



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Geotécnica

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE EL CALVARIO DE LA  
CIUDAD DE QUETZALTENANGO, PARA ANALIZAR LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE  
DISEÑAR UN SISTEMA DE INFILTRACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL**

**Ing. Erick Estuardo Galdámez Soberanis**

Asesorado por el Mtro. Ing. Walter Arturo Ramírez Regalado

Guatemala, octubre de 2021



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE EL CALVARIO, DE LA  
CIUDAD DE QUETZALTENANGO, PARA ANALIZAR LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE  
DISEÑAR UN SISTEMA DE INFILTRACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. ERICK ESTUARDO GALDÁMEZ SOBERANIS**  
ASESORADO POR EL MTRO. WALTER ARTURO RAMÍREZ REGALADO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA DE TESIS**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Ing. Dany Esaú López Bautista
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE EL CALVARIO DE LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO, PARA ANALIZAR LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE DISEÑAR UN SISTEMA DE INFILTRACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha mayo de 2015.

**Ing. Erick Estuardo Galdámez Soberanis**





DTG. 569.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE EL CALVARIO DE LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO, PARA ANALIZAR LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE DISEÑAR UN SISTEMA DE INFILTRACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL**, presentado por el Ingeniero Erick Estuardo Galdámez Soberanis, estudiante de la **Maestría en Geotécnica**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, octubre de 2021.

AACE/cc





**Guatemala, octubre de 2021**

LNG.EEP.OI.0065.2021

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE EL CALVARIO DE LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO, PARA ANALIZAR LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE DISEÑAR UN SISTEMA DE INFILTRACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL”**

presentado por **Erick Estuardo Galdámez Soberanis** quien se identifica con carné **100030972** correspondiente al programa de **Maestría en ciencias en Ingeniería geotécnica** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

  
**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**







Guatemala, 07 de junio de 2,021

**M.Sc. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
**Director**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Presente**

**Ingeniero Álvarez:**

Por este medio informo que he recibido el informe del contenido por parte del maestro de PAG 02, sobre el **INFORME FINAL** del trabajo de graduación titulado: **“CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE “EL CALVARIO” DE LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO, PARA ANALIZAR LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE DISEÑAR UN SISTEMA DE INFILTRACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL”** del estudiante **Erick Estuardo Galdámez Soberanis** quien se identifica con número de carné 1000-30972 del programa de **Maestría en Geotécnica**.

Con base en el dictamen realizado por el maestro de PAG, hago constar que se evaluo la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo puede ser presentado en la defensa como corresponde.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

cAtentamente,



**M.Sc. Ing. Armando Fuentes Roca**  
**Coordinador**  
**ÁREA DE INFRAESTRUCTURA**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería USAC**



Guatemala, 03 de junio de 2,021

**Ingeniero M.Sc.  
Edgar Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería USAC  
Ciudad Universitaria, Zona 12**

**Distinguido Ingeniero Álvarez:**

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor de trabajo de graduación del estudiante Erick Estuardo Galdámez Soberanis, Carné número 1000-30972, cuyo título es "**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO" DE LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO, PARA ANALIZAR LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE DISEÑAR UN SISTEMA DE INFILTRACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL**", para optar al grado académico de Maestro en Geotécnica, he procedido a la revisión del mismo.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Galdámez Soberanis, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,

  
**WALTER A. RAMÍREZ REGALADO**  
Ingeniero Civil y Sanitario  
Colegiado No. 3154

**Ing. Walter Arturo Ramírez Regalado**  
Maestro en Ingeniería Sanitaria  
Asesor



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Fuente de conocimiento, sabiduría, y entendimiento, dándome fortaleza a cada instante.
<b>Mi madre</b>	Forjadora de este logro, guía y apoyo en cada etapa de mi vida.
<b>Mi hija</b>	Fuente que me inspira, dándole sentido a mi existencia.
<b>Mis hermanos</b>	Parte fundamental de mi vida.
<b>Mis sobrinos</b>	Fuente de alegría y felicidad.
<b>Mis abuelitos</b>	Por todo su amor.
<b>Mis tíos</b>	Por su apoyo y cariño, en especial a Berta Soberanis (q. d. e. p.)
<b>Mis amigos</b>	Por ser como una segunda familia.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por influenciarme e inspirarme a buscar un mejor país a través de la investigación.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por permitir desarrollar mis conocimientos.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Por los momentos compartidos durante nuestra época de estudiantes, en especial a Julio Guerra, Herman Sulecio, Luis Valiente y Carlos Rico.
<b>Mi asesor</b>	Msc. Ing. Walter Ramírez por compartir sus conocimientos durante el desarrollo de la investigación.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN .....	XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	XIX
OBJETIVOS .....	XXI
HIPÓTESIS .....	XXII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO .....	XXIII
INTRODUCCIÓN .....	XXVII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	11
2.1. Región fisiográfica-geomorfológica de Quetzaltenango .....	11
2.1.1. Región fisiográfica tierras altas volcánicas .....	11
2.1.2. Subregión zona montañosa occidental .....	12
2.1.3. Gran paisaje valle tectónico de Samalá .....	12
2.1.3.1. Ubicación y localización .....	12
2.1.3.2. Morfografía.....	13
2.1.3.3. Tipo de roca .....	13
2.1.3.4. Morfogénesis .....	13
2.1.3.5. Morfocronología.....	14
2.2. Geotécnica.....	14
2.2.1. Origen y formación de los suelos .....	14
2.2.2. Descripción y clasificación de los suelos .....	15

	2.2.2.1.	Gravas .....	16
	2.2.2.2.	Arenas .....	16
	2.2.2.3.	Limos .....	16
	2.2.2.4.	Arcillas .....	16
2.2.3.		Sistema unificado de clasificación de suelos .....	17
	2.2.3.1.	Características .....	17
2.2.4.		Sistema de clasificación AASHTO.....	18
2.2.5.		Granulometría .....	19
2.2.6.		Límites de Atterberg .....	20
2.2.7.		Humedad natural .....	21
2.2.8.		Estructura .....	21
2.3.		Parámetros hidrogeológicos .....	22
	2.3.1.	Porosidad .....	22
2.4.		Metodología para obtención de muestras de suelos.....	23
	2.4.1.	Método preliminar para la descripción de un suelo .....	23
	2.4.2.	Descripción e identificación de suelos (ASTM D2488).....	24
	2.4.2.1.	Dilactancia.....	24
	2.4.2.2.	Resistencia en estado seco .....	25
	2.4.2.3.	Tenacidad.....	25
	2.4.3.	Conservación y transporte de muestras de suelos (ASTM D4220) .....	26
2.5.		Permeabilidad.....	26
	2.5.1.	Laboratorio .....	27
	2.5.2.	<i>In situ</i> .....	27
	2.5.3.	Empíricos.....	27
2.6.		Escurrimiento.....	27
	2.6.1.	Escurrimiento superficial .....	28

2.6.2.	Escurrimiento subsuperficial .....	28
2.6.3.	Escurrimiento subterráneo .....	28
2.7.	Precipitación y escorrentía directa .....	28
2.8.	Cálculo del agua superficial a evacuar .....	28
2.8.1.	Intensidad de lluvia .....	29
2.8.1.1.	Método racional .....	29
2.9.	Calidad química de las aguas .....	30
2.9.1.	Contaminación de las aguas subterráneas.....	30
2.10.	Infiltración de agua superficial .....	31
2.10.1.	Capacidad de infiltración.....	31
2.11.	Estructuras para aguas superficiales.....	32
2.11.1.	Pozos de infiltración contruidos <i>in-situ</i> .....	32
2.11.2.	Pozos de infiltración prefabricados.....	32
2.11.3.	Desarenadores .....	32
2.11.4.	Tanques de infiltración .....	33
2.12.	Erosión.....	33
3.	MARCO METODOLÓGICO .....	35
3.1.	Enfoque del estudio .....	35
3.2.	Alcance del estudio .....	35
3.3.	Diseño del estudio.....	36
3.3.1.	Levantamiento topográfico.....	36
3.3.2.	Muestreo .....	36
3.3.3.	Técnicas utilizadas .....	37
3.3.4.	Análisis de variables.....	38
3.4.	Fases del estudio .....	38
3.4.1.	Fase I: revisión documental .....	38
3.4.2.	Fase II: caracterización del suelo .....	39
3.4.2.1.	Procedimiento de extracción.....	39

	3.4.2.2.	Metodología utilizada en laboratorio.....	40
	3.4.2.3.	Preparación en seco de muestras de suelo .....	41
	3.4.3.	Fase III: determinación de permeabilidad hidráulica .....	42
	3.4.4.	Fase IV: análisis de factibilidad.....	42
3.5.		Técnicas de análisis de información .....	42
4.		PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	45
4.1.		Fase I: revisión histórica .....	45
	4.1.1.	Intensidad de lluvia para Quetzaltenango.....	45
	4.1.2.	Caudales de agua superficial que tributan hacia el parque.....	46
4.2.		Fase II: caracterización del suelo .....	47
	4.2.1.	Granulometría .....	47
	4.2.2.	Plasticidad .....	52
	4.2.3.	Humedad natural .....	52
4.3.		Fase III: permeabilidad hidráulica.....	53
4.4.		Fase IV: análisis de factibilidad .....	54
	4.4.1.	Calidad química del agua pluvial acumulada.....	54
5.		ANÁLISIS DE RESULTADOS Y FACTIBILIDAD TÉCNICA .....	57
5.1.		Discusión de resultados.....	57
	5.1.1.	Fase I: revisión histórica.....	57
	5.1.2.	Fase II: caracterización del suelo .....	57
	5.1.3.	Fase III: permeabilidad hidráulica.....	59
	5.1.4.	Calidad química del agua.....	59
5.2.		Fase IV: análisis de factibilidad técnica .....	60
	5.2.1.	Descripción del proyecto .....	60

5.2.2.	Características geotécnicas del área .....	61
5.2.3.	Condiciones constructivas .....	62
6.	DISEÑO DEL SISTEMA DE INFILTRACIÓN DE AGUA DE LLUVIA .....	65
6.1.	Caja de entrada.....	65
6.2.	Desarenador.....	66
6.3.	Tanque de infiltración.....	67
6.4.	Pozo de absorción.....	68
	CONCLUSIONES .....	71
	RECOMENDACIONES .....	73
	REFERENCIAS.....	75
	APÉNDICES.....	79



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Detención de inundaciones.....	2
2.	Control de inundaciones a través de parques .....	3
3.	Esquema de tanques enterrados para absorción de caudales .....	4
4.	Pozos de inyección.....	5
5.	Convergencia de avenidas.....	5
6.	Unidades Geotécnicas en Quetzaltenango .....	6
7.	Modelo digital ciudad de Quetzaltenango .....	6
8.	Origen y formación de los suelos .....	15
9.	Gráfica de plasticidad USCS .....	19
10.	Tamizadora mecánica .....	20
11.	Cuchara de Casagrande .....	21
12.	Porosidad del suelo .....	22
13.	Procedimiento de laboratorio .....	41
14.	Curva granulométrica (pozo 1, h=0.50m).....	48
15.	Curva granulométrica (pozo 1, h=1.00m).....	49
16.	Curva granulométrica (pozo 1, h=1.50m).....	49
17.	Curva granulométrica (pozo 1, h=2.00m).....	49
18.	Curva granulométrica (pozo 1, h=2.50m).....	50
19.	Curva granulométrica (pozo 1, h=3.00m).....	50
20.	Curva granulométrica (pozo 2, h=1.00m).....	51
21.	Curva granulométrica (pozo 2, h=2.00m).....	51
22.	Curva granulométrica (pozo 2, h=4.00m).....	51
23.	Sección caja de entrada.....	65

24.	Sección desarenador.....	67
25.	Sección tanque de infiltración .....	68
26.	Planta pozo .....	69
27.	Sección pozo.....	70
28.	Perfil hidráulico.....	70

## TABLAS

I.	Permeabilidad hidráulica de los suelos en Quetzaltenango .....	8
II.	Prefijos del sistema unificado.....	17
III.	Características del sistema unificado .....	18
IV.	Permeabilidad según el tipo de suelo.....	31
V.	Tabla de variables.....	38
VI.	Intensidad de lluvia 1 .....	46
VII.	Intensidad de lluvia 2.....	46
VIII.	Caudal 1.....	47
IX.	Caudal 2 .....	47
X.	Clasificación granulométrica pozo 1 .....	48
XI.	Clasificación granulométrica pozo 2.....	50
XII.	Plasticidad pozo 1 .....	52
XIII.	Plasticidad pozo 2 .....	52
XIV.	Porcentaje de humedad .....	53
XV.	Permeabilidad hidráulica pozo 1 .....	53
XVI.	Permeabilidad hidráulica pozo 2.....	54
XVII.	Características químicas del agua.....	55

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>CL</b>	Arcilla orgánica
<b>OH</b>	Arcillas orgánicas
<b>SC</b>	Arena arcillosa
<b>SW</b>	Arena bien graduada
<b>Bh-MB</b>	Bosque húmedo montano bajo
<b>Bmh-MB</b>	Bosque muy húmedo montano bajo
<b>cm</b>	Centímetro
<b>DD</b>	Densidad de drenaje
<b>DIF</b>	Duración-intensidad-frecuencia
<b>Fr</b>	Frecuencia de ríos
<b>°CK</b>	Grados centígrados Kelvin
<b>C°/m</b>	Grados centígrados por metro
<b>g</b>	Gramo
<b>g/cm<sup>2</sup></b>	Gramo por centímetro cuadrado
<b>lc</b>	Índice de compacidad
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>km</b>	Kilómetro
<b>km</b>	Kilómetro
<b>km<sup>2</sup></b>	Kilómetro metro cuadrado
<b>LC</b>	Límite de contracción
<b>LL</b>	Límite líquido
<b>LP</b>	Límite plástico
<b>ML</b>	Limo inorgánico

<b>OL</b>	Limo orgánico
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	Metro cúbico por segundo
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel medio del mar
<b>mm</b>	Milímetro
<b>mm/año</b>	Milímetro por año segundo
<b>n'</b>	Minuto
<b>Np</b>	No plástico
<b>No.</b>	Número
<b>%</b>	Porcentaje
<b>n''</b>	Segundo
<b>tc</b>	Tiempo de concentración
<b>tr</b>	Tiempo de retorno

## **GLOSARIO**

<b>AASHTO</b>	Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes
<b>Absorber</b>	Capacidad de atracción o retención de líquidos
<b>Alivio</b>	Proceso de reducción o eliminación
<b>Aluviales</b>	Formado a partir de materiales arrastrados y depositados por corrientes de agua
<b>Andecitas</b>	Roca ígnea volcánica de composición intermedia
<b>Apelmazar</b>	Apisonar, apretar o allanar la tierra por medio de un pisón o una apisonadora
<b>ASTM</b>	Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales
<b>AutoCAD</b>	Software para la elaboración de planos
<b>Basalto</b>	Roca volcánica, de color negro verdoso

<b>Coeficiente</b>	Número que expresa el valor de un cambio en relación con las condiciones en que se produce
<b>COGUANOR</b>	Comisión Guatemalteca de Normas
<b>Compresibilidad</b>	Cualidad de lo que es compresible
<b>Conglomerados</b>	Material constituido por fragmentos o polvo de una o varias sustancias
<b>Cuaternaria</b>	Es la última de las eras en que se divide la historia geológica de la Tierra
<b>Dendrítico</b>	Que es densa y tiene ramificaciones regulares
<b>Detritus</b>	Resultado de la descomposición de una masa sólida en partículas
<b>Empírico</b>	Que está basado en la experiencia y en la observación de los hechos.
<b>Encauce</b>	Conducir una corriente por un cauce
<b>Escorrentía</b>	Agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno

<b>Fisiografía</b>	Ciencia que tiene por objeto la descripción de la Tierra
<b>Fluvial</b>	Concerniente a los ríos o que tiene relación con ellos
<b>Geoformas</b>	Relacionado a la forma de la tierra
<b>Graben</b>	Corteza terrestre hundida respecto a los bloques laterales
<b>Granulometría</b>	Distribución de los diferentes tamaños del suelo
<b>Hídrica</b>	Relacionado con el agua
<b>Holoceno</b>	Que es la segunda de la era cuaternaria o neozoica
<b>Infiltrar</b>	Introducir un líquido a presión en el interior de un cuerpo sólido
<b>Intrínseco</b>	Característico de la cosa que se expresa por sí misma
<b>Lahárico</b>	Flujo de sedimento y agua que se moviliza desde las laderas de volcanes

<b>Lapilli</b>	Pequeño fragmento de lava arrojado durante la erupción de un volcán
<b>Microsoft Office</b>	Software para el procesamiento de datos
<b>Mitigar</b>	Atenuar o suavizar una cosa negativa
<b>Morfografía</b>	Descripción de la forma y características de una zona concreta
<b>Neógeno</b>	Que es el segundo y último de la era cenozoica y sigue al período paleógeno
<b>Paleozoico</b>	Que sigue a la era precámbrica y precede a la era mesozoica o secundaria
<b>Piroclásticos</b>	Son flujos compuestos por gases y material sólido
<b>Plasticidad</b>	Propiedad del suelo con contenido de agua
<b>Pleistoceno</b>	Que es la primera de la era cuaternaria o neozoica
<b>Plioceno</b>	Que es la segunda y última del período neógeno de la era cenozoica o terciaria

<b>Pómez</b>	Es una roca ígnea volcánica vítrea, con baja densidad flota en el agua
<b>OPS</b>	Organización Panamericana de la salud
<b>Recopilar</b>	Juntar o reunir varias cosas dispersas
<b>Riodacitas</b>	Roca volcánica extrusiva de composición intermedia
<b>Subdendrítico</b>	Presenta ramificaciones formando ángulos agudos
<b>Subyacente</b>	Que subyace por debajo de algo
<b>Superficial</b>	Es la distribución de los diferentes tamaños de partículas que componen un suelo
<b>Tamizar</b>	Pasar una cosa por el tamiz para separar las partes finas de las gruesas
<b>Tectónica</b>	Parte de la geología que estudia los plegamientos, deformaciones y fallas
<b>Terciario</b>	Que sigue a la era secundaria o mesozoica y precede a la era cuaternaria

**USCS**

Sistema de clasificación de suelos unificado

**Zonificación**

División de una ciudad o área territorial en subáreas o zonas caracterizadas

## RESUMEN

Las inundaciones en áreas urbanas son un problema a nivel mundial, que están afectando a las ciudades en etapa de desarrollo que no cuentan con planes de mitigación que involucren el manejo de las aguas superficiales. En la actualidad en la ciudad de Quetzaltenango se presenta este problema por diversas causas, siendo las más notorias: el incremento de áreas impermeabilizadas debido a urbanizaciones, reducción de áreas de recarga hídrica y la falta de un sistema de drenajes pluviales acorde a la demanda actual.

Para desarrollar la investigación del tema de tesis se tomaron muestras de suelo en dos pozos de diferentes profundidades, esto permitió establecer las propiedades geotécnicas del parque, las muestras fueron procesadas en laboratorio para determinar por medio de ensayos la granulometría, plasticidad, y humedad natural, la permeabilidad hidráulica se determinó en campo con pruebas de infiltración, permitiendo conocer el comportamiento del agua a través de los diferentes estratos del suelo. Para establecer los parámetros de calidad del agua superficial se realizó una prueba fisicoquímica en el lugar de acumulación en el parque, esto ayudó a determinar sus características y si estas cumplen con la normativa vigente.

Al finalizar la investigación se considera que las condiciones geotécnicas con las que cuenta el suelo del parque El Calvario en la ciudad de Quetzaltenango son medianamente aceptables, para poder desarrollar un sistema de infiltración de agua superficial. Aunque las condiciones no son las ideales para desarrollar un proyecto de mayor impacto que solucione por completo el problema, las características permitirían desarrollar un proyecto de

mitigación que ayude a amortiguar un porcentaje del exceso del agua superficial durante eventos de lluvia de gran intensidad.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### Contexto general

Las inundaciones en Quetzaltenango son un problema que históricamente han afectado a la ciudad debido al aumento del agua superficial durante lluvias de prolongada duración, siendo uno de los departamentos más afectados por las inundaciones debido a su crecimiento urbano sin planificación, en donde son diversas las áreas damnificadas. Entre las principales se encuentran: el área perimetral de la Rotonda zona 2, el área posterior al Condado Santa María, el área cercana al Colegio María Auxiliadora y el Parque El Calvario, entre otras.

### Descripción del problema

Durante los últimos años el área en donde se localiza el parque El Calvario en la ciudad de Quetzaltenango se ha convertido en un área de acumulación del agua superficial proveniente de las partes altas de la zona 1 y 10. Con el transcurrir de los años la cantidad de agua superficial que se acumula en el parque ha ido en aumento, no existiendo alternativas que permitan un manejo adecuado y controlado. Una de las causas del aumento del agua superficial es el crecimiento de las áreas impermeabilizadas debido al incremento en la construcción de urbanizaciones, pavimentación de calles, entre otros, esto ha provocado que cada vez hallan menos áreas en donde el suelo pueda infiltrar el agua de forma natural. Otra de las causas es el sistema de drenajes con que cuenta la ciudad que es de tipo combinado, mezclando las aguas pluviales con las aguas servidas provocando que el sistema existente ya no sea suficiente para el caudal actual causando inundaciones, esto afecta directamente en la calidad de vida de los vecinos que residen en sus alrededores, decrementando la

plusvalía de los bienes inmuebles, e impactando negativamente en las condiciones comerciales del sector.

Formulación del problema:

De acuerdo con el análisis de causas y consecuencias de la acumulación del agua superficial en el parque El Calvario y la revisión de los antecedentes de la investigación surge la interrogante principal:

- ¿Las propiedades geotécnicas del suelo del área que ocupa el parque, permitirían que parte del caudal acumulado sea absorbido por el suelo, contribuyendo así a la reducción del agua superficial?

Para poder resolver la interrogante principal se debe determinar:

- ¿Cuáles son las propiedades geotécnicas del suelo en el parque?
- ¿Cuál es el coeficiente de permeabilidad hidráulica del suelo?
- ¿Que se necesita para que el parque funcione como sistema de infiltración?

Delimitación del problema

El espacio de estudio de la investigación es el área del terreno que ocupa el parque El Calvario 4ta calle entre 21 y 20 avenida zona 1, Quetzaltenango, ubicado en las coordenadas 14°50'12" N, 91°31'32" W, a una altitud de 2,341 metros sobre el nivel del mar, y el tiempo que abarca la investigación son los antecedentes y datos históricos obtenidos durante los últimos diez años.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar experimentalmente las propiedades geotécnicas del suelo del parque El Calvario, de la ciudad de Quetzaltenango, y analizar si las mismas permiten el diseño de un sistema de infiltración de agua superficial.

### **Específicos**

- Determinar por medio de ensayos de laboratorio las propiedades geotécnicas del suelo del parque El Calvario, para caracterizar el tipo de suelo.
- Determinar experimentalmente el coeficiente de permeabilidad hidráulica del suelo en el parque El Calvario.
- Correlacionar las propiedades geotécnicas y permeabilidad del suelo para analizar la factibilidad de diseñar un sistema de infiltración de agua superficial.



## **HIPÓTESIS**

De acuerdo con las propiedades Geotécnicas del suelo del área que ocupa el parque El Calvario en la ciudad de Quetzaltenango, es posible su utilización como un sistema de infiltración de agua superficial, para el excedente de agua que se acumula en el parque.



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La etapa de la investigación del estudio se realizó con un enfoque cuantitativo debido a que se centró en la recopilación y análisis de datos. El alcance del estudio es del tipo descriptivo que es el utilizado para investigaciones que buscan caracterizar algún elemento, en este caso el suelo. El diseño de la investigación fue del tipo no experimental ya que el estudio se enfocó en la observación de las características del suelo, para luego efectuar un análisis.

El estudio comprendió varias fases con el objetivo principal de especificar las propiedades, características y rasgos importantes del suelo que ocupa el parque, esto con el fin de caracterizarlo geotécnicamente. La primera fase de investigación correspondió a la revisión documental, esto permitió determinar que el área del terreno que ocupa el parque El Calvario sería la unidad de análisis y que las variables de la investigación serían: humedad natural (%), granulometría (%), coeficiente de permeabilidad (cm/s), calidad del agua (mg/l).

Habiendo determinado la unidad de análisis y las variables, se realizó un levantamiento topográfico con estación total para delimitar el área perimetral del parque, detallando cada estructura existente, curvas de nivel, estructuras hidráulicas, áreas verdes y de recreación, áreas de concreto, instalaciones eléctricas, banquetas, arboles, entre otros. Con el cálculo de áreas y mediante software de dibujo asistido por computadora (AutoCAD) se definió que, las áreas verdes y de recreación eran las más adecuadas para los sistemas de infiltración de agua superficial debido a que requieren menos trabajos para las excavaciones y sus áreas son acordes para la construcción de estructuras hidráulicas.

La segunda fase consistió en el muestreo del suelo, este se realizó en dos pozos en donde se extrajeron muestras a 0.50m, 1.00m, 1.50m, 2.00m, 2.50m, 3.00m, 3.50m y 4.00m de profundidad. La determinación de la profundidad se hizo en base a la revisión de antecedentes de estudios similares en donde sugerían, análisis de características de suelos a diferentes alturas, para poder determinar que sistemas de infiltración era más acorde a las características del suelo.

Posteriormente las muestras fueron procesadas en laboratorio de mecánica de suelos. Para obtener la granulometría se realizó el método de tamizado mecánico logrando la clasificación del suelo extraído, la plasticidad se obtuvo mediante el método de la copa de Casagrande el cual permitió obtener los límites de Atterberg y así poder determinar la consistencia y comportamiento del suelo con respecto al agua, la humedad natural fue determinada mediante la segmentación de la muestra en estado natural y la muestra seca con lo que se pudo calcular el porcentaje de humedad natural.

En la tercera fase se determinó la permeabilidad hidráulica, se realizaron pruebas de infiltración en campo consistente en pozos de 0.30m x 0.30m x 0.30m, en las mismas ubicaciones de las extracciones de las muestras y posteriormente realizar mediciones de velocidad esto permitió determinar la capacidad de absorción de los suelos. Con los ensayos de laboratorio y de campo efectuados se pudo determinar las propiedades geotécnicas de los suelos del parque.

Adicionalmente era necesario determinar la calidad del agua para ello se tomó una muestra del agua superficial depositada en la cuneta de ingreso a la bóveda, esta muestra se tomó después de un evento prolongado de lluvia, esto permitió establecer con exactitud los desechos o contaminantes que el agua superficial arrastra hasta el punto de estudio. A la muestra se le realizó un análisis

fisicoquímico de sus propiedades, para poder comparar con los parámetros ya establecidos por la norma COGUANOR vigente.

Luego de determinar las características geotécnicas del suelo por medio de los ensayos de laboratorio y de campo y la calidad del agua, en la fase cuatro se pudo comprobar si era factible infiltrar un porcentaje del caudal del agua superficial de manera controlada en un área del parque, por lo que en base a ello se realizó una propuesta de diseño un sistema de infiltración que mejor se adaptó a los suelos del lugar en estudio.



## INTRODUCCIÓN

Con el transcurrir de los años el problema de acumulación del agua superficial se ha ido extendiendo en las partes bajas de la ciudad de Quetzaltenango y actualmente va en aumento en cada época de lluvia, debido a que el área urbana sigue desarrollándose, contribuyendo al aumento de la impermeabilización de zonas que antes eran de recarga con la construcción de calles y obras de infraestructura y disminuyendo además las áreas de infiltración. Se observó que no existen planes de mitigación a corto plazo por parte de las autoridades municipales, que permitan la disminución y manejo de las aguas superficiales.

El parque El Calvario es una de las áreas que constantemente se ven afectadas por la acumulación del agua superficial y es en donde esta investigación se realizó. Se obtuvieron muestras de suelo que permitieron obtener las propiedades geotécnicas del suelo, con lo cual se realizó el análisis de factibilidad técnica para poder determinar si las condiciones del área son acordes para diseñar un sistema de infiltración de agua superficial que permita su disminución y su manejo de forma controlada.

Las líneas de investigación de la maestría en la que se presenta el estudio propuesto están principalmente enfocadas en la mecánica de suelos y la hidrogeología, debido a que lo que se buscó fue determinar cómo se comporta el agua superficial con respecto a las características del suelo del lugar y así poder establecer cómo se lleva a cabo la infiltración.

Con esta investigación se pretende dotar de un documento técnico y actualizado desde el punto de vista geotécnico a la Municipalidad de la ciudad de

Quetzaltenango, en la cual se puedan basar para tomar decisiones con respecto a nuevas alternativas en el manejo de las aguas superficiales que permitan solucionar la problemática de las inundaciones en el sector del parque El Calvario, beneficiando a la población que habita el sector, mejorando su calidad de vida.

Al inicio del trabajo se realizó la descripción de aspectos introductorios, en donde se incluyen los antecedentes del contexto del problema y del área en estudio. En el capítulo 1 se presenta el marco teórico de la investigación el cual se enfocó inicialmente con la región fisiográfica-geomorfológica en donde se encuentra Quetzaltenango y posteriormente en el fundamento teórico de la geotecnia e hidrogeología y los procesos geológicos relacionados con el agua superficial.

En el capítulo 2 se presenta la metodología utilizada para la obtención de las muestras de suelo y los procedimientos utilizados en laboratorio. En el capítulo 3 se realiza la presentación de los resultados. En el capítulo 4 el análisis e interpretación de los resultados obtenidos mediante los ensayos de laboratorio y la factibilidad técnica. En el capítulo 5 se plantea el diseño del sistema más adecuado para la infiltración de agua superficial.

## 1. ANTECEDENTES

Las inundaciones urbanas son un desafío creciente para la ingeniería, siendo la principal consecuencia del crecimiento demográfico sin control (Ferreira, 2017), sin embargo, las causas de las inundaciones están cambiando y sus impactos se están acelerando, lo cual representa un desafío para la autoridades municipales y gubernamentales para comprender y manejar las consecuencias actuales y futuras. A los crecientes impactos de las inundaciones se suman, la expansión urbana, incremento de la pavimentación y las superficies impermeables, mayor densidad de población, drenajes e infraestructura de saneamiento insuficiente.

La gestión de inundaciones urbanas Tucci, (2007) expone que: “El planeamiento urbano es realizado para la ciudad formal y para la ciudad informal son apenas analizadas las tendencias de esta ocupación” (p.13). Realiza un análisis para enunciar los principales problemas relacionados con la infraestructura de agua, entre los que se pueden mencionar: lanzamiento de los efluentes en la red pluvial, falta de implementación de una red de drenaje provocando inundaciones urbanas; y la disminución de la calidad del agua pluvial sobre los ríos próximos a las áreas urbanas.

