

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**“Modelo Geológico-Térmico De Guayaquil”**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERA EN GEOLOGÍA**

Presentada por:

**Tania Elizabeth Espinoza Yépez**

**Guayaquil – Ecuador**

**Año: 2014**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) y a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), por permitirme realizar esta tesis de grado, además agradecer al Laboratorio de Petrología (FICT), Laboratorio de Materiales (FICMP), Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales (LEMAT), Laboratorio de Energías y Fuentes Renovables (Lab-FREE), por prestarme sus equipos e instalaciones. Un agradecimiento especial y con todo el corazón a la Dra. Katthy López, el Dr. Mauricio Cornejo, Dr. Guillermo Soriano y a la Lcda. Inmaculada González, por su apoyo y compartir su conocimiento conmigo. También agradezco a mis compañeros de trabajo, en especial a Rubén, Frank y Pablo, por que formaron una parte fundamental para la realización de esta tesis; a mis compañeros de carrera que han aportado gran conocimiento en mi formación profesional y a todas las personas que me ayudaron de una u otra forma.

## **DEDICATORIA**

A DIOS, por darme la vida y tantas valiosas oportunidades, que me han permitido aprender.

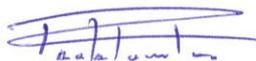
A MI MADRE por tener la paciencia y amor, además de su apoyo incondicional que ha sido una base fundamental en mi vida y me ha hecho la mujer que siempre quise ser.

A MI FAMILIA porque cada uno de ellos me ha inspirado a seguir aunque fuera difícil, siempre a mi lado en las buenas y malas.

A ÁNGEL gracias por tu apoyo y amor que son invaluableles.

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Por:



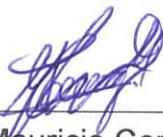
---

Dra. Elizabeth Peña  
DECANA DE LA FICT  
PRESIDENTA



---

Dra. Kathy López  
DIRECTORA DE TESIS



---

Dr. Mauricio Cornejo  
VOCAL PRINCIPAL



---

Dr. Eddy Sanclemente O.  
VOCAL SUPLENTE

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Tania Elizabeth Espinoza Yépez

## RESUMEN

En el marco del proyecto “Estudio de uso de suelo como sumidero de calor para reemplazo de torres de enfriamiento/enfriadores evaporativos”, que se lleva a cabo entre la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) y el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energía Renovables (INER), se realizó la presente tesis en la temática de las características geológicas de los suelos y rocas, investigados, de la ciudad de Guayaquil, facilitando a este proyecto el análisis geológico y de las características térmicas del suelo, en la que se zonificaron las regiones más favorables desde el punto de vista geológico-térmico para implementar sistemas de climatización.

Para el análisis geológico se realizaron 10 perforaciones, de las cuales se obtienen las muestras de suelos y rocas. Sobre el suelo se realizó la caracterización geotécnica (Granulometría, Densidad, Humedad y Límites plásticos) y sobre las rocas y suelos se realizó análisis mineralógicos utilizando Difracción de Rayos X (DRX). Durante las perforaciones se instaló el sistema

de intercambiador de calor para realizar las pruebas in situ y estimar de las propiedades térmicas como: conductividad térmica, difusividad térmica y resistividad del suelo.

Posteriormente, se elaboran columnas estratigráficas de cada perforación para correlacionar mediante perfiles los estratos descritos y elaborar el modelo geológico de la zona e identificar el modelo térmico. El mapa y perfil de resultados indicará cuál es la zona más idónea para poner en funcionamiento este sistema en reemplazo de una torre de enfriamiento.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	II
ABREVIATURAS .....	VIII
SIMBOLOGÍA .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES .....	2
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Ubicación de área de estudio .....	4
1.3. Clima, hidrografía y oceanografía .....	6
1.4. Geología Regional y Local .....	9

## CAPÍTULO 2

2. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICO.....	20
2.1. Objetivo General.....	20
2.2. Objetivos específicos.....	20

## CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA.....	22
3.1. Trabajo de campo.....	23
3.1.1. Testificaciones.....	23
3.1.2. Pruebas de respuesta térmica in situ de la ciudad de Guayaquil. 26	
3.2. Trabajo de laboratorio.....	29
3.2.1. Descripción Megascópica de sedimentos y elaboración de Columnas Estratigráficas.....	30
3.2.2. Resultados de laboratorio: Granulometría, Índices de Plasticidad, Porcentaje de Humedad.....	31
3.2.3. Difracción de Rayos X.....	32
3.2.4. Cálculo de Propiedades térmicas.....	37

## CAPÍTULO 4

4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA Y MINERALÓGICA DE SUELOS Y ROCAS.....	41
4.1. Clasificación Geotécnica del Suelo.....	41
4.1.2. Análisis de Resultados.....	45
4.2. Mineralogía de Suelos y Rocas.....	46
4.2.1. Descripción Megascópica de arenas.....	47
4.2.2. Interpretación de DRX.....	55
4.2.3. Análisis de Resultados.....	70
4.3. Columnas Estratigráficas de las perforaciones.....	72
4.4. Correlaciones y análisis de las perforaciones.....	98

## CAPÍTULO 5

5. CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE LA LITOLOGÍA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.....	101
5.1. Propiedades térmicas.....	101
5.1.1. Métodos para la obtención de las propiedades térmicas.....	109
5.1.2. Análisis de Resultados.....	113

## CAPÍTULO 6

## 6. MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

118

6.1. Perfil Geológico de los suelos y rocas de la ciudad de Guayaquil. 118

6.2. Mapa Geológico-Térmico de los suelos y rocas de la ciudad de

Guayaquil. .... 122

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 126

ANEXOS ..... 130

BIBLIOGRAFÍA..... 132

## ABREVIATURAS

<b>A</b>	Anortita
<b>CH</b>	Arcilla de alta plasticidad
<b>SM</b>	Arena limosa
<b>SP</b>	Arena mal graduada
<b>cm</b>	centímetro
<b>Q</b>	Cuarzo
<b>DRX</b>	Difractómetro de rayos X
<b>Fe</b>	Ferroactinolita
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>GLD</b>	Ground Loop Design
<b>He</b>	Heulandita
<b>I-M</b>	Illita-Montmorillonita
<b>Kg m/s</b>	Kilogramo por metro/segundo
<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramo/metro cúbico
<b>Kg/s</b>	Kilogramo/segundo
<b>L</b>	Laumontita
<b>L-L</b>	Laumontita-Leonhardita
<b>Pt</b>	Lignito
<b>MH</b>	Limo de alta plasticidad
<b>ML</b>	Limo de baja plasticidad
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup>/s</b>	Metro cuadrado/segundo
<b>m C/W</b>	Metro por Celsius/ Watts
<b>Mo</b>	Mordenita
<b>N</b>	Nontronita
<b>s</b>	Segundo
<b>TRT</b>	Test de Respuesta Térmica
<b>V</b>	Vermiculita

<b>Vo</b>	Volkonskoita
<b>W</b>	Watts
<b>W/m<sup>2</sup>C</b>	Watts/ metro cuadrado por Celsius
<b>W/m C</b>	Watts/ metro por Celsius

## SIMBOLOGÍA

<b>Q</b>	Carga de calor transferido
<b>m</b>	Caudal del flujo de masa del fluido circulante
<b>H</b>	Coefficiente de transferencia de calor por convección
<b>K</b>	Conductividad térmica
<b><math>\rho</math></b>	Densidad
<b>D</b>	Diámetro
<b><math>\alpha</math></b>	Difusividad térmica
<b>o</b>	Exterior
<b>F</b>	Fluido circulante
<b>i</b>	Interior
<b>L</b>	Longitud
<b>Pr</b>	Número de Prandtl
<b>Re</b>	Número de Reynolds
<b>N</b>	Número de tuberías
<b>B</b>	Pozo
<b>G</b>	Relleno de pozo
<b>R</b>	Resistencia térmica
<b>S</b>	Suelo
<b>T</b>	Temperatura
<b>t</b>	Tiempo
<b>P</b>	Tubería
<b><math>\mu</math></b>	Viscosidad

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Ubicación del área de Estudio. Ciudad de Guayaquil. ....	4
<b>Figura 1.2.</b> Mapa de Precipitaciones de Guayaquil 2013.....	6
<b>Figura 1.3.</b> Red Hidrológica de Guayaquil. ....	8
<b>Figura 1.4.</b> Mareas del Río Guayas. ....	9
<b>Figura 1.5.</b> Macrodominios geomorfológicos de Guayaquil. ....	11
<b>Figura 1.6.</b> Calizas de la Formación San Eduardo.....	12
<b>Figura 1.7.</b> Lutitas silicificadas de la Formación Guayaquil.....	13
<b>Figura 1.8.</b> Intercalaciones de lutitas y areniscas de Formación Cayo. ....	14
<b>Figura 1.9.</b> Columna Estratigráfica generalizada de la Cordillera Chongón Colonche.....	15
<b>Figura 1.10.</b> Perfil estratigráfico de la llanura aluvial en el nuevo puente del río Daule. ....	17
<b>Figura 1.11.</b> Perfil estratigráfico-geotécnico del proyecto de viaducto en la Av. Machala. ....	18
<b>Figura 1.12.</b> Mapa geológico de Guayaquil.....	19
<b>Figura 3.1.</b> Sonda TP 50 sobre Land Rover.....	23

<b>Figura 3.2.</b> Sonda ACKER TP 30 sobre patines. ....	24
<b>Figura 3.3.</b> Caja plástica para conservar la humedad de testigos recuperados. .....	25
<b>Figura 3.4.</b> Codo metálico y Tubería de polietileno de alta densidad. ....	26
<b>Figura 3.5.</b> Esquema de Medición de Temperaturas con Geocube. ....	28
<b>Figura 3.6.</b> Sistema Instalado, medición P1 Espol. ....	29
<b>Figura 3.7.</b> Estéreo-microscopio manual. ....	30
<b>Figura 3.8.</b> Preparación química de las muestras. ....	33
<b>Figura 3.9.</b> Molienda de las muestras. ....	34
<b>Figura 3.10.</b> Difractómetro de Rayos X. ....	34
<b>Figura 3.11.</b> DRX de una muestra con Zincita para cuantificación y DRX de muestra en polvo para análisis cualitativa .....	36
<b>Figura 4.1.</b> Minerales de Cuarzo, P2. ....	48
<b>Figura 4.2.</b> Minerales de Feldespatos, P2. ....	48
<b>Figura 4.3.</b> Minerales de Anfíboles/olivinos/piroxenos, P4. ....	49
<b>Figura 4.4.</b> Minerales de Feldespatos, P4. ....	49
<b>Figura 4.5.</b> Agrupación de granos de arena de la P4, ubicada en el Centro Cívico. ....	50
<b>Figura 4.6.</b> Minerales de Cuarzo, P6. ....	51
<b>Figura 4.7.</b> Minerales de Feldespatos, P6. ....	51
<b>Figura 4.8.</b> Minerales de Magnetita, P7. ....	52
<b>Figura 4.9.</b> Minerales de Magnetita, P8. ....	52

<b>Figura 4.10.</b> Carbonatos, P8. ....	53
<b>Figura 4.11.</b> Minerales de Cuarzo, P9. ....	53
<b>Figura 4.12.</b> Minerales de Magnetita, P9. ....	54
<b>Figura 4.13.</b> Difractograma de las muestras de la perforación 1. ....	56
<b>Figura 4.14.</b> Difractograma de las muestras de la perforación 2. ....	57
<b>Figura 4.15.</b> Difractograma de las muestras de la perforación 3. ....	59
<b>Figura 4.16.</b> Difractograma de las muestras de la perforación 4. ....	60
<b>Figura 4.17.</b> Difractograma de las muestras de la perforación 5. ....	62
<b>Figura 4.18.</b> Difractograma de las muestras de la perforación 6. ....	63
<b>Figura 4.19.</b> Difractograma de las muestras seleccionadas de la perforación 7. ....	64
<b>Figura 4.20.</b> Difractograma de las muestras de la perforación 8. ....	65
<b>Figura 4.21.</b> Difractograma de las muestras de la perforación 9. ....	66
<b>Figura 4.22.</b> Difractograma de las muestras de la perforación 10. ....	67
<b>Figura 4.23.</b> Difractograma de fracción arcilla de la perforación 9. ....	70
<b>Figura 4.24.</b> Tobas volcánicas. ....	74
<b>Figura 4.25.</b> Lapilli. ....	74
<b>Figura 4.26.</b> Nódulos de limo oxidados. ....	76
<b>Figura 4.27.</b> Limo muy plástico con lignito. ....	76
<b>Figura 4.28.</b> Nódulos de arcilla grisáceos. ....	77
<b>Figura 4.29.</b> Materia orgánica: restos de hoja. ....	78
<b>Figura 4.30.</b> Limo con arena y nódulos oxidados. ....	78

<b>Figura 4.31.</b> Lapilli.....	78
<b>Figura 4.32.</b> Restos de conchas.....	80
<b>Figura 4.33.</b> Impresión de hoja.....	80
<b>Figura 4.34.</b> Semiroca limonita.....	80
<b>Figura 4.35.</b> Arcilla con nódulos calcáreos.....	81
<b>Figura 4.36.</b> Cantos de gravas calcáreos.....	81
<b>Figura 4.37.</b> Arcilla con intercapas de arena y patinas de oxidación.....	81
<b>Figura 4.38.</b> Limo con intercapas de arena y lignito.....	83
<b>Figura 4.39.</b> Materia Orgánica: restos de ramas.....	83
<b>Figura 4.40.</b> Restos de Conchas.....	83
<b>Figura 4.41.</b> Lignito. ....	84
<b>Figura 4.42.</b> Limo con arena. ....	84
<b>Figura 4.43.</b> Semiroca con nódulos calcáreos. ....	84
<b>Figura 4.44.</b> Nódulos de arcilla.....	85
<b>Figura 4.45.</b> Limo con intercapas de arena y lignito.....	86
<b>Figura 4.46.</b> Lentes de arena. ....	86
<b>Figura 4.47.</b> Materia orgánica: conchas en descomposición.....	86
<b>Figura 4.48.</b> Restos de conchas.....	87
<b>Figura 4.49.</b> Limo con patinas de oxidación y algo de lignito. ....	88
<b>Figura 4.50.</b> Limo con arena y lignito. ....	88
<b>Figura 4.51.</b> Restos de Conchas.....	89
<b>Figura 4.52.</b> Limo con intercapas de arena, plegadas. ....	89

<b>Figura 4.53.</b> Limo con arena fina.....	89
<b>Figura 4.54.</b> Nódulos de arcilla en la arena.....	90
<b>Figura 4.55.</b> Lignito. ....	91
<b>Figura 4.56.</b> Materia Orgánica: restos de ramas.....	92
<b>Figura 4.57.</b> Gravas: cantos de lutita. ....	92
<b>Figura 4.58.</b> Gravas: cantos de caliza.....	92
<b>Figura 4.59.</b> Limo grisáceo.....	94
<b>Figura 4.60.</b> Restos de Concha: Gasterópodo de 3 cm. ....	94
<b>Figura 4.61.</b> Limo con oxidación presente. ....	95
<b>Figura 4.62.</b> Arcilla con nódulos calcáreos.....	95
<b>Figura 4.63.</b> Limo con intercapas de arena.....	95
<b>Figura 4.64.</b> Limo grisáceo.....	97
<b>Figura 4.65.</b> Restos de conchas.....	97
<b>Figura 4.66.</b> Limo con intercapas de lignito.....	97
<b>Figura 4.67.</b> Impresiones de hojas.....	98
<b>Figura 4.68.</b> Mapa Geológico con la ubicación de los puntos de perforación. .....	99
<b>Figura 5.1.</b> a. Gráfica $\Delta T$ vs $\ln(t)$ (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Espol. ....	102
<b>Figura 5.2.</b> a. Gráfica $\Delta T$ vs $\ln(t)$ (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Universidad Estatal. ....	103

<b>Figura 5.3.</b> a. Gráfica $\Delta T$ vs $\ln(t)$ (derecha), b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Base Naval Norte. ....	104
<b>Figura 5.4.</b> a. Gráfica $\Delta T$ vs $\ln(t)$ (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Centro Cívico. ....	105
<b>Figura 5.5.</b> a. Gráfica $\Delta T$ vs $\ln(t)$ (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Astinave. ....	105
<b>Figura 5.6.</b> a. Gráfica $\Delta T$ vs $\ln(t)$ (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Hospital Teodoro Maldonado. ....	106
<b>Figura 5.7.</b> a. Gráfica $\Delta T$ vs $\ln(t)$ (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Esclusas. ....	107
<b>Figura 5.8.</b> a. Gráfica $\Delta T$ vs $\ln(t)$ (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Base Naval Sur. ....	107
<b>Figura 5.9.</b> a. Gráfica $\Delta T$ vs $\ln(t)$ (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Policía Militar del Suburbio. ....	108
<b>Figura 5.10.</b> Efectos de la marea sobre el test de respuesta térmica en Astinave. ....	116
<b>Figura 6.1.</b> Columnas estratigráficas (P11 y P12). ....	119
<b>Figura 6.2.</b> Perfil estratigráfico. ....	121
<b>Figura 6.3.</b> Mapas Geológicos con las diferentes propiedades térmicas. ..	122

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Coordenadas en UTM -WGS-84, de Puntos de Perforación.....	5
Tabla II. Tiempo de sedimentación de partículas por tamaño según ley Stokes. .....	37
Tabla III. Granulometría y Clasificación. Parte 1.....	42
Tabla IV. Granulometría y Clasificación. Parte 2. ....	43
Tabla V. Límites de Atterberg, humedad y densidad. Parte 1.....	44
Tabla VI. Límites de Atterberg, humedad y densidad. Parte 2.....	45
Tabla VII. Resumen de Porcentajes de Minerales de Arenas de las Perforaciones.....	54
Tabla VIII. Resumen de Identificación de minerales con difracción con rayos X.....	68
Tabla IX. Resumen de Identificación de muestras en roca total con difracción de rayos X.....	69
Tabla X. Rango de Horas. ....	110

Tabla XI. Propiedades de la Tubería y el relleno. ....	110
Tabla XII. Resultados de las propiedades térmicas utilizando el método lineal. .....	111
Tabla XIII. Resultados de las propiedades térmicas utilizando el programa Ground Loop Design.....	112
Tabla XIV. Thermal Properties of Selected Soils, Rocks, and Bore Grouts/Fills. .....	114
Tabla XV. Thermal Resistance of Bores $R_b$ for High-Density Polyethylene U- Tube Vertical Ground Heat Exchangers. ....	114

## INTRODUCCIÓN.

Guayaquil se eligió como un programa piloto en el proyecto de Estudio de Uso de Suelo como Sumideros de Calor para Reemplazo de Torres de Enfriamiento/Enfriadores Evaporativos, por parte de INER-ESPOL, debido a la gran demanda energética que genera en época de calor, esta tesis buscar ayudar al proyecto a establecer cuáles son los lugares más favorables para producir la mayor eficiencia posible de dichos sistemas teniendo la ayuda de la geología y de las propiedades térmicas. Para poder realizar el estudio de las propiedades térmicas fue necesario instalar sistemas de intercambio térmico para el suelo para efectuar un Test de Respuesta Térmica (TRT), por lo cual se realizaron perforaciones. Con los testigos de perforación se logró caracterizar los suelos tanto a nivel granulométrico como mineralógico (difracción de rayos X), esta información también nos permitió realizar columnas estratigráficas y un perfil de la zona de estudio. Realizados los TRT y con el procesamiento de información se calculó analíticamente y con un software las propiedades térmicas del suelo, estos datos se ubicaron en mapas junto con la geología de la zona y al final se obtuvo el modelo geológico-térmico que define las zonas de mejor potencial para la instalación de sistemas sumidero de calor.

# CAPÍTULO 1

## **1. GENERALIDADES.**

Guayaquil presenta características interesantes respecto a su geología que puede beneficiar las características térmicas del medio y dar una mejor eficiencia en el uso de sistemas intercambiadores de calor.

### **1.1. Antecedentes.**

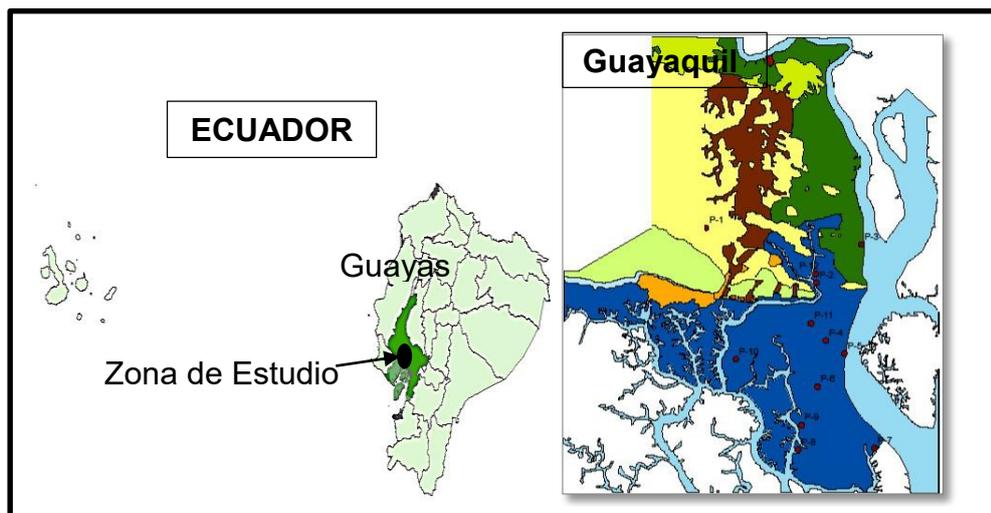
Tomando en cuenta que en la Unión Europea se están implementando velozmente sistemas de intercambiadores de calor para mejorar la climatización de ambientes, en un gran plan de aumentar la eficiencia energética de los edificios hasta el 2020 (1), y que en Estados Unidos la mayoría de edificaciones buscan dar un mayor confort a sus habitantes (2); además acogiéndonos al Plan del Buen Vivir (3), donde se estipula que es importante reforzar el uso de energías renovables como una buena alternativa de ahorro energético, se plantea en Ecuador por primera vez esta idea del suelo como sumidero de calor.

Guayaquil presenta diferentes problemas en temporada de calor, uno de los principales es que aumenta el consumo eléctrico de la ciudad al utilizar sistemas de climatización, que para las grandes empresas representa un verdadero gasto económico. Los más comunes sistemas de climatización utilizados en la mayoría de empresas son las torres de enfriamiento/enfriadores evaporativos los cuales se caracterizan por utilizar el aire como medio de enfriamiento; además, estos tienen un costo considerable, un mayor gasto eléctrico a largo plazo y ocupan un gran espacio.

Esta tesis se presenta en la temática de las características geológicas de los suelos y rocas, investigados, de la ciudad de Guayaquil, facilitando el análisis geológico y de las características térmicas del suelo al proyecto “Estudio de Uso de Suelo como Sumidero de Calor para Reemplazo de las Torres de Enfriamiento/Enfriadores Evaporativos” que se lleva a cabo entre la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) y el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energía Renovables (INER).

## 1.2. Ubicación de área de estudio.

El área de estudio se ubica en el centro-sur de la ciudad de Guayaquil, perteneciente a la Provincia del Guayas, como se observa en la Figura 1.1.



**Figura 1.1.** Ubicación del área de Estudio. Ciudad de Guayaquil.

**Fuente:** Mapa Geológico: Estudios Geológicos Benítez et al., Mapa del Ecuador: Sistema Nacional de Información.

En el mapa geológico se ubicaron los 10 puntos a perforar y se reconoce que la mayoría de ellos están sobre suelos deltaico-estuarinos. En la Formación Cayo se realizó una perforación y otra en el depósito aluvial. En la Tabla I están las coordenadas en sistema UTM-WGS84 de cada perforación con el nombre del lugar y su respectiva profundidad.

No.	Lugar de perforación	Profundidad	Coord. X	Coord. Y
P-1	Espol	60.00	616350.25	9762495.55
P-2	Estatal	60.00	622554.09	9759392.59
P-3	Base Naval Norte	60.00	625099.87	9761545.73
P-4	Centro Cívico	50.00	623103.20	9756112.67
P-5	Astinave	50.00	624152.13	9755373.32
P-6	Hospital	60.00	622635.45	9753496.58
P-7	Esclusa	60.00	625843.68	9750023.04
P-8	Base Naval Sur	60.00	621556.55	9749922.25
P-9	Trinitaria	50.00	621732.95	9751321.83
P-10	Suburbio Militar	60.00	618037.44	9755050.60

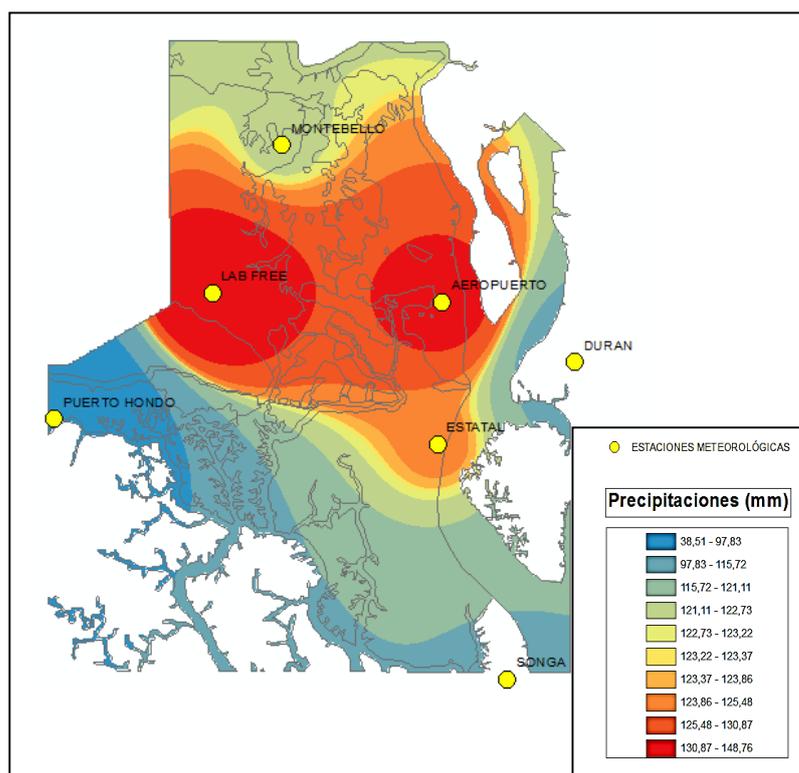
**Tabla I.** Coordenadas en UTM -WGS-84, de Puntos de Perforación.

Los lugares seleccionados están en las zonas urbanas del Centro-Sur de Guayaquil, por tal razón se considera un reconocimiento de presencia de tuberías en subsuelo, para evitar daños a las mismas durante las perforaciones.

En el ANEXO A, se puede observar un croquis de cada uno de los sectores con las tuberías de aguas servidas, agua potable y alcantarillado (Esquema INER obtenido de la Red de Interagua, 2013). También se presenta una imagen de satélite de cada lugar, tomadas del Google Earth y una foto del hito de cada perforación.

### 1.3. Clima, hidrografía y oceanografía.

El clima de la ciudad de Guayaquil es seco entre los meses de Junio a Noviembre, y húmedo de Diciembre a Mayo. La temperatura anual máxima media es de 33.9 °C y la mínima media 20.5 °C, (4).



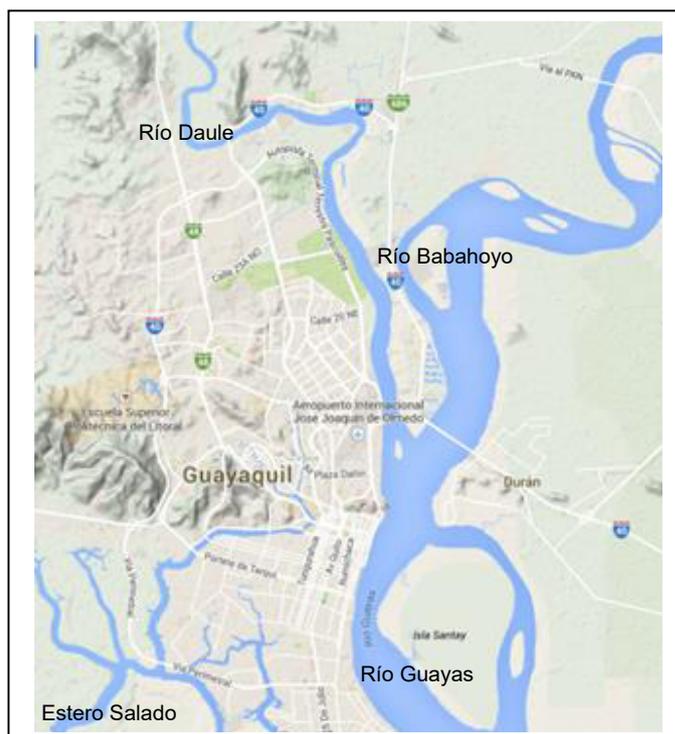
**Figura 1.2.** Mapa de Precipitaciones de Guayaquil 2013.

**Fuente:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Aeropuerto De Guayaquil, Laboratorio de Fuentes y Energías Renovables (LAB- FREE), Mapa de Proyecto Estudio de Uso de Suelo como Sumidero, INER. 2013.

El análisis de las precipitaciones (Figura 1.2), que corresponden a los meses de marzo hasta julio fechas en las empezaron a funcionar las estaciones de Montebello, Durán, Songa y Puerto Hondo; nos indica que se registró el máximo valor mensual de 681.5 mm en marzo

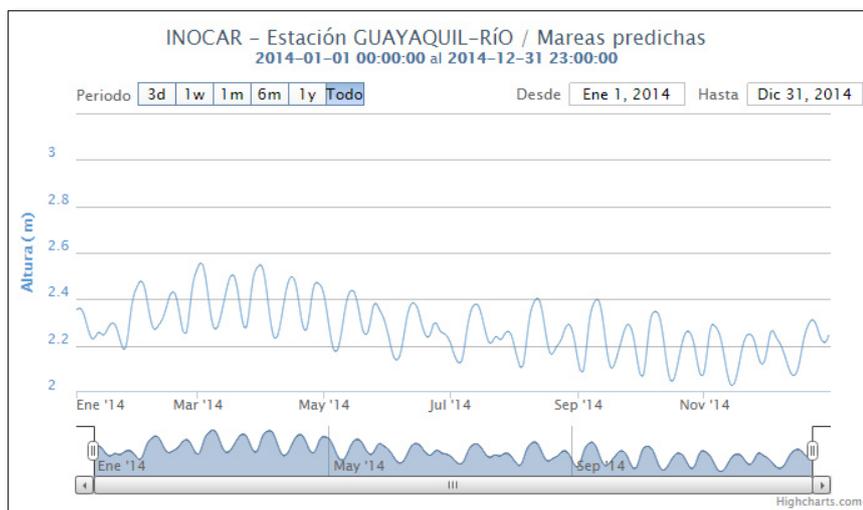
(estación LAB-FREE de Espol), disminuyendo gradualmente en abril y en los posteriores meses son casi nulas. Las lluvias fueron más intensas en el Norte-Centro de la ciudad.

En la Figura 1.3 se observan los Ríos Daule y Babahoyo, que se unen para formar el Río Guayas con dirección N-S que tiene desembocadura en el mar, (actualmente es denominada por algunos autores (4) Ría Guayas por su comportamiento como estuario y el alto contenido de agua salobre). Se reconocen los cambios de corriente de la ría que van de N-S (Bajamar) y de S-N (Pleamar). A su vez la ciudad es atravesada por Estero Salado, el cual se ramifica extensamente por toda la zona Sur-Centro de la ciudad, pero el gran crecimiento urbano ha ido rellenando algunos ramales del mismo, siendo influenciados por las mareas.



**Figura 1.3.** Red Hidrológica de Guayaquil.  
**Fuente:** Google Maps, Guayaquil en Relieve.

La ría Guayas está gobernada por las mareas, las cuales recargan a los acuíferos subterráneos que se encuentran en la ciudad, como indica el INOCAR. En la Figura 1.4, se observa un promedio de las alturas en metros de las mareas predichas para el año 2014. Las máximas son de 5 m y las mínimas de hasta 0.1 m.



**Figura 1.4.** Mareas del Río Guayas.  
**Fuente:** Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), Estación Guayaquil/Río, Mareas Predichas Anual 2014.

#### 1.4. Geología Regional y Local.

Para poder entender mejor la geología de Guayaquil es importante revisar su geomorfología que presenta los siguientes Macrodominios (4), Ver la Figura 1.5:

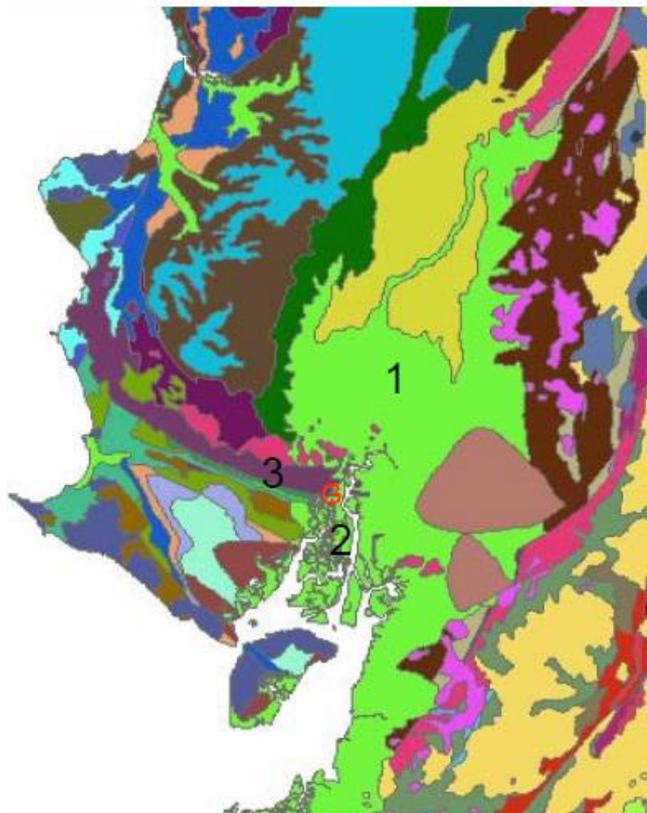
1. La llanura aluvial de los ríos Daule y Babahoyo.
2. El complejo deltaico- estuarino de la Ría Guayas.
3. Las colinas de la Cordillera Chongón-Colonche.

La llanura aluvial de la ría Guayas se encuentra al NE de la ciudad y está asociada directamente con a la llanura de inundación de los ríos Daule y Babahoyo (siendo estos ríos los que forman la ría Guayas a la altura de la Puntilla), llevando consigo una gran cantidad de limos en suspensión, por lo que presenta una fuerte sedimentación, formando

islas y bancos; otras geofomas son los cauces fluviales y los meandros abandonados, (5). Muchas ciudadelas están asentadas en la llanura de inundación, por lo que en épocas de lluvias es común se inunden ciertos sectores de la ciudad.

Por otro lado, El complejo deltaico- estuarino está en el centro-sur de la ciudad y va desde los cerros del Carmen, Santa Ana y Durán hasta la isla Puná, donde la ría Guayas y el Estero Salado encuentran su desembocadura al mar. Es constituido mayormente por islas las que albergan bosques de manglar que son alimentados por canales de agua salobre.

La Cordillera Chongón Colonche se encuentra el NO de la ciudad y es una estructura homoclinal de rumbo promedio N110<sup>0</sup>, (4). La cual está constituida por el Fm. San Eduardo, Fm. Guayaquil, Fm. Cayo, y Fm. Piñón.



**Figura 1.5.** Macrodominios geomorfológicos de Guayaquil.  
 1. Llanura aluvial ríos Daule y Babahoyo. 2. Llano deltaico-estuarino de la ría Guayas.  
 3. Cordillera Chongón-Colonche. G. Guayaquil.  
**Fuente:** Benítez et al. Estudios Geológicos, 2005.

La Geología de la Cordillera Chongón Colonche es descrita a continuación (aparecerán desde la más reciente hasta la más antigua):

Formación San Eduardo, Es descrita por Landes (6) y Williams (7); aflora en el flanco Sur de la Cordillera Chongón Colonche. La localidad Tipo se encuentra en la Cantera San Eduardo de la fábrica de Cemento Holcim Ecuador S.A., en la vía a la costa cerca de Guayaquil. Contiene calizas de tipo turbidítico, que van desde calcarenitas hasta calciruditas. Sus componentes están formados por detritos arrecifales; el color varía

de gris las más impuras a blanco las más puras. La potencia varía de 0 a 120 m. La Edad se asume es Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano. El Paleambiente es: marino de plataforma continental, (8). Como se presenta en la Figura 1.6.

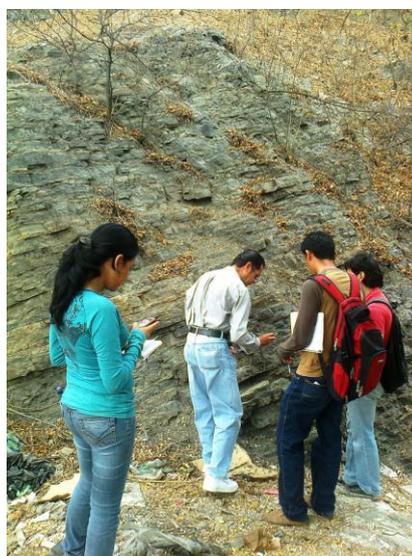


**Figura 1.6.** Calizas de la Formación San Eduardo. Frente a la segunda puerta de Puerto Azul, kilómetro 8 vía a la Costa.

