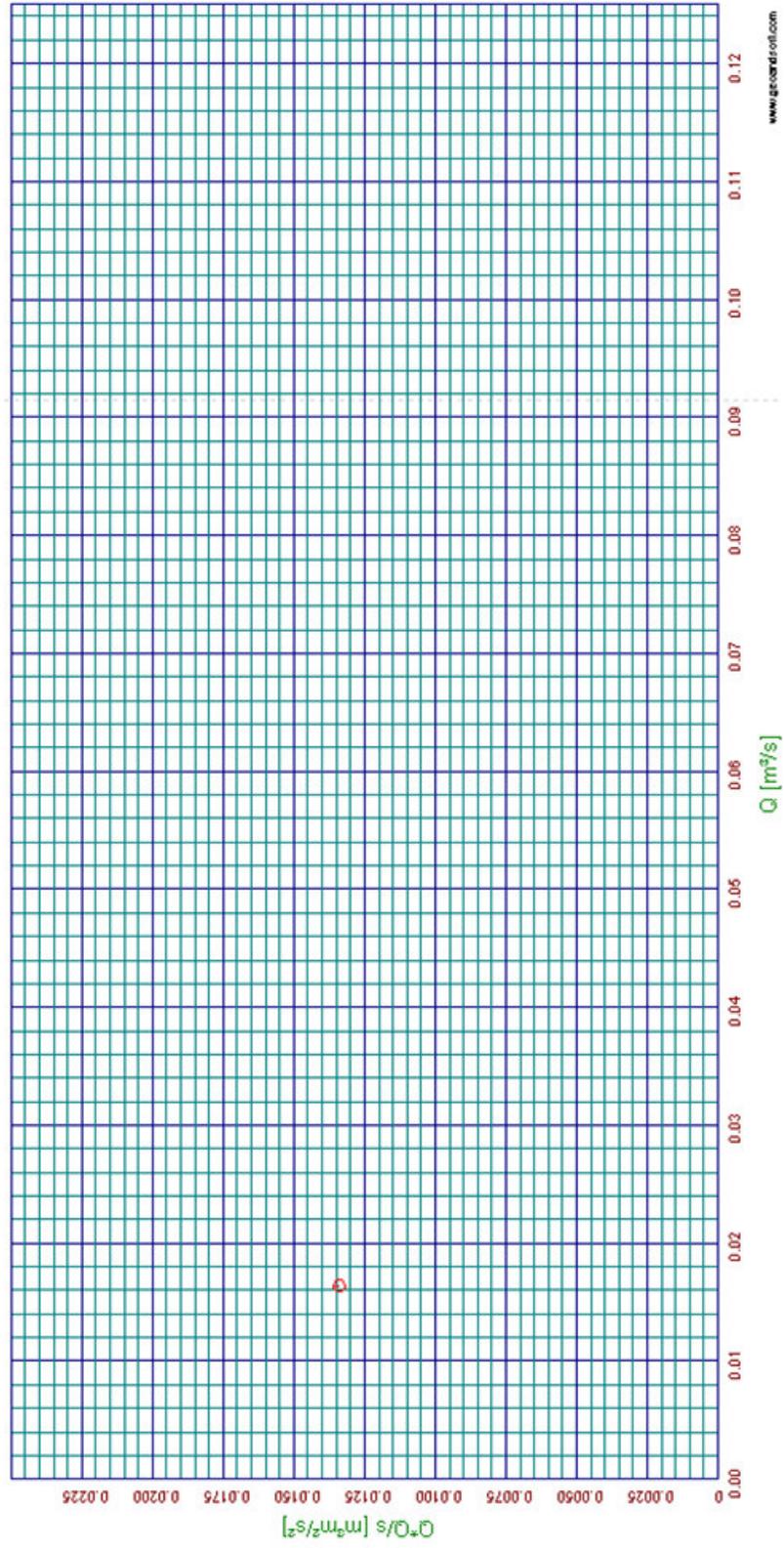


Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

## POZO CENZAL 1

PROFUNDIDAD PERFORADA 121.9 METROS - PRODUCCION DEL POZO 16.37 LPS  
NIVEL ESTATICO 2312.1, NIVEL DINAMICO 2294.3 - CAUDAL UNITARIO PROYECTADO 20.31 LPS

## CAUDAL OPTIMO



Fuente: Dagoberto Bautista 2013

## INTERPRETACIÓN ENSAYOS DE BOMBEO

### POZO CENIZAL 1

PROFUNDIDAD PERFORADA 121.9 METROS - PRODUCCION DEL POZO 16.37 LPS

NIVEL ESTATICO 2312.1, NIVEL DINAMICO 2294.3 - CAUDAL UNITARIO PROYECTADO 20.31 LPS

### CONDICIONES EJECUCIÓN ENSAYO DE BOMBEO:

Artesiana - Completo - Transitorio - Theis (n pz.; n t.)

Radio del pozo [m] 0,1016

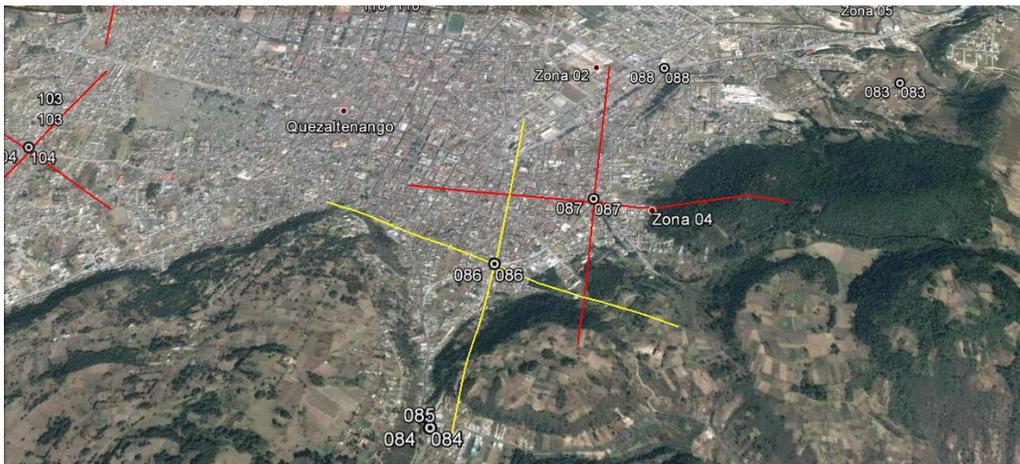
### DISTANCIAS PIEZÓMETROS

Piezómetro	Distancias [m]
1	598.00
2	843.13
3	884.69

### DESCENSO POZOS

n.	Tiempos [s]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Descensos [m]
1	3600.00	0.016370	0.01
2	7200.00	0.016370	0.01
3	10800.00	0.016370	0.01
4	14400.00	0.016370	0.01
5	18000.00	0.016370	0.01
6	21600.00	0.016370	0.01
7	25200.00	0.016370	0.01
8	28800.00	0.016370	0.01
9	32400.00	0.016370	0.01
10	36000.00	0.016370	0.02
11	39600.00	0.016370	0.02
12	43200.00	0.016370	0.02
13	46800.00	0.016370	0.02
14	50400.00	0.016370	0.02
15	54000.00	0.016370	0.02
16	57600.00	0.016370	0.02
17	61200.00	0.016370	0.02

### Foto aérea: SECTOR ANALIZADO ZONA 4, ZONA 2, Y ZONA 1



Fuente: propia, 2013

**DESCENSO PIEZÓMETROS [m]**

Tiempos [s]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	pz1	pz2	pz3
3600.00	0.016370	0.20	0.00	0.00
7200.00	0.016370	0.30	0.00	0.00
10800.00	0.016370	0.36	0.00	0.00
14400.00	0.016370	0.41	0.00	0.00
18000.00	0.016370	0.48	0.00	0.00
21600.00	0.016370	0.53	0.00	0.00
25200.00	0.016370	0.56	0.00	0.00
28800.00	0.016370	0.62	0.00	0.00
32400.00	0.016370	0.67	0.00	0.00
36000.00	0.016370	0.72	0.00	0.00
39600.00	0.016370	0.76	0.00	0.00
43200.00	0.016370	0.80	0.00	0.00
46800.00	0.016370	0.84	0.00	0.00
50400.00	0.016370	0.87	0.00	0.00
54000.00	0.016370	0.92	0.00	0.00
57600.00	0.016370	0.96	0.00	0.00
61200.00	0.016370	1.00	0.00	0.00

**RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS**

Transmisividad [m<sup>2</sup>/s] .... 0.004245  
Almacenamiento [-] ..... 0.000092

SECTOR ANALIZADO ZONA 4, ZONA 2, Y ZONA 1

La transmisividad es de 0.004245 m<sup>2</sup>/s que equivale a 366.768 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.000092, siendo un acuífero confinado para el sector analizado. En un radio de 900 metros analizados. La permeabilidad hidráulica es de  $K = 1.559 \text{ m/día} = 0.06495833333 \text{ mt / hr}$ , el DESCENSO DEL CONO es de 0.63 metros.

**PERMEABILIDAD:**

<b>DATOS COMUNES:</b>	Longitud zona filtrante: L= <b>73,6</b> mts
	Diámetro entubación: d_e= <b>0,2032</b> mts
	Diámetro zona filtrante: d= <b>0,2032</b> mts

Dato para el cálculo se adopta el de 1.559 m/día (método LEFRANC)

PARA EL CÁLCULO DEL DESCENSO DEL CONO CONTAMOS CON LOS SIGUIENTES DATOS:

Q = 22.55 LIT/SEG = 81.18 mt<sup>3</sup> / hr  
 T = 0.004245 m<sup>2</sup>/seg = 366.77 m<sup>2</sup> / día = 15.282 mt<sup>2</sup> / hr

K = 1.559 MT/DIA = 0.06495833333 mt / hr

R<sub>2</sub> = 598

R<sub>1</sub> = 60

S<sub>1</sub> = 1.0

Se calcula el descenso que se genera a 598 metros de distancia del pozo bajo estudio.

$$S_1 - s_2 = Q / (2 * T) \ln r_2/r_1,$$

$$1 - s_2 = (81.18 \text{ mt}^3 / \text{hr}) / (2 * 15.282 \text{ mt}^2/\text{hr}) \ln 598/60 =$$

$$1 - s_2 = (81.18 \text{ mt}^3 / \text{hr}) / 96.0198624 * 2.299$$

$$1 - s_2 = 81.18 / 220.77$$

$$-s_2 = 0.37 - 1 = -0.63$$

$$s_2 = 0.63 \text{ metros.}$$

El descenso producido a los 598 metros de distancia es de 0.63 metros.

Q =	<b>1353</b>	l/min
Q (m <sup>3</sup> /s)=	0,0226	m <sup>3</sup> /s
h <sub>m</sub> =	<b>17,8</b>	metros

$$K = \frac{Q}{C \cdot h_m}$$

$$C = \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{L}{d} + \sqrt{\left(\frac{L}{d}\right)^2 + 1}\right)}$$

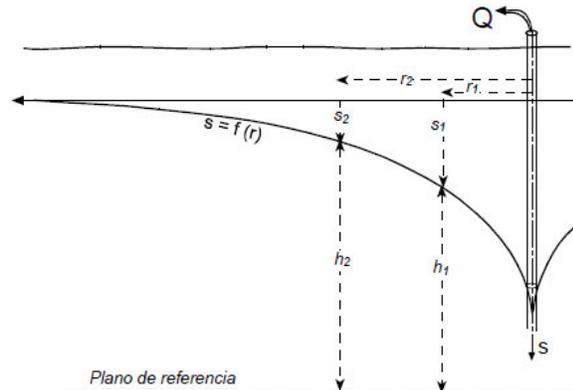
C= 70,223  
 K= **1,80E-05** m/seg  
 K= **1,559** m/día

$$K = \frac{Q}{600 \cdot A \cdot h_m}$$

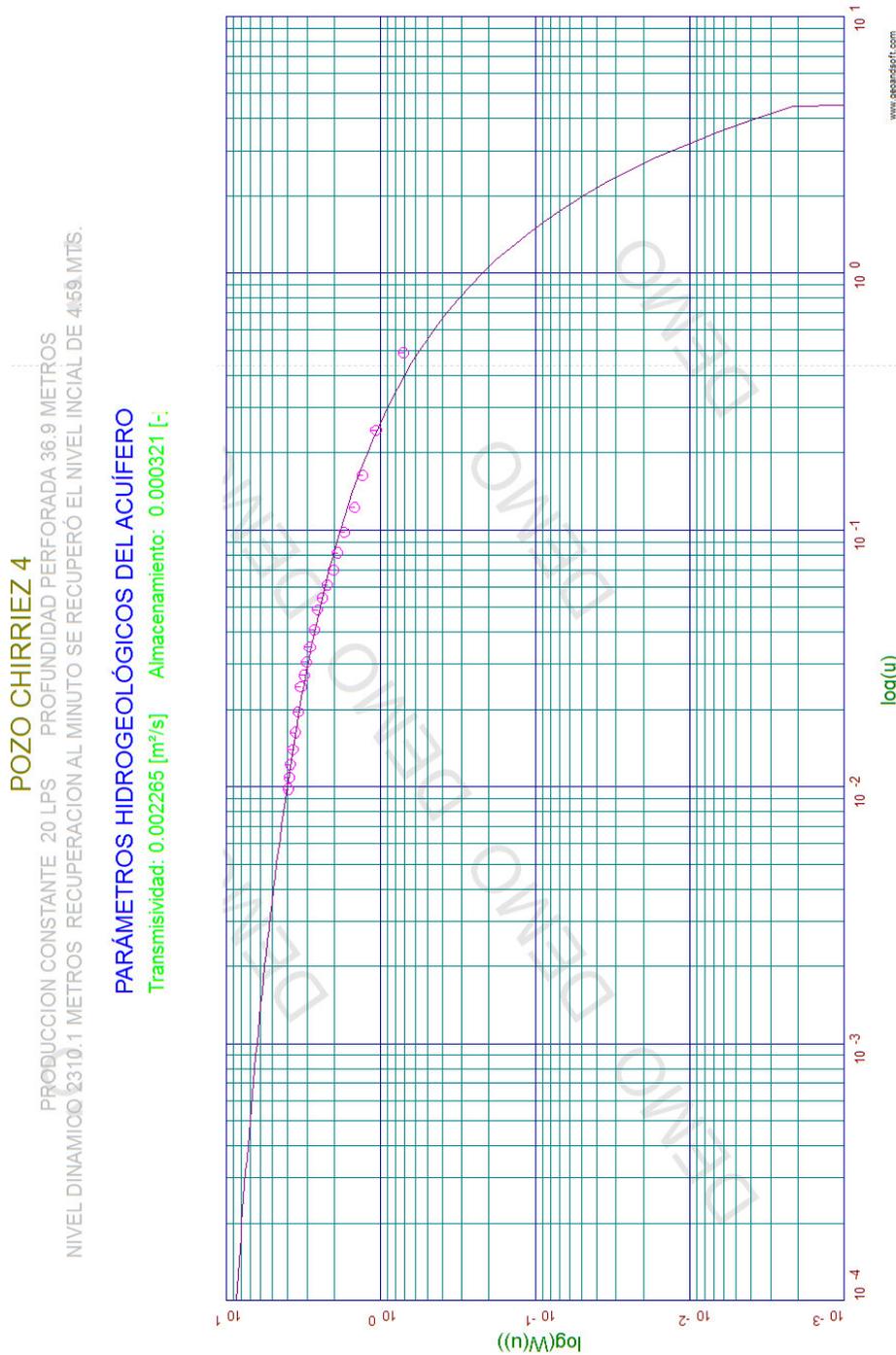
K= **1,54E-03** cm/seg  
 K= **1,334** m/día

$$A = (1,032 \cdot L + 30 d) \quad (\text{Si } L > 6 \text{ m})$$

$$A = (1,032 \cdot L + 30 d) \cdot (-0,014 L^2 + 0,178 L + 0,481) \quad (\text{Si } L < 6 \text{ m})$$



**Figura 33:** POZO CHIRRIEZ 4 parámetros hidrogeológicos del acuífero. Sector analizado, zona 2, zona 5, zona 3, ciudad de Quetzaltenango.

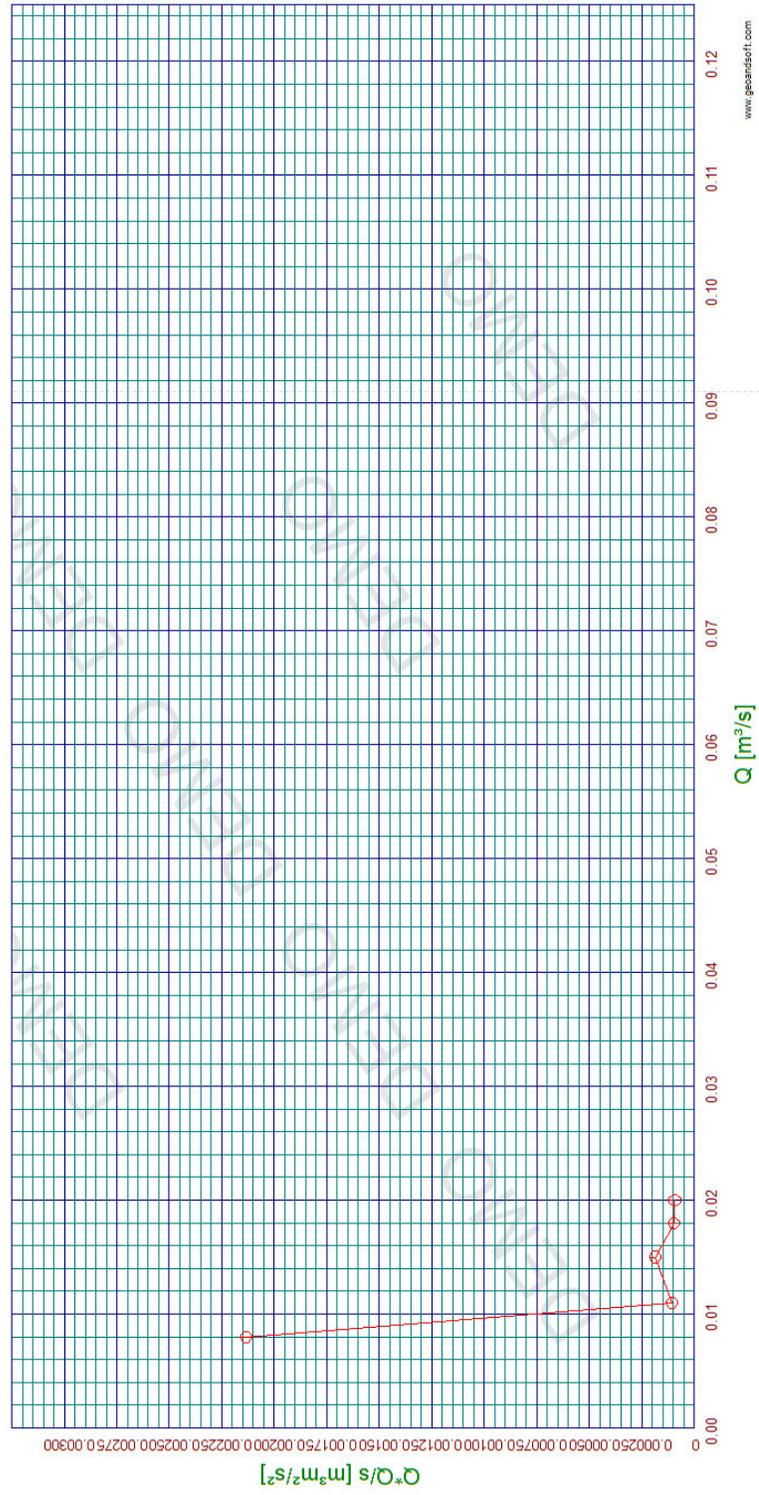


Fuente: Dagoberto Bautista 2013

## POZO CHIRRIEZ 4

PRODUCCION CONSTANTE 20 LPS PROFUNDIDAD PERFORADA 36.9 METROS  
NIVEL DINAMICO 2310.1 METROS RECUPERACION AL MINUTO SE RECUPERÓ EL NIVEL INICIAL DE 4:59 MTS.