El escurrimiento pluvial puede producir inundaciones e impactos en áreas urbanas debido a: la urbanización por el efecto de la impermeabilización del suelo, canalización del escurrimiento u obstrucciones al escurrimiento (Tucci, 2007). Se han expuesto alternativas que han sido realizadas en otros países en donde se plantea la construcción de tanques o estructuras que permitan la infiltración del agua pluvial en el suelo, por encontrarse en áreas urbanas no es

posible encontrar grandes terrenos, por lo que la propuesta es la utilización de parques y áreas verdes, como puntos de descarga subterránea e infiltración.

Figura 1. **Detención de inundaciones**



Fuente: Tucci (2007). *Gestión de inundaciones urbanas*.

La gestión integral de aguas urbanas es un proceso flexible, participativo, iterativo y multidisciplinario que integra los elementos del ciclo de aguas urbanas (suministro de agua, gestión de aguas pluviales, y manejo de residuos), con el desarrollo urbano de la ciudad y la gestión de la cuenca fluvial para maximizar los beneficios económicos, sociales y medioambientales de manera equitativa (Jha, 2012).

Colombia es uno de los países de sur américa, que ha planteado la realización de parques y áreas verdes, como una alternativa para el control y manejo del agua pluvial. Esta alternativa se ha convertido en una solución viable, desde el punto de vista social, económico y ambiental, para la disminución de los caudales que pudieran provocar inundaciones.

Figura 2. **Control de inundaciones a través de parques**

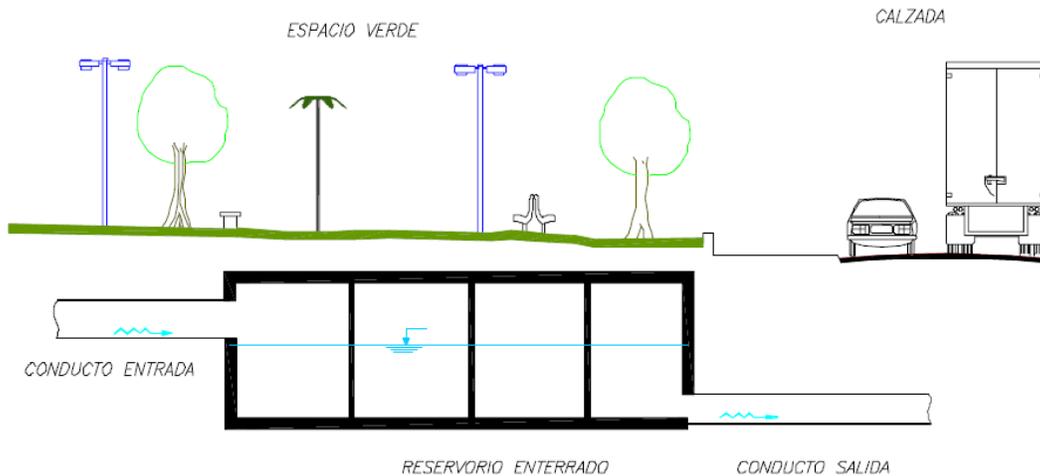


Fuente: Tucci (2007). *Gestión de inundaciones urbanas*.

Rahmanne (2002) plantea en las inundaciones en áreas altamente urbanizadas, la utilización de estanques enterrados de grandes dimensiones en espacios verdes públicos y parques, sirviendo estos como tanques de retardo convirtiéndose en una de las soluciones para combatir las inundaciones en zonas altamente urbanizadas, satisfaciendo objetivos sociales y ambientales, principalmente donde es necesario que el suelo absorba fuertes picos de crecidas.

Esta solución se plantea para áreas verdes en donde es posible la infiltración de una parte del caudal y el resto del caudal se conduce a través de tuberías por el sistema de drenajes permitiendo estos tanques que se disipe la energía del agua y conduciéndolas de mejor forma en el sistema de drenajes.

Figura 3. **Esquema de tanques enterrados para absorción de caudales**

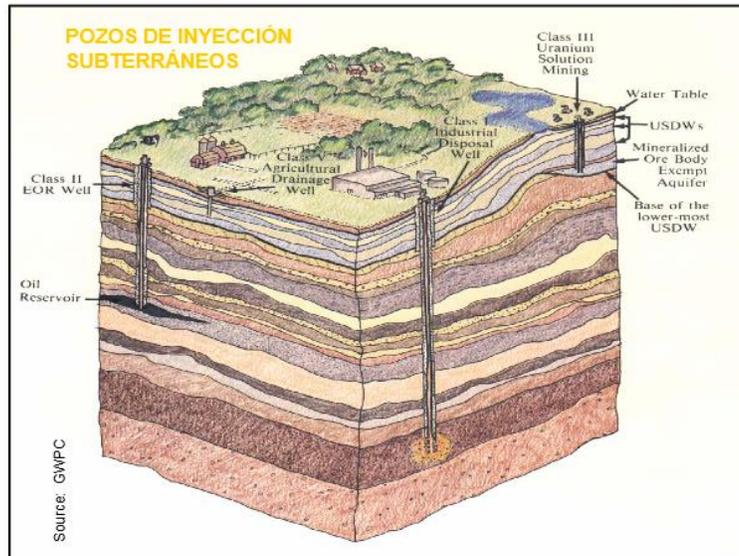


Fuente: Rahmane, (2000). *Inundaciones en áreas altamente urbanizadas*.

Alvarado (2011) en el diseño y planificación de estructuras de alivio y descarga, se plantea la utilización de pozos de inyección clase V como una alternativa para la descarga de escorrentía superficial utilizando pozos profundos con sistemas de bombeo que inyectan el agua a un estrato en donde se encuentra el agua subterránea, sin embargo no se tomó en cuenta la calidad del agua superficial y esto podría traer como consecuencia la contaminación del acuífero en donde se propone inyectar el agua.

Por lo que para considerar esta como una alternativa ambientalmente viable, adicional a las características geotécnicas del suelo, es necesario contar con la información de la calidad del agua pluvial que será infiltrada.

Figura 4. Pozos de inyección



Fuente: Alvarado, (2011). *Diseño y planificación de estructuras de alivio y descarga.*

En la ciudad de Quetzaltenango la acumulación del agua pluvial que provoca que se inunde el parque El Calvario, proviene en parte del cerro Siete Orejas y de la parte alta de la zona 1 y 10 (Rivera, 2014). Acumulándose en el área en donde se ubica la bóveda que forma parte del sistema de drenajes combinados de la ciudad, la cual no es suficiente para el caudal que converge en esa área.

Figura 5. Convergencia de avenidas

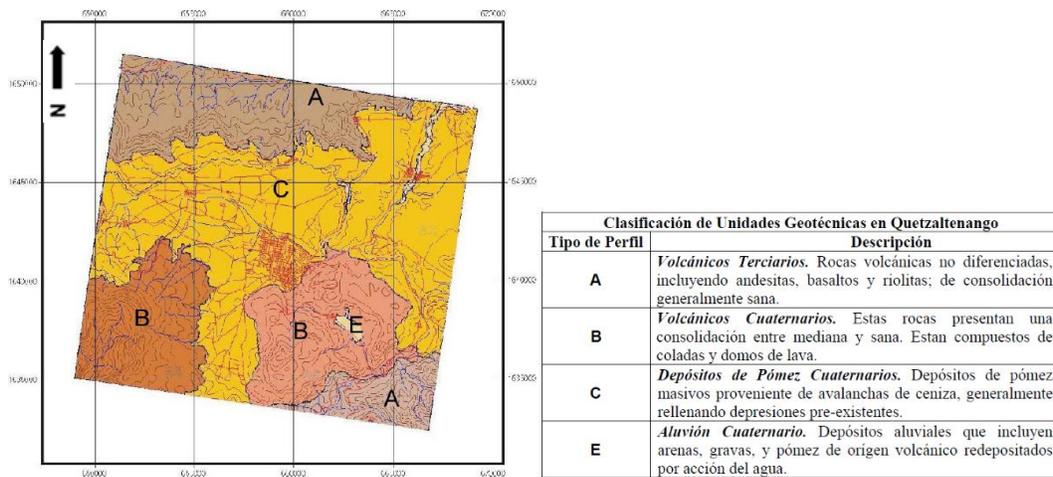


Fuente: [Fotografía de Armando Rivera Pascual]. (Quetzaltenango, Guatemala. 2014).

Colección particular.

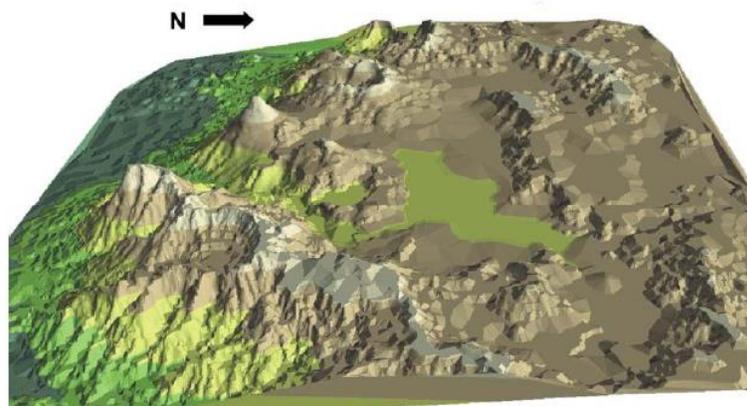
La ciudad de Quetzaltenango según el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (2001) en su estudio sobre la zonificación sísmica urbana en Guatemala, determinó la geografía de las unidades geotécnicas del área urbana, distribuidas de la siguiente manera:

Figura 6. **Unidades Geotécnicas en Quetzaltenango**



Fuente: CESEM, (2001). *Zonificación sísmica urbana en Guatemala.*

Figura 7. **Modelo digital ciudad de Quetzaltenango**



Fuente: CESEM (2001). *Zonificación sísmica urbana en Guatemala.*

El Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (2001) determinó que la mayor parte del área urbana de Quetzaltenango está conformada por depósitos de pómez cuaternarios, provenientes de avalanchas de ceniza correspondiente a la clasificación geotécnica C, por lo que se puede determinar que el área que ocupa el parque El Calvario pertenece a esta clasificación.

El carácter de la formación subyacente de la cual se derivó el suelo (origen y tectónica) facilitan la infiltración del agua desde la superficie, 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 (Bautista, 2014). En general, la infiltración es mayor en terrenos planos que inclinados.

Bautista (2014) determinó en el reconocimiento hidrogeológico de la zona urbana de Quetzaltenango por medio de sondeos eléctricos verticales las características hidráulicas de los suelos en las zonas 1 y 10, que son las áreas cercanas al parque El Calvario. En estos ensayos se puede observar que el suelo en esas zonas cuenta con un coeficiente de permeabilidad hidráulica alto con relación al resto de la ciudad.

Tabla I. **Permeabilidad hidráulica de los suelos en Quetzaltenango**

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	acuifero confinado	700 metros	10.40 m/día	0.15 mts.
zona 10 y parte de la zona 1	489.2832	0.000006	acuifero confinado	600 metros	11.403 m/día	0.41 metros
zona 4, zona 2, y zona 1	366.768	0.000092	acuifero confinado	900 metros	1.559 m/día	0.63 metros
zona 5, zona 2, y zona 3	195.696	0.000321	acuifero semiconfinado	900 metros	1.484 mt/día	2.91 metros
sector choqui alto	489.2832	0.0000001	acuifero confinado	1000 metros	3.912 mt/día	0.63 metros.
zona 8	489.2832	0.000017	acuifero confinado	900 metros	1.484 m/día	0.14 metros

Fuente: Bautista, (2014). *Reconocimiento hidrogeológico de la zona urbana de Quetzaltenango.*

Las condiciones geotécnicas del suelo con base en el ensayo penetración estándar en la zona 1 jurisdicción del área del cementerio cercano al parque El Calvario Quetzaltenango, se determinaron las siguientes características (Bautista, 2014):

De 0 a 0.50 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje que van de los 27.76 % de humedad, presentando una resistencia muy baja de 11.83 ton/m<sup>2</sup>, los tipos 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 (Bautista, 2014).

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 %, presentando una resistencia media de 18.20, 13.65, 11.83 ton/m<sup>2</sup>, en este estrato va mejorando la resistencia. Los tipos 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 (Bautista, 2014).

De 3.00 a 4.00 metros de profundidad la compacidad relativa es un suelo medio denso y suelto con porcentaje de 10.87 %, 25.77 % de humedad, presentando una resistencia media y baja de 11.83, 4.55 ton/m<sup>2</sup>. Los tipos 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 (Bautista, 2014).

De acuerdo con las condiciones de permeabilidad hidráulica y geotécnicas del suelo en el área del cementerio y que están cercanas al parque El Calvario, se puede concluir que los suelos en esta área de la ciudad tienen un coeficiente de permeabilidad hidráulica bajo con respecto a otras zonas de la ciudad y que su índice de plasticidad no generaría problemas de expansión y contracción en los suelos. Disminuir la carga actual para el alcantarillado en caso de precipitación, puede reducir los casos en los cuales las cantidades de aguas pluviales superan la capacidad del sistema de alcantarillado.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Región fisiográfica-geomorfológica de Quetzaltenango**

La región fisiográfica-geomorfológica de Quetzaltenango, se divide de la siguiente manera:

#### **2.1.1. Región fisiográfica tierras altas volcánicas**

El ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación en (2001) afirmó que: “En Guatemala, ha existido actividad volcánica desde el Paleozoico, la que se intensificó durante el Terciario. En esta región, las erupciones de todo tipo de grietas lanzaron cantidades de material principalmente basalto y riolitas” (p.23). La formación de esta región volcánica fue seguida por fallas causadas por la tensión local, la cual quebró y movió el material de la superficie como, por ejemplo, el valle hendido (graben) en que está localizada la ciudad de Guatemala (MAGA, 2001).

MAGA, (2001) afirma que: “Cuencas de esta región han sido llenadas parcialmente o cubiertas con pómez cuaternaria, proporcionando un paisaje muy contrastante con las áreas volcánicas que las rodean. Los valles en los que se localizan San Marcos, Quetzaltenango, Sololá, Chimaltenango y Guatemala” (p.34). Estas características se han encontrado también en La laguna de Ayarza, que es una caldera y el volcán de Ipala con su pequeño lago en su cráter, ofrecen formas de la tierra adicionales en contraste a los basaltos quebrados masivos y cortados, que evidencian aún más el origen volcánico de la región (MAGA, 2001).

### **2.1.2. Subregión zona montañosa occidental**

Se ubica y localiza esta unidad fisiográfica desde la línea fronteriza con México, en el norte de los Departamentos de Quetzaltenango y San Marcos, hasta el este en los departamentos de Totonicapán, Sololá, Chimaltenango y al sur del departamento de Quiché (MAGA, 2001).

Representa el relieve más alto de Guatemala con alturas de 1,000 a 4,000 msnm, muy complejo. Es un ambiente volcánico por excelencia. El drenaje superficial que se observa es del tipo dendrítico, subdendrítico, paralelo, subparalelo, trellis y trenzado: MAGA (2001) estableció que: “Los principales materiales geológicos son rocas volcánicas, lavas, brechas, conglomerados y cenizas volcánicas; coladas de lava, lapilli, andecitas, basaltos, materiales piroclásticos, sedimentos aluviales. En este ambiente hay geoformas del Plioceno, Pleistoceno, Holoceno; Terciario Superior, Cuaternario Tardío y Cuaternario” (p.24).

### **2.1.3. Gran paisaje valle tectónico de Samalá**

El gran paisaje Valle Tectónico de Samalá se divide de la siguiente manera:

#### **2.1.3.1. Ubicación y localización**

Se encuentra desde San Juan Ostuncalco al Oeste, pasando por Salcajá en Quetzaltenango, San Cristóbal, hasta Totonicapán en el lado este (MAGA, 2001).

### **2.1.3.2. Morfografía**

MAGA, (2001) la describe como: “Es una depresión de forma alargada orientada de Oeste a Este. La topografía es suave, con pendientes menores al 6 %. Las elevaciones están entre 2,300 msnm a 2,500 msnm. La unidad es atravesada en la parte alta por el río Samalá en sentido de Norte a Sur” (p.28). Existe un fallamiento gravitacional que ha dado origen a un horst en la parte plana y varios bloques levantados, donde sobresalen las fallas de Olintepeque en el límite norte y la de Zunil (que constituye el límite Sur).

### **2.1.3.3. Tipo de roca**

La unidad es un relleno de rocas piroclásticas que incluyen principalmente ignimbritas y pómez, existiendo a la orilla del río Samalá detritus lahárico fluvial (MAGA, 2001).

### **2.1.3.4. Morfogénesis**

MAGA, (2001) la define como: “Esta unidad se formó después de las violentas actividades volcánicas que se llevaron a cabo en el Neógeno, donde hubo un período geotectónico relativamente calmado que duró hasta el Pleistoceno temprano” (p.28). Además, empezaron los movimientos de bloques, levantamientos, fallas y subsidencia de las áreas de Samalá y Totonicapán.

Durante el Pleistoceno medio, este movimiento de bloques fue acelerado y consecuentemente apareció la cuenca tectónica del Samalá. En el mismo período ocurrieron grandes erupciones volcánicas, que arrojaron materiales Pleistocenos de piedra pómez provenientes de la caldera del lago de Atitlán, los que rellenaron la depresión.

### **2.1.3.5. Morfocronología**

La edad de esta geofoma se considera del Terciario superior (Plioceno) al Cuaternario inferior (Pleistoceno) (MAGA, 2001).

## **2.2. Geotécnica**

La Ingeniería Geotécnica es la ciencia y la práctica de la parte de ingeniería civil que involucra los materiales naturales encontrados cerca de la superficie de la tierra (Das, 2001). Específicamente estudia el suelo, el cual se puede definir como un agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta en partículas sólidas, junto con líquidos y gases que ocupan los espacios vacíos entre partículas. La geotécnica define las características del suelo, tales como: origen, granulometría, capacidad para drenar agua, compresibilidad, resistencia, capacidad de carga, entre otras.

### **2.2.1. Origen y formación de los suelos**

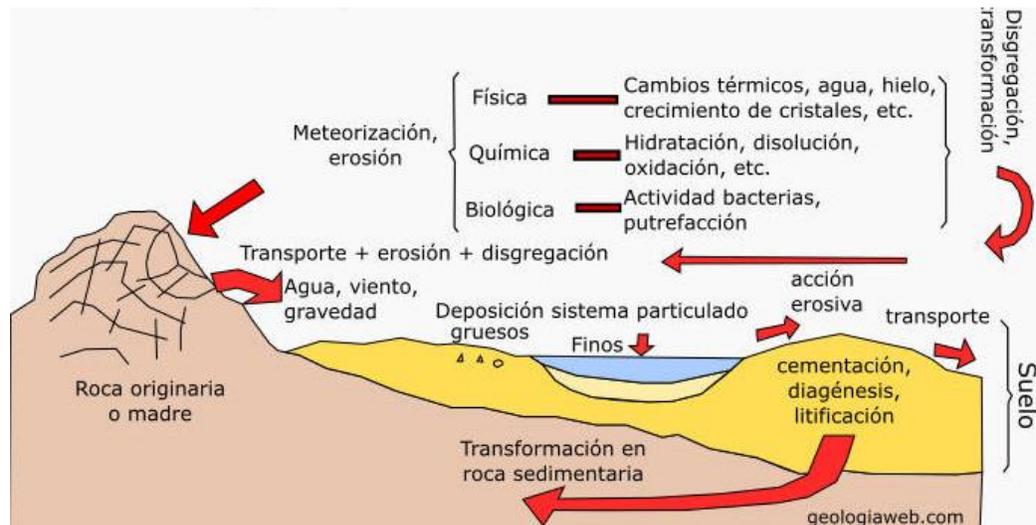
Los suelos tienen su origen en los macizos rocosos que constituyen la roca madre, la cual al ser sometida a la acción ambiental provoca la erosión en tres fases: física, química y biológica. La física se produce por cambios térmicos y la acción del agua, estas acciones físicas tienden a romper la roca inicial y a dividirla en fragmentos de tamaño cada vez más pequeños, los cuales son transportados por el agua, viento o por gravedad, colocándose de manera que se crean partículas que forman el suelo.

La química originada por la hidratación, disolución y oxidación de partículas, dando unión química a las partículas de suelo. Y la biológica, que es producida

por actividad bacteriana, mezclándose materiales orgánicos con partículas de origen fisicoquímico (González, 2002).

En el perfil de meteorización la roca madre ocupa la parte más baja y alejada de la superficie, y el suelo la más alta. Cuando el suelo permanece sin ser transportado, se le conoce como suelo residual, y cuando ha existido transporte se le conoce como suelo transportado (González, 2002).

Figura 8. **Origen y formación de los suelos**



Fuente: Maldonado, (2021). *Origen y formación de los suelos*.

### 2.2.2. Descripción y clasificación de los suelos

Para poder describir el suelo el cual está compuesto por partículas de diferentes tamaños y composiciones químicas, es necesario seguir metodologías ya establecidas, las cuales han clasificado el suelo en cuatro grupos en función de su granulometría (Juárez, 2005).

### **2.2.2.1. Gravas**

Tamaños de partículas de 8-10 cm y 2 mm, se caracterizan porque los granos son observables directamente, no retienen el agua, y existen grandes espacios entre cada partícula (Juárez, 2005).

### **2.2.2.2. Arenas**

Partículas comprendidas entre 2 mm y 0.060 mm, son observables a simple vista, al ser mezcladas con agua no se convierten en un material homogéneo, sino que se mantienen separadas del agua (Juárez, 2005).

### **2.2.2.3. Limos**

Partículas comprendidas entre 0.060 mm y 0.002 mm, se caracterizan por retener el agua, se produce una pasta al ser mezclada con el agua (Juárez, 2005).

### **2.2.2.4. Arcillas**

Partículas comprendidas inferiores a 0.002 mm, su origen se debe a acciones químicas. Su capacidad de retención de agua es muy alta, produciendo en algunos casos aumento de volumen, por lo que se considera uno de los materiales más problemáticos (Juárez, 2005).

### 2.2.3. Sistema unificado de clasificación de suelos

Inicialmente fue ideado por Arthur Casagrande en 1,942, el cual fue empleado por el cuerpo de Ingenieros de los USA, para la construcción de pistas de aterrizaje durante la II Guerra Mundial, debido a su gran utilidad en el sistema de Ingeniería Civil fue modificado levemente por el Bureau of Reclamation, naciendo así el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) el cual fue adoptado por la ASTM, como parte de sus métodos normalizados (Juárez, 2005).

#### 2.2.3.1. Características

Se basa en la clasificación por medio de símbolos de grupo, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades (Juárez, 2005).

Tabla II. Prefijos del sistema unificado

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
GRAVA	G	Bien graduado	W
ARENA	S	Pobrementemente graduado	P
LIMO	M	Limoso	M
ARCILLA	C	Arcilloso	C
ORGÁNICO	O	Limite liquido alto (>50)	L
TURBA	Pt	Limite liquido alto (<50)	H

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Bañón (2002). *Manual de carreteras*.

Tabla III. Características del sistema unificado

SUELOS FINOS						SUELOS GRUESOS							
Suelo que pasa la malla N° 200 es > al 50 %						Suelo que pasa la malla N° 200 es < al 50 %							
BAJA PLASTICIDAD			ALTA PLASTICIDAD			ARENAS				GRAVAS			
límite Líquido < al 50 %			límite Líquido > al 50 %			La porción de Fracción Gruesa que pasa la malla N° 4 es mayor				La porción de Fracción Gruesa que pasa la malla N° 4 es menor			
OL	ML	CL	OH	MH	CH	De acuerdo al Porcentaje que pasa la malla N° 200 se tiene :							
Suelos Orgánicos	Limo	Arcilla	Suelo orgánico	Limo	Arcilla	% Que Pasa la Malla N° 200				Probable Tipo de Suelo			
						Menor o Igual a 5 %				GW , SW , GP o SP			
						Entre el 5% y 12 %				Hay que usar Simbología Doble			
						Mayor del 12 %				GM , GC , SM , SC			
						SC	SM	SP	SW	GC	GM	GP	GW
Baja Plasticidad			Alta Plasticidad			Arenas Arcillosas	Arenas limosas	Arenas Mal Graduadas	Arenas Bien Graduadas	Gravas Arcillosas	Gravas Limosas	Gravas Mal Graduadas	Gravas Bien Graduadas

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Bañón (2002). *Manual de carreteras*.

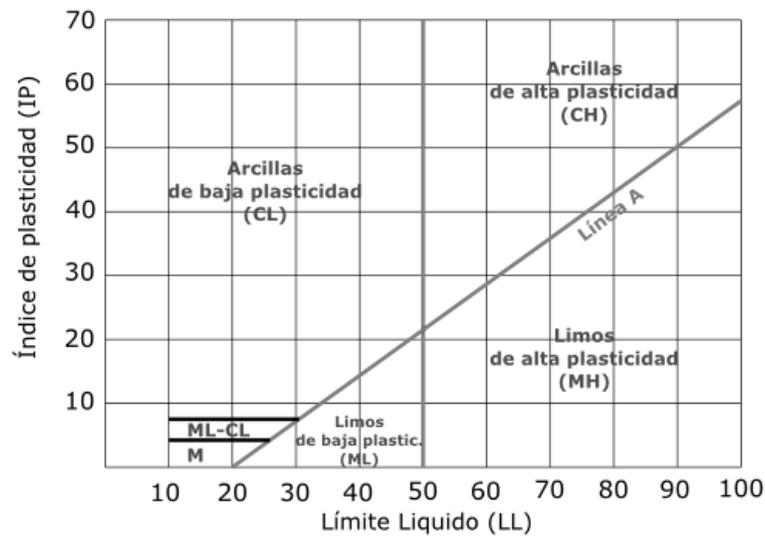
#### 2.2.4. Sistema de clasificación AASHTO

Es utilizada en carreteras empleada por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), que fue originalmente desarrollada por los geotécnicos Terzaghi y Hogentogler para el Bureau of Public Roads (Juárez, 2005).

Esta clasificación está basada en el modelo de Casagrande, considerando siete grupos básicos de suelos, numerados correlativamente desde el A-1 hasta el A-7. Así mismo, algunos de estos grupos presentan subdivisiones (Juárez, 2005).

Los ensayos necesarios para determinar en qué grupo encuadran los suelos son el análisis granulométrico y los límites de Atterberg (Juárez, 2005).

Figura 9. **Gráfica de plasticidad USCS**



Fuente: Wikimedia, (2021). *Plasticidad de los suelos.*

### 2.2.5. Granulometría

La separación por tamaños de las partículas que constituyen los suelos es uno de los criterios utilizados, para describirlos que forman parte de la Mecánica de Suelos (Juárez, 2005). En los inicios de las clasificaciones de suelos los criterios permitían únicamente la separación de tres o cuatro tamaños, debido a los procedimientos de separación que existían, sin embargo, hoy en día con las nuevas técnicas es posible la separación de un mayor número de tamaños.

El tamiz es la herramienta fundamental para efectuar el análisis granulométrico, es un instrumento compuesto por una malla espaciada uniformemente a través de la cual se hace pasar la muestra de suelo. Existen diversas series normalizadas de tamices, siendo una de las más empleadas la

ASTM D-2487/69 (Bañon, 2002). Una vez efectuado el proceso de tamizado, se pesan las cantidades retenidas en cada tamiz, y se construye una gráfica semi logarítmica donde se representan los porcentajes de muestra retenida.

Figura 10. **Tamizadora mecánica**



Fuente: Rogério (2007). *Tamizadoras*. Consulta: 20 de abril de 2021. Recuperado de <https://commonwikimedia.org>

### 2.2.6. Límites de Atterberg

Atterberg fue el primero que relacionó el grado de plasticidad de un suelo con su contenido en agua o humedad, expresado en función del peso seco de la muestra (Bañon, 2002). El límite líquido se determina mediante el método de la cuchara de Casagrande, se basa en la determinación de la cantidad de agua mínima que puede contener una pasta formada por 100 g de suelo seco que pasa el tamiz 40. El límite plástico se define como la menor humedad de un suelo que permite realizar con él, cilindros de 3mm de diámetro sin que se desmoronen.

Figura 11. **Cuchara de Casagrande**



Fuente: Wikimedia (2005). *Cuchara de Casagrande*. Consulta: 20 de abril de 2021.  
Recuperado de <https://common.wikimedia.org>

### **2.2.7. Humedad natural**

Es la relación entre el peso del agua que contiene la muestra y el peso de sus sólidos, determinándola, secando la muestra a temperatura uniforme. Suele variar entre 5-8 % en suelos granulares, 60-70 % en suelos arcillosos, y superando el 300 % en suelos orgánicos (Bañón, 2002).

### **2.2.8. Estructura**

Como resultado del proceso de formación geológica presentará un determinado orden las partículas, lo cual establece la estructura del suelo (González, 2002). La estructura del suelo es representada a través del perfil estratigráfico, el cuál presenta como están distribuidas las capas del suelo, y que material las componen.

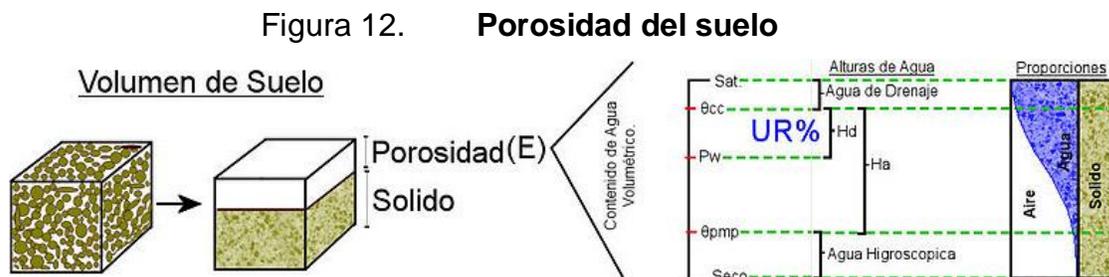
## 2.3. Parámetros hidrogeológicos

Los parámetros hidrogeológicos de los suelos se pueden clasificar de acuerdo con:

### 2.3.1. Porosidad

Es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total. Es un parámetro adimensional y depende únicamente de la estructura y textura del suelo, sin que intervenga la forma geométrica o su funcionamiento hidráulico en la naturaleza (González, 2002). Según el tipo de formación, los poros pueden ser debido a espacios intergranulares. La porosidad puede estar ligada únicamente a la textura (porosidad total) o depender de las características del fluido que se mueve en su interior (porosidad eficaz).