Formación Guayaquil, Es definida por Thalmann (9), Canfield (10) y Benítez (11) le dan el título de formación. Además como la localidad tipo ha desaparecido debido al desarrollo urbano. Benítez (1996) y Mejía (12) dan una nueva localidad tipo ubicándola en el Km 13.4 al Sur de la Vía Perimetral. Fue dividida en Miembro inferior y Miembro Superior (11).

Consiste en una alternancia de lutitas y arcillolitas, con intercalaciones de areniscas de origen turbidítico. El Miembro inferior consiste de lutitas silíceas decimétricas y enriquecimiento secundario de nódulos de sílice (Chert). El Miembro superior está conformado por lutitas calcáreas y

lutitas silíceas de color gris oscuro. Este miembro presenta desde su base estratos intercalados de areniscas tobáceas con microfauna de foraminíferos, radiolarios y espículas de espongiarios. Edad: Miembro inferior Maastrichtiano inferior y para Miembro superior es el Paleoceno Temprano, Medio y Tardío. Paleoambiente: Batial, (8). Como se presenta en la Figura 1.7.



**Figura 1.7.** Lutitas silicificadas de la Formación Guayaquil. Afloramientos del kilómetro 15 de la vía perimetral.

Formación Cayo, Definida por Olson (13) son los depósitos de edad Cretácica. Aflora en la parte Norte-Oeste de Guayaquil, en la cordillera Chongón Colonche. Está constituida por estratos de lutitas intercalados con arenisca, conglomerados, cherts, tobas y aglomerados volcánicos. El conjunto de microfauna le da una edad de Campaniano medio. Sus

microfósiles guías son los radiolarios. Paleambiente: Batial, (8). Tiene de 2000 a 3000 m de potencia.

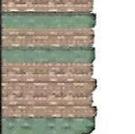
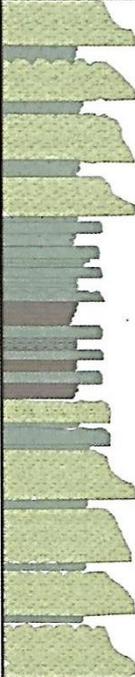
Thalman (9) la divide en tres miembros: Calentura, Cayo ss y Guayaquil. Benítez (11) y Mite (14) denominan el Miembro basal lutítico y el Miembro Cayo ss volcánico-clástico. Como se presenta en la Figura 1.8.



**Figura 1.8.** Intercalaciones de lutitas y areniscas de Formación Cayo. Afloramientos entrada a la Espol.

Formación Piñón, es el basamento cristalino de la costa ecuatoriana (4). La formación está constituida principalmente por basaltos afaníticos que presentan estructuras columnares y lavas almohadilladas, (4). En otros sectores presentan tobas, areniscas tobáceas y diabasas de colores verdosos; el espesor de la formación Piñón no ha sido medido, (15). Mediante métodos radiométricos se datado estas rocas de Aptiano superior-Albiano inferior sobre plagioclasas, y/o de Campaniano-

Maastrichtiano sobre roca total; considerándolas como rocas de fondo oceánico, (16), (8). En la Figura 1.9 se presenta la columna estratigráfica regional como resumen de la geología de la zona.

FORMACIÓN	LITOESTRATIGRAFÍA	BIOESTRATIGRAFÍA	PALEOAMBIENTE
Caliza Las Delicias		Eoceno Medio - Eoceno Tardío	Marino somero
San Eduardo		Eoceno Temprano - Eoceno Medio	Marino, Plataforma Continental
Guayaquil		Maastrichtiano - Paleoceno (Daniano)	Marino profundo de salinidad normal, Nerítico Externo a Batial
Cayo ss		Campaniano medio	Batial
Calentura		Coniaciano superior - Coniaciano medio	Marino de Plataforma Externa
Piñón		Aptiano superior - Albiano inferior	Fondo oceánico

**Figura 1.9.** Columna Estratigráfica generalizada de la Cordillera Chongón Colonche.  
Fuente: Micropaleontología Ecuatoriana, 2006.

Para la llanura aluvial se hace referencia al único estudio de esta morfología, que es el modelo estratigráfico para el diseño del puente sobre el río Daule, MOP (17) donde se interpretan 15 perforaciones. La Figura 1.10 presenta el perfil estratigráfico de la llanura aluvial con espesor de entre 40 y 65 m depositada sobre roca perteneciente a la Formación Cayo. La superficie de erosión de la roca se rellenó con conglomerados y areniscas, pertenecientes a la secuencia aluvial del río. Luego se depositarían unas arcillolitas verdosas con lentes de arena limosa fina, pertenecientes a la secuencia deltaico-estuarina. Se asume una edad de entre 8000 y 18000 años antes de la última subida del mar, (4).

Para la llanura deltaico-estuarina vamos a considerar el estudio y el perfil realizado en la Avenida Machala (18), realizado por el M.I. Municipio de Guayaquil, para el diseño del viaducto de la Av. Machala ver Figura 1.11. De abajo hacia arriba se reconoce entre 40 a 35 m presencia de arenas; encima de ellas hay lentes de limos y arcillas, areno-arcillosos con un potencia de 20 m, y los 20 m restantes son de una capa de arcillas predominantes con lentes de arena limosa o limo arcilloso, (4).

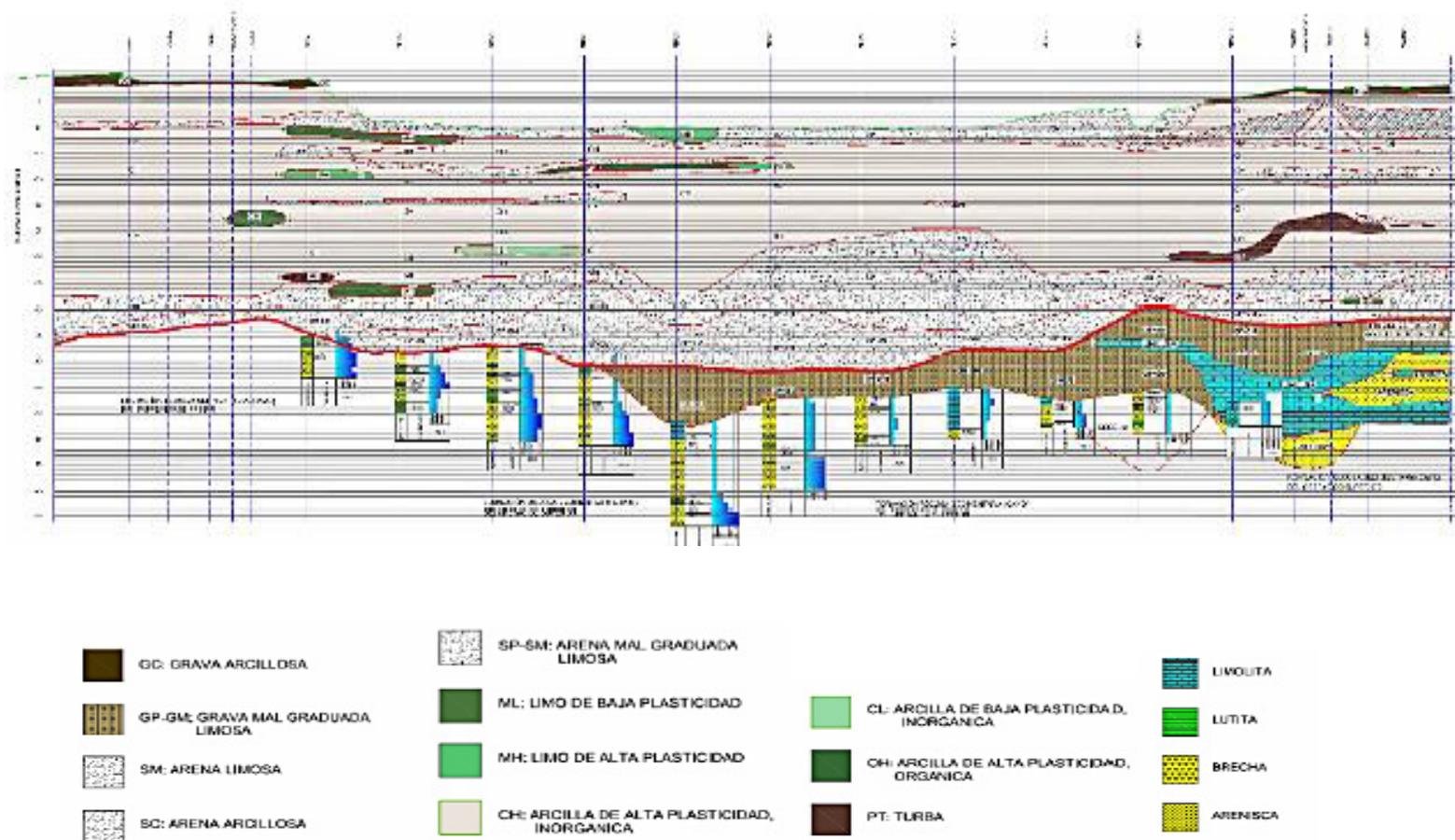
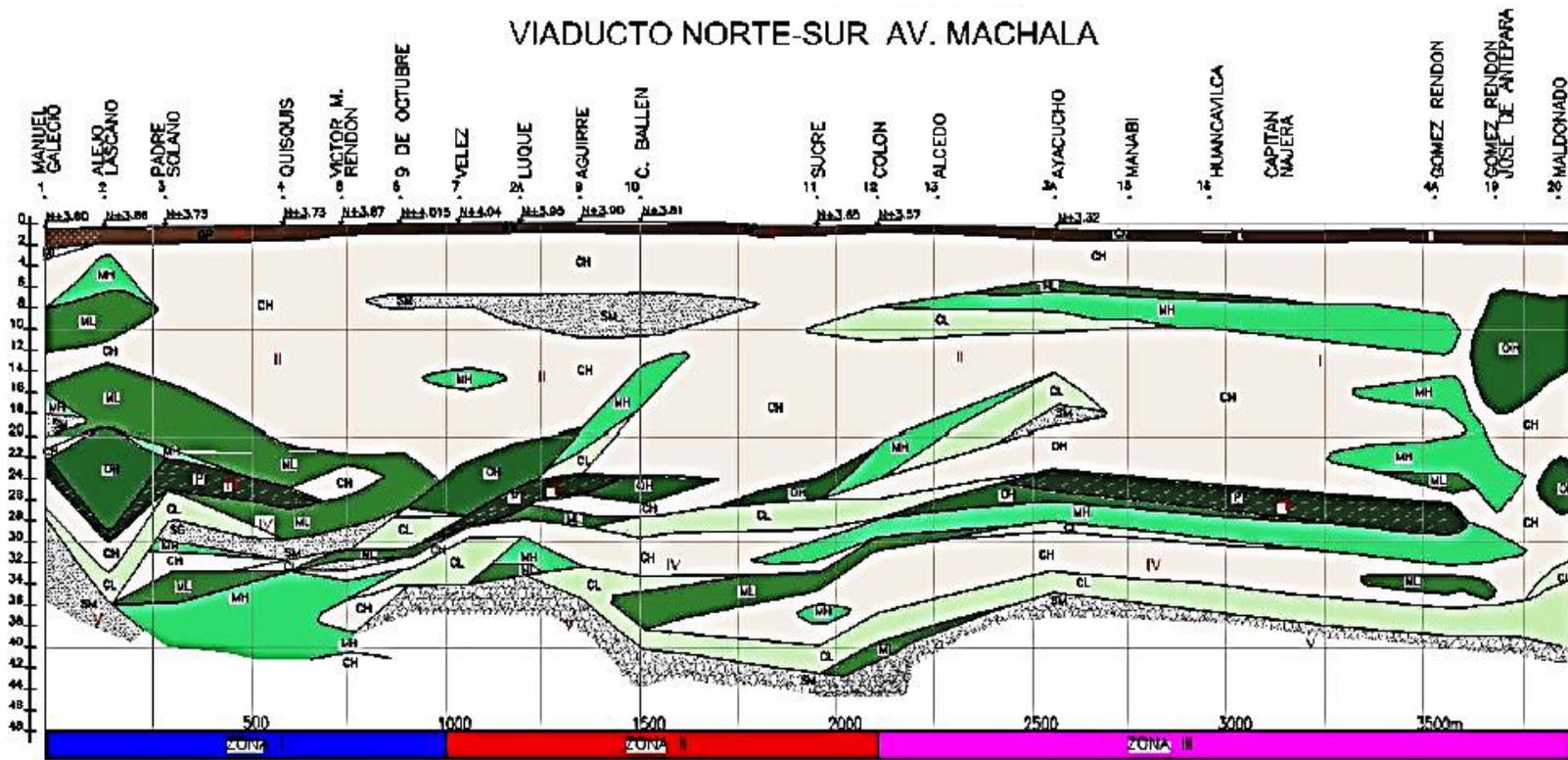
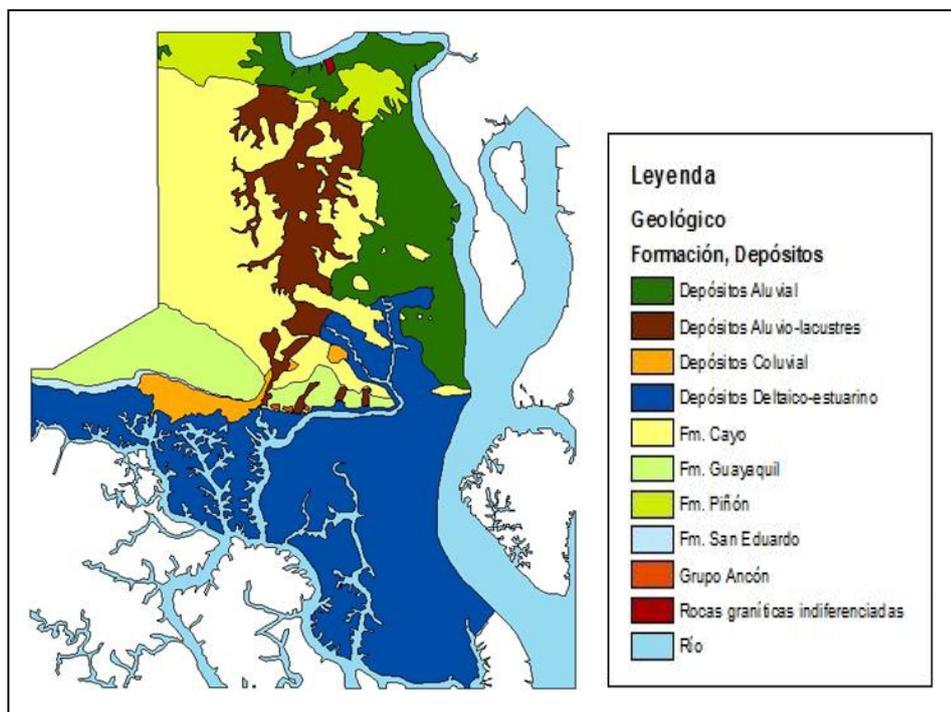


Figura 1.10. Perfil estratigráfico de la llanura aluvial en el nuevo puente del río Daule.  
Fuente: MOP 2004.



**Figura 1.11.** Perfil estratigráfico-geotécnico del proyecto de viaducto en la Av. Machala.  
**Fuente:** Consultora Vera y Asociados, Estudio de Vía ducto Machala, M.I. Municipalidad de Guayaqui

En la Figura 1.12 se presenta el mapa geológico de Guayaquil de Benítez et al, (4).



**Figura 1.12.** Mapa geológico de Guayaquil.

**Fuente:** Mapa de la ciudad de Guayaquil, Estudios Geológicos, Benítez S. et al, 2005.

# CAPÍTULO 2

## **2. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICO.**

### **2.1. Objetivo General.**

- ❖ Elaborar un modelo geológico-térmico de la ciudad de Guayaquil.

### **2.2. Objetivos específicos.**

- 1) Obtener el contenido granulométrico y mineralógico de la litología de los puntos seleccionados en Guayaquil.
- 2) Realizar perfiles para correlacionar las columnas litológicas entre sí.
- 3) Interpretar los datos obtenidos a través de las pruebas in situ realizadas para medir las propiedades térmicas del suelo y las rocas.

- 4) Elaborar mapas de las diferentes propiedades térmicas (conductividad, difusividad y resistividad) de los suelos y rocas de Guayaquil.
  
- 5) Definir zonas térmicas idóneas para el uso del sistema de sumidero de calor.

# CAPÍTULO 3

## 3. METODOLOGÍA.

En el sector Centro-Sur de Guayaquil, se seleccionó 10 sitios para realizar perforaciones, los cuales fueron elegidos por:

- Ser instituciones públicas o de la municipalidad, excepto Astinave que es una institución privada.
- Tienen constante vigilancia y el área está cerrada.
- Se escogió los lugares por ser depósitos blandos (estuarios/ deltaicos), debido a que perforar en suelo disminuye los costos a comparación de la roca, pero se consideró una excepción en el punto de la Espol, para comparar sus propiedades térmicas con respecto a los sedimentos.

Las fotos de la ubicación de las diferentes perforaciones se puede observar en el ANEXO A.

### 3.1. Trabajo de campo.

Seleccionados los 10 sitios para las mediciones térmicas y las profundidades a alcanzar, se procedió a realizar las perforaciones (ANEXO B) y testificaciones de muestras de sedimentos y rocas.

#### 3.1.1. Testificaciones.

El método de perforación fue rotoperCUSión con recuperación de testigo. Las perforaciones se hicieron con un equipo TP 50 montado sobre Land Rover (Figura 3.1) y otro equipo ACKER TP 30 sobre patines (Figura 3.2). El diámetro del hueco perforado es de 113 mm, los que fueron revestidos con tubería metálica de 12 mm de espesor.



**Figura 3.1.** Sonda TP 50 sobre Land Rover.

Ambos equipos constan de los siguientes elementos integrados en la batería, típico de este método: una cabeza, una corona de widia, varillaje, tubo saca testigo simple.

Se utilizó fluido refrigerante el cual fue agua y lodo como polímero para perforar. En los estratos de arenas se revistió el pozo, para evitar derrumbe de las paredes.



**Figura 3.2.** Sonda ACKER TP 30 sobre patines.

En la toma de muestras, se registró un levantamiento litológico y fotográfico, de todas las características importantes para poder realizar la columna estratigráfica. Realizando descripciones sobre la textura, el color, el tamaño, el contenido de materia orgánica (hojas, ramas, conchas), minerales, nódulos, estratificación o características particulares presentes en las diferentes muestras de sedimentos, que nos permitan mejorar la interpretación y posteriormente llegar a una correcta correlación estratigráfica de las perforaciones.

Los testigos de las perforaciones se colocaron en cajas plásticas para conservar la humedad como se indica en la Figura 3.3. Las fotos de

todas las cajas de muestras o testigos de las 10 perforaciones se encuentran en el ANEXO C.



**Figura 3.3.** Caja plástica para conservar la humedad de testigos recuperados.

Luego de las perforaciones y descripción de testigos, se instalan las tuberías adecuadas para realizar el ensayo de respuesta térmica. Las perforaciones deben cumplir las siguientes características según las Normas de la *Canadian Standard Association* para el diseño e instalación de sistemas energéticos en Tierra (19): una profundidad aceptable entre 50 y 60 m, con diámetros de 113 mm, la tubería debe ser tipo U de polietileno de alta densidad (HDPE) de un diámetro interno  $d_i = \frac{3}{4}$  de pulgada, un diámetro externo  $d_o = 1$  pulgada y una presión máxima de 105 psi. Para formar la U, con la tubería, se utilizó un codo metálico y se revistió el agujero de alrededor de la tubería con una

mezcla de cemento y bentonita para mejorar la transferencia de calor entre la tubería y el suelo, a este relleno le llamaremos 'Grout', esto se realizó en cada perforación.



**Figura 3.4.** Codo metálico y Tubería de polietileno de alta densidad.

### **3.1.2. Pruebas de respuesta térmica in situ de la ciudad de Guayaquil.**

En los sitios seleccionados una vez instalado el sistema de intercambiador de calor con el suelo, se procedió a ejecutar pruebas in situ para determinar: conductividad térmica, difusividad térmica, resistividad térmica y temperatura del suelo, ver el ANEXO B.

Las pruebas se realizaron con el equipo “**Geocube-GC700**”, este tiene las siguientes características: una bomba de 1/6 hp de circulación de agua, 4 calentadores de los cuales 2 son de 2500 KW y los otros 2 son de 3000 KW, un tanque de agua, un filtro y una válvula y una manguera en forma de H que se conecta con la tubería de la perforación. La

precisión de los sensores de temperatura es de:  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  de  $0^{\circ}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ .

El dispositivo que registra los datos de temperatura es el **HOBO Remote Monitoring System**.

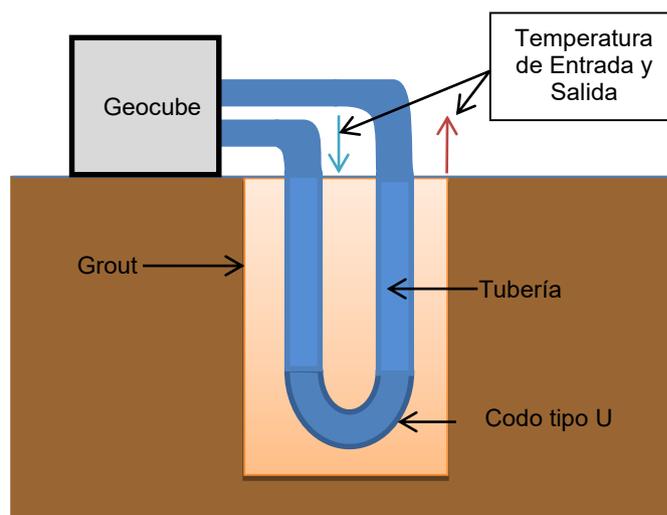
Para hacer funcionar este equipo se utilizó un **Generador portátil** que tiene las siguientes características: un voltaje de 10000 W, una corriente alterna para 240 V de 41.6 A y para 120 V 83.3 A, fase monofásica y una frecuencia nominal de 60 Hz a 3600 rpm. El generador fue alimentado con diésel.

Siguiendo las normas de ASHRAE (20), estas pruebas consistieron en tomar la temperatura inicial del suelo haciendo circular el agua con temperatura ambiente, entre 20-30 minutos, utilizando la bomba del equipo sin encender los calentadores. Luego al encender los calentadores, aumenta la temperatura del agua durante 48 horas, que es la mínima duración de tiempo que deben efectuarse estas pruebas para alcanzar el estado de equilibrio, (21), (22). Mientras circula el agua, el equipo va registrando los datos de temperatura tanto de entrada como de salida cada 2 minutos, ver la Figura 3.5.

Para los sistemas de intercambio de calor con profundidad de 50 m, se debe utilizar un calentador de 3000 KW; y para los sistemas de 60 m

debe utilizarse dos de 2500 KW. Que son los rangos óptimos para que el equipo trabaje correctamente en estas profundidades. En la Figura 3.6 se puede observar el sistema totalmente instalado tomando datos.

Al final de la prueba se descargan los datos que son: las temperaturas de entrada y salida, el voltaje, el amperaje, el caudal de fluido y el amperaje de la batería. Obtenidos los datos, se procesan para calcular las propiedades térmicas del suelo o roca.



**Figura 3.5.** Esquema de Medición de Temperaturas con Geocube.



**Figura 3.6.** Sistema Instalado, medición P1 Espol.

### **3.2. Trabajo de laboratorio.**

Una vez realizadas las testificaciones de las perforaciones y las pruebas in situ del sistema de intercambiador de calor, se realizó la descripción de los sedimentos en diferentes departamentos de la ESPOL: Laboratorio de Petrología (FICT), en el Laboratorio de Materiales (FICMP) y en el Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales (LEMAT). La interpretación de propiedades térmicas se realizó en el Laboratorio de Energías y Fuentes Renovables (Lab-FREE).

### 3.2.1. Descripción Megascópica de sedimentos y elaboración de Columnas Estratigráficas.

Entre los sedimentos de las muestras se encuentran suelos de granos finos (limos/arcillas) y gruesos (arenas). En las arenas se reconoció la mineralogía o tipos de minerales presentes; luego se realizó un cuarteo para estimar porcentajes de minerales, utilizando el estéreo-microscopio manual, Figura 3.7 y un estéreo microscopio digital de 1.3 m para tomar las fotos respectivas. En los suelos de grano fino se realizaron ensayos granulométricos y, para reconocer los minerales contenidos, se realizan ensayos de Difracción de Rayos X (DRX).



**Figura 3.7.** Estéreo-microscopio manual.

En las columnas estratigráficas se realiza la descripción de los suelos y rocas, el análisis megascópico de las arenas y la difracción de Rayos X de arenas, limos y arcillas, que se realizaron sobre muestras

seleccionadas. Así como también se representa las texturas, el color y la granulometría según normas ASTM (American Society for Testing and Materials). Se utilizó el software libre Topocal 2005, para graficar las columnas.

### **3.2.2. Resultados de laboratorio: Granulometría, Índices de Plasticidad, Porcentaje de Humedad**

Para conocer mejor las características de los suelos de Guayaquil se realizaron los respectivos ensayos geotécnicos en los laboratorios de la empresa Ensayos Técnicos de Ecuador “Tecnientecsa”, y son: determinación de humedad (UNE 103300:93) (23), determinación del límite líquido (UNE 103103:94) (24), determinación del límite plástico (UNE 103104:93) (25), análisis granulométrico (UNE 103101:95) (26) y densidad de los sólidos. Una vez recopilados los resultados de los ensayos anteriormente nombrados se procede a cambiar la granulometría de UNE (Norma Española) a ASTM (Sistema Unificado de Clasificación del Suelo) mediante la ASTM D 2487-06.

En los ensayos de laboratorio se obtuvieron los **límites Atterberg**, para plasticidad: el límite plástico y el límite líquido, con estos se calculó el índice de plasticidad. El límite plástico divide el estado semisólido del

plástico; el límite líquido divide el estado plástico del estado semilíquido. El índice de plasticidad es la diferencia entre límite líquido y plástico, e indica el intervalo de humedad que divide el estado semilíquido del semisólido (23).

**El contenido de humedad** determina la cantidad de agua que existe en la muestra, se presenta en porcentaje.

**El análisis granulométrico** se realiza mediante tamices de diferentes tamaños los cuales retienen el material y nos permiten dar un tamaño a las partículas del suelo.

**La densidad de sólidos** es el cociente entre la masa y el volumen.

### **3.2.3. Difracción de Rayos X.**

Se seleccionaron las muestras para la identificación mineralógica cristalina a través de difracción de rayos X en función de la presencia de estratos representativos. Éstas tienen que pasar por un proceso de limpieza para eliminar la materia orgánica, carbonatos y óxidos de hierro. En este proceso se realizaron 3 lavados con:

- ❖ agua oxigenada,
- ❖ ácido clorhídrico al 10%,
- ❖ ácido etildiaminotetraacético (EDTA) al 30%

El proceso consistió en ubicar la muestra en un vaso de precipitación y se realiza el primer lavado con agua oxigenada durante 3 horas para esperar el asentamiento de las arcillas y arenas, luego se quita el agua con una pipeta y se coloca agua desionizada para quitar cualquier resto de agua oxigenada y se deja reposar hasta el asentamiento por 3 horas y así con cada uno de los lavado tanto con ácido clorhídrico como con EDTA, como se observa en la Figura 3.8.



**Figura 3.8.** Preparación química de las muestras.

Luego se procede a secar en el horno a 60 °C por dos días. Una vez que la muestra está totalmente seca se procede a moler con un mortero de cerámica y pasar por el tamiz de 45  $\mu\text{m}$ , Figura 3.9.



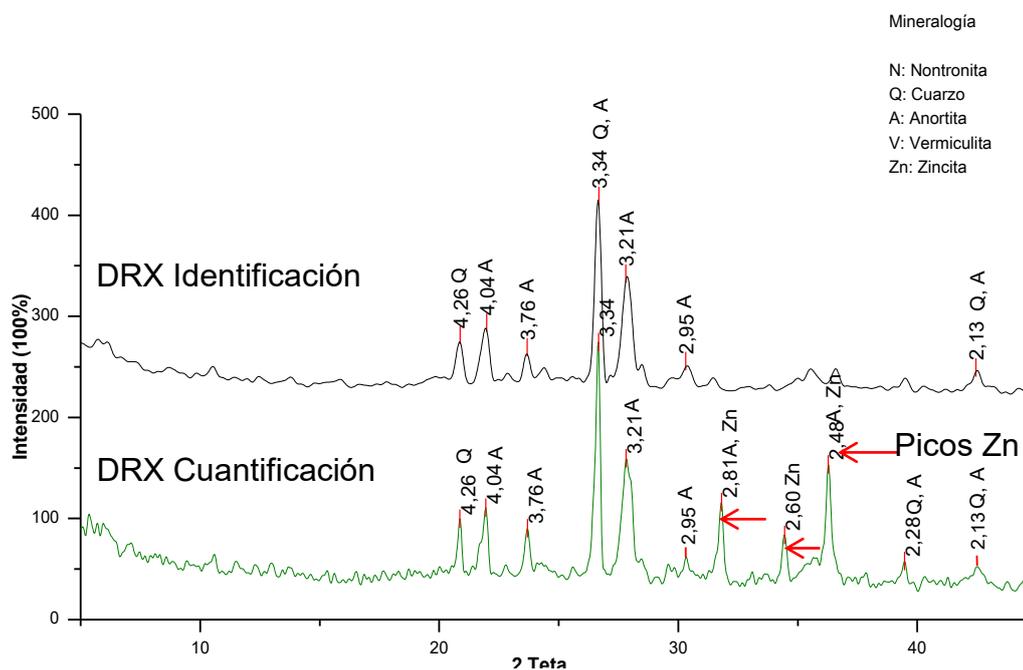
**Figura 3.9.** Molienda de las muestras.

Teniendo lista nuestra muestra se coloca en el difractómetro de rayos X, éste es un equipo de marca PANanalytical X'pert Pro XRD, tubo de Cu: radiación  $K\alpha$ ,  $\lambda = 1.541874 \text{ \AA}$ , con un filtro de Níquel, Pw 3373/00, y el detector es X'Celerator, las condiciones de operaciones son de 40mA y 45KV. La rejilla de 10 mm y el antiescala 1/32, Figura 3.10.



**Figura 3.10.** Difractómetro de Rayos X.

Se utiliza el programa High Score Plus (facilitado por LEMAT) para identificar los picos de las fases cristalinas de los minerales, y obtener la respectiva cuantificación. Para lo cual, se pesa la muestra y se agrega en total de la muestra un 10% de zincita, la cual nos va a permitir determinar el porcentaje de los minerales presentes en la muestra, (Standard interno del LEMAT), esto se coloca en el difractómetro de rayos X. Con la lectura se interpretan los datos, utilizando las técnicas de Rietveld (24) para el refinamiento de la bondad de ajuste para un mejor resultado. Lo ideal es tener una bondad de ajuste menor a 5%. Para editar estos resultados se utilizó el programa Origin 6.0 (versión gratuita). A continuación se muestra la diferencia entre un Difractograma normal y uno con zincita para la cuantificación, ver Figura 3.11.



**Figura 3.11.** DRX de una muestra con Zincita para cuantificación y DRX de muestra en polvo para análisis cualitativa

También se realizaron ensayos de DRX en muestras de roca total, es decir sin tratamientos químicos para eliminar materia orgánica, carbonatos, etc., y también en fracción arcilla.

Para el procedimiento de roca total se secaron las muestras a 50 °C y luego se las trituro en el mortero de ágata, sin tamizar se realiza el ensayo en el difractómetro.

En fracción arcilla, el proceso consiste en agregar muestras en vasos de precipitación con agua oxigenada, siguiendo la ley de Stokes que describe la velocidad de caída de las partículas en un fluido por gravedad. En la Tabla II, se indica el tamaño de partícula en suspensión que se obtiene al ingresar la pipeta en la preparación hasta los centímetros y tiempo indicados, según la ley de Stock. De acuerdo al tamaño del vaso de precipitación se trabajó con la primera opción. El ensayo se realiza a temperatura ambiente. Utilizando la pipeta se tomaron las partículas en suspensión para llevarlas a un portamuestra y secar a ambiente, luego se ensayan en el Difractómetro.

Tamaño de partícula		Velocidad de caída	Tiempo/Profundidad
( $\mu\text{m}$ )	(cm)	cm/s	min/cm
10	0,01	0,008	10 / 5
5	0,005	0,002	40 / 5
2	0,002	0,0003	40 / 1

**Tabla II.** Tiempo de sedimentación de partículas por tamaño según ley Stokes.

Valores para una suspensión en agua destilada. **Fuente:** Ley de Stokes:  $V = \frac{2ga^2(d_1-d_2)}{9 \eta}$

### 3.2.4. Cálculo de Propiedades térmicas.

Los modelos analíticos más usados para determinar la **conductividad térmica** (es la capacidad que tiene el suelo de transferir calor), **difusividad térmica** (es la velocidad de cambio de temperatura con la que el suelo alcanza el equilibrio térmico o dicho de otra forma es la tasa de cambio con la que el suelo aumenta de temperatura) y la

**resistividad térmica** (es la capacidad del suelo para oponerse al paso de calor) con datos experimentales basados en las leyes de Fourier para conducción de calor: son el método de fuente lineal de Kelvin (LSM) y el método de fuente cilíndrica (CSM), para este estudio se utilizó el primero. Según Ingersoll (25) debe asumirse lo siguiente:

**La fuente de calor es infinitamente profunda y la conducción de calor es radial.**

**La capacitancia del intercambiador de calor de la perforación es pequeña comparada con los alrededores y en su interior la variación de la temperatura es baja.**

**El medio debe tener una temperatura inicial uniforme.**

Según Mogensen (26), el modelo lineal para una perforación vertical con un diámetro ( $d_b$ ), longitud ( $L$ ), carga de calor ( $Q$ ), donde  $\Delta T$  es la diferencia entre la temperatura media del fluido circulante ( $T_f$ ) y la temperatura sin perturbar del suelo ( $T_g$ ), está dada por:

$$\Delta T(t) = \frac{Q}{4\pi L k_s} \ln(t) + \frac{Q}{L} \left[ \frac{\ln\left(\frac{16\alpha_s}{d_b^2}\right) - 0.5772}{4\pi k_s} + R_g + \frac{R_p + R_f}{2} \right] \quad [1]$$

La ecuación [1] se puede asemejar a una ecuación lineal de la forma  $y = mx + b$ , la pendiente ( $m$ ) y el intercepto ( $b$ ) resultan de la gráfica de la temperatura promedio del fluido vs  $\ln(t)$ , donde se puede calcular la conductividad térmica del suelo ( $k_s$ ) con la pendiente y la difusividad

térmica ( $\alpha_s$ ) con el intercepto, además se debe considerar que  $R_g$  [2],  $R_p$  [3] y  $R_f$  [4] son las resistencias del relleno, tubería y del fluido respectivamente y están dadas por:

$$R_g = \frac{1}{2\pi K_g} \ln \left( \frac{d_b}{d_{p,o}\sqrt{n}} \right) \quad [2]$$

$$R_p = \frac{1}{2\pi K_p} \ln \left( \frac{d_{p,o}}{d_{p,i}} \right) \quad [3]$$

$$R_f = \frac{1}{\pi d_{p,i} h_f} \quad [4]$$

Donde  $n$  es el número de tuberías en el pozo según Shonder y Beck (27) y  $h_f$  es el coeficiente de calor transferido según la ecuación de Dittus-Boelter (28) y está dado por:

$$h_f = 0.023 \frac{K_f}{d_{p,i}} Re^{0.8} Pr^{0.35} \quad [5]$$

Y  $Re$  es el número de Reynolds es calculado a través de  $m^o$  que es la velocidad del flujo de masa y está dada por la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{4m^o}{\pi \mu d_{p,i}} \quad [6]$$

Al utilizar la ecuación [1], Ingersoll (25) determina que para tener un error mínimo (alrededor de 5 % en la conductividad térmica) se debe cumplir la siguiente condición:  $\left[ t > 20 \frac{r_b^2}{\alpha_s} \right]$  para diámetros de tuberías

menores iguales a 50 mm, esto se cumple excluyendo las primeras horas de mediciones térmicas.

La ecuación [1] tiene una buena precisión si se cumple la condición:

$\left[ t \leq 0.1 * \left( \frac{L^2}{9\alpha_s} \right) \right]$  (29), que corresponde al tiempo de estabilidad de la curva de la (T vs t).

La **resistencia térmica** efectiva del suelo según fue calculada de la diferencia de temperatura entre la temperatura promedio del fluido y la temperatura del suelo sin perturbar dividida para la carga de calor por la longitud del pozo y se representa con la siguiente ecuación:

$$R_s(t) = \frac{T_f - T_s}{\left( \frac{Q}{L} \right)} \quad [7]$$

Otro método para obtener las propiedades térmicas es usando el software Ground Loop Design (facilitado por Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, INER). Luego de obtener los datos térmicos se procedió a realizar la caracterización geotécnica y mineralógica de los suelos y rocas, para conocer los materiales y definir el mejor lugar para implementar el sistema de suelo como sumidero de calor.