### DETERMINACION DE CAUDAL OPTIMO

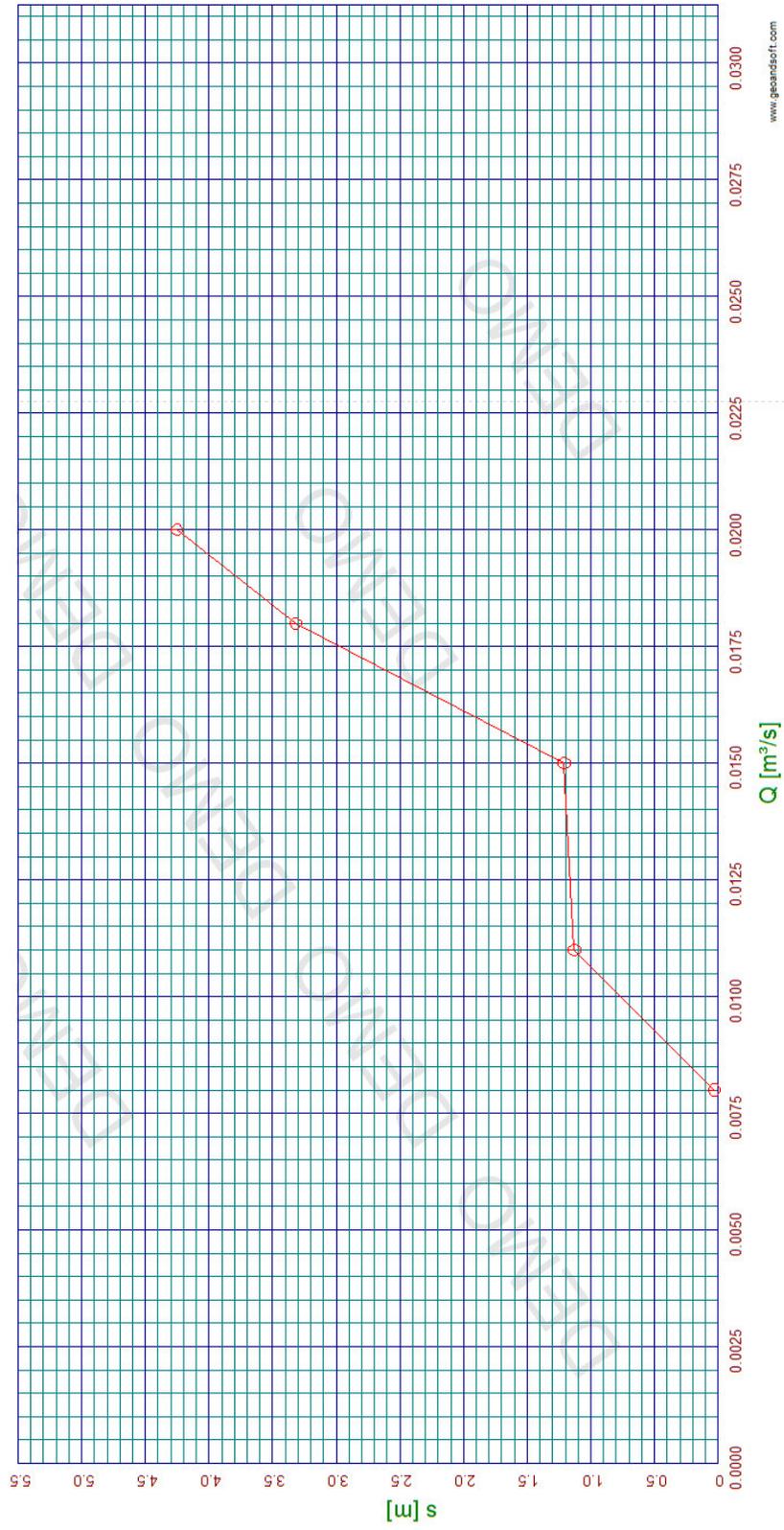


Fuente: Dagoberto Bautista 2013

## POZO CHIRRIEZ 4

PRODUCCION CONSTANTE 20 LPS PROFUNDIDAD PERFORADA 36.9 METROS  
NIVEL DINAMICO 2310.1 METROS RECUPERACION AL MINUTO SE RECUPERÓ EL NIVEL INICIAL DE 4:59. MTS.

### DIAGRAMA DESCENSO DE CAUDAL



www.geosoft.com

Fuente: Dagoberto Bautista 2013

## INTERPRETACIÓN ENSAYOS DE BOMBEO

### POZO CHIRRIEZ 4

PRODUCCION CONSTANTE 20 LPS PROFUNDIDAD PERFORADA 36.9 METROS  
NIVEL DINAMICO 2310.1 METROS RECUPERACION AL MINUTO SE RECUPERÓ EL NIVEL INICIAL DE 4.59 MTS.

### CONDICIONES EJECUCIÓN ENSAYO DE BOMBEO:

Artesiana - Completo - Transitorio - Theis [n pz.; n t.]

Radio del pozo [m] 0.1016

### DISTANCIAS PIEZÓMETROS

Piezómetro	Distancias [m]
1	28.78
2	77.18
3	90.75
4	89.83
5	830.02

### DESCENSO POZOS

n.	Tiempos [s]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Descensos [m]
1	60.00	0.008000	0.01
2	120.00	0.008000	0.01
3	180.00	0.008000	0.01
4	240.00	0.008000	0.01
5	300.00	0.008000	0.01
6	360.00	0.008000	0.01
7	420.00	0.008000	0.01
8	480.00	0.008000	0.01
9	540.00	0.008000	0.01
10	600.00	0.008000	0.02
11	720.00	0.008000	0.02
12	840.00	0.008000	0.02
13	960.00	0.008000	0.02
14	1080.00	0.008000	0.02
15	1200.00	0.008000	0.02
16	1500.00	0.008000	0.02
17	1800.00	0.008000	0.02
18	2100.00	0.008000	0.02
19	2400.00	0.008000	0.02
20	2700.00	0.008000	0.02
21	3000.00	0.008000	0.02
22	3300.00	0.008000	0.02
23	3600.00	0.008000	0.02
24	3900.00	0.008000	0.03
25	4200.00	0.008000	0.03
26	4500.00	0.008000	0.03
27	4800.00	0.008000	0.03
28	12000.00	0.011000	1.13
29	19200.00	0.015000	1.21
30	26400.00	0.018000	3.32
31	33600.00	0.020000	4.25

La transmisividad es de 0.002265 m<sup>2</sup>/s que equivale a 195.696 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.000321, siendo un acuífero semiconfinado para el sector analizado. En un radio de 900 metros analizados. La permeabilidad hidráulica es de  $K = 1.484 \text{ MT/DIA} = 0.0618333333333333 \text{ mt/hr}$ , el DESCENSO DEL CONO es de 0.63 metros.

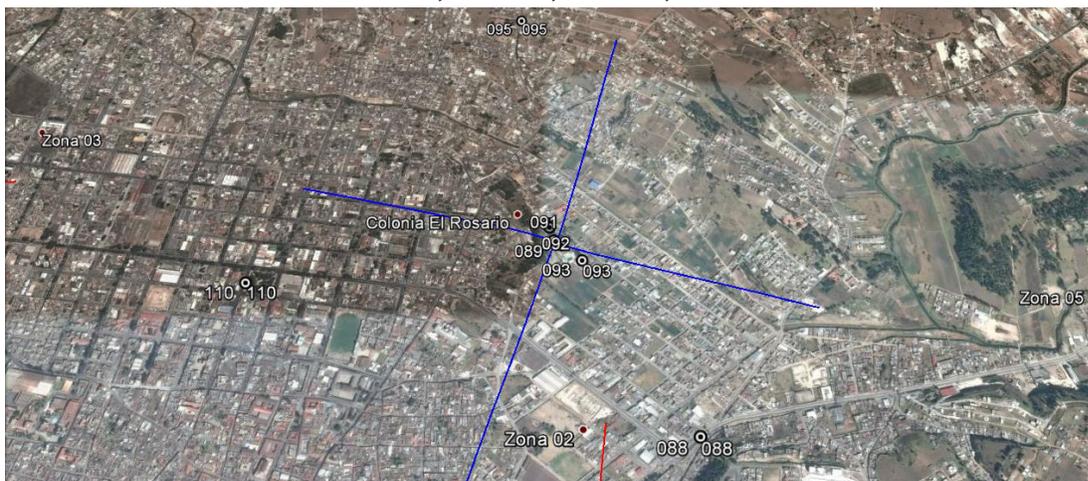
### DESCENSO PIEZÓMETROS [m]

Tiempos [s]	Caudal [m³/s]	pz1	pz2	pz3	pz4	pz5
60.00	0.008000	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
120.00	0.008000	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
180.00	0.008000	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
240.00	0.008000	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00
300.00	0.008000	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00
360.00	0.008000	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00
420.00	0.008000	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00
480.00	0.008000	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00
540.00	0.008000	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00
600.00	0.008000	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00
720.00	0.008000	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00
840.00	0.008000	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
960.00	0.008000	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00
1080.00	0.008000	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00
1200.00	0.008000	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00
1500.00	0.008000	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00
1800.00	0.008000	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2100.00	0.008000	1.04	0.00	0.00	0.00	0.00
2400.00	0.008000	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00
2700.00	0.008000	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00
3000.00	0.008000	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00
3300.00	0.008000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3600.00	0.008000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3900.00	0.008000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4200.00	0.008000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4500.00	0.008000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4800.00	0.008000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12000.00	0.011000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19200.00	0.015000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26400.00	0.018000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33600.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

### RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS

Transmisividad [m²/s] .... 0.002265  
 Almacenamiento [-] ..... 0.000321

Foto aérea: Sector analizado, zona 2, zona 5, zona 3



Fuente: propio, 2013

## PERMEABILIDAD

METODO UTILIZADO:  
LEFRANC Y GILG GAVARD

<b>DATOS COMUNES:</b>	Longitud zona filtrante: L=	441.7	mts
	Diámetro entubación: d_e=	0.25	mts
	Diámetro zona filtrante: d=	0.25	mts

Q =	2310	l/min
Q (m3/s)=	0.0385	m3/s
h <sub>m</sub> =	6.6	metros
$K = \frac{Q}{C \cdot h_m}$		
$C = \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{L}{d} + \sqrt{\left(\frac{L}{d}\right)^2 + 1}\right)}$		
C=	339.689	
K=	1.72E-05	m/seg
K=	1.484	m/dia
$K = \frac{Q}{600 \cdot A \cdot h_m}$		
K=	1.26E-03	cm/seg
K=	1.088	m/dia
$A = (1,032 \cdot L + 30 d) \quad (\text{Si } L > 6 \text{ m})$		
$A = (1,032 \cdot L + 30 d) \cdot (-0,014 L^2 + 0,178 L + 0,481) \quad (\text{Si } L < 6 \text{ m})$		

PARA EL CÁLCULO DEL DESCENSO DEL CONO CONTAMOS CON LOS SIGUIENTES DATOS:

POZO CHIRRIEZ CUATRO

$$Q = 20 \text{ LIT/SEG} = 72.0 \text{ mt}^3 / \text{hr}$$

$$T = 0.002265 \text{ m}^2/\text{seg} = 195.696 \text{ m}^2 / \text{dia} = 8.154 \text{ mt}^2 / \text{hr}$$

$$K = 1.484 \text{ MT/DIA} = 0.06183333333 \text{ mt} / \text{hr}$$

$$R_2 = 28.78$$

$$R_1 = 60$$

$$S_1 = 1.0$$

Se calcula el descenso que se genera a 27.78 metros de distancia del pozo bajo estudio.

$$S_1 - s_2 = Q / (2 * T) \ln r_2/r_1,$$

$$1 - s_2 = (72.0 \text{ mt}^3 / \text{hr}) / (2 * 8.154 \text{ mt}^2/\text{hr}) \ln 28.78/60 =$$

$$1 - s_2 = (72.0 \text{ mt}^3 / \text{hr}) / 51.2332128 * -0.73466286$$

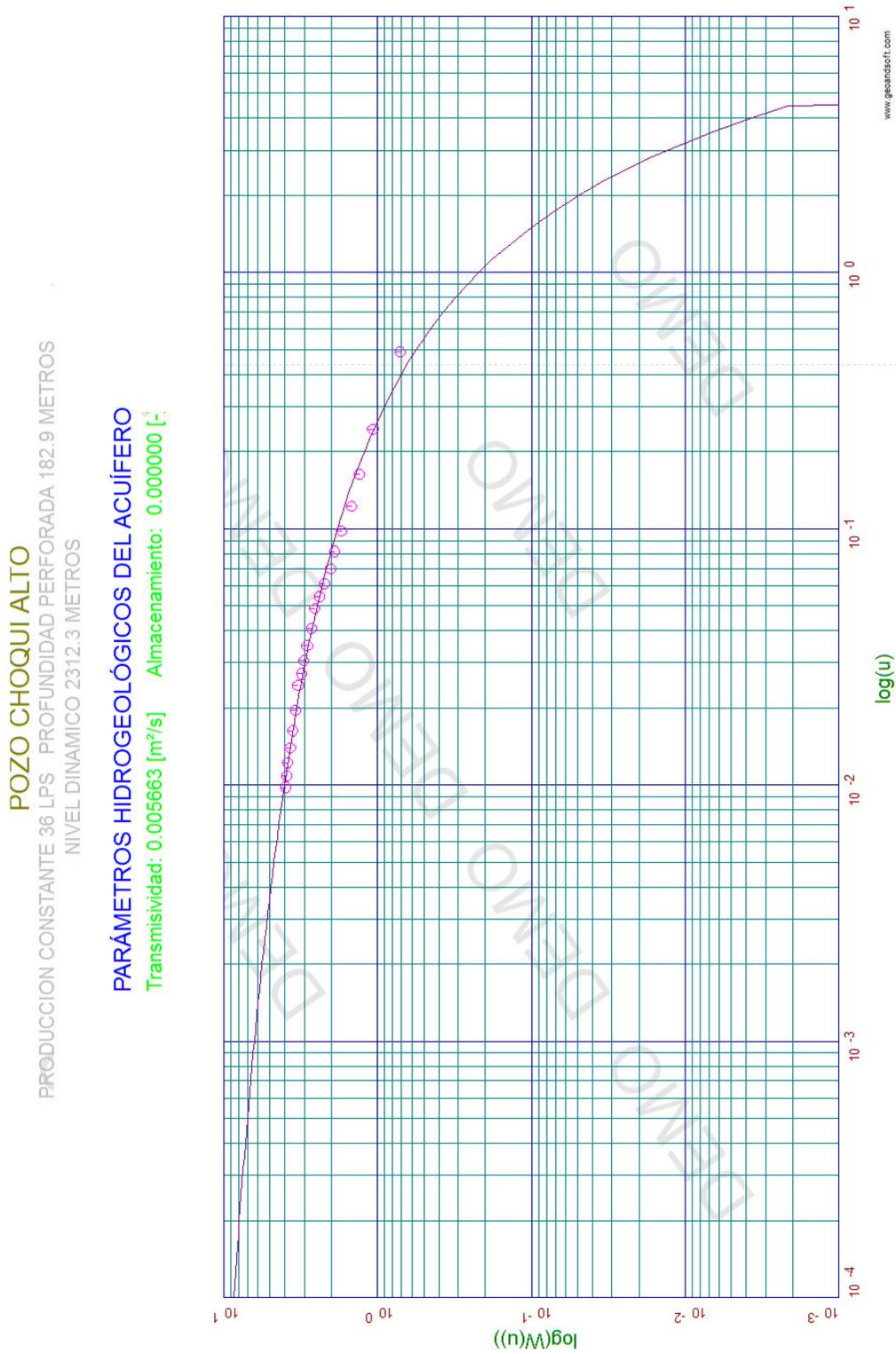
$$1 - s_2 = 72.0 / -37.63918991$$

$$1 - s_2 = -1.912899831 =$$

$$s_2 = 2.912899831 \text{ metros.}$$

El descenso producido a los 598 metros de distancia es de 2.91 metros.

Figura 34: POZO CHOQUI ALTO parámetros hidrogeológicos del acuífero. Sector analizado, zona 6, zona 7, ciudad de Quetzaltenango.

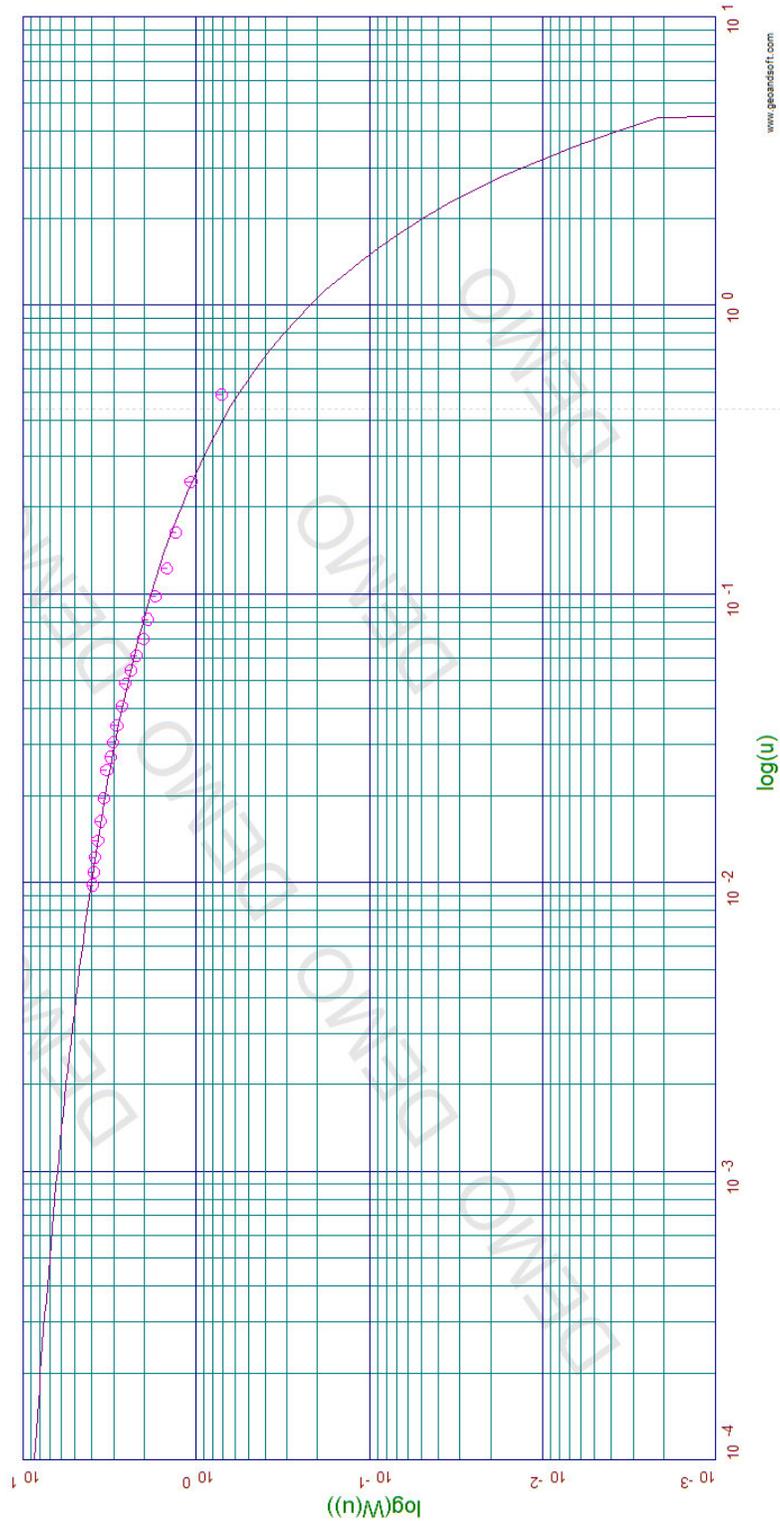


Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

**POZO CHOQUI ALTO**  
PRODUCCION CONSTANTE 36 LPS PROFUNDIDAD PERFORADA 182.9 METROS  
NIVEL DINAMICO 2312.3 METROS

**PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS DEL ACUÍFERO**

Transmisividad: 0.005663 [m<sup>2</sup>/s] Almacenamiento: 0.000000 [-]



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

**POZO CHOQUI ALTO**  
 PRODUCCION CONSTANTE 36 LPS PROFUNDIDAD PERFORADA 182.9 METROS  
 NIVEL DINAMICO 2312.3 METROS

**DIAGRAMA CAUDAL OPTIMO**

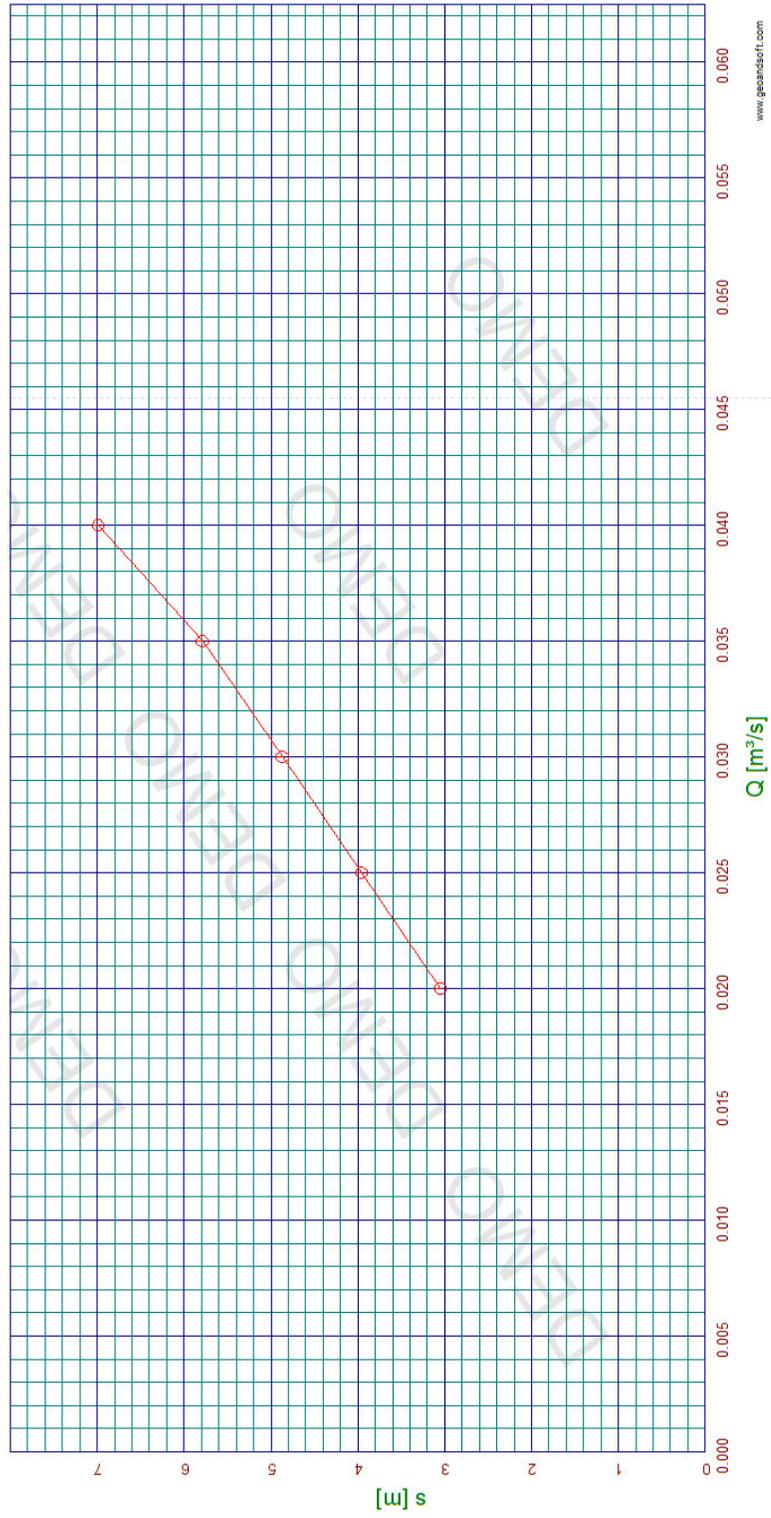


www.geandsft.com

Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

**POZO CHOQUI ALTO**  
PRODUCCION CONSTANTE 36 LPS PROFUNDIDAD PERFORADA 182.9 METROS  
NIVEL DINAMICO 2312.3 METROS

DIAGRAMA DESCENSO CAUDAL



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

## INTERPRETACIÓN ENSAYOS DE BOMBEO

POZO CHOQUI ALTO  
PRODUCCION CONSTANTE 36 LPS PROFUNDIDAD PERFORADA 182.9 METROS  
NIVEL DINAMICO 2312.3 METROS

CONDICIONES EJECUCIÓN ENSAYO DE BOMBEO:  
Artesiana - Completo - Transitorio - Theis (n pz.; n t.)