También expresó que la porosidad total depende de la formación, distribución granulométrica y ubicación de sus granos, es decir que sus granos pueden tener mayor o menor grado de compactación, debido a factores de su formación, ambiente sedimentario y carga litostática.



Fuente: Marquez, (2010). *Porosidad de los suelos*.

## **2.4. Metodología para obtención de muestras de suelos**

Para la obtención de muestras de suelos, se pueden utilizar los métodos siguientes:

### **2.4.1. Método preliminar para la descripción de un suelo**

La descripción inicial de los suelos permite al investigador tomarse una idea a partir de un punto de referencia, así poder establecer las condiciones y características de los suelos. Esta descripción depende en gran manera, en poder distinguir entre una grava, una arena, un limo o una arcilla, ya sea por su granulometría, por su textura, por su color, entre otros. (MOPC, 2009).

La forma más simple de identificar un suelo en campo es humedeciendo una pequeña porción, y posteriormente apretarla entre las manos (MOPC, 2009), de acuerdo con su consistencia se puede determinar lo siguiente:

Si es una grava, por más húmeda que este, los granos no se apelmazan (MOPC, 2009).

Si es una arena normalmente los granos se apelmazan, pero son suelos no cohesivos, es decir que sus partículas por más juntas que estén no se adhieren entre sí (MOPC, 2009).

Los limos son partículas con un cierto grado de plasticidad, son ásperos al tacto, y tienen muy buena cohesión (MOPC, 2009).

Las arcillas son partículas finas, que al tacto son suaves, se secan lentamente, tienen un alto grado de plasticidad, y son altamente cohesivos (MOPC, 2009).

#### **2.4.2. Descripción e identificación de suelos (ASTM D2488)**

Este método es utilizado para la identificación de los suelos finos en campo (MOPC, 2009) y se desarrolla de la forma siguiente:

##### **2.4.2.1. Dilactancia**

Se debe separar una pequeña porción de suelo que pase el tamiz No.40, se le agrega una pequeña porción de agua, a manera de crear una pasta homogénea, se coloca la pasta en la palma de la mano y se gira a manera de formar un pequeño cilindro (MOPC, 2009). Se oprime la pasta entre los dedos a manera de sacarle el exceso de agua, la velocidad con la que el agua es expulsada por el propio suelo determina las características del suelo fino (MOPC, 2009). De acuerdo con su comportamiento se dice que:

Cuando al oprimir el pequeño cilindro formado por suelo, el agua es expulsada inmediatamente, el suelo es arena fina, arena fina limosa, grava limosa (MOPC, 2009).

Cuando la reacción de expulsar el agua se realiza lentamente, el suelo es limo arcilloso, limo, arena arcillosa (MOPC, 2009).

Cuando el agua no es expulsada por el suelo, es arcilla limosa o arcilla (MOPC, 2009).

#### **2.4.2.2. Resistencia en estado seco**

Se realiza una pasta homogénea entre una fracción de suelo que pase el tamiz No.40 y agua, se forma un cilindro y se seca al sol, se prueba su resistencia rompiéndola entre los dedos. Con lo cual se mide su plasticidad, debido a que en estado seco es más alta (MOPC, 2009). De acuerdo con esto se puede determinar que:

Cuando no existe resistencia, es una grava, arena, o mezcla de ambas (MOPC, 2009).

Cuando existe poca resistencia, y el cilindro se desmorona en pequeñas partes, es un limo, o mezcla de limos con arenas (MOPC, 2009).

Cuando existe una alta resistencia a desmoronarse, por parte del cilindro, es una arcilla, o arcillas con poco contenido de arenas (MOPC, 2009).

#### **2.4.2.3. Tenacidad**

Se realiza la misma operación de hacer una masa homogénea, se forma un cilindro de 3mm, haciéndolo rodar por la palma de la mano, hasta que este pierda su plasticidad (MOPC, 2009). De este procedimiento se puede determinar.

Baja plasticidad, cuando el suelo al ser rodado en la palma de la mano se desmorone rápidamente, con lo cual se determina que es un limo o arena arcillosa (MOPC, 2009).

Media plasticidad, cuando después de ser rodado, al ser presionado con los dedos se deshaga inmediatamente, entonces el suelo es una mezcla de arcillas y limos (MOPC, 2009).

Plasticidad alta, cuando posteriormente al ser rodado y presionado, el cilindro se mantenga íntegro, el suelo es una arcilla (MOPC, 2009).

### **2.4.3. Conservación y transporte de muestras de suelos (ASTM D4220)**

Este método constituye los lineamientos necesarios para la conservación y transporte de las muestras obtenidas en campo, hasta su manipulación en laboratorio. Dependiendo el tipo de ensayo que se vaya a efectuar en laboratorio, así será el manejo que se le debe de dar a la muestra de suelo. La selección de la metodología a utilizar depende si los ensayos necesitan que la muestra mantenga sus condiciones intactas del momento en que fue extraído, o simplemente ser extraída y transportada sin importar la alteración de sus condiciones naturales (MOPC, 2009).

## **2.5. Permeabilidad**

Es el parámetro que permite evaluar la capacidad de transmitir agua de una formación en función de la textura, sin relacionarla con su estructura o forma geométrica (Angelone, 2006). La permeabilidad que relaciona las características de la textura con el fluido es llamada: permeabilidad efectiva. Y la que sólo depende de las características del medio permeable es llamada: permeabilidad intrínseca.

La determinación del coeficiente de permeabilidad se puede efectuar por medio de ensayos *in situ*, laboratorio, tablas y métodos empíricos (Angelone, 2006). Estos ensayos se describen a continuación:

### **2.5.1. Laboratorio**

Este tipo de ensayos son utilizados en muestras de suelo que han sido extraídas, ya sea por medio de una calicata o de una perforación, entre los más utilizados se encuentran: permeámetro de carga constante, y de carga variable (Angelone, 2006).

### **2.5.2. *In situ***

Estos métodos son efectuados en el lugar, entre los más utilizados se encuentran: ensayo de carga variable, carga constante, slug, pozos de bombeo y de infiltración. Para este tipo de ensayos se necesita disponer de un área grande para poderlos efectuar (Angelone, 2006).

### **2.5.3. Empíricos**

Estos métodos se basan en características como la granulometría y estructura del suelo. Entre estos se encuentran: Allen-Hazen, Loudon, Terzaghi, prueba de capilaridad, entre otros (Angelone, 2006).

## **2.6. Escurrimiento**

Está definido como el agua proveniente de la precipitación, que circula sobre o bajo la superficie terrestre, y que llega a una corriente para poder ser drenada (González, 2002). Los tipos de escurrimiento que toma el agua para llegar a la salida se clasifican en tres clases: superficial, subsuperficial, y subterráneo.

### **2.6.1. Escurrimiento superficial**

Se define como el flujo que se encuentra sobre el terreno y el escurrimiento en corrientes (González, 2002).

### **2.6.2. Escurrimiento subsuperficial**

Se define como la parte de agua precipitada que se infiltra y escurre cerca de la superficie del suelo (González, 2002).

### **2.6.3. Escurrimiento subterráneo**

Se define como el flujo de agua que se infiltra a niveles inferiores al manto freático (González, 2002).

## **2.7. Precipitación y escorrentía directa**

El exceso de precipitación o precipitación directa está definido como la precipitación que, debido a condiciones del suelo no es posible que sea retenida en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo (Chow, 1994).

El exceso de precipitación produce la escorrentía directa que es la que fluye sobre la superficie de la tierra.

## **2.8. Cálculo del agua superficial a evacuar**

La precipitación promedio en Quetzaltenango es de 842 mm/año. En los meses de noviembre hasta marzo la precipitación es menos de 20 mm.

Cantidades notables se pueden esperar en los meses de abril hasta octubre cuando caen entre 50 mm/mes y 150 mm/mes (INSIVUMEH, 2020).

### **2.8.1. Intensidad de lluvia**

De acuerdo con el razonamiento en que se basa el método racional, los caudales máximos de la cuenca ocurren en respuesta a la tormenta con una duración igual a  $t_c$ . Los valores de  $i$ , para una duración  $t=t_c$  de la cuenca, pueden obtenerse de las curvas de duración-intensidad-frecuencia (DIF) de lluvias. En el caso de Guatemala, existen familias de curvas derivadas para varias estaciones del país, así como mapas de isolíneas con este tipo de información (INSIVUMEH, 2020).

$$I = \frac{A}{(t+B)^n} \quad (1)$$

$i$  = Intensidad de lluvia.

$t$ ,  $B$ ,  $n$  = Parámetros según curvas DIF (INSIVUMEH, 2020).

#### **2.8.1.1. Método racional**

Este método se basa en la fórmula mencionada por Kuichling (1889), utilizada para la determinación del escurrimiento pico para el diseño de una alcantarilla en Ronchester, Nueva York. La recomendación hecha por (Kuichling, 1889) ha sido aceptada por la comunidad profesional, siendo en la actualidad el método más utilizado para el diseño de alcantarillas pluviales, caudal máximo de cuencas pequeñas.

El método se basa en la siguiente ecuación:

$$Qp = 0.278 CiA \quad (2)$$

Qp= gasto de diseño (m<sup>3</sup>/s)

C= coeficiente de escurrimiento

i= intensidad de lluvia de diseño mm/hr)

A= área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

0.278= factor de conversión

## **2.9. Calidad química de las aguas**

La calidad química del agua está condicionada por su origen y por los procesos fisicoquímicos que se desarrollan en sus diversos recorridos. Generalmente el origen del agua subterránea es la infiltración del agua de lluvia. La calidad del agua natural es incierta, es por ello la necesidad de conocer las características del agua superficial, frente a la posible contaminación de las aguas subterráneas (González, 2002).

Cuando los contaminantes alcanzan el suelo, comienza el mecanismo de infiltración y se producen una serie de cambios físicos y químicos (González, 2002).

### **2.9.1. Contaminación de las aguas subterráneas**

Es el deterioro de su calidad natural debido a actividades o acciones antrópicas. Estas actividades dan nombre al tipo de contaminación (urbana, agrícola, ganadera, industrial, entre otros). La principal causa de contaminación es por la infiltración o vertido de las aguas superficiales con cierto grado de contaminación sobre el suelo (González, 2002).

## 2.10. Infiltración de agua superficial

La infiltración del agua superficial en el suelo se define de acuerdo con las siguientes características.

### 2.10.1. Capacidad de infiltración

La cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones se le denomina capacidad de infiltración y es el proceso por el cual el agua penetra en los estratos de la superficie del suelo y se mueve hacia el manto freático. El agua primero satisface la deficiencia de humedad del suelo y, después cualquier exceso pasa a formar parte del agua subterránea (SIAPA, 2014).

Esta capacidad se expresa generalmente en litros por segundo por metro cuadrado de superficie permeable.

Tabla IV. Permeabilidad según el tipo de suelo

MATERIAL	POROSIDAD %	RENDIMIENTO ESPECIFICO %	PERMEABILIDAD INTRINSECA D(DARCYS)	PERMEABILIDAD	
				UNIDADES MEINZER	m <sup>3</sup> /DIA/m <sup>2</sup>
ARCILLA	45	3	0.0005	0.01	0.0004
ARENA	35	25	50.00	1000.00	41.00
GRAVA	25	22	5000.00	100000.00	4100.00
GRAVA Y ARENA	20	16	500.00	10000.00	410.00
ARENISCA	15	8	5.00	100.00	4.10
CALIZAS DENSAS	5	2	0.05	1	0.041
CUARZO GRANITO	Y 1	0.5	0.0005	0.01	0.0004

UN DARCY =  $0.987 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$   
UN MEINZER =  $0.0408 \text{ m}^3 / \text{dm}^2$  con gradiente unitario.

Fuente: SIAPA, (2014). *Infiltración pluvial*.

## **2.11. Estructuras para aguas superficiales**

Las estructuras para los sistemas de infiltración de agua superficial se pueden clasificar de la siguiente manera:

### **2.11.1. Pozos de infiltración contruidos *in-situ***

El sistema de construcción es regularmente de tabiques o concreto, los cuales son circulares, de profundidad variable y sus paredes presentan orificios por el sistema constructivo, salvo en la parte superior que se construye continua. Alrededor del pozo deberá tener un filtro de grava, con un mínimo de 5 cm de espesor (SIAPA, 2014).

### **2.11.2. Pozos de infiltración prefabricados**

Los pozos de infiltración pueden ser prefabricados, los cuales tendrán características similares a los fabricados en el lugar. Además, existen sistemas de infiltración a base de cámaras prefabricadas de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) cuya disposición es de construcción horizontal (SIAPA, 2014).

### **2.11.3. Desarenadores**

Son estructuras de concreto contruidos generalmente en sistemas de tratamiento de aguas superficiales o aguas servidas, su función principal es la de separar del agua, la arena y cualquier partícula gruesa que se encuentre en suspensión, con el fin de evitar que estos produzcan taponamientos en tuberías, bombas, o sobrecarguen las demás estructuras con sólidos que podrían sedimentarse. En condiciones ideales un desarenador, retiene las partículas cuyo tamaño es mayor a 0.2 mm (OPS, 2005).

#### **2.11.4. Tanques de infiltración**

Son estructuras de concreto armado o *block*, construidos generalmente en sistemas que contemplan la disminución de las aguas superficiales, su función primaria es la de disminuir la velocidad del flujo, ayudando al amortiguamiento del agua, para que al estar en reposo facilite el proceso de infiltración. Su tipología está directamente relacionada a las características de los suelos del lugar.

#### **2.12. Erosión**

Conjunto de procesos geológicos que modifican las formas del suelo o de las rocas (González, 2002). La erosión se relaciona con el transporte de materiales, y esto es debido a que son los agente erosivos geológicos o geomorfológicos, los encargados de separar los materiales de su lugar de origen y transportarlo en otros lugares.



### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Enfoque del estudio**

El enfoque de la investigación fue del tipo cuantitativo, consistió en la recolección y análisis de datos de manera sistemática y ordenada para ser procesadas, y mediante análisis e interpretación de datos numéricos, realizar la clasificación de suelos.

La investigación cuantitativa proporcionó una descripción detallada de las características de los suelos del parque El Calvario, obteniendo parámetros específicos para realizar la clasificación del suelo por medio del método del sistema unificado de clasificación de suelos.

#### **3.2. Alcance del estudio**

Por tratarse de una caracterización de suelos se utilizó el método descriptivo, el cual ayudo a detallar la formación y las características de los suelos en el área urbana en Quetzaltenango, los orígenes, causas y consecuencias del problema de investigación se realizó por medio de la revisión documental, datos del área en estudio y antecedentes de estudios previos, apoyados con documentación de este problema en otras ciudades.

Al determinar las características geotécnicas del suelo por medio de los ensayos de laboratorio, y la calidad del agua superficial por medio del ensayo fisicoquímico, se realizó el análisis de datos obtenidos; humedad natural (%), granulometría (%), coeficiente de permeabilidad (cm/s), calidad del agua (mg/l),

para determinar la factibilidad de que parte del caudal se infiltre en un área del parque.

### **3.3. Diseño del estudio**

El diseño de la investigación fue del tipo no experimental debido a que se realizó recolección, análisis e interpretación de datos. El desarrollo de la investigación se llevó a cabo de la siguiente manera:

#### **3.3.1. Levantamiento topográfico**

Se realizó un levantamiento topográfico con estación total con el fin de obtener los datos de planimetría y altimetría del área del parque, delimitando el área perimetral, obteniendo curvas de nivel, cotas de ingreso y salida de las estructuras hidráulicas existentes, perímetro de banquetas y áreas de concreto, delimitación de áreas verdes, ubicación de instalaciones eléctricas, etc. Después de realizar el levantamiento, se procedió a realizar los trabajos de gabinete consistentes en los cálculos matemáticos de áreas, para poder determinar la mejor ubicación de los sistemas de infiltración.

#### **3.3.2. Muestreo**

Con base en los datos obtenidos en el levantamiento topográfico, se establecieron cuáles eran las mejores áreas para poder realizar dos perforaciones para extraer las muestras de suelo, a una profundidad máxima de 4 metros, tomando en consideración la recomendación realizada por en donde determinó que los suelos del sector, posterior a los 4 metros tienen una permeabilidad alta facilitando el proceso de infiltración del agua, las muestras extraídas sirvieron para realizar los ensayos de suelos en el laboratorio,

determinando sus propiedades geotécnicas, obteniendo la clasificación de suelos en base a su permeabilidad, plasticidad, humedad natural y permeabilidad hidráulica (Bautista, 2014).

Para determinar la calidad del agua se tomó una muestra del agua superficial que se acumula en el parque para realizarle una prueba fisicoquímica en laboratorio, determinando la calidad del agua para su posible infiltración de acuerdo con las normas COGUANOR vigentes.

### **3.3.3. Técnicas utilizadas**

La extracción de muestras de suelo se realizó mediante perforación de pozos obteniendo muestras alteradas, la toma de muestra de agua superficial se llevó a cabo con recipientes especiales, para mantener las características naturales del agua en el punto en donde se acumula, posteriormente fueron procesadas en laboratorios.

La técnica utilizada en laboratorio para la obtención de la granulometría del suelo fue por medio del método de tamizado mecánico, previamente se pesó y secó el suelo para poder determinar su humedad natural, para los límites de Atterberg se utilizó el método de la copa de Casagrande, y para la permeabilidad hidráulica se realizaron pruebas de infiltración en campo consistente en pozos de 0.30m x 0.30m x 0.30m, en donde se midieron las velocidades de infiltración a diferentes profundidades.

### 3.3.4. Análisis de variables

El análisis de las variables se hizo de acuerdo con modelos estadísticos ya establecidos, relacionando cada una con su definición teórica y operativa.

Tabla V. **Tabla de variables**

Variables	Definición Teórica	Definición Operativa
Granulometría	Es la distribución de los diferentes tamaños de partículas que componen un suelo.	%
Plasticidad	Es la propiedad de los suelos, de cambiar su consistencia causado por el agua.	%
Humedad Natural	Es la relación existente entre el suelo y el peso del agua.	%
Permeabilidad Hidráulica	Es la propiedad que tienen los suelos, de retener o transmitir el agua.	cm/s
Calidad Química del agua	Son las características físicas y químicas del agua.	mg/l

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Fases del estudio

Las fases de estudio que comprendieron la investigación se dividieron de la siguiente manera:

#### 3.4.1. Fase I: revisión documental

En esta etapa se desarrolló la investigación y el análisis de estudios previos, se analizaron las características del suelo de áreas cercanas al lugar en donde se efectuó el estudio, se revisó y analizó el fundamento teórico y cómo ha evolucionado este problema al transcurrir los años a nivel mundial. La revisión documental permitió tener un amplio fundamento teórico, y el utilizar de base estudios similares, que abordaban problemáticas parecidas a la investigación que

se estaba desarrollando, permitió determinar cuál sería el proceso más adecuado para desarrollar la investigación.

### **3.4.2. Fase II: caracterización del suelo**

En esta fase se desarrolló el plan de muestreo consistente en la extracción de muestras de suelo de acuerdo con las normativas ASTM vigentes, en una profundidad entre 0.50 m y 4.00 m según recomendaciones de estudios previos (Bautista, 2014), en el laboratorio se realizaron los ensayos de granulometría, plasticidad, humedad natural, para poder determinar las características geotécnicas del suelo y clasificar el suelo de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

#### **3.4.2.1. Procedimiento de extracción**

En este tipo de ensayos no se necesita que la muestra sea inalterada, es decir que conserve sus propiedades naturales al momento de la extracción, de acuerdo con lo establecido en la norma se procede de la siguiente manera:

Se excavó un agujero de 1.00m x 1.00m, la primera muestra se tomó a 0.50m, la siguiente a 1.50m, la siguiente a 3.00m y la última a 4.00m. Se colocaron en bolsas plásticas, para que no perdieran sus propiedades de humedad natural, se etiquetaron identificando el número de pozo, la profundidad, fecha del muestreo, número, localización de la perforación, profundidad y georreferencia de la muestra.

### **3.4.2.2. Metodología utilizada en laboratorio**

El objetivo de este procedimiento es dividir en el laboratorio la muestra de suelo obtenida en campo, en porciones iguales las cuales permitan desarrollar de buena manera los distintos ensayos (MOPC, 2009). Se estableció previamente que el método a utilizar para determinar la granulometría es el método de tamizado mecánico, con lo cual se requirió una muestra representativa.

En general la muestra de suelo obtenida es de un peso aproximado de 10 kg (25 libras). Los pasos por seguir son:

- Se coloca la muestra obtenida en campo, sobre una superficie plana, limpia y nivelada, para que no se pierda material ni se le adicione material, formando un montículo con el material (MOPC, 2009).
- Se aplanar el montículo de manera cuidadosa hasta tener un espesor uniforme y un diámetro definido, tratando de que cada cuarto de círculo (MOPC, 2009).
- Se divide la muestra en cuatro partes de círculo, tratando que contenga material con todos los tamaños originales de la muestra (MOPC, 2009).

Figura 13. **Procedimiento de laboratorio**



Fuente: [Fotografía de Erick Galdámez]. (Quetzaltenango, Guatemala. 2016)  
Colección personal. Guatemala.

### **3.4.2.3. Preparación en seco de muestras de suelo**

Este método consiste en la preparación de la muestra de suelo previo a su análisis granulométrico según la norma ASTM D421 y AASHTO T87, por medio del tamizado mecánico (MOPC, 2009).

Las muestras del suelo luego de ser sacadas de las bolsas plásticas deben ser secadas completamente en el aire (o en el horno a una temperatura no mayor de 38 °C (100 °F)). Los grumos deben ser disgregados completamente con un pisón forrado en caucho. Una muestra representativa de la cantidad requerida para ejecutar los ensayos deseados será entonces seleccionada por el método de cuarteo (MOPC, 2009).

### **3.4.3. Fase III: determinación de permeabilidad hidráulica**

Mediante el método establecido por la Organización Panamericana de la Salud -OPS- se desarrollaron pruebas de infiltración en cada pozo en donde se tomaron muestras para el laboratorio, estas pruebas consistieron en determinar la velocidad en la que el agua se desplazaba a través del suelo, con esto se pudo determinar los parámetros y características de absorción.

### **3.4.4. Fase IV: análisis de factibilidad**

Finalizada la revisión documental de estudios previos de problema similares y habiendo procesado y analizado los resultados obtenidos, producto de las pruebas de laboratorio y campo se realizó el análisis de factibilidad del sistema de infiltración de agua superficial, que mejor se adapte a las características geotécnicas del lugar.

## **3.5. Técnicas de análisis de información**

La técnica de análisis de información fue multivariada. El análisis de datos de las granulometrías utiliza varias técnicas en conjunto, en primer lugar utiliza la media aritmética con la variable de porcentaje (%) de granos retenidos en los diferentes tamices, esto permitió conocer el promedio de las características granulares y en segundo lugar la desviación estándar para determinar el tamaño de la distribución granulométrica, la presentación grafica de estos datos se realiza por medio de la curva granulométrica, para la plasticidad se utilizó la desviación estándar utilizando la variable de porcentaje (%), lo que permitió conocer la dispersión de puntos con respecto a la media y establecer la homogeneidad del suelo en sus diferentes estratos, para la humedad natural se utilizó la media aritmética utilizando la variable de porcentaje (%), esto permitió obtener el

promedio de las características del terreno en su estado natural, para los datos de permeabilidad se utilizó la media aritmética utilizando la variable de centímetros por segundo (cm/seg), esto permitió obtener el promedio de la velocidad de absorción del suelo, el análisis de estos datos permitió caracterizar los suelos en base a los múltiples parámetros que lo componen.

Para la representación gráfica de los datos se utilizaron histogramas y diagramas de dispersión para su análisis, con la ayuda de hojas electrónicas elaboradas en programas computacionales de ®Microsoft Excel y normas estandarizadas para la clasificación de suelos.



## 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Fase I: revisión histórica

En esta fase se hizo la revisión de los datos históricos de lluvia para la ciudad de Quetzaltenango. Dividiéndose de acuerdo con:

#### 4.1.1. Intensidad de lluvia para Quetzaltenango

Los datos de intensidad de lluvia en la ciudad de Quetzaltenango son tomados en la estación Labor Ovalle, la cual es operada por el INSIVUMEH, y que además se encarga de recabar todo tipo de información correspondiente al clima. Los datos de intensidad, duración, y frecuencia de la lluvia se encuentran referenciados a dicha estación. Según los datos históricos con los que cuenta el INSIVUMEH se han desarrollado las curvas DIF para esta estación, los cuales fueron tomados de base en los cálculos de las áreas tributarias, los que se presentan a continuación:

$$I = \frac{A}{(t+B)^n} \quad (1)$$

A, B y n= Según curvas de DIF, del INSIVUMEH.

t= Tiempo de concentración.

Tabla VI. **Intensidad de lluvia 1**

<b>Área tributaria No.1:</b>	
$i_2=550 / (27.27+5)^{0.813}$	<b><math>i_2=32.63</math> mm/h</b>
$i_5=6810 / (27.27+20)^{1.262}$	<b><math>i_5=52.45</math> mm/h</b>
$i_{10}=12930 / (27.27+25)^{1.357}$	<b><math>i_{10}=60.24</math> mm/h</b>
$i_{25}=24690 / (27.27+30)^{1.43}$	<b><math>i_{25}=75.63</math> mm/h</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Intensidad de lluvia 2**

<b>Área tributaria No.2:</b>	
$i_2=550 / (28.73+5)^{0.813}$	<b><math>i_2=23.34</math> mm/h</b>
$i_5=6810 / (28.73+20)^{1.262}$	<b><math>i_5=50.48</math>mm/h</b>
$i_{10}=12930 / (28.73+25)^{1.357}$	<b><math>i_{10}=58.03</math> mm/h</b>
$i_{25}=24690 / (28.73+30)^{1.43}$	<b><math>i_{25}=72.95</math> mm/h</b>

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2. Caudales de agua superficial que tributan hacia el parque

Los caudales se calculan tomando de base la formula racional, que es utilizada para el cálculo de agua superficial, considerando los coeficientes de acuerdo con el uso del suelo actual. Estos cálculos se realizan a continuación:

$$Qp = 0.278 CiA (2)$$

Q= Caudal en m<sup>3</sup>/s

C= Coeficiente de escorrentía

I= Intensidad de lluvia (mm/hora)

A= Área de la cuenca en km<sup>2</sup>

Tabla VIII. **Caudal 1**

<b>Área tributaria No.1:</b>	
$Q_{casas} = (0.40 * 75.63 * 0.225) / 3.6$	$Q_{casas} = 1.89 \text{ m}^3/\text{s}$
$Q_{calles} = (0.90 * 75.63 * 0.015) / 3.6$	$Q_{calles} = 0.28 \text{ m}^3/\text{s}$
$Q_{cultivos} = (0.20 * 75.63 * 1.37) / 3.6$	$Q_{cultivos} = 5.75 \text{ m}^3/\text{s}$
$Q_{bosques} = (0.05 * 75.63 * 0.08) / 3.6$	$Q_{bosques} = 0.08 \text{ m}^3/\text{s}$
$Q_{TOTAL} = 1.89+0.28+5.75+0.08$	$Q_{TOTAL} = 8.00 \text{ m}^3/\text{s}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Caudal 2**

<b>Área tributaria No.2:</b>	
$Q_{casas} = (0.40 * 72.95 * 0.14) / 3.6$	$Q_{casas} = 1.13 \text{ m}^3/\text{s}$
$Q_{calles} = (0.90 * 72.95 * 0.08) / 3.6$	$Q_{calles} = 0.13 \text{ m}^3/\text{s}$
$Q_{cultivos} = (0.20 * 72.95 * 2.173) / 3.6$	$Q_{cultivos} = 8.81 \text{ m}^3/\text{s}$
$Q_{TOTAL} = 1.13+0.13+8.81$	$Q_{TOTAL} = 10.07 \text{ m}^3/\text{s}$
<b>Total Acumulada= 18.07 m<sup>3</sup>/s</b>	

Fuente: elaboración propia.

## 4.2. Fase II: caracterización del suelo

Los suelos fueron caracterizados de acuerdo con la siguiente clasificación:

### 4.2.1. Granulometría

La estructura granulométrica del suelo está compuesta inicialmente por una capa de suelo vegetal hasta aproximadamente 0.40 m, y luego una franja de suelo con similares características hasta llegar a 4.00 m de profundidad, continuando con franjas de distintos materiales. Los suelos que componen el área del parque en su mayoría son arenas con demasiado contenido de finos, de acuerdo sus características determinadas por medio del sistema unificado de

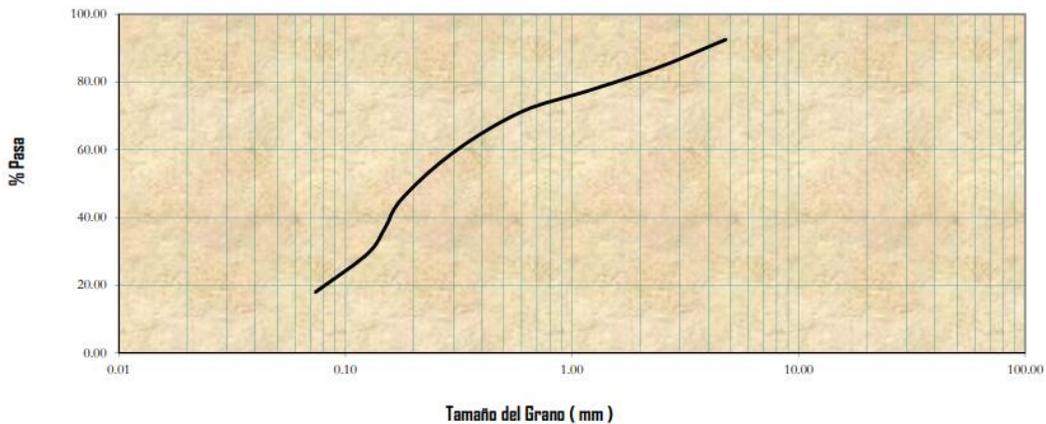
clasificación de suelos, estas partículas finas son en su mayoría limos, lo cual clasifica a estos suelos como arenas limosas.