# **CAPÍTULO 4**

## **4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA Y MINERALÓGICA DE SUELOS Y ROCAS.**

En este capítulo se muestran los resultados de la caracterización geotécnica como la mineralogía de las muestras representativas de cada nivel del suelo para realizar los análisis tanto granulométricos como mineralógicos.

### **4.1. Clasificación Geotécnica del Suelo.**

Para la obtener la clasificación de los suelos se realizan los ensayos de Granulometría, Humedad, Densidad y Límites de Atterberg.

#### **4.1.1. Granulometría, Humedad, Densidad y Límites Plásticos.**

Los resultados de granulometría de acuerdo a la clasificación ASTM están resumidos en la Tabla III y Tabla IV. Los resultados de Humedad,

Densidad y Límites Atterberg, están resumidos en las Tabla V y Tabla VI.

N.	COTAS (m)	GRANULOMETRÍA			CLASIFICACIÓN	
		Tamiz N° 200 (0,074 mm)	Tamiz N° 40 (0,42 mm)	Tamiz N° 20 (2 mm)	ASTM: D 2487-06	Símbolo
2	15,0-15,5	70,3%	79,8%	92,8%	Limo De Baja Plasticidad Con Arena	ML
2	27,0-27,5	48,1%	50,4%	98,7%	Arena Limosa	SM
2	33,0-33,5	71,4%	81,8%	97,5%	Limo De Baja Plasticidad Con Arena	ML
2	40,0-40,5	90,5%	99,2%	99,8%	Limo De Alta Plasticidad	MH
2	52,0-52,5	80,9%	94,2%	100,0%	Limo De Baja Plasticidad Con Arena	ML
2	58,0-58,5	42,9%	48,4%	74,1%	Arena Limosa Con Grava	SM
3	4,0-4,5	78%	82%	98%	Limo De Baja Plasticidad Con Arena	ML
3	14,0-14,5	74%	95%	100%	Limo De Baja Plasticidad Con Arena	ML
3	24,0-24,5	61%	99%	100%	Limo De Baja Plasticidad Arenoso	ML
3	43,0-43,5	68%	98%	99%	Limo De Baja Plasticidad Arenoso	ML
4	3,5-4,0	93,6%	95,2%	93,6%	Limo De Alta Plasticidad	MH
4	9,0-9,5	68,2%	79,2%	98,9%	Limo De Alta Plasticidad Arenoso	MH
4	16,5-17,0	96,4%	99,0%	99,6%	Arcilla De Alta Plasticidad	CH
4	22,0-22,5	45,0%	82,7%	96,9%	Arena Arcillosa	SC
4	31,0-31,5	68,6%	81,55	99,1%	Arcilla De Alta Plasticidad Arenosa	CH
4	40,0-40,5	5,5%	84,3%	100,0%	Arena Mal Graduada Con Limo	SP-SM
5	9,0-9,5	95,9%	98,8%	99,5%	Limo De Alta Plasticidad	MH
5	15,5-16,0	53,0%	74,1%	98,95%	Limo De Alta Plasticidad	MH
5	23,0-23,5	97,99%	99,2%	99,7%	Limo De Alta Plasticidad	OH
5	31,0-31,5	3,9%	86,2%	99,7%	Arena Mal Graduada	SP
5	38,0-38,5	10,0%	81,0%	99,8%	Arena Mal Graduada Con Limo	SP-SM
5	49,0-49,5	61,1%	79,1%	99,6%	Limo De Alta Plasticidad Arenoso	MH
6	6,0-6,5	94,9%	97,1%	97,4%	Limo De Alta Plasticidad	MH
6	14,0-14,5	99,4%	100,0%	100,0%	Limo De Alta Plasticidad	MH
6	17,5-18,0	99,5%	100,0%	100,0%	Limo De Alta Plasticidad	MH
6	35,0-35,5	23,8%	58,2%	96,2%	Arena Limosa	SM
6	57,5-58,0	53,0%	88,6%	94,0%	Limo De Alta Plasticidad	MH

Tabla III. Granulometría y Clasificación. Parte 1.

N.	COTAS (m)	GRANULOMETRÍA			CLASIFICACIÓN	
		Tamiz N° 200 (0,074 mm)	Tamiz N° 40 (0,42 mm)	Tamiz N° 20 (2 mm)	ASTM: D 2487-06	Símbolo
7	5,0-5,5	99,3%	99,7%	100,0%	Limo De Alta Plasticidad	MH
7	16,0-16,5	65,4%	70,4%	72,9%	Limo De Baja Plasticidad Gravoso	ML
7	23,0-23,5	75,2%	91,8%	95,6%	Limo De Baja Plasticidad Con Arena	ML
7	33,0-33,5	78,1%	84,4%	91,5%	Limo De Alta Plasticidad Con Arena	MH
7	41,0-41,5	89,1%	99,3%	100,0%	Limo De Alta Plasticidad	MH
7	59,0-59,5	10,2%	12,3%	97,7%	Arena Mal Graduada Con Limo	SP-SM
8	11,0-11,5	86,2%	93,6%	99,3%	Limo De Baja Plasticidad	ML
8	16,0-16,5	81,5%	85,8%	96,0%	Limo De Baja Plasticidad Con Arena	ML
8	21,0-21,5	61,5%	70,1%	87,8%	Limo De Baja Plasticidad Arenoso	ML
8	32,0-32,5	77,6%	83,7%	88,9%	Limo De Baja Plasticidad Con Arena	ML
8	37,0-37,5	62,9%	98,4%	100,0%	Limo De Baja Plasticidad Arenoso	ML
8	46,0-46,5	55,9%	61,2%	99,8%	Limo De Baja Plasticidad Arenoso	ML
9	12,0-12,5	97,4%	99,8%	100,0%	Limo De Alta Plasticidad	MH
9	17,0-17,5	89,7%	97,3%	97,7%	Limo De Baja Plasticidad	ML
9	19,5-20,0	95,7%	96,8%	97,8%	Arcilla De Alta Plasticidad	CH
9	27,0-27,5	12,9%	97,1%	98,3%	Arena Limosa	SM
9	34,0-34,5	93,7%	96,8%	98,4%	Limo De Alta Plasticidad	MH
9	42,0-42,5	3,7%	71,3%	94,3%	Arena Mal Graduada	SP
10	8,0-8,5	96,7%	98,0%	99,3%	Limo De Alta Plasticidad	MH
10	16,0-16,5	95,3%	98,9%	100,0%	Limo De Alta Plasticidad	MH
10	22,0-22,5	99,7%	100,0%	100,0%	Arcilla De Alta Plasticidad	OH
10	27,0-27,5	89,9%	96,7%	98,5%	Limo De Alta Plasticidad	MH
10	31,0-31,5	82,3%	99,2%	100,0%	Limo De Baja Plasticidad Con Arena	ML
10	51,0-51,5	72,3%	97,0%	99,3%	Limo De Baja Plasticidad Con Arena	ML

**Tabla IV.** Granulometría y Clasificación. Parte 2.

N.	COTAS (m)	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	HUMEDAD	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )
2	15,0-15,5	N.P	N.P	N.P	110,0%	2,61
2	27,0-27,5	N.P	N.P	N.P	30,0%	2,62
2	33,0-33,5	N.P	N.P	N.P	61,8%	2,63
2	40,0-40,5	55,2%	29,9%	25,3%	35,0%	2,7
2	52,0-52,5	N.P	N.P	N.P	75,8%	2,62
2	58,0-58,5	N.P	N.P	N.P	32,2%	2,62
3	4,0-4,5	N.P	N.P	N.P	103%	2,60
3	14,0-14,5	N.P	N.P	N.P	79%	2,62
3	24,0-24,5	N.P	N.P	N.P	40%	2,61
3	43,0-43,5	N.P	N.P	N.P	35%	2,61
4	3,5-4,0	89,9%	39,9%	50,0%	89,5%	2,69
4	9,0-9,5	104,1%	47,9%	56,2%	95,7%	2,71
4	16,5-17,0	77,3%	30,8%	46,5%	34,6%	2,75
4	22,0-22,5	51,8%	25,1%	26,7%	61,6%	2,66
4	31,0-31,5	83,1%	36,1%	47,0%	39,0%	2,73
4	40,0-40,5	N.P	N.P	N.P	23,3%	2,75
5	9,0-9,5	88,2%	39,4%	48,8%	74,3%	2,69
5	15,5-16,0	67,6%	34,8%	32,8%	62,1%	2,75
5	23,0-23,5	108,4%	58,2%	50,2%	84,9%	2,72
5	31,0-31,5	30,7%	20,7%	10,0%	6,4%	2,67
5	38,0-38,5	N.P	N.P	N.P	27,5%	2,72
5	49,0-49,5	60,9%	34,9%	26,0%	29,6%	2,75
6	6,0-6,5	101,0%	47,7%	53,3%	91,6%	2,69
6	14,0-14,5	107,9%	53,1%	54,8%	102,2%	2,64
6	17,5-18,0	121,7%	51,1%	70,6%	116,3%	2,7
6	35,0-35,5	N.P	N.P	N.P	28,2%	2,73
6	57,5-58,0	119,2%	74,4%	44,8%	88,1%	2,62

**Tabla V.** Límites de Atterberg, humedad y densidad. Parte 1.

N.	COTAS (m)	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	HUMEDAD	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )
7	5,0-5,5	78,4%	40,8%	37,6%	53,4%	2,72
7	16,0-16,5	N.P	N.P	N.P	26,0%	2,60
7	23,0-23,5	N.P	N.P	N.P	42,3%	2,68
7	33,0-33,5	50,4%	31,5%	18,9%	50,8%	2,70
7	41,0-41,5	56,7%	33,0%	23,7%	38,0%	2,72
7	59,0-59,5	N.P	N.P	N.P	19,4%	2,62
8	11,0-11,5	N.P	N.P	N.P	106,4%	2,68
8	16,0-16,5	N.P	N.P	N.P	20,2%	2,60
8	21,0-21,5	N.P	N.P	N.P	55,3%	2,61
8	32,0-32,5	N.P	N.P	N.P	110,8%	2,62
8	37,0-37,5	N.P	N.P	N.P	51,8%	2,64
8	46,0-46,5	N.P	N.P	N.P	35,1%	2,60
9	12,0-12,5	95,5%	46,5%	49,0%	96,3%	2,67
9	17,0-17,5	42,7%	30,4%	12,3%	13,5%	2,67
9	19,5-20,0	70,8%	29,9%	40,9%	14,2%	2,70
9	27,0-27,5	N.P	N.P	N.P	28,1%	2,73
9	34,0-34,5	51,3%	38,1%	13,2%	39,9%	2,74
9	42,0-42,5	N.P	N.P	N.P	24,4%	2,75
10	8,0-8,5	94,9%	51,6%	43,3%	72,4%	2,70
10	16,0-16,5	104,6%	43,7%	60,9%	62,8%	2,70
10	22,0-22,5	96,1%	60,5%	35,6%	62,7%	2,71
10	27,0-27,5	53,7%	29,8%	23,9%	51,1%	2,66
10	31,0-31,5	41,4%	26,2%	15,2%	32,8%	2,73
10	51,0-51,5	43,5%	27,8%	15,7%	44,5%	2,75

**Tabla VI.** Límites de Atterberg, humedad y densidad. Parte 2.

#### 4.1.2. Análisis de Resultados.

Con los resultados de geotecnia se definieron que las perforaciones atravesaron dos capas diferenciadas en el subsuelo. Desde la superficie hacia abajo se identificó aproximadamente 20 metros de limo tipo ML y

MH con intercalaciones de CH y SM, seguido se reconoció una capa de aproximadamente 30 metros de arena tipo SP-SM.

Los porcentajes de humedad de los suelos en Guayaquil son muy altos y en algunos casos sobrepasan el 100%, esto quiere decir que los suelos están en su mayoría sobresaturados. En las perforaciones P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 y P10 se midió el nivel freático mediante una sonda piezométrica en el mes de abril. Se encontró un nivel freático entre 0.70 y 2,00 m. En la P-1 (Espol) no hay nivel freático.

Los valores de la densidad húmeda de los suelos de Guayaquil están entre 2.60 y 2.75 gr/cm<sup>3</sup>.

El índice de plasticidad de los suelos, de la capa de limos (ML-MH), indica que tiene estratos de alta plasticidad intercalados con otros de baja plasticidad. Las arenas son no plásticas.

#### **4.2. Mineralogía de Suelos y Rocas.**

Para la descripción mineralógica de suelos y rocas se realizó la descripción Megascópica de las arenas reconociendo el tipo de mineral y mediante los

Difractogramas de rayos X se identificó las clases de los minerales, con sus respectivos nombres.

#### **4.2.1. Descripción Megascópica de arenas.**

De las 10 perforaciones realizadas en la zona de estudio, 7 atraviesan estratos de arena, estas son las perforaciones P2, P4, P5, P6, P7, P8 y P9. Por otro lado son 2 perforaciones las que atraviesan capas de limos-arcillas y son P10 y P3. La perforación P1 es roca en su totalidad. A continuación se describe los contenidos de los estratos arenosos encontrados en cada perforación, y se resumen en la Tabla VII.

El estrato arenoso de la Perforación 2, ubicada en la Facultad de Educación física de la Universidad Estatal de Guayaquil, tiene predominancia de cuarzos (Figura 4.1) y anfíboles/olivinos/piroxenos sumando un 87.8% entre ambos. También contiene 7.2% de magnetita, seguido 2.44% de feldespato (Figura 4.2) y de 2.44% de carbonatos.



**Figura 4.1.** Minerales de Cuarzo, P2.  
Foto realizada desde el estéreo microscopio manual, Vista desde el lente.



**Figura 4.2.** Minerales de Feldespatos, P2.  
Foto realizada desde el estéreo microscopio manual, Vista desde el lente.

En el estrato de arena de la Perforación 4, ubicada en el Centro Cívico, se encontró entre 36 – 40 m de profundidad un estrato de arena fina con 43.7% de cuarzo, el 19% es de anfíboles/olivinos/piroxenos y 15.2% de magnetita, 11.4% de halita y el restante porcentaje corresponde a feldespato y muy poca mica. Subyaciendo, entre 40 – 50 m continua un estrato de arena gruesa con 11.32% de cuarzo y 60.38% de anfíboles/olivinos/piroxenos (Figura 4.3), 7.55% de magnetita, 16.99%

de feldespato (Figura 4.4) y 3.77% de arcillas. En la Figura 4.5 se presenta la distribución de la arena según cada tipo de mineral.



**Figura 4.3.** Minerales de Anfíboles/olivinos/piroxenos, P4.  
Foto realizada desde el estéreo microscopio digital.



**Figura 4.4.** Minerales de Feldespatos, P4.  
Foto realizada desde el estéreo microscopio digital.



**Figura 4.5.** Agrupación de granos de arena de la P4, ubicada en el Centro Cívico.

El estrato arenoso de la Perforación 5, ubicada en Astinave, tiene predominancia de cuarzos y anfíboles/olivinos/piroxenos sumando un 55% entre ambos, seguido del 20.52% de feldespatos, 10.26% de magnetita, 13.68% de carbonatos y muy poca presencia de mica moscovita (<1%).

El estrato arenoso de la Perforación 6, ubicada en el Hospital Teodoro Maldonado de Guayaquil, tiene predominancia de anfíboles/olivinos/piroxenos en un 45.71%, cuarzo con 22.86% (Figura 4.6), feldespatos (Figura 4.7) con 20% y magnetita 11.43%.

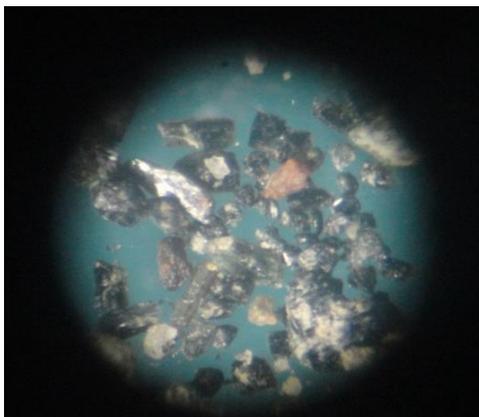


**Figura 4.6.** Minerales de Cuarzo, P6.  
Foto realizada desde el estéreo microscopio manual, Vista desde el lente.



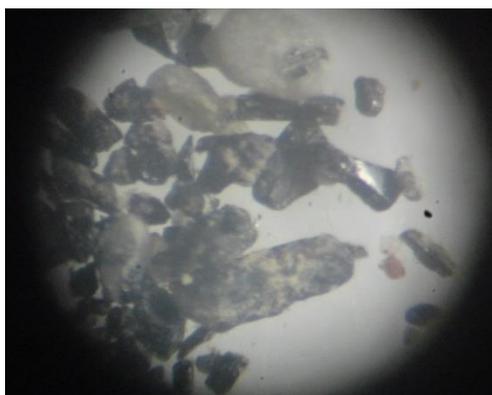
**Figura 4.7.** Minerales de Feldespatos, P6.  
Foto realizada desde el estéreo microscopio manual, Vista desde el lente.

El estrato arenoso de la Perforación 7, ubicada en el sector de la Esclusas (Sur de Guayaquil), tiene predominancia de cuarzo 71.79%, seguido anfíboles/olivinos/piroxenos y magnetita (Figura 4.8) con 10.25% cada uno y 7.59% de feldespatos.



**Figura 4.8.** Minerales de Magnetita, P7.  
Foto realizada desde el estéreo microscopio manual, Vista desde el lente.

El estrato arenoso de la Perforación 8, ubicada en las canchas que se encuentran dentro de la Base Naval Sur, tiene predominancia de cuarzo 40.34%, 26.89% de anfíboles/olivinos/piroxenos y 20.17% de magnetita (Figura 4.9) con 5.04% de feldespatos y 5.04% de carbonatos (Figura 4.10) y 2.52% de arcillas.

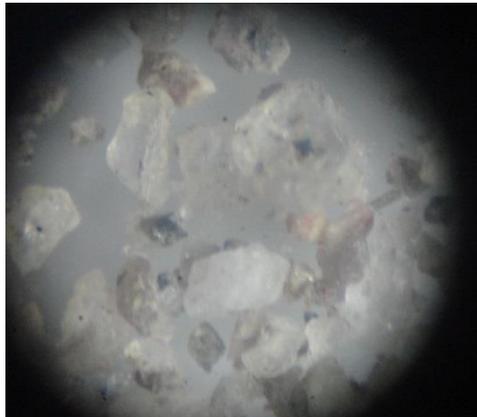


**Figura 4.9.** Minerales de Magnetita, P8.  
Foto realizada desde el estéreo microscopio manual, Vista desde el lente.

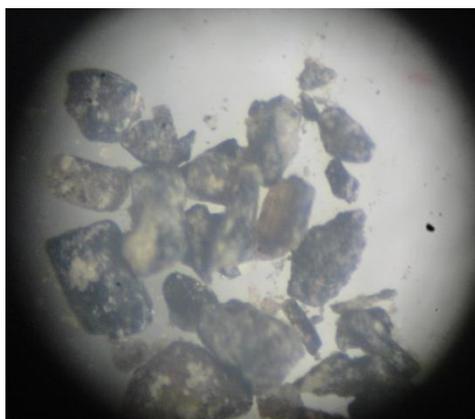


**Figura 4.10.** Carbonatos, P8.  
Foto realizada desde el estéreo microscopio manual, Vista desde el lente.

El estrato arenoso de la Perforación 9, ubicada en las canchas que se encuentran dentro de la Base Naval Sur, tiene 50% de cuarzo (Figura 4.11), 25% de anfíboles/olivinos/piroxenos, 12.5% de magnetita (Figura 4.12) y 14.42% de feldespatos.



**Figura 4.11.** Minerales de Cuarzo, P9.  
Foto realizada desde el estéreo microscopio manual, Vista desde el lente.



**Figura 4.12.** Minerales de Magnetita, P9.  
Foto realizada desde el estéreo microscopio manual, Vista desde el lente.

	P2	P4		P5	P6	P7	P8	P9
	(25) m	(36)m	(40) m	(33) m	(46) m	(53) m	(55) m	(48) m
	Gruesa %	Fina %	Gruesa %	Fina %	Gruesa %	Fina y Gruesa%	Gruesa %	Fina y Gruesa%
<b>Cuarzo</b>	48.78	43.7	11.32	27.35	22.86	71.79	40.34	50
<b>Anfibol olivino piroxeno</b>	39.02	19	60.38	27.35	45.71	10.25	26.89	25
<b>Magnetita</b>	7.32	15.2	1.89	10.26	11.43	10.25	20.17	12.5
<b>Feldespato</b>	2.44	9.5	16.99	20.52	20	7.59	5.04	14.42
<b>Carbonatos</b>	2.44	-	-	13.68	-	-	5.04	-
<b>Mica</b>	-	0.95	-	0.85	-	-	-	-
<b>Halita</b>	-	11.4	-	-	-	-	-	-
<b>Pirita</b>	-	0.24	-	-	-	-	-	-
<b>Cantos oxidados</b>	-	-	5.66	-	-	-	-	-
<b>Arcilla</b>	-	-	3.77	-	-	-	2.52	-

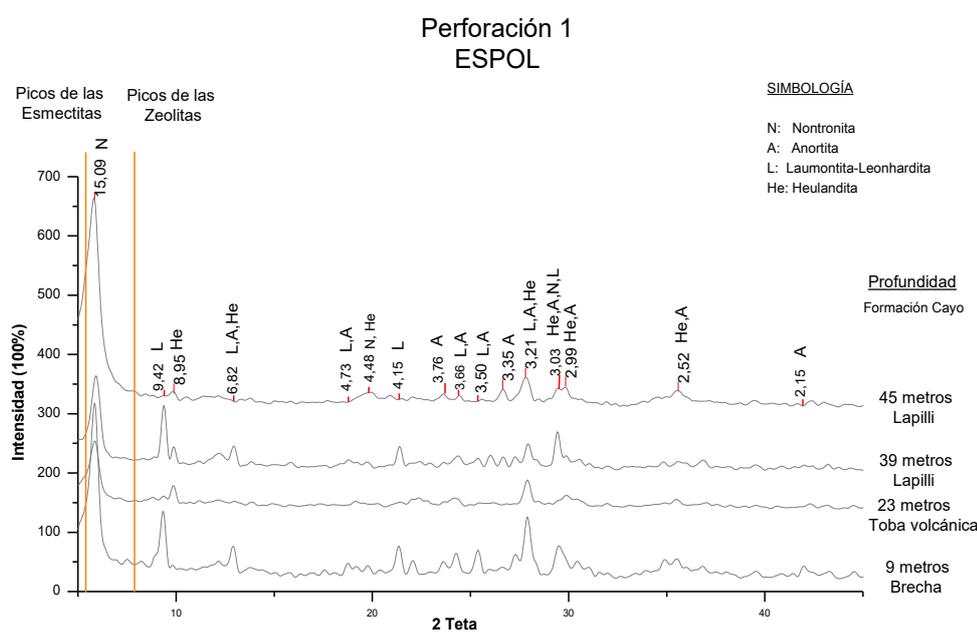
**Tabla VII.** Resumen de Porcentajes de Minerales de Arenas de las Perforaciones.

#### 4.2.2. Interpretación de DRX.

Todas las perforaciones fueron examinadas mediante la técnica de DRX en un total de 40 muestras trabajadas para análisis cualitativo y 17 muestras en análisis cuantitativo. Las fichas que se utilizaron para la identificación de minerales se presentan en el ANEXO D y la unidad que se trabajan es en Ångström (Å). En la Tabla VIII, se presenta un resumen de los resultados de los DRX de las muestras seleccionadas para cada una de las perforaciones:

La Perforación P1, que corresponde a rocas volcanoclásticas, como brechas, lapillis y tobas. Estas rocas contienen minerales como feldespatos, zeolitas y esmectitas, ver la Figura 4.13. Se seleccionaron dos muestras representativas de las rocas volcanoclásticas tipo lapilli, una a los 39 m de color rojizo oscuro; y otra a 45 metros de color gris muy oscuro. La roca lapilli rojiza oscura contiene zeolitas tipo laumontita-leonhardita en un 42.2% y tipo heulandita en un 18.2%, seguido del 15,4% de esmectita tipo nontronita. También contiene feldespato plagioclasa tipo anortita con un 10.7% y 13.5% de mineral no cristalino (amorfo). La roca lapilli de color gris muy oscuro contiene 68.8% de amorfos, 23% de anortita, 5.3% de heulandita y 2.9% de esmectita tipo nontronita. A los 23 metros se reconoció presencia de tobas de color gris oscuro, cuyas cuantificaciones mineralógicas indican

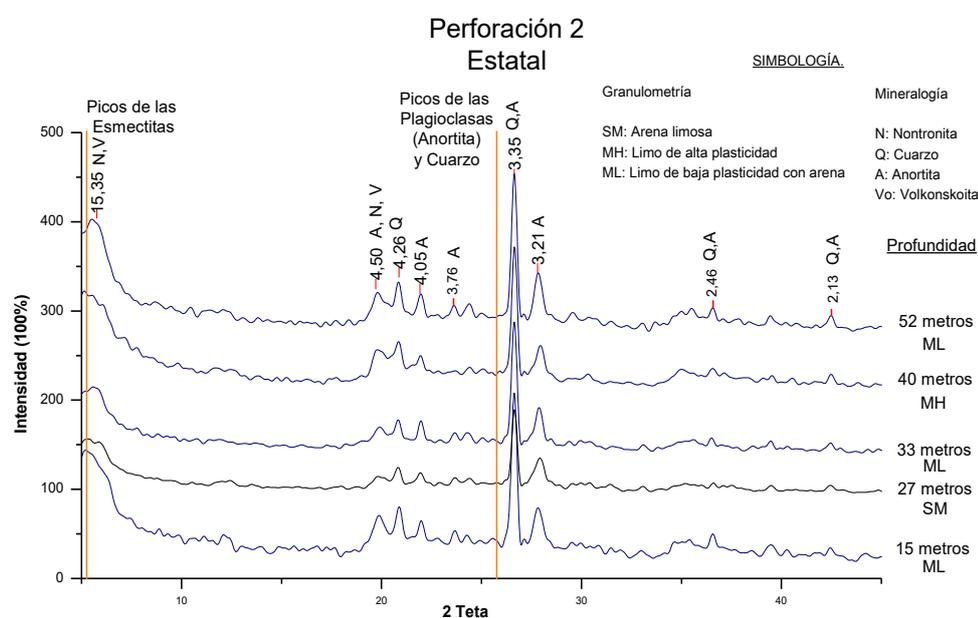
42.1% de plagioclasas de anortita, 33.7% de amorfo, 22.3% de heulandita y 1.9% de esmectita tipo nontronita. A los 9 metros se reconoce la presencia de brechas con contenidos de minerales en 36.4% de zeolita tipo laumontita-leonhardita, 35.4% de anortita, 15.4% de nontronita y 12.7% de amorfos.



**Figura 4.13.** Difractograma de las muestras de la perforación 1.

La perforación P2, atraviesa estratos limosos de color pardo grisáceo con pocas intercalaciones de arenas del mismo color pero más oscuras. Los minerales encontrados mediante los DRX (Figura 4.14) en los estratos representativos de los limos son cuarzo, feldespato plagioclasa tipo anortita, esmectitas tipo nontronita y volkonskoita. A los 40 metros de profundidad se reconoce un limo de alta plasticidad (MH) con 72.5%

de amorfos, 15.8% de cuarzo, 10.3% de anortita y 1.3% de esmectita tipo nontronita. Mediante la observación e identificación de los minerales presentes en los estratos de arena limosa (SM) presente a los 27 metros, se pudo reconocer minerales de tipo anfíboles, piroxenos y olivinos a los que se asignan como los amorfos o minerales no cristalinos, presentes en los estratos limosos y arenosos de esta perforación.



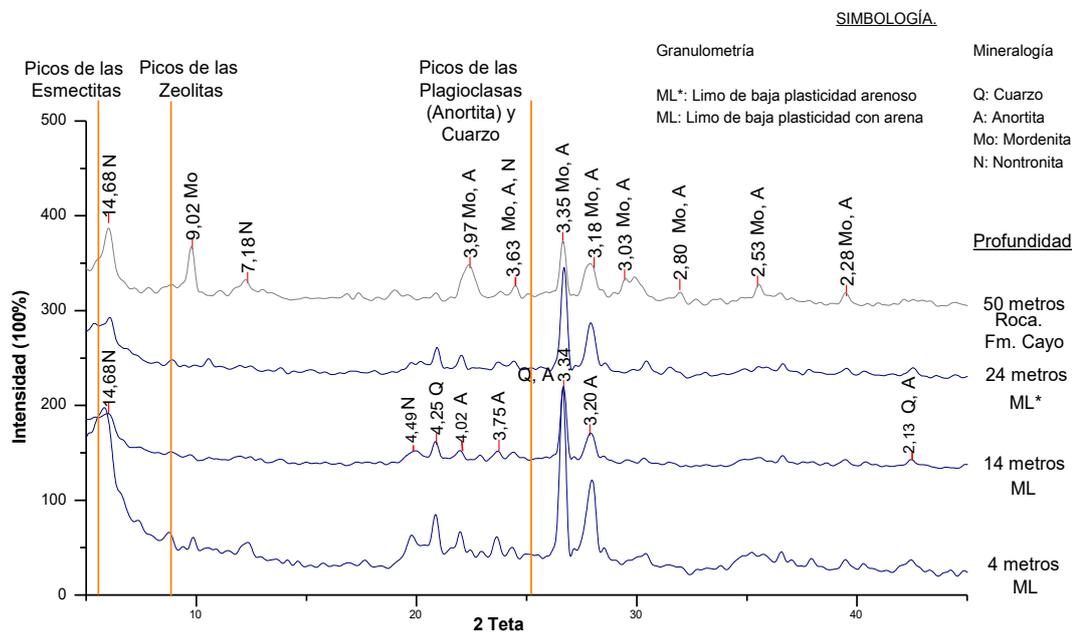
**Figura 4.14.** Difractograma de las muestras de la perforación 2.

La perforación P3 atraviesa 48 metros de suelos limosos de baja plasticidad arenosos o con arena (ML), suprayaciendo a una roca piroclástica tipo lapilli, la perforación llegó hasta 12 metros de este material.

La mineralogía de los suelos limosos es de cuarzo, feldespatos plagioclasas y esmectitas (Figura 4.15). En una muestra tomada a los 24 metros, se realizó cálculos de cuantificación de DRX y se obtuvo que los porcentajes de minerales que contienen son 44.8% de plagioclasa tipo anortita, 23% de cuarzo y 32.2% de presencia de amorfos. Se considera que los minerales amorfos pueden asignarse a las esmectitas, por cuanto se reconocen en el DRX, pero no fueron identificadas para los cálculos de cuantificación.

La roca piroclástica es de color gris verdosa y contienen anortita, cuarzo y esmectita tipo nontronita, y zeolita tipo mordenita. Los porcentajes de minerales calculados mediante DRX, son de 67% de amorfo, 18.9% de anortita, 12.6% de mordenita y 1.5% de nontronita. El porcentaje de los amorfos pueden ser asignados a minerales del grupo del olivino, esto por el color gris verdoso de las brechas.

### Perforación 3 Base Naval Norte

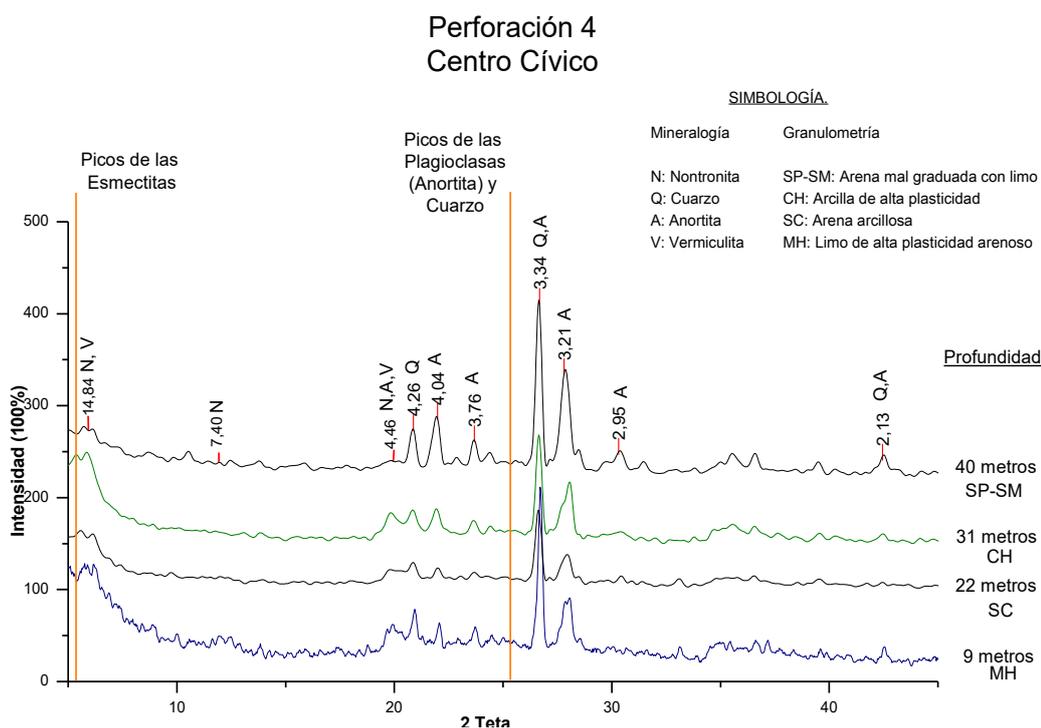


**Figura 4.15.** Difractograma de las muestras de la perforación 3.

Los estratos de la perforación 4, presentan minerales de cuarzo y plagioclasas tipo anortita en general, Figura 4.16. Solo de 0-16 metros que es un estrato de limo de alta plasticidad con arena (MH) y hasta 27 metros de profundidad se reconoce una arena arcillosa (SC). Ambos paquetes contienen cuarzo, anortita y esmeclita tipo nontronita. Seguido se encuentra un paquete de arcillas de alta plasticidad (CH) hasta 36 metros, con 48.3% de amorfos, 31.6% de anortita, 18.6% de cuarzo y 1.5% de mica vermiculita. Hasta 50 metros de esta perforación, se reconoce un estrato de arena mal graduada con limo (SP-SM) con 65%

de anortita, 21.6% de cuarzo y 13.4% de amorfo. En todos los estratos se reconoce una sola mineralogía que consta de cuarzo y plagioclasas tipo anortita y esmectita tipo nontronita y mica vermiculita.

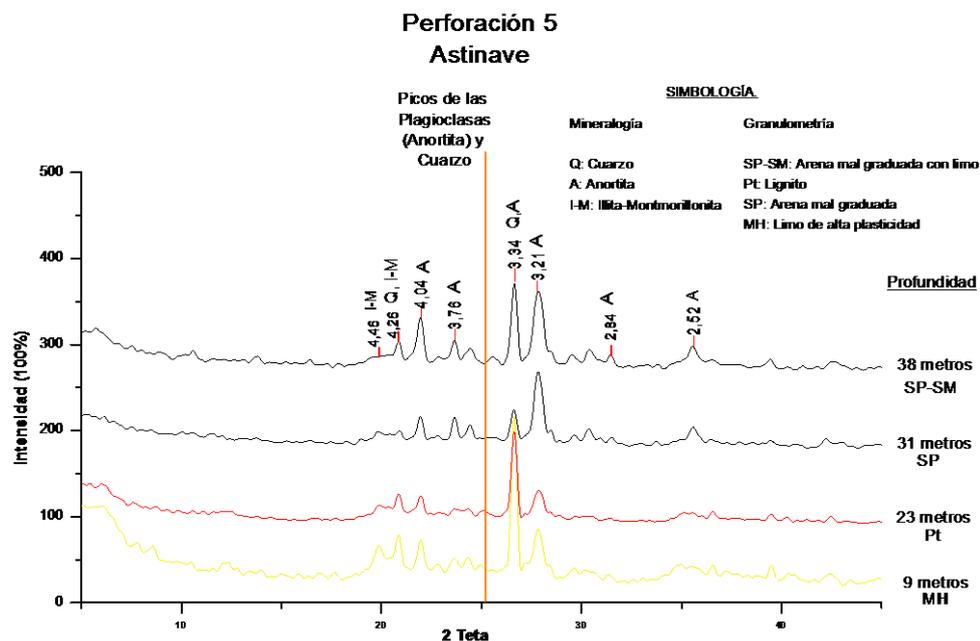
Los amorfos presentes en el paquete de arcillas (27-36 m) pueden ser asignables a minerales arcillosos no cristalinos. El 13.4% de minerales no cristalinos del paquete de arenas mal clasificadas pueden ser por la presencia de anfíboles, piroxenos y olivinos que se reconocen en la descripción megascópica de las arenas.