Radio del pozo [m] 0.127

### DISTANCIAS PIEZÓMETROS

Piezómetro	Distancias [m]
1	903.50
2	920.81
3	972.58
4	991.60
5	998.99

### DESCENSO POZOS

n.	Tiempos [s]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Descensos [m]
1	60.00	0.020000	2.72
2	120.00	0.020000	2.72
3	180.00	0.020000	2.72
4	240.00	0.020000	2.72
5	300.00	0.020000	2.72
6	360.00	0.020000	2.72
7	420.00	0.020000	2.72
8	480.00	0.020000	2.72
9	540.00	0.020000	2.72
10	600.00	0.020000	2.72
11	720.00	0.020000	3.02
12	840.00	0.020000	3.02
13	960.00	0.020000	3.03
14	1080.00	0.020000	3.03
15	1200.00	0.020000	3.03
16	1500.00	0.020000	3.03
17	1800.00	0.020000	3.03
18	2100.00	0.020000	3.04
19	2400.00	0.020000	3.04
20	2700.00	0.020000	3.04
21	3000.00	0.020000	3.04
22	3300.00	0.020000	3.04
23	3600.00	0.020000	3.05
24	3900.00	0.020000	3.05
25	4200.00	0.020000	3.05
26	4500.00	0.020000	3.05
27	4800.00	0.020000	3.05
28	12000.00	0.025000	3.96
29	19200.00	0.030000	4.87
30	26400.00	0.035000	5.79
31	33600.00	0.040000	6.99

## DESCENSO PIEZÓMETROS [m]

Tiempos [s]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	pz1	pz2	pz3	pz4	pz5
60.00	0.020000	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
120.00	0.020000	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
180.00	0.020000	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
240.00	0.020000	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00
300.00	0.020000	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00
360.00	0.020000	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00
420.00	0.020000	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00
480.00	0.020000	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00
540.00	0.020000	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00
600.00	0.020000	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00
720.00	0.020000	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00
840.00	0.020000	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
960.00	0.020000	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00
1080.00	0.020000	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00
1200.00	0.020000	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00
1500.00	0.020000	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00
1800.00	0.020000	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2100.00	0.020000	1.04	0.00	0.00	0.00	0.00
2400.00	0.020000	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00
2700.00	0.020000	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00
3000.00	0.020000	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00
3300.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3600.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3900.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4200.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4500.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4800.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12000.00	0.025000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19200.00	0.030000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26400.00	0.035000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33600.00	0.040000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS

Transmisividad [m<sup>2</sup>/s] .... 0.005663  
 Almacenamiento [-] ..... 0.000000

En el sector choqui alto La transmisividad es de 0.005663 m<sup>2</sup>/s que equivale a 489.2832 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.0000001, siendo un acuífero confinado para el sector analizado. En un radio de 1000 metros analizados. La permeabilidad hidráulica es de  $K = 3.912 \text{ MT/DIA} = 0.63 \text{ mt/hr}$ , el DESCENSO DEL CONO es de 0. 63 metros.

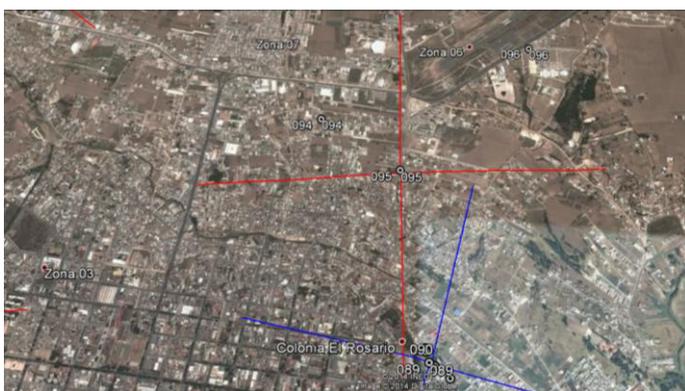


FOTO. Sector analizado, zona 6, zona 7

Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

## PERMEABILIDAD

<b>DATOS COMUNES:</b>	Longitud zona filtrante: L=	120.8	mts
	Diámetro entubación: d <sub>e</sub> =	0.25	mts
	Diámetro zona filtrante: d=	0.25	mts

	Q =	2160	l/min
	Q (m3/s)=	0.0360	m3/s
	h <sub>m</sub> =	7.2	metros

$$K = \frac{Q}{C \cdot h_m}$$

	C=	110.424	
	K=	4.53E-05	m/seg
	K=	3.912	m/dia

$$C = \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{L}{d} + \sqrt{\left(\frac{L}{d}\right)^2 + 1}\right)}$$

$$K = \frac{Q}{600 \cdot A \cdot h_m}$$

	K=	3.78E-03	cm/seg
	K=	3.269	m/dia

A = (1,032 · L + 30 d) (Si L > 6 m)

A = (1,032 · L + 30 d) · (-0,014 L<sup>2</sup> + 0,178 L + 0,481) (Si L < 6 m)

### POZO CHOQUI ALTO

Q = 36 LIT/SEG = 129.6 mt<sup>3</sup> / hr

T = 0.005663 m<sup>2</sup>/seg = 489.2832 m<sup>2</sup> / dia = 20.39 mt<sup>2</sup>/ hr

K = 3.912 MT/DIA = 0.63 m/hr

R<sub>2</sub> = 903.50

R<sub>1</sub> = 60

S<sub>1</sub> = 1.0

Se calcula el descenso que se genera a 27.78 metros de distancia del pozo bajo estudio.

$$S_1 - s_2 = Q / (2 \cdot T) \ln r_2/r_1,$$

$$1 - s_2 = (129.6 \text{ mt}^3 / \text{hr}) / (2 \cdot 20.39 \text{ mt}^2/\text{hr}) \ln 903.50/60 =$$

$$1 - s_2 = (129.6 \text{ mt}^3 / \text{hr}) / 128.11 \cdot 2.71$$

$$1 - s_2 = 129.6 / 347.35$$

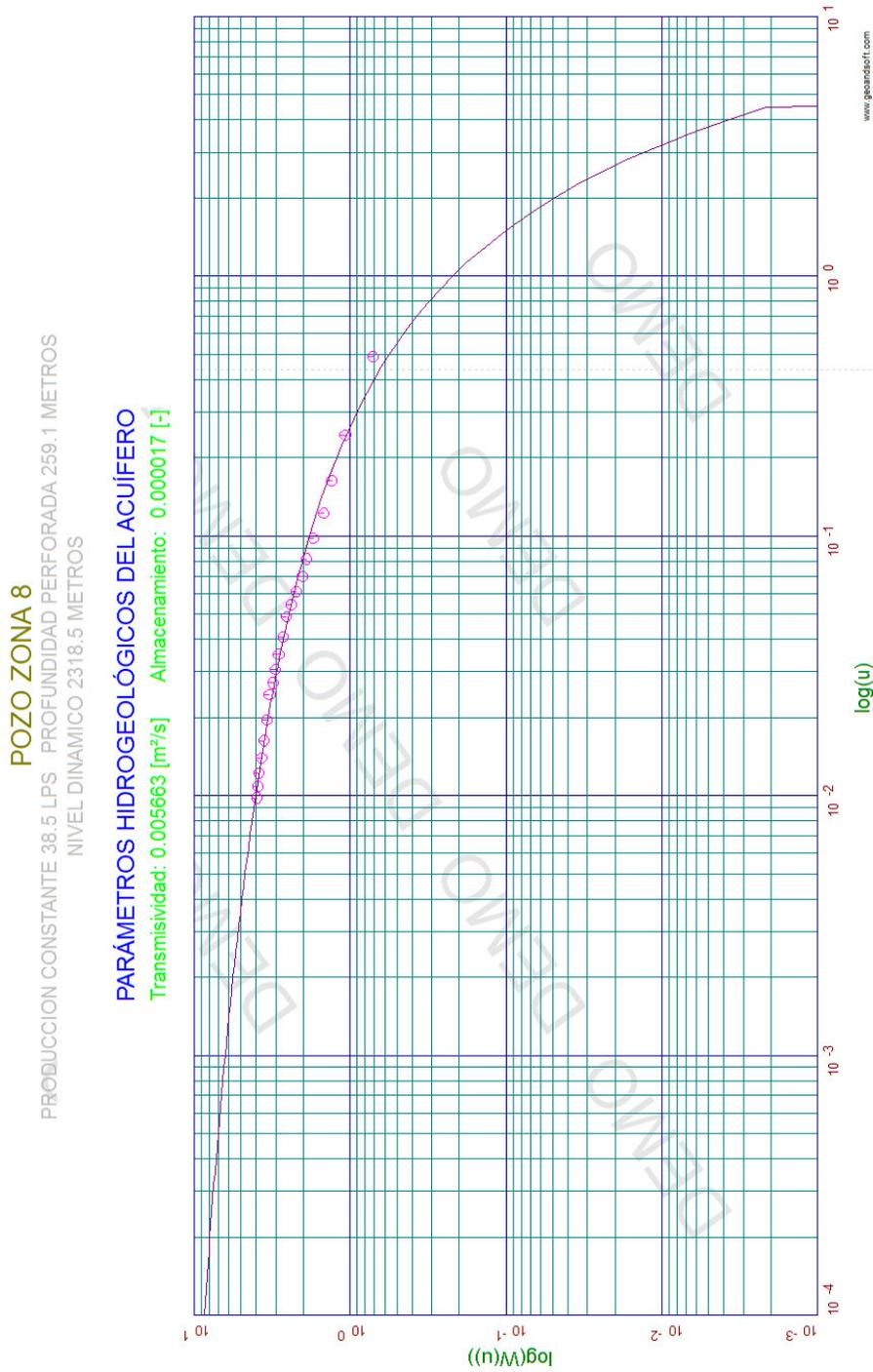
$$1 - s_2 = 0.3731 =$$

$$s_2 = 0.63 \text{ metros.}$$

El descenso producido a los 598 metros de distancia es de 0.63 metros.

## POZO ZONA 8

Figura 35: POZO ZONA 8, parámetros hidrogeológicos del acuífero. Sector analizado, zona 8, ciudad de Quetzaltenango.



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

### POZO ZONA 8

PRODUCCION CONSTANTE 38.5 LPS PROFUNDIDAD PERFORADA 259.1 METROS  
NIVEL DINAMICO 2318.5 METROS

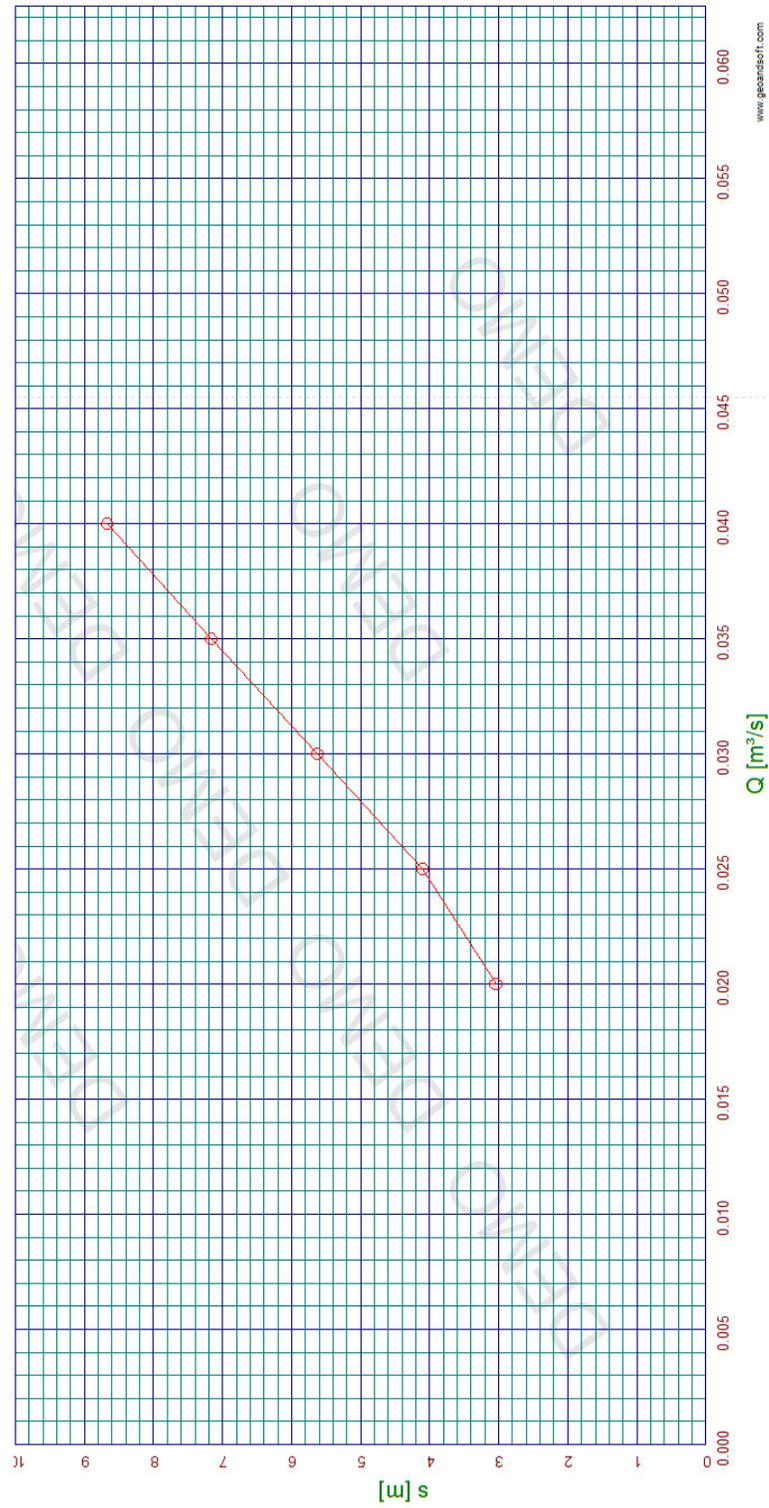
DIAGRAMA CAUDAL OPTIMO



Fuente: Dagoberto Bautista 2013

**POZO ZONA 8**  
PRODUCCION CONSTANTE 38.5 LPS PROFUNDIDAD PERFORADA 259.1 METROS  
NIVEL DINAMICO 2318.5 METROS

**DIAGRAMA DESCENSO CAUDAL**



www.geocandsoft.com

Fuente: Dagoberto Bautista 2013

## INTERPRETACIÓN ENSAYOS DE BOMBEO

POZO ZONA 8

PRODUCCION CONSTANTE 38.5 LPS PROFUNDIDAD PERFORADA 259.1 METROS

NIVEL DINAMICO 2318.5 METROS

CONDICIONES EJECUCIÓN ENSAYO DE BOMBEO:

Artesiana - Completo - Transitorio - Theis (n pz.; n t.)

Radio del pozo [m] 0.127

### DISTANCIAS PIEZÓMETROS

Piezómetro	Distancias [m]
1	194.35
2	334.17
3	467.15
4	653.80
5	801.53
6	999.00
7	355.44
8	691.34
9	805.24
10	894.93

### DESCENSO POZOS

n.	Tiempos [s]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Descensos [m]
1	60.00	0.020000	2.45
2	120.00	0.020000	2.43
3	180.00	0.020000	2.43
4	240.00	0.020000	2.43
5	300.00	0.020000	2.42
6	360.00	0.020000	2.74
7	420.00	0.020000	2.74
8	480.00	0.020000	2.74
9	540.00	0.020000	2.75
10	600.00	0.020000	2.75
11	720.00	0.020000	2.75
12	840.00	0.020000	2.75
13	960.00	0.020000	2.75
14	1080.00	0.020000	2.75
15	1200.00	0.020000	2.75
16	1500.00	0.020000	2.75
17	1800.00	0.020000	2.76
18	2100.00	0.020000	3.03
19	2400.00	0.020000	3.03
20	2700.00	0.020000	3.04
21	3000.00	0.020000	3.04
22	3300.00	0.020000	3.04
23	3600.00	0.020000	3.04
24	3900.00	0.020000	3.04
25	4200.00	0.020000	3.04
26	4500.00	0.020000	3.04
27	4800.00	0.020000	3.04
28	12000.00	0.025000	4.10
29	19200.00	0.030000	5.63
30	26400.00	0.035000	7.16
31	33600.00	0.040000	8.67

**DESCENSO PIEZÓMETROS [m]**

Tiempos [s]	Caudal [m³/s]	pz1	pz2	pz3	pz4	pz5	pz6	pz7	pz8	pz9	pz10
60.00	0.020000	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120.00	0.020000	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180.00	0.020000	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
240.00	0.020000	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
300.00	0.020000	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
360.00	0.020000	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
420.00	0.020000	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
480.00	0.020000	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
540.00	0.020000	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
600.00	0.020000	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
720.00	0.020000	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
840.00	0.020000	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
960.00	0.020000	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1080.00	0.020000	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1200.00	0.020000	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1500.00	0.020000	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1800.00	0.020000	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2100.00	0.020000	1.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2400.00	0.020000	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2700.00	0.020000	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3000.00	0.020000	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3300.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3600.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3900.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4200.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4500.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4800.00	0.020000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12000.00	0.025000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19200.00	0.030000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26400.00	0.035000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33600.00	0.040000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS**

Transmisividad [m²/s] .... 0.005663  
 Almacenamiento [-] ..... 0.000017



En el sector zona 8 La transmisividad es de 0.005663 m<sup>2</sup>/s que equivale a 489.2832 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.000017, siendo un acuífero confinado para el sector analizado. En un radio de 900 metros analizados. La permeabilidad hidráulica es de  $K = 1.484 \text{ m/día} = 0.63 \text{ mt/hr}$ , el DESCENSO DEL CONO es de 0.14 metros

PERMEABILIDAD:

<b>DATOS COMUNES:</b>	Longitud zona filtrante: L=	441.7	mts
	Diámetro entubación: d_e=	0.25	mts
	Diámetro zona filtrante: d=	0.25	mts

Q =	2310	l/min
Q (m3/s)=	0.0385	m3/s
h <sub>m</sub> =	6.6	metros

$K = \frac{Q}{C \cdot h_m}$	C=	339.689
$C = \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{L}{d} + \sqrt{\left(\frac{L}{d}\right)^2 + 1}\right)}$	K=	1.72E-05 m/seg
	K=	1.484 m/dia

$K = \frac{Q}{600 \cdot A \cdot h_m}$	K=	1.26E-03 cm/seg
	K=	1.088 m/dia

A = (1,032 · L + 30 d) (Si L > 6 m)

A = (1,032 · L + 30 d) · (-0,014 L<sup>2</sup> + 0,178 L + 0,481) (Si L < 6 m)

POZO ZONA 8

Q = 38.5 LIT/SEG = 138.6 mt<sup>3</sup> / hr

T = 0.005663 m<sup>2</sup>/seg = 489.2832 m<sup>2</sup> / dia = 20.39 mt<sup>2</sup> / hr

K = 1.484 MT/DIA = 0.63m/hr

R<sub>2</sub> = 194.35

R<sub>1</sub> = 60

S<sub>1</sub> = 1.0

Se calcula el descenso que se genera a 27.78 metros de distancia del pozo bajo estudio.