Tabla X. **Clasificación granulométrica pozo 1**

Altura (m)	Clasificación
0.50	SM: Arena Limosa
1.00	SM: Arena Limosa / SP: Bien Graduada
1.50	SM: Arena Limosa
2.00	SM: Arena Limosa
2.50	SM: Arena Limosa
3.00	SM: Arena Limosa

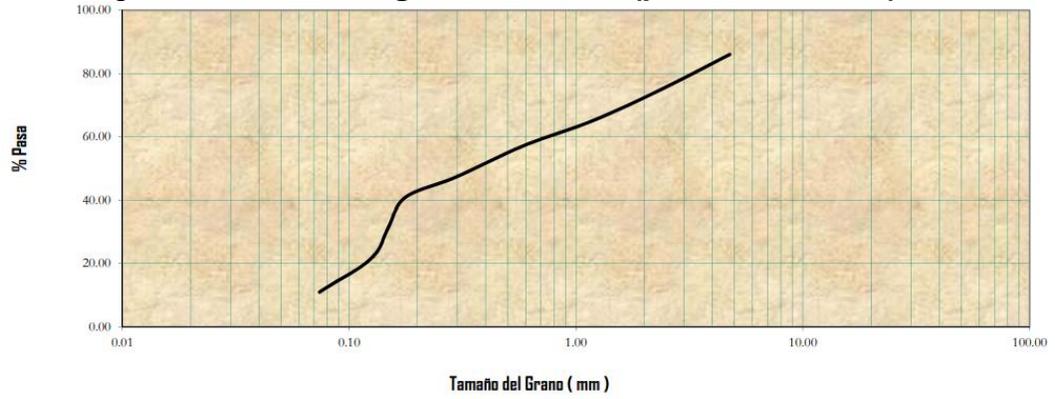
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Curva granulométrica (pozo 1, h=0.50m)**



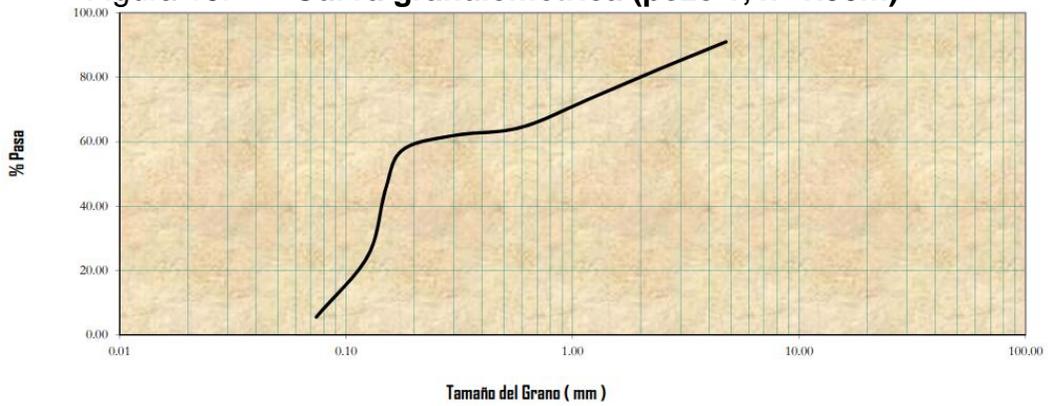
Fuente: elaboración propia.

**Figura 15. Curva granulométrica (pozo 1, h=1.00m)**



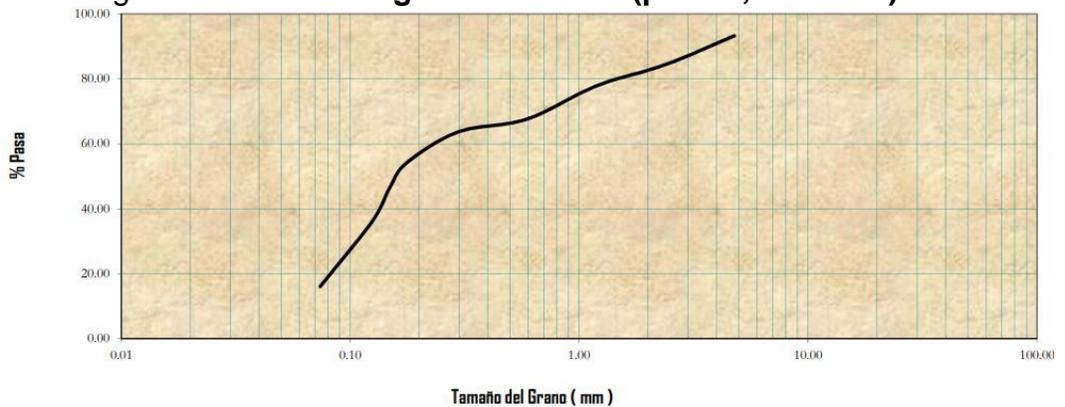
Fuente: elaboración propia.

**Figura 16. Curva granulométrica (pozo 1, h=1.50m)**



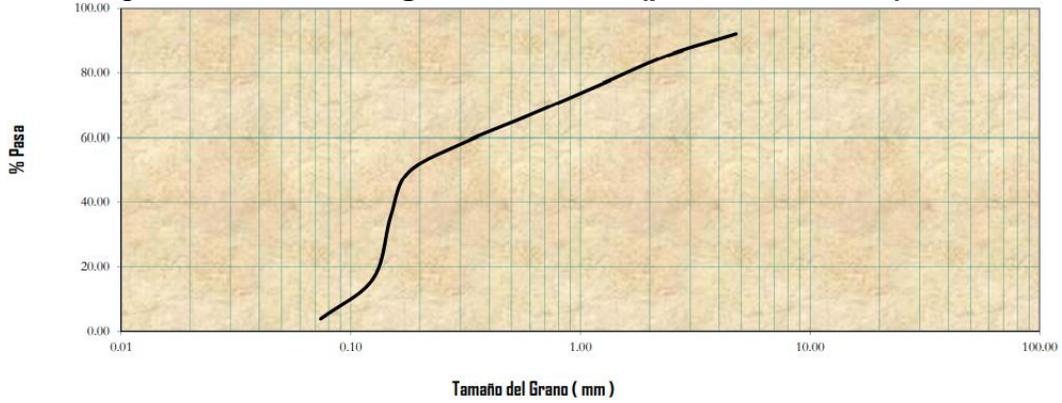
Fuente: elaboración propia.

**Figura 17. Curva granulométrica (pozo 1, h=2.00m)**



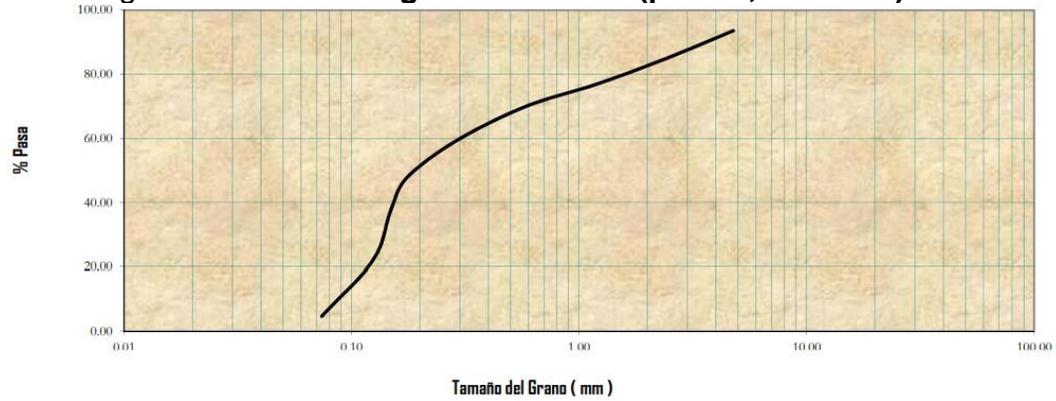
Fuente: elaboración propia.

**Figura 18. Curva granulométrica (pozo 1, h=2.50m)**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 19. Curva granulométrica (pozo 1, h=3.00m)**



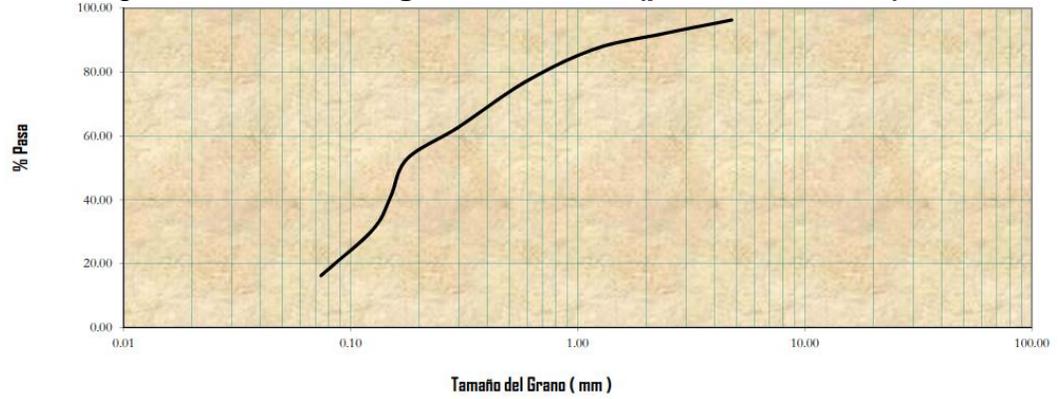
Fuente: elaboración propia.

**Tabla XI. Clasificación granulométrica pozo 2**

Altura (m)	Clasificación
1.00	SM: Arena Limosa
2.00	SM: Arena Limosa
4.00	SM: Arena Limosa

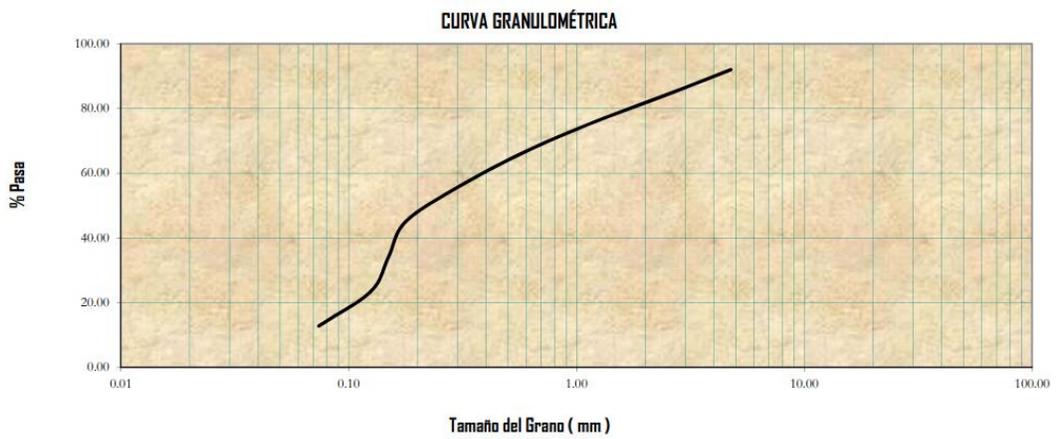
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Curva granulométrica (pozo 2, h=1.00m)**



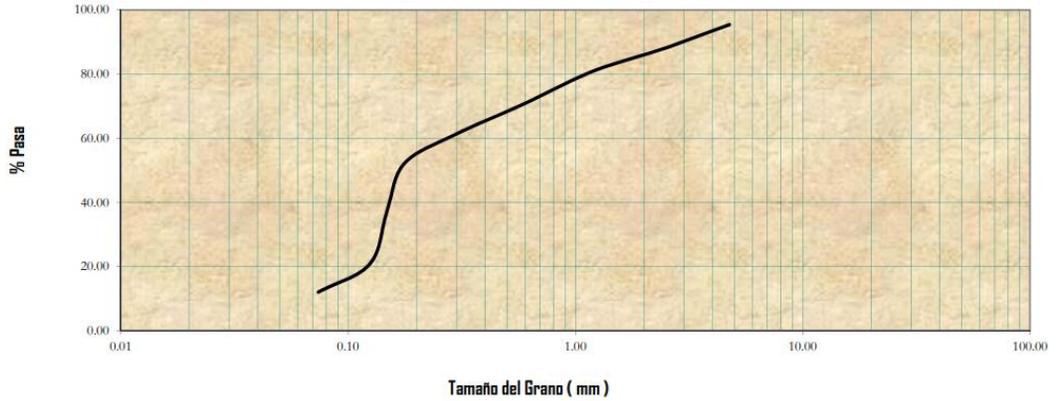
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Curva granulométrica (pozo 2, h=2.00m)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Curva granulométrica (pozo 2, h=4.00m)**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2. Plasticidad

De acuerdo con los parámetros de plasticidad encontrados los suelos contienen una gran cantidad de partículas finas, estos suelos por su composición resultan tener índices de plasticidad baja y una consistencia en promedio media dura. La porosidad de estos suelos es baja debido a sus condiciones de consolidación en estado natural.

Tabla XII. **Plasticidad pozo 1**

Altura (m)	Consistencia
0.50	Baja Plasticidad, Semi dura
1.00	Baja Plasticidad, Semi dura
1.50	Baja Plasticidad, Media dura
2.00	Baja Plasticidad, Suave
2.50	Baja Plasticidad, Semi dura
3.00	Baja Plasticidad, Viscosa

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Plasticidad pozo 2**

Altura (m)	Consistencia
1.00	Baja Plasticidad, Media dura
2.00	Baja Plasticidad, Media dura
4.00	Baja Plasticidad, Media dura

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3. Humedad natural

De acuerdo con los parámetros encontrados en los suelos, en promedio estos contienen un 25 % de humedad en su estado natural.

Tabla XIV. Porcentaje de humedad

Observaciones :		Ubicación : P-1			Ubicación : P-1			Ubicación : P-2		
		Profundidad:			Profundidad:			Profundidad:		
		0.50 m	1.00 m	1.50 m	2.00 m	2.50 m	3.00 m	1.00 m	2.00 m	4.00 m
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Recipiente + Muestra Húmeda	gr	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Peso Recipiente + Muestra Seca	gr	87.12	88.35	86.65	87.34	88.20	90.45	86.50	92.10	90.78
Peso (Recipiente)	gr	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Peso (Muestra Seca)	gr	47.12	48.35	46.65	47.34	48.20	50.45	46.50	52.10	50.78
Peso (Agua)	gr	12.88	11.65	13.35	12.66	11.80	9.55	13.50	7.90	9.22
Contenido de Humedad	%	27.33	24.10	28.62	26.74	24.48	18.93	29.03	15.16	18.16
Promedio		26.68			23.38			20.78		

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3. Fase III: permeabilidad hidráulica

De acuerdo con los parámetros encontrados en los suelos, el promedio de velocidades de infiltración es de 0.00021 cm/seg, lo que lo hace un suelo clasificado como arena limosa con una capacidad poco permeable.

Tabla XV. Permeabilidad hidráulica pozo 1

Pozo No.	l	Infiltración (cm3)	gradiente	Tiempo (s)	Area de muestra	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad
		0.0072	1.00	516.78	0.09	0.00015	
Área de muestra=	0.09	0.0054	1.00	506.12	0.09	0.00012	
Altura=	0.3	0.00675	1.00	497.67	0.09	0.00015	
Gradiente hidráulico:	1	0.0108	1.00	504.53	0.09	0.00024	
		0.009	1.00	512.91	0.09	0.00019	
		0.0099	1.00	502.31	0.09	0.00022	
Valor promedio de K						0.00018	
Características según K	Permeabilidad relativa		Valores de K (cm/seg)		Suelo típico		
	Muy Permeable		> 0.1		Grava gruesa		
	Moderadamente Permeable		0.1 a 0.001		Arena, arena fina		
	Poco permeable		0.003 a 0.00001		arena limosa, arena sucia, arena bien graduada		
	Muy poco Permeable		0.00001 a 0.000001		Limo y arenisca fina		
Impermeable		< 0.0000001		Arcilla			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Permeabilidad hidráulica pozo 2

Pozo No.	Infiltración (cm <sup>3</sup> )	gradiente	Tiempo (s)	Area de muestra	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad
2	0.0081	1.00	498.56	0.09	0.00018	
Área de muestra= 0.09	0.0072	1.00	494.56	0.09	0.00016	
Altura= 0.3	0.00828	1.00	493.47	0.09	0.00019	
Gradiente hidráulico= 1	0.0135	1.00	475.02	0.09	0.00032	
	0.0135	1.00	412.34	0.09	0.00036	
	0.0117	1.00	434.45	0.09	0.00030	
Valor promedio de K					0.00025	
Características según K	Permeabilidad relativa		Valores de K (cm/seg)		Suelo típico	
	Muy Permeable		> 0.1		Grava gruesa	
	Moderadamente Permeable		0.1 a 0.001		Arena, arena fina	
	Poco permeable		0.003 a 0.00001		arena limosa, arena sucia, arena bien graduada	
	Muy poco Permeable		0.00001 a 0.000001		Limo y arenisca fina	
	Impermeable		< 0.0000001		Arcilla	

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Fase IV: análisis de factibilidad

De acuerdo con las características fisicoquímicas del agua superficial se pudo determinar:

##### 4.4.1. Calidad química del agua pluvial acumulada

Se obtuvo que el agua presenta una turbidez alta de acuerdo con el parámetro permisible, un pH fuera del parámetro permisible y con contenido de coliformes totales.

Tabla XVII. Características químicas del agua

						COGUANOR NTG 29001	
CODIGO	PARAMETRO	Método Ref. (Rango)	RESULTADO	UN.	LMA	LMP	
<b>1. PROPIEDADES FISICAS Y AGREGADOS</b>							
FYA1	Color aparente/real	SM 2120 (3-200)	2601/162	UC	5	35	
FYA2	Turbidez	SM 2130 (0-1000)	148	NTU	5	15	
FYA3	Olor	SM 2150	R.		N.R.	N.R.	
FYA5	Temperatura Insitu		---	°C			
FYA8	Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	SM 2340-C (0-25,000)	109.6	mg/L	100	500	
FYA9	Conductividad / Salinidad	SM 2510 (0.00-19.99)	342	µS/cm	750	1500	
FYA12	Sólidos Disueltos Totales	SM 2540-C (0-50,000)	147	mg/L	500	1000	
FYA13	Sólidos Suspendidos Totales*	SM 2540-D	255	mg/L	-	-	
FYA15	Sólidos Sedimentables*	SM 2540F	0.1	mL/L	-	-	
<b>2. METALES</b>							
MTL7	Calcio	SM 3500-Ca-B (0-25,000)	30.44	mg/L	75	150	
MTL10	Hierro total	SM 3500-Fe (0.02-3.00)	0.07	mg/L	0.3	-	
MTL11	Magnesio	SM 3500-Mg-B	8.145	mg/L	50	100	
MTL12	Manganeso	SM 3500-Mn (0.1-20.0)	< 0.1	mg/L	0.1	0.4	
<b>3. INORGANICOS NO METALES</b>							
NMI2	Cianuro	SM 4500-CN (0.002-0.24)	< 0.002	mg/L	-	0.07	
NMI4	Cloro Residual libre	SM 4500-Cl-G (0.02-2.00)	< 0.02	mg/L	0.5	1	
NMI5	Cloruro	(0.1-25.0)	12.1	mg/L	100	250	
NMI6	Fluoruro	SM 4500-F-D (0.02-2.00)	0.61	mg/L	-	1.5	
NMI7	pH	SM 4500-H+ (0-14)	6.12	Log	7.0-7.5	6.5-8.5	
NMI9	Nitrato	SM 4500-NO <sub>3</sub> -E (0.3-30.0)	1.9	mg/L	-	50	
NMI10	Nitrito	SM 4500-NO <sub>2</sub> -B (0.002-0.300)	0.258	mg/L	-	3	
NMI16	Sulfato	SM 4500-SO <sub>4</sub> -2-E (2-70)	11	mg/L	100	250	
<b>3. MICROBIOLÓGICOS</b>							
MCB2	Coliformes Totales	SM 9222 B	3.5*10 <sup>4</sup>	UFC/100mL	0	0	

Fuente: elaboración propia.



## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y FACTIBILIDAD TÉCNICA**

### **5.1. Discusión de resultados**

El análisis y discusión de resultados se divide en:

#### **5.1.1. Fase I: revisión histórica**

De acuerdo con la revisión histórica efectuada y el cálculo de precipitación pluvial para la ciudad de Quetzaltenango, se pudo determinar que el caudal de agua superficial que se acumula es alto para el sistema actual lo que hace imposible de evacuar de manera eficiente, por lo que se hace necesario contar con un sistema complementario (sistema de infiltración) que ayude al sistema de drenajes actual. Esta combinación de sistemas permitirá que la acumulación de agua superficial durante eventos de lluvia de gran magnitud sea gestionada de manera eficiente. La confiabilidad de los datos obtenidos es alta ya que fueron obtenidos de la estación meteorológica Labor Ovalle, debido a que se cuenta con un sistema de monitoreo que registra los datos históricos de precipitación llevando un registro de antecedentes y proyecciones, lo que permite que puedan ser verificados y comprobados en cualquier época del año.

#### **5.1.2. Fase II: caracterización del suelo**

De acuerdo con la clasificación granulométrica de los suelos encontrados en las muestras extraídas en el parque El Calvario han dado como resultado que en su mayoría son suelos clasificados como: SM Arenas Limosas que son suelos

que por sus características presentan una baja cohesión, lo que permite que exista movimiento de agua para ser infiltrada, sin embargo, estas están relacionadas con su grado de consolidación. Según su consistencia son suelos clasificados como: baja plasticidad, reteniendo un poco el agua en cierta manera y haciendo más lenta su circulación, sin embargo sus características limosas evita que cambie su volumen o existan deformaciones. Según su permeabilidad son suelos poco permeables, esto significa que permiten la infiltración de agua a velocidades lentas, lo que haría que el volumen de filtración en un evento de gran intensidad de lluvia sea mínimo durante las primeras horas.

Su porcentaje de humedad en estado natural es en promedio del 24 %, siendo en los primeros metros un poco más y a manera que va profundizándose comienza a disminuir, lo que nos indica que a mayor profundidad mayor será el porcentaje de absorción. En general el suelo puede ser utilizado como un sistema de infiltración, que permita mitigar las inundaciones que se producen en el área que ocupa el parque. La confiabilidad de los resultados es alta, debido a que las muestras de suelos fueron manejadas de acuerdo con las normativas internacionales establecidas, procesándolas en laboratorio y manteniendo los márgenes de error por debajo de lo establecido. Los datos son totalmente reproducibles en cualquier época del año, en las mismas condiciones en que fueron elaboradas.

De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye que según su caracterización geotécnica el suelo del parque El Calvario está compuesto en su mayoría por suelos arenosos limosos con una plasticidad baja, una humedad natural en promedio del 24 %.

### **5.1.3. Fase III: permeabilidad hidráulica**

Según la permeabilidad de estos tipos de suelos son poco permeables, siendo poca su capacidad de infiltración cuando se encuentran saturados. La confiabilidad de los resultados es alta, debido a que la prueba de campo realizada se llevó a cabo en las condiciones más extremas de saturación que un suelo puede experimentar, por lo que los datos son totalmente reproducibles en cualquier época del año, en las mismas condiciones en que fueron elaboradas.

Se concluye que el suelo es poco permeable, lo que dificulta el movimiento del agua a través de su estructura, siendo poca su capacidad de infiltración en las primeras horas de un evento de lluvia prolongado, sin embargo, el caudal que podría infiltrarse es considerable, por lo que contribuiría a disminuir la problemática de las inundaciones en el área.

### **5.1.4. Calidad química del agua**

La calidad superficial del agua está determinada por las interacciones entre el suelo, los sólidos transportados (orgánicos, sedimentos), las rocas, el agua subterránea y la atmósfera. El análisis fisicoquímico permite determinar si la calidad de agua que llega al lugar es buena para no contaminar el manto freático de la zona. El análisis para determinar la calidad se hizo de acuerdo con los parámetros establecidos en las normas COGUANOR. Las características del agua superficial que se acumula hacia el parque son con poco contenido de sedimentos, los cuales son arrastrados hacia el punto de investigación y son producto de la erosión ocasionada por la lluvia.

Estos sedimentos en su mayoría están compuestos por arenas que son arrastrados por el flujo del agua. Otra de las características del agua es su alto

índice de turbiedad, el cuál es causado por las partículas de suelo fino como limos y arcillas que son arrastrados por el agua y que se encuentran suspendidos. Su pH encuentra por debajo del límite máximo admisible lo que la hace un agua acida. La presencia de coliformes totales indica que existe una contaminación en el agua, por lo que deberá de existir un tratamiento.

En conclusión, la calidad del agua no es la adecuada para un sistema de infiltración con pozos profundos, debido a que podría contaminar el acuífero, por lo que sería necesario un tratamiento previo a su infiltración.

## **5.2. Fase IV: análisis de factibilidad técnica**

El análisis de factibilidad técnica realizada está compuesto por:

### **5.2.1. Descripción del proyecto**

Con la investigación realizada se desarrolló el dimensionamiento de un sistema de infiltración con caudal controlado, de acuerdo con las características del suelo del parque El Calvario. El sistema en conjunto está compuesto de la siguiente manera:

- Una caja de entrada con rejas para ayudar a eliminar la basura o desechos que, por la velocidad de la corriente puedan ser arrastrados hacia las tuberías de ingreso, las rejas serán de acero inoxidable para prolongar su vida útil.
- Desarenador de concreto, el cual tiene como función principal eliminar la mayor cantidad de arenas que contenga el agua superficial, evitando así que

estas partículas puedan colmatar el fondo del tanque de infiltración y las paredes de los pozos de absorción.

- Tanque de infiltración, el cual tendrá como función principal ayudar a disipar la acumulación del agua superficial, estará formado por cámaras de concreto reforzado con lechos filtrantes con geotextil que permitirán la circulación del agua a través del suelo, mitigando así el exceso de agua acumulada.

Pozos de absorción de ladrillo y concreto, que funcionaran como rebalse del tanque de infiltración, se estima que tendrán la capacidad de infiltrar aproximadamente de 10-45 m<sup>3</sup>, por lo que se espera que sean construidos un total de 10 pozos.

### **5.2.2. Características geotécnicas del área**

La infraestructura que formará el sistema será construida a una profundidad superior a los 4.00 m en el caso de los pozos de absorción, ya que la estructura del suelo a partir de 1.50 m es de características similares con contenidos de limo, por tal razón las velocidades de infiltración son casi las mismas. Si bien es cierto, estos suelos tienen una velocidad baja de infiltración se considera que puede contribuir de buena manera a reducir el exceso de agua superficial, y debido al tipo de estructura hidráulica no necesita que el suelo en donde se construya tenga una alta capacidad soporte.

El resto de las obras del sistema se construirán a una altura máxima de 4.00 m, sobre suelos con las mismas características antes descritas. Este tipo estructuras son de concreto armado, apoyadas sobre el suelo, y no requieren un valor soporte alto. Por lo anterior, se considera que el área en estudio cumple

con las condiciones geotécnicas necesarias, para que se pueda desarrollar el proyecto del sistema de infiltración de agua de lluvia.

De acuerdo con las condiciones actuales del suelo es posible que se lleve a cabo la infiltración de un caudal de aproximadamente 900 m<sup>3</sup> durante un evento de lluvia de gran intensidad, los cuales serán distribuidos en el tanque de infiltración y un caudal de rebalse a una velocidad moderadamente baja distribuidos en los 10 pozos de absorción alrededor del parque, considerando que ese será el caudal de diseño, utilizado para las estructuras que permitirán la infiltración.

Después del análisis efectuado de las condiciones geotécnicas del suelo, se considera que sus condiciones son adecuadas para que pueda ser utilizado como sistema de infiltración.

### **5.2.3. Condiciones constructivas**

El desarrollo del proyecto del sistema de infiltración de agua de lluvia está compuesto principalmente de obras subterráneas, las cuáles en general estarán colocadas en suelos con capacidad soporte suficiente y las condiciones geológicas adecuadas que permitan su construcción.

Por ubicarse el proyecto dentro del casco urbano de Quetzaltenango, el abastecimiento de materiales tales como: agregados, aglutinantes, aceros, y accesorios, es de forma directa y rápida. No se requieren fuentes externas para el abastecimiento de materiales. El material por utilizar deberá de cumplir con los estándares establecidos en las normas COGUANOR, y estándares internacionales para garantizar las buenas prácticas constructivas. La mano de obra que se encuentra en el lugar es No calificada y calificada.

De acuerdo con las condiciones constructivas y técnicas, se considera que es factible la construcción del sistema de infiltración. Sin embargo, por ser un proyecto que debe ser gestionado directamente por el gobierno local, se considera que la gestión del financiamiento es más factible de llevar a cabo a través de cooperantes internacionales, debido al tipo de proyecto.



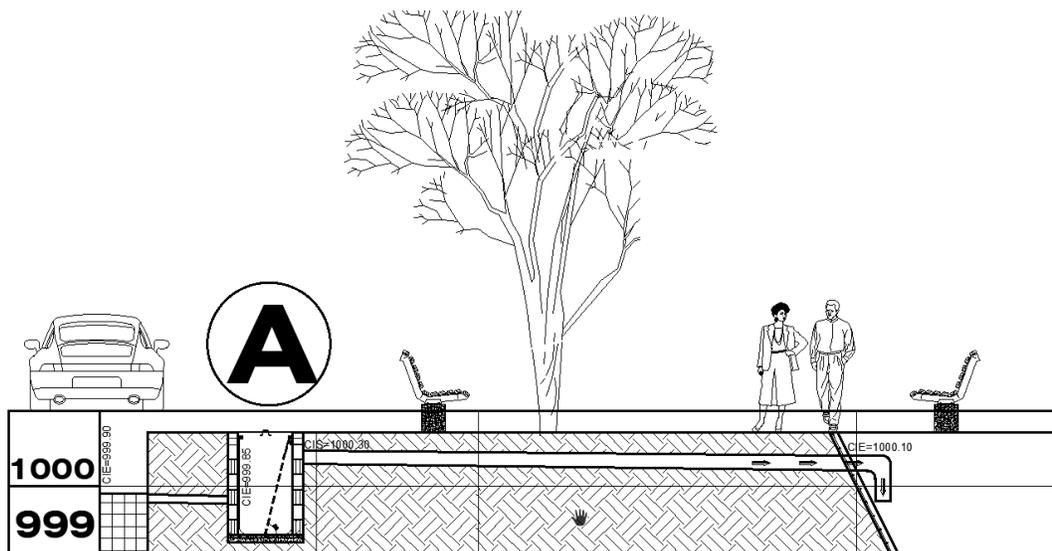
## 6. DISEÑO DEL SISTEMA DE INFILTRACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

### 6.1. Caja de entrada

La caja de entrada es una estructura hidráulica complementaria, que se ubica al inicio del sistema. Su función principal consiste en retener basura o cualquier tipo de objeto, que pueda ocasionar un taponamiento a las tuberías de conducción de agua.

El sistema constructivo consiste en block de 35 kg/cm<sup>2</sup> con pines fundidos entrelazados con eslabones con hierro No.2, una rejilla metálica con angular de 1”.