**Figura 4.16.** Difractograma de las muestras de la perforación 4.

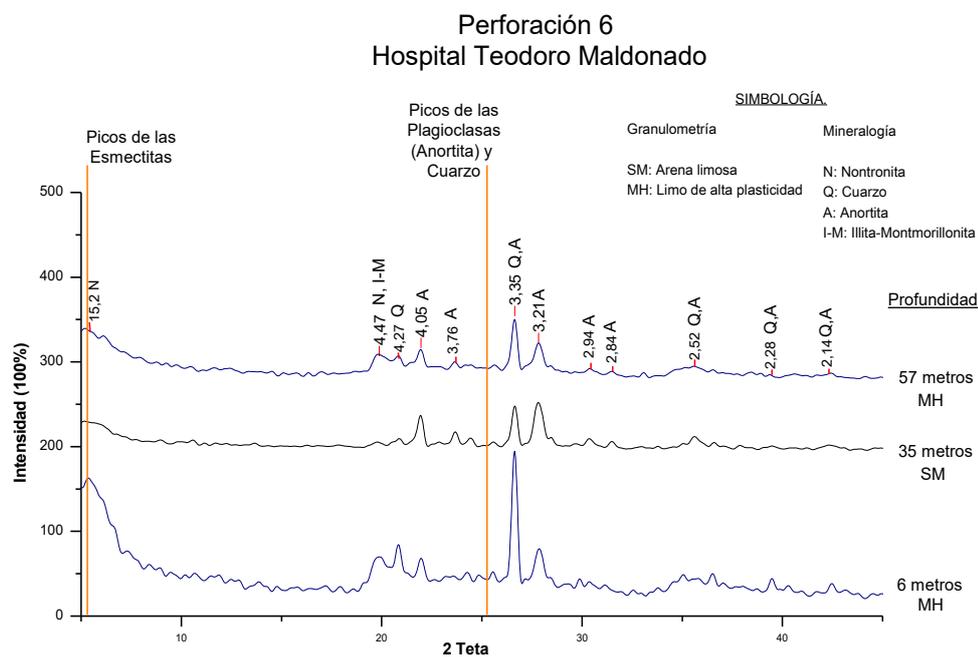
Los estratos de la perforación 5, presentan minerales de cuarzo y plagioclasas tipo anortita, ver Figura 4.17. Tiene 8 metros de relleno y de 8-20 metros se atraviesa es un estrato de limo de alta plasticidad con arena (MH), 20-25 metros de profundidad se reconoce un lignito (Pt), seguido de 5 metros de limo y a partir de 30 metros hay 18 metros de arena mal graduada limosa (SP-SM). Los últimos dos metros están constituidos por un limo de 48-49 metros y de 49-50 metros una semiroca tipo limonita. El paquete de limos (MH) contiene 45.3% de illita-montmorillonita, 32.1% de anortita, 18.2% de cuarzo y 4.4% de amorfos. Luego a 23 metros se analiza una muestra del lignito (Pt), que contiene 51.9% de amorfos, 29.3% de anortita y 18.8% de cuarzo. En todos los estratos de arena hasta 48 metros se reconoce una sola mineralogía que consta de cuarzo y plagioclasas tipo anortita.

Los amorfos presentes en el paquete de limos y lignito pueden ser asignables a minerales arcillosos no cristalinos.



**Figura 4.17.** Difractograma de las muestras de la perforación 5.

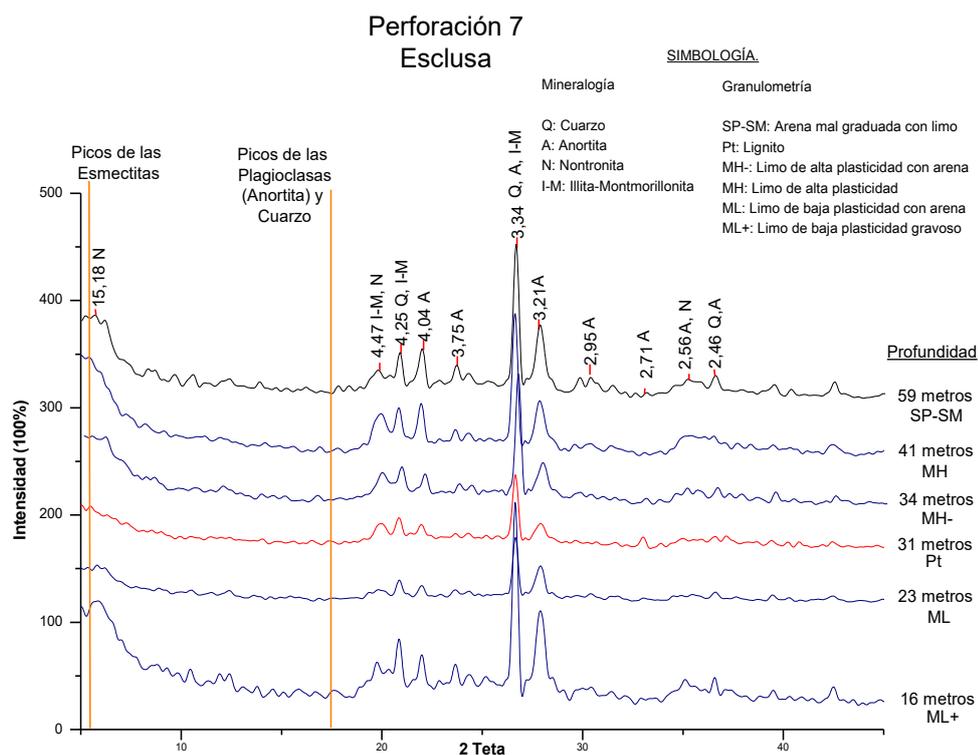
Los estratos de la perforación 6, hasta 57 metros atraviesan dos estratos uno de limo (MH) y otro de arena (SM) y los dos siguientes metros corresponden a una semiroca limonita (MH), siendo el último metro para un limo. El paquete de limos (MH) de 0-19 metros contiene minerales de cuarzo, plagioclasa tipo anortita y esmectita tipo nontronita. Seguido de los 38 metros de espesor del paquete de arena (SM) que contiene cuarzo y anortita. Y por último se tiene la cuantificación por DRX de la semiroca limonita (MH) con 42.5% de illita-montmorillonita, 23.8% de anortita, 10.6% de cuarzo y 23.1% de amorfos, Ver Figura 4.18. Los amorfos presentes en la limonita pueden ser asignables a minerales arcillosos no cristalinos.



**Figura 4.18.** Difractograma de las muestras de la perforación 6.

La perforación 7 atraviesa dos estratos, de arriba hacia abajo, 53 metros de limo (MH-ML) con una capa de 1.2 metros de espesor de lignito que aparece a los 31 metros, a este paquete le subyace 7 metros de arena. Como se indica en la Figura 4.19, la mineralogía corresponde a cuarzo, plagioclasas tipo anortita y esmectitas tipo nontronita en los limos de alta plasticidad (MH). Mientras que los limos con baja plasticidad (ML) y las arenas (SP-SM) solo contienen cuarzo y plagioclasa tipo anortita. Mediante la cuantificación de DRX se obtiene que el paquete de limos de baja plasticidad (ML) tiene 44% de amorfos, 37.6% de anortita y 18.3% de cuarzo. La muestra del lignito (Pt) contiene 48.9% de illita-

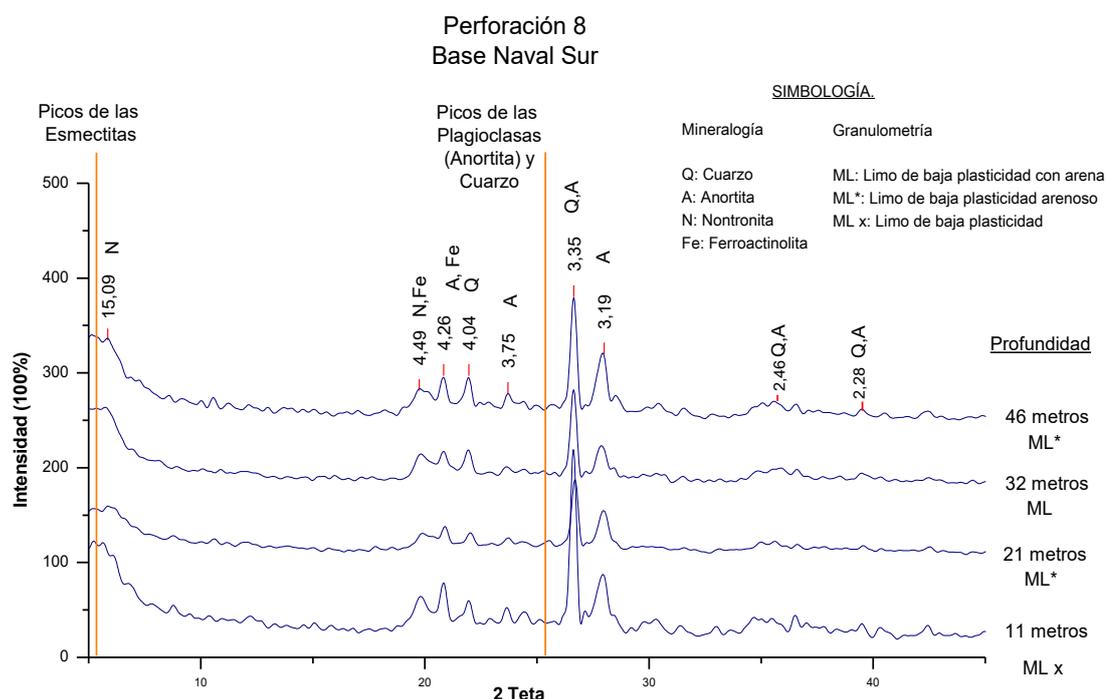
montmorillonita, 17.3% de anortita, 16.4% de cuarzo y 17.3% de amorfos. Los minerales amorfos pueden ser asignables a porcentajes de minerales arcillosos en ambas muestras.



**Figura 4.19.** Difractograma de las muestras seleccionadas de la perforación 7.

Las perforación 8, similar a la anterior, atraviesa dos estratos, uno de limo (ML) con un espesor de 55 metros y le subyace un estrato de arena de 5 metros de espesor (SP-SM). Los estratos de limos contienen minerales de cuarzo, plagioclasas tipo anortita, esmeclita tipo nontronita y anfíbol tipo ferroactinolita. Las arenas contienen minerales de cuarzo y plagioclasas tipo anortita, ver Figura 4.20. A los 46 metros, de arriba

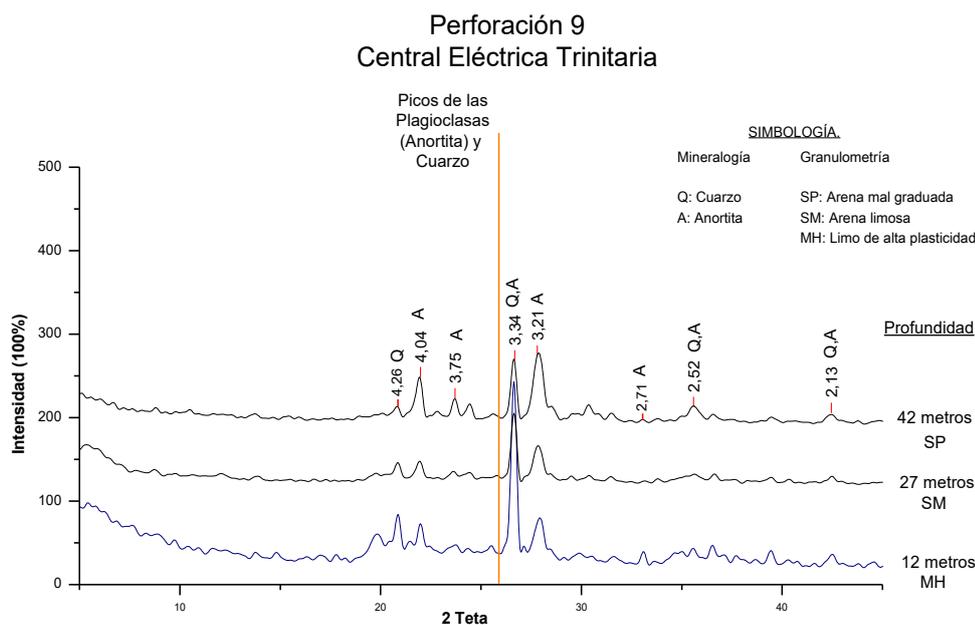
hacia abajo, se selecciona la muestra para la cuantificación por DRX y se tiene 39.8% de anortita, 36.8% de amorfos, 17.7% de cuarzo y 5.7% de ferroactinolita. En el estrato de arena solo se realiza descripción megascópica, descrita en la sección anterior. Los amorfos presentes en los limos, pueden ser asignables a minerales arcillosos no cristalinos.



**Figura 4.20.** Difractograma de las muestras de la perforación 8.

La perforación 9, atraviesa 20.5 metros de un estrato de limo (MH-ML), intercalado por 2 metros de arcilla(CH) que aparece a los 18 metros de profundidad, le subyace un estrato de arena (SP-SM) con aproximadamente 30 metros de espesor, pero que tiene intercalado 4 metros de limo de alta plasticidad (MH) que aparece a los 33 metros de

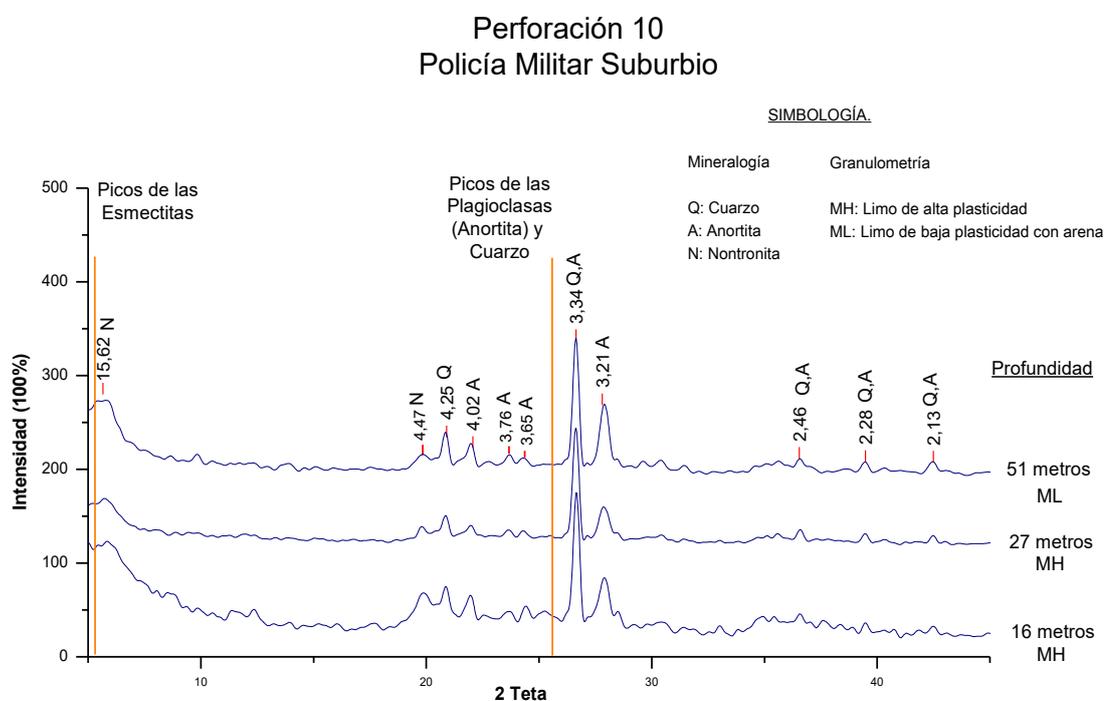
profundidad. Los estratos de limos que tienen una baja plasticidad y las arenas (SP-SM) contienen minerales de cuarzo, plagioclasas tipo anortita. Realizada la cuantificación mediante DRX se obtiene que el paquete de arena limosa (SM) tiene 47.1% de amorfos, 37.6% de anortita y 15.3% de cuarzo, ver Figura 4.21. En el paquete arcilloso se seleccionó una muestra para trabajar en fracción arcilla y se describe en la siguiente sección. El porcentaje de amorfos en las arenas limosas se asignarían a la presencia de anfíboles, piroxenos y olivinos que fueron reconocidos en la descripción megascópica de las arenas.



**Figura 4.21.** Difractograma de las muestras de la perforación 9.

La perforación 10 atraviesa un estrato que contiene limos de alta y baja plasticidad (MH-ML), con un espesor de 60 metros, además tiene una capa de 5 metros de espesor de lignito que aparece a los 20 metros.

Los limos de alta plasticidad contienen minerales de cuarzo, plagioclasas tipo anortita y esmectita tipo nontronita. Mientras que los limos con una baja plasticidad solo contienen cuarzo y plagioclasa tipo anortita, ver Figura 4.22, cuya cuantificación indica que el paquete de limos de baja plasticidad tienen 46.4% de amorfos, 33.3% de anortita y 20.3% de cuarzo. Los amorfos presentes en el paquete de limos pueden ser asignables a minerales arcillosos no cristalinos.



**Figura 4.22.** Difractograma de las muestras de la perforación 10.

En la Tabla VIII, se presenta un resumen de la difracción y la cuantificación realizada sobre las muestras. La simbología se puede revisar al inicio de este documento o en los difractogramas.

Resultado XRD de las muestras tratadas. Identificación y Cuantificación Mineralógica.									
N.	COTAS (m)		ASTM	Feldespatos (Plagioclasa)	Silicato (Cuarzo)	Esmectitas	Zeolitas, Micas y Anfíboles	Amorfos	G.
1	9.00	9.20	Brecha	A (35.4%)	-	N (15.4%)	L-L (36.4%)	Am (12.7%)	2.27
1	23.50	23.70	Toba	A (42.1%)	-	N (1.90%)	He (22.3%)	Am (33.7%)	1.93
1	39.00	39.20	Lapilli	A (10.7%)	-	N (15.4%)	L-L (42.2%) He (18.2%)	Am (13.5%)	2.01
1	45.00	45.20	Lapilli	A (23.0%)	-	N (2.90%)	He (5.30%)	Am (68.8%)	2.85
2	15.00	15.50	ML	A	Q	N	-	-	-
2	27.00	27.50	SM	A	Q	Vo	-	-	-
2	33.00	33.50	ML	A	Q	N	-	-	-
2	40.00	40.50	MH	A (10.3%)	Q (15.8%)	N (1.30%)	-	Am (72.5%)	1.54
2	52.00	52.50	ML	A	Q	N	-	-	-
3	4.00	4.50	ML	A	Q	N	-	-	-
3	14.00	14.50	ML	A	Q	N	-	-	-
3	24.00	24.50	ML	A (44.8%)	Q (23.0%)	-	-	Am (32.2%)	1.53
3	50.00	50.20	Lapilli	A (18.9%)	-	No (1.50%)	Mo (12.6%)	Am (67.0%)	1.87
4	9.00	9.50	MH	A	Q	No	-	-	-
4	22.00	22.50	SC	A	Q	-	-	-	-
4	31.00	31.50	CH	A (31.6%)	Q (18.6%)	-	V (1.50%)	Am (48.3%)	1.32
4	40.00	40.50	SP-SM	A (65.0%)	Q (21.6%)	-	-	Am (13.4%)	1.30
5	9.00	9.50	MH	A (32.1%)	Q (18.2%)	-	I-M (45.3%)	Am (4.40%)	1.38
5	23.00	23.50	MH	A (29.3%)	Q (18.8%)	-	-	Am (51.9%)	1.39
5	31.00	31.50	SP	A	Q	-	-	-	-
5	38.00	38.50	SP-SM	A	Q	-	-	-	-
6	6.00	6.50	MH	A	Q	No	-	-	-
6	35.00	35.50	SM	A	Q	-	-	-	-
6	57.50	58.00	MH	A (23.8%)	Q (10.6%)	-	I-M (42.5%)	Am (23.1%)	1.10
7	16.00	16.50	ML	A	Q	-	-	-	-
7	23.00	23.50	ML	A (37.6%)	Q (18.3%)	-	-	Am (44.0%)	1.35
7	31.00	31.50	Pt	A (17.3%)	Q (16.4%)	-	I-M (48.9%)	Am (17.3%)	1.09
7	34.00	34.50	MH	A	Q	N	-	-	-
7	41.00	41.50	MH	A	Q	N	-	-	-
7	59.00	59.50	SP-SM	A	Q	-	-	-	-
8	11.00	11.50	ML	A	Q	-	-	-	-
8	21.00	21.50	ML	A	Q	N	-	-	-
8	32.00	32.50	ML	A	Q	N	-	-	-
8	46.00	46.50	ML	A (39.8%)	Q (17.7%)	-	Fe (5.70%)	Am (36.8%)	1.39
9	12.00	12.50	MH	A	Q	-	-	-	-
9	27.00	27.50	SM	A (37.6%)	Q (15.3%)	-	-	Am (47.1%)	1.31
9	42.00	42.50	SP	A	Q	-	-	-	-
10	16.00	16.50	MH	A	Q	N	-	-	-
10	27.00	27.50	MH	A	Q	N	-	-	-
10	51.00	51.50	ML	A (33.3%)	Q (20.3%)	-	-	Am (46.4%)	1.58

Tabla VIII. Resumen de Identificación de minerales con difracción de rayos X.

#### 4.2.2.1. Roca total.

En la Tabla IX se presentan los resultados de las muestras que fueron seleccionadas para realizar la difracción de rayos X en roca total. Los resultados son similares a los encontrados en las muestras procesadas para liberarlas de carbonatos, sulfuros y materia orgánica.

Las arenas (SP-SM) contienen cuarzo y anortita, para los limos de alta y baja plasticidad (MH-ML) encontramos cuarzo, anortita y esmectita tipo nontronita. Para el Lignito (Pt) cuarzo, anortita e illita-montmorillonita y en las arcillas (CH) encontramos cuarzo, anortita y una zeolita tipo gismondina.

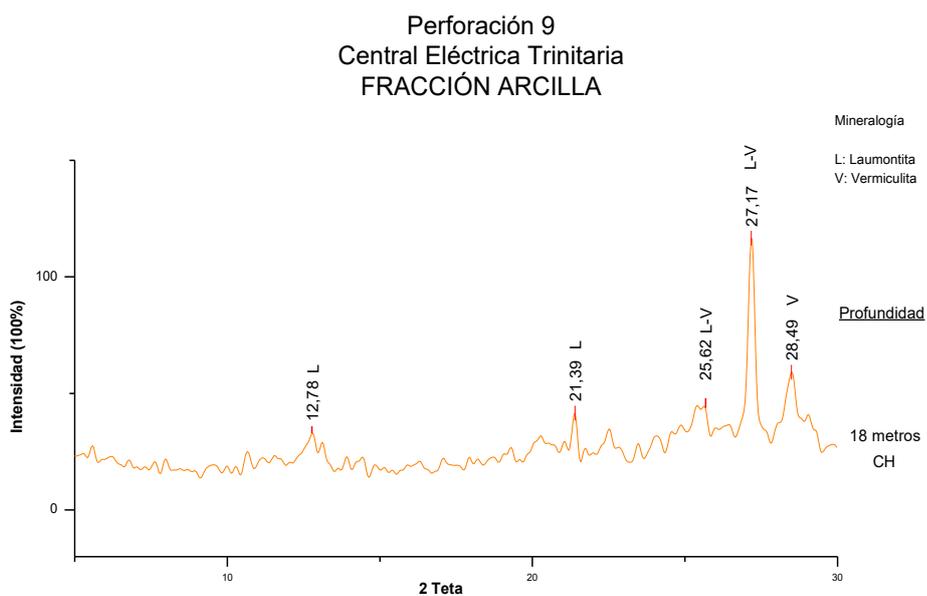
N.	COTAS (m)		ASTM	ROCA TOTAL SIN TAMIZAR		
2	27,00	27,50	SM	Anortita	Cuarzo	
2	40,00	40,50	MH	Anortita	Cuarzo	Nontronita
3	24,00	24,50	ML	Anortita	Cuarzo	
4	40,00	40,50	SP-SM	Anortita	Cuarzo	
7	23,00	23,50	ML	Anortita	Cuarzo	
7	31,00	31,50	Pt	Anortita	Cuarzo	Illita-Montmorillonita
7	41,00	41,50	MH	Anortita	Cuarzo	Nontronita
9	18,00	19,00	CH	Anortita	Cuarzo	Gismondina
10	51,00	51,50	ML	Anortita	Cuarzo	Nontronita

**Tabla IX.** Resumen de Identificación de muestras en roca total con difracción de rayos X.

#### 4.2.2.2. Fracción Arcilla.

La fracción arcilla permite identificar, mediante la técnica de DRX, los minerales arcillosos cristalinos, de esta manera se reconoce que en la

en P9 de 18 a 19 metros se encuentra un lente de arcilla de alta plasticidad (CH). En la muestra se reconoce un zeolita de tipo laumontita y una mica tipo vermiculita, ver Figura 4.23. Los otros paquetes arcillosos no contienen minerales en la fracción arcilla.



**Figura 4.23.** Difractograma de fracción arcilla de la perforación 9.

#### 4.2.3. Análisis de Resultados.

El Complejo de suelos Deltaico-Estuarino, ha sido investigado mediante 8 de las 10 perforaciones realizadas en este proyecto. En las que de manera general, se reconoce de abajo hacia arriba un estrato de arena seguido de suelos finos que le sobreyancen. Las arenas son de textura gruesa y fina, mediante la descripción megascópica se reconocen minerales de origen magmático como cuarzo, anfíbol, olivino, piroxenos,

magnetita y feldespato. Por tal razón se considera que la procedencia de las arenas es asignable al depósito antiguo de la llanura aluvial del Río Daule. Mediante los DRX se reconoce que el tipo de feldespato es la anortita y los amorfos pueden corresponder a anfíbol, olivino y/o piroxeno.

Los suelos finos están compuestos de limos de alta y baja plasticidad, con abundante presencia de materia orgánica, y de arcillas de alta plasticidad. Tanto las arcillas como los limos de alta plasticidad contienen cuarzo, anortita, con arcillas. Mediante los DRX se identifica los tipos de arcillas como la nontronita, illita-montmorillonita y en las cuantificaciones se determina la presencia de valores mayores al 50% de amorfos asignables a los minerales de arcillas indicados. Debido a la mineralogía y la textura de suelo fino, este estrato limo-arcilloso con abundante presencia de materia orgánica, lignito y minerales arcillosos puede ser asignable a un depósito del estuario.

Las perforaciones P1 y P3 fueron realizadas en roca. La composición mineralógica es diferente a la de los sedimentos o suelos deltaico-estuarinos.

En P1 (Espol) se reconocieron brechas correspondientes a la Formación Cayo, las que tienen hasta 42% de zeolitas y hasta 35% de Plagioclasas, con 15% de esmectitas. En cuanto a los minerales amorfos se reconoce que en los últimos metros de la perforación el porcentaje de amorfos es mayor a los primeros 45 metros. En P3 ubicado en la Base Naval Norte, también se encontró roca de la Formación Cayo. En los últimos metros disminuye la presencia de zeolitas y aumenta la de amorfos, al igual que en P1.

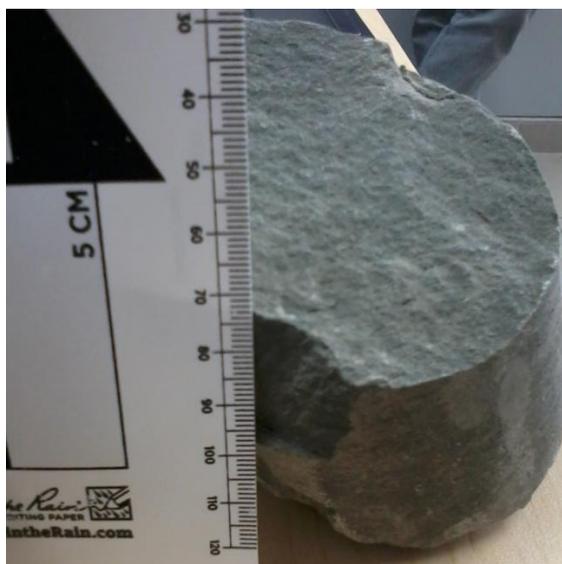
#### **4.3. Columnas Estratigráficas de las perforaciones.**

A partir de los testigos de perforación se realizaron las columnas estratigráficas que se presentan en el ANEXO E. Las fotografías de los testigos de las 10 perforaciones están en el ANEXO C. A continuación se describe la estratigrafía y litología de cada una de las perforaciones.

En la perforación 1, ubicada en las residencias de Espol, se puede identificar de arriba hacia abajo, 3.9 metros de limo arenoso marrón con abundante grava de naturaleza volcánica y tamaño heterométrico. De 3.9 a 12.8 metros hay una brecha volcánica de matriz color gris verdoso, clastos subangulosos. De 12.8 a 13.9 metros hay una toba volcánica de color gris oscuro de grano muy fino. De 13.9 a 19.8 metros se encuentra

brecha volcánica de matriz color gris verdoso, clastos subangulosos y vetas de cuarzo con espesor de hasta 3 mm. Hay un estrato 19.8 a 26.4 una toba volcánica (Figura 4.24) de color gris oscuro de grano fino, presencia de diaclasas contienen relleno de cuarzo con espesor de hasta 1 mm, alrededor de estas fracturas se encuentra la roca decolorada, este estrato también presenta intercalaciones de posible estratificación gradada (material muy fino) en 21.90-22 m, 25.5-25.65 m, 25.90-26 m. De 26.4 a 27 metros hay lapilli (Figura 4.25) de matriz color gris verdoso con clastos subangulosos. De 27 a 28.1 metros toba volcánica de color gris oscuro de grano fino con vetas de cuarzo de hasta 3 mm. De 28.1 a 45.5 metros hay presencia de un estrato de lapilli que va cambiando sus tonalidades y se presentan así: de 28.1 a 31.9 metros se encuentra una matriz color gris verdoso; de 31.9 a 37.5 metros una matriz color gris muy oscuro; seguido de 37.5 a 41.85 metros con matriz color rojizo oscuro, finalmente de 41.85 a 45.5 metros una matriz gris muy oscuro. Este estrato presenta clastos subangulosos y vetas de cuarzo con espesor de más de 5 mm. La capa de lapilli rojizo oscuro, sugiere una posible oxidación, además presente también una posible estratificación gradada (material muy fino). Seguido de 45.5 a 57.6 metros brecha volcánica de matriz color gris verdoso, con clastos subangulosos, las vetas de cuarzo son escasas y tienen espesor hasta 2 mm. De 57.6 a 60 metros se encuentra un estrato de toba volcánica color gris oscuro de grano medio con una intercapa de lapilli de color gris

oscuro clastos subangulosos, hay vetas de cuarzo escasas de espesor hasta 2 mm.



**Figura 4.24.** Tobas volcánicas.



**Figura 4.25.** Lapilli.

En la perforación 2, ubicada en el estadio de la Facultad de Educación Física de la Universidad Estatal de Guayaquil, se reconoce de arriba hacia abajo, 5 metros de limo con abundante grava. De 5 a 58 metros se presencia un estrato de limo que es intercalado por una capa de arena (25-30 m) como se describe a continuación: a partir de 5 a 25 metros se aprecia un limo de color pardo grisáceo oscuro con arena gruesa y fina, se observa cómo va aumentando el porcentaje de arena hacia piso. Luego de 25-30 metros se encuentra la intercalación de una capa de arena gruesa limosa de color pardo grisáceo muy oscuro, presenta nódulos limosos de color marrón posible oxidación (Figura 4.26). De 30 a 40 metros continua el estrato de limo de color pardo grisáceo muy oscuro con arena gruesa y fina, se puede apreciar que a partir de 35 metros aumenta el porcentaje de limo y disminuye el porcentaje de arena, se encuentran nódulos de arcilla. De 40 a 41 metros hay un limo de color pardo grisáceo muy oscuro y muy plástico con lignito (Figura 4.27), materia orgánica y nódulos de arcilla color marrón con oxidación. Seguido de 41 a 58 metros limo de color pardo grisáceo muy oscuro con arena fina y gruesa, nódulos de limo marrones rojizos oxidados, algo de lignito esporádico. Finalmente se reconoce otro estrato de 58 a 60 metros de arena gruesa limosa de color marrón oliva, tiene grava, además de nódulos de arcilla grisáceos y de limo marrones rojizos presencia de oxidación.



**Figura 4.26.** Nódulos de limo oxidados.



**Figura 4.27.** Limo muy plástico con lignito.

En la perforación 3, ubicada en las canchas de fútbol de la Base Naval Norte, de arriba hacia abajo se reconoce 1.5 metros de suelo vegetal con abundante materia orgánica. Luego se encuentran dos estratos bien diferenciados, de 1.5 a 48 metros hay un estrato de limo y de 48 a 60 metros se encuentra una roca piroclástica. El estrato de limo se divide en dos niveles de 1.5 a 22.3 metros limo de color marrón oliva con arena gruesa y fina, se observa que hasta 5 metros hay un mayor porcentaje de arena gruesa después de los 5 metros aumenta el porcentaje de arena fina; también hay nódulos de arcilla grisácea (Figura 4.28) y marrón de

hasta 1 cm presentan oxidación, materia orgánica (Figura 4.29) y algo de lignito. Seguido de 22.3 a 48 metros de un limo de color pardo grisáceo oscuro con arena fina, que contiene algo de lignito con nódulos limosos oxidados Figura 4.30 Hay mayor porcentaje de arena en este nivel a diferencia del anterior, pero también se aprecia que hacia piso va aumentando el porcentaje de limo y disminuye la arena.

El siguiente estrato se encuentra de 48 a 60 metros y es una roca piroclástica tipo lapilli (Figura 4.31) de color gris verdoso con clastos de hasta 3 cm subangulosos a subredondeados.



**Figura 4.28.** Nódulos de arcilla grisáceos.



**Figura 4.29.** Materia orgánica: restos de hoja.



**Figura 4.30.** Limo con arena y nódulos oxidados.



**Figura 4.31.** Lapilli.

La perforación 4, se encuentra ubicada en el Centro Cívico, y se puede diferenciar de arriba hacia abajo 2 metros de limo de color marrón con grava y hormigón. Se ubica un estrato de limo de 2 a 16 metros que tiene dos niveles descritos así: de 2 a 6 metros se encuentra limo de color marrón claro amarillento con presencia de oxidación, cristales aciculares de yeso (mm), lignito y nódulos arcillosos de hasta 7 mm; luego de 6 a 16 metros limo color pardo grisáceo oscuro con lentes e intercalaciones milimétricas de arena gruesa y fina, presenta materia orgánica, conchas rotas (Figura 4.32), cantos de grava, lignito e impresión de hoja (Figura 4.33), nódulos arcillosos de aproximadamente 5 mm, con oxidación y cristales aciculares de yesos (5 mm), también se encuentra 20 cm de semiroca (Figura 4.34) a los 13 metros y además de un olor fétido suave. Seguido de 16 a 18 metros de un estrato de arcilla color gris oscuro, con lignito y gravas calcáreas (Figura 4.35). De 18 a 20 metros no se pudo recuperar el testigo. Luego se encuentra un estrato de arena que va de 20 a 50 metros intercalado de una arcilla arenosa que aparece a los 27 metros, con un espesor de 9 metros; cómo se va describir: de 20 a 27 metros hay arena color gris oscuro con arcilla, también se encuentran conchas rotas, gravas calcáreas (Figura 4.36) y poco lignito. Luego de 27 a 36 metros, intercalación de un estrato de arcilla color amarillo pálido con arena y patinas de oxidación (Figura 4.37), arena se presenta en capas con grava (6 mm), con espesor de la capa de arena hasta 3 cm.

Seguido de 36 a 50 metros hay un estrato de arena mal graduada de color gris muy oscuro con limo.



**Figura 4.32.** Restos de conchas.



**Figura 4.33.** Impresión de hoja.



**Figura 4.34.** Semiroca limonita.



**Figura 4.35.** Arcilla con nódulos calcáreos.



**Figura 4.36.** Cantos de gravas calcáreos.



**Figura 4.37.** Arcilla con intercapas de arena y patinas de oxidación.

La perforación 5, está ubicada cerca de la ría Guayas en las instalaciones de Astinave, de arriba hacia abajo contiene 8 metros de limo con grava, hay hormigón y barras de hierro. Seguido de un estrato de limo que va de 8 a 30 metros que presenta una intercalación con una capa de lignito que aparece a los 25 metros y tiene 5 metros de espesor, a continuación se describen los niveles en el estrato: de 8 a 25 metros se encuentra un limo de color gris oscuro con lentes e intercapas milimétricas de arena fina a gruesa, se observa una estratificación en las capas de limo, arena y lignito (Figura 4.38), se incrementan hacia piso, además cuenta con materia orgánica (Figura 4.39), nódulos de arcilla color marrón de hasta 1 cm, presenta oxidación, restos de (Figura 4.40) y minerales de azufre. Luego de 25 a 30 metros hay una capa de lignito de color negro brillante, hojoso (Figura 4.41) con materia orgánica y minerales prismáticos de yeso. Seguido de 25 a 30 metros de un limo de color gris muy oscuro con arena fina (Figura 4.42), se aprecia que hacia piso aumenta el porcentaje de limo. Después de 30 a 48 metros se encuentra un estrato de arena de color marrón oliva con limo, que tiene nódulos esporádicos de arcilla marrón. Seguido de 48 a 49 metros hay un limo de color gris oscuro con restos de lignito y raíces. Finalmente de 49 a 50 metros se encuentra semiroca limosa (limonita), Figura 4.43, de color marrón grisáceo con arena gruesa y fina, presenta nódulos calcáreos.