$S_1 - s_2 = Q / (2 \cdot T) \ln r_2/r_1,$

$1 - s_2 = (138.6 \text{ mt}^3 / \text{hr}) / (2 \cdot 20.39 \text{ mt}^2/\text{hr}) \ln 194.35/60 =$

$1 - s_2 = (129.6 \text{ mt}^3 / \text{hr}) / 128.11 \cdot 1.175316095$

$1 - s_2 = 129.6 / 150.57$

$1 - s_2 = 0.8607 =$

$s_2 = 0.14 \text{ metros.}$

El descenso producido a los 598 metros de distancia es de 0.14 metros.

### 5.3. CONDICIONES GEOTÉCNICAS

Los muestreos de suelos: procediendo a determinar la textura y su resistencia a la penetración para determinar sus condiciones geotécnicas a nivel de laboratorio, siendo los siguientes resultados.

TABLA 1. Ensayo penetración estándar, zona 1 Quetzaltenango

PROF. mt.	20 cm.	15 cm.	15 cm.	N	COMPACIDAD RELATIVA	w %	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA TON/m <sup>2</sup>	Kpa	Coficiente de Poisson	Unidad de masa [kN/m <sup>3</sup> ]	ANGULO DE FRICCION INTERNA °	CLASIFICACION
0.00													
0.50	2	1	1	2	Muy Suelto	19.73	<b>0.18</b>	<b>1.82</b>	196.133	0.3	18	<b>28.5</b>	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
1.00	3	3	4	7	Suelto	25.31	<b>0.64</b>	<b>6.37</b>	686.4655	0.3	18	<b>29.75</b>	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
1.50	7	6	9	15	Medio Denso	25.47	<b>1.37</b>	<b>13.65</b>	1470.998	0.3	18	<b>31.75</b>	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
2.00	6	5	8	13	Medio Denso	21.60	<b>1.18</b>	<b>11.83</b>	1274.865	0.3	18	<b>31.25</b>	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
2.50	9	7	13	20	Medio Denso	26.71	<b>1.82</b>	<b>18.20</b>	1961.33	0.3	18	<b>33</b>	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
3.00	17	9	7	16	Medio Denso	14.06	<b>1.46</b>	<b>14.56</b>	1569.064	0.3	18	<b>32</b>	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
3.50	7	25	25	50	Denso	27.05	<b>4.55</b>	<b>45.50</b>	4903.325	0.4	20	<b>40.5</b>	ML:Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.

FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO EMPRESA PROVIDA, DAGOBERTO BAUTISTA

De 0 a 1.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo Muy suelto a suelto con porcentaje de humedad que van de los 19.73, 25.31, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA MUY BAJA de 1.82 a 6.37 ton/mts<sup>2</sup>, el tipo de suelos son SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo., el índice de plasticidad se encuentra bajo de 0 y 4 lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo.

De 1.00 a 1.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 25.47, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de 13.65 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato va mejorando la resistencia, el tipo de suelos son SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo, el índice de plasticidad es de 17 lo que indica que se puede tener problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo muy leve.

De 1.50 a 3.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 21.60, 26.71, 14.06, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA media de 11.83, 18.20 y 14.56 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato va mejorando notablemente la resistencia, el tipo de

suelos son SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo, el índice de plasticidad es de 0, lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo

De 3.00 a 3.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo denso con porcentaje de humedad de 27.05 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA media de 45.50 ton/mts<sup>2</sup>, , el tipo de suelos ML:Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos., el índice de plasticidad es de 3

TABLA 2. Ensayo penetración estándar, zona 1 Quetzaltenango

PROF. mt.	20 cm.	15 cm.	15 cm.	N	COMPACIDAD RELATIVA	w %	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA TON/m <sup>2</sup>	Kpa	Coefficiente de Poisson	Unidad de masa [kN/m <sup>3</sup> ]	ANGULO DE FRICCION INTERNA °	CLASIFICACION
0.00													
0.50	5	5	8	13	Medio Denso	27.76	1.18	11.83	1274.8645	0.3	18	31.25	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
1.00	9	9	11	20	Medio Denso	24.60	1.82	18.20	1961.33	0.3	18	33	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
1.50	10	10	10	20	Medio Denso	24.51	1.82	18.20	1961.33	0.3	18	33	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
2.00	13	11	9	20	Medio Denso	22.19	1.82	18.20	1961.33	0.3	18	33	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
2.50	10	9	6	15	Medio Denso	28.73	1.37	13.65	1470.9975	0.3	18	31.75	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
3.00	14	9	4	13	Medio Denso	11.48	1.18	11.83	1274.8645	0.3	18	31.25	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
3.50	7	7	6	13	Medio Denso	10.87	1.18	11.83	1274.8645	0.28	18.5	31.25	SP-SM:Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos- Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
4.00	4	3	2	5	Muy Suelto	25.77	0.46	4.55	490.3325	0.28	18.5	29.25	SP-SM:Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos- Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO EMPRESA PROVIDA, DAGOBERTO BAUTISTA

De 0 a 0.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentaje de humedad que van de los 27.76, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA MUY BAJA de 11.83 ton/mts<sup>2</sup>, el tipo de suelos son SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo., el índice de plasticidad se encuentra bajo de 0 lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo.

De 0.50 a 3.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 24.60, 24.51, 22.19, 28.73, 11.48, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA MEDIA de 18.20, 13.65, 11.83 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato va mejorando la resistencia, el tipo de suelos son SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo, el índice de plasticidad

es de 0 lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo.

De 3.00 a 4.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso Y SUELTO con porcentaje de humedad de los 10.87, 25.77 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA media de 11.83, 4.55 ton/mts<sup>2</sup>, el tipo de suelos son SP-SM: Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos- Arenas limosas, mezclas de arena y Arenas limosas, mezclas de arena y limo., el índice de plasticidad es de 0, lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo

TABLA 3. Ensayo penetración estándar, zona 5 Quetzaltenango

PROF. mt.	20 cm.	15 cm.	15 cm.	N	COMPACIDAD RELATIVA	w %	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA TON/m <sup>2</sup>	Kpa	Coefficiente de Poisson	Unidad de masa [kN/m <sup>3</sup> ]	ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL talud	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA	CLASIFICACION
0.00														
0.50	2	1	1	2	Muy Suelto	9.4	0.18	1.82	196.13	0.35	18.5	55.66	21.32456	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
1.00	0.5	0.5	1	1.5	Muy Suelto	15.7	0.14	1.37	147.10	0.3	18	55.24	20.47723	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
1.50	0.5	0.5	7	7.5	Suelto	25.4	0.68	6.83	735.50	0.28	18.5	58.62	27.24745	SP: Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.
2.00	1	1	2	3	Muy Suelto	32.7	0.27	2.73	294.20	0.35	18.5	56.37	22.74597	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
2.50	4	4	5	9	Suelto	22.0	0.82	8.19	882.60	0.3	18	59.21	28.41641	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
3.00	5	7	11	18	Medio Denso	26.1	1.64	16.38	1765.20	0.3	18	61.99	33.97367	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
3.50	4	5	6	11	Medio Denso	24.2	1.00	10.01	1078.73	0.3	18	59.92	29.8324	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
4.00	7	6	8	14	Medio Denso	27.9	1.27	12.74	1372.93	0.3	18	60.87	31.7332	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO EMPRESA PROVIDA, DAGOBERTO BAUTISTA

De 0.00 a 1.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo MUY SUELTO con porcentajes de humedad de 9.4, 15.7 por ciento. Y una resistencia de 0.18, 0.14 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a 1.82, 1.37 Ton/mts<sup>2</sup> presentando una capacidad de soporte del suelo muy baja. Lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 21.32456, 20.47723 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 55.66, 55.24. El tipo de suelo que presenta es SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. Y SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0. El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de

1.447.08, 1.522.70 y su peso volumétrico seco en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1322.62, 1315.73.

De 1.00 a 1.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo SUELTO con porcentaje de humedad de 25.4 por ciento, Y una resistencia de  $0.68 \text{ kg/cm}^2$ . Que equivale a  $6.83 \text{ Ton/mts}^2$  presentando una capacidad de soporte del suelo baja. Lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 27.24745 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 58.62. El tipo de suelo que presenta es SP-SM: Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos. Arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0. El peso volumétrico húmedo en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1,811.25 y su peso volumétrico seco en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1444.84.

De 1.50 a 2.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo MUY SUELTO con porcentaje de humedad de 32.7 por ciento. Y una resistencia de  $0.27 \text{ kg/cm}^2$ . Que equivale a  $2.73 \text{ Ton/mts}^2$  presentando una capacidad de soporte del suelo muy baja. Lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 22.74597 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 56.37. El tipo de suelo que presenta es SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. El índice de plasticidad es de 14. El índice de plasticidad Se encuentra moderado podría existir también deformaciones del suelo. El peso volumétrico húmedo en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1.507.07 y su peso volumétrico seco en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1135.78.

De 2.00 a 2.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo SUELTO con porcentaje de humedad de 22.0 por ciento, Y una resistencia de  $0.82 \text{ kg/cm}^2$ . Que equivale a  $8.19 \text{ Ton/mts}^2$  presentando una capacidad de soporte del suelo baja. Lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 28.41641 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 59.21. El tipo de suelo que presenta es SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0. El peso volumétrico húmedo en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1.518.85 y su peso volumétrico seco en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1244.96.

De 2.50 a 4.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentajes de humedad de 26.1, 24.2, 27.9 por ciento. Y una resistencia de 1.64, 1.00,  $1.27 \text{ kg/cm}^2$ . Que equivale a 16.38, 10.01,  $12.74 \text{ Ton/mts}^2$  presentando una capacidad de soporte del suelo media. Lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 33.97367, 29.8324, 31.7332 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 61.99, 59.92, 60.87. El tipo de suelo que presentan es SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0. El peso volumétrico húmedo en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1.986.12,

1.360.30, 1592.51 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 1575.04, 1095.60, 124

TABLA 4. Ensayo penetración estándar, zona 5 Quetzaltenango

PROF.	20	15	15	COMPACIDAD	w	RESISTENCIA	RESISTENCIA		Coefficiente	Unidad	ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL talud	ANGULO DE FRICCION INTERNA	CLASIFICACION	
mt.	cm.	cm.	cm.	N	RELATIVA %	Kg/cm <sup>2</sup>	TON/m <sup>2</sup>	Kpa	de Poisson	de masa [kN/m <sup>3</sup> ]				
0.00														
0.50	2	3	3	6	Suelto	7.2	0.55	5.46	588.40	0.3	18	57.98	25.95445	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
1.00	13	15	12	27	Medio Denso	21.0	2.46	24.57	2647.80	0.35	18.5	64.12	38.2379	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
1.50	11	12	9	21	Medio Denso	22.1	1.91	19.11	2059.40	0.35	18.5	62.75	35.4939	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
2.00	9	10	17	27	Medio Denso	18.2	2.46	24.57	2647.80	0.3	18	64.12	38.2379	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
2.50	6	4	4	8	Suelto	33.2	0.73	7.28	784.53	0.4	20	58.82	27.64911	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
3.00	7	5	8	13	Medio Denso	28.4	1.18	11.83	1274.86	0.35	18.5	60.56	31.12452	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
3.50	7	8	10	18	Medio Denso	31.6	1.64	16.38	1765.20	0.3	18	61.99	33.97367	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
4.00	13	11	9	20	Medio Denso	23.8	1.82	18.20	1961.33	0.3	18	62.50	35	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO EMPRESA PROVIDA, DAGOBERTO BAUTISTA

De 0.00 a 0.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo SUELTO con porcentaje de humedad de 7.2 por ciento. Y una resistencia de 0.55 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a 5.46 Ton/mts<sup>2</sup> presentando una capacidad de soporte del suelo baja. Lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 25.95445 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 57.98. El tipo de suelo que presenta es SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0. El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de 1.355.33 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 1264.06.

De 0.50 a 2.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentajes de humedad de 21.0, 22.1, 18.2 por ciento, Y una resistencia de 2.46, 1.91, 2.46 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a 24.57, 19.11, 24.57 Ton/mts<sup>2</sup> presentando una capacidad de soporte del suelo media. Lo cual NO presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 38.2379, 35.4939, 38.2379 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 64.12, 62.75, 64.12. El tipo de suelo que

presenta es SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. Y SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0. El peso volumétrico húmedo en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1.113.88, 1.244.78, 1.582.80 y su peso volumétrico seco en  $\text{Kg/m}^3$  es de 920.63, 1019.64, 1339.54.

De 2.00 a 2.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo SUELTO con porcentaje de humedad de 33.2 por ciento. Y una resistencia de 0.73  $\text{kg/cm}^2$ . Que equivale a 7.28  $\text{Ton/mts}^2$  presentando una capacidad de soporte del suelo baja. Lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 27.64911 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 58.82. El tipo de suelo que presenta es ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 18. El índice de plasticidad Se encuentra moderado podría existir también deformaciones del suelo. El peso volumétrico húmedo en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1.700.01 y su peso volumétrico seco en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1276.38.

De 2.50 a 4.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentajes de humedad de 28.4, 31.6, 23.8 por ciento, Y una resistencia de 1.18, 1.64, 1.82  $\text{kg/cm}^2$ . Que equivale a 11.83, 16.38, 18.20  $\text{Ton/mts}^2$

El ángulo de fricción interna es de: 31.12452, 33.97367, 35 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 60.56, 61.99, 62.50. El tipo de suelo que presentan es SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. Y SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 15 y 0. El índice de plasticidad Se encuentra moderado podría existir también deformaciones del suelo. El peso volumétrico húmedo en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1.816.70, 1.850.94, 1.880.89 y su peso volumétrico seco en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1415.20, 1406.70, 1518.80.

TABLA 5. Ensayo penetración estándar, zona 9 Quetzaltenango

PROF. mt.	20 cm.	15 cm.	15 cm.	N	COMPACIDAD RELATIVA	w %	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA TON/m <sup>2</sup>	Kpa	Coefficiente de Poisson	Unidad de masa [kN/m <sup>3</sup> ]	ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL ° talud	ANGULO DE FRICCION INTERNA °	CLASIFICACION	Kpa	Kg/cm <sup>2</sup>	TON/m <sup>2</sup>
0.00																	
0.50	4	3	3	6	Suelto	25.1	<b>0.55</b>	<b>5.46</b>	588.40	0.4	20	<b>56.09</b>	<b>29.5</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	22.19	0.2059	0.0205878
1.00	3	2	2	4	Muy Suelto	26.8	<b>0.36</b>	<b>3.64</b>	392.27	0.4	20	<b>52.52</b>	<b>29</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	15.05	0.1396	0.0139619
1.50	2	1	2	3	Muy Suelto	31.6	<b>0.27</b>	<b>2.73</b>	294.20	0.4	20	<b>50.69</b>	<b>28.75</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	11.38	0.1056	0.0105625
2.00	5	3	3	6	Suelto	37.7	<b>0.55</b>	<b>5.46</b>	588.40	0.4	20	<b>56.09</b>	<b>29.5</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	22.19	0.2059	0.0205878
2.50	6	3	4	7	Suelto	37.4	<b>0.64</b>	<b>6.37</b>	686.47	0.4	20	<b>57.83</b>	<b>29.75</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	25.67	0.2382	0.0238173
3.00	4	4	5	9	Suelto	34.1	<b>0.82</b>	<b>8.19</b>	882.60	0.4	20	<b>61.23</b>	<b>30.25</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	32.45	0.3012	0.0301161
3.50	6	4	4	8	Suelto	34.3	<b>0.73</b>	<b>7.28</b>	784.53	0.4	20	<b>59.54</b>	<b>30</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	29.09	0.2699	0.026993
4.00	7	6	5	11	Medio Denso	38.8	<b>1.00</b>	<b>10.01</b>	1078.73	0.4	20	<b>64.51</b>	<b>30.75</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	39.02	0.3621	0.0362101
4.50	6	6	7	13	Medio Denso	34.2	<b>1.18</b>	<b>11.83</b>	1274.86	0.4	20	<b>67.69</b>	<b>31.25</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	45.38	0.4211	0.042109
5.00	8	14	17	31	Denso	31.3	<b>2.82</b>	<b>28.21</b>	3040.06	0.4	20	<b>92.30</b>	<b>35.75</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	94.59	0.8777	0.0877743
5.50	20	13	13	26	Medio Denso	37.7	<b>2.37</b>	<b>23.66</b>	2549.73	0.4	20	<b>86.10</b>	<b>34.5</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	82.21	0.7628	0.0762844
6.00	8	7	7	14	Medio Denso	41.5	<b>1.27</b>	<b>12.74</b>	1372.93	0.4	20	<b>69.24</b>	<b>31.5</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	48.48	0.4499	0.0449883
6.50	7	3	2	5	Muy Suelto	47.8	<b>0.46</b>	<b>4.55</b>	490.33	0.4	20	<b>54.32</b>	<b>29.25</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	18.65	0.1730	0.0173032
7.00	2	2	1	3	Muy Suelto	0.0	<b>0.27</b>	<b>2.73</b>	294.20	0	0	<b>50.69</b>	<b>28.75</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	11.38	0.1056	0.0105625
7.50	7	6	7	13	Medio Denso	28.8	<b>1.18</b>	<b>11.83</b>	1274.86	0.35	18.5	<b>67.69</b>	<b>31.25</b>	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	45.38	0.4211	0.042109
8.00	8	7	7	14	Medio Denso	57.5	<b>1.27</b>	<b>12.74</b>	1372.93	0.3	19.5	<b>69.24</b>	<b>31.5</b>	GC: Gravetas arcillosas, mezclas de gravetas, arena y arcilla.	48.48	0.4499	0.0449883
8.50	7	7	8	15	Medio Denso	42.3	<b>1.37</b>	<b>13.65</b>	1471.00	0.35	18.5	<b>70.77</b>	<b>31.75</b>	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	51.54	0.4782	0.0478222
9.00	8	8	7	15	Medio Denso	58.3	<b>1.37</b>	<b>13.65</b>	1471.00	0.35	18.5	<b>70.77</b>	<b>31.75</b>	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	51.54	0.4782	0.0478222
9.50	8	7	4	11	Medio Denso	48.8	<b>1.00</b>	<b>10.01</b>	1078.73	0.35	18.5	<b>64.51</b>	<b>30.75</b>	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	39.02	0.3621	0.0362101
10.00	6	6	8	14	Medio Denso	49.1	<b>1.27</b>	<b>12.74</b>	1372.93	0.35	18.5	<b>69.24</b>	<b>31.5</b>	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	48.48	0.4499	0.0449883

FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO EMPRESA PROVIDA, DAGOBERTO BAUTISTA

De 0 a 0.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo suelto con porcentaje de humedad que van de los 25.1, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA MUY BAJA de 0.55 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a 5.46 ton/mts<sup>2</sup>, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.,

El índice de plasticidad es 0 se encuentra bajo lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo.

El ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA ° del material oscila en 29.5 y su ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL ° talud se encuentra en 56.09.

De 1.00 a 1.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo muy suelto con porcentaje de humedad de 26.8, 31.6 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de 3.64 y 2.73 ton/mts<sup>2</sup>, ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos., el índice de plasticidad es de 0.

De 1.50 a 3.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo suelto con porcentaje de humedad de los 34.1 a 37.7, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA baja de 5.46, 6.37, 8.19, y 7.28 ton/mts<sup>2</sup>, en

este estrato va mejorando un poco la resistencia, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 0 en los primeros estratos, pero dentro del estrato de 2.50 a 3.50 m, El índice de plasticidad es de 11 y 8 lo que nos indica que es una caolinita(arcilla inactiva)..

De 3.50 a 4.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 38.8 y 34.2 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de 7.28, 10.01 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato la resistencia sigue baja el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. La actividad de la arcilla en estrato es 0 lo que nos indica que es una caolinita(arcilla inactiva).

De 4.50 a 5.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo denso con porcentaje de humedad de los 31.3 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de 28.21 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato la resistencia aumenta, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. La actividad de la arcilla en estrato es 0 lo que nos indica que es una caolinita(arcilla inactiva).

De 5.00 a 6.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 37.7 y 41.5 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de 23.66, 12.74 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato la resistencia sube y baja el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. La actividad de la arcilla en estrato es 0 lo que nos indica que es una caolinita(arcilla inactiva).

De 6.00 a 7.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo muy suelto con porcentaje de humedad de 47.8, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de 4.55 y 2.73 ton/mts<sup>2</sup>, ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.,, el índice de plasticidad es de 0.