Figura 23. Sección caja de entrada



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

## 6.2. Desarenador

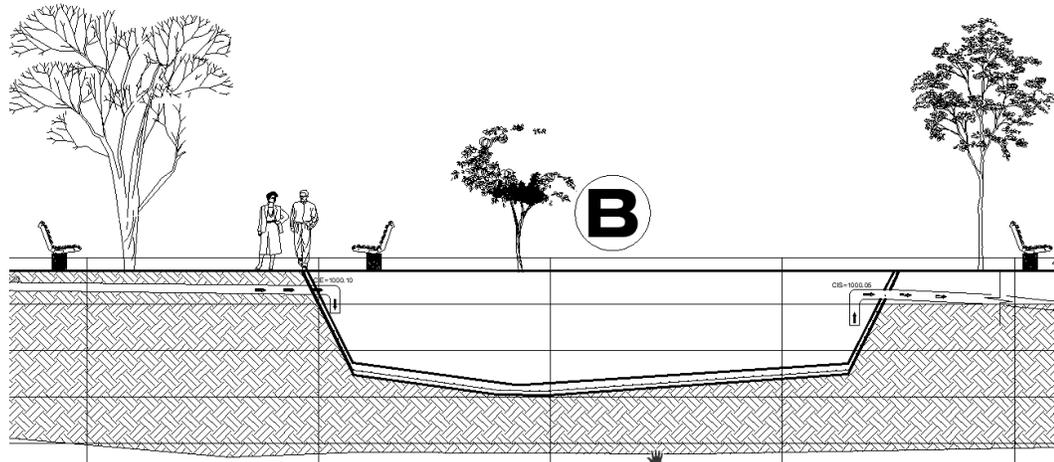
Es la segunda estructura hidráulica en importancia en este sistema, ya que, de esta obra depende en gran manera la vida útil de los pozos de absorción. Su función consiste en decantar el agua superficial para que las arenas sean depositadas en el fondo del desarenador y estas no colmaten las paredes de los pozos.

Su sistema constructivo consiste en una estructura con paredes de concreto armado. La cámara de sedimentación debe disminuir la velocidad del flujo para que las partículas del suelo caigan al fondo, los rangos de velocidades necesarios para el correcto funcionamiento son: para arcillas 0.081 m/s, para arena fina 0.16 m/s, y para arenas gruesas 0.216 m/s. Por lo que el diseño del desarenador se efectuó para que funcione con una velocidad de 0.1 m/s y 0.4 m/s, con una profundidad de entre 2-4 metros.

Se instalarán dos desarenadores los cuáles en su parte interior se le construirán una cortina que distribuya el caudal en dos porciones iguales, las que se conectarán con una tubería de 24" hacia el tanque de infiltración.

El éxito del buen funcionamiento de esta estructura radica en la frecuencia en el periodo de mantenimiento que se le aplique, ya que durante eventos de lluvia prolongados como los que han ocurrido en los últimos años en Quetzaltenango, esta estructura podría colapsar si su mantenimiento no es continuo.

Figura 24. Sección desarenador



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

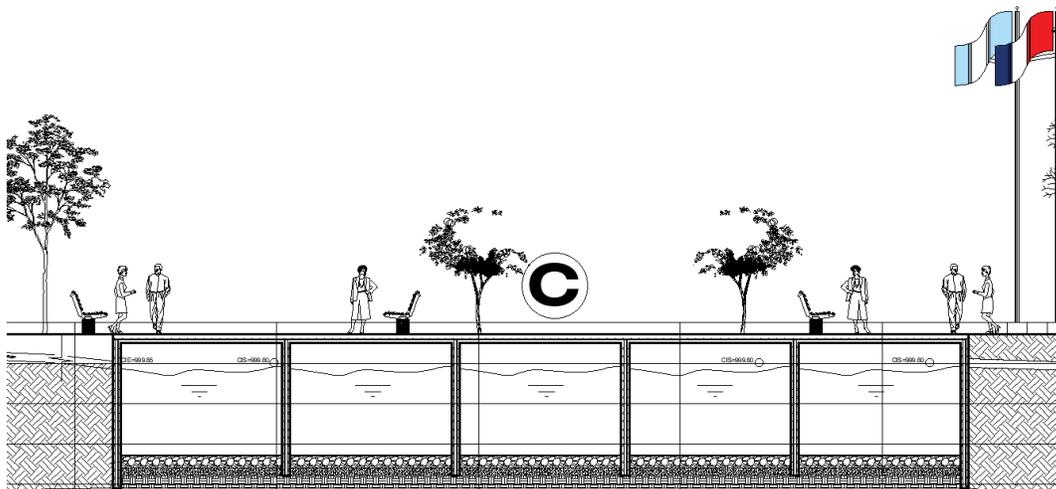
### 6.3. Tanque de infiltración

Esta estructura es la principal del sistema consiste en un tanque de concreto armado, con un lecho filtrante a base de grava (piedra) y arena, conectado después de los desarenadores, su función principal es la de almacenar e infiltrar un caudal considerablemente alto ( $800 \text{ m}^3$  aproximadamente), y así mitigar gran parte del agua superficial acumulada. Cuenta internamente con muros de concreto que sirven de pantalla para disipar la velocidad y energía del flujo de agua y así ayudar a que el agua se mantenga en reposo para dar inicio al proceso de infiltración.

En el fondo se colocará un lecho filtrante que permitirá la circulación de agua con la menor cantidad de partículas finas en el suelo natural. Contará con dos sistemas de rebalse, el primero con tuberías de 8" que estarán conectados a los pozos de absorción. Su objetivo es que a través de ellos se infiltre aproximadamente  $13\text{-}44 \text{ m}^3$ /por pozo adicionales de filtración de agua superficial. El otro sistema de rebalse está compuesto de tubería de 15" que están

conectados a la red principal existente. Entrará en funcionamiento al momento que el tanque de infiltración llegue a su nivel máximo, entonces comenzará a regresar el excedente de agua al sistema nuevamente, esto ayudará a retardar el tiempo de acumulación del agua superficial en la segunda tubería de ingreso del sistema actual.

Figura 25. **Sección tanque de infiltración**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

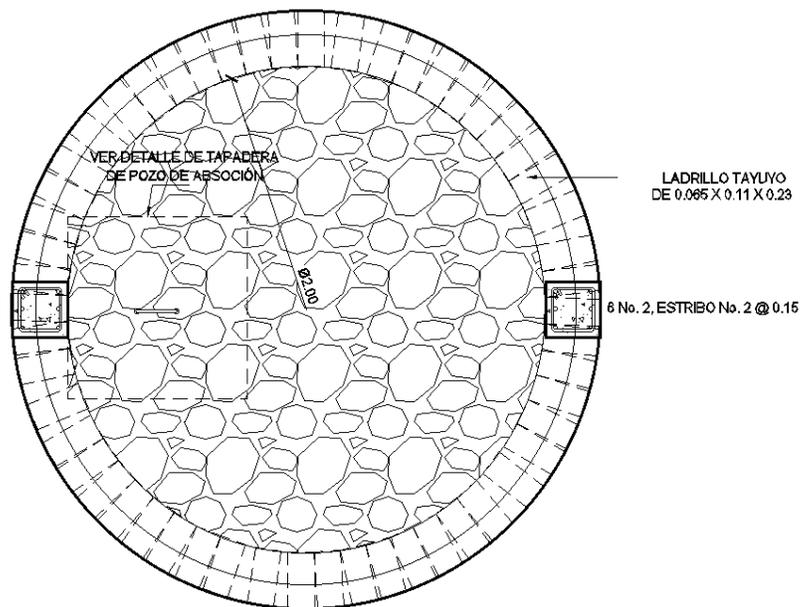
#### 6.4. Pozo de absorción

Esta estructura es complementaria del sistema principal. Básicamente consiste en una estructura cilíndrica formada por ladrillo. Debe existir una separación de 4" entre el suelo y las paredes de la tubería, estas deberán ser llenadas con piedrín de 1/4" o algún tipo de piedra pómez, las cuales servirán como filtro para que las arenas que logren pasar el desarenador no lleguen hacia las paredes, provocando que se colmaten. Se recomienda instalar un geotextil no tejido, alrededor de las paredes, este funcionará como filtro para evitar el traslado de partículas finas en ambos sentidos, alargando la vida útil de las paredes.

Se instalará una batería de diez pozos ubicados a una distancia mínima de 12 metros entre sí, las tuberías que abastecen a los pozos de absorción son las provenientes del tanque de infiltración. La capacidad de cada pozo será de 13-44m<sup>3</sup> aproximadamente dependiendo su ubicación (ver plano).

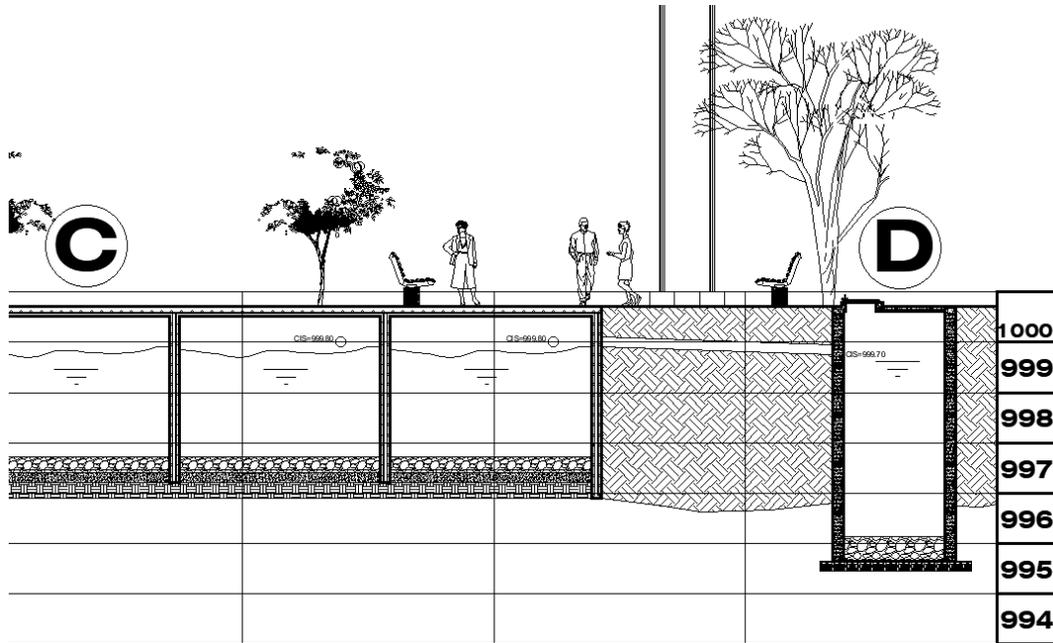
El mantenimiento que se le debe de realizar a los pozos de absorción es según lo indicado en el Manual de Operación y Mantenimiento, y días después de un evento de lluvia de gran intensidad. Este consistirá en la limpieza de las paredes, esto para evitar que las partículas de suelo fino comiencen a formar capas que puedan causar taponamientos a los agujeros del pozo.

Figura 26. **Planta pozo**



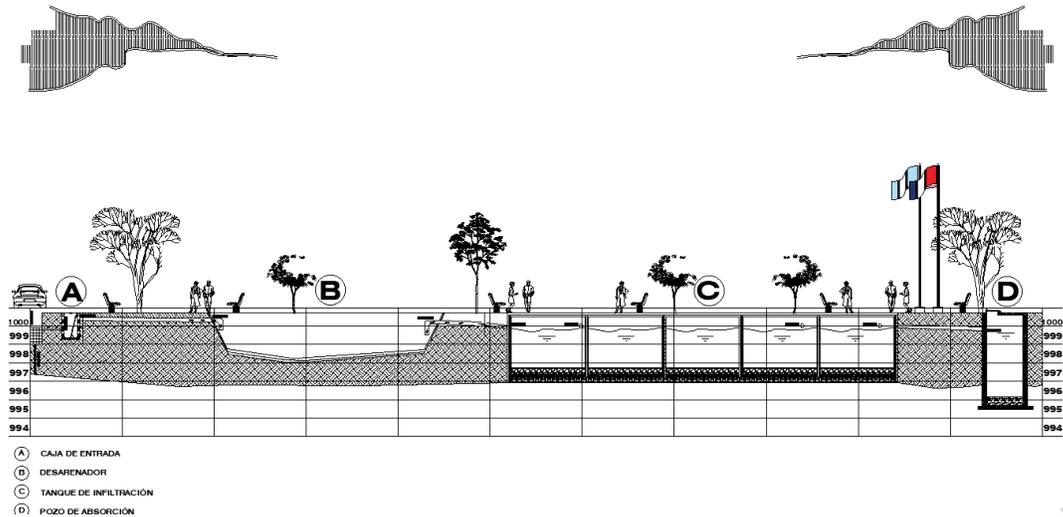
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

Figura 27. Sección pozo



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

Figura 28. Perfil hidráulico



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

## CONCLUSIONES

1. Las condiciones geotécnicas del suelo del parque El Calvario muestran características que no son las ideales para un sistema de infiltración de agua superficial que elimine en su totalidad la acumulación de agua, debido a que su velocidad de infiltración es lenta. Sin embargo, considerando las características encontradas y el área superficial que ocupa el parque, es posible desarrollar un sistema con características poco profundas y más horizontales el cual ayudará a eliminar la acumulación de agua, permitiendo que el proceso de infiltración se lleve de manera controlada.
2. La caracterización geotécnica de los suelos realizada en el parque El Calvario, dio como resultado que los suelos se clasifiquen como arenosos con gran contenido de limos, con una plasticidad baja y en promedio una humedad natural del 24 %, a pesar de que los limos retienen agua estos mantienen una consistencia uniforme y no cambiarán su volumen.
3. De acuerdo con el ensayo de permeabilidad de los suelos se obtuvo como resultado que son poco permeables, lo que hace lento el movimiento del agua a través de su estructura, siendo poca su capacidad de infiltración en las primeras horas; a pesar de ello es posible infiltrar el caudal remanente que se acumula en época de lluvia para disminuir las inundaciones en el sector.
4. La calidad química del agua superficial que se acumula en el parque contiene pocos sedimentos lo que facilitaría el proceso en el desarenador, sin embargo, posee un nivel de turbiedad arriba de lo permisible, su pH la hace un agua ácida y contiene coliformes totales arriba de lo permitido,

excediendo los parámetros considerados como contaminantes, por lo que existe un riesgo de contaminar las aguas subterráneas al utilizar un sistema de infiltración a base de pozos profundos.

## RECOMENDACIONES

1. Al implementar el sistema de infiltración en el parque El Calvario por parte de la Municipalidad de Quetzaltenango, se debe tomar en consideración un Plan integral para el manejo de las Aguas Superficiales, el cual debe incluir el mantenimiento preventivo y correctivo de cada uno de los componentes del sistema, así como la constante capacitación del personal a cargo del sistema.
2. Implementar por parte de la Municipalidad de Quetzaltenango un sistema de monitoreo consistente en pozos de inspección para toma de muestras, el cual deberá ser inspeccionado y testeado periódicamente, para garantizar que la calidad del agua superficial después del proceso de infiltración es lo suficientemente buena y no pondrá en riesgo la calidad del agua subterránea, derivado que el agua superficial contiene bacterias y podría convertirse en un riesgo para la salud de las personas que explotan los acuíferos superficiales.
3. Realizar, por parte de la Municipalidad de Quetzaltenango, monitoreos periódicos a través de sondeo eléctrico vertical o cualquier otro tipo de pruebas en el área alrededor del parque, las cuales permitan establecer el comportamiento del agua superficial infiltrada, para descartar todo tipo de riesgo en la estructura del subsuelo que da soporte a la infraestructura existente y que con el tiempo se pueda convertir en áreas erosionadas o debilitadas.

4. Replicar por parte de la Municipalidad de Quetzaltenango este tipo de investigaciones en otras áreas de la ciudad, profundizando en el estudio de las características de los suelos y comportamiento de las aguas superficiales, como parte de un plan de manejo y descarga de las aguas superficiales.
  
5. Promover en la Escuela de Estudios de Postgrado este tipo de investigaciones, promoviendo e incentivando al estudiante la utilización de sistemas de infiltración como una solución técnicamente factible contra las inundaciones urbanas, pudiendo ser aplicadas en cualquier parte de la república de Guatemala.

## REFERENCIAS

1. Alvarado, H. O. (2011). *Diseño y Planificación de estructuras de alivio y descarga*. Quetzaltenango, Guatemala: CUNOC-USAC.
2. Angelone, S. (2006). *Geología y Geotécnica: Permeabilidad de Suelos* (Tesis de postgrado). Universidad de Buenos Aires. Argentina.
3. Badillo, E. J. (2005). *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México D.F., México: Limusa.
4. Bañón, L. (2002). *Manual de Carreteras: Mecánica de suelos*. Madrid, España: Ediciones Akal.
5. Bautista, D. (2014). *Reconocimiento Hidrogeológico de la zona urbana de Quetzaltenango*. Quetzaltenango, Guatemala: CUNOC-USAC.
6. Blanco, A. (2006). *Caracterización Geotécnica de los suelos del campus de la Universidad de Pamplona* (Tesis de maestría). Universidad Santander, Colombia.
7. CESEM. (2001). *Zonificación Sísmica Urbana en Guatemala*. Guatemala, Guatemala: Autor.
8. Chow, V. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
9. Das, B. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Sacramento, California: Thomson.

10. Diego Marquez, W. (julio de 2010). *Humedad en el suelo*. Wikimedia Commons. Recuperado de [Humedad en el suelo.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Humedad_en_el_suelo.jpg): [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Humedad\\_en\\_el\\_suelo.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Humedad_en_el_suelo.jpg) [Esquema]/ Licencia: Creative Commons
11. Ferreira, X. C. (2017). *Inundaciones Urbanas: Propuestas para una Gestión de Riesgos*. Alicante, España: Universidad de Alicante.
12. Geología Web. (abril de 2021). *Origen y formación de suelos [Dibujo]*. Geología Web. Recuperado de <http://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/origen-formacion-de-suelos/> Licencia: Creative Commons
13. González, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Prentice Hall.
14. Infoiarna. (18 de abril de 2021). *Fichas y gráficos ISEM*. Infoiarna. Recuperado de <http://www.infoiarna.org.gt/isem/fichas-y-graficos-isem/>
15. INSIVUMEH. (2020). *Intensidades de lluvia en Guatemala*. Guatemala, Guatemala: INSIVUMEH.
16. Jha, A. (2012). *Ciudades e Inundaciones*. Washington, D.C, USA: World Bank.
17. Juárez, E. (2005). *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la mecánica de suelos*. México, D.F.: Limusa.
18. Kuichling, E. (1889). *Report on the Proposed Trunk Sewer for the East Side of the City of Rochester, N. Y.* Rochester, Nueva York, USA: Werner Editorial.

19. León, D. (1994). *Parque Urbano en la ciudad de Quetzaltenango*. Quetzaltenango, Guatemala. Grupo Espasa.
20. MAGA. (2001). *Mapa Fisiográfico-Geomorfológico de la República de Guatemala*. Guatemala, Guatemala: Autor.
21. Mijares, F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficies*. México: Editorial Diana.
22. MOPC. (2009). *Manual de Carreteras de Paraguay: Normas para materiales y ensayos de materiales (Vol.I)*. Asunción, Paraguay.
23. OPS. (2005). *Guía para el diseño de Desarenadores y Sedimentadores*. Lima, Perú: Organización Panamericana de la Salud.
24. Rahmanne, I. (21 de octubre de 2002). *Inundaciones en áreas altamente urbanizadas*. XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Cancún, Quintana Roo, México
25. Rivera, A. (2014). *Convergencia de avenidas en eventos de larga duración*. Quetzaltenango, Guatemala: CUNOC-USAC.
26. Rogério, C. S. (20 de abril de 2021). *Peneirador Mecánico*. Wikimedia commons Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PeneiradorMecanico.jpg>
27. Santizo, J. R. (2016). *Metodología para el diseño estructural de Tanques Superficiales*. Guatemala, Guatemala: Editorial USAC.

28. SIAPA. (2014). *Infiltración Pluvial. "En Criticas y lineamientos técnicos para factibilidades"*. Jalisco, México: Editorial Planeta México.
29. Tucci, C. M. (2007). *Gestión de Inundaciones Urbanas*. Porto Alegre, Brasil: Organización Meteorológica Mundial.
30. Villalaz, C. C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México D.F. México: Limusa.
31. Wikimedia Commons. (20 abril de 2021). *CucchiaioCasagrande.JPG* User: TheWiz83. Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CucchiaioCasagrande.JPG> [Fotografía] / Licencia: Creative Commons
32. XELAGUA. (1999). *Plan Maestro para el abastecimiento de Agua Potable*. Quetzaltenango, Guatemala: Municipalidad de Quetzaltenango.

# APÉNDICES

## Apéndice 1. Libreta topográfica

44	989.196	1005.518	999.964	Fuente	1005.518,989.196,999.964
45	990.998	1004.743	999.978	Fuente	1004.743,990.998,999.978
46	992.819	1005.479	999.990	Fuente	1005.479,992.819,999.99
47	993.609	1007.254	999.977	Fuente	1007.254,993.609,999.977
48	992.901	1009.080	999.957	Fuente	1009.08,992.901,999.957
49	991.104	1009.878	999.946	Fuente	1009.878,991.104,999.946
50	998.343	998.071	999.997	Jardín	998.071,998.343,999.997
51	994.096	994.327	1000.006	Jardín	994.327,994.096,1000.006
52	1001.434	981.435	1000.159	Jardín	981.435,1001.434,1000.159
53	1004.940	983.613	1000.081	Jardín	983.613,1004.94,1000.081
54	1002.058	988.403	1000.087	Jardín	988.403,1002.058,1000.087
55	1002.782	993.526	1000.085	Jardín	993.526,1002.782,1000.085
56	998.830	995.091	1000.352	Arbol	995.091,998.83,1000.352
57	1001.172	983.948	1000.486	Arbol	983.948,1001.172,1000.486
58	1000.562	990.368	1000.367	Lámpara	990.368,1000.562,1000.367
59	1004.130	994.948	1000.090	Jardín	994.948,1004.13,1000.09
60	1012.218	994.900	1000.102	Jardín	994.9,1012.218,1000.102
61	1013.862	996.837	1000.084	Jardín	996.837,1013.862,1000.084
62	1004.031	1003.102	1000.018	Jardín	1003.102,1004.031,1000.018
63	1006.246	999.608	1000.466	Arbol	999.608,1006.246,1000.466
64	1004.212	991.596	1000.116	Monumento	991.596,1004.212,1000.116
65	1005.740	985.873	1000.125	Monumento	985.873,1005.74,1000.125
66	1007.663	984.213	1000.132	Monumento	984.213,1007.663,1000.132
67	1012.410	983.745	1000.164	Monumento	983.745,1012.41,1000.164
68	1014.213	985.763	1000.163	Monumento	985.763,1014.213,1000.163
69	1012.699	991.535	1000.144	Monumento	991.535,1012.699,1000.144
70	1010.773	993.140	1000.147	Monumento	993.14,1010.773,1000.147
71	1005.931	993.537	1000.128	Monumento	993.537,1005.931,1000.128
72	1008.446	989.364	1000.403	Monumento	989.364,1008.446,1000.403
73	1007.204	981.994	1000.096	Jardín	981.994,1007.204,1000.096
74	1002.715	979.377	1000.163	Jardín	979.377,1002.715,1000.163
75	1008.278	969.625	1000.261	Jardín	969.625,1008.278,1000.261
76	1021.044	967.930	1000.491	Jardín	967.93,1021.044,1000.491
77	1022.027	970.081	1000.491	Jardín	970.081,1022.027,1000.491
78	1023.756	972.392	1000.484	Jardín	972.392,1023.756,1000.484
79	1011.202	981.108	1000.121	Jardín	981.108,1011.202,1000.121
80	1010.285	974.155	1000.522	Curva	974.155,1010.285,1000.522
81	1017.317	972.075	1000.613	Curva	972.075,1017.317,1000.613
82	1014.804	976.797	1000.527	Curva	976.797,1014.804,1000.527
83	1015.591	983.710	1000.124	Jardín	983.71,1015.591,1000.124
84	1025.314	973.659	1000.477	Jardín	973.659,1025.314,1000.477
85	1032.170	975.546	1000.499	Jardín	975.546,1032.17,1000.499
86	1038.531	973.295	1000.502	Jardín	973.295,1038.531,1000.502
87	1042.047	979.571	1000.475	Jardín	979.571,1042.047,1000.475
88	1031.941	985.573	1000.499	Jardín	985.573,1031.941,1000.499
89	1029.833	985.306	1000.512	Jardín	985.306,1029.833,1000.512
90	1025.089	986.070	1000.392	Jardín	986.07,1025.089,1000.392

Continuación apéndice 1.

91	1025.422	989.360	1000.345	Jardín	989.36,1025.422,1000.345
92	1015.993	995.563	1000.100	Jardín	995.563,1015.993,1000.1
93	1014.125	993.301	1000.121	Jardín	993.301,1014.125,1000.121
94	1016.578	988.549	1000.132	Jardín	988.549,1016.578,1000.132
95	1018.390	991.491	1000.288	Columpios	991.491,1018.39,1000.288
96	1024.416	984.939	1000.599	Columpios	984.939,1024.416,1000.599
97	1029.239	981.832	1000.703	Columpios	981.832,1029.239,1000.703
98	1032.187	983.314	1000.879	Columpios	983.314,1032.187,1000.879
99	1031.060	981.976	1000.871	Poste	981.976,1031.06,1000.871
100	1033.612	975.779	1000.792	Lámpara	975.779,1033.612,1000.792
101	1017.338	997.244	1000.068	Jardín	997.244,1017.338,1000.068
102	1029.163	991.838	999.911	Jardín	991.838,1029.163,999.911
103	1028.390	989.735	999.633	Jardín	989.735,1028.39,999.633
104	1029.610	989.135	999.634	Jardín	989.135,1029.61,999.634
105	1032.374	989.915	999.911	Jardín	989.915,1032.374,999.911
106	1043.995	982.927	1000.082	Jardín	982.927,1043.995,1000.082
107	1043.057	981.330	1000.483	Jardín	981.33,1043.057,1000.483
108	1032.279	987.680	1000.492	Jardín	987.68,1032.279,1000.492
109	1027.757	989.487	1000.400	Jardín	989.487,1027.757,1000.4
110	1028.036	990.290	1000.369	Jardín	990.29,1028.036,1000.369
111	1019.854	996.718	1000.515	Arbusto	996.718,1019.854,1000.515
112	1023.378	994.207	1000.582	Arbusto	994.207,1023.378,1000.582
113	1026.790	992.070	1000.722	Arbusto	992.07,1026.79,1000.722
114	1033.840	988.084	1000.896	Arbusto	988.084,1033.84,1000.896
115	1039.228	984.665	1000.894	Arbusto	984.665,1039.228,1000.894
116	1042.147	981.454	1000.483	Teléfono Público	981.454,1042.147,1000.483
117	1041.862	984.816	1000.029	Teléfono Público	984.816,1041.862,1000.029
118	1043.893	984.212	1000.043	Poste	984.212,1043.893,1000.043
119	1040.536	972.066	1000.464	Jardín	972.066,1040.536,1000.464
120	1053.346	964.429	1000.643	Jardín	964.429,1053.346,1000.643
121	1056.740	970.754	1000.545	Jardín	970.754,1056.74,1000.545
122	1044.224	978.287	1000.495	Jardín	978.287,1044.224,1000.495
123	1046.638	974.680	1000.793	Curva	974.68,1046.638,1000.793
124	1048.951	970.255	1000.717	Curva	970.255,1048.951,1000.717
125	1047.087	968.655	1000.829	Lámpara	968.655,1047.087,1000.829
126	1051.681	967.976	1000.834	Curva	967.976,1051.681,1000.834
127	1045.192	979.897	1000.487	Jardín	979.897,1045.192,1000.487
128	1057.693	972.629	1000.548	Jardín	972.629,1057.693,1000.548
129	1046.282	981.821	1000.090	Jardín	981.821,1046.282,1000.09
130	1046.850	979.920	1000.841	Arbusto	979.92,1046.85,1000.841
131	1051.051	977.490	1000.865	Arbusto	977.49,1051.051,1000.865
132	1055.229	974.913	1000.839	Arbusto	974.913,1055.229,1000.839
133	1057.010	972.728	1000.537	Teléfono Público	972.728,1057.01,1000.537
134	1045.330	979.572	1000.487	Teléfono Público	979.572,1045.33,1000.487
135	1009.613	967.431	1000.301	Jardín	967.431,1009.613,1000.301
136	1022.351	945.144	1000.653	Jardín	945.144,1022.351,1000.653
137	1032.438	951.213	1000.629	Jardín	951.213,1032.438,1000.629

Continuación apéndice 1.