**Figura 4.38.** Limo con intercapas de arena y lignito.



**Figura 4.39.** Materia Orgánica: restos de ramas.



**Figura 4.40.** Restos de Conchas.



**Figura 4.41.** Lignito.

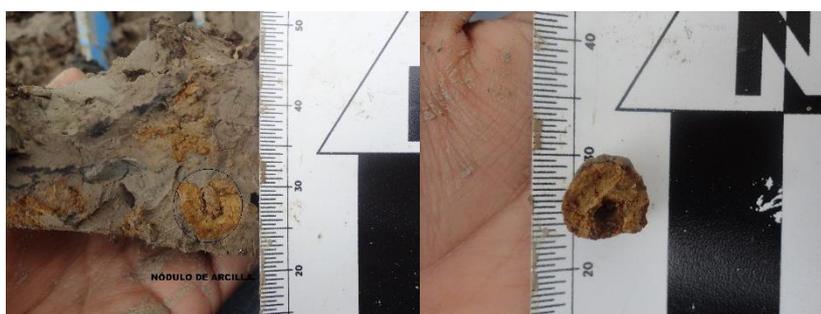


**Figura 4.42.** Limo con arena.



**Figura 4.43.** Semiroca con nódulos calcáreos.

La perforación 6, está ubicada en las instalaciones del Hospital Teodoro Maldonado, y se puede identificar de arriba hacia abajo 4 metros de relleno. Seguido de 4 a 19 metros un limo de color marrón oliva claro con nódulos arcillosos (Figura 4.44) de hasta 1.2 cm aproximadamente, además hay intercapas milimétricas de arena y lignito (Figura 4.45), lentes de arena (Figura 4.46), también pequeños minerales de azufre y conchas (Figura 4.47), se puede ver que hacia piso disminuye el porcentaje de intercapas de arena. Luego de 19 a 57 metros se encuentra arena color negro con limo, se observa que hasta los 30 metros de profundidad la arena es fina, pasando de media a gruesa en los siguientes metros, con nódulos arcillosos y limosos de hasta 1 cm, conchas rotas esporádicas (Figura 4.48) y materia orgánica. De 57 a 59 metros se encuentra semiroca limonita color marrón oliva posee algo de lignito. Finalmente de 59 a 60 metros hay un limo de color marrón oliva claro con arena media a gruesa.



**Figura 4.44.** Nódulos de arcilla.



**Figura 4.45.** Limo con intercapas de arena y lignito.



**Figura 4.46.** Lentes de arena.



**Figura 4.47.** Materia orgánica: conchas en descomposición.



**Figura 4.48.** Restos de conchas.

La perforación 7, está ubicada en el sector de las esclusas, de arriba hacia abajo presenta 4 metros de relleno. Seguido se encuentra de 4 a 53 metros un estrato de limo con intercalación de lignito los diferentes niveles se detallan a continuación: de 4 a 6 metros hay una capa de limo de color marrón oliva con presencia de patinas de oxidación (Figura 4.49) y de lignito. Después de 6 a 8 metros una capa de limo de color marrón oliva claro con muy poca arena, también presenta lignito, fuerte olor y nódulos de arcilla. De 8 a 31 metros hay un limo de color pardo grisáceo oscuro con arena fina (Figura 4.50) que está presente en forma de lentes e intercapas de arena milimétricas plegadas, se observa que varía el porcentaje de limo y arena en todo el nivel, presencia de lignito, nódulos arcillosos grisáceos y abundantes conchas (Figura 4.51). De 31 a 32.3 metros se presenta una intercalación de lignito de color negro con cristales de yeso aciculares alargados. Continuando con la descripción del estrato y sus niveles, de 32.3 a 43.6 metros hay un limo de color gris

oscuro con bajo porcentaje de lentes e intercapas de arena gruesa y fina, hay plegamiento (Figura 4.52), además de nódulos de arcilla, lignito, materia orgánica y gravas. De 43.6 a 53 metros limo de color marrón oliva (Figura 4.53) con abundante arena, presencia de materia orgánica y lignito. Al final se reconoce de 53 a 60 metros otro estrato de arena de color gris muy oscuro con nódulos arcillosos (Figura 4.54).



**Figura 4.49.** Limo con patinas de oxidación y algo de lignito.



**Figura 4.50.** Limo con arena y lignito.



**Figura 4.51.** Restos de Conchas.



**Figura 4.52.** Limo con intercapas de arena, plegadas.



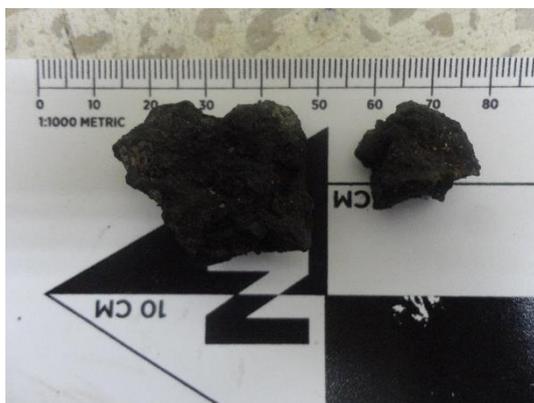
**Figura 4.53.** Limo con arena fina.



**Figura 4.54.** Nódulos de arcilla en la arena.

La perforación 8, de arriba hacia abajo tiene 3 metros de relleno. Después le sigue un estrato de limo de 3 a 55 metros que tiene niveles los que se observaron así: de 3 a 4 metros limo color gris oscuro con grava lutítica, bastantes restos de materia orgánica y patinas de oxidación. El siguiente nivel de 4 a 15 es un limo de color marrón grisáceo oscuro con arena fina y gruesa, presenta lignito abundante (Figura 4.55), materia orgánica (Figura 4.56), conchas, abundantes micas y patinas de oxidación, se ve que hacia piso aumenta el porcentaje de arena. De 15 a 18 metros limo color marrón oliva con arena gruesa y fina, grava lutítica de hasta 1cm. De 18 a 20 metros limo color marrón grisáceo oscuro con arena y micas presentes. Seguido 20 a 24 metros limo de color marrón oliva con arena gruesa y fina, además de restos de materia orgánica, conchas, gravas de lutita (Figura 4.57) hasta 4.7 cm, de caliza de hasta 1.5 cm, nódulos de arcilla y patinas de oxidación. Luego de 24 a 35 metros limo de color marrón oliva claro con lentes de arena fina y gruesa con presencia de

micas, nódulos de arcilla de color grisáceo y marrones, gravas de hasta 1.4 cm y lignito. Después de 35 a 55 metros limo de color marrón grisáceo oscuro con arena que va de gruesa a media y fina, siendo primero más fina y luego más gruesa hacia piso, así va variando el porcentaje de arena y limo en el nivel, con presencia de micas, materia orgánica y lignito, gravas de origen volcánico de 4.2 cm, de lutitas de 2.7 cm, calizas de hasta 4.3 cm (Figura 4.58); se puede observar que hacia piso aumenta la cantidad de limo. Al final se encuentra de 55 a 60 metros un estrato de arena gruesa color pardo grisáceo muy oscuro y abundantes nódulos de arcilla.



**Figura 4.55.** Lignito.



**Figura 4.56.** Materia Orgánica: restos de ramas.



**Figura 4.57.** Gravas: cantos de lutita.



**Figura 4.58.** Gravas: cantos de caliza.

La perforación 9, ubicada en las instalaciones de la Central Eléctrica Trinitaria, de arriba hacia abajo consta de 6.8 metros de limo con grava centimétrica, a partir de 5 m el limo es de color rojizo, con materia orgánica. Seguido de 6.8 a 20.6 metros de un estrato de limo que está dividido en niveles y tiene una intercalación de arcilla a los 18 metros con 2 metros de espesor como se describe a continuación: de 6.8 a 15 metros limo de color gris oscuro (Figura 4.59) con intercalaciones y lentes de arena, presencia de lignito, materia orgánica, gasterópodo (Figura 4.60), conchas, minerales aciculares alargados de yeso, cantos de grava hasta 6 cm, además presenta oxidación pasando a limo de color marrón rojizo (Figura 4.61). De 15 a 18 metros limo de color marrón oliva claro con intercapas milimétricas de arena fina combinadas con capas de lignito, pero en unas zonas el limo es más abundante, en todo el nivel abundantes conchas rotas. De 18 a 20 metros presenta una intercalación de arcilla de color oliva con gravas calcáreas (Figura 4.62), y algo de lignito disperso. Luego de 20 a 20.6 metros continua el estrato de limo de color marrón grisáceo muy oscuro con intercapas milimétricas de arena (Figura 4.63) y lignito. Seguido de un estrato de arena que aparece de 20.6 hasta 50 metros intercalados con limo a los 33 metros con 5 metros de espesor, se describe así: De 20.6 a 33 metros arena fina de color marrón oliva con limo, se observa que hacia piso aumenta la cantidad de limo, con presencia de conchas rotas, gravas de naturaleza volcánica

hasta 1.5 cm y de caliza de hasta 3 cm. A partir de 33 a 37 metros aparece la intercalación con limo de color amarillo oliva y patinas de oxidación. Seguido de 37 a 50 metros de arena fina y gruesa color negro, cantos de gravas hasta 1 cm, con nódulos arcillosos y de limo.



**Figura 4.59.** Limo grisáceo.



**Figura 4.60.** Restos de Concha: Gasterópodo de 3 cm.



**Figura 4.61.** Limo con oxidación presente.



**Figura 4.62.** Arcilla con nódulos calcáreos.



**Figura 4.63.** Limo con intercapas de arena.

La perforación 10, se encuentra en las instalaciones de la policía militar del suburbio, de arriba hacia abajo se puede encontrar 1.2 metros de relleno. De 1.2 a 60 un estrato de limo con niveles y una intercalación de lignito a los 20 metros de 5 metros de espesor, a continuación se puede observar su descripción: de 1.2 a 5 metros limo de color gris oscuro (Figura 4.64), con materia orgánica, restos de conchas (Figura 4.65), algunos cantos oxidados de naturaleza lutítica de hasta 3.8 cm, fuerte olor fétido. De 5 a 20 metros limo de color gris oscuro con lentes e intercapas milimétricas de arena y de lignito (Figura 4.66), además hay conchas y va aumentando el porcentaje de lignito a partir de 11 m se encuentra hasta 3 cm. De 20 a 25 metros se presenta la intercalación de lignito de color negro, con muchas conchas rotas. Luego sigue de 25 a 30 metros un limo de color marrón oliva claro con lentes de arena escasos, impresiones de hojas (Figura 4.67) y lignito. Finalmente de 30 a 60 metros limo de color marrón oliva claro con arena fina, hay lignito, cantos de grava de naturaleza volcánica de hasta 2 cm y nódulos de arcilla.



**Figura 4.64.** Limo grisáceo.



**Figura 4.65.** Restos de conchas.



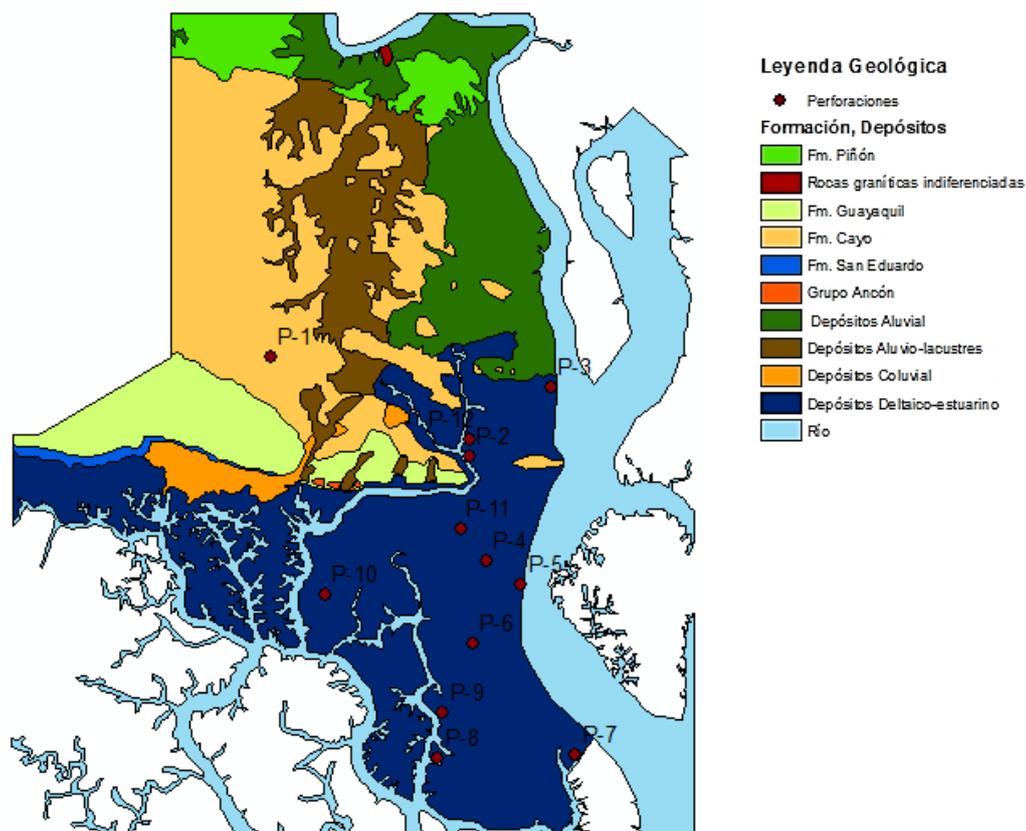
**Figura 4.66.** Limo con intercapas de lignito.



**Figura 4.67.** Impresiones de hojas.

#### **4.4. Correlaciones y análisis de las perforaciones.**

Con el análisis realizado a cada una de las perforaciones se reconoce que se han caracterizado dos de los tres ambientes geomorfológicos de Guayaquil, que son la Cordillera Chongón Colonche y el Complejo deltaico-estuarino. La ubicación de las perforaciones en el mapa geológico de Guayaquil se indica en la Figura 4.68.



**Figura 4.68.** Mapa Geológico con la ubicación de los puntos de perforación.

La perforación P1 está en la Cordillera Chongón Colonche y contiene brechas, lapilli y tobas similares a la columna tipo de la Fm. Cayo.

La perforación P3 se realizó en la llanura aluvial, se encontraron de arriba hacia abajo 48 metros de suelos finos similares a los depósitos estuarinos, por tal razón se propone una extensión del Complejo Deltaico de Guayaquil, como se indica en la Figura 4.68.

Entonces con lo dicho anteriormente, el Complejo Deltaico-Estuarino fue estudiado mediante 9 perforaciones que son P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 y P10 distribuidas en el centro-sur de la ciudad. En las columnas estratigráficas se reconocen dos estratos fáciles de diferenciar: uno conteniendo limos, arcillas y lignitos y otro de arenas. El primer paquete corresponde a suelos estuarinos, la materia orgánica es un aporte importante para este reconocimiento. El segundo estrato que es subyacente al primero, correspondería a los suelos aluviales, esto se distingue por la presencia de arenas constituidas de minerales volcánicos como los anfíboles, plagioclasas, piroxenos y cuarzo.

# CAPÍTULO 5

## **5. CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE LA LITOLOGÍA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.**

Para la caracterización térmica se ha tomado en consideración las perforaciones P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 y P10. La perforación P9 se ha excluido debido a un corte en las tuberías del agua circulante, que ha imposibilitado la realización de la prueba de respuesta térmica en estos sitios.

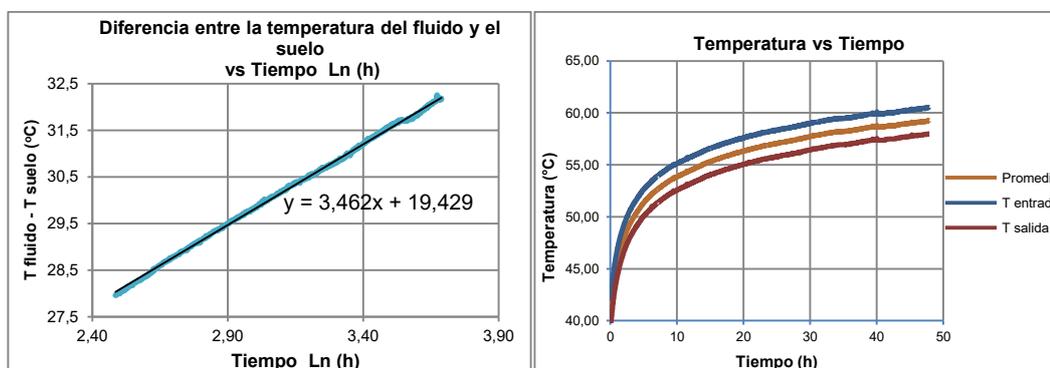
### **5.1. Propiedades térmicas.**

Con las mediciones in situ, se obtuvieron los datos de temperatura, corriente, voltaje y caudal de fluido. Con estos datos se realizó las gráficas de vs Temperatura vs tiempo.

Se observa en el gráfico (a) La relación temperatura vs tiempo a lo largo de toda la medición, se muestra para cada una de las perforaciones.

(Lado Izquierdo. Figura 5.1 hasta Figura 5.9) . En el gráfico (b) se presenta la diferencia de temperatura del fluido y el suelo vs el logaritmo neperiano del tiempo y se dibuja la tendencia lineal, además su ecuación se presenta a continuación para cada una de las perforaciones (Lado derecho. Figura 5.1 hasta Figura 5.9).

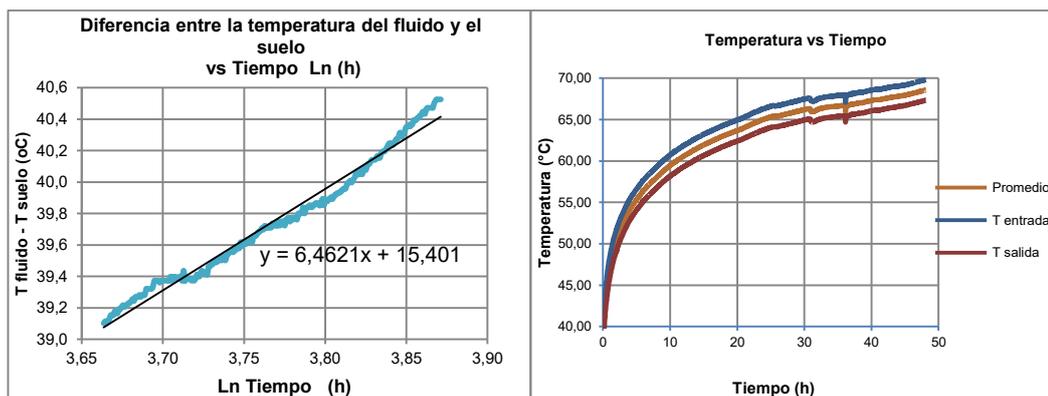
Para la perforación 1 se obtuvo que la curva de tendencia lineal representada por  $y = 3.46x + 19.43$ . Además se observa como el gráfico Temperatura vs tiempo va encontrando la estabilidad al alcanzar el mayor número de horas, como se ve en Figura 5.1.



**Figura 5.1.** a. Gráfica  $\Delta T$  vs  $\ln(t)$  (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Español.

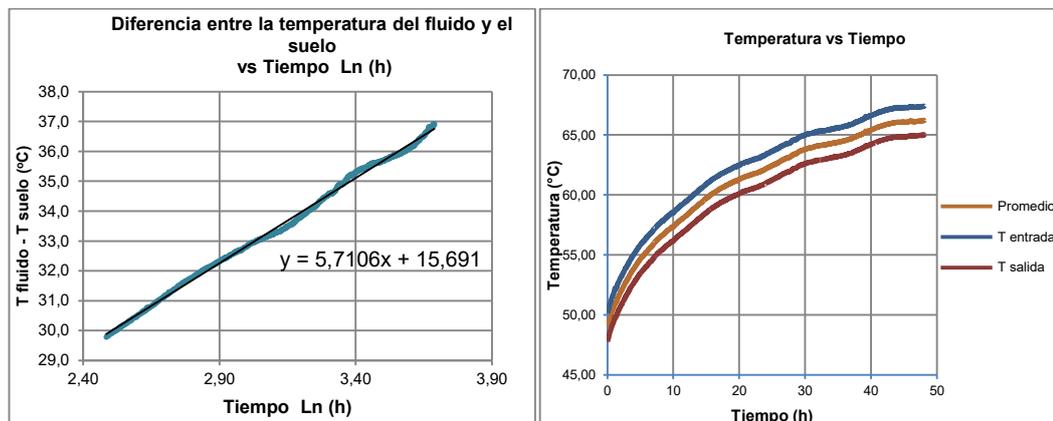
Para la perforación 2 se obtuvo que la curva de tendencia lineal está representada por  $y = 6.46x + 15.40$ . Además se observa como el gráfico Temperatura vs tiempo va encontrando la estabilidad al alcanzar el mayor número de horas, también se presencia una especie de ruido en la curva

que es atribuible a que en ese lapso de tiempo hubo una tormenta eléctrica en Guayaquil, debido a la cantidad de agua que cayo es posible que haya influenciado el sistema, en ese lapso de tiempo. Ver Figura 5.2.



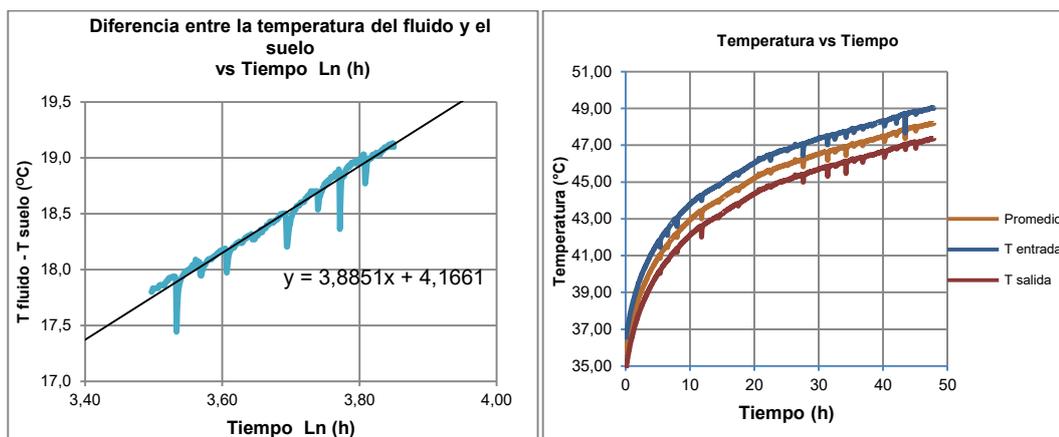
**Figura 5.2.** a. Gráfica  $\Delta T$  vs  $\ln(t)$  (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Universidad Estatal.

Para la perforación 3 se obtuvo que la curva de tendencia lineal representada por  $y = 5.71x + 15.69$ . Además se observa como el gráfico Temperatura vs tiempo su curva se va estabilizando al finalizar las últimas horas, pero también se observa una pequeña variación en la tendencia normal, esto puede ser atribuido a la leve influencia que hay en este sitio de las mareas de la ría Guayas, Figura 5.3.



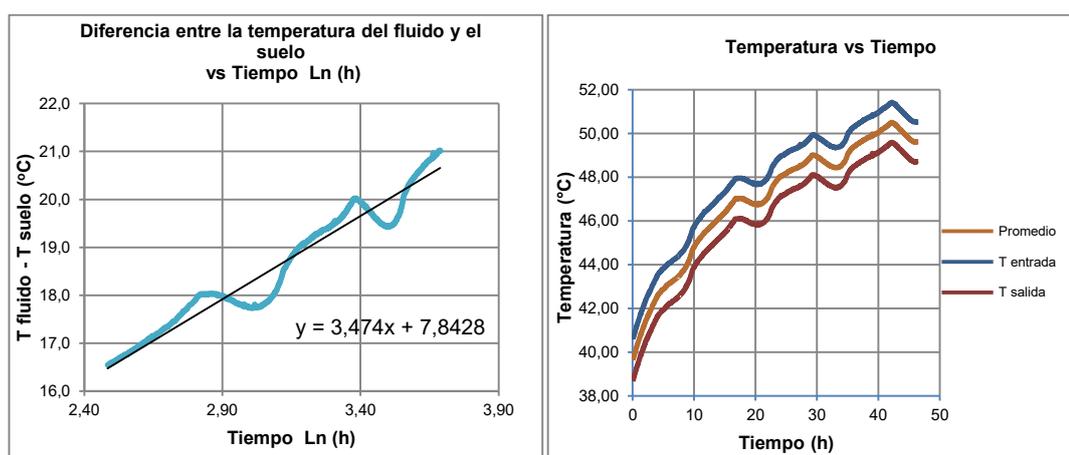
**Figura 5.3.** a. Gráfica  $\Delta T$  vs  $\ln(t)$  (derecha), b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Base Naval Norte.

Para la perforación 4 se obtuvo que la curva de tendencia lineal representada por  $y = 3.89x + 4.17$ . Además se observa como el gráfico Temperatura vs tiempo va alcanzando la estabilidad al aumentar el número de horas, también se observa que hay una especie ruido en las curvas lo que se le atribuye a que hubo una pequeña fuga de agua en la tubería, otro factor fue la lluvia que estuvo presente en gran parte del tiempo de duración de la prueba, Figura 5.4.



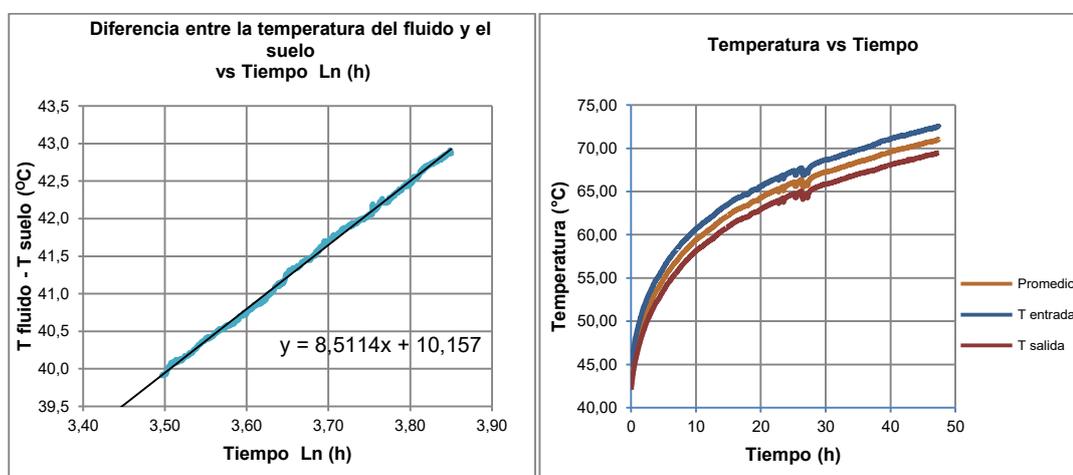
**Figura 5.4.** a. Gráfica  $\Delta T$  vs  $\ln(t)$  (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Centro Cívico.

Para la perforación 5 se obtuvo que la curva de tendencia lineal representada por  $y = 3.47x + 7.84$ . Además se observa como el gráfico Temperatura vs tiempo demora más tiempo en encontrar una estabilidad en su tendencia debido a que hay una fuerte influencia de las mareas en el sector de Astinave, además la prueba fue hecha aproximadamente a 5 metros de la ría Guayas, Figura 5.5.



**Figura 5.5.** a. Gráfica  $\Delta T$  vs  $\ln(t)$  (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Astinave.

Para la perforación 6 se obtuvo que la curva de tendencia lineal representada por  $y = 8.51x + 10.16$ . Además se observa como el gráfico Temperatura vs tiempo tiene una tendencia a la alta para encontrar la estabilidad al alcanzar el mayor número de horas medidas, también se observa un pequeño ruido debido a que hubo una leve falla con el generador de energía por unos segundos, Figura 5.6.



**Figura 5.6.** a. Gráfica  $\Delta T$  vs  $\ln(t)$  (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Hospital Teodoro Maldonado.

Para la perforación 7 se obtuvo que la curva de tendencia lineal representada por  $y = 5.83x + 11.82$ . Además se observa como el gráfico Temperatura vs tiempo va alcanzando una estabilidad a mayor número de horas, Figura 5.7.

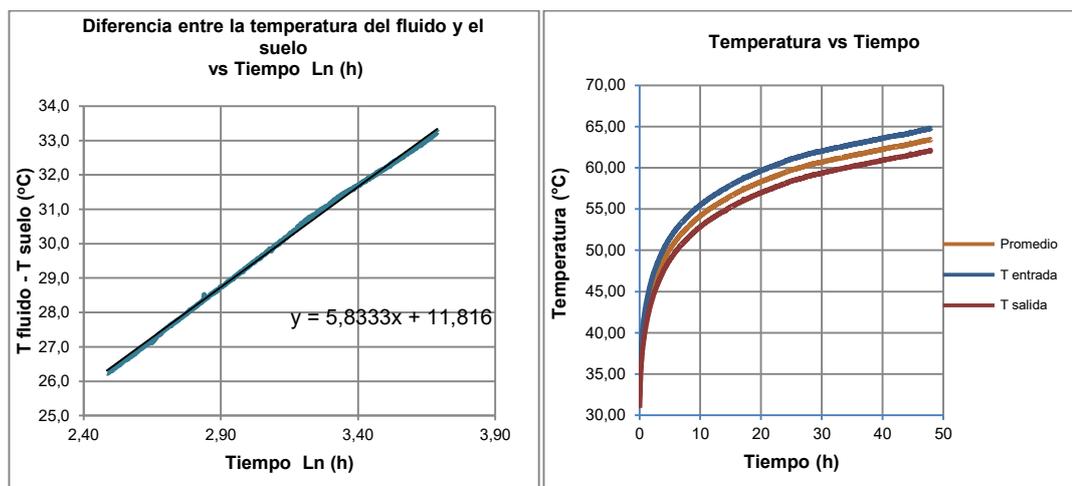


Figura 5.7. a. Gráfica  $\Delta T$  vs  $\ln(t)$  (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Esclusas.

Para la perforación 8 se obtuvo que la curva de tendencia lineal representada por  $y = 4.66x + 9.06$ . Además se observa como el gráfico Temperatura vs tiempo es constante y va alcanzando una estabilidad térmica a mayor número de horas, Figura 5.8.

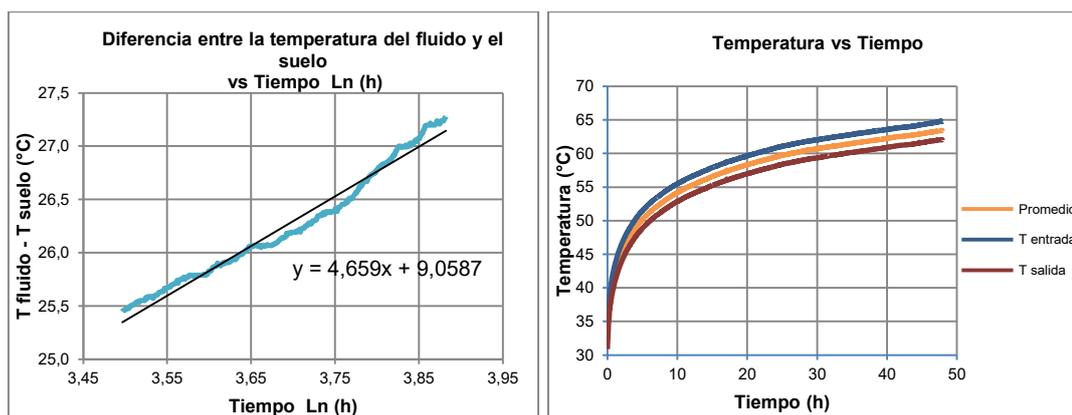
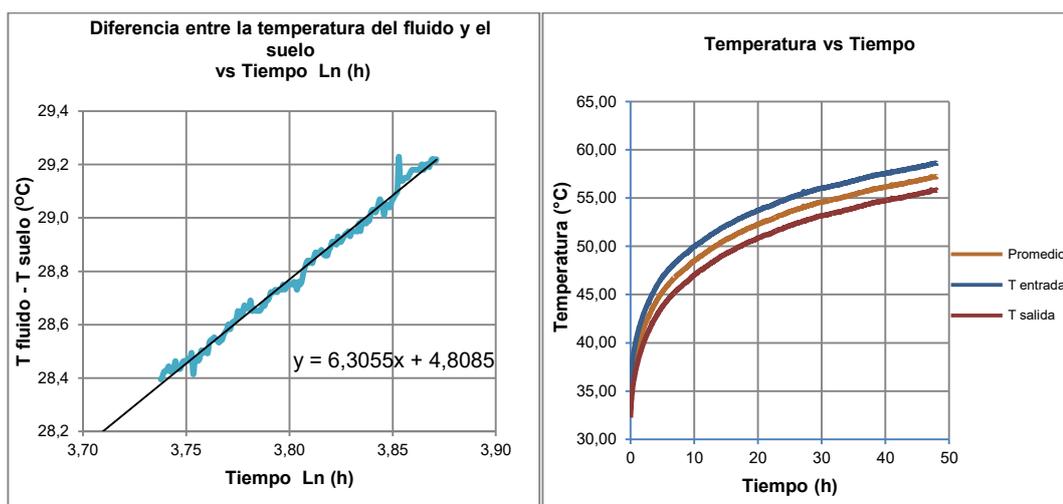


Figura 5.8. a. Gráfica  $\Delta T$  vs  $\ln(t)$  (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Base Naval Sur.

Para la perforación 10 se obtuvo que la curva de tendencia lineal representada por  $y = 6.31x + 4.81$ . Además se observa como el gráfico Temperatura vs tiempo va encontrando la estabilidad al alcanzar el mayor número de horas, Figura 5.9.



**Figura 5.9.** a. Gráfica  $\Delta T$  vs  $\ln(t)$  (derecha); b. Gráfica Temperatura vs Tiempo (izquierda) en Policía Militar del Suburbio.

En las gráficas Temperatura vs Tiempo para P1, P7, P8 y P10 se puede observar que las pruebas de respuesta térmicas son adecuadas y tienen una buena relación, sin ningún inconveniente presente.

Para las gráficas de Temperatura vs Tiempo para P3, P5 se observa una influencia de las mareas aunque en P3 tiene tendencia que es menos clara, por el contrario en P5 la tendencia es muy clara.

Además se debe considerar que en P2 y P4 mientras se tomaban las mediciones hubo fuertes lluvias y pudo haber infiltraciones de agua. Para P2 solo hay una pequeña variación en torno a la hora en que comenzó la tormenta eléctrica, mientras P4, otro factor fue la constante recarga de agua debido a una pequeña fuga en la tubería. Y en P6 debido a un leve fallo en generador, se presenta es pequeña variación.

#### **5.1.1. Métodos para la obtención de las propiedades térmicas.**

Para la obtención de las propiedades térmicas hemos utilizado cálculos analíticos así como un software. Para el cálculo analítico se utilizó el método lineal y el software que fue utilizado es el Ground Loop Design.

Para que el error sea mínimo como se mencionó antes (capítulo 3) es necesario excluir datos, en la Tabla X se presentan los rangos de horas que se utilizaron para cada una de las perforaciones.

Perforación	Lugar de perforación	Período para cálculo en horas
1	ESPOL	12 a 40
2	ESTATAL	39 a 48
3	BASE NAVAL NORTE	12 a 40
4	CENTRO CÍVICO	33 a 47
5	ASTINAVE	12 a 40
6	HOSPITAL	33 a 47
7	ESCLUSA	12 a 40
8	BASE NAVAL SUR	-
9	TRINITARIA	-
10	SUBURBIO MILITAR	42 a 48

Tabla X. Rango de Horas.

#### 5.1.1.1. Aplicación de Método Lineal.

La formulación mencionada en la metodología (capítulo 3) fue utilizada para realizar todos los cálculos para obtener las propiedades térmicas del suelo. Se procedió a calcular las propiedades térmicas del suelo, usando los datos que se presentan en la Tabla XI, además la temperatura inicial en todas las perforaciones se encuentra entre 26 a 29 °C, con una temperatura ambiente de 33 a 35 °C o superiores, medidas en invierno.

PROPIEDADES DE UNA TUBERÍA DE ALTA DENSIDAD		
Diámetro interior, $d_{p,i}$	0.019	(m)
Diámetro exterior, $d_{p,o}$	0.025	(m)
Conductividad Térmica, $K_p$	0.50	(W/mC)
PROPIEDADES DEL RELLENO DEL POZO		
Mezcla cemento-bentonita	10%-60%	por volumen
Conductividad Térmica, $K_g$	1.73	(W/mC)

Tabla XI. Propiedades de la Tubería y el relleno.

En la Tabla XII, se presentan los resultados que se han obtenido utilizando el método lineal para cada una de las perforaciones, se debe considerar que no se pudo realizar pruebas de respuesta térmica en P-9, debido a fallas en la instalación de la tubería, pero con el fin de tener más valores para una mejor interpolación de datos se han inferido valores de referencia para estas perforaciones.