De 7.00 a 10.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 28.8 a 58.3 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de 11.83, 12.74, 13.65, 10.01, 12.74, 12.74 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato la resistencia sube y baja el tipo de suelos son SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla... el índice de plasticidad es de 0

TABLA 6. Ensayo penetración estándar, zona 9 Quetzaltenango

PROF. mt.	20 cm.	15 cm.	15 cm.	N	COMPACIDAD RELATIVA	w %	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA TON/m <sup>2</sup>	Kpa	Coefficiente de Poisson	Unidad de masa [kN/m <sup>3</sup> ]	ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL ° talud	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA °	CLASIFICACION
0.00														
0.50	3	2	1	3	Muy Suelto	19.5	0.27	2.73	294.20	0.4	20	50.69	28.75	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
1.00	2	2	2	4	Muy Suelto	30.7	0.36	3.64	392.27	0.4	20	52.52	29	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
1.50	3	3	2	5	Muy Suelto	24.9	0.46	4.55	490.33	0.3	18	54.32	29.25	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
2.00	4	5	4	9	Suelto	34.3	0.82	8.19	882.60	0.4	20	61.23	30.25	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
2.50	7	5	6	11	Medio Denso	37.9	1.00	10.01	1078.73	0.4	20	64.51	30.75	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
3.00	7	5	4	9	Suelto	40.2	0.82	8.19	882.60	0.4	20	61.23	30.25	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
3.50	6	5	3	8	Suelto	33.7	0.73	7.28	784.53	0.4	20	59.54	30	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
4.00	4	3	4	7	Suelto	39.2	0.64	6.37	686.47	0.4	20	57.83	29.75	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
4.50	9	6	6	12	Medio Denso	36.9	1.09	10.92	1176.80	0.4	21	66.11	31	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
5.00	12	10	7	17	Medio Denso	26.9	1.55	15.47	1667.13	0.4	20	73.75	32.25	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
5.50	11	7	4	11	Medio Denso	24.1	1.00	10.01	1078.73	0.4	21	64.51	30.75	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
6.00	9	9	13	22	Medio Denso	23.8	2.00	20.02	2157.46	0.4	21	80.82	33.5	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
6.50	11	14	16	30	Medio Denso	14.9	2.73	27.30	2942.00	0.35	18.5	91.09	35.5	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
7.00	22	11	12	23	Medio Denso	24.5	2.09	20.93	2255.53	0.35	18.5	82.17	33.75	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
7.50	11	6	6	12	Medio Denso	34.6	1.09	10.92	1176.80	0.35	18.5	66.11	31	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
8.00	10	8	8	16	Medio Denso	45.6	1.46	14.56	1569.06	0.3	19.5	72.27	32	GC: Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla.
8.50	8	8	10	18	Medio Denso	48.7	1.64	16.38	1765.20	0.35	18.5	75.21	32.5	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
9.00	9	6	6	12	Medio Denso	60.9	1.09	10.92	1176.80	0.35	18.5	66.11	31	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
9.50	7	5	4	9	Suelto	60.4	0.82	8.19	882.60	0.35	18.5	61.23	30.25	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
10.00	14	16	25	41	Denso	38.0	3.73	37.31	4020.73	0.35	18.5	103.46	38.25	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
10.50	5	8	28	36	Denso	33.5	3.28	32.76	3530.39	0.35	18.5	98.07	37	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
11.00	25	23	23	46	Denso	33.5	4.19	41.86	4511.059	0.35	18.5	108.52	39.5	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.

FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO EMPRESA PROVIDA, DAGOBERTO BAUTISTA

De 0 a 1.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un **suelo MUY suelto** con porcentaje de humedad que van de los 19.5, 30.7, 24.9, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA MUY BAJA de 0.27, 0.36, 0.46 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a 2.73, 3.64, 4.55 ton/mts<sup>2</sup>, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos., Y DE 1.00 A 1.50 el tipo de suelo es SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo

El índice de plasticidad es 0 se encuentra bajo lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo.

El ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA ° del material oscila en 28.75, 29, 29.25 y su ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL ° talud se encuentra en 50.69, 52.52, 54.32.

De 1.50 a 2.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un **suelo suelto** con porcentaje de humedad de 34.3 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de 8.19 ton/mts<sup>2</sup>, ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos., el índice de plasticidad es de 0.

De 2.00 a 2.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentaje de humedad de los 337.9, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA baja de 10.01 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato va mejorando un poco la resistencia, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 0

De 2.50 a 4.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo **suelto** con porcentaje de humedad de los 40.2, 33.7, 39.2 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de 8.19, 10.01, 6.37 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato la resistencia sigue baja el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 18 DE LA PROFUNDIDAD DE 2.50 A 3.00 M Y DE 0 hasta llegar a 4.00 m. La actividad de la arcilla en estrato es una caolinita(arcilla inactiva).

De 4.00 a 6.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentaje de humedad de los 36.9, 26.9, 24.1, 23.8 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de 10.92, 15.47, 10.01, 20.02 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato la resistencia aumenta, el tipo de suelos son CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. Y ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 16 DE LA PROFUNDIDAD DE 4.00 A 4.50 M Y DE 0 hasta llegar a 6.00 m. La actividad de la arcilla en estrato es una caolinita(arcilla inactiva).

De 6.00 a 9.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentaje de humedad de los 14.9, 24.5, 34.6, 45.6, 48.7 y 60.9 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de 27.30, 20.93, 10.92, 14.56, 16.38, 10.92 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato la resistencia sube y baja, el tipo de suelos son SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. Y GC: Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla. Compuesto por piedra pómez.

De 9.00 a 9.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo **suelto** con porcentaje de humedad de 60.4, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de 8.19 ton/mts<sup>2</sup>, el tipo de suelos son SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla

De 9.50 a 11.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo **denso** con porcentaje de humedad de los 38.0 a 33.5 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de 37.31, 32.76, 41.86 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato la resistencia sube el tipo de suelos son SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.

TABLA 7. Ensayo penetración estándar, zona 1 Quetzaltenango

SONDEO No 1				COORDENADAS GEOGRAFICAS: 14°50'04" N 91°31'02" W					
PROF. m.	20 cm.	15 cm.	15 cm.	N	COMPACIDAD RELATIVA	w %	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA TON/m <sup>2</sup>	CLASIFICACION
0.00									
0.50	3	2	2	4	Muy Suelto	22.9	0.36	3.64	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
1.00	7	2	2	4	Muy Suelto	21.7	0.36	3.64	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
1.50	1	1	1	2	Muy Suelto	15.6	0.18	1.82	ML: LIMOS INORGANICOS, POLVO DE ROCA, LIMOS ARNOSOS O ARCILLOSOS LIGERAMENTE PLASTICOS
2.00	1	2	5	7	Suelto	31.2	0.64	6.37	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
2.50	9	8	8	16	Medio Denso	13.4	1.46	14.56	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
3.00	13	14	22	36	Denso	15.3	3.28	32.76	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
3.50	22	7	6	13	Medio Denso	18.8	1.18	11.83	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
4.00	11	7	10	17	Medio Denso	34.7	1.55	15.47	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo./ ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
4.50	14	14	11	25	Medio Denso	33.9	2.28	22.75	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
5.00	21	23	11	34	Denso	46.4	3.09	30.94	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
5.50	14	14	13	27	Medio Denso	41.3	2.46	24.57	MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos. / SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
6.00	11	13	13	26	Medio Denso	41.3	2.37	23.66	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO EMPRESA PROVIDA, DAGOBERTO BAUTISTA

De 0 a 1.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo muy suelto con porcentaje de humedad que van de los 22.9, 21.7, 15.6, por ciento de humedad, la resistencia en estos estratos es muy baja, encontrándose en la zona de 2.50 metros de profundidad el mejoramiento de la resistencia o capacidad portante del suelo con una compacidad relativa del suelo de medio denso, denso y medio denso Y una resistencia de 1.46, 3.28, y 1.18 kg/cm<sup>2</sup> logrando encontrar una mejor resistencia indicada a los 3 metros de profundidad, pero el problema es que existe un estrato de menor resistencia debajo de este hasta la profundidad de 4 metros el cual puede provocar asentamientos diferenciales.

La mejoría de la resistencia mecánica del suelo se puede localizar a los 4.50 metros de profundidad en adelante, encontrándose a los 5 metros la mayor resistencia de 30.94 ton/m<sup>2</sup> con una compacidad relativa denso, bajo la existencia de humedad 46.4 % siendo un suelo limos orgánicos, polvo de roca, limos arenosos.



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

**TABLA 8. Ensayo penetración estándar, zona 1 Quetzaltenango**

Coordenadas UTM 15 659553 E 1640567 N		No ENSAYO : DABJ110				ELEV. BROCAL :			
PROF. mt.	20 cm.	15 cm.	15 cm.	N	COMPACIDAD RELATIVA	w %	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA TON/m <sup>2</sup>	CLASIFICACION
0.00									
0.50	5	1	1	<b>2</b>	Muy Suelto	7.8	<b>0.18</b>	<b>1.82</b>	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
1.00	3	3	4	<b>7</b>	Suelto	5.2	<b>0.64</b>	<b>6.37</b>	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
1.50	5	4	5	<b>9</b>	Suelto	11.6	<b>0.82</b>	<b>8.19</b>	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO EMPRESA PROVIDA, DAGOBERTO BAUTISTA

De 0 a 1.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo muy suelto y suelto con porcentaje de humedad que van de los 7.8, 5.2, y 11.6 por ciento de humedad. Y una resistencia mecánica del suelo muy baja de 0.18, 0.64, y 0.82 kg/cm<sup>2</sup> que es relativamente muy bajo.



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

**TABLA 9. Ensayo penetración estándar, zona 2 Quetzaltenango**

		SONDEO			1	COORDENADAS 2330 MSN 15 660292 E 1640706 N			
PROF. mt.	20 cm.	15 cm.	15 cm.	N	COMPACIDAD RELATIVA	w %	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA TON/m <sup>2</sup>	CLASIFICACION
0.00									
0.50	2	2	2	<b>4</b>	Muy Suelto	15.0	<b>0.36</b>	<b>3.64</b>	SP-SM: Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos. Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
1.00	2	1	1	<b>2</b>	Muy Suelto	15.9	<b>0.18</b>	<b>1.82</b>	
1.50	1	1	1	<b>2</b>	Muy Suelto	38.3	<b>0.18</b>	<b>1.82</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
2.00	1	1	1	<b>2</b>	Muy Suelto	44.1	<b>0.18</b>	<b>1.82</b>	
2.50	1	1	1	<b>2</b>	Muy Suelto	90.1	<b>0.18</b>	<b>1.82</b>	MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos
3.00	0.5	0.5	3	<b>3.5</b>	Muy Suelto	69.7	<b>0.32</b>	<b>3.19</b>	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
3.50	4	4	10	<b>14</b>	Medio Denso	42.3	<b>1.27</b>	<b>12.74</b>	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
4.00	6	4	2	<b>6</b>	Suelto	42.9	<b>0.55</b>	<b>5.46</b>	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
4.50	0.5	0.5	0.5	<b>1</b>	Muy Suelto	54.6	<b>0.09</b>	<b>0.91</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
5.00	0.5	0.5	1	<b>1.5</b>	Muy Suelto	68.8	<b>0.14</b>	<b>1.37</b>	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
5.50	0.5	0.5	0.5	<b>1</b>	Muy Suelto	81.8	<b>0.09</b>	<b>0.91</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
6.00	2	2	1	<b>3</b>	Muy Suelto	92.6	<b>0.27</b>	<b>2.73</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
6.50	3	2	2	<b>4</b>	Muy Suelto	71.6	<b>0.36</b>	<b>3.64</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos

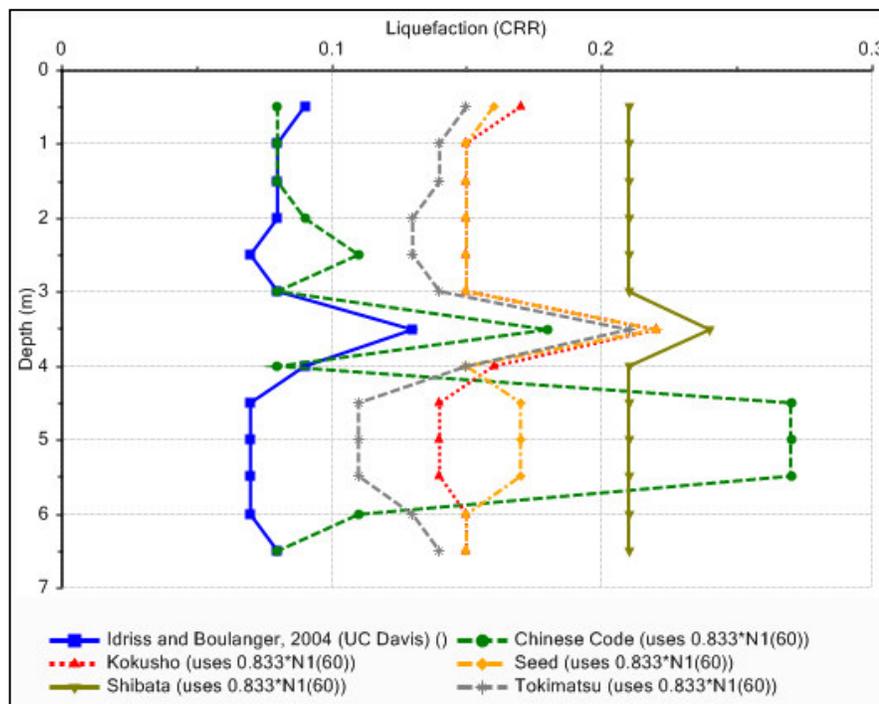
FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO EMPRESA PROVIDA, DAGOBERTO BAUTISTA

De 0 a 3.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo muy suelto con porcentaje de humedad que van de los 15, 15.39, 39.3, 44.1, 90.1, 69.7, por ciento de humedad, encontrándose en la zona de 2.50 metros de profundidad la zona mas húmeda con un 90.1 %. Y una resistencia de 0.36,0.18, y 0.32 kg/cm<sup>2</sup> que es relativamente muy bajo.

De 3.00 a 3.50 metros de profundidad se encontró esta zona con una compacidad relativa de medio denso, con una humedad del 42.3% y una resistencia de 1.27 kg/cm<sup>2</sup> que es equivalente a 12.74 Ton/mts<sup>2</sup>, esta zona está compuesta por arenas arcillosas, mezcla de arenas y limos.

De los 3.50 hasta los 6.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo suelto, y muy suelto con porcentaje de humedad que van de los 42.9, 54.6, 68.8, 81.8, 92.6, 71.6, por ciento de humedad, en estos estratos la resistencia baja considerablemente debido a la humedad presente en el suelo siendo el más bajo la resistencia de 0.09 kg/cm<sup>2</sup> que representa 0.91 ton/mts<sup>2</sup>

En las siguientes graficas se muestra resultados del estudio de licuefacción por varios métodos, dando como resultado que el suelo es licuable en la presencia de un terremoto.



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

**TABLA 10. ENSAYO DE PENETRACIÓN CÓNICA – CPT:**

En el ensayo de penetración cónica (CPT) se determino varios ensayos de CBR dando los siguientes resultados:

	SONDEO 1	CBR %	PENETRACION: 352 mm		35.2 Cms		
Cantidad de Golpes	Penetracion Acumulada (mm)	Penetracion Entre Lecturas (mm)	Penetracion Por Golpes (mm)	Factor De Mazo	Indice DCP (mm/Golpe)	CBR %	Humedad %
0	0	0	0	1	0	0	
5	21	21	4	1	4	60	
5	50	29	5	1	5	50	
15	115	65	5	1	5	50	
10	161	46	4	1	4	60	
5	181	20	4	1	4	60	
5	221	40	8	1	8	30	
10	234	13	1	1	1	100	
5	254	20	4	1	4	60	
5	270	16	3	1	3	80	
5	285	15	3	1	3	80	
5	300	15	3	1	3	80	
5	311	11	2	1	2	100	
5	325	14	2	1	2	100	
5	335	10	2	1	2	100	
5	341	6	1	1	1	100	
5	345	4	0	1	0	#N/A	
5	348	3	0	1	0	#N/A	
5	349	1	0	1	0	#N/A	
5	351	2	0	1	0	#N/A	
15	351	0	0	1	0	#N/A	

Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

SONDEO 2		CBR %	PENETRACION: 899 mm		89.9 Cms		
Cantidad de Golpes	Penetracion Acumulada (mm)	Penetracion Entre Lecturas (mm)	Penetracion Por Golpes (mm)	Factor De Mazo	Indice DCP (mm/Golpe )	CBR %	Humedad %
0	0	0	0	1	0	0	
5	50	50	10	1	10	20	
5	74	24	4	1	4	60	
15	137	63	5	1	5	50	
10	172	35	3	1	3	80	
5	182	10	2	1	2	100	
5	205	23	4	1	4	60	
10	251	46	4	1	4	60	
5	272	21	4	1	4	60	
5	300	28	5	1	5	50	
5	324	24	4	1	4	60	
5	353	29	5	1	5	50	
5	393	40	8	1	8	30	
5	430	37	7	1	7	35	
5	481	51	10	1	10	20	
5	540	59	11	1	11	20	
15	781	241	16	1	16	13	
10	844	63	6	1	6	40	
5	870	26	5	1	5	50	
4	899	29	7	1	7	35	
SONDEO 3		CBR %	PENETRACION: 900 mm		90.0 Cms		
Cantidad de Golpes	Penetracion Acumulada (mm)	Penetracion Entre Lecturas (mm)	Penetracion Por Golpes (mm)	Factor De Mazo	Indice DCP (mm/Golpe )	CBR %	Humedad %
0	0	0	0	1	0	0	
5	67	67	13	1	13	16	
5	120	53	10	1	10	20	
15	222	102	5	1	5	50	
10	285	63	6	1	6	40	
5	318	33	6	1	6	40	
5	356	38	7	1	7	35	
10	426	70	7	1	7	35	
5	470	44	8	1	8	30	
5	522	52	10	1	10	20	
5	577	55	11	1	11	20	
5	631	54	10	1	10	20	
5	690	59	11	1	11	20	
5	745	55	11	1	11	20	
5	816	71	14	1	14	15	
5	900	84	16	1	16	13	

	SONDEO 4	CBR %	PENETRACION: 880 mm		88.0 Cms		
Cantidad de Golpes	Penetracion Acumulada (mm)	Penetracion Entre Lecturas (mm)	Penetracion Por Golpes (mm)	Factor De Mazo	Indice DCP (mm/Golpe )	CBR %	Humedad %
0	0	0	0	1	0	0	
5	40	40	8	1	8	30	
5	61	21	4	1	4	60	
15	103	42	5	1	5	50	
10	124	21	2	1	2	100	
5	131	7	1	1	1	100	
5	139	8	1	1	1	100	
10	167	28	2	1	2	100	
5	187	20	4	1	4	60	
5	208	21	4	1	4	60	
5	227	19	3	1	3	80	
5	250	23	4	1	4	60	
5	272	22	4	1	4	60	
5	294	22	4	1	4	60	
5	315	21	4	1	4	60	
5	335	20	4	1	4	60	
15	399	64	4	1	4	60	
10	449	50	5	1	5	50	
5	475	26	5	1	5	50	
5	502	27	5	1	5	50	
10	564	62	6	1	6	40	
5	600	36	7	1	7	35	
5	634	34	6	1	6	40	
5	679	45	9	1	9	25	
5	740	61	12	1	12	18	
5	810	70	14	1	14	15	
5	880	70	14	1	14	15	

FOTOS ensayo de CBR en el campo



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

	SONDEO 5	CBR %	PENETRACION: 860 mm		86.0 Cms		
Cantidad de Golpes	Penetracion Acumulada (mm)	Penetracion Entre Lecturas (mm)	Penetracion Por Golpes (mm)	Factor De Mazo	Indice DCP (mm/Golpe )	CBR %	Humedad %
0	0	0	0	1	0	0	
5	45	45	9	1	9	25	
5	72	27	5	1	5	50	
15	130	58	5	1	5	50	
10	170	40	4	1	4	60	
5	190	20	4	1	4	60	
5	214	24	4	1	4	60	
10	256	42	4	1	4	60	
5	279	23	4	1	4	60	
5	305	26	5	1	5	50	
5	330	25	5	1	5	50	
5	356	26	5	1	5	50	
5	381	25	5	1	5	50	
5	405	24	4	1	4	60	
5	424	19	3	1	3	80	
5	445	21	4	1	4	60	
15	522	77	5	1	5	50	
10	612	90	9	1	9	25	
5	668	56	11	1	11	20	
5	757	89	17	1	17	12	
5	860	103	20	1	20	10	

TABLA 11 Ensayo penetración estándar, zona 9 Quetzaltenango

SONDEO No 1					COORDENADAS UTM: 15 P 0656892 m E, 1642910 m N, MSNM 2404									
PROF. mt.	20 cm.	15 cm.	15 cm.	N	COMPACIDAD RELATIVA	w %	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA TON/m <sup>2</sup>	Kpa	Coficiente de Poisson	Unidad de masa [kN/m <sup>3</sup> ]	ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL ° talud	ANGULO DE FRICCION INTERNA °	CLASIFICACION
0,00														
0,50	2	1	3	4	Muy Suelto	41,9	0,36	3,64	392,27	0,4	20	52,52	29	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
1,00	3	1	2	3	Muy Suelto	48,7	0,27	2,73	294,20	0,4	20	50,69	28,75	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
1,50	2	2	2	4	Muy Suelto	45,8	0,36	3,64	392,27	0,4	20	52,52	29	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
2,00	3	3	3	6	Suelto	48,4	0,55	5,46	588,40	0,4	20	56,09	29,5	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
2,50	4	2	2	4	Muy Suelto	58,2	0,36	3,64	392,27	0,4	20	52,52	29	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
3,00	3	1	1	2	Muy Suelto	54,9	0,18	1,82	196,13	0,4	20	48,83	28,5	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
3,50	1	1	2	3	Muy Suelto	49,2	0,27	2,73	294,20	0,4	20	50,69	28,75	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
4,00	3	4	11	15	Medio Denso	64,5	1,37	13,65	1471,00	0,35	18,5	70,77	31,75	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
4,50	11	6	11	17	Medio Denso	26,4	1,55	15,47	1667,13	0,35	18,5	73,75	32,25	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
5,00	6	3	5	8	Suelto	62,1	0,73	7,28	784,53	0,4	21	59,54	30	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
5,50	8	7	6	13	Medio Denso	92,0	1,18	11,83	1274,86	0,4	21	67,69	31,25	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.

FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO EMPRESA PROVIDA, DAGOBERTO BAUTISTA

### COMENTARIOS:

De 0 a 1.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo Muy suelto con porcentaje de humedad que van de los 41,9, 48,7, 45,8, por ciento, con una resistencia de 0,36, 0,27, 0,36 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a 3,64, 2,73, 3,64 ton/mts<sup>2</sup>, El ángulo de fricción interna° del material oscila en 29, 28,75, 29 y su ángulo de reposo del material° talud se encuentra en 52,52, 50,69, 52,52. Los tipos de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 0, lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo. A excepción del estrato de 2.50 a 3.00 m que su índice de plasticidad es de 14 y 13 lo que indica que se puede tener problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo muy leve.



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

De 2.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo Suelto con

porcentaje de humedad que va de 48,4 por ciento, con una resistencia de 0,55 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a 5,46 ton/mts<sup>2</sup>, El ángulo de fricción interna° del material oscila en 29,5 y su ángulo de reposo del material° talud se encuentra en 56,09. El tipo de suelo es ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 0.

De 2.50 a 3.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo Muy suelto con porcentaje de humedad que van de los 58,2, 54,9, 49,2, por ciento, con una resistencia de 0,36, 0,18, 0,27 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a 3,64, 1,82, 2,73 ton/mts<sup>2</sup>, El ángulo de fricción interna° del material oscila en 29, 28,5, 28,75 y su ángulo de reposo del material° talud se encuentra en 52,52, 48,83, 50,69. Los tipos de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 14, 13, 0, lo que indica que se puede tener problemas en el suelo de expansión y contracción muy leve.

De 4.00 a 4.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo Medio denso con porcentaje de humedad que van de los 64.5, 26.4 por ciento, con una resistencia de 1,37, 1,55 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a 13,65, 15,47 ton/mts<sup>2</sup>, El ángulo de fricción interna° del material oscila en 31,75, 32,25 y su ángulo de reposo del material° talud se encuentra en 70,77, 73,75. Los tipos de suelos son SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. El índice de plasticidad es de 0.

De 5.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo Suelto con porcentaje de humedad que va de 62.1 por ciento, con una resistencia de 0,73 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a 7,28 ton/mts<sup>2</sup>, El ángulo de fricción interna° del material oscila en 30 y su ángulo de reposo del material° talud se encuentra en 59,54. El tipo de suelo es CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. El índice de plasticidad es de 0. La actividad de la arcilla en estrato es 0 lo que nos indica que es una caolinita (arcilla inactiva).

De 5.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo Medio Denso con porcentaje de humedad que va de 92.0 por ciento, con una resistencia de 1,18 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a 11,83 ton/mts<sup>2</sup>, El ángulo de fricción interna° del material oscila en 31,25 y su ángulo de reposo del material° talud se encuentra en 67,69. El tipo de suelo es CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. El índice de plasticidad es de 0. La actividad de la arcilla en este estrato es de 0 lo que nos indica que es una caolinita (arcilla inactiva).

TABLA 12, Ensayo penetración estándar, zona 3 Quetzaltenango

SONDEO No 1					COORDENADAS UTM: 15 P 0659206 m E 1642115 m N, MSNM 2364									
PROF. mt.	20 cm.	15 cm.	15 cm.	N	COMPACIDAD RELATIVA	w %	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA TON/m <sup>2</sup>	Kpa	Coefficiente de Poisson	Unidad de masa [kN/m <sup>3</sup> ]	ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL ° talud	ANGULO DE FRICCION INTERNA °	CLASIFICACION
0,00														
0,50	3	4	7	11	Medio Denso	48,3	1,00	10,01	1078,73	0,4	21	60,38	30,75	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
1,00	10	7	9	16	Medio Denso	50,2	1,46	14,56	1569,06	0,4	21	61,00	32	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
1,50	12	8	8	16	Medio Denso	51,6	1,46	14,56	1569,06	0,4	20	61,00	32	MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.
2,00	9	8	10	18	Medio Denso	52,9	1,64	16,38	1765,20	0,4	20	61,25	32,5	MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.
2,50	10	7	8	15	Medio Denso	47,8	1,37	13,65	1471,00	0,4	21	60,88	31,75	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
3,00	11	8	11	19	Medio Denso	41,5	1,73	17,29	1863,26	0,4	21	61,38	32,75	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
3,50	15	15	17	32	Denso	25,9	2,91	29,12	3138,13	0,4	21	63,00	36	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
4,00	38	15	14	29	Medio Denso	27,6	2,64	26,39	2843,93	0,4	21	62,63	35,25	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.

FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO EMPRESA PROVIDA, DAGOBERTO BAUTISTA

De 0 a 3.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentajes que van de 48.3, 50.2, 51.6, 52.9, 47.8, 41.5 por ciento de humedad. Y una resistencia de 1.00, 1.46, 1.46, 1.64, 1.37, 1.73 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a 10.01, 14.56, 14.56, 16.38, 13.65, 17.29 Ton/mts<sup>2</sup> presentando una capacidad de soporte del suelo alta.

El ángulo de fricción interna<sup>o</sup> es de: 30.75, 32, 32, 32.5, 31.75, 32.75 y su

ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 60.38, 61, 61, 61.25, 60.88, 61.38.

El tipo de suelo que presentan es MH para los estratos 1.50 y 2.00: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos más elásticos. Y el resto es CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. El índice de plasticidad es de 0.

El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de 1.192.46, 1.153.40, 984.87, 1.237.14, 1.243.94, 1.370.57 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 803.87, 767.75, 649.52, 809.12, 841.69, 968.94.



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

De 3.00 a 3.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo DENSO con porcentaje de 25.9 por ciento de humedad. Y una resistencia de 2.91 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a 29.12 Ton/mts<sup>2</sup> Presentando una capacidad de soporte de suelo muy alta.

El ángulo de fricción interna<sup>o</sup> es de: 36 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 63.00. El tipo de suelo que presentan es CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. El índice de plasticidad es de 0.

El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de 1.360.17 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 1080.27.

De 3.50 a 4.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentaje de 27.6 por ciento de humedad. Y una resistencia de 2.64 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a 26.39 Ton/mts<sup>2</sup> presentando una capacidad de soporte de suelo alta.

El ángulo de fricción interna<sup>o</sup> es de: 35.25 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 62.63. El tipo de suelo que presenta es CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. El índice de plasticidad es de 0.

El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de 1.416.80 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 1110.52.

TABLA 13 Peso unitario, gravedad específica, zona 3 Quetzaltenango

PESO UNITARIO g/cm <sup>3</sup>				
Profundidad:	0,5-1,0-2,5-4,0	1,50-2,00		
Peso Recipiente Grande (WRG)	27,8	27,8		
Peso Muestra (Wm)	36,7	7,1		
Peso muestra + Cera (Wm+C)	39,4	10,4		
Peso Cera (WC)	2,7	3,3		
Humedad Peso tara	13	12,8		
Hum+tara	66,70	68,60		
Seco+tara	49,20	49,60		
<b>Humedad</b>	<b>48,34%</b>	<b>51,63%</b>		
Pesos recipientes (WR+WP)	128,8	128,8		
Pesos recipientes + H2O (WR+WP+H2O)	351,7	353,8		
Pesos recipientes + H2O+ m (WR+WP+H2O+m)	391	364,1		
Peso recipiente Pequeño (Wr)	101	101		
Peso agua derramada + Recipiente Grande (WH20d+WRG)	45	31,5		
WH20derramada (WH20d)	14,5	0,4		
Densidad del H2O	1	1		
Volumen agua derrada (VH20d)	14,5	0,4		
<b>Ym PESOS UNITARIOS g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2,53</b>	<b>17,75</b>		
Clasificación del suelo	CL	MH		
Peso Húmedo= grs	53,70	55,80		
Peso Seco= grs	36,20	36,80		
<b>Volumen Total (Vtot)= CM<sup>3</sup></b>	<b>14,5</b>	<b>0,4</b>		
GRAVEDAD ESPECIFICA O PESO ESPECIFICO RELATIVO NORMA ASTM D854-02				
Profundidad:	0,5-1,0-2,5-4,0	1,50-2,00		
Peso muestra en grs. (Ws):	38	38,8		
Peso Picnómetro (Wp):	157,7	157,7		
Peso Picnómetro + agua (Wp+H2O):	656	656		
Temperatura del agua:	18	18		
Densidad del H2O:	998,68	998,68		
Densidad Real del Agua.	<b>0,99868</b>	<b>0,99868</b>		
Peso Picnómetro + H2O + Muestra+ Aire	676,6	677,3		
<b>Gravedad Especifica Gs=</b>	<b>2,18</b>	<b>2,21</b>		

FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO EMPRESA PROVIDA, DAGOBERTO BAUTISTA

TABLA 14 Ensayo penetración estándar, **sondeo 2.**, zona 3 Quetzaltenango

SONDEO No 2					COORDENADAS UTM: 15 P 0659214 m E 1642123 m N, MSNM 2374									
PROF. mt.	20 cm.	15 cm.	15 cm.	N	COMPACIDAD RELATIVA	w %	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA TON/m <sup>2</sup>	Kpa	Coficiente de Poisson	Unidad de masa [kN/m <sup>3</sup> ]	ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL talud °	ANGULO DE FRICCION INTERNA °	CLASIFICACION
0,00														
0,50	1	2	3	5	Muy Suelto	41,3	0,46	4,55	490,33	0,4	20	59,63	29,25	MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.
1,00	5	5	7	12	Medio Denso	51,7	1,09	10,92	1176,80	0,4	20	60,50	31	MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.
1,50	9	8	10	18	Medio Denso	45,1	1,64	16,38	1765,20	0,4	21	61,25	32,5	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
2,00	12	9	11	20	Medio Denso	40,1	1,82	18,20	1961,33	0,4	21	61,50	33	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
2,50	12	12	15	27	Medio Denso	22,7	2,46	24,57	2647,80	0,4	21	62,38	34,75	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
3,00	27	27	31	58	Muy Denso	19,8	5,28	52,78	5687,86	0,4	21	66,25	42,5	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.

FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO EMPRESA PROVIDA, DAGOBERTO BAUTISTA

De 0 a 0.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo **MUY SUELTO** con porcentaje de 41.3 por ciento de humedad. Y una resistencia de 0.46 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a 4.55 Ton/mts<sup>2</sup> presentando una capacidad de soporte del suelo muy baja.

El ángulo de fricción interna<sup>o</sup> es de: 29.25 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 59.63. El tipo de suelo que presenta es MH:

Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos más elásticos. El índice de plasticidad es de 0.

El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de 1.363.09 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 964.40.

De 0.50 a 2.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo **MEDIO DENSO** con porcentajes de 51.7, 45.1, 40.1, 22.7 por ciento de humedad. Y una resistencia de 1.09, 1.64, 1.82, 2.46 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a 10.92, 16.38, 18.20, 24.57 Ton/mts<sup>2</sup>. Presentando una capacidad de soporte de suelo media.

El ángulo de fricción interna<sup>o</sup> es de: 31, 32.5, 33, 34.75 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 60.50, 61.25, 61.50, 62.38. El tipo de suelo que presentan es para el estrato 1.00 es MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos,



más elásticos. Y para el resto es CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. El índice de plasticidad es de 0.

El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de 1.076.94, 1.169.86, 1.232.94, 1.474.98 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 709.96, 806.19, 880.10, 1202.10.

De 2.50 a 3.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo **DENSO** con porcentaje de 19.8 por ciento de humedad. Y una resistencia de 5.28 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a 52.78 Ton/mts<sup>2</sup>, presentando una capacidad de soporte de suelo alta.

El ángulo de fricción interna<sup>o</sup> es de: 42.5 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 66.25. El tipo de suelo que presenta es CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. El índice de plasticidad es de 0.

El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de 1.731.19 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 1445.07.

TABLA 15. Ensayo penetración estándar, sondeo 1, zona 3 Quetzaltenango

SONDEO No 1					COORDENADAS UTM: 15 P 0658769 m E, 1641622 m N, MSNM 2367										CLASIFICACION
PROF. mt.	20 cm.	15 cm.	15 cm.	N	COMPACIDAD RELATIVA	w %	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA TON/m <sup>2</sup>	Kpa	Coefficiente de Poisson	Unidad de masa [kN/m <sup>3</sup> ]	ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL	ANGULO DE FRICCION INTERNA		
0.00															
0.50	3	2	2	4	Muy Suelto	15.2	<b>0.36</b>	<b>3.64</b>	392.27	0.3	18	<b>52.52</b>	<b>29</b>	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo	
1.00	1	1	2	3	Muy Suelto	33.2	<b>0.27</b>	<b>2.73</b>	294.20	0.3	18	<b>50.69</b>	<b>28.75</b>	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo	
1.50	0.5	0.5	0.5	1	Muy Suelto	32.5	<b>0.09</b>	<b>0.91</b>	98.07	0.4	20	<b>46.93</b>	<b>28.25</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	
2.00	2	1	2	3	Muy Suelto	34.9	<b>0.27</b>	<b>2.73</b>	294.20	0.3	18	<b>50.69</b>	<b>28.75</b>	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo	
2.50	2	2	3	5	Muy Suelto	29.4	<b>0.46</b>	<b>4.55</b>	490.33	0.4	21	<b>54.32</b>	<b>29.25</b>	CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	
3.00	4	3	4	7	Suelto	26.3	<b>0.64</b>	<b>6.37</b>	686.47	0.3	18	<b>57.83</b>	<b>29.75</b>	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo	
3.50	4	5	6	11	Medio Denso	39.3	<b>1.00</b>	<b>10.01</b>	1078.73	0.4	20	<b>64.51</b>	<b>30.75</b>	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	
4.00	9	4	7	11	Medio Denso	38.8	<b>1.00</b>	<b>10.01</b>	1078.73	0.4	21	<b>64.51</b>	<b>30.75</b>	CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	
4.50	11	7	5	12	Medio Denso	56.7	<b>1.09</b>	<b>10.92</b>	1176.80	0.35	18.5	<b>66.11</b>	<b>31</b>	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	
5.00	5	12	14	26	Medio Denso	31.5	<b>2.37</b>	<b>23.66</b>	2549.73	0.35	18.5	<b>86.10</b>	<b>34.5</b>	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	
5.50	18	7	7	14	Medio Denso	33.0	<b>1.27</b>	<b>12.74</b>	1372.93	0.4	21	<b>69.24</b>	<b>31.5</b>	CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	
6.00	10	9	10	19	Medio Denso	49.4	<b>1.73</b>	<b>17.29</b>	1863.26	0.35	18.5	<b>76.64</b>	<b>32.75</b>	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	
6.50	10	10	10	20	Medio Denso	45.2	<b>1.82</b>	<b>18.20</b>	1961.33	0.35	18.5	<b>78.06</b>	<b>33</b>	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	
7.00	18	17	17	34	Denso	42.3	<b>3.09</b>	<b>30.94</b>	3334.26	0.4	21	<b>95.81</b>	<b>36.5</b>	CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	
7.50	15	18	14	32	Denso	33.29	<b>2.91</b>	<b>29.12</b>	3138.13	0.4	21	<b>93.48</b>	<b>36</b>	CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	
8.00	19	15	10	25	Medio Denso	30.82	<b>2.28</b>	<b>22.75</b>	2451.66	0.4	21	<b>84.81</b>	<b>34.25</b>	CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	

FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO EMPRESA PROVIDA, DAGOBERTO BAUTISTA

De 0 a 2.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo Muy suelto con porcentaje de humedad que van de los 15.2, 33.2, 32.5, 34.9, 29.4, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA MUY BAJA de 0.09 a 0.46Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a 0.9 a 4.55 ton/mts<sup>2</sup>, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.,

SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo

CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.

el índice de plasticidad se encuentra bajo lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo. A excepción del estrato de 2.00 a 2.50 m que su índice de plasticidad es de 16 lo que indica que se puede tener problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo muy leve

El ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA ° del material oscila en 28.50 a 29.25 y su ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL ° talud se encuentra en 46.93 a 54.32.

De 2.50 a 3.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo suelto con porcentaje de humedad de 26.3, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de 6.37 ton/mts<sup>2</sup>, SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo, el índice de plasticidad es de 0.

De 3.00 a 6.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 31.5 a 56.7, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA media de 10.01 a 23.66 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato va mejorando notablemente la resistencia, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. el índice de plasticidad es de 0

La actividad de la arcilla en estrato es de 0. lo que nos indica que es una caolinita(arcilla inactiva)..

De 6.50 a 7.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo denso



Fuente: Dagoberto Bautista 2013.

con porcentaje de humedad de los 42.3 y 33.29 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de 30.94, 29.12 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato la resistencia aumenta siendo un estrato ideal para LA CIMENTACIÓN DEL EDIFICIO, el tipo de suelos son CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. La actividad de la arcilla en estrato es 0 lo que nos indica que es una caolinita(arcilla inactiva).

TABLA 16. Ensayo penetración estándar, sondeo 2, zona 3 Quetzaltenango

SONDEO No 2					COORDENADAS UTM: 15 P 0658754 m E, 1641625 m N, MSNM 2368									
PROF. mt.	20 cm.	15 cm.	15 cm.	N	COMPACIDAD RELATIVA	w %	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA TON/m <sup>2</sup>	Kpa	Coefficiente de Poisson	Unidad de masa [kN/m <sup>3</sup> ]	ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA	CLASIFICACION
0.00														
0.50	4	3	3	6	Suelto	23.4	0.55	5.46	588.40	0.4	20	56.09	29.5	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
1.00	5	2	2	4	Muy Suelto	15.3	0.36	3.64	392.27	0.4	20	52.52	29	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
1.50	1	1	1	2	Muy Suelto	37.5	0.18	1.82	196.13	0.3	18	48.83	28.5	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo
2.00	2	3	8	11	Medio Denso	24.9	1.00	10.01	1078.73	0.3	18	64.51	30.75	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo
2.50	6	2	4	6	Suelto	26.4	0.55	5.46	588.40	0.4	21	56.09	29.5	CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
3.00	6	5	6	11	Medio Denso	24.3	1.00	10.01	1078.73	0.4	21	64.51	30.75	CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
3.50	7	7	6	13	Medio Denso	34.9	1.18	11.83	1274.86	0.4	20	67.69	31.25	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
4.00	9	7	8	15	Medio Denso	33.8	1.37	13.65	1471.00	0.3	18	70.77	31.75	SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo
4.50	13	10	9	19	Medio Denso	49.0	1.73	17.29	1863.26	0.35	18.5	76.64	32.75	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla
5.00	5	5	9	14	Medio Denso	37.1	1.27	12.74	1372.93	0.4	20	69.24	31.5	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
5.50	18	9	8	17	Medio Denso	31.3	1.55	15.47	1667.13	0.4	21	73.75	32.25	CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
6.00	9	8	9	17	Medio Denso	63.0	1.55	15.47	1667.13	0.4	21	73.75	32.25	MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos
6.50	11	10	14	24	Medio Denso	47.9	2.18	21.84	2353.60	0.4	20	83.50	34	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
7.00	16	16	17	33	Denso	43.5	3.00	30.03	3236.19	0.4	20	94.65	36.25	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
7.50	18	17	16	33	Denso	34.41	3.00	30.03	3236.19	0.4	21	94.65	36.25	CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
8.00	18	14	10	24	Medio Denso	24.43	2.18	21.84	2353.60	0.4	21	83.50	34	CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.

FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO EMPRESA PROVIDA, DAGOBERTO BAUTISTA

De 0.00 a 0.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo **suelto** con porcentaje de humedad de 23.4, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de 5.46 ton/mts<sup>2</sup>, ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos., el índice de plasticidad es de 0.

De 0.50 a 1.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un **suelo Muy suelto** con porcentaje de humedad que van de los 15.3, 37.5, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA MUY BAJA de 0.36 a 0.18 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a 3.64, 1.82 ton/mts<sup>2</sup>, el tipo de suelos son SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

El índice de plasticidad se encuentra bajo lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo.

El ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA ° del material oscila en 29, 28.5 y su ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL ° talud se encuentra en 52.52 Y 48.83.



De 1.50 a 2.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo **medio denso** con porcentaje de humedad de 24.9, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de 10.01 ton/mts<sup>2</sup>, SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo, el índice de plasticidad es de 0.

De 2.00 a 2.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo **suelto** con porcentaje de humedad de 26.4, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de 5.46 ton/mts<sup>2</sup>, CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres., el índice de plasticidad es de 10.

De 2.50 a 6.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 31.3 a 63.00, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA media de 10.01 a 21.84 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato va mejorando notablemente la resistencia, el tipo de suelos son CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.

ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.

SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo

SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.

MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos  
el índice de plasticidad es de 0

A EXCEPCIÓN DEL ESTRATO DE 2.50 A 3.00 M que presenta un IP de 22 La

actividad de la arcilla en este estrato es de 0.34375 es una caolinita(arcilla inactiva)..

La actividad de la arcilla en los demás estratos es de 0. lo que nos indica que es una caolinita(arcilla inactiva)..

De 6.50 a 7.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo denso con porcentaje de humedad de los 43.5 y 34.41 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de 30.03 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato la resistencia aumenta, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. Y CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.

## **6. CONCLUSIONES**

La zona urbana de la ciudad de Quetzaltenango, su estructura geológica se encuentra Qp que pertenece a la edad geológica cuaternaria, siendo sus unidades hidrogeológicas, acuífero superior, volcánicos pleistocénicos, siendo su litología sedimentos de pómez con depósitos lacustres. En su parte este de la ciudad especialmente en el cauce de los ríos xequijel y samala encontramos Qa sedimentos aluviales, que pertenecen también a la edad cuaternaria, acuífero superior, siendo su litología sedimentos secundarios de materiales volcánicos.

En su parte sur del área urbana de la ciudad encontramos unidades hidrogeológicas Qv Volcánicos holocénicos que pertenecen a la edad geológica del cuaternario, su litología es de flujos de lava, lodo, tobas y cenizas. Principalmente donde se ubican los volcanes y cerros que rodean a la ciudad dentro los que podemos ubicar el volcán santa maría, el Santiaguito, el cerro quemado y el siete orejas.

En el Estudio geofísico realizado en el área urbana zona 6 ciudad de Quetzaltenango en el horizonte de 50 a 60 metros se ubico una zona humedad, la resistividad aparente en este punto es variable, la retencion de humedad se da por la litologia existente en este punto, de los 80 a 90 metros se ubico pómez, conglomerados y areniscas, tambien se pudo detectar la presencia de agua. de los 90 metros en adelante se encontró roca y conglomerados, posiblemente se ubique material rocoso como andesita fracturada y conglomerados como roca poma, toda el área se encuentra presente una zona humedad, a los 130 metros se vuelve ubicar la presencia de agua del acuífero inferior del periodo terciario presencia de roca andesita y basalto fracturado, de acuerdo al estudio efectuado en la zona se concluye que el nivel estatico se encuentra a 213.20 pies, el dinamico a los 255

pies, la humedad se empieza a localizar a los 196.80 pies. la transmisividad (t) del acuífero inferior semi confinado, es de  $t = 27$  a  $100 \text{ m}^2/\text{día}$ . el coeficiente de almacenamiento para el acuífero en estudio es de  $2.8 \times 10^{-4}$ , acuíferos semi confinados el valor del coeficiente de almacenamiento es variable de orden de magnitud inferior al de la porosidad eficaz en general  $10^{-5}$  y  $10^{-3}$  es adimensional. como puede observarse el valor dado se encuentra en el rango de  $1 \times 10^{-3}$  a  $5 \times 10^{-5}$  lo que indica, que el acuífero a explotar es un acuífero confinado.

Estudio geofísico área urbana zona 9, ciudad de Quetzaltenango, los primeros estratos está compuesto por arenas, limos, piedra pómez y areniscas, conglomerados, hasta llegar a los 19.00 metros de profundidad la zona húmeda inicia a esta profundidad, Edad geológica: cuaternario, Unidades hidrogeológicas: acuífero superior qp volcánicos pleistocenos, Litología: sedimentos de pómez con depósitos lacustres.

El área urbana zona 0, ciudad de Quetzaltenango. La investigación geofísica, de los sondeos eléctricos verticales SEV para el eje vertical, definió la existencia de un SUELO SATURADO a profundidad de 7 metros en material semi impermeable limos + areniscas, agua artesiana se encontró a los 16, 25 y 26 metros de profundidad y el acuífero semiconfinado esta a los 50 metros de profundidad el inicio. Existiendo una capa de material semiconfinante compuestos de limos y areniscas en algunos casos y limos en otros estratos.

La investigación geofísica, de los sondeos eléctricos verticales SEV para el eje vertical, definió la existencia de un SUELO SATURADO COMPUESTO POR UN ACUITARDO a profundidad de 20 metros en material semi impermeable limos + areniscas, agua artesiana se encontró a los 16, 25 y 26 metros de profundidad y el acuífero semiconfinado esta a los 70 metros de profundidad el inicio. Existiendo una capa de material semiconfinante compuestos de limos y areniscas en algunos casos y limos en otros estratos.

El área urbana zona 1, ciudad de Quetzaltenango, Resultados del sondeo eléctrico vertical en este perfil a los 16 m de profundidad en adelante analizados se encontró el inicio de una zona húmeda. lo que hace que baje considerablemente la resistencia mecánica del suelo en este estrato.

La resistencia mecánica del suelo limoso arcilloso arenoso en presencia de humedad baja paulatinamente aniveles bajo, pero el suelo limoso arenoso con baja cantidad de arcilla tiene una mayor resistencia mecánica en presencia de humedad la profundidad a los 3.00 y 5.00 metros.

El área urbana zona 1, ciudad de Quetzaltenango, Resultados del sondeo eléctrico vertical. en los primeros estratos el suelo presenta una resistividad baja debido que es un suelo franco arcilloso con una leve humedad, a mayor profundidad la resistividad del suelo aumenta, presentando un suelo franco arenoso limoso fino, a mayor profundidad a los 15 metros la porosidad del suelo es menor en el área del proyecto no se encontró ninguna capa freática colgada y ningún acuicluso.

El área urbana zona 2, ciudad de Quetzaltenango, Resultados del sondeo eléctrico vertical. en este perfil de 1.00 a 1.50 m de profundidad en adelante analizado se encontró el inicio de una zona húmeda. lo que hace que baje considerablemente la resistencia mecánica del suelo, la resistencia mecánica del suelo limoso arcilloso arenoso en presencia de humedad baja paulatinamente a niveles muy bajo, pero el suelo limoso arenoso con baja cantidad de arcilla tiene una mayor resistencia mecánica en presencia de humedad la profundidad de 3.00 a 3.50 metros. Las condiciones del suelo presentan condiciones similares de baja resistencia la profundidad de 12 metros.

De acuerdo al Sector analizado en las diferentes zonas de la ciudad urbana de Quetzaltenango se obtuvieron los siguientes resultados.

SECTOR ANALIZADO	TRANSMISIVIDAD m <sup>2</sup> /día	COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	TIPO DE ACUÍFERO	RADIO DE INFLUENCIA ANALIZADOS	PERMEABILIDAD HIDRÁULICA	DESCENSO DEL CONO
Zona 3, zona 9 y zona 1	489.2832	0.000041	acuífero confinado	700 metros	10.40 m/día	0.15 mts.
zona 10 y parte de la zona 1	489.2832	0.000006	acuífero confinado	600 metros	11.403 m/día	0.41 metros
zona 4, zona 2, y zona 1	366.768	0.000092	acuífero confinado	900 metros	1.559 m/día	0.63 metros
zona 5, zona 2, y zona 3	195.696	0.000321	acuífero semiconfinado	900 metros	1.484 mt/día	2.91 metros
sector choqui alto	489.2832	0.0000001	acuífero confinado	1000 metros	3.912 mt/día	0.63 metros.
zona 8	489.2832	0.000017	acuífero confinado	900 metros	1.484 m/día	0.14 metros

**Condiciones geotécnicas en base al ensayo de penetración estándar, zona 1 jurisdicción del área del cementerio, Quetzaltenango, se concluye en lo siguiente.**

De 0 a 1.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo Muy suelto

a suelto con porcentaje de humedad que van de los 19.73, 255.31, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA MUY BAJA de 1.82 a 6.37 ton/mts<sup>2</sup>, el tipo de suelos son SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo., el índice de plasticidad se encuentra bajo de 0 y 4 lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo.

De 1.00 a 1.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 25.47, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de 13.65 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato va mejorando la resistencia, el tipo de suelos son SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo, el índice de plasticidad es de 17 lo que indica que se puede tener problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo muy leve.

De 1.50 a 3.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 21.60, 26.71, 14.06, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA media de 11.83, 18.20 y 14.56 ton/mts<sup>2</sup>, en este estrato va mejorando notablemente la resistencia, el tipo de suelos son SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo, el índice de plasticidad es de 0, lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo.

De 3.00 a 3.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo denso con porcentaje de humedad de 27.05 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA media de 45.50 ton/mts<sup>2</sup>, el tipo de suelos ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos., el índice de plasticidad es de 3.

**Condiciones geotécnicas en base al ensayo penetración estándar, zona 1 jurisdicción del área del cementerio, Quetzaltenango, se concluye en lo siguiente.**

**De 0 a 0.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentaje de humedad que van de los 27.76, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA MUY BAJA de **11.83 ton/mts<sup>2</sup>**, el tipo de suelos son SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo., el índice de plasticidad se encuentra bajo de 0 lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo.

**De 0.50 a 3.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 24.60, 24.51, 22.19, 28.73, 11.48, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA **RESISTENCIA MEDIA de 18.20, 13.65, 11.83 ton/mts<sup>2</sup>**, en este estrato va mejorando la resistencia, el tipo de suelos son SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo, el índice de plasticidad es de 0 lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo.

**De 3.00 a 4.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio

denso Y SUELTO con porcentaje de humedad de los 10.87, 25.77 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA **RESISTENCIA media y baja de 11.83, 4.55 ton/mts<sup>2</sup>**, el tipo de suelos son SP-SM: Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos- Arenas limosas, mezclas de arena y Arenas limosas, mezclas de arena y limo., el índice de plasticidad es de 0, lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo

**Condiciones geotécnicas en base al ensayo penetración estándar, zona 5 Quetzaltenango, jurisdicción de las rosas.**

**De 0.00 a 1.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo MUY SUELTO con porcentajes de humedad de 9.4, 15.7 por ciento. Y una resistencia de 0.18, 0.14 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a **1.82, 1.37 Ton/mts<sup>2</sup>** presentando una capacidad de soporte del suelo muy baja. Lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 21.32456, 20.47723 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 55.66, 55.24. El tipo de suelo que presenta es SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. Y SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0. El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de 1.447.08, 1.522.70 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 1322.62, 1315.73.

**De 1.00 a 1.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo SUELTO con porcentaje de humedad de 25.4 por ciento, Y una resistencia de 0.68 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a **6.83 Ton/mts<sup>2</sup>** presentando una capacidad de soporte del suelo baja. Lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 27.24745 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 58.62. El tipo de suelo que presenta es SP-SM: Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos. Arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0. El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de 1,811.25 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 1444.84.

**De 1.50 a 2.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo MUY SUELTO con porcentaje de humedad de 32.7 por ciento. Y una resistencia de 0.27 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a **2.73 Ton/mts<sup>2</sup>** presentando una capacidad de soporte del suelo muy baja. Lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 22.74597 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 56.37. El tipo de suelo que presenta es SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. El índice de plasticidad es de 14. El índice de plasticidad Se encuentra moderado podría existir también deformaciones del suelo. El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de 1.507.07 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 1135.78.

**De 2.00 a 2.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo SUELTO con porcentaje de humedad de 22.0 por ciento, Y una resistencia de 0.82 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a **8.19 Ton/mts<sup>2</sup>** presentando una capacidad de soporte del suelo baja. Lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 28.41641 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 59.21. El tipo de suelo que presenta es SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0. El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de 1.518.85 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 1244.96.

**De 2.50 a 4.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentajes de humedad de 26.1, 24.2, 27.9 por ciento. Y una resistencia de 1.64, 1.00, 1.27 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a **16.38, 10.01, 12.74 Ton/mts<sup>2</sup>** presentando una capacidad de soporte del suelo media. Lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 33.97367, 29.8324, 31.7332 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 61.99, 59.92, 60.87. El tipo de suelo que presentan es SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0. El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de 1.986.12, 1.360.30, 1592.51 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 1575.04, 1095.60, 124

#### **Condiciones geotécnicas en base a el ensayo penetración estándar, zona 5 Quetzaltenango, jurisdicción de las rosas.**

**De 0.00 a 0.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo SUELTO con porcentaje de humedad de 7.2 por ciento. Y una resistencia de 0.55 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a **5.46 Ton/mts<sup>2</sup>** presentando una capacidad de soporte del suelo baja. Lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 25.95445 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 57.98. El tipo de suelo que presenta es SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0. El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de 1.355.33 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 1264.06.

**De 0.50 a 2.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentajes de humedad de 21.0, 22.1, 18.2 por ciento, Y una resistencia de 2.46, 1.91, 2.46 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a **24.57, 19.11, 24.57 Ton/mts<sup>2</sup> presentando** una capacidad de soporte del suelo media. Lo cual NO presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 38.2379, 35.4939, 38.2379 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 64.12, 62.75, 64.12. El tipo de suelo que presenta es SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. Y SM: Arenas

limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0. El peso volumétrico húmedo en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1.113.88, 1.244.78, 1.582.80 y su peso volumétrico seco en  $\text{Kg/m}^3$  es de 920.63, 1019.64, 1339.54.

**De 2.00 a 2.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo SUELTO con porcentaje de humedad de 33.2 por ciento. Y una resistencia de  $0.73 \text{ kg/cm}^2$ . Que equivale a **7.28 Ton/mts<sup>2</sup>** presentando una capacidad de soporte del suelo baja. Lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

El ángulo de fricción interna es de: 27.64911 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 58.82. El tipo de suelo que presenta es ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 18. El índice de plasticidad Se encuentra moderado podría existir también deformaciones del suelo. El peso volumétrico húmedo en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1.700.01 y su peso volumétrico seco en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1276.38.

**De 2.50 a 4.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentajes de humedad de 28.4, 31.6, 23.8 por ciento, Y una resistencia de 1.18, 1.64, 1.82  $\text{kg/cm}^2$ . Que equivale a **11.83, 16.38, 18.20 Ton/mts<sup>2</sup>**

El ángulo de fricción interna es de: 31.12452, 33.97367, 35 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 60.56, 61.99, 62.50. El tipo de suelo que presentan es SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. Y SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 15 y 0. El índice de plasticidad Se encuentra moderado podría existir también deformaciones del suelo. El peso volumétrico húmedo en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1.816.70, 1.850.94, 1.880.89 y su peso volumétrico seco en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1415.20, 1406.70, 1518.80.

#### **Condiciones geotécnicas en base a el ensayo penetración estándar, zona 9 Quetzaltenango.**

**De 0 a 0.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo suelto con porcentaje de humedad que van de los 25.1, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA MUY BAJA de  $0.55 \text{ Kg/cm}^2$  que equivale a **5.46 ton/mts<sup>2</sup>**, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.,

El índice de plasticidad es 0 se encuentra bajo lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo.

El ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA ° del material oscila en 29.5 y su ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL ° talud se encuentra en 56.09.

**De 1.00 a 1.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo muy suelto con porcentaje de humedad de 26.8, 31.6 por ciento de humedad,

PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de **3.64 y 2.73 ton/mts<sup>2</sup>**, ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos., el índice de plasticidad es de 0.

**De 1.50 a 3.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo suelto con porcentaje de humedad de los 34.1 a 37.7, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA baja de **5.46, 6.37, 8.19, y 7.28 ton/mts<sup>2</sup>**, en este estrato va mejorando un poco la resistencia, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 0 en los primeros estratos, pero dentro del estrato de 2.50 a 3.50 m, El índice de plasticidad es de 11 y 8 lo que nos indica que es una caolinita(arcilla inactiva)..

**De 3.50 a 4.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 38.8 y 34.2 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de **7.28, 10.01 ton/mts<sup>2</sup>**, en este estrato la resistencia sigue baja el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. La actividad de la arcilla en estrato es 0 lo que nos indica que es una caolinita(arcilla inactiva).

**De 4.50 a 5.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo denso con porcentaje de humedad de los 31.3 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de **28.21 ton/mts<sup>2</sup>**, en este estrato la resistencia aumenta, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. La actividad de la arcilla en estrato es 0 lo que nos indica que es una caolinita(arcilla inactiva).

**De 5.00 a 6.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 37.7 y 41.5 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de **23.66, 12.74 ton/mts<sup>2</sup>**, en este estrato la resistencia sube y baja el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. La actividad de la arcilla en estrato es 0 lo que nos indica que es una caolinita(arcilla inactiva).

**De 6.00 a 7.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo muy suelto con porcentaje de humedad de 47.8, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de **4.55 y 2.73 ton/mts<sup>2</sup>**, ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos., el índice de plasticidad es de 0.

**De 7.00 a 10.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 28.8 a 58.3 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de **11.83, 12.74, 13.65, 10.01, 12.74, 12.74 ton/mts<sup>2</sup>**, en este estrato la resistencia sube y baja el tipo de suelos son SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. SC: Arenas arcillosas, mezclas de

arena y arcilla... el índice de plasticidad es de 0

**Condiciones geotécnicas en base a el ensayo penetración estándar, zona 9 Quetzaltenango.**

**De 0 a 1.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un **suelo MUY suelto** con porcentaje de humedad que van de los 19.5, 30.7, 24.9, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA MUY BAJA de 0.27, 0.36, 0.46 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a **2.73, 3.64, 4.55 ton/mts<sup>2</sup>**, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos., Y DE 1.00 A 1.50 el tipo de suelo es SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo

El índice de plasticidad es 0 se encuentra bajo lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo.

El ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA ° del material oscila en 28.75, 29, 29.25 y su ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL ° talud se encuentra en 50.69, 52.52, 54.32.

**De 1.50 a 2.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo **suelto** con porcentaje de humedad de 34.3 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de **8.19 ton/mts<sup>2</sup>**, ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos., el índice de plasticidad es de 0.

**De 2.00 a 2.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentaje de humedad de los 337.9, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA baja de **10.01 ton/mts<sup>2</sup>**, en este estrato va mejorando un poco la resistencia, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 0

**De 2.50 a 4.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo **suelto** con porcentaje de humedad de los 40.2, 33.7, 39.2 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de **8.19, 10.01, 6.37 ton/mts<sup>2</sup>**, en este estrato la resistencia sigue baja el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 18 DE LA PROFUNDIDAD DE 2.50 A 3.00 M Y DE 0 hasta llegar a 4.00 m. La actividad de la arcilla en estrato es una caolinita(arcilla inactiva).

**De 4.00 a 6.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentaje de humedad de los 36.9, 26.9, 24.1, 23.8 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de **10.92, 15.47, 10.01, 20.02 ton/mts<sup>2</sup>**, en este estrato la resistencia aumenta, el tipo de suelos son CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas,

arcillas limosas, arcillas pobres. Y ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 16 DE LA PROFUNDIDAD DE 4.00 A 4.50 M Y DE 0 hasta llegar a 6.00 m. La actividad de la arcilla en estrato es una caolinita(arcilla inactiva).

**De 6.00 a 9.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentaje de humedad de los 14.9, 24.5, 34.6, 45.6, 48.7 y 60.9 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA **de 27.30, 20.93, 10.92, 14.56, 16.38, 10.92 ton/mts<sup>2</sup>**, en este estrato la resistencia sube y baja, el tipo de suelos son SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. Y GC: Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla. Compuesto por piedra pómez.

De 9.00 a 9.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo **suelto** con porcentaje de humedad de 60.4, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de 8.19 ton/mts<sup>2</sup>, el tipo de suelos son SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla

**De 9.50 a 11.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo **denso** con porcentaje de humedad de los 38.0 a 33.5 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de **37.31, 32.76, 41.86 ton/mts<sup>2</sup>**, en este estrato la resistencia sube el tipo de suelos son SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.

#### **Condiciones geotécnicas en base a el ensayo penetración estándar, zona 1 Quetzaltenango.**

**De 0 a 1.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo muy suelto con porcentaje de humedad que van de los 22.9, 21.7, 15.6, por ciento de humedad, la resistencia en estos estratos es muy baja, encontrándose en la zona de 2.50 metros de profundidad el mejoramiento de la resistencia o capacidad portante del suelo con una compacidad relativa del suelo de medio denso, denso y medio denso Y una resistencia de 1.46,3.28, y 1.18 kg/cm<sup>2</sup> logrando encontrar una mejor resistencia indicada a los 3 metros de profundidad, pero el problema es que existe un estrato de menor resistencia debajo de este hasta la profundidad de 4 metros el cual puede provocar asentamientos diferenciales.

La mejoría de la resistencia mecánica del suelo se puede localizar a los 4.50 metros de profundidad en adelante, encontrándose a **los 5 metros la mayor** resistencia de **30.94 ton/m<sup>2</sup>** con una compacidad relativa denso, bajo la existencia de humedad 46.4 % siendo un suelo limos orgánicos, polvo de roca, limos arenosos.