138	1025.755	955.225	1000.562	Jardin	955.225,1025.755,1000.562
139	1021.783	959.510	1000.532	Jardin	959.51,1021.783,1000.532
140	1020.615	965.893	1000.491	Jardin	965.893,1020.615,1000.491
141	1019.997	965.572	1000.884	Lámpara	965.572,1019.997,1000.884
142	1022.676	957.515	1000.882	Lámpara	957.515,1022.676,1000.882
143	1019.014	955.524	1000.678	Curva	955.524,1019.014,1000.678
144	1024.153	950.482	1000.762	Curva	950.482,1024.153,1000.762
145	1029.078	950.798	1000.897	Curva	950.798,1029.078,1000.897
146	1000.953	978.316	1000.147	Jardin	978.316,1000.953,1000.147
147	1012.970	957.605	1000.543	Jardin	957.605,1012.97,1000.543
148	1021.117	944.026	1000.661	Jardin	944.026,1021.117,1000.661
149	1019.032	943.123	1001.227	Jardin	943.123,1019.032,1001.227
150	1011.253	956.596	1000.914	Jardin	956.596,1011.253,1000.914
151	999.404	977.394	1000.122	Jardin	977.394,999.404,1000.122
152	1002.893	972.197	1000.544	Curva	972.197,1002.893,1000.544
153	1012.264	957.819	1000.832	Arbol	957.819,1012.264,1000.832
154	1017.055	949.256	1000.927	Curva	949.256,1017.055,1000.927
155	1033.745	940.116	1001.010	Estación	940.116,1033.745,1001.01
156	1023.299	943.446	1000.691	Jardin	943.446,1023.299,1000.691
157	1027.576	936.002	1000.856	Jardin	936.002,1027.576,1000.856
158	1034.968	933.419	1000.856	Jardin	933.419,1034.968,1000.856
159	1045.547	934.838	1000.672	Jardin	934.838,1045.547,1000.672
160	1044.350	944.194	1000.699	Jardin	944.194,1044.35,1000.699
161	1034.435	950.109	1000.650	Jardin	950.109,1034.435,1000.65
162	1038.072	943.269	1001.009	Arbol	943.269,1038.072,1001.009
163	1030.683	941.910	1001.029	Arbol	941.91,1030.683,1001.029
164	1044.307	937.160	1000.987	Arbol	937.16,1044.307,1000.987
165	1044.244	936.567	1000.987	Arbol	936.567,1044.244,1000.987
166	1044.264	935.623	1000.986	Arbol	935.623,1044.264,1000.986
167	1043.039	935.380	1000.989	Arbol	935.38,1043.039,1000.989
168	1035.919	939.100	1000.963	Lámpara	939.1,1035.919,1000.963
169	1035.180	949.099	1000.890	Lámpara	949.099,1035.18,1000.89
170	1021.577	942.379	1000.708	Bordillo	942.379,1021.577,1000.708
171	1026.745	933.651	1000.897	Bordillo	933.651,1026.745,1000.897
172	1034.527	931.477	1000.841	Bordillo	931.477,1034.527,1000.841
173	1045.822	932.827	1000.700	Bordillo	932.827,1045.822,1000.7
174	1045.992	931.144	1000.532	Bordillo	931.144,1045.992,1000.532
175	1035.577	929.813	1000.711	Bordillo	929.813,1035.577,1000.711
176	1025.512	931.775	1000.814	Bordillo	931.775,1025.512,1000.814
177	1024.770	932.392	1000.881	Bordillo	932.392,1024.77,1000.881
178	1022.224	936.952	1001.382	Bordillo	936.952,1022.224,1001.382
179	1019.600	941.203	1001.279	Bordillo	941.203,1019.6,1001.279
180	1026.719	934.518	1000.886	Teléfono Público	934.518,1026.719,1000.886
181	1048.072	935.131	1000.677	Jardin	935.131,1048.072,1000.677
182	1070.539	938.032	1000.708	Jardin	938.032,1070.539,1000.708
183	1070.017	944.416	1000.767	Jardin	944.416,1070.017,1000.767
184	1068.842	948.824	1000.755	Jardin	948.824,1068.842,1000.755

Continuación apéndice 1.

185	1061.116	950.460	1000.735	Jardín	950.46,1061.116,1000.735
186	1057.755	945.138	1000.702	Jardín	945.138,1057.755,1000.702
187	1047.218	942.849	1000.670	Jardín	942.849,1047.218,1000.67
188	1069.135	938.926	1001.033	Arbol	938.926,1069.135,1001.033
189	1056.383	937.366	1000.980	Arbol	937.366,1056.383,1000.98
190	1048.565	936.862	1000.993	Arbol	936.862,1048.565,1000.993
191	1048.364	938.151	1000.980	Arbol	938.151,1048.364,1000.98
192	1047.812	940.781	1000.967	Arbol	940.781,1047.812,1000.967
193	1055.612	942.783	1000.995	Arbol	942.783,1055.612,1000.995
194	1060.017	940.293	1000.928	Arbol	940.293,1060.017,1000.928
195	1048.287	933.221	1000.691	Bordillo	933.221,1048.287,1000.691
196	1070.694	935.962	1000.704	Bordillo	935.962,1070.694,1000.704
197	1070.892	934.376	1000.409	Bordillo	934.376,1070.892,1000.409
198	1048.563	931.426	1000.496	Bordillo	931.426,1048.563,1000.496
199	1047.764	933.084	1000.685	Teléfono Público	933.084,1047.764,1000.685
200	1073.184	945.777	1000.789	Baños	945.777,1073.184,1000.789
201	1074.456	951.775	1000.838	Baños	951.775,1074.456,1000.838
202	1072.269	954.395	1000.775	Jardín	954.395,1072.269,1000.775
203	1075.182	959.864	1000.641	Jardín	959.864,1075.182,1000.641
204	1058.884	969.598	1000.574	Jardín	969.598,1058.884,1000.574
205	1055.388	963.212	1000.673	Jardín	963.212,1055.388,1000.673
206	1061.434	952.421	1000.709	Jardín	952.421,1061.434,1000.709
207	1069.214	950.765	1000.765	Jardín	950.765,1069.214,1000.765
208	1070.449	952.861	1000.754	Jardín	952.861,1070.449,1000.754
209	1071.036	955.931	1000.878	Curva	955.931,1071.036,1000.878
210	1061.023	965.048	1000.678	Curva	965.048,1061.023,1000.678
211	1076.207	961.675	1000.657	Jardín	961.675,1076.207,1000.657
212	1059.332	970.788	1000.549	Jardín	970.788,1059.332,1000.549
213	1060.742	973.049	1000.318	Jardín	973.049,1060.742,1000.318
214	1077.054	963.262	1000.563	Jardín	963.262,1077.054,1000.563
215	1074.845	963.105	1000.893	Arbol	963.105,1074.845,1000.893
216	1067.579	967.737	1000.846	Arbol	967.737,1067.579,1000.846
217	1062.173	970.630	1000.804	Arbol	970.63,1062.173,1000.804
218	1019.018	940.803	1001.192	Calle	940.803,1019.018,1001.192
219	1002.097	970.316	1000.004	Calle	970.316,1002.097,1000.004
220	978.223	1011.955	999.533	Calle	1011.955,978.223,999.533
221	978.156	1001.421	999.402	Calle	1001.421,978.156,999.402
222	997.732	968.177	1000.046	Calle	968.177,997.732,1000.046
223	1015.095	938.811	1001.192	Puente	938.811,1015.095,1001.192
224	1016.989	935.635	1001.341	Puente	935.635,1016.989,1001.341
225	1092.541	942.337	1000.788	Estación	942.337,1092.541,1000.788
226	1029.158	929.363	1000.629	Calle	929.363,1029.158,1000.629
227	1046.708	929.704	1000.316	Calle	929.704,1046.708,1000.316
228	1064.368	931.907	999.963	Tragante	931.907,1064.368,999.963
229	1078.371	933.648	1000.314	Calle	933.648,1078.371,1000.314
230	1107.074	937.326	1000.320	Calle	937.326,1107.074,1000.32
231	1108.995	941.146	1000.140	Calle	941.146,1108.995,1000.14

Continuación apéndice 1.

232	1107.000	943.288	999.886	Bóveda	943.288,1107.999.886
233	1106.578	946.663	999.911	Bóveda	946.663,1106.578,999.911
234	1107.661	948.236	1000.004	Calle	948.236,1107.661,1000.004
235	1106.205	949.494	1000.161	Calle	949.494,1106.205,1000.161
236	1100.702	950.028	1000.322	Calle	950.028,1100.702,1000.322
237	1088.052	957.649	1000.419	Calle	957.649,1088.052,1000.419
238	1069.581	968.786	1000.217	Calle	968.786,1069.581,1000.217
239	1047.596	982.118	999.926	Calle	982.118,1047.596,999.926
240	1033.913	990.447	999.716	Calle	990.447,1033.913,999.716
241	1029.546	993.077	999.719	Calle	993.077,1029.546,999.719
242	1007.962	1006.610	999.831	Calle	1006.61,1007.962,999.831
243	978.700	1025.246	999.807	Esquina	1025.246,978.7,999.807
244	986.536	1031.916	999.923	Calle	1031.916,986.536,999.923
245	1031.688	1000.824	999.809	Esquina	1000.824,1031.688,999.809
246	1041.288	994.104	999.822	Esquina	994.104,1041.288,999.822
247	1097.358	965.181	1000.530	Calle	965.181,1097.358,1000.53
248	1100.999	941.933	1000.719	Jardín	941.933,1100.999,1000.719
249	1084.375	945.512	1000.711	Jardín	945.512,1084.375,1000.711
250	1079.542	941.208	1000.714	Jardín	941.208,1079.542,1000.714
251	1072.154	942.324	1000.742	Jardín	942.324,1072.154,1000.742
252	1072.511	938.279	1000.683	Jardín	938.279,1072.511,1000.683
253	1080.410	940.601	1000.965	Curva	940.601,1080.41,1000.965
255	1106.079	938.599	1000.483	Jardín	938.599,1106.079,1000.483
256	1072.848	934.456	1000.417	Jardín	934.456,1072.848,1000.417
257	1072.655	936.220	1000.683	Jardín	936.22,1072.655,1000.683
258	1079.589	936.274	1000.763	Arbol	936.274,1079.589,1000.763
259	1089.829	937.463	1000.764	Poste	937.463,1089.829,1000.764
260	1098.419	938.627	1000.868	Curva	938.627,1098.419,1000.868
261	1101.833	943.920	1000.706	Jardín	943.92,1101.833,1000.706
262	1077.342	958.542	1000.633	Jardín	958.542,1077.342,1000.633
263	1075.628	955.376	1000.728	Jardín	955.376,1075.628,1000.728
264	1081.077	954.083	1000.733	Jardín	954.083,1081.077,1000.733
265	1084.718	947.523	1000.705	Jardín	947.523,1084.718,1000.705
266	1084.866	952.999	1000.775	Curva	952.999,1084.866,1000.775
267	1088.265	949.947	1000.859	Curva	949.947,1088.265,1000.859
268	1093.438	947.927	1000.845	Curva	947.927,1093.438,1000.845
269	1105.323	943.012	1000.753	Jardín	943.012,1105.323,1000.753
270	1103.882	945.107	1000.726	Jardín	945.107,1103.882,1000.726
271	1078.320	960.374	1000.648	Jardín	960.374,1078.32,1000.648
272	1079.177	961.967	1000.653	Jardín	961.967,1079.177,1000.653
273	1105.049	946.569	1000.630	Jardín	946.569,1105.049,1000.63
274	1080.703	959.740	1000.870	Arbol	959.74,1080.703,1000.87
275	1086.239	956.182	1000.900	Arbol	956.182,1086.239,1000.9
276	1092.212	953.030	1000.920	Arbol	953.03,1092.212,1000.92
277	1080.382	950.490	1000.741	Baños	950.49,1080.382,1000.741
278	1079.063	944.513	1000.761	Baños	944.513,1079.063,1000.761

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Pruebas de suelos

Proyecto:	<b>CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"</b>				<b>2</b>
Ensayo:	GRANULOMETRIA				
Fecha de Muestreo:	04 de Febrero de 2016				
Peso Muestra Seca	1.000 gr	Peso No.:	1		
Peso de la Muestra Lavada	986 gr	Capa No.:	2		
Pérdida por Lavado	4.00 gr	Profundidad:	1.00 m		
Tolerancia	0.40 %	Correcta			

Tamiz	Ramura (mm)	Retenido		% Pasa	SUELOS FINES						SUELOS GROSOS																																		
		(gr.)	(%)		BAJA PLASTICIDAD			ALTA PLASTICIDAD			ARENAS				GRAVAS																														
4	4.750	140.15	14.02	85.99	Suelo que pasa la malla N° 200 es > al 50 %						Suelo que pasa la malla N° 200 es < al 50 %																																		
8	2.380	110.12	11.01	74.87	límite Líquido < al 50 %						límite Líquido > al 50 %				La porción de Fracción Gruesa que pasa la malla N° 4 es mayor				La porción de Fracción Gruesa que pasa la malla N° 4 es menor																										
16	1.190	98.85	9.87	65.11	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>DL</td><td>ML</td><td>CL</td><td>OH</td><td>MH</td><td>CH</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Suelos Dificiles</td><td colspan="2">Suelos Gruesos</td><td colspan="2">Arcilla</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Limo</td><td colspan="2">Arcilla</td><td colspan="2">Limo</td> </tr> </table>	DL	ML	CL	OH	MH	CH	Suelos Dificiles		Suelos Gruesos		Arcilla		Limo		Arcilla		Limo		De acuerdo al Porcentaje que pasa la malla N° 200 se tiene:																					
DL	ML	CL	OH	MH		CH																																							
Suelos Dificiles		Suelos Gruesos		Arcilla																																									
Limo		Arcilla		Limo																																									
30	0.590	78.90	7.89	57.22		<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td colspan="4">% Que Pasa la Malla N° 200</td> <td colspan="4">Probable Tipo de Suelo</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Menor o igual a 5 %</td> <td colspan="4">GW, SW, GP o SP</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Entre el 5% y 12 %</td> <td colspan="4">Hay que usar Simbología Doble</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Mayor del 12 %</td> <td colspan="4">GM, GC, SM, SC</td> </tr> </table>								% Que Pasa la Malla N° 200				Probable Tipo de Suelo				Menor o igual a 5 %				GW, SW, GP o SP				Entre el 5% y 12 %				Hay que usar Simbología Doble				Mayor del 12 %				GM, GC, SM, SC			
% Que Pasa la Malla N° 200				Probable Tipo de Suelo																																									
Menor o igual a 5 %				GW, SW, GP o SP																																									
Entre el 5% y 12 %				Hay que usar Simbología Doble																																									
Mayor del 12 %				GM, GC, SM, SC																																									
50	0.257	68.90	6.89	47.33																																									
80	0.177	64.56	6.46	40.87																																									
100	0.149	64.56	6.46	31.42																																									
120	0.125	68.99	6.90	21.52																																									
200	0.074	105.76	10.58	10.64	Baja Plasticidad		Alta Plasticidad				SC	SM	SP	SW	GC	GM	GP	GW																											
Recipiente		230.00									Arenas Arcillosas	Arenas limosas	Arenas Mal Graduadas	Arenas Bien Graduadas	Gravas Arcillosas	Gravas Limosas	Gravas Mal Graduadas	Gravas Bien Graduadas																											

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

Tamaño del Grano ( mm )

Según su granulometria el suelo pertenece al grupo de: **Suelos gruesos del tipo SM: Arenas Limosas , SP: Arenas Bien graduadas**

Miguel Antonio Ovando López  
INGENIERO CIVIL  
C. E. E. No. 10558

Vo.Bo.)

Continuación apéndice 2.

Proyecto:	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"						<b>3</b>									
Ensayo:	GRANULOMETRIA															
Fecha de Muestra:	04 de Febrero de 2.016															
Peso Muestra Seca	1.000 gr			Pozo No.:	1											
Peso de la Muestra Lavada	893 gr			Copa No.:	3											
Pérdida por Lavado	7.00 gr			Profundidad:	1.50 m											
Tolerancia	0.70	%	Correcta													
Tamiz	Ranura (mm)	Retenido (gr.)	Retenido (%)	% Pasa	SUELOS FINOS			SUELOS GROSOS								
4	4.760	90.16	9.02	90.98	Suelo que pasa la malla Nº 200 es > al 50 %			Suelo que pasa la malla Nº 200 es < al 50 %								
8	2.380	86.5	8.65	82.33	BAJA PLASTICIDAD		ALTA PLASTICIDAD	ARENAS		GRAVAS						
16	1.190	90.35	9.04	73.30	límite Líquido < al 50 %		límite Líquido > al 50 %	La porción de Fracción Gruesa que pasa la malla Nº 4 es mayor		La porción de Fracción Gruesa que pasa la malla Nº 4 es menor						
30	0.590	88.98	8.90	64.40	OL	ML	CL	OH	MH	CH	De acuerdo al Porcentaje que pasa la malla Nº 200 se tiene:					
50	0.297	25.12	2.51	61.89	Suelos Orgánicos		Suelo orgánico				% Que Pasa la Malla Nº 200					
80	0.177	45.67	4.57	57.32	Limo		Limo				Menor o Igual a 5 %					
100	0.149	125.78	12.58	44.74	Arcilla		Arcilla				Entre el 5% y 12 %					
120	0.125	201.54	20.15	24.59							Mayor del 12 %					
200	0.074	189.90	18.99	5.60							Probable Tipo de Suelo					
Recipiente	230.00				Baja Plasticidad		Alta Plasticidad		SC	SM	SP	SW	GC	GM	GP	GW
									Arenas Incohesivas	Arenas Húmedas	Arenas Muy Densas	Arenas Bien Densadas	Gravas Incohesivas	Gravas Lúmpas	Gravas Muy Densas	Gravas Bien Densadas

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

Según su granulometría el suelo pertenece al grupo de: **Suelos gruesos del tipo SM: Arenas Lúmpas**

Miguel Antonio Ovando López  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO No. 10558

Va.Bo.)

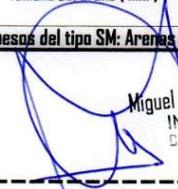
Continuación apéndice 2.

Proyecto:	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"				4															
Ensayo:	GRANULOMETRIA																			
Fecha de Muestra:	04 de Febrero de 2.016																			
Peso Muestra Seca	1.000 gr		Peso No.:	1																
Peso de la Muestra Lavada	894 gr		Capa No.:	4																
Pérdida por Lavado	6.00 gr		Profundidad:	2.00 m																
Tolerancia	0.60 %	Correcto																		
Tamiz	Ranura (mm)	Retenido (gr.)	% Retenido (%)	% Pasa	SUELOS FINOS			SUELOS GROSOS												
4	4.760	67.45	6.75	93.26	Suelo que pasa la malla Nº 200 es > al 50 %			Suelo que pasa la malla Nº 200 es < al 50 %												
8	2.380	88.9	8.89	84.37	BAJA PLASTICIDAD	ALTA PLASTICIDAD		ARENAS		GRAVAS										
16	1.190	65.34	6.53	77.83	límite Líquido < al 50 %		la porción de Fracción Gruesa que pasa la malla Nº 4 es mayor		La porción de Fracción Gruesa que pasa la malla Nº 4 es menor											
30	0.590	102.45	10.25	67.59	CL	ML	CL	OH	MH	CH	De acuerdo al Porcentaje que pasa la malla Nº 200 se tiene:									
50	0.297	38.90	3.89	63.70	Suelos Orgánicos	Limo	Arcilla	Suelo orgánico	Limo	Arcilla	% Que Pasa la Malla Nº 200									
80	0.177	94.63	9.46	54.23							Menor o Igual a 5 %	Probable Tipo de Suelo								
100	0.149	76.54	7.65	46.58							Entre el 5% y 12 %	Hay que usar Simbología Doble								
120	0.125	103.57	10.36	36.22							Mayor del 12 %	GM, GC, SM, SC								
200	0.074	20.00	20.00	16.12	Baja Plasticidad		Alta Plasticidad		SC	SM	SP	SW	GC	GM	GP	GW				
Recipiente	230.00				Arenas Arcillosas		Arenas Limosas		Arenas Mal Gradadas		Arenas Bien Gradadas		Gravas Arcillosas		Gravas Limosas		Gravas Mal Gradadas		Gravas Bien Gradadas	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

Según su granulometría el suelo pertenece al grupo de: **Suelos gruesos del tipo SM: Arenas Limosas**

  
 Miguel Antonio Ovando López  
 INGENIERO CIVIL  
 COLEGIADO No. 10558  
 -----  
 Vo.Bo.)

Continuación apéndice 2.

Proyecto:	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"				<b>5</b>																
Ensayo:	GRANULOMETRIA																				
Fecha de Muestra:	04 de Febrero de 2.016																				
Peso Muestra Seca	1.000 gr	Peso No.:	1																		
Peso de la Muestra Lavada	897 gr	Capa No.:	5																		
Perdida por Lavado	3.00 gr	Profundidad:	2.50 m																		
Tolerancia	0.30 %	Correcta																			
Tamiz	Ranura (mm)	Retenido (gr.)	Retenido (%)	% Pasa																	
4	4.760	78.9	7.89	92.11	SUELOS FINOS Suelo que pasa la malla Nº 200 es > al 50 %																
8	2.380	66.78	6.68	85.43		SUELOS GROSOS Suelo que pasa la malla Nº 200 es < al 50 %															
16	1.190	92.65	9.27	76.17	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">BAJA PLASTICIDAD</th> <th colspan="2">ALTA PLASTICIDAD</th> </tr> <tr> <td colspan="2">Limite Líquido &lt; al 50 %</td> <td colspan="2">Limite Líquido &gt; al 50 %</td> </tr> </table>		BAJA PLASTICIDAD		ALTA PLASTICIDAD		Limite Líquido < al 50 %		Limite Líquido > al 50 %								
BAJA PLASTICIDAD		ALTA PLASTICIDAD																			
Limite Líquido < al 50 %		Limite Líquido > al 50 %																			
30	0.590	93.45	9.35	66.82	<table border="1"> <tr> <th>OL</th> <th>ML</th> <th>CL</th> <th>OH</th> <th>MH</th> <th>CH</th> </tr> <tr> <td rowspan="2">Suelos Orgánicos</td> <td rowspan="2">Limo</td> <td rowspan="2">Arcilla</td> <td colspan="2">Suelo orgánico</td> <td rowspan="2">Limo</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Arcilla</td> </tr> </table>	OL	ML	CL	OH	MH	CH	Suelos Orgánicos	Limo	Arcilla	Suelo orgánico		Limo	Arcilla			
OL	ML	CL	OH	MH		CH															
Suelos Orgánicos	Limo	Arcilla	Suelo orgánico		Limo																
			Arcilla																		
50	0.297	88.32	8.83	57.99	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">De acuerdo al Porcentaje que pasa la malla Nº 200 se tiene:</td> </tr> <tr> <td>% Que Pasa la Malla Nº 200</td> <td>Probable Tipo de Suelo</td> </tr> <tr> <td>Menor o Igual a 5 %</td> <td>GW, SW, GP o SP</td> </tr> <tr> <td>Entre el 5% y 12 %</td> <td>Hay que usar Simbología Doble</td> </tr> <tr> <td>Mayor del 12 %</td> <td>GM, GC, SM, SC</td> </tr> </table>	De acuerdo al Porcentaje que pasa la malla Nº 200 se tiene:		% Que Pasa la Malla Nº 200	Probable Tipo de Suelo	Menor o Igual a 5 %	GW, SW, GP o SP	Entre el 5% y 12 %	Hay que usar Simbología Doble	Mayor del 12 %	GM, GC, SM, SC						
De acuerdo al Porcentaje que pasa la malla Nº 200 se tiene:																					
% Que Pasa la Malla Nº 200	Probable Tipo de Suelo																				
Menor o Igual a 5 %	GW, SW, GP o SP																				
Entre el 5% y 12 %	Hay que usar Simbología Doble																				
Mayor del 12 %	GM, GC, SM, SC																				
80	0.177	88.03	8.80	49.19	<table border="1"> <tr> <th>SC</th> <th>SM</th> <th>SP</th> <th>SW</th> <th>GC</th> <th>GM</th> <th>GP</th> <th>GW</th> </tr> <tr> <td>Arenas Arcillosas</td> <td>Arenas limosas</td> <td>Arenas Mal Gradadas</td> <td>Arenas Bien Gradadas</td> <td>Gravas Arcillosas</td> <td>Gravas limosas</td> <td>Gravas Mal Gradadas</td> <td>Gravas Bien Gradadas</td> </tr> </table>	SC	SM	SP	SW	GC	GM	GP	GW	Arenas Arcillosas	Arenas limosas	Arenas Mal Gradadas	Arenas Bien Gradadas	Gravas Arcillosas	Gravas limosas	Gravas Mal Gradadas	Gravas Bien Gradadas
SC	SM	SP	SW	GC		GM	GP	GW													
Arenas Arcillosas	Arenas limosas	Arenas Mal Gradadas	Arenas Bien Gradadas	Gravas Arcillosas	Gravas limosas	Gravas Mal Gradadas	Gravas Bien Gradadas														
100	0.149	136.56	13.66	35.53	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Baja Plasticidad</td> <td colspan="2">Alta Plasticidad</td> </tr> </table>	Baja Plasticidad		Alta Plasticidad													
Baja Plasticidad		Alta Plasticidad																			
120	0.125	192.96	19.30	16.24																	
200	0.074	123.88	12.39	3.85																	
Recipiente	230.00																				

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

Tamaño del Grano ( mm )

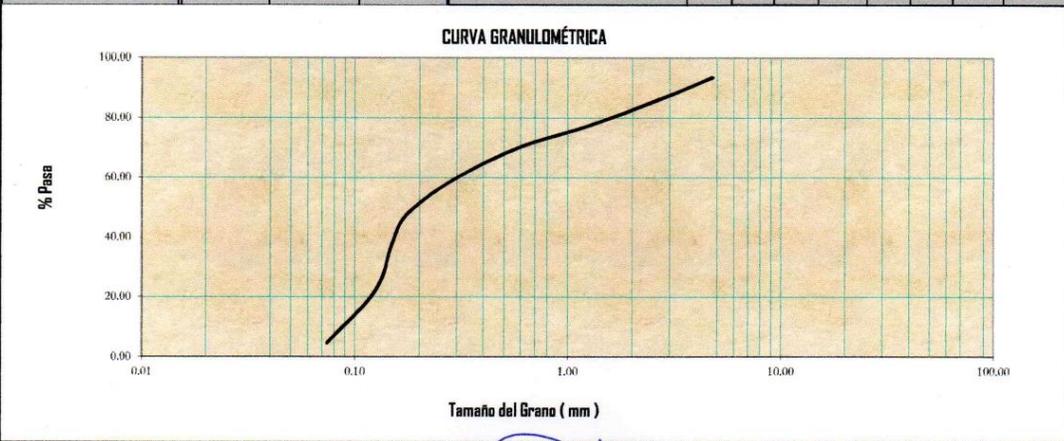
Según su granulometria el suelo pertenece al grupo de: **Suelos gruesos del tipo SP: Arenas Bien Gradadas**

Miguel Antonio Ovando López  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado No. 10558

Va.Bo.)

Continuación apéndice 2.

Proyecto:	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"					6														
Ensayo:	GRANULOMETRIA																			
Fecha de Muestreo:	04 de Febrero de 2016																			
Peso Muestra Seca	1.000 gr	Pozo No.:	1																	
Peso de la Muestra Lavada	995 gr	Capa No.:	6																	
Pérdida por Lavado	5.00 gr	Profundidad:	3.00 m																	
Tolerancia	0.50 %	Correcta																		
Tamiz	Ranura (mm)	Retenido (gr.)	Retenido (%)	% Pasa	SUELOS FINOS			SUELOS GROSOS												
4	4.760	84.08	8.41	93.59	Suelo que pasa la malla Nº 200 es > al 50 %			Suelo que pasa la malla Nº 200 es < al 50 %												
8	2.380	88.54	8.85	84.74	BAJA PLASTICIDAD		ALTA PLASTICIDAD	ARENAS		GRAVAS										
16	1.190	78.67	7.87	76.87	límite Líquido < al 50 %		límite Líquido > al 50 %	la porción de Fracción Gruesa que pasa la malla Nº 4 es mayor		La porción de Fracción Gruesa que pasa la malla Nº 4 es menor										
30	0.590	67.89	6.79	70.08	OL	ML	CL	OH	MH	CH	De acuerdo al Porcentaje que pasa la malla Nº 200 se tiene:									
50	0.297	103.44	10.34	59.74	Suelos Orgánicos	Limo	Arcilla	Suelo orgánico	Limo	Arcilla	% Que Pasa la Malla Nº 200									
80	0.177	116.76	11.68	48.06							Menor o Igual a 5 %		Probable Tipo de Suelo							
100	0.149	103.68	10.37	37.69							Entre el 5% y 12 %		GW, SW, GP o SP							
120	0.125	154.97	15.50	22.20							Mayor del 12 %		Hay que usar Simbología Doble							
200	0.074	176.65	17.57	4.63	Baja Plasticidad		Alta Plasticidad		SC	SM	SP	SW	GC	GM	GP	GW				
Recipiente	230.00				Arenas Infiltradas		Arenas Firmes		Arenas Mal Gradadas		Arenas Bien Gradadas		Gravas Infiltradas		Gravas Firmes		Gravas Mal Gradadas		Gravas Bien Gradadas	



Según su granulometría el suelo pertenece al grupo de: **Suelos gruesos del tipo SP: Arenas Bien Gradadas**

Miguel Antonio Orando López  
INGENIERO CIVIL  
No. 10558

Va.Bo.)

Continuación apéndice 2.

Proyecto:	<b>CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"</b>							1																		
Ensayo:	<b>GRANULOMETRIA</b>																									
Fecha de Muestreo:	04 de Febrero de 2.016																									
Peso Muestra Seca	1.000 gr			Pozo No.:	2																					
Peso de la Muestra Lavada	892.50 gr			Copa No.:	1																					
Pérdida por Lavado	7.50 gr			Profundidad:	1.00 m																					
Tolerancia	0,75	%	Correcto																							
Tamiz	Ranura (mm)	Retenido (gr.)	Retenido (%)	% Pasa	SUELOS FINOS						SUELOS GROSOS															
4	4.760	36.9	3.69	96.31	Suelo que pasa la malla Nº 200 es > al 50 %						Suelo que pasa la malla Nº 200 es < al 50 %															
8	2.380	42.66	4.27	92.04	BAJA PLASTICIDAD			ALTA PLASTICIDAD			ARENAS		GRAVAS													
16	1.190	47.89	4.79	87.26	límite Líquido < al 50 %			límite Líquido > al 50 %			La porción de Fracción Gruesa que pasa la malla Nº 4 es mayor		La porción de Fracción Gruesa que pasa la malla Nº 4 es menor													
30	0.590	102.34	10.23	77.02	OL	ML	CL	OH	MH	CH	De acuerdo al Porcentaje que pasa la malla Nº 200 se tiene:															
50	0.250	143.56	14.36	62.67	Suelos Orgánicos			Suelo orgánico			% Que Pasa la Malla Nº 200				Probable Tipo de Suelo											
80	0.177	98.75	9.88	52.79	Limo			Limo			Menor o Igual a 5 %				GW, SW, GP o SP											
100	0.149	123.12	12.31	40.48	Arcilla			Arcilla			Entre el 5% y 12 %				Hay que usar Simbología Doble											
120	0.125	98.76	9.88	30.60							Mayor del 12 %				GM, GC, SM, SC											
200	0.074	143.56	14.36	16.25							SC	SM	SP	SW	GC	GM	GP	GW								
Recipiente	230.00				Baja Plasticidad			Alta Plasticidad			Arenas Arcillosas		Arenas Limosas		Arenas Mal Diferenciadas		Arenas Bien Diferenciadas		Gravas Arcillosas		Gravas Limosas		Gravas Mal Diferenciadas		Gravas Bien Diferenciadas	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

The graph plots % Pasa on the y-axis (0.00 to 100.00) against Tamaño del Grano (mm) on the x-axis (0.01 to 100.00). The curve shows a sharp increase between 0.075 mm and 0.25 mm, leveling off around 16.25% passing at 0.075 mm, and reaching 100% passing at 2.0 mm.