No.	Resistencia térmica suelo $R_s$ (mC/W)	Conductividad suelo $K_s$ (W/mC)	Difusividad suelo $\alpha$ (m <sup>2</sup> /día)
P-1	0,421	1,668	0,378
P-2	0,546	0,898	0,066
P-3	0,467	1,013	0,076
P-4	0,337	1,123	0,012
P-5	0,349	1,245	0,030
P-6	0,574	0,676	0,031
P-7	0,420	0,991	0,038
P-8	0,400	1.120	0,024
P-9	<b>0,470</b>	<b>0,690</b>	<b>0,047</b>
P-10	0,394	0,923	0,012

**Tabla XII.** Resultados de las propiedades térmicas utilizando el método lineal.

Con estos resultados se puede observar que la resistencia térmica en las perforaciones va de 0.34 hasta 0.57 mC/W, la conductividad térmica va de 0.68 hasta 1.67 W/mC y la difusividad térmica va de 0.012 hasta 0.076 m<sup>2</sup>/día.

### 5.1.1.2. Aplicación Software Ground-Loop-Design.

En la Tabla XIII, se presentan los resultados que se han obtenido utilizando el programa Ground Loop-Design para cada una de las perforaciones:

No.	Resistencia térmica Borehole Rb (mC/W)	Conductividad suelo Ks (W/mC)	Difusividad suelo $\alpha$ (m <sup>2</sup> /día)
1	0,170	1,670	0,386
2	0,150	0,900	0,066
3	0,150	1,020	0,075
4	0,150	1,130	0,012
5	0,160	1,280	0,028
6	0,150	0,680	0,032
7	0,140	0,960	0,039
8	0.150	1.120	0.024
9	-	-	-
10	0,140	0,930	0,015

**Tabla XIII.** Resultados de las propiedades térmicas utilizando el programa Ground Loop Design.

El programa Ground Loop Design (GLD) en general utiliza el método de fuente lineal para realizar sus cálculos, pero no presenta la resistencia térmica del suelo, es decir de la perforación y sus alrededores, sino que presenta solo la de la perforación, está es calculada con la suma de las resistividades presentes, la resistividad del fluido, tubería y del relleno (grout) (ver ecuaciones [2], [3], [4]).

Es por este motivo que para graficar los mapas vamos a utilizar los resultados obtenidos con mediante la formulación con el Método de fuente lineal, porque nos interesa más la influencia del sistema en el suelo.

El cálculo a través del programa GLD nos ayuda a confirmar los datos obtenidos mediante el método lineal.

#### **5.1.2. Análisis de Resultados.**

Los datos teóricos (30), se indican en la Tabla XIV; y los datos del programa GLD (22), (31) se presentan en la Tabla XV. La primera tabla se compara con los resultados obtenidos en este estudio con el método lineal de la Tabla XII, y la segunda con los resultados obtenidos con el programa GLD de la Tabla XIII.

Así para las arcillas, el rango teórico es de 1.4-1.9 (W/mK) y para las arenas es de 0.9-1.9 (W/mK), comparado con el obtenido en este trabajo que es de 0.9-1.25 (W/mK), se reconocen que los resultados de campo son cercanos al rango de los valores teóricos.

	Dry Density, kg/m <sup>3</sup>	Conductivity, W/(m·K)	Diffusivity, m <sup>2</sup> /day
<b>Soils</b>			
Heavy clay, 15% water	1925	1.4 to 1.9	0.042 to 0.061
5% water	1925	1.0 to 1.4	0.047 to 0.061
Light clay, 15% water	1285	0.7 to 1.0	0.055 to 0.047
5% water	1285	0.5 to 0.9	0.056 to 0.056
Heavy sand, 15% water	1925	2.8 to 3.8	0.084 to 0.11
5% water	1925	2.1 to 2.3	0.093 to 0.14
Light sand, 15% water	1285	1.0 to 2.1	0.047 to 0.093
5% water	1285	0.9 to 1.9	0.055 to 0.12
<b>Rocks</b>			
Granite	2650	2.3 to 3.7	0.084 to 0.13
Limestone	2400 to 2800	2.4 to 3.8	0.084 to 0.13
Sandstone		2.1 to 3.5	0.65 to 0.11
Shale, wet	2570 to 2730	1.4 to 2.4	0.065 to 0.084
dry		1.0 to 2.1	0.055 to 0.074
<b>Grouts/Backfills</b>			
Bentonite (20 to 30% solids)		0.73 to 0.75	
Neat cement (not recommended)		0.69 to 0.78	
20% bentonite/80% SiO <sub>2</sub> sand		1.47 to 1.64	
15% bentonite/85% SiO <sub>2</sub> sand		1.00 to 1.10	
10% bentonite/90% SiO <sub>2</sub> sand		2.08 to 2.42	
30% concrete/70% SiO <sub>2</sub> sand, s. plasticizer		2.08 to 2.42	

**Tabla XIV.** Thermal Properties of Selected Soils, Rocks, and Bore Grouts/Fills.

Fuente: Kavanaugh y Rafferty 1997, (30).

U-Tube Diameter, mm	Bore Fill Conductivity,* W/(m·K)					
	100 mm Diameter Bore			150 mm Diameter Bore		
	0.86	1.73	2.60	0.86	1.73	2.60
20	0.33	0.16	0.10	0.40	0.19	0.14
25	0.29	0.14	0.10	0.35	0.17	0.12
30	0.26	0.14	0.08	0.31	0.16	0.10
*Based on DR 11, HDPE tubing with turbulent flow						
Corrections for Other Tubes and Flows						
DR 9 Tubing		Re = 4000		Re = 1500		
+0.03 W/(m·K)		+0.014 W/(m·K)		+0.004 W/(m·K)		

**Tabla XV.** Thermal Resistance of Bores  $R_b$  for High-Density Polyethylene U-Tube Vertical Ground Heat Exchangers.

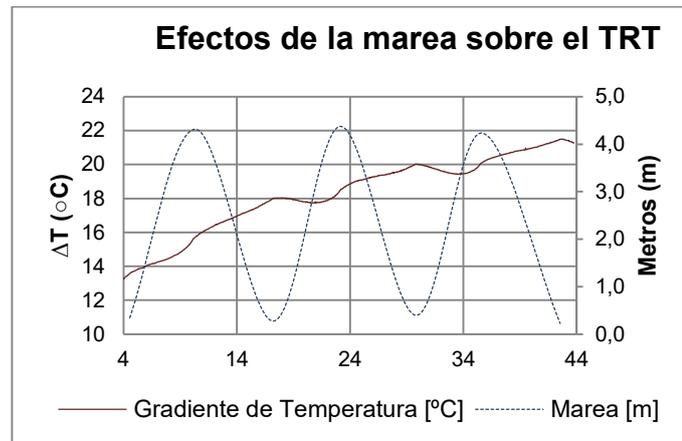
Fuente: Kavanaugh (2001), (22) y Remund y Paul 2000, (31).

El análisis de las propiedades térmicas como la conductividad, difusividad y resistividad, se realiza correlacionando, los datos medidos en el ensayo de TRT y el tipo de las unidades geomorfológicas-geológicas de la ciudad de Guayaquil. La **conductividad térmica** de

P1, perforación en roca, correspondiente a la Formación Cayo, tiene la conductividad más alta con 1.67 W/mC.

En el Complejo Deltaico-Estuarino se realizaron 9 perforaciones que son P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 y P10. En este depósito la conductividad térmica, se mantiene constante, en un rango de 0.68 W/mC hasta 1.25 W/mC.

La perforación P5 tiene propiedades litológicas similares a los otros puntos, pero distintas características geológicas (geomorfología e hidrología de la zona) que contribuyen favorablemente a aumentar la conductividad térmica de la zona en un valor de 1.25 W/mC. Como se observa en la Figura 5.10, comparativo de Mareas vs TRT (Temperatura y profundidad vs tiempo) de la perforación P5, ubicada en Astinave, las mareas son inversamente proporcionales al ensayo térmico. Esto se reconoce porque disminuye la temperatura en el ascenso de mareas. Podría decirse que el estrato de arenas presentes en P5 trabaja como un acuífero en pleamar.



**Figura 5.10.** Efectos de la marea sobre el test de respuesta térmica en Astinave.  
Fuente: Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER).

La baja **resistividad térmica** favorece la conducción de calor del suelo, por tal razón se considera que los valores de baja resistividad son los más adecuados para considerar la instalación de sistemas de climatización.

Para la perforación P1 correspondiente a la roca en la Formación Cayo se tiene una resistividad térmica de 0.42 mC/W. En el Complejo Deltaico-Estuarino compuesto por P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 y P10, teniendo un rango de 0.34 -0.57mC/W. Los valores más bajos de resistividad como P4 y P5 son los mejores referentes para instalar un sistema de climatización.

El rango de los valores en suelos de **difusividad térmica** óptimos para que un sistema de este tipo funcione deben estar entre 0.055 - 0.12 m<sup>2</sup>/día. Para la roca de la Formación Cayo que se tiene en la perforación P1 el valor de difusividad térmica es de 0.38 m<sup>2</sup>/día, indicando valores mayores al rango óptimo de los suelos, dando a conocer que es un excelente material para funcionamiento de sistemas de climatización. Para el Complejo Deltaico-Estuarino compuesto por P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 y P10, el rango de la difusividad térmica es de 0.012 m<sup>2</sup>/día hasta 0.076m<sup>2</sup>/día.

# CAPÍTULO 6

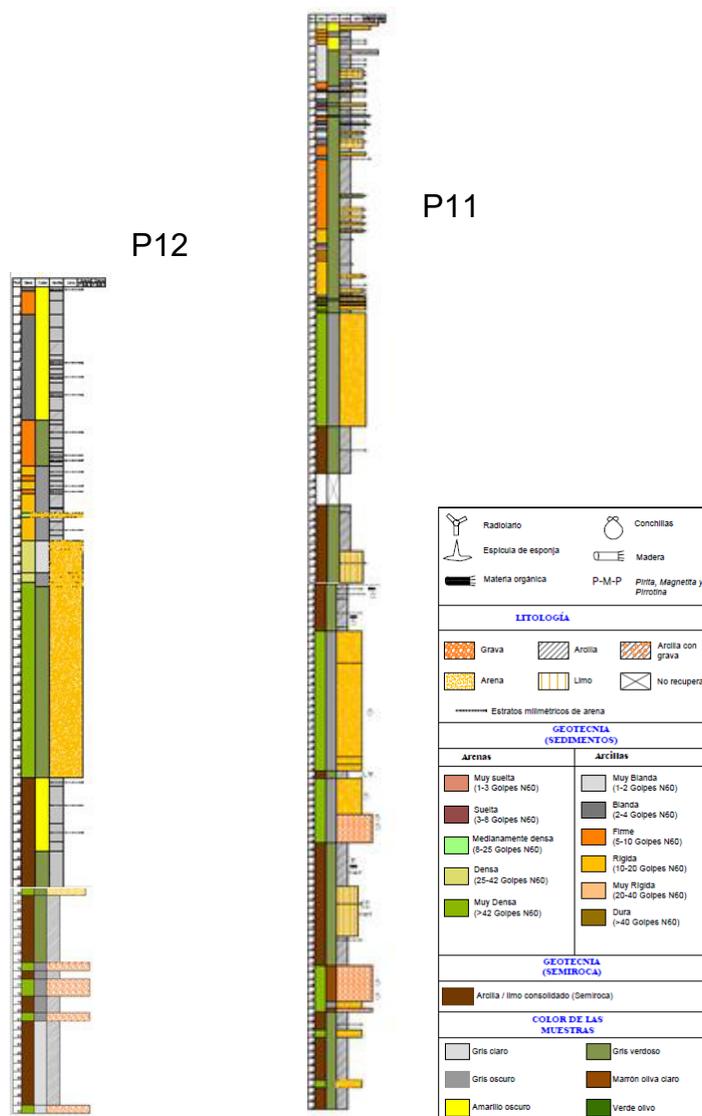
## **6. MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.**

Para realizar el diseño del modelo geológico-térmico se estudiaron los estratos hasta llegar a la elaboración de un perfil geológico que permitió reconocer los eventos geológicos que formaron los estratos estudiados. Los estudios térmicos se utilizaron para elaborar el modelo geológico térmico de las zonas estudiadas.

### **6.1. Perfil Geológico de los suelos y rocas de la ciudad de Guayaquil.**

A partir de las 10 columnas estratigráficas relevadas en este proyecto y de 2 columnas de referencia de la SNGR se realiza un mapa de vista de planta y un perfil geológico construido a partir de la correlación de las columnas. El perfil se denominó A-A', tiene 12,182 km de longitud y 90,0 metros de profundidad, e incluye de Sur a Norte las columnas estratigráficas de las perforaciones P8, P9, P6, P5, P4, P2 y P3, además se añaden las columnas del proyecto de sismicidad de Guayaquil de la Secretaria

Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) que son P11 y P12, ver Figura 6.1.



**Figura 6.1.** Columnas estratigráficas (P11 y P12).  
Fuente: Proyecto Sismicidad de Guayaquil de la SNGR 2014.

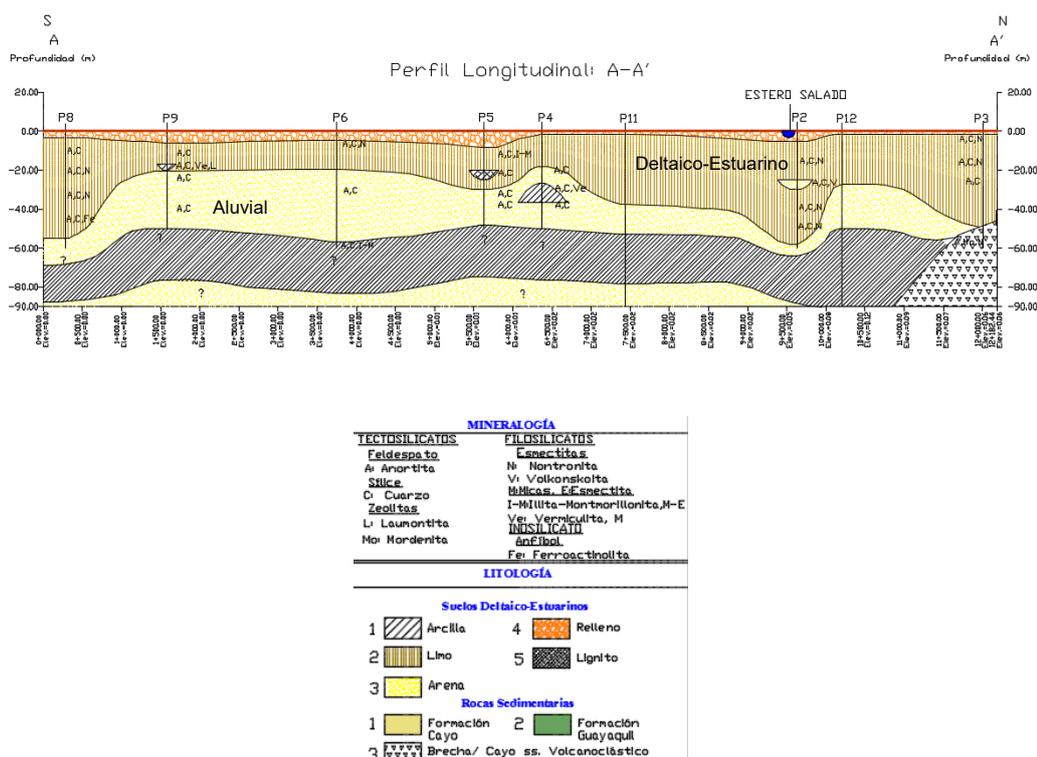
En la Figura 6.2, contiene el perfil estratigráfico de los suelos predominantes del Depósito Deltaico-Estuarino. De arriba hacia abajo el

suelo de la zona Sur de Guayaquil tiene un promedio de 8 metros de relleno. Le sigue un estrato de limo que tiene un espesor de 20 a 25 metros, este estrato está compuesto por limos de alta y baja plasticidad con lentes de arcilla de alta plasticidad de hasta 9 metros, lignito de hasta 5 metros o arena limosa de hasta 5 metros. En la mayoría de lugares el limo está compuesto por intercapas de arena fina y gruesa. Además contiene abundante materia orgánica como restos de ramas, hojas y conchas. En algunas zonas se encontró minerales aciculares de yeso y de azufre; además abundantes nódulos de arcilla y limo que presentan oxidación, en la perforación P9 se observó una gran cantidad de limo rojizo. El limo de baja plasticidad contiene plagioclasas tipo anortita, cuarzo; el limo de alta plasticidad está constituido por plagioclasas tipo anortita, cuarzo y esmectita tipo nontronita. Las arcillas de alta plasticidad y el lignito están constituidos por plagioclasas tipo anortita, cuarzo, Illita-montmorillonita y mica vermiculita. Los amorfos de este estrato corresponderían a minerales de arcilla no cristalizados.

Subyaciendo se encuentra una de arena mal graduada y limosa, en algunas zonas alcanza hasta 30 metros de profundidad, los constituyentes de esta arena son minerales como el cuarzo, los feldespatos tipo anortita y minerales amorfos que corresponden según la identificación megascópica de las arenas a anfíboles, olivinos y piroxenos, también se

identificó menores porcentajes de magnetita, calizas, micas y pirita. En el Complejo Deltaico a la misma altura del estrato de arena, 48 metros, se encuentra en perforación P3 de la Base Naval Norte, una roca volcanoclástica tipo lapilli de la Formación Cayo.

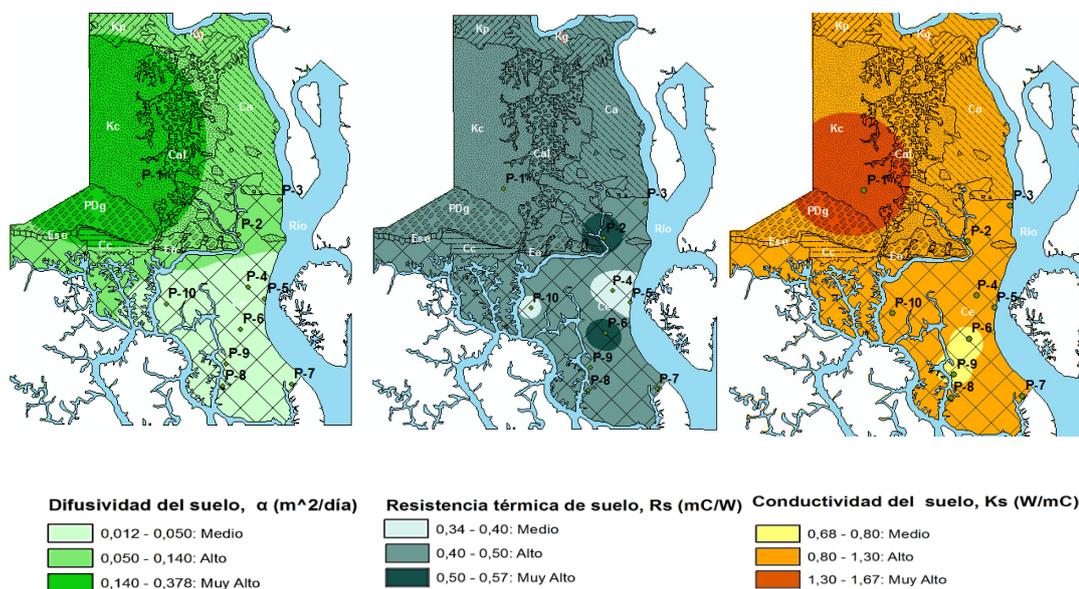
Los siguientes 30 metros los constituyen, dos estratos que corresponden a uno de arcilla que subyace un estrato de arena, estos estratos fueron dibujados con ayuda de las columnas de referencia. Ver el perfil en el Anexo F.



**Figura 6.2.** Perfil estratigráfico.  
Fuente: Datos testigos obtenido de INER.

## 6.2. Mapa Geológico-Térmico de los suelos y rocas de la ciudad de Guayaquil.

Los mapas de conductividad térmica, difusividad térmica y resistividad térmica (ANEXO F) fueron elaborados en el software libre QGis, y se tomó como referencia el mapa Geológico presentado por Benítez (4) que están debajo de las propiedades térmicas en escala de colores. Las propiedades térmicas, están representadas en rangos que se describe a continuación: para la conductividad térmica (W/mC) los rangos son: medio (0.68 a 0.80), alto (0.80 a 1.30), muy alto (1.30 a 1.67). Para la difusividad térmica ( $m^2/día$ ) son: medio (0.012 a 0.050), alto (0.050-0.140), muy alto (0.140 a 0.378); y para la resistividad ( $mC/W$ ): medio (0.34 a 0.40), alto (0.40 a 0.50), muy alto (0.50 a 0.57). Ver Figura 6.3.



**Figura 6.3.** Mapas Geológicos con las diferentes propiedades térmicas.  
Fuente: Datos obtenidos de INER.

Analizando los mapas encontramos que, la conductividad en la Formación Cayo compuesta de brechas, lapilli y tobas volcánicas se encuentra en un rango muy alto. Los suelos deltaico-estuarino se encuentran en un rango alto, exceptuando P6 que está en un rango medio y P9 es inferido. La resistividad en la Formación Cayo es de un rango alto, al igual que el complejo deltaico-estuarino, con excepciones en P2 y P6 por presentar valores muy altos; y P4, P5 y P10 por valores medios. En la difusividad se observa rangos muy altos en la Fm. Cayo (P1); y en el complejo deltaico-estuarino los puntos P2 y P3 están en un rango alto y los restantes puntos son de un rango medio.

Con la interpretación de los mapas de las diferentes propiedades térmicas (conductividad, difusividad y resistividad) de los suelos y rocas de Guayaquil, sabemos que las propiedades térmicas son las mejores para P1, debido a su contenido rocoso. En el Complejo Deltaico-Estuarino la conductividad y resistividad es mejor en la zona de Astinave y manteniéndose en rango constante y bueno en Centro Cívico, Policía Militar, Esclusas, Base Naval Sur y Base Naval Norte. Además para la difusividad se puede observar que en el norte es más alta y en el centro-sur es un poco menor con respecto a los demás datos de las otras perforaciones.

Finalmente, se tiene que la zona térmica idónea para el uso del sistema de sumidero de calor, son los medios rocosos como P1, pero debido al coste elevado de las perforaciones, es preferible instalarlos en suelo. En los suelos, las mejores zonas en las que se recomienda instalar estos sistemas son los sectores cercanos a Base Naval Norte, seguidos de Astinave, Base Naval Sur, Policía Militar, Esclusas y Centro Cívico. Es decir, en general el Complejo Deltaico-Estuarino es una zona que tiene un gran potencial para instalar sistemas de climatización.

### **Descripción de eventos geológicos en la zona de estudio**

Se propone una secuencia de cómo fueron formándose los estratos del depósito Deltaico-Estuarino, que es el cuerpo geológico con más exploraciones en este estudio y el de óptimas condiciones térmicas para instalación de sistemas de intercambio de calor con el suelo, además de ser favorable en costos de perforación. El análisis se realiza a partir de la depositación de las arenas grises, que corresponde a depósitos aluviales cuya mineralogía es de sedimentos volcánicos. Este estrato se ubicaría en la época del Pleistoceno del periodo geológico Cuaternario. Con el transcurso del tiempo ocurre una transgresión-regresión que trae consigo materiales limosos con arcillas y materia orgánica depositados en un ambiente Deltaico-Estuarino. La edad de los limos se calcula aproximadamente de 8.000 a 18.000 años en la época del Holoceno del Cuaternario. Los limos, arcillas cristalinas y no cristalinas serían provenientes de cenizas volcánicas que en contacto con el

agua de mar, se produce una reacción llamada hidrolisis que forma aluminosilicatos hidratados. Este proceso se representa en la siguiente ecuación:  $Al+Si+H_2O$  (cenizas + agua)  $\rightarrow$  Sm (esmectita)  $\rightarrow$  Sm-I (esmectita/Illita)  $\rightarrow$  I-Sm (Illita/esmectita)  $\rightarrow$  I (Illita).

En la perforación P3 de la Base Naval Norte se encontró a los 48 metros de profundidad una roca volcanoclástica (lapilli). Este material rocoso indicaría la presencia de un levantamiento (Chongón Colonche) producido por fallas geológicas que elevaron la roca, sin exponerla a la superficie. Esta roca es correlacionable con la Fm. Cayo de P1, por presentar la misma lito-estratigrafía y mineralización.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

A continuación se presentan las conclusiones:

- 1) En el estudio del contenido granulométrico y mineralógico del Complejo Deltaico-Estuarino, se reconoce el predominio de arena mal graduada limosa (SP-SM), y limo de baja plasticidad (ML); poca presencia de arcillas y limos de alta plasticidad (CH, MH); y lignito. Los estratos predominantes están compuestos por Plagioclasa tipo Anortita y Cuarzo, con un porcentaje menor al 50% de amorfos que se asignan a arcillas. Los estratos de CH y MH están constituidos por Anortita, Cuarzo, Nontronita, mica-esmectita tipo Illita-Montmorillonita, mica tipo Vermiculita, zeolita tipo Laumontita, y finalmente lignito. Además tienen porcentajes mayor al 50% de minerales amorfos asignados a arcillas.

- 2) En las rocas pertenecientes a Formación Cayo se encontraron Anortita, Nontronita y zeolitas tipo Heulandita y Laumontita-Leonhardita. En las perforaciones se reconoce que los primeros 45 metros de profundidad contienen zeolitas y hacia abajo disminuye este porcentaje para aumentar la cantidad de minerales amorfos.
- 3) Debido al similar contenido granulométrico, litológico y mineralógico que tiene la perforación P3 con el Complejo Deltaico-Estuarino y al no presentar diferencia que se le puedan atribuir a la llanura Aluvial, se propone incluir a esta perforación en el Complejo Deltaico-Estuarino, modificando el mapa geológico.
- 4) Mediante el estudio litológico-mineralógico se elabora un perfil estratigráfico del depósito Deltaico-Estuarino donde se reconocen dos estratos: uno de limo con intercalaciones de arcilla y lignito que tiene 20 a 25 metros de profundidad; y otro de arena con nódulos de arcilla y limo con aproximadamente 30 metros de profundidad.
- 5) Se propone una secuencia de cómo fueron formándose los estratos del depósito Deltaico-Estuarino. El análisis se realiza a partir de la depositación de las arenas grises, que corresponde a depósitos aluviales cuya mineralogía es de sedimentos volcánicos. Este estrato se ubicaría en la época del Pleistoceno del periodo geológico Cuaternario. Con el transcurso

del tiempo ocurre una transgresión-regresión que trae consigo materiales limosos con arcillas y materia orgánica depositados en el ambiente Deltaico-Estuarino. La edad de los limos se calcula aproximadamente de 8.000 a 18.000 años en la época del Holoceno del Cuaternario.

- 6) Los limos, arcillas cristalinas y no cristalinas del Depósito Deltaico-Estuarino serían provenientes de cenizas volcánicas que en contacto con el agua de mar, se produce una reacción llamada hidrólisis que forma aluminosilicatos hidratados. Este proceso se representa en la siguiente ecuación:  $Al+Si+H_2O$  (cenizas + agua)  $\rightarrow$  Sm (esmectita)  $\rightarrow$  Sm-I (esmectita/Illita)  $\rightarrow$  I-Sm (Illita/esmectita)  $\rightarrow$  I (Illita).
- 7) En la perforación de la Base Naval Norte se encontró una roca volcanoclástica (lapilli), este material rocoso indicaría la presencia de un levantamiento (Chongón Colonche) producido por fallas geológicas que elevaron la roca, sin exponerla a la superficie. Esta roca es correlacionable con la Fm. Cayo encontrada la perforación de la Espol, por presentar la misma lito-estratigrafía y mineralización.
- 8) Las rocas de la Fm Cayo presenta valores térmicos ideales para instalar sistemas de climatización, pero los costos de perforación en roca son mayores que en suelos, por lo que es conveniente instalar sistemas de intercambio de calor en los suelos Deltaico-Estuarinos de Guayaquil.

- 9) El Complejo Deltaico-Estuarino tiene estratos con conductividad y resistividad conveniente para sistemas de climatización, la zona ideal son los estratos de la perforación P5 ubicados en Astinave, por mantener conductividad muy alta y resistividad baja debido a ascensos del nivel del mar. Este sector está en una zona industrial, quienes serían los principales usuarios beneficiados con la instalación de este sistema de climatización.
- 10) En cuanto a difusividad, se reconoce que los suelos del sector Nor-Este de los depósitos Deltaico-Estuarinos tienen un alta tasa de intercambio de calor, siendo propicio para el funcionamiento del sistema de intercambio de calor; la zona ideal serían los estratos de la perforación de la Base Naval Norte.

A continuación se presentan las recomendaciones:

- 1) Continuar realizando más estudios mediante perforaciones con instalaciones de tuberías para realizar Test de respuesta térmica (TRT), en la zona sur de Guayaquil, y tener más información del comportamiento térmico de los suelos. De manera especial en el sector de P6, para descartar o reconocer la razón por la que presenta valores menores de conductividad a las demás zonas estudiadas.

- 2) Realizar exploraciones verticales en la llanura aluvial, ubicada al NE de la ciudad, para reconocer las propiedades térmicas y establecer lugares convenientes para instalar sistemas de climatización en estos suelos, cuyos costos de perforación serán más económicos que en rocas.
  
- 3) Realizar estudios de carbono 14 a los restos más conservados de la materia orgánica presente en los depósitos Deltaico-Estuarinos, y poder estimar su edad geológica.

# **ANEXOS**

**ANEXO A. UBICACIÓN.**

**ANEXO B. FOTOS PERFORACIONES Y PRUEBAS TÉRMICAS.**

**ANEXO C. TESTIGOS DE PERFORACIÓN.**

**ANEXO D. FICHAS DE MINERALES.**

**ANEXO E. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS.**

**ANEXO F. MAPA Y PERFIL.**

# BIBLIOGRAFÍA

1. El dictamen del Comité Económico, V. DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición).
2. ASHRAE. Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta : s.n.
3. SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación). Plan nacional para el Buen Vivir, 2009-2013. Quito : s.n., 2009.
4. Benítez, S.; Álvarez, V.; Vera, X.& Mera, W. Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil, ESTUDIO GEOLÓGICO. s.l. : Universidad Católica de Guayaquil, 2005.
5. Mite, M. Mapa Geomorfológico de Guayaquil, escala 1:20000. s.l. : Tesis de grado, ESPOL, Guayaquil.

6. Landes, R.W. Geología de la región sudoccidental del Ecuador. s.l. : Bol. Inst. Sudamer. Petrol., 1944. págs. 191-200.
7. Williams, M. D. Informes geológicos y geofísicos de la Internacional Ecuadorian Petroleum Co. Dir. Min. Petrol. s.l. : Minist. Econ., Inédito, 1947.
8. Ordóñez, M. , Jiménez, N. y Suárez, J. Micropaléontología Ecuatoriana. s.l. : Petroproducción-Centro de Investigaciones Geológicas de Guayaquil, 2006.
9. Thalmann, H. E. Micropaleontology of upper Cretaceous and Paleocene in western Ecuador. s.l. : AAPG Bulletin, 1946. págs. 337-347. Vol. 30(3).
10. Canfield, R.W. Reporte Geológico de la Costa Ecuatoriana. s.l. : Min. de Ind. Com. Quito, 1966.
11. Benítez, S. Estratigrafía de las formaciones Cayo y Guayaquil en la Cordillera Chongón Colonche: hacia una redefinición. s.l. : Geociencia del CIGMP, 1990.
12. Mejía, J. Corte Estratigráfico de la formación Guayaquil de la vía Perimetral de Guayaquil: Propuesta como nueva localidad tipo. s.l. : Tesis Universidad de Guayaquil., 1997.
13. Olsson, A. A. Tertiary deposits of northwestern South America and Panama. s.l. : Department of State, 1942.
14. Mite, M. Estudio geomorfológico de la Fm. Cayo en el Norte de Guayaquil. s.l. : Tesis de Grado. Espol, 1990.

15. Arco, Eugenio Nuñez del. Geología del Ecuador. Guayaquil : s.n., 2003.
16. Goosens, P.J. y Rose, W.I. Chemical composition and age determination of tholeitic rocks in the basic Cretaceous complex, Ecuador. s.l. : Geological Society of America Bulletin, 1973. págs. 1143-1152. Vol. 84.
17. MOP. Documentación para la Asociación de Compañías Consultoras del Ecuador, para la construcción de un puente sobre el río Daule. 2004.
18. Consultora Vera y Asociados. Estudio Vía ducto Av. Machala. s.l. : M.I. Municipalidad de Guayaquil, 2002.
19. Association, Canadian Standards. Design and installation of earth energy systems for commercial and institutional buildings. s.l. : Rexdale, Ont., 2002. CSA standard ; C448.1-02.
20. ASHRAE, H. A. S. H. HVAC Applications Handbook. s.l. : SI Edition, 2011.
21. Kavanaugh, S.P. Field test for ground thermal properties-Methods and impact on GSHP system design. s.l. : ASHRAE Transactions 106(1): DA00-13-4, 2000.
22. Kavanaugh, S.P. . Investigation of methods for determining soil formation thermal characteristics from short term field tests. s.l. : ASHRAE RP1118, Final Report, 2001.
23. Gonzalez de Vallejo, Luis, Ferrer, Mercedes y Ortuño, Luis & Oteo, Carlos. Ingeniería Geológica. Madrid : Prentice Hall, 2002.

24. Young, R. A. The Rietveld Method. s.l. : International Union of Crystallography/Oxford: University Press, 1993. 0-19-855577-6.
25. Ingersoll, L. R. Zobel, O. J., and Ingersoll, AC. Heat Conduction with Engineering and Geological Applications. London : Thames and Hudson, 1948.
26. Mogensen, P. Fluid to duct wall heat transfer in duct system heat storages. s.l. : Proceedings of the International Conference on Subsurface Heat Storage in Theory and Practice, 1983. págs. 652-657.
27. Shonder , JA y Beck, JV. Field test of a new method for determination soil formation thermal conductivity and borehole resistance. s.l. : ASHRAE Transactions 106(1):843-50, 1999.
28. Incropera , FP y Dewitt, DP. Fundamentals of heat and mass transfer. 5ta. edición. NY : John Wiley & Sons Inc, 2002.
29. Claesson, J., & Eskilson, P. Conductive heat extraction to a deep borehole: Thermal analyses and dimensioning rules. s.l. : Energy, 13(6), 1988. págs. 509-527.
30. Kavanaugh, S.P y Rafferty, K. . Ground-source heat pumps-Design of geothermal systems for commercial and institutional buildings. s.l. : ASHRAE, 1997.

31. Remund, C. y N., Paul. Grouting for vertical geothermal heat pump systems: Engineering design and field procedures manual. s.l. : International Ground Source Heat Pump Association, Stillwater, 2000.
32. Yoon, S., Lee, S y -R. & Go, G. -H. A numerical and experimental approach to the estimation of borehole thermal resistance in ground heat exchangers. s.l. : Energy, 2014.
33. Witte, H. J. Error analysis of thermal response tests. s.l. : Applied Energy, 2013. págs. 302-311. Vol. 109.
34. Smith, J. A. Informes geológicos y geofísicos de la Int. Ecuad. Pet. Co. Dir. Min Petrol. s.l. : Ministerio de Energía y Minas. Inéditos, 1946-1947.
35. Ruan, C. D., & Ward, C. R. Quantitative X-ray powder diffraction analysis of clay minerals in Australian coals using Rietveld methods. s.l. : Applied Clay Science, 2002. págs. 227-240. Vol. 21 (5).
36. Roth, P., Georgiev, A., Busso, A., & Barraza, E. First in situ determination of ground and borehole thermal properties in Latin America. s.l. : Renewable Energy, 2004. págs. 1947-1963. Vol. 29.
37. Oladunjoye, M. A., & Sanuade, O. A. In situ determination of thermal resistivity of soil: case study of Olorunsogo power plant, southwestern Nigeria. s.l. : International Scholarly Research Notices, 2012. Vol. 2012.

38. Ogg, J. International stratigraphic chart. s.l. : International Commission on Stratigraphy, 2002.
39. Martin, C. A., & Kavanaugh, S. P. Commercial Ground-Source Heat Pump System Challenges-Ground Thermal Conductivity Testing--Controlled Site Analysis. s.l. : ASHRAE Transactions-American Society of Heating Refrigerating Airconditioning Engin, 2002. págs. 945-952. Vol. 108 (1).
40. Marksteiner, R. y Alemán, A. Coastal Ecuador Technical Evaluation Agreement. s.l. : AMOCO Prod. Co y PETROECUADOR, Informe Interno, 1991. pág. 218. Vol. 1.
41. Lim, K., Lee, S., & Lee, C. An experimental study on the thermal performance of ground heat exchanger. s.l. : Experimental Thermal and Fluid Science, 2007. págs. 985-990. Vol. 31 (8).
42. Kahle, M., Kleber, M., & Jahn, R. Review of XRD-based quantitative analyses of clay minerals in soils: the suitability of mineral intensity factors. s.l. : Geoderma, 2002. págs. 191-205. Vol. 109 (3).
43. Gehlin, S. & Hellström, G. Influence on thermal response test by groundwater flow in vertical fractures in hard rock. s.l. : Renewable Energy, 2003. págs. 2221-2238.
44. Gehlin, S. E., & Nordell, B. Determining undisturbed ground temperature for thermal response test. s.l. : TRANSACTIONS-AMERICAN SOCIETY OF

HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2003.  
págs. 151-156. Vol. 109(1).

45. Esen, H., & Inalli, M. In-situ thermal response test for ground source heat pump system in Elazığ, Turkey. s.l. : Energy and Buildings, 2009. págs. 395-401. Vol. 41 (4).

46. Bovesecchi, G y Coppa, P. Basic problems in thermal-conductivity measurments of soils. s.l. : International Journal of Thermophysics, 2013. págs. 1962-1974. Vol. 34.