#### **Condiciones geotécnicas en base a el ensayo penetración estándar, zona 2 Quetzaltenango. Jurisdicción de la rotonda, área de inundaciones.**

**De 0 a 3.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo muy suelto con porcentaje de humedad que van de los 15, 15.39, 39.3, 44.1, 90.1, 69.7, por

ciento de humedad, encontrándose en la zona de 2.50 metros de profundidad la zona mas húmeda con un 90.1 %. Y una resistencia de 0.36,0.18, y 0.32 kg/cm<sup>2</sup> que es relativamente muy bajo.

**De 3.00 a 3.50 metros** de profundidad se encontró esta zona con una compacidad relativa de medio denso, con una humedad del 42.3% y una resistencia de 1.27 kg/cm<sup>2</sup> que es equivalente a **12.74 Ton/mts<sup>2</sup>**, esta zona está compuesta por arenas arcillosas, mezcla de arenas y limos.

**De los 3.50 hasta los 6.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo suelto, y muy suelto con porcentaje de humedad que van de los 42.9, 54.6, 68.8, 81.8, 92.6, 71.6, por ciento de humedad, en estos estratos la resistencia baja considerablemente debido a la humedad presente en el suelo siendo el más bajo la resistencia de 0.09 kg/cm<sup>2</sup> que representa **0.91 ton/mts<sup>2</sup>**

#### **Condiciones geotécnicas en base a el ensayo penetración estándar, zona 9 Quetzaltenango. Área de la floresta.**

**De 0 a 1.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo Muy suelto con porcentaje de humedad que van de los 41,9, 48,7, 45,8, por ciento, con una resistencia de 0,36, 0,27, 0,36 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a **3,64, 2,73, 3,64 ton/mts<sup>2</sup>**, El ángulo de fricción interna° del material oscila en 29, 28,75, 29 y su ángulo de reposo del material° talud se encuentra en 52,52, 50,69, 52,52. Los tipos de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 0, lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo. A excepción del estrato de 2.50 a 3.00 m que su índice de plasticidad es de 14 y 13 lo que indica que se puede tener problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo muy leve.

**De 2.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo Suelto con porcentaje de humedad que va de 48,4 por ciento, con una resistencia de 0,55 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a **5,46 ton/mts<sup>2</sup>**, El ángulo de fricción interna° del material oscila en 29,5 y su ángulo de reposo del material° talud se encuentra en 56,09. El tipo de suelo es ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 0.

**De 2.50 a 3.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo Muy suelto con porcentaje de humedad que van de los 58,2, 54,9, 49,2, por ciento, con una resistencia de 0,36, 0,18, 0,27 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a **3,64, 1,82, 2,73 ton/mts<sup>2</sup>**, El ángulo de fricción interna° del material oscila en 29, 28,5, 28,75 y su ángulo de reposo del material° talud se encuentra en 52,52, 48,83, 50,69. Los

tipos de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. El índice de plasticidad es de 14, 13, 0, lo que indica que se puede tener problemas en el suelo de expansión y contracción muy leve.

**De 4.00 a 4.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo Medio denso con porcentaje de humedad que van de los 64.5, 26.4 por ciento, con una resistencia de 1,37, 1,55 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a **13,65, 15,47 ton/mts<sup>2</sup>**, El ángulo de fricción interna° del material oscila en 31,75, 32,25 y su ángulo de reposo del material° talud se encuentra en 70,77, 73,75. Los tipos de suelos son SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. El índice de plasticidad es de 0.

**De 5.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo Suelto con porcentaje de humedad que va de 62.1 por ciento, con una resistencia de 0,73 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a **7,28 ton/mts<sup>2</sup>**, El ángulo de fricción interna° del material oscila en 30 y su ángulo de reposo del material° talud se encuentra en 59,54. El tipo de suelo es CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. El índice de plasticidad es de 0. La actividad de la arcilla en estrato es 0 lo que nos indica que es una caolinita (arcilla inactiva).

**De 5.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo Medio Denso con porcentaje de humedad que va de 92.0 por ciento, con una resistencia de 1,18 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a **11,83 ton/mts<sup>2</sup>**, El ángulo de fricción interna° del material oscila en 31,25 y su ángulo de reposo del material° talud se encuentra en 67,69. El tipo de suelo es CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. El índice de plasticidad es de 0. La actividad de la arcilla en este estrato es de 0 lo que nos indica que es una caolinita (arcilla inactiva).

### **Condiciones geotécnicas en base a el ensayo penetración estándar, zona 3 Quetzaltenango.**

**De 0 a 3.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentajes que van de 48.3, 50.2, 51.6, 52.9, 47.8, 41.5 por ciento de humedad. Y una resistencia de 1.00, 1.46, 1.46, 1.64, 1.37, 1.73 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a **10.01, 14.56, 14.56, 16.38, 13.65, 17.29 Ton/mts<sup>2</sup>** presentando una capacidad de soporte del suelo baja y alta.

El ángulo de fricción interna° es de: 30.75, 32, 32, 32.5, 31.75, 32.75 y su ángulo de reposo del material talud° oscila en: 60.38, 61, 61, 61.25, 60.88, 61.38. El tipo de suelo que presentan es MH para los estratos 1.50 y 2.00: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos más elásticos. Y el resto es CL: Arcillas inorgánicas

de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. El índice de plasticidad es de 0.

El peso volumétrico húmedo en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1.192.46, 1.153.40, 984.87, 1.237.14, 1.243.94, 1.370.57 y su peso volumétrico seco en  $\text{Kg/m}^3$  es de 803.87, 767.75, 649.52, 809.12, 841.69, 968.94.

**De 3.00 a 3.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo DENSO con porcentaje de 25.9 por ciento de humedad. Y una resistencia de 2.91  $\text{kg/cm}^2$ . Que equivale a **29.12  $\text{Ton/mts}^2$**  Presentando una capacidad de soporte de suelo muy alta.

El ángulo de fricción interna<sup>º</sup> es de: 36 y su ángulo de reposo del material talud<sup>º</sup> oscila en: 63.00. El tipo de suelo que presentan es CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. El índice de plasticidad es de 0.

El peso volumétrico húmedo en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1.360.17 y su peso volumétrico seco en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1080.27.

**De 3.50 a 4.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo MEDIO DENSO con porcentaje de 27.6 por ciento de humedad. Y una resistencia de 2.64  $\text{kg/cm}^2$ . Que equivale a **26.39  $\text{Ton/mts}^2$**  presentando una capacidad de soporte de suelo alta.

El ángulo de fricción interna<sup>º</sup> es de: 35.25 y su ángulo de reposo del material talud<sup>º</sup> oscila en: 62.63. El tipo de suelo que presenta es CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. El índice de plasticidad es de 0.

El peso volumétrico húmedo en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1.416.80 y su peso volumétrico seco en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1110.52.

### **Condiciones geotécnicas en base a el ensayo penetración estándar, zona 3 Quetzaltenango.**

**De 0 a 0.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo MUY SUELTO con porcentaje de 41.3 por ciento de humedad. Y una resistencia de 0.46  $\text{kg/cm}^2$ . Que equivale a **4.55  $\text{Ton/mts}^2$**  presentando una capacidad de soporte del suelo muy baja.

El ángulo de fricción interna<sup>º</sup> es de: 29.25 y su ángulo de reposo del material talud<sup>º</sup> oscila en: 59.63. El tipo de suelo que presenta es MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos más elásticos. El índice de plasticidad es de 0.

El peso volumétrico húmedo en  $\text{Kg/m}^3$  es de 1.363.09 y su peso volumétrico seco en  $\text{Kg/m}^3$  es de 964.40.

**De 0.50 a 2.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo **MEDIO**

**DENSO** con porcentajes de 51.7, 45.1, 40.1, 22.7 por ciento de humedad. Y una resistencia de 1.09, 1.64, 1.82, 2.46 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a **10.92, 16.38, 18.20, 24.57 Ton/mts<sup>2</sup>**. Presentando una capacidad de soporte de suelo media.

El ángulo de fricción interna<sup>o</sup> es de: 31, 32.5, 33, 34.75 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 60.50, 61.25, 61.50, 62.38. El tipo de suelo que presentan es para el estrato 1.00 es MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos. Y para el resto es CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. El índice de plasticidad es de 0.

El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de 1.076.94, 1.169.86, 1.232.94, 1.474.98 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 709.96, 806.19, 880.10, 1202.10.

**De 2.50 a 3.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo **DENSO** con porcentaje de 19.8 por ciento de humedad. Y una resistencia de 5.28 kg/cm<sup>2</sup>. Que equivale a **52.78 Ton/mts<sup>2</sup>**, presentando una capacidad de soporte de suelo alta.

El ángulo de fricción interna<sup>o</sup> es de: 42.5 y su ángulo de reposo del material talud<sup>o</sup> oscila en: 66.25. El tipo de suelo que presenta es CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. El índice de plasticidad es de 0.

El peso volumétrico húmedo en Kg/m<sup>3</sup> es de 1.731.19 y su peso volumétrico seco en Kg/m<sup>3</sup> es de 1445.07.

### **Condiciones geotécnicas en base a el ensayo penetración estándar, zona 3 Quetzaltenango.**

**De 0 a 2.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo Muy suelto con porcentaje de humedad que van de los 15.2, 33.2, 32.5, 34.9, 29.4, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA MUY BAJA de 0.09 a 0.46Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a **0.9 a 4.55 ton/mts<sup>2</sup>**, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.,

SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo

CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.

el índice de plasticidad se encuentra bajo lo que indica que no se tiene problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo. A excepción del estrato de 2.00 a 2.50 m que su índice de plasticidad es de 16 lo que indica que se puede tener problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo muy leve

El ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA ° del material oscila en 28.50 a 29.25 y su ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL ° talud se encuentra en 46.93 a 54.32.

**De 2.50 a 3.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo suelto con porcentaje de humedad de 26.3, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de **6.37 ton/mts<sup>2</sup>**, SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo, el índice de plasticidad es de 0.

**De 3.00 a 6.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 31.5 a 56.7, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA media de **10.01 a 23.66 ton/mts<sup>2</sup>**, en este estrato va mejorando notablemente la resistencia, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. el índice de plasticidad es de 0

La actividad de la arcilla en estrato es de 0. lo que nos indica que es una caolinita(arcilla inactiva)..

**De 6.50 a 7.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo denso con porcentaje de humedad de los 42.3 y 33.29 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de **30.94, 29.12 ton/mts<sup>2</sup>**, en este estrato la resistencia aumenta siendo un estrato ideal para LA CIMENTACIÓN DEL EDIFICIO, el tipo de suelos son CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. La actividad de la arcilla en estrato es 0 lo que nos indica que es una caolinita(arcilla inactiva).

### **Condiciones geotécnicas en base a el ensayo penetración estándar, zona 3 Quetzaltenango.**

**De 0.00 a 0.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo **suelto** con porcentaje de humedad de 23.4, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de **5.46 ton/mts<sup>2</sup>**, ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos., el índice de plasticidad es de 0.

**De 0.50 a 1.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un **suelo Muy suelto** con porcentaje de humedad que van de los 15.3, 37.5, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA MUY BAJA de 0.36 a 0.18 Kg/cm<sup>2</sup> que equivale a **3.64, 1.82 ton/mts<sup>2</sup>**, el tipo de suelos son SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

El índice de plasticidad se encuentra bajo lo que indica que no se tiene

problemas en el suelo de expansión y contracción del suelo.

El ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA ° del material oscila en 29, 28.5 y su ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL ° talud se encuentra en 52.52 Y 48.83.

**De 1.50 a 2.00 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo **medio denso** con porcentaje de humedad de 24.9, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de **10.01 ton/mts<sup>2</sup>**, SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo, el índice de plasticidad es de 0.

**De 2.00 a 2.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo **suelto** con porcentaje de humedad de 26.4, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA BAJA de **5.46 ton/mts<sup>2</sup>**, CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres., el índice de plasticidad es de 10.

**De 2.50 a 6.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de los 31.3 a 63.00, por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA media de **10.01 a 21.84 ton/mts<sup>2</sup>**, en este estrato va mejorando notablemente la resistencia, el tipo de suelos son CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.

ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.

SM:Arenas limosas, mezclas de arena y limo

SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.

MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos

el índice de plasticidad es de 0

A EXCEPCIÓN DEL ESTRATO DE 2.50 A 3.00 M que presenta un IP de 22 La actividad de la arcilla en este estrato es de 0.34375 es una caolinita(arcilla inactiva)..

La actividad de la arcilla en los demás estratos es de 0. lo que nos indica que es una caolinita(arcilla inactiva)..

**De 6.50 a 7.50 metros** de profundidad la compacidad relativa es un suelo denso con porcentaje de humedad de los 43.5 y 34.41 por ciento de humedad, PRESENTANDO UNA RESISTENCIA de **30.03 ton/mts<sup>2</sup>**, en este estrato la resistencia aumenta, el tipo de suelos son ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. Y CL:Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.

## **7. RECOMENDACIONES.**

1. Utilizar los resultados obtenidos de las características del acuífero, como son el coeficiente de permeabilidad hidráulica de los suelos, la transividad de los suelos geológicos y Coeficiente de Almacenamiento de las Aguas Subterráneas de la zona urbana de la ciudad de Quetzaltenango para estudios posteriores. Tanto para estudios de post grado o para ser utilizados institucionalmente como Emax en sus actividades de planificación.
2. Utilizar los resultados geotécnicos obtenidos en algunos puntos específicos, de las diferentes zonas que componen el área urbana de la ciudad de Quetzaltenango. Siendo estos la capacidad portante del suelo, el Angulo de fricción interna del suelo. Los cuales deben de ser tomados con precaución en el caso de la resistencia o capacidad portante del suelo, se le debe de aplicar un factor de seguridad de 1.5, también se debe de tomar en cuenta que en la mayoría de las zonas analizadas los suelos presentan licuefacción en sus primeros estratos especialmente en la zona 2 del área urbana de la ciudad de Quetzaltenango.
3. Debido a que el suelo presenta licuefacción en sus primeros estratos del suelo en la mayoría de las zonas de la ciudad de Quetzaltenango, es importante que el ente regulador municipal tenga en sus requisitos los estudios geotécnicos en las obras de ingeniería.

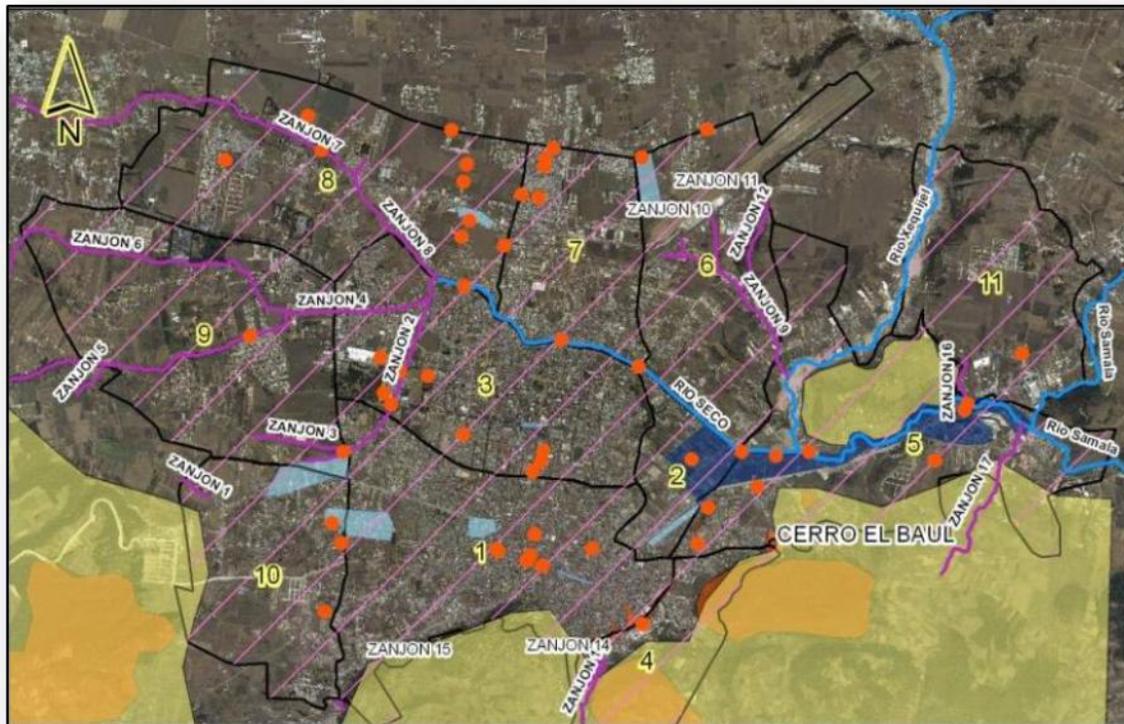
## 8. BIBLIOGRAFÍA:

- Amisal L, R. (1978). Aprovechamiento y modelos de aguas subterráneas. (Serie Hidrología). Merida, Venezuela: CIDIAT.
- Bandes, T. (1984). Curso Interamericano sobre planificación de los recursos naturales renovables: recurso agua. Merida, Venezuela: IDITA.
- Basso, E. (1967). Medidas de evaporación, proyecto de mejoramiento hidrometeorológico Centroamericano. Tegucigalpa, Honduras: UNESCO.
- Correu T, G. (1974). Manual para el alumbramiento de aguas subterráneas. México: FIRA.
- Cruz S, J. (1973). Clasificación de las zonas de vida de Guatemala, basada en el sistema Holdridge. , Instituto Nacional Forestal. 83 p. Guatemala: INAB.
- Custodio, E., & Llamas, M. (2001). Hidrología subterránea. (SEGUNDA ed., Vols. 1 - 2). Barcelona, España: Omega.
- DIRYA (Dirección Técnica de Riego y Avenimiento, G. (1991). Plan maestro de riego y drenaje, hidrogeología-disponibilidad de agua subterránea. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 72 p. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- ERIS (Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, G. (2005). Evaluación físico-química de la planta de tratamiento de agua potable El Cambray, de la ciudad de Guatemala. informe de curso: química y microbiología del agua, Guatemala.
- González R, B. (2002). Evaluación del efecto del crecimiento urbano, en la cobertura vegetal y uso del suelo en la subcuenca del río Platanitos, Guatemala. . Guatemala: Facultad de Agronomía USAC.
- Herrera I, I. (1995). Manual de hidrología. Guatemala: USAC, Facultad de Agronomía.
- Hidrogeología práctica. (Vol. 1). (2002). Guatemala: Facultad de Agronomía, USAC.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). (1977). Mapa geológico de la república de Guatemala; hoja Ciudad de Guatemala, no. 2059-IG. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color. Guatemala: Gobierno de Guatemala.
- Illescas F, O. (1989). Diagnostico preliminar de los usos de la tierra (agrícola, urbano e industrial) y sus impactos ambientales en la subcuenca del lago de Amatitlán. Guatemala: USAC, Facultad de Agronomía.

- INSIVUMEH, I. (1976). Estudio de las aguas subterráneas en el valle de Guatemala. Ministerio de Comunicaciones. Guatemala: (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT; IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT); ONU, GT.
- Johnson Division, U. (1975). El agua subterránea y los pozos. Minnessota, US: 513.
- Kruseman, G. (1975). Análisis y evaluación de los datos de ensayos por bombeo. Wageningen, The Netherlands, International Institute for Land Reclamation and Improvement. 1,212 p. Netherlands.
- Lamarre, A. e. (1971). The geology quadrangle, Guatemala. US, Dartmouth College Hanover. . EEUU.
- Lynsley, R., Kohler, M., & Paulhus, L. (1988). Hidrología para ingenieros. . (J. I. Trad. Por Alejandro Deeb, Trad.) McGraw-Hill.
- Mánzo B, D. (2004). Estudio multitemporal de la subcuenca . Guatemala.: EPSA Investigación Inferencia.
- Mendoza I, J. (2000). Caracterización del sistema de producción agropecuario del noreste de los municipios de Santa Eulalia y San Pedro Soloma, Huehuetenango. Huehuetenango: USAC, Centro Universitario del Noroccidente.
- Mota, E. (2002). Determinación de zonas de recarga hídrica. Guatemala, INAB. 34 p. Guatemala: INAB.
- Santos M, E. (1997). Simulación hidrológica para la calibración de parámetros de escorrentía en la cuenca del río La Virgen, . Chimaltenang. San Andrés Itzapa, Chimaltenango: USAC.
- Savanije H, H. (1995). Hidrología para ingenieros. In Curso nacional de drenaje agrícola y control de inundaciones a nivel de postgrado USAC, Facultad de Agronomía. Guatemala: USAC, Facultad de Agronomí.
- Simmons, C., Tárano, J., & Pinto, J. (1959). Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. (J. D. Ibarra., Ed., & T. P. Sulsona., Trad.) Guatemala.
- Velasco, I. (1981). Aspectos generales de la hidráulica de pozos. Chapingo, México,: Universidad Autónoma de Chapingo.

## 9. ANEXOS

Figura 36: Mapa delimitando la zona de estudio del área urbana de la ciudad de Quetzaltenango



Fuente: oficina del centro histórico de Quetzaltenango