Según su granulometría el suelo pertenece al grupo de: **Suelos gruesos del tipo SM: Arenas Limosas**

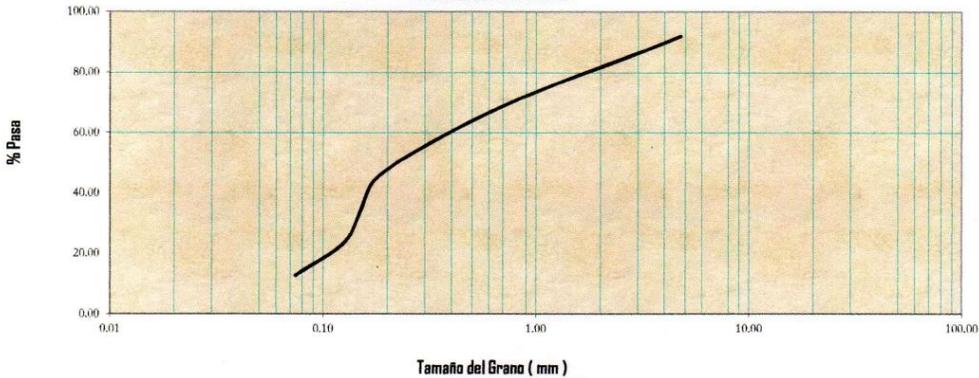
  
**Miguel Antonio Ovando López**  
 INGENIERO CIVIL  
 COLEGIADO No. 10558

Va.Bo.)

Continuación apéndice 2.

Proyecto:	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"				2							
Ensayo:	GRANULOMETRIA											
Fecha de Muestra:	04 de Febrero de 2016											
Peso Muestra Seca	1.000 gr		Pozo No.:	2								
Peso de la Muestra Lavada	990.00 gr		Capo No.:	2								
Pérdida por Lavado	10.00 gr		Profundidad:	2.00 m								
Tolerancia	1.00 %	Correcta										
Tamiz	Ranura (mm)	Retenido (gr.)	Retenido (%)	% Pasa	SUELOS FINOS			SUELOS GRUESOS				
4	4.760	80.15	8.02	91.99	Suelo que pasa la malla Nº 200 es > al 50 %			Suelo que pasa la malla Nº 200 es < al 50 %				
8	2.380	82.78	8.28	83.71	BAJA PLASTICIDAD		ALTA PLASTICIDAD	ARENAS		GRAVAS		
16	1.190	79.43	7.94	75.76	límite Líquido < al 50 %		límite Líquido > al 50 %	La porción de Fracción Gruesa que pasa la malla Nº 4 es mayor		La porción de Fracción Gruesa que pasa la malla Nº 4 es menor		
30	0.590	92.54	9.25	66.51	OL	ML	CL	OH	MH	CH	De acuerdo al Porcentaje que pasa la malla Nº 200 se tiene:	
50	0.297	110.78	11.08	55.43	Suelos Orgánicos		Limo	Suelo orgánico		Limo	Arcilla	% Que Pasa la Malla Nº 200 Menor o Igual a 5 % Entre el 5% y 12 % Mayor del 12 %
80	0.177	105.43	10.54	44.89							Probable Tipo de Suelo GW, SW, GP o SP Hay que usar Simbología Doble GM, GC, SM, SC	
100	0.149	110.43	11.04	33.95								SC SM SP SW GC GM GP GW Arenas Arcillosas Arenas Limosas Arenas Mal Drenadas Arenas Bien Drenadas Gravas Arcillosas Gravas Limosas Gravas Mal Drenadas Gravas Bien Drenadas
120	0.125	103.79	10.38	23.47								
200	0.074	106.44	10.64	12.82								
Recipiente	230.00				Baja Plasticidad		Alta Plasticidad					

CURVA GRANULOMÉTRICA



Según su granulometria el suelo pertenece al grupo de: **Suelos gruesos del tipo SM: Arenas Limosas**

Miguel Antonio Ovando López  
INGENIERO CIVIL  
C.O.GIA.00 No. 10558

Va.Bo.)

Continuación apéndice 2.

Proyecto:	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"						3									
Ensayo:	GRANULOMETRIA															
Fecha de Muestra:	04 de Febrero de 2.016															
Peso Muestra Seca	1.000 gr			Pozo No.:	2											
Peso de la Muestra Lavada	991.00 gr			Capa No.:	3											
Perdida por Lavado	9.00 gr			Profundidad:	4.00 m											
Tolerancia	0.90 % Correcto															
Tamiz	Ranura (mm)	Retenido (gr.)	% Retenido (%)	% Pasa	SUELOS FINOS			SUELOS GROSOS								
					Suelo que pasa la malla Nº 200 es > al 50 %			Suelo que pasa la malla Nº 200 es < al 50 %								
					BAJA PLASTICIDAD		ALTA PLASTICIDAD	ARENAS		GRAVAS						
4	4.760	45.65	4.57	95.44	Limite Liquido < al 50 %		Limite Liquido > al 50 %	La porción de Fracción Gruesa que pasa la malla Nº 4 es mayor		La porción de Fracción Gruesa que pasa la malla Nº 4 es menor						
8	2.380	77.54	7.75	87.88												
16	1.190	68.23	6.82	80.86												
30	0.590	102.35	10.24	70.62	OL	ML	CL	OH	MH	CH	De acuerdo al Porcentaje que pasa la malla Nº 200 se tiene:					
50	0.297	94.07	9.41	61.22	Suelos Orgánicos	Limo	Arcilla	Suelo orgánico	Limo	Arcilla	% Que Pasa la Malla Nº 200				Probable Tipo de Suelo	
80	0.177	90.34	9.03	Menor o Igual a 5 %							GW, SW, GP o SP					
100	0.149	143.45	14.35	Entre el 5% y 12 %							Hay que usar Simbología Doble					
120	0.125	168.56	16.86	Mayor del 12 %							GM, GC, SM, SC					
200	0.074	88.65	8.87	12.02	Baja Plasticidad		Alta Plasticidad									
Recipiente	230.00								SC	SM	SP	SW	GC	GM	GP	GW
									Arenas Arcillosas	Arenas Limosas	Arenas Mal Diferenciadas	Arenas Bien Diferenciadas	Gravas Arcillosas	Gravas Limosas	Gravas Mal Diferenciadas	Gravas Bien Diferenciadas

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

% Pasa

Tamaño del Grano ( mm )

Según su granulometria el suelo pertenece al grupo de: **Suelos gruesos del tipo SM: Arenas Limosas**

Va.Bo.)

Miguel Antonio Ovando López  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO No. 10558

Continuación apéndice 2.

Proyecto :	<b>CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"</b>					<b>1/2</b>
Ensayo :	<b>PERMEABILIDAD HIDRAULICA</b>					
Fecha de Muestreo :	04 de Febrero de 2.016					
Pozo No.	l	Infiltración (cm3)	gradiente	Tiempo (s)	Area de muestra	Permeabilidad (cm/seg)
		0.0072	1.00	516.78	0.09	0.00015
Área de muestra=	0.09	0.0054	1.00	506.12	0.09	0.00012
Altura=	0.3	0.00675	1.00	497.67	0.09	0.00015
Gradiente hidráulico	1	0.0108	1.00	504.53	0.09	0.00024
		0.009	1.00	512.91	0.09	0.00019
		0.0099	1.00	502.31	0.09	0.00022
Valor promedio de K						0.00018
Características según K	Permeabilidad relativa		Valores de K (cm/seg)		Suelo típico	
	Muy Permeable		> 0.1		Grava gruesa	
	Moderadamente Permeable		0.1 a 0.001		Arena, arena fina	
	Poco permeable		0.003 a 0.00001		arena limosa, arena sucia, arena bien graduada	
	Muy poco Permeable		0.00001 a 0.000001		Limo y arenisca fina	
Impermeable		< 0.0000001		Arcilla		
Según sus características de permeabilidad el suelo pertenece al grupo de: <b>Poco Permeable</b>						

Va. Ba.) \_\_\_\_\_

Miguel Antonio Ovando López  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO No. 10558

Continuación apéndice 2.

Proyecto :	<b>CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"</b>					<b>2/2</b>
Ensayo :	PERMEABILIDAD HIDRAULICA					
Fecha de Muestreo :	04 de Febrero de 2.016					
Pozo No.	2	Infiltración (cm3)	gradiente	Tiempo (s)	Area de muestra	Permeabilidad (cm/seg)
		0.0081	1.00	498.56	0.09	0.00018
Área de muestra=	0.09	0.0072	1.00	494.56	0.09	0.00016
Altura=	0.3	0.00828	1.00	493.47	0.09	0.00019
Gradiente hidráulica	1	0.0135	1.00	475.02	0.09	0.00032
		0.0135	1.00	412.34	0.09	0.00036
		0.0117	1.00	434.45	0.09	0.00030
Valor promedio de K						0.00025
Características según K	Permeabilidad relativa	Valores de K (cm/seg)		Suelo típico		
	Muy Permeable	> 0.1		Grava gruesa		
	Moderadamente Permeable	0.1 a 0.001		Arena, arena fina		
	Poco permeable	0.003 a 0.00001		arena limosa, arena sucia, arena bien graduada		
	Muy poco Permeable	0.00001 a 0.000001		Limo y arenisca fina		
	Impermeable	< 0.0000001		Arcilla		
Según sus características de permeabilidad el suelo pertenece al grupo de: <b>Poco Permeable</b>						

Va. Bo.) \_\_\_\_\_

Miguel Antonio Ovando López  
INGENIERO CIVIL  
REG. PROF. No. 10558

Continuación apéndice 2.

Proyecto:	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"							1
Ensayo:	LÍMITES DE CONSISTENCIA							
Fecha de Muestreo:	04 de Febrero de 2.016							
		LÍMITE LIQUIDO			LÍMITE PLASTICO			Límites de Consistencia
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3	
Peso Tara + Muestra Húmeda	gr	42.00	46.00	45.00	47.20	34.40	40.20	Límite Líquido: LL = 37.83%
Peso Tara + Muestra Seca	gr	40.12	34.50	36.00	46.50	33.70	39.40	Límite Plástico: LP = 36.99%
Peso de la Tara	gr	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	Índice de Plasticidad: IP = 0.83%
Peso de la Muestra Seca	gr	18.65	9.50	11.00	21.50	8.70	14.40	Contenido de Humedad: Wn = 0.36
Peso del Agua	gr	7.25	4.00	3.00	4.30	3.65	7.06	Grado de Consistencia: Kw = 2.09
Contenido de Humedad	%	38.87	42.11	27.27	20.00	41.95	49.03	Grado de Consistencia: Semi Dura
Número de Golpes		33	22	15	Promedio:	36.99		
No. Pozo:	I							
No. de Capa:	I							
Profundidad:	0.50 m							
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)							
33	38.87							
22	42.11							
15	27.27							
25	37.828							

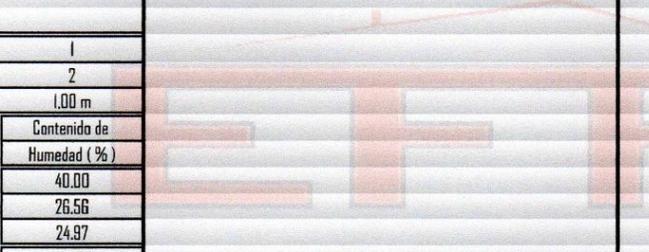
  

**LÍMITE LIQUIDO**

Según su Plasticidad el suelo pertenece al grupo de: **Baja plasticidad, con consistencia semi dura.**

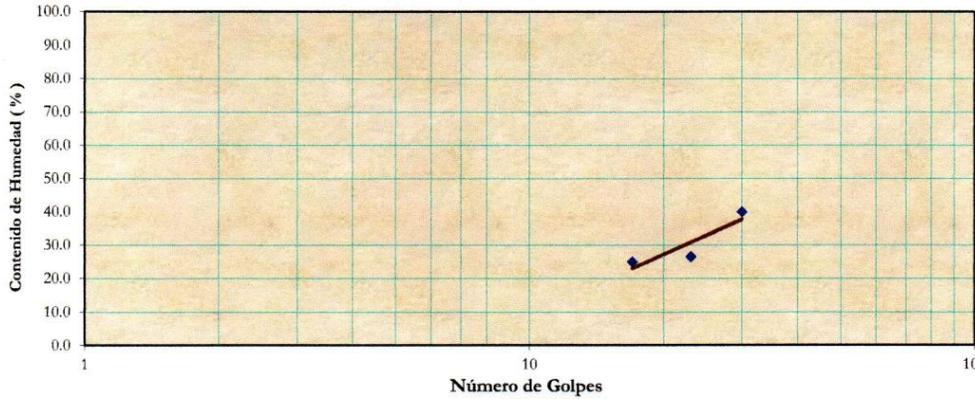
  
 Miguel Antonio Ovando López  
 INGENIERO CIVIL  
 COLECCIÓN N.º 10398  
 VaBa.)

Continuación apéndice 2.

Proyecto :	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"							2
Ensayo :	LÍMITES DE CONSISTENCIA							
Fecha de Muestreo :	04 de Febrero de 2.016							
		LÍMITE LIQUIDO			LÍMITE PLASTICO			Límites de Consistencia
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3	
Peso Tara + Muestra Húmeda	gr	45.00	48.00	47.00	48.12	35.67	43.25	Límite Líquido: LL = 32.99%
Peso Tara + Muestra Seca	gr	42.15	44.65	43.02	46.78	32.44	42.32	Límite Plástico: LP = 32.81%
Peso de la Tara	gr	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	Índice de Plasticidad: IP = 0.19%
Peso de la Muestra Seca	gr	17.15	19.65	18.02	23.78	7.44	17.32	Contenido de Humedad: Wn = 0.31
Peso del Agua	gr	6.86	5.22	4.50	6.30	3.44	4.45	Grado de Consistencia: Kw = 13.24
Contenido de Humedad	%	40.00	26.56	24.97	26.49	46.24	25.69	Grado de Consistencia: Semi Dura
Número de Golpes		30	23	17	Promedio :	32.81		
No. Pozo:	1							
No. de Capa:	2							
Profundidad:	1.00 m							
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)							
25	32.895							

**LÍMITE LIQUIDO**



Según su Plasticidad el suelo pertenece al grupo **Baja plasticidad, consistencia semi dura**

Miguel Antonio Ovando López  
INGENIERO CIVIL

VaBo.)

Continuación apéndice 2.

Proyecto :		CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"						<b>3</b>
Ensayo :		LÍMITES DE CONSISTENCIA						
Fecha de Muestreo :		04 de Febrero de 2016						
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO			Límites de Consistencia
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3	
Peso Tara + Muestra Húmeda	gr	43.25	44.12	42.54	47.76	36.78	42.15	Límite Líquido: LL = 35.40%
Peso Tara + Muestra Seca	gr	41.75	42.98	41.78	47.54	35.90	42.10	Límite Plástica: LP = 24.20%
Peso de la Tara	gr	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	Índice de Plasticidad: IP = 11.20%
Peso de la Muestra Seca	gr	16.75	17.98	16.78	22.54	10.90	17.10	Contenido de Humedad: Wn = 0.23
Peso del Agua	gr	6.86	5.22	4.50	4.39	3.08	4.25	Grado de Consistencia: Kw = 1.11
Contenido de Humedad	%	40.96	29.03	26.82	19.48	28.26	24.85	Grado de Consistencia: Semi Dura
Número de Golpes		29	22	18	Promedio :		24.20	
No. Pozo:		1						
No. de Capa:		3						
Profundidad:		1.50 m						
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)							
29	40.96							
22	29.03							
18	26.82							
25	35.395							

**LÍMITE LÍQUIDO**

Contenido de Humedad (%)

Número de Golpes

Según su Plasticidad el suelo pertenece al grupo: **Baja plasticidad, consistencia media dura**

Miguel Antonio Ovando López  
 INGENIERO CIVIL  
 C. O. P. No. 10556

VaBa.)

Continuación apéndice 2.

Proyecto :	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"							4
Ensayo :	LÍMITES DE CONSISTENCIA							
Fecha de Muestreo :	04 de Febrero de 2016							
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO			Límites de Consistencia
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3	
Peso Tara + Muestra Húmeda	gr	45.67	43.15	48.90	42.34	41.02	40.35	Límite Líquido: LL = 24.41%
Peso Tara + Muestra Seca	gr	42.35	40.23	45.67	41.56	39.87	38.76	Límite Plástico: LP = 19.28%
Peso de la Tara	gr	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	Índice de Plasticidad: IP = 5.13%
Peso de la Muestra Seca	gr	17.35	15.23	20.67	16.56	14.87	13.76	Contenido de Humedad: Wn = 0.22
Peso del Agua	gr	4.10	4.05	4.03	2.10	3.45	3.02	Grado de Consistencia: Kw = 0.53
Contenido de Humedad	%	23.63	26.59	19.50	12.68	23.20	21.95	Grado de Consistencia: Suave
Número de Golpes		30	22	13	Promedio :		19.28	
No. Pozo:	1							
No. de Capa:	4							
Profundidad:	2.00 m							
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)							
30	23.63							
22	26.59							
13	19.50							
25	24.409							

**LÍMITE LÍQUIDO**

Contenido de Humedad (%)

Número de Golpes

Según su Plasticidad el suelo pertenece al grupo: **Baja plasticidad, consistencia suave**

Miguel Antonio Ovando López  
 INGENIERO CIVIL  
 COLEGIADO No. 10558

VoBo.)

Continuación a apéndice 2.

Proyecto :	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"							<b>5</b>
Ensayo :	LÍMITES DE CONSISTENCIA							
Fecha de Muestreo :	04 de Febrero de 2.016							
		LÍMITE LIQUIDO			LÍMITE PLASTICO			Límites de Consistencia
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3	
Peso Tara + Muestra Húmeda	gr	46.34	44.22	41.05	41.35	43.55	44.67	Límite Líquido: LL = 26.02%
Peso Tara + Muestra Seca	gr	46.12	43.76	40.88	41.20	40.65	38.76	Límite Plástico: LP = 21.83%
Peso de la Tara	gr	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	Índice de Plasticidad: IP = 4.19%
Peso de la Muestra Seca	gr	21.12	18.76	15.88	16.20	15.65	13.76	Contenido de Humedad: Wn = 0.22
Peso del Agua	gr	5.67	4.75	3.76	3.65	3.30	3.01	Grado de Consistencia: Kw = 1.04
Contenido de Humedad	%	26.85	25.32	23.68	22.53	21.09	21.88	Grado de Consistencia: Semi Dura
Número de Golpes		31	21	13	Promedio :	21.83		
No. Pozo:	1							
No. de Capa:	5							
Profundidad:	2.50 m							
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)							
31	26.85							
21	25.32							
13	23.68							
25	26.025							

**LÍMITE LIQUIDO**

Contenido de Humedad (%)

Número de Golpes

Según su Plasticidad el suelo pertenece al grupo: **Baja plasticidad, consistencia semi dura**

Miguel Antonio Ovando López  
INGENIERO CIVIL  
C.C.O.P. N.º 10358

VaBo.)

Continuación apéndice 2.

Proyecto :	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"							6
Ensayo :	LÍMITES DE CONSISTENCIA							
Fecha de Muestreo :	04 de Febrero de 2016							
		LÍMITE LIQUIDO			LÍMITE PLASTICO			Límites de Consistencia
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3	
Peso Tara + Muestra Húmeda	gr	47.45	46.67	44.32	42.34	41.56	43.78	Límite Líquido: LL = 23.96%
Peso Tara + Muestra Seca	gr	39.33	41.65	38.36	41.32	41.02	41.77	Límite Plástico: LP = 20.35%
Peso de la Tara	gr	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	Índice de Plasticidad: IP = 3.61%
Peso de la Muestra Seca	gr	14.33	16.65	13.36	16.32	16.02	16.77	Contenido de Humedad: W <sub>n</sub> = 0.24
Peso del Agua	gr	3.56	3.77	3.23	3.75	3.33	2.90	Grado de Consistencia: K <sub>w</sub> = 0.08
Contenido de Humedad	%	24.84	22.64	24.18	22.98	20.79	17.29	Grado de Consistencia: Viscosa
Número de Golpes		33	23	15	Promedio :	20.35		
No. Poza:	1							
No. de Capa:	6							
Profundidad:	3.00 m							
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)							
33	24.84							
23	22.64							
15	24.18							
25	23.962							
Según su Plasticidad el suelo pertenece al grupo <b>Baja plasticidad, consistencia viscosa</b>								

Miguel Antonio Ovando López  
INGENIERO CIVIL  
C.C. No. 10558

VoBo.)

Continuación apéndice 2.

Proyecto :	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"						1	
Ensayo :	LÍMITES DE CONSISTENCIA							
Fecha de Muestreo :	04 de Febrero de 2016							
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO			Límites de Consistencia
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3	
Peso Tara + Muestra Húmeda	gr	47.23	44.56	41.76	42.34	41.56	43.78	Límite Líquido: LL = 25.17%
Peso Tara + Muestra Seca	gr	43.15	42.65	38.65	41.32	41.02	41.77	Límite Plástico: LP = 24.54%
Peso de la Tara	gr	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	Índice de Plasticidad: IP = 0.63%
Peso de la Muestra Seca	gr	18.15	17.65	13.65	16.32	16.02	16.77	Contenido de Humedad: Wn = 0.23
Peso del Agua	gr	4.24	4.66	4.02	4.45	3.75	3.85	Grado de Consistencia: Kw = 3.99
Contenido de Humedad	%	23.36	26.40	29.45	27.27	23.41	22.96	Grado de Consistencia: Semi Dura
Número de Golpes		31	21	16	Promedio :	24.54		
No. Pozo:	2							
No. de Capa:	1							
Profundidad:	1.00 m							
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)							
31	23.36							
21	26.40							
16	29.45							
25	25.173							

**LÍMITE LÍQUIDO**

Contenido de Humedad (%)

Número de Golpes

Según su Plasticidad el suelo pertenece al grupo: **Baja plasticidad, consistencia semi dura**

  
 Miguel Antonio Ovando López  
 INGENIERO CIVIL  
 COLEGIADO No. 10558  
 VaBa.)

Continuación apéndice 2.

Proyecto :	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"							2
Ensayo :	LÍMITES DE CONSISTENCIA							
Fecha de Muestreo :	04 de Febrero de 2016							
		LÍMITE LIQUIDO			LÍMITE PLASTICO			Límites de Consistencia
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3	
Peso Tara + Muestra Húmeda	gr	47.01	45.06	42.90	43.22	42.23	44.56	Límite Líquido: LL = 25.67%
Peso Tara + Muestra Seca	gr	44.65	43.45	39.85	42.65	42.65	43.67	Límite Plástico: LP = 23.40%
Peso de la Tara	gr	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	Índice de Plasticidad: IP = 2.27%
Peso de la Muestra Seca	gr	19.65	18.45	14.85	17.65	17.65	18.67	Contenido de Humedad: Wn = 0.23
Peso del Agua	gr	4.72	4.64	4.60	4.55	4.02	4.04	Grado de Consistencia: Kw = 1.03
Contenido de Humedad	%	24.02	25.15	30.98	25.78	22.78	21.64	Grado de Consistencia: Semi Dura
Número de Golpes		34	22	14	Promedio :	23.40		
No. Pozo:	2							
No. de Capa:	2							
Profundidad:	2.00 m							
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)							
34	24.02							
22	25.15							
14	30.98							
25	25.665							

**LÍMITE LIQUIDO**

Contento de Humedad (%)

Número de Golpes

Según su Plasticidad el suelo pertenece al grup **Baja plasticidad, consistencia semi dura**

Miguel Antonio Ovando López  
 INGENIERO CIVIL  
 Colegiado No. 11110

VaBa.)

Continuación apéndice 2.

Proyecto :	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"						<b>3</b>	
Ensayo :	LÍMITES DE CONSISTENCIA							
Fecha de Muestreo :	04 de Febrero de 2.016							
<b>Tara Número</b>	<b>Unidades</b>	<b>LÍMITE LIQUIDO</b>			<b>LÍMITE PLASTICO</b>			<b>Límites de Consistencia</b>
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
Peso Tara + Muestra Húmeda	gr	46.65	45.34	43.87	42.66	44.78	46.76	Límite Líquido: LL = 23.64%
Peso Tara + Muestra Seca	gr	45.58	44.66	42.34	41.32	43.65	44.23	Límite Plástico: LP = 23.48%
Peso de la Tara	gr	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	Índice de Plasticidad: IP = 0.16%
Peso de la Muestra Seca	gr	20.58	19.66	17.34	16.32	18.65	19.23	Contenido de Humedad: Wn = 0.23
Peso del Agua	gr	4.72	4.64	4.60	4.55	4.02	4.04	Grado de Consistencia: Kw = 1.95
Contenido de Humedad	%	22.93	23.60	26.53	27.88	21.55	21.01	Grado de Consistencia: Semi Dura
<b>Número de Golpes</b>		<b>32</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>Promedio :</b>	<b>23.48</b>		
No. Paño:	2	<b>ESTRATA</b>						
No. de Capa:	2							
Profundidad:	4.00 m							
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)							
32	22.93							
20	23.60							
15	26.53							
25	23.637							
<b>LÍMITE LIQUIDO</b>								
Según su Plasticidad el suelo pertenece al grupo: <b>Baja plasticidad, consistencia semi dura</b>								

Miguel Antonio Ovando López  
INGENIERO CIVIL

VaBo.)

Continuación apéndice 2.

Proyecto : <b>CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DEL PARQUE "EL CALVARIO"</b>										I/I
Ensayo : <b>Porcentaje de Humedad/Peso Especifico</b>										
Fecha de Muestreo : 04 de Febrero de 2.016										
<b>PORCENTAJE DE HUMEDAD</b>										
Observaciones :										
		Ubicación : P-1			Ubicación : P-1			Ubicación : P-2		
		Profundidad:			Profundidad:			Profundidad:		
		0.50 m	1.00 m	1.50 m	2.00 m	2.50 m	3.00 m	1.00 m	2.00 m	4.00 m
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Recipiente + Muestra Húmeda	gr	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Peso Recipiente + Muestra Seca	gr	87.12	88.35	86.65	87.34	88.20	90.45	86.50	92.10	90.78
Peso (Recipiente)	gr	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Peso (Muestra Seca)	gr	47.12	48.35	46.65	47.34	48.20	50.45	46.50	52.10	50.78
Peso (Agua)	gr	12.88	11.65	13.35	12.66	11.80	9.55	13.50	7.90	9.22
Contenido de Humedad	%	27.33	24.10	28.62	26.74	24.48	18.93	29.03	15.16	18.16
Promedio		26.68			23.38			20.78		
<b>PESO ESPECIFICO</b>										
Observaciones :										
		Ubicación : P-1			Ubicación : P-1			Ubicación : P-2		
		Profundidad:			Profundidad:			Profundidad:		
		0.50 m	1.00 m	1.50 m	2.00 m	2.50 m	3.00 m	1.00 m	2.00 m	4.00 m
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso del Suelo Seco	gr	114.20	129.30	121.20	139.70	113.80	102.70	114.40	178.40	104.50
Peso Frasco + Agua	gr	660.00	660.00	660.00	660.00	660.00	660.00	660.00	660.00	660.00
Volumen de Sólidos	cm <sup>3</sup>	42.20	47.30	45.20	51.70	41.80	38.70	46.40	66.40	54.50
Peso Especifico de Sólidos	gr / cm <sup>3</sup>	2.71	2.73	2.68	2.70	2.72	2.65	2.47	2.69	1.92
Promedio		2.71			2.69			2.36		

  
 Miguel Antonio Ovando López  
 INGENIERO CIVIL  
 -----  
 Vo.Bo.)

Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Análisis de calidad de agua

 <p><b>LabAG</b> Laboratorio de Calidad de Agua Ingeniería CUNOC</p>	<p>LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA DIVISION DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE</p>		
	<p><b>ENTREGA DE RESULTADOS</b></p>		
<p>Versión 01 Página 1 de 2</p>	<p>Código: LCA-TMM-F05</p>	<p>Vigencia: Diciembre de 2021</p>	

<b>CODIGO DE LA MUESTRA</b>	<b>LOT-005-21</b>	<b>REGISTRO DE PRODUCTO</b>	<b>29001-006-21</b>
<b>PRODUCTO</b>	Agua Potable COGUANOR 29001 Mínimo	<b>RECIPIENTE</b>	Plástico PET
<b>MUESTRA</b>	Agua de escorrentía pluvial	<b>FECHA TOMA</b>	21/03/2020, 18:00
<b>CONDICION</b>	Adecuada (preservada en frío)	<b>FECHA INGRESO</b>	22/03/2020, 15:00
<b>TOMADA POR</b>	Personal ajeno al laboratorio.	<b>REMITENTE</b>	Erick Galdámez
<b>DIRECCION</b>	Parque el Calvario, Zona 1, Quetzaltenango		
<b>PROYECTO</b>	CARACTERIZACION GEOTECNICA DEL SUELO DEL PARQUE EL CALVARIO DE LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO		

COGUANOR NTG 29001						
CODIGO	PARAMETRO	Método Ref. (Rango)	RESULTADO	UN.	LMA	LMP
<b>1. PROPIEDADES FISICAS Y AGREGADOS</b>						
FYA1	Color aparente/real	SM 2120 (3-200)	2601/162	UC	5	35
FYA2	Turbidez	SM 2130 (0-1000)	148	NTU	5	15
FYA3	Olor	SM 2150	R.		N.R.	N.R.
FYA5	Temperatura Insitu		---	°C		
FYA8	Dureza Total (CaCO3)	SM 2340-C (0-25,000)	109.6	mg/L	100	500
FYA9	Conductividad / Salinidad	SM 2510 (0.00-19.99)	342	µS/cm	750	1500
FYA12	Sólidos Disueltos Totales	SM 2540-C (0-50,000)	147	mg/L	500	1000
FYA13	Sólidos Suspendidos Totales*	SM 2540-D	255	mg/L	-	-
FYA15	Sólidos Sedimentables*	SM 2540F	0.1	mL/L	-	-
<b>2. METALES</b>						
MTL7	Calcio	SM 3500-Ca-B (0-25,000)	30.44	mg/L	75	150
MTL10	Hierro total	SM 3500-Fe (0.02-3.00)	0.07	mg/L	0.3	-
MTL11	Magnesio	SM 3500-Mg-B	8.145	mg/L	50	100
MTL12	Manganeso	SM 3500-Mn (0.1-20.0)	< 0.1	mg/L	0.1	0.4
<b>3. INORGANICOS NO METALES</b>						
NMI2	Cianuro	SM 4500-CN (0.002-0.24)	< 0.002	mg/L	-	0.07
NMI4	Cloro Residual libre	SM 4500-Cl-G (0.02-2.00)	< 0.02	mg/L	0.5	1
NMI5	Cloruro	(0.1-25.0)	12.1	mg/L	100	250
NMI6	Fluoruro	SM 4500-F-D (0.02-2.00)	0.61	mg/L	-	1.5
NMI7	pH	SM 4500-H (0-14)	6.12	Log	7.0-7.5	6.5-8.5
NMI9	Nitrato	SM 4500-NO3-E (0.3-30.0)	1.9	mg/L	-	50
NMI10	Nitrito	SM 4500-NO2-B (0.002-0.300)	0.258	mg/L	-	3
NMI16	Sulfato	SM 4500-SO4-2-E (2-70)	11	mg/L	100	250
<b>3. MICROBIOLÓGICOS</b>						
MCB2	Coliformes Totales	SM 9222 B	3.5*10 <sup>4</sup>	UFC/100mL	0	0



Modulo G, 1er Nivel, Calle Rodolfo Robles 29-99 Zona 1, Quetzaltenango  
Tel. 78730000 ext 2331 / [lab.aguas@cunoc.edu.gt](mailto:lab.aguas@cunoc.edu.gt)

Página 1 de 2

Continuación apéndice 3.