47. Boukili Hacene, M. A. y Amara, S. & Chabane Sari, N.E. Analysis of the first thermal response test in Algeria. s.l. : Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2012. págs. 1363-1369. Vol. 107.

48. Benítez, S. . Contribución al estudio de cuencas sedimentarias del Suroeste Ecuatoriano. s.l. : III Congreso Ecuatoriano de Ingenieros Geólogos de Minas y Petróleos., 1983. págs. 2-37. Vol. I.A.

49. Banjac, M, Todorovic, M. y Ristanovic, M. & Galic, R. Experimental determination of thermal conductivity of soil with a thermal response test. s.l. : Thermal Science, 2012. págs. 1117-1126. Vol. 16.

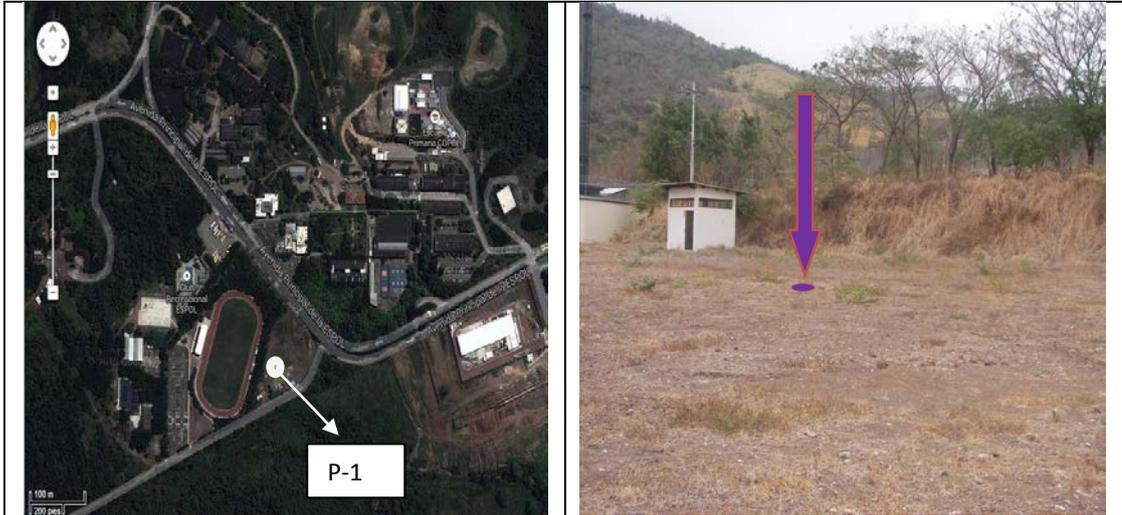
50. ASHRAE, ANSI. Standard 55-2010: Thermal Environment Conditions for Human Occupancy. Atlanta, GA, American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers. 2004.

51. (INAMHI), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Boletín climatológico 2013. 2014.
52. Barry-Macaulay, D.; Bouazza, A.; Singh, R.; Wang, B. & Ranjith, P. Thermal conductivity of soils and rocks from the Melbourne (Australia) region. s.l. : Engineering Geology, 2013. págs. 131-138. Vol. 164.
53. Mostafa, H.; Sgarqawym, S.; Said, E.; Mohheimer, M. & Habid, H. First in situ determination of the ground thermal conductivity for borehole heat exchanger applications in Saudi Arabia. s.l. : Renewable Energy, 2009. págs. 2218-2223.
54. Bristow, C. R y Hoffstetter, R. Lexique Stratigraphique International. s.l. : Centre National de la Recherche Scientifique. Ecuador (Second Edition), 1977. Vols. 5. Amérique Latine, fasc. 5 a 2.
55. Nuñez del Arco, Eugenio. Geología del Ecuador. Guayaquil : s.n., 2003.
56. UNE 103 101. Análisis granulométrico de suelos por tamizado. s.l. : Norma Española, 1995.
57. UNE 103103. Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande. s.l. : Norma Española, 1994.
58. UNE 103104. Determinación del límite plástico de un suelo. s.l. : Norma Española, 1993.

59. UNE 103300. Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa. s.l. : Norma Española, 1993.

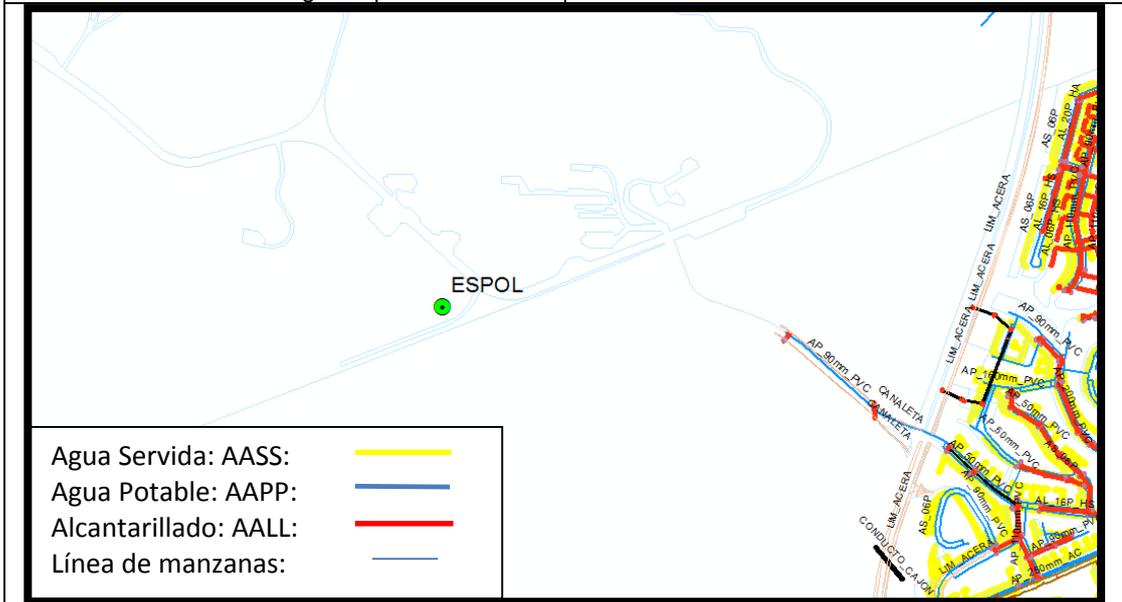
# **ANEXO A**

# ANEXO A. UBICACIÓN. PERFORACIÓN 1



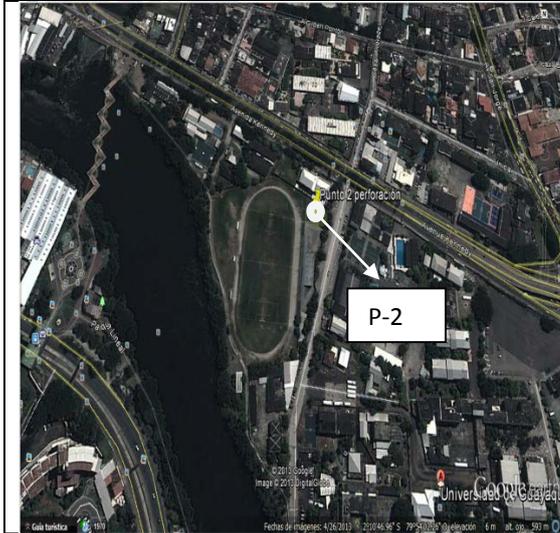
Ubicación de la perforación en la Espol.  
**Fuente:** Google Maps.

Vista Panorámica de la Perforación 1.  
**Fuente:** INER.



Planos de Redes Subterráneas para la Perforación 1.  
**Fuente:** Información Autocad Interagua 2012. Mapa INER.

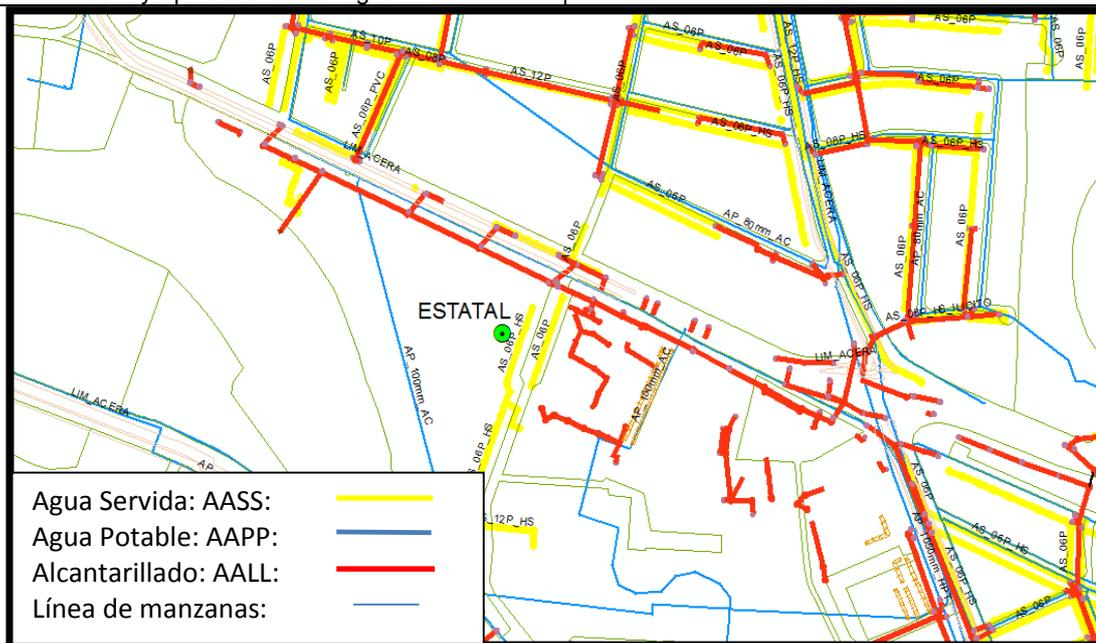
## PERFORACIÓN 2



Ubicación del sondeo en la Universidad de Guayaquil. **Fuente:** Google Earth.



Vista Panorámica de la Perforación 2. **Fuente:** INER.



Planos de Redes Subterráneas para la Perforación 2. **Fuente:** Información Autocad Interagua 2012. Mapa INER.

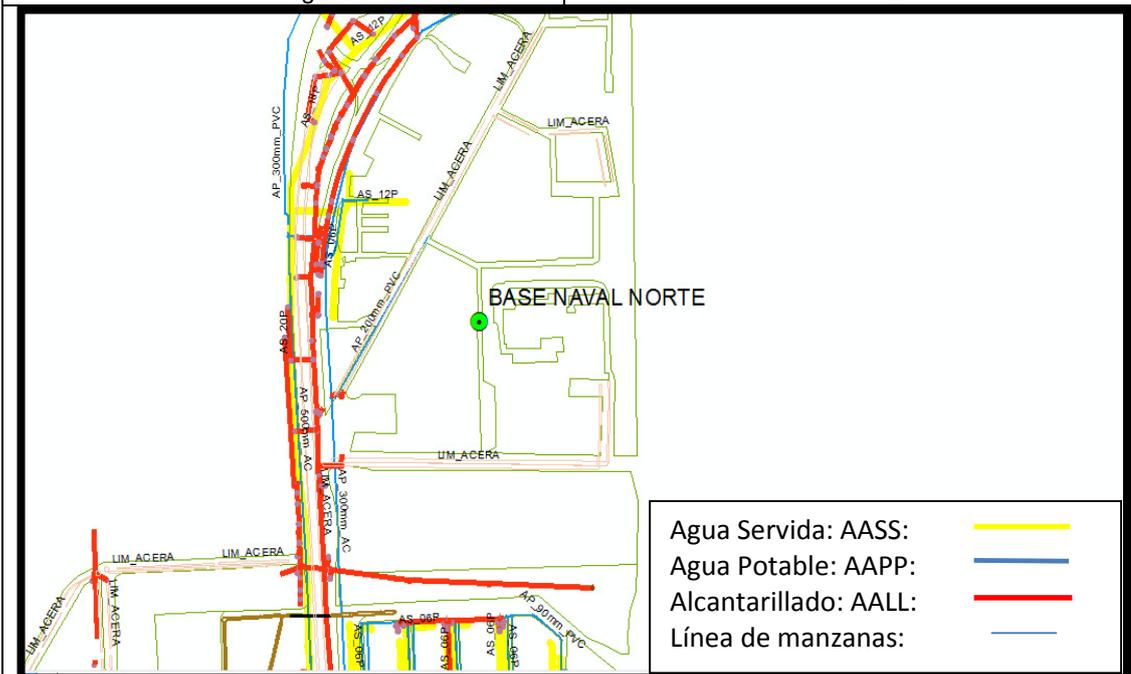
# PERFORACIÓN 3



Ubicación del Sondeo en la Base Naval Norte.  
Fuente: Google Earth.



Vista Panorámica de la Perforación 3.  
Fuente: INER.



Planos de Redes Subterráneas para la Perforación 3.  
Fuente: Información Autocad Interagua 2012. Mapa INER.

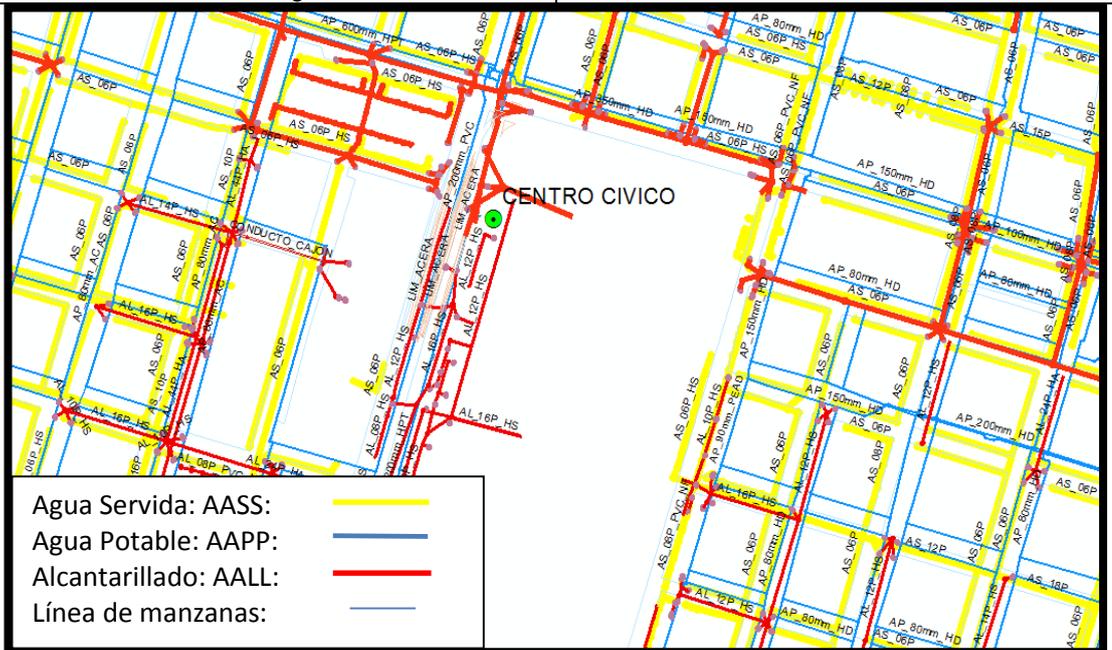
# PERFORACIÓN 4



Ubicación del Sondeo en el Parque Forestal.  
Fuente: Google Earth.



Vista Panorámica de la Perforación 4.  
Fuente: INER.



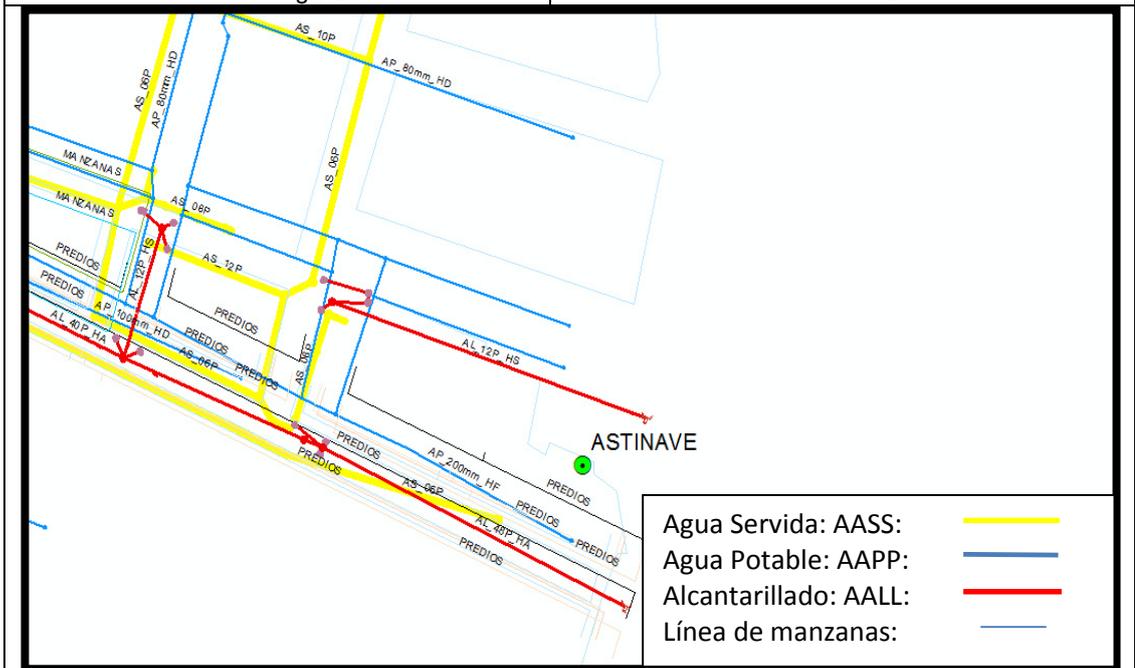
Planos de Redes Subterráneas para la Perforación 4.  
Fuente: Información Autocad Interagua 2012. Mapa INER

# PERFORACIÓN 5



Ubicación de la perforación en Astinave.  
Fuente: Google Earth.

Vista Panorámica de la Perforación 5.  
Fuente: INER.



.Planos de Redes Subterráneas para la Perforación 5.  
Fuente: Información Autocad Interagua 2012. Mapa INER.

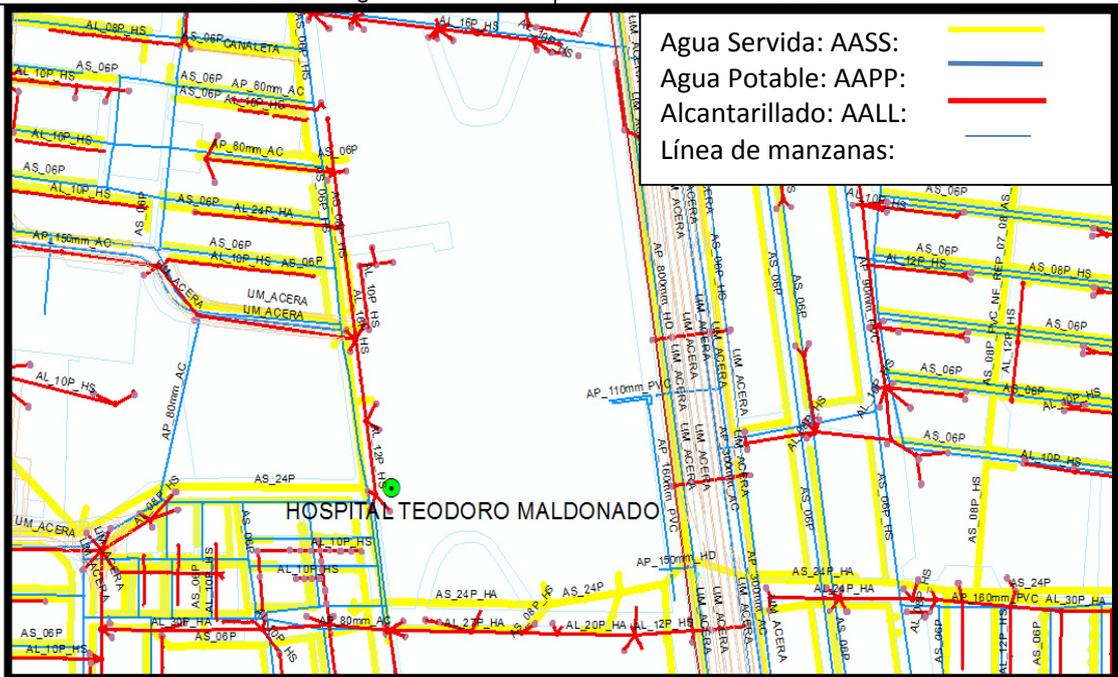
# PERFORACIÓN 6



Ubicación del Sondeo en el Hospital Teodoro Maldonado. **Fuente:** Google Earth.



Vista Panorámica de la Perforación 6. **Fuente:** INER.



Planos de Redes Subterráneas para la Perforación 6. **Fuente:** Información Autocad Interagua 2012. Mapa INER.

# PERFORACIÓN 7



Ubicación de la perforación en la Autoridad Portuaria "Esclusa Estero – Guayas"  
Fuente: Google Earth



Vista Panorámica de la Perforación 7.  
Fuente: INER.



Planos de Redes Subterráneas para la Perforación 7.  
Fuente: Información Autocad Interagua 2012. Mapa INER.

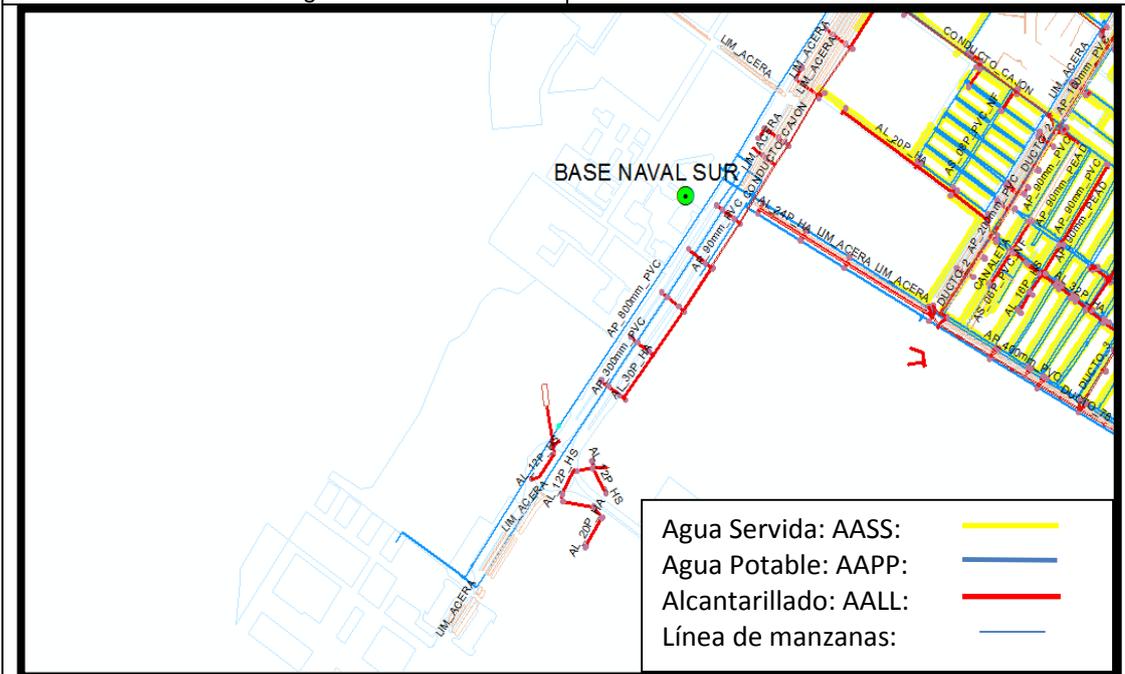
# PERFORACIÓN 8



Ubicación de la perforación en la Base Naval Sur.  
Fuente: Google Earth.



Vista Panorámica de la Perforación 8.  
Fuente: INER.



Planos de Redes Subterráneas para la Perforación 8.  
Fuente: Información Autocad Interagua 2012. Mapa INER.

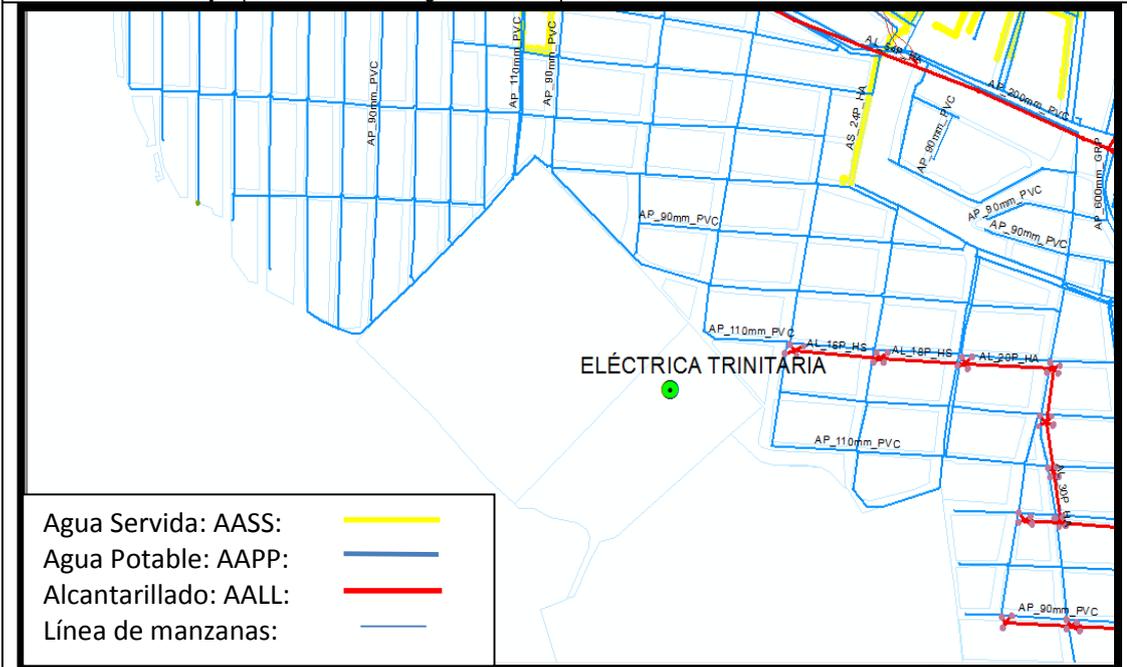
# PERFORACIÓN 9



Ubicación de la perforación en la Central Térmica la Trinitaria Guayaquil. **Fuente:** Google Earth.



Vista Panorámica de la Perforación 9. **Fuente:** INER.



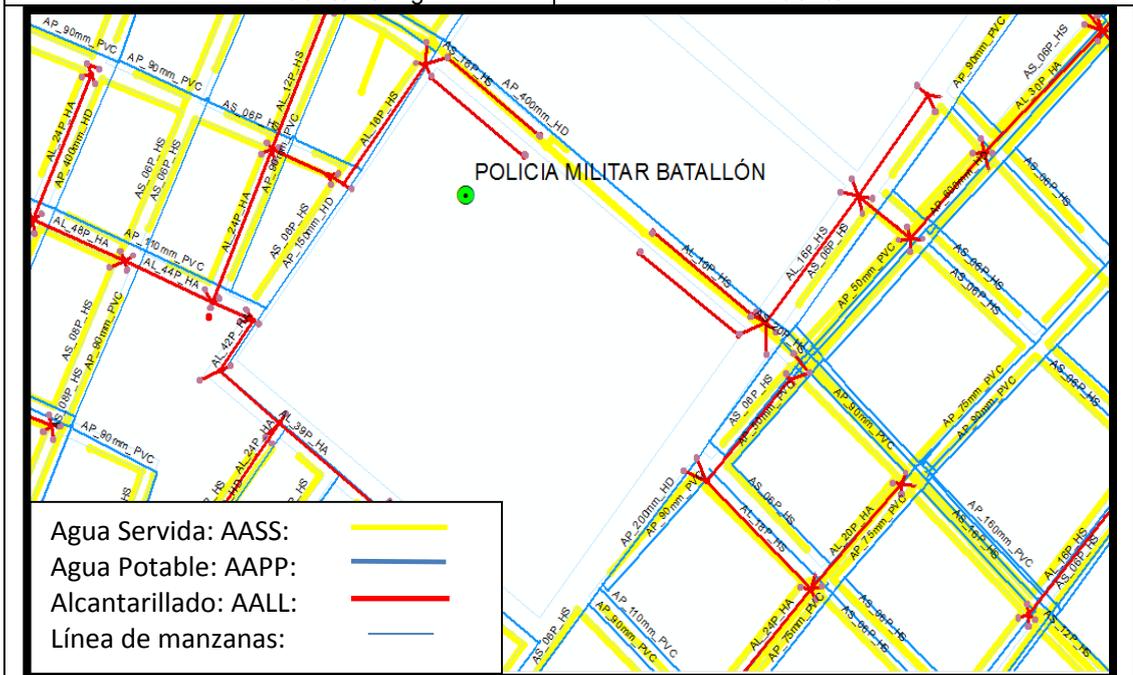
Planos de Redes Subterráneas para la Perforación 9. **Fuente:** Información Autocad Interagua 2012. Mapa INER.

# PERFORACIÓN 10



Ubicación de la perforación en la Compañía Militar del Suburbio. Fuente: Google Earth

Vista Panorámica de la Perforación 10. Fuente: INER.



Planos de Redes Subterráneas para la Perforación 10. Fuente: Información Autocad Interagua 2012. Mapa INER.

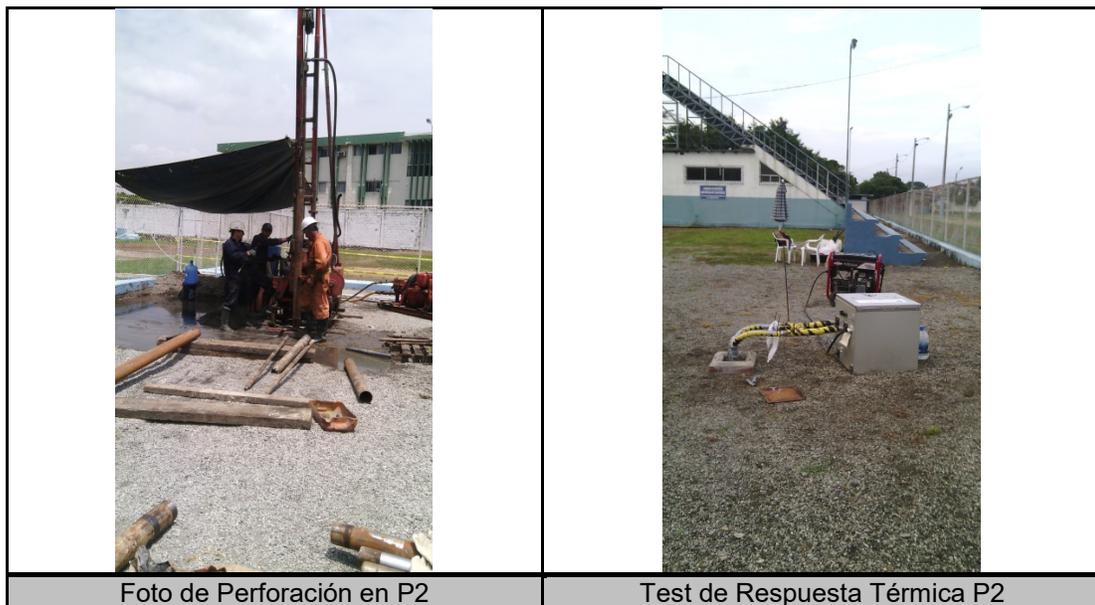
# **ANEXO B**

## ANEXO B. FOTOS DE PERFORACIONES Y PRUEBAS TÉRMICAS.

### P1. ESPOL



### P2. UNIVERSIDAD ESTATAL DE GUAYAQUIL



### P3. BASE NAVAL NORTE.



Foto de Perforación en P3



Test de Respuesta Térmica P3

### P4. CENTRO CÍVICO.



Foto de Perforación en P4



Test de Respuesta Térmica P4

## P5. ASTINAVE.



Foto de Perforación en P5



Test de Respuesta Térmica P5

## P6. HOSPITAL TEODORO MALDONADO.



Foto de Perforación en P6



Test de Respuesta Térmica P6

## P7. ESCLUSAS.



Foto de Perforación en P7



Test de Respuesta Térmica P7

## P8. BASE NAVAL SUR.



Foto de Perforación en P8



Test de Respuesta Térmica P8

## P9. CENTRAL ELÉCTRICA TRINITARIA.



Foto de Perforación en P9



Test de Respuesta Térmica P9

## P10. POLICÍA MILITAR DEL SUBURBIO.



Foto de Perforación en P10



Test de Respuesta Térmica P10

# **ANEXO C**

# ANEXO C. TESTIGOS DE PERFORACIÓN.

## P1 ESPOL.



P1 Cota: (0-4) m



P1 Cota: (4-7.2) m



P1 Cota: (7.2-10) m



P1 Cota: (10-13.2) m



P1 Cota: (13.2-16) m



P1 Cota: (16-19.2) m



P1 Cota: (19.2-22.2) m



P1 Cota: (22.2-25.2) m



P1 Cota: (25.2-27.24) m



P1 Cota: (27.2-29.5) m



P1 Cota: (29.5-31.7) m



P1 Cota: (31.7-34.7) m



P1 Cota: (34.7-37.5) m



P1 Cota: (37.5-40.4) m



P1 Cota: (40.4-43.4) m



P1 Cota: (43.4-45.9) m



P1 Cota: (45.9-48.1) m



P1 Cota: (48.1-51.1) m



P1 Cota: (51.1-54) m



P1 Cota: (54-57) m



P1 Cota: (57-60) m

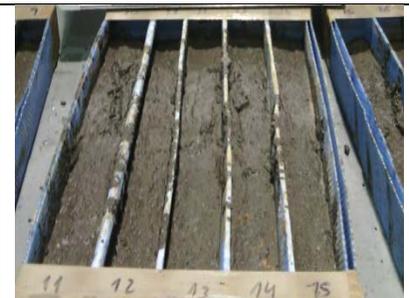
### P2 ESTATAL.