 <p><b>LabAG</b> Laboratorio de Calidad de Agua Ingeniería CUNOC</p>	<p><b>LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA</b> DIVISION DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE</p>		
	<p><b>ENTREGA DE RESULTADOS</b></p>		
<p>Versión 01 Página 2 de 2</p>	<p>Código: LCA-TMM-F05</p>	<p>Vigencia: Diciembre de 2021</p>	

**DICTAMEN DE ANÁLISIS**

**Identificación de la Muestra**

Muestra No:	LOT-005-21
Registro No:	29001-006-21
Código de Cliente	---

De acuerdo únicamente a los parámetros analizados, se concluye que la muestra recibida y analizada en el laboratorio **NO satisface los criterios de calidad de la norma COGUANOR NTG 29 001**, Agua para consumo humano (Agua Potable).

Por la siguiente razón: Coliformes Totales, pH, Turbidez, Color, Olor

**Analizada de acuerdo a los siguientes criterios:**

- Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19,20,21,22 ediciones. Detalle de cada método indicado.

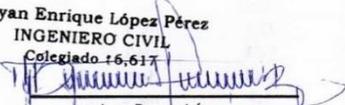
**Información adicional:**

- Prohibida la parcial o total reproducción por el cliente u otra persona, sin la debida autorización escrita por parte de Laboratorio de Calidad de Agua de Centro Universitario de Occidente.
- Este informe pertenece única y exclusivamente a la muestra descrita, tal y como fue recibida en el laboratorio.

**Nomenclatura utilizada:**

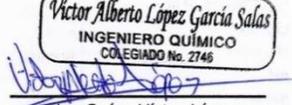
- LMA - Limite Máximo Aceptable
- LMP - Limite Máximo Permisible
- - Análisis no realizado
- N.R.- No Rechazable

**Bryan Enrique López Pérez**  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado +6,617



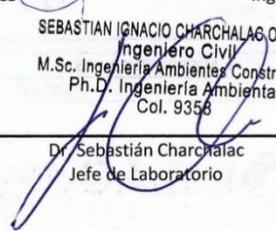
Ing. Bryan López  
Analista

**Victor Alberto López García Salas**  
INGENIERO QUÍMICO  
COLEGIADO No. 2746



Ing. Quím. Víctor López  
Revisor Técnico

**SEBASTIAN IGNACIO CHARCHALAG OCHOA**  
Ingeniero Civil  
M.Sc. Ingeniería Ambientes Construidos  
Ph.D. Ingeniería Ambiental  
Col. 9356



Dr. Sebastián Charchalag  
Jefe de Laboratorio



**LabAG**  
Laboratorio de Calidad de Agua

✓ Análisis y Resultados  
Certificados



CENTRO UNIVERSITARIO  
DE OCCIDENTE  
CUNOC-USAC



**LabAG**  
Laboratorio de Calidad de Agua

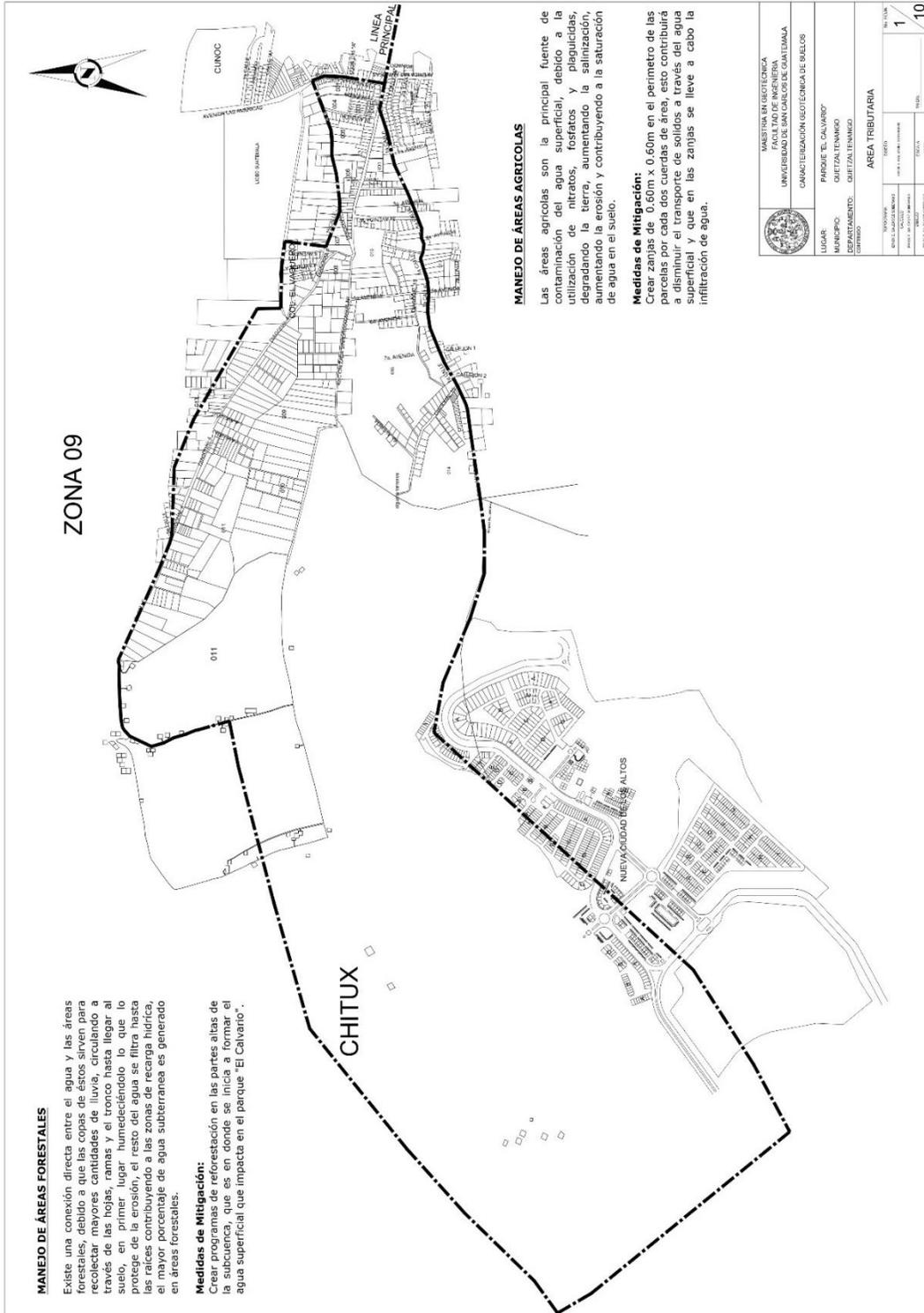
05 ABR 2021

**RESULTADOS ENTREGADOS**

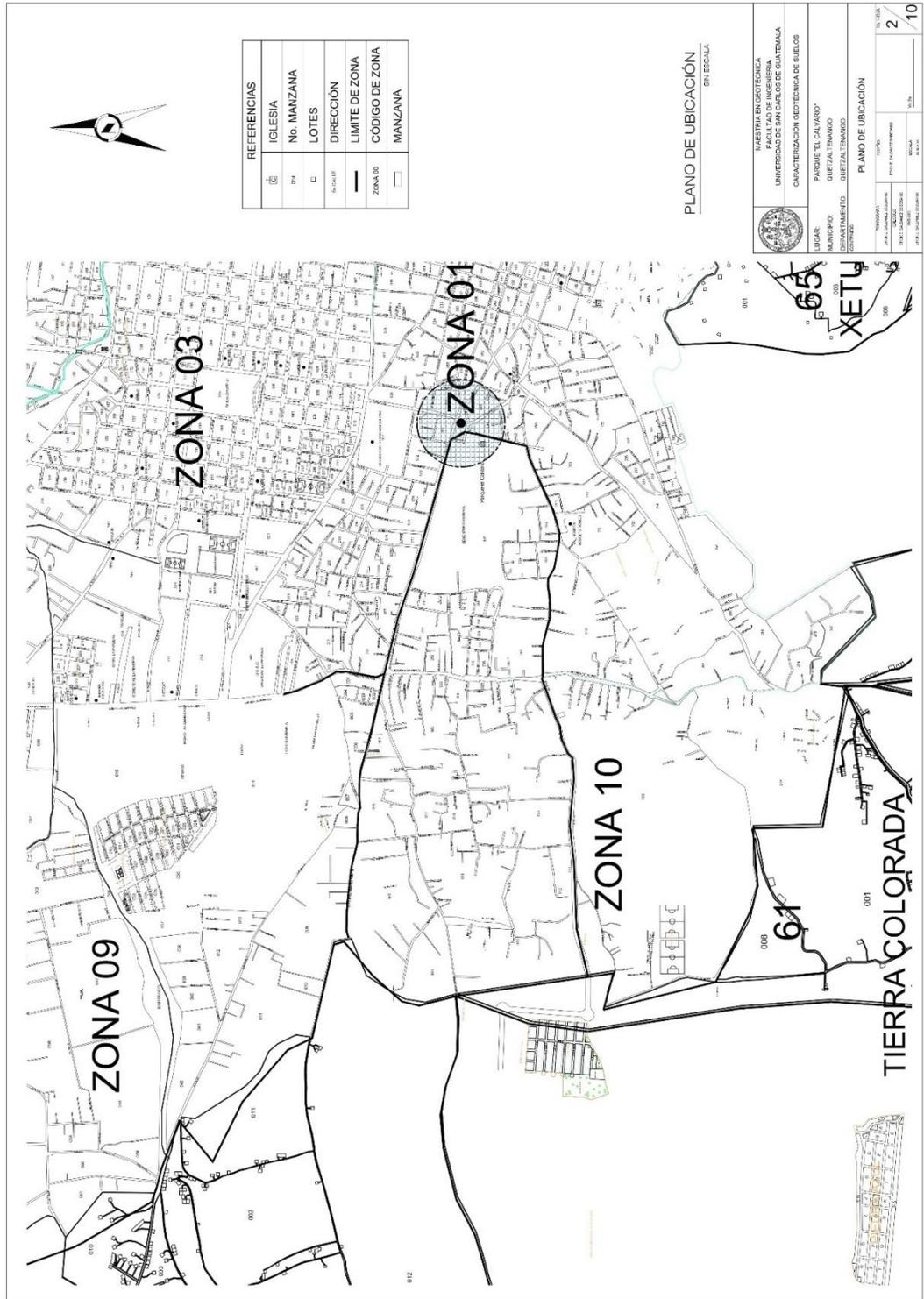
Por: \_\_\_\_\_

Fuente: elaboración propia con resultados obtenidos en el Laboratorio de Calidad de Agua de la División de Ciencias de la Ingeniería del Centro Universitario de Occidente (2021).

## Apéndice 4. Planos



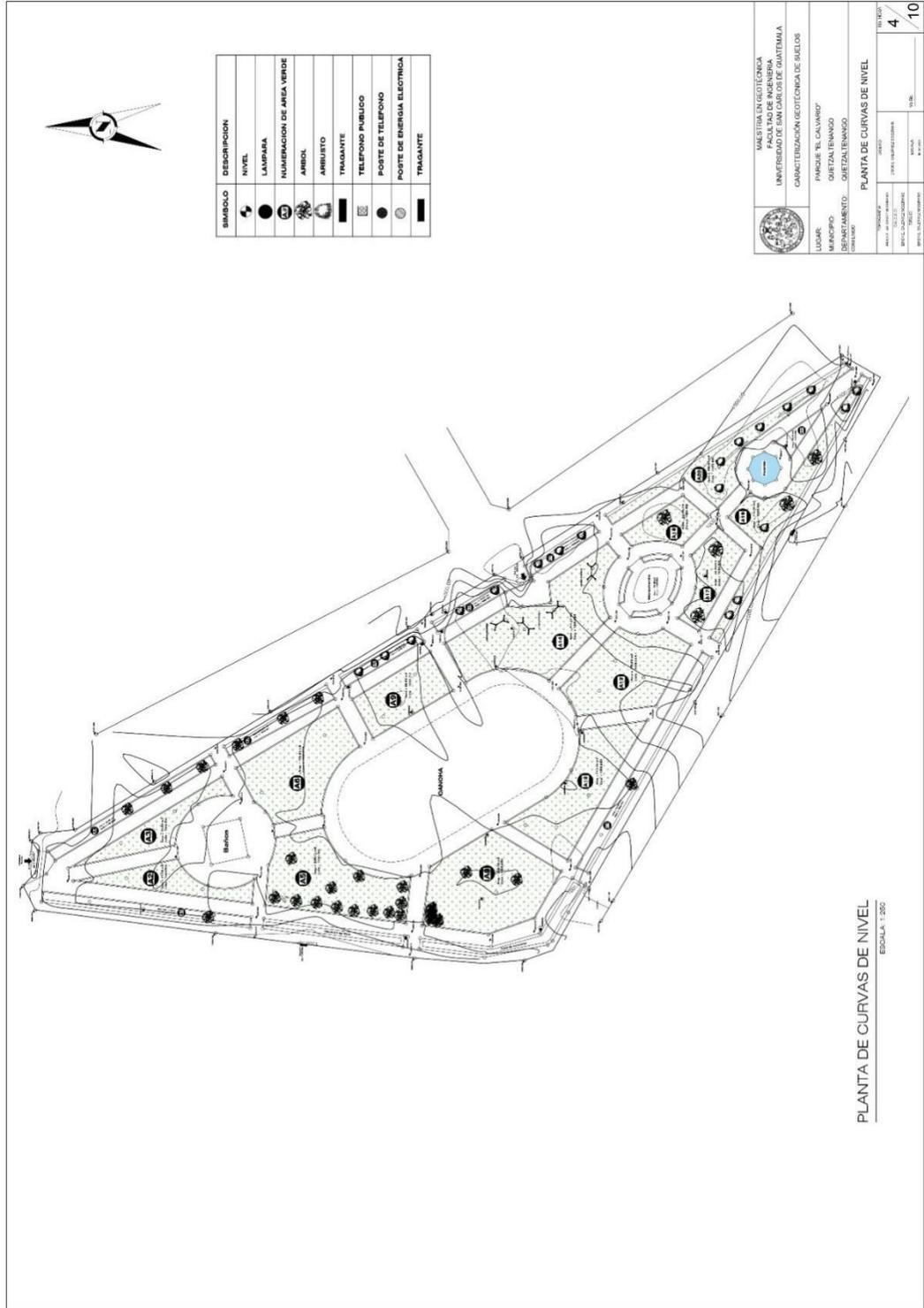
Continuación apéndice 4.



Continuación apéndice 4.



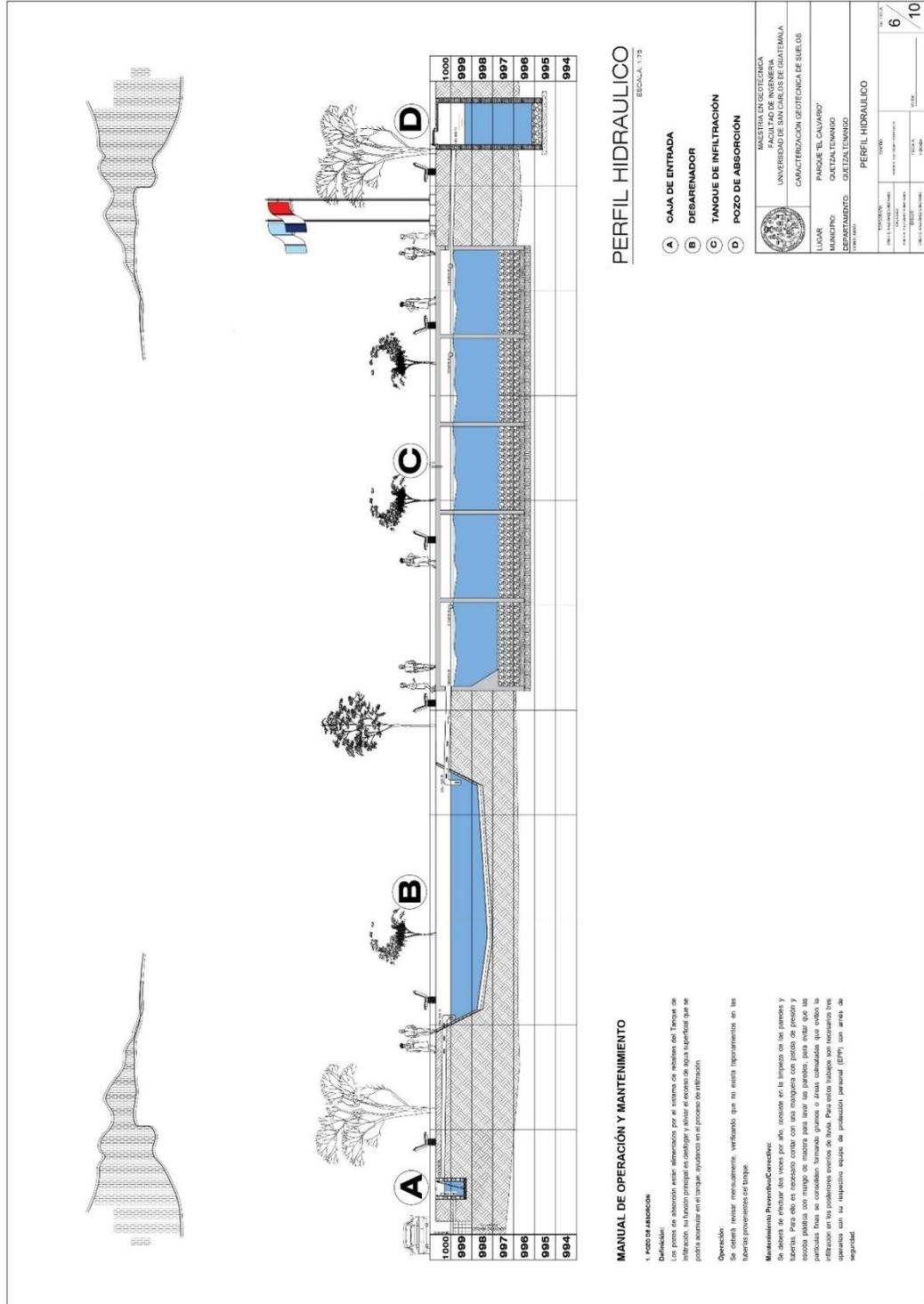
Continuación apéndice 4



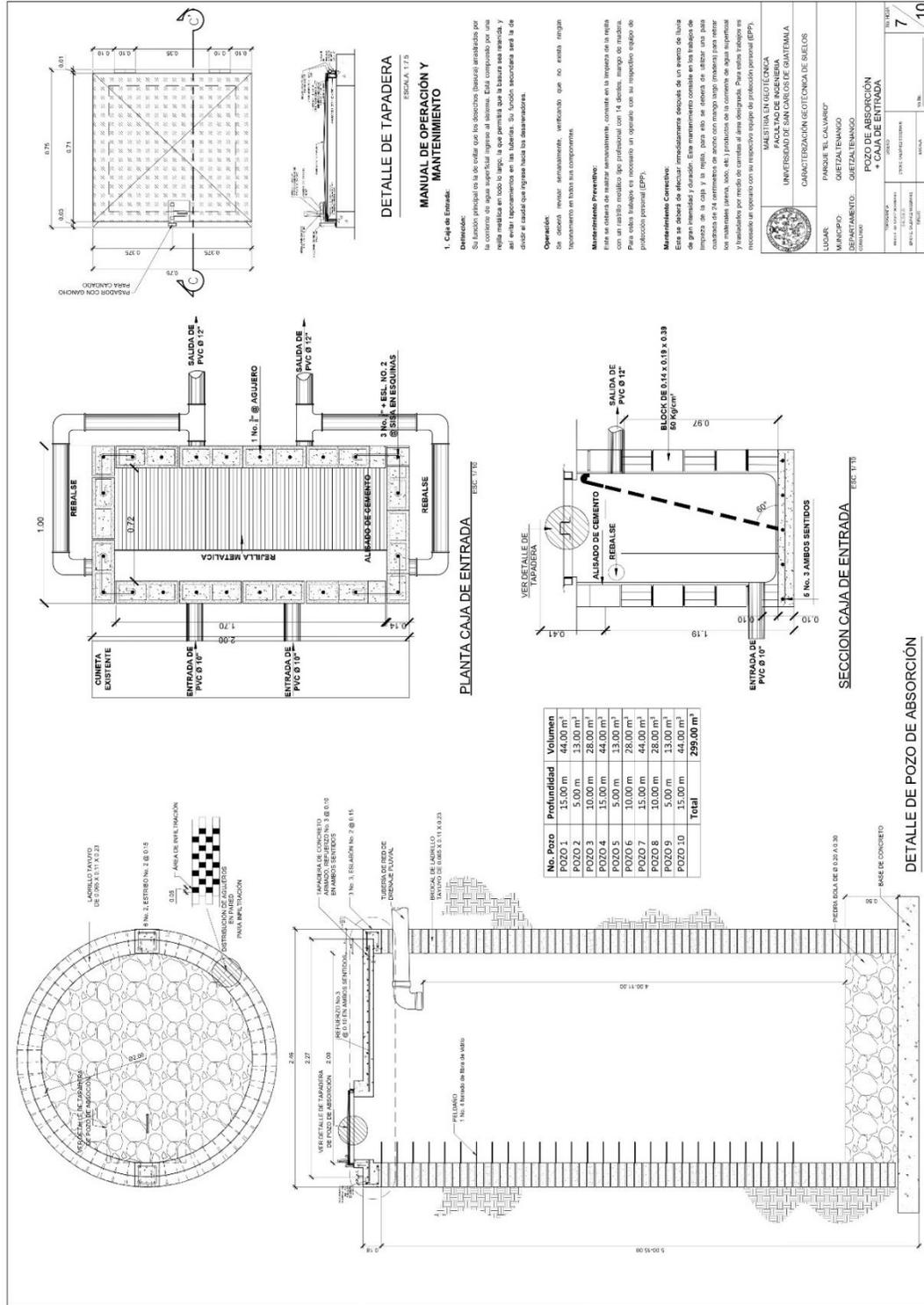
Continuación apéndice 4.



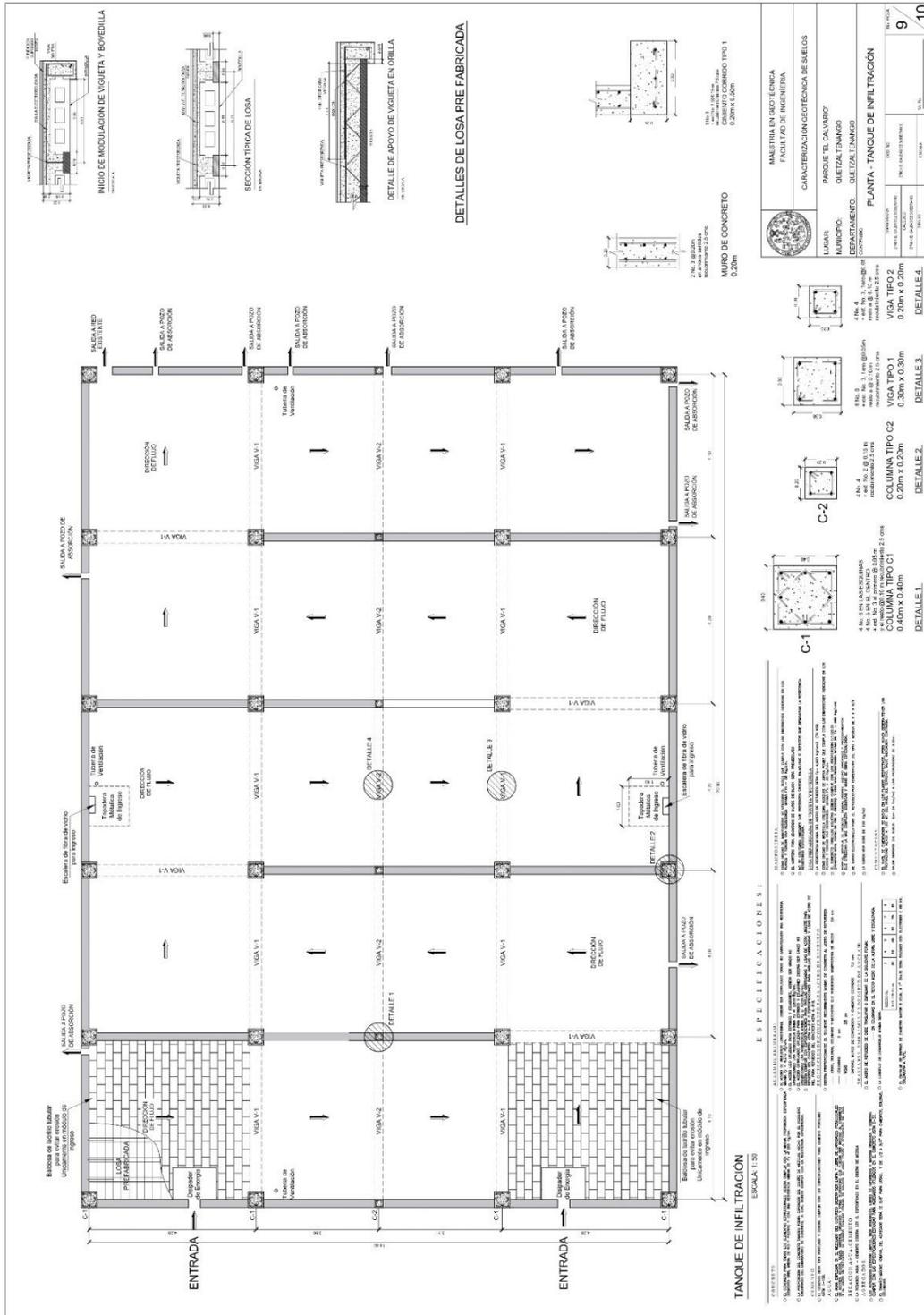
Continuación apéndice 4.



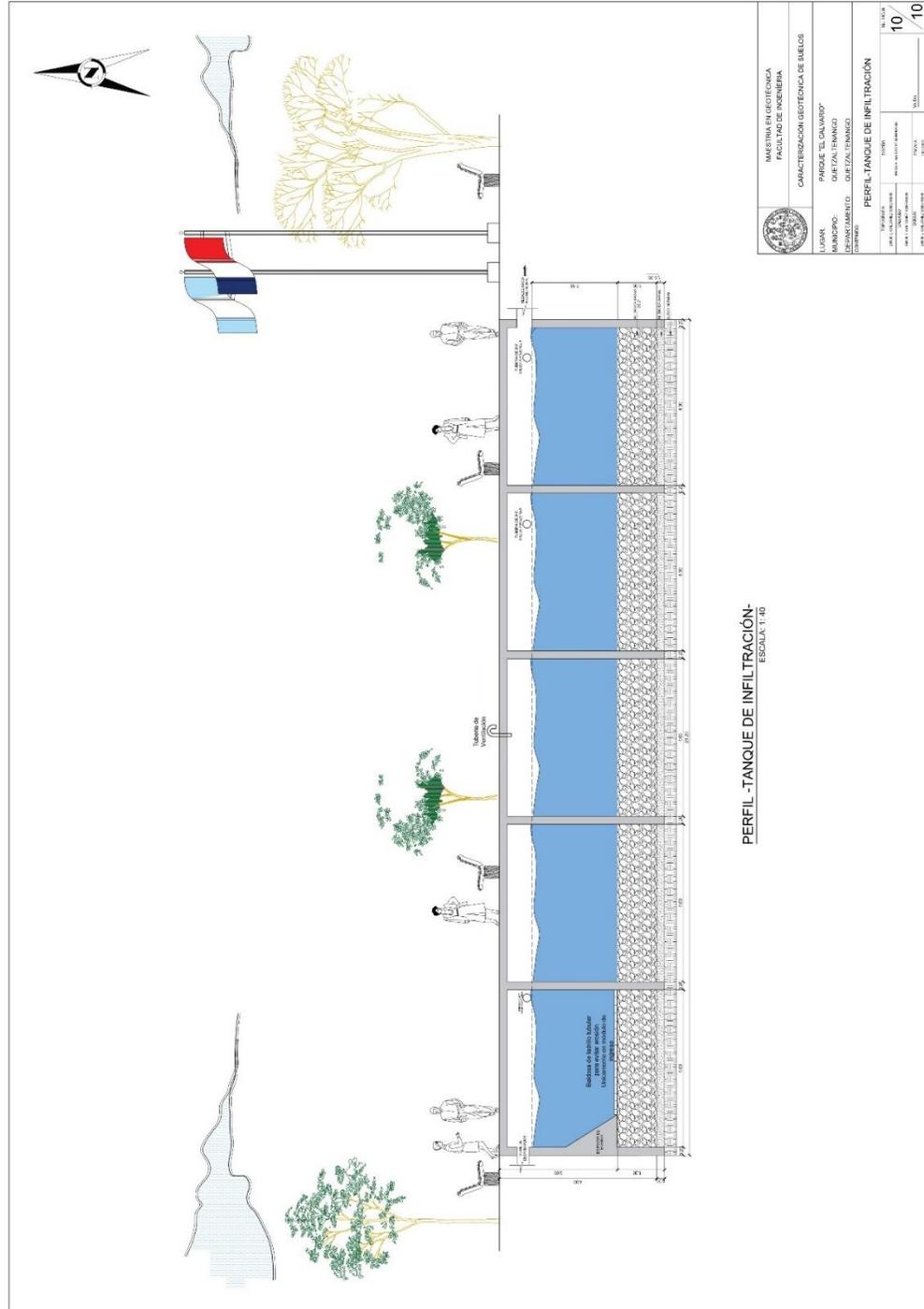
Continuación apéndice 4.







Continuación apéndice 4.



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.