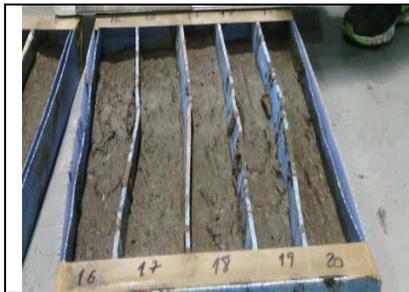
P2 Cota: (0-5) m



P2 Cota: (5-10) m



P2 Cota: (10-15) m



P2 Cota: (15-20) m



P2 Cota: (20-25) m



P2 Cota: (25-30) m



P2 Cota: (0-4) m



P2 Cota: (0-4) m



P2 Cota: (0-4) m



P2 Cota: (30-35) m



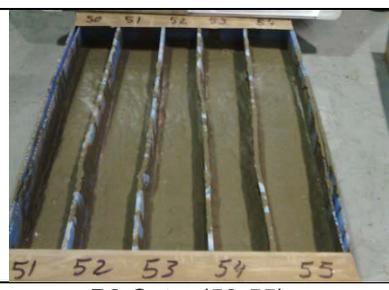
P2 Cota: (35-40) m



P2 Cota: (40-45) m



P2 Cota: (45-50) m



P2 Cota: (50-55) m



P2 Cota: (55-60) m

### P3- BASE NAVAL NORTE



P3 Cota: (0-5) m



P3 Cota: (5-10) m



P3 Cota: (10-15) m



P3 Cota: (15-20) m



P3 Cota: (20-25) m



P3 Cota: (25-30) m



P3 Cota: (30-35) m



P3 Cota: (35-40) m



P3 Cota: (40-45) m



P3 Cota: (45-50) m



P3 Cota: (50-55) m



P3 Cota: (55-60) m

## P4 CENTRO CÍVICO



P4 Cota: (0-5) m



P4 Cota: (5-10) m



P4 Cota: (10-15) m



P4 Cota: (15-20) m



P4 Cota: (20-25) m



P4 Cota: (25-30) m



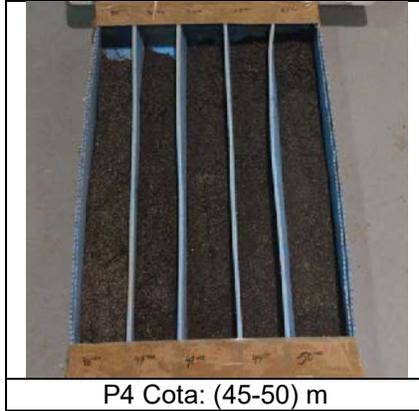
P4 Cota: (30-35) m



P4 Cota: (35-40) m



P4 Cota: (40-45) m



P4 Cota: (45-50) m

### P5 ASTINAVE



P5 Cota: (0-5) m



P5 Cota: (5-10) m



P5 Cota: (10-15) m



P5 Cota: (15-20) m



P5 Cota: (20-25) m



P5 Cota: (25-30) m



P5 Cota: (30-35) m



P5 Cota: (35-40) m



P5 Cota: (40-45) m



P5 Cota: (45-50) m

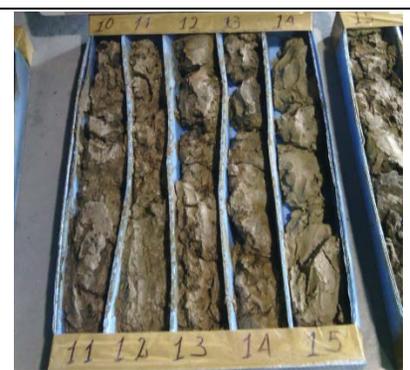
### P6 HOSPITAL TEODORO MALDONADO



P6 Cota: (0-5) m



P6 Cota: (5-10) m



P6 Cota: (10-15) m



P6 Cota: (15-20) m



P6 Cota: (20-25) m



P6 Cota: (25-30) m



P6 Cota: (30-35) m



P6 Cota: (35-40) m



P6 Cota: (40-45) m



P6 Cota: (45-50) m



P6 Cota: (50-55) m



P6 Cota: (55-60) m

## P7 ESCLUSA



P7 Cota: (0-5) m



P7 Cota: (5-10) m



P7 Cota: (10-15) m



P7 Cota: (15-20) m



P7 Cota: (20-25) m



P7 Cota: (25-30) m



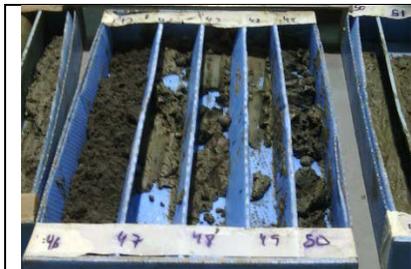
P7 Cota: (30-35) m



P7 Cota: (35-40) m



P7 Cota: (40-45) m



P7 Cota: (45-50) m



P7 Cota: (50-55) m



P7 Cota: (55-60) m

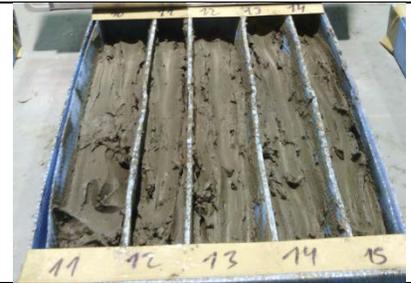
## P8 BASE NAVAL SUR



P8 Cota: (0-5) m



P8 Cota: (5-10) m



P8 Cota: (10-15) m



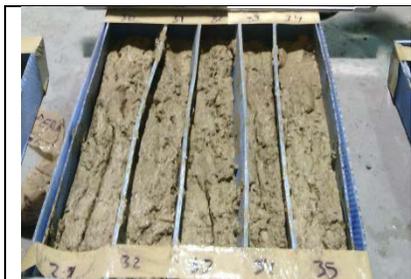
P8 Cota: (15-20) m



P8 Cota: (20-25) m



P8 Cota: (25-30) m



P8 Cota: (30-35) m



P8 Cota: (35-40) m



P8 Cota: (40-45) m



P8 Cota: (45-50) m



P8 Cota: (50-55) m



P8 Cota: (55-60) m

## P9 CENTRAL ELÉCTRICA TRINITARIA



P9 Cota: (0-5) m



P9 Cota: (5-10) m



P9 Cota: (10-15) m



P9 Cota: (15-20) m



P9 Cota: (20-25) m



P9 Cota: (25-30) m



P9 Cota: (30-35) m



P9 Cota: (35-40) m



P9 Cota: (40-45) m



P9 Cota: (45-50) m

## P10 POLICÍA MILITAR



P10 Cota: (0-5) m



P10 Cota: (5-10) m



P10 Cota: (10-15) m



P10 Cota: (15-20) m



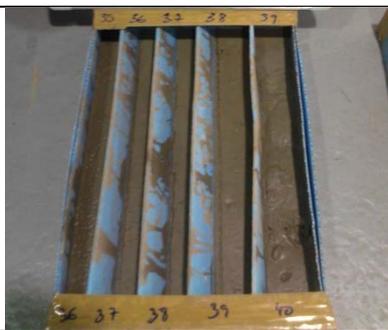
P10 Cota: (20-25) m



P10 Cota: (25-30) m



P10 Cota: (30-35) m



P10 Cota: (35-40) m



P10 Cota: (40-45) m



P10 Cota: (45-50) m



P10 Cota: (50-55) m



P10 Cota: (55-60) m



# **ANEXO D**

# ANEXO D. FICHAS DE MINERALES.

Name and formula		Peak List													
		No.	h	k	l	d [Å]	ZTheta[deg]	I [%]	No.	h	k	l	d [Å]	ZTheta[deg]	I [%]
Reference code:	00-034-0166	1	0	0	2	14,344	6,157	100	52	2	2	9	1,7774	51,365	2
Mineral name:	Vermiculite-2M	2	0	0	6	4,778	18,555	9	53	-2	4	3	1,7409	52,523	2
PDF index name:	Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide Hydrat	3	0	2	0	4,627	19,166	11	54	1	5	1	1,7402	52,546	2
Empirical formula:	H10Mg3O16Si4	4	-1	1	1	4,625	19,175	1	55	-1	5	3	1,7318	52,821	2
Chemical formula:	( Mg , Al )3 ( Si , Al )4O10 ( OH )2 ·4H2O	5	1	1	0	4,604	19,263	15	56	2	4	3	1,6915	54,181	2
Crystallographic parameters		6	0	2	1	4,568	19,416	24	57	-1	3	14	1,6754	54,745	15
Crystal system:	Monoclinic	7	-1	1	2	4,528	19,59	5	58	2	0	12	1,6753	54,748	7
Space group:	C2/c	8	1	1	1	4,471	19,842	35	59	-3	1	7	1,6747	54,769	2
Space group number:	15	9	-1	1	3	4,334	20,476	22	60	-2	0	16	1,5784	58,422	3
a (Å):	5,349	10	1	1	2	4,253	20,87	2	61	1	3	14	1,5775	58,458	5
b (Å):	9,255	11	0	2	3	4,165	21,316	3	62	-2	2	15	1,5549	59,392	2
c (Å):	28,89	12	-1	1	4	4,078	21,776	3	63	-3	3	2	1,5437	59,867	20
Alpha (°):	90	13	1	1	3	3,984	22,297	2	64	0	6	0	1,5425	59,919	9
Beta (°):	97,12	14	0	2	4	3,888	22,854	2	65	-3	3	4	1,5349	60,246	5
Gamma (°):	90	15	-1	1	5	3,795	23,422	14	66	3	3	0	1,5348	60,25	5
Calculated density (g/cm³):	2,12	16	0	2	5	3,601	24,704	21	67	0	6	2	1,5337	60,298	5
Measured density (g/cm³):	2,19	17	0	0	8	3,583	24,83	29	68	-1	3	16	1,5321	60,367	7
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	1419,17	18	1	1	5	3,415	26,072	14	69	2	0	14	1,532	60,372	3
Z:	4	19	0	2	6	3,324	26,799	4	70	-2	0	18	1,447	64,328	5
RIR:	-	20	-1	1	7	3,238	27,525	3	71	1	3	16	1,4462	64,368	10
Status, subfiles and quality		21	1	1	6	3,151	28,3	5	72	0	0	20	1,4334	65,013	2
Status:	Marked as deleted by ICDD	22	-1	1	8	2,988	29,879	4	73	-3	3	12	1,3594	69,033	3
Subfiles:	Inorganic	23	1	1	7	2,909	30,71	4	74	3	3	8	1,359	69,057	3
Quality:	Calculated (C)	24	0	0	10	2,867	31,171	35	75	0	6	10	1,3583	69,097	3
Comments		25	0	2	8	2,833	31,555	2	76	2	6	0	1,3336	70,565	2
Deleted by:	Deleted by 16-613, confirms experimental; Bayliss 6/92.	26	-1	1	9	2,762	32,388	6	77	-2	0	20	1,3321	70,656	5
General comments:	Dx for the formula ( Mg2.83Fe0.01Al0.15 )	27	2	0	0	2,654	33,745	6	78	1	3	18	1,3314	70,699	10
Sample source:	( Si2.86Al1.14 ) O10 ( OH )2 [ Mg0.41 ( H2O )3.72 ] . Specimen from Llano, Texas, USA.	28	-1	3	2	2,652	33,771	12	79	-2	6	4	1,326	71,031	2
References		29	0	2	9	2,624	34,142	4	80	-4	0	6	1,3215	71,309	4
Primary reference:	University Park, Pennsylvania, USA., ICDD Grant-in-Aid,	30	-2	0	4	2,596	34,522	15	81	2	6	2	1,3203	71,384	8
Unit cell:	Shirozu, H., Bailey., Am. Mineral., 51, 1124, (1966)	31	1	3	2	2,593	34,563	28	82	-4	0	8	1,2978	72,818	2
		32	2	0	2	2,554	35,108	14	83	2	6	4	1,2967	72,889	4
		33	-1	3	4	2,552	35,137	27	84	-2	6	8	1,2761	74,262	3
		34	2	0	4	2,394	37,539	26	85	2	6	10	1,1814	81,389	2
		35	-1	3	6	2,393	37,555	55	86	-4	0	16	1,1358	85,406	2
		36	0	0	12	2,389	37,621	3	87	2	6	12	1,1348	85,5	4
		37	-2	0	8	2,272	39,637	2	88	-2	6	16	1,1032	88,572	2
		38	1	3	6	2,27	39,673	3	89	-2	6	18	1,0553	93,762	2
		39	2	0	6	2,207	40,855	2	90	-3	3	22	1,0506	94,311	2
		40	-1	3	8	2,206	40,875	5	91	3	3	18	1,0502	94,358	2
		41	1	1	11	2,17	41,584	2	92	0	6	20	1,05	94,381	2
		42	-2	2	7	2,106	42,909	2	93	-2	6	20	1,0082	99,642	2
		43	-2	0	10	2,08	43,473	5	94	5	3	0	1,0038	100,239	2
		44	1	3	8	2,079	43,495	11	95	-4	6	6	1,0035	100,28	2
		45	2	2	5	2,061	43,894	2	96	-1	9	4	1,003	100,349	2
		46	0	0	14	2,048	44,187	3	97	-3	3	24	0,9959	101,333	2
		47	2	0	8	2,017	44,903	6	98	3	3	20	0,9955	101,389	2
		48	-1	3	10	2,016	44,927	11	99	0	6	22	0,9954	101,404	2
		49	0	4	7	2,014	44,974	2	100	5	3	2	0,9933	101,7	2
		50	-1	3	12	1,8373	49,575	5	101	-4	6	8	0,9931	101,728	2
		51	-2	2	11	1,8255	49,918	2	102	-1	9	6	0,9925	101,814	2

Name and formula		Peak list						
		No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
Reference code:	00-005-0490	1	1	0	0	4,26	20,84	35,0
Mineral name:	Quartz, low	2	1	0	1	3,34	26,64	100,0
PDF index name:	Silicon Oxide	3	1	1	0	2,46	36,53	12,0
		4	1	0	2	2,28	39,46	12,0
Empirical formula:	O2Si	5	1	1	1	2,24	40,28	6,0
Chemical formula:	SiO2	6	2	0	0	2,13	42,44	9,0
		7	2	0	1	1,98	45,79	6,0
<b>Crystallographic parameters</b>		8	1	1	2	1,82	50,17	17,0
Crystal system:	Hexagonal	9	0	0	3	1,80	50,64	1,0
Space group:	P3121	10	2	0	2	1,67	54,87	7,0
Space group number:	152	11	1	0	3	1,66	55,33	3,0
		12	2	1	0	1,61	57,25	1,0
a (Å):	49.130	13	2	1	1	1,54	59,98	15,0
b (Å):	49.130	14	1	1	3	1,45	64,03	3,0
c (Å):	54.050	15	3	0	0	1,42	65,81	1,0
Alpha (°):	900.000	16	2	1	2	1,38	67,75	7,0
Beta (°):	900.000	17	2	0	3	1,38	68,14	11,0
Gamma (°):	1.200.000	18	3	0	1	1,37	68,31	9,0
		19	1	0	4	1,29	73,46	3,0
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	112,98	20	3	0	2	1,26	75,66	4,0
Z:	3,00	21	2	2	0	1,23	77,70	2,0
		22	2	1	3	1,20	79,89	5,0
RIR:	3,30	23	2	2	1	1,20	80,09	2,0
		24	1	1	4	1,18	81,19	4,0
<b>Status, subfiles and quality</b>		25	3	1	0	1,18	81,49	4,0
Status:	Marked as deleted by ICDD	26	3	1	1	1,15	83,84	2,0
	Edited Pattern	27	2	0	4	1,14	84,94	1,0
Subfiles:	Inorganic	28	3	0	3	1,11	87,45	1,0
	Mineral	29	3	1	2	1,08	90,83	4,0
	Alloy, metal or intermetallic	30	4	0	0	1,06	92,81	1,0
	Forensic	31	1	0	5	1,05	94,65	2,0
	NBS pattern	32	4	0	1	1,04	95,13	2,0
Quality:	Star (S)	33	2	1	4	1,03	96,24	2,0
		34	2	2	3	1,01	98,75	2,0
<b>Comments</b>		35	1	1	5	0,99	102,23	2,0
Deleted by:	Deleted by 33-1161.	36	3	1	3	0,99	102,57	2,0
Additional pattern:	To replace 1-649.	37	3	0	4	0,98	103,91	1,0
		38	3	2	0	0,98	104,20	1,0
<b>References</b>		39	3	2	1	0,96	106,61	2,0
Reference on old PDF card:	For original reference see PDF card set prior to 1980.	40	4	1	0	0,93	112,21	1,0

Name and formula		Peak list						
		No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
Reference code:	00-029-1497	1	0	0	1	15,2	5,81	100,0
Mineral name:	Nontronite-15A	2	0	0	2	7,44	11,886	8,0
	Sodium Iron Silicate Hydroxide	3	1	0	0	4,48	19,801	55,0
PDF index name:	Hydrate	4				3,58	24,851	20,0
Empirical formula:	Fe2H10Na0.30O16Si4	5				3,05	29,258	20,0
Chemical formula:	Na0.3Fe2Si4O10 (OH)2 ·4H2O	6	1		1	2,564	34,967	25,0
<b>Crystallographic parameters</b>		7				2,56	35,023	25,0
Crystal system:	Hexagonal	8	1	1	8	1,51	61,345	14,0
Space group:	P	9	2	0	9	1,336	70,42	10,0
a (Å):	52.100	<b>Comments</b> Sample source: Specimen from Curitiba, Brazil. Sample preparation: ~50% relative humidity. <b>References</b> Primary reference: Brindley, G., Penn State University, University Park, Pennsylvania, USA., ICDD Grant-in-Aid, (1977) Unit cell: Bayliss, P., Powder Diffraction, 4, 19, (1989)						
b (Å):	52.100							
c (Å):	148.800							
Alpha (°):	900.000							
Beta (°):	900.000							
Gamma (°):	1.200.000							
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	349,79							
Z:	1,00							
RIR:	-							
<b>Subfiles and Quality</b>								
Subfiles:	Inorganic							
	Mineral							
	Corrosion							
	Common Phase							
	Educational pattern							
	Forensic							
Quality:	Star (S)							

Name and formula	Peak list						
		No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]
Reference code: 00-007-0330		1			25,8	3,422	100
Mineral name: Illite-Montmorillonite, regular		2			12,4	7,123	80
PDF index name: Potassium Aluminum Silicate Hydroxide Hydrate		3			4,95	17,905	40
Chemical formula: $K - Al_4 ( SiAl )_8 O_{20} ( OH )_4 \cdot xH_2O$		4			4,47	19,846	80
		5			4,3	20,639	40
<b>Crystallographic parameters</b>		6			3,67	24,232	30
Crystal system: Unknown		7			3,33	26,75	50
RIR: -		8			3,09	28,871	40
		9			2,833	31,555	30
<b>Status, subfiles and quality</b>		10			2,563	34,981	50
Status: Marked as deleted by ICDD		11			2,451	36,635	30
Subfiles: Inorganic		12			2,232	40,378	20
Mineral		13			2,19	41,187	20
Quality: Blank (B)		14			2,145	42,092	20
		15			2,027	44,67	20
<b>Comments</b>		16			1,977	45,863	20
Deleted by: Deleted by 29-1495.		17			1,683	54,477	20
		18			1,492	62,167	50
<b>References</b>		19			1,287	73,528	30
Reference on old PDF For original reference see PDF card set prior to 1980.							

Name and formula	Peak List							
		No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
Reference code: 00-022-1339		1	2	0	0	8,82	10,021	50,0
Mineral name: Mordenite		2	1	1	1	6,51	13,591	20,0
PDF index name: Sodium Aluminum Silicate Hydrate		3	3	1	0	5,74	15,425	10,0
Empirical formula: $AlH_2NaO_2Si$		4	4	0	0	4,45	19,936	30,0
Chemical formula: $Na - Al - Si - O - H_2O$		5	1	5	0	3,9	22,783	70,0
		6	0	0	2	3,71	23,967	5,0
<b>Crystallographic parameters</b>		7	2	0	2	3,43	25,956	100,0
Crystal system: Orthorhombic		8	0	6	0	3,34	26,668	50,0
Space group: Cmc21		9	1	3	2	3,2	27,858	40,0
Space group number: 36		10	5	3	1	2,926	30,527	30,0
a (Å): 17,84		11	0	6	2	2,485	36,116	10,0
b (Å): 20		12	2	8	2	2,019	44,856	15,0
c (Å): 7,43		13	0	6	3	1,993	45,474	5,0
Alpha (°): 90		14	0	10	1	1,93	47,046	10,0
Beta (°): 90		15	7	7	0	1,901	47,808	3,0
Gamma (°): 90								
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ): 2651,02								
RIR: -								
<b>Status, subfiles and quality</b>								
Status: Marked as deleted by ICDD								
Subfiles: Inorganic								
Mineral								
Quality: Doubtful (O)								
	<b>Comments</b>							
	Deleted by: Deleted by 6-239.							
	<b>References</b>							
	Reference on old PDF card: For original reference see PDF card set prior to 1980.							

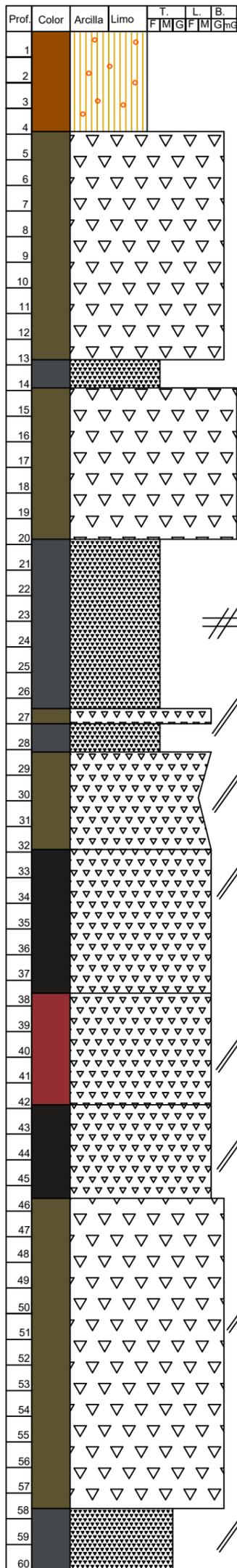
Name and formula	Peak List							
		No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
Reference code: 00-042-0619		1	0	0	1	15	5,887	100
Mineral name: Volkonskoite		2	0	0	3	5,02	17,653	2
PDF index name: Calcium Chromium Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide Hydrate		3	1	0	0	4,49	19,757	50
Empirical formula: $Al_0.3Ca_0.3Cr_1.5H_{10}Mg_0.6O_{16}Si_3.7$		4	0	0	5	3,05	29,258	1
Chemical formula: $Ca_0.3 ( Cr, Mg )_2 ( Si, Al )_4 O_{10} ( OH )_2 \cdot 4H_2O$		5	1	1	0	2,56	35,023	35
		6	0	0	6	2,51	35,744	2
<b>Crystallographic parameters</b>		7	2	1	0	1,69	54,233	8
Crystal system: Hexagonal		8	3	0	0	1,5	61,799	35
Space group: P								
a (Å): 5,172								
b (Å): 5,172								
c (Å): 15,12								
Alpha (°): 90								
Beta (°): 90								
Gamma (°): 120								
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ): 350,27								
Z: 1								
RIR: -								
<b>Subfiles and Quality</b>								
Subfiles: Inorganic								
Mineral								
Corrosion								
Quality: Blank (B)								
	<b>Comments</b>							
	Color: Dark green							
	General comments: Optical data from Fefimiyatskaya, Sverdlovsk district, USSR.							
	Sample source: Specimen from Okhansk region, Perm Basin, USSR (Smithsonian, Washington R4820).							
	Analysis: Chemical analysis (wt.%): Cr2O3 23.5, SiO2 40.4, Al2O3 4.13, MgO 5.95, CaO 2.56, Fe2O3 5.16, FeO 0.1, TiO2 0.05, MnO 0.05, K2O 0.21, CO2 2.60, H2O+ 16.75 (micrococulometric): ( Ca0.25Mg0.05Fe0.01 +2K0.03Mn0.01 ) ( Cr1.07Mg0.75Fe0.35 +3 ) ( Si3.59Al0.43 ) O10 ( OH )2 -4.22H2O.							
	Optical data: A=1.551, B=1.54, Sign=-							
	<b>References</b>							
	Primary reference: Foord, E., U.S. Geological Survey, Denver, Colorado, USA., Private Communication, (1987)							
	Optical data: Ivanova, V., Min. Abs., 25, 427, (1940)							
	Unit cell: Bayliss, P., Powder Diffraction, 4, 19, (1989)							
	Powder data: Foord, E., Starkey, H., Taggart, Jr., J., Shawe, D., Clays Clay Miner., 35, 139, (1987)							

Name and formula	Peak List					
		No.	h	k	l	d [Å]
Reference code: 00-014-0248	1 0 2 0 8,93 9,897 100,0					
Mineral name: Heulandite	2 0 0 2 7,96 11,107 10,0					
PDF index name: Calcium Aluminum Silicate Hydrate Oxide	3 1 1 0 7,13 12,404 5,0					
Empirical formula: Al <sub>2</sub> CaH <sub>12</sub> O <sub>24</sub> Si <sub>7</sub>	4 -1 0 1 6,8 13,009 5,0					
Chemical formula: Ca ( Al <sub>2</sub> Si <sub>7</sub> O <sub>18</sub> ) ·6H <sub>2</sub> O	5 1 0 1 6,6 13,405 5,0					
<b>Crystallographic parameters</b>	6 0 2 2 5,9 15,004 5,0					
Crystal system: Monoclinic	7 0 3 1 5,54 15,985 5,0					
Space group: I2/m	8 -1 1 2 5,24 16,907 5,0					
Space group number: 12	9 0 1 3 5,06 17,513 10,0					
a (Å): 74.600	10 1 3 0 4,62 19,196 10,0					
b (Å): 178.400	11 0 4 0 4,44 19,982 10,0					
c (Å): 158.800	12 -1 0 3 4,37 20,305 5,0					
Alpha (°): 900.000	13 1 0 3 4,19 21,187 2,0					
Beta (°): 914.300	14 0 0 4 3,97 22,376 20,0					
Gamma (°): 900.000	15 0 4 2 3,88 22,902 20,0					
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ): 2,16	16 2 0 0 3,72 23,901 5,0					
Measured density (g/cm <sup>3</sup> ): 2,20	17 -2 1 1 3,56 24,993 5,0					
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ): 2112,75	18 -1 1 4 3,46 25,727 5,0					
Z: 4,00	19 -2 0 2 3,42 26,033 10,0					
RIR: -	20 1 1 4 3,4 26,189 10,0					
<b>Status, subfiles and quality</b>	21 2 0 2 3,32 26,832 5,0					
Status: Marked as deleted by ICDD	22 1 5 0 3,22 27,681 2,0					
Subfiles: Inorganic	23 -2 2 2 3,17 28,127 5,0					
Mineral	24 -2 3 1 3,11 28,681 5,0					
Quality: Blank (B)	25 1 4 3 3,07 29,063 2,0					
<b>Comments</b>	26 0 5 3 2,96 30,168 40,0					
Deleted by: Deleted by Revision.	27 1 0 5 2,89 30,917 5,0					
General comments: High intensities from OKO suggest that preferred orientation enhances the cleavage reflection.	28 0 3 5 2,8 31,937 10,0					
Sample source: Sample from Cape Blomidom, Nova Scotia.	29 -2 4 2 2,71 33,027 10,0					
<b>References</b>	30 -1 5 4 2,51 35,744 10,0					
Primary reference: Regnier., Geol. Soc. Am. Bull., 71, 1189, (1960)	31 1 4 5 2,43 36,963 5,0					
Optical data: Elements of Optical Mineralogy						
Unit cell: Wyart., Bull. Soc. Fr. Mineral. Cristallogr., 56, 81, (1933)						

Name and formula	Peak list					
		No.	h	k	l	d [Å]
Reference code: 00-015-0276	1 -1 1 0 9,49 9,312 100,0					
Mineral name: Laumontite-leonhardite	2 2 0 0 6,86 12,895 35,0					
PDF index name: Calcium Aluminum Silicate Hydrate	3 0 2 0 6,54 13,528 2,0					
Empirical formula: Al <sub>2</sub> CaH <sub>8</sub> O <sub>16</sub> Si <sub>4</sub>	4 -2 0 1 6,19 14,297 2,0					
Chemical formula: CaAl <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub> ·4H <sub>2</sub> O	5 5,91 14,978 2,0					
<b>Crystallographic parameters</b>	6 1 1 1 5,052 17,541 6,0					
Crystal system: Monoclinic	7 -2 2 0 4,731 18,741 20,0					
Space group: C2	8 -2 2 1 4,5 19,713 8,0					
Space group number: 5	9 -3 1 0 4,314 20,572 2,0					
a (Å): 147.500	10 1 3 0 4,156 21,363 60,0					
b (Å): 130.830	11 -1 3 1 3,768 23,593 2,0					
c (Å): 75.700	12 -4 0 1 3,667 24,252 14,0					
Alpha (°): 900.000	13 0 0 2 3,51 25,354 30,0					
Beta (°): 1.120.000	14 1 3 1 3,411 26,103 8,0					
Gamma (°): 900.000	15 -3 1 2 3,367 26,45 4,0					
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ): 2,40	16 0 4 0 3,272 27,233 20,0					
Measured density (g/cm <sup>3</sup> ): 2,20	17 -3 3 1 3,205 27,814 8,0					
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ): 1354,44	18 -3 3 0 3,152 28,291 16,0					
Z: 4,00	19 4 2 0 3,033 29,425 25,0					
RIR: -	20 2 4 0 2,95 30,273 4,0					
<b>Status, subfiles and quality</b>	21 -5 1 1 2,881 31,016 14,0					
Status: Marked as deleted by ICDD	22 -4 2 2 2,798 31,96 2,0					
Subfiles: Inorganic	23 3 3 1 2,629 34,075 4,0					
Mineral	24 2 4 1 2,575 34,813 14,0					
Forensic	25 -2 0 3 2,521 35,583 4,0					
Quality: Blank (B)	26 -2 4 2 2,463 36,45 4,0					
<b>Comments</b>	27 -4 4 1 2,439 36,821 14,0					
Deleted by: Deleted by 26-1047.	28 1 5 1 2,361 38,084 12,0					
General comments: Water content from analysis corresponds to laumontite. Preferred orientation.	29 6 0 0 2,278 39,528 2,0					
Sample source: Specimen from Dillsburg, Pennsylvania, USA.	30 -3 5 0 2,268 39,71 6,0					
Analysis: Analysis (wt.%): SiO <sub>2</sub> 49.85, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 21.30, MgO 0.18, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.21, CaO 11.74, Na <sub>2</sub> O 0.36, K <sub>2</sub> O 0.22, H <sub>2</sub> O 16.08; indicates partial substitution of Na+K for Ca and Mg+Fe for Al.	31 -6 2 2 2,217 40,663 4,0					
Optical data: A=1.5085, Q=1.5185, Sign=-, 2V=20-30°	32 0 6 0 2,18 41,385 6,0					
<b>References</b>	33 -6 2 0 2,153 41,928 18,0					
Primary reference: Coombs., Am. Mineral., 37, 812, (1952)	34 0 6 1 2,082 43,429 2,0					
	35 -2 6 1 2,06 43,917 2,0					
	36 -7 1 2 2,042 44,324 2,0					
	37 4 2 2 1,991 45,522 4,0					
	38 -5 5 1 1,955 46,409 12,0					
	39 -7 3 1 1,887 48,185 4,0					

Name and formula		Peak list													
		No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]	No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
Reference code:	00-020-0528	1	-1	-1	1	6,84	12,93	2,0	45	0	4	4	2,18	41,37	3,0
Mineral name:	Anorthite, sodian, ordered	2	-1	1	0	6,50	13,62	9,0	46	-2	2	6	2,16	41,89	3,0
PDF index name:	Sodium Calcium Aluminum Silicate	3	0	2	0	6,42	13,79	9,0	47	0	6	0	2,14	42,22	19,0
Empirical formula:	Al <sub>2</sub> CaO <sub>8</sub> Si <sub>2</sub>	4	-1	-1	2	5,81	15,24	8,0	48	0	-1	6	2,12	42,65	3,0
Chemical formula:	( Ca , Na ) ( Al , Si ) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	5	-1	1	2	5,64	15,70	5,0	49	-1	-3	6	2,11	42,93	4,0
<b>Crystallographic parameters</b>		6	-1	-2	1	5,03	17,63	2,0	50	1	5	2	2,10	43,08	5,0
		7	0	-2	2	4,69	18,89	1,0	51	-3	1	6	2,09	43,25	4,0
		8	0	2	2	4,36	20,35	2,0	52	-1	5	4	2,02	44,83	8,0
		9	-2	0	2	4,04	21,98	82,0	53	3	-1	2	2,00	45,21	3,0
		10	1	-1	2	3,91	22,71	26,0	54	0	6	2	1,98	45,69	2,0
		11	1	1	2	3,76	23,64	48,0	55	1	-3	5	1,97	46,09	3,0
		12	-1	2	3	3,68	24,20	4,0	56	2	-2	4	1,96	46,38	2,0
		13	1	3	0	3,63	24,50	20,0	57	-2	-4	6	1,94	46,87	4,0
		14	-1	-1	4	3,47	25,67	3,0	58	-4	2	4	1,93	47,12	8,0
		15	-1	1	4	3,36	26,51	7,0	59	2	2	4	1,88	48,38	7,0
a (Å):	81.780	16	-2	2	0	3,25	27,43	27,0	60	-3	-5	2	1,85	49,13	8,0
b (Å):	128.700	17	0	4	0	3,21	27,78	93,0	61	-1	5	5	1,84	49,53	10,0
c (Å):	141.870	18	-2	0	4	3,20	27,89	100,0	62	2	6	0	1,82	50,20	4,0
Alpha (°):	935.000	19	2	0	1	3,18	28,03	85,0	63	-2	-6	4	1,81	50,41	3,0
Beta (°):	1.159.000	20	-2	-1	4	3,13	28,48	21,0	64	1	1	6	1,80	50,74	8,0
Gamma (°):	906.300	21	0	1	4	3,04	29,40	10,0	65	-4	2	0	1,79	51,07	3,0
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	2,73	22	0	-4	2	2,95	30,23	15,0	66	-1	-7	2	1,78	51,29	3,0
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	1339,53	23	-2	-3	2	2,94	30,40	14,0	67	-2	0	8	1,77	51,60	11,0
Z:	8,00	24	-2	-2	4	2,91	30,75	7,0	68	2	-4	4	1,76	51,94	6,0
RIR:	-	25	1	3	2	2,83	31,57	5,0	69	-2	6	4	1,75	52,29	4,0
<b>Subfiles and Quality</b>		26	-1	-3	4	2,81	31,79	4,0	70	-2	-2	8	1,73	52,75	4,0
		27	2	2	1	2,79	32,08	2,0	71	0	6	4	1,72	53,28	3,0
		28	2	0	2	2,71	33,04	1,0	72	-4	-4	4	1,71	53,55	9,0
		29	-1	3	4	2,65	33,81	3,0	73	-2	2	8	1,68	54,58	2,0
		30	2	-2	2	2,55	35,11	3,0	74	2	4	4	1,65	55,59	3,0
		31	-2	-4	2	2,51	35,70	19,0	75	-3	-3	8	1,63	56,52	2,0
		32	-3	1	4	2,50	35,88	10,0	76	-4	-4	6	1,62	56,98	1,0
		33	-2	4	0	2,47	36,36	10,0	77	0	8	0	1,60	57,40	2,0
		34	-3	2	1	2,46	36,51	17,0	78	0	0	8	1,59	57,92	1,0
		35	-1	-5	2	2,41	37,23	4,0	79	0	-8	2	1,58	58,24	2,0
<b>Comments</b>		36	1	5	0	2,39	37,57	7,0	80	0	-2	8	1,57	58,72	2,0
		37	2	4	0	2,37	37,97	9,0	81	-4	-2	8	1,56	59,01	2,0
		38	0	-4	4	2,35	38,32	3,0	82	-2	6	6	1,54	60,20	2,0
		39	-3	-1	5	2,33	38,66	2,0	83	-2	4	8	1,51	61,30	2,0
Sample source:	Specimen from St. Louis County, Minnesota, USA.	40	0	2	5	2,31	38,99	5,0	84	-2	8	0	1,49	62,08	5,0
<b>References</b>		41	-3	-3	3	2,28	39,49	9,0	85	-4	6	2	1,49	62,49	3,0
		42	-1	1	6	2,26	39,78	8,0	86	-5	-3	6	1,48	62,68	3,0
		43	-3	-2	5	2,23	40,42	2,0	87	-4	6	4	1,47	63,25	4,0
		44	-2	4	4	2,22	40,53	2,0	88	0	6	6	1,45	63,98	3,0
Primary reference:	Borg, Smith., Am. Mineral., 53, 1709, (1968)	89	2	8	0	2,22	40,53	2,0	89	2	8	0	1,45	64,28	3,0

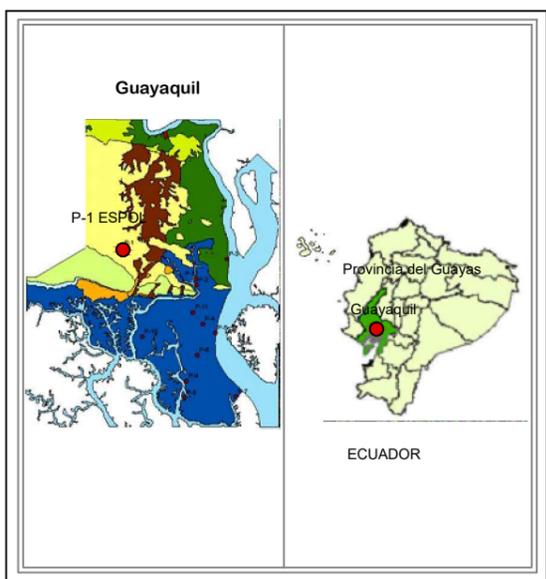
# **ANEXO E**



Amb.	Descripción	Difracción Rayos X
	Relleno: limo arenoso marrón con abundante grava de naturaleza volcánica y tamaño heterométrico.	Relleno
	Brecha volcánica de matriz color gris verdoso, clastos subangulosos.	Anortita 35.4% Laumontita 36.4% Nontronita 15.4% Armorfos 12.7%
	Toba Volcánica de color gris oscuro de grano muy fino.	
	Brecha volcánica de matriz color gris verdoso, clastos subangulosos. Vetas de cuarzo, espesor de hasta 3 mm.	
	Toba Volcánica de color gris oscuro de grano fino. Diaclasas con relleno de cuarzo, espesor de hasta 1 mm, roca decolorada. En 21.90-22 m, 25.5-25.65 m, 25.90-26 m gradación granos muy finos.	Anortita 42.1% Nontronita 1.9% Heulandita 22.3% Amorfos 33.7%
	Lapilli, matriz color gris verdoso, clastos subangulosos	
	Toba Volcánica de color gris oscura de grano fino. Con vetas de cuarzo de hasta 3 mm.	
	Lapilli de matriz color gris verdoso, clastos subangulosos. Vetas de cuarzo, espesor de más de 5 mm.	
	Lapilli de matriz color gris muy oscura, clastos subangulosos. Vetas de cuarzo, espesor de hasta 5 mm.	
	Lapilli de matriz color rojiza oscura, con clastos subangulosos; posible oxidación. Gradación, granos muy finos. Vetas de cuarzo, espesor de hasta 3 cm.	Anortita 10.7% Laumontita 42.2% Nontronita 15.4% Heulandita 18.2% Armorfos 13.5%
	Lapilli de matriz color gris muy oscura, clastos subangulosos. Vetas de cuarzo, espesor de hasta 3 mm.	Anortita 31.6% Nontronita 2.9% Heulandita 5.3% Armorfos 68.8%
	Brecha volcánica de matriz color gris verdoso clastos subangulosos. Vetas de cuarzo son escasas, espesor hasta 2 mm.	
	Toba volcánica de color gris oscuro de grano medio con una intercapa de lapilli de color gris oscuro clastos subangulosos. Vetas de cuarzo son escasas, espesor hasta 2 mm.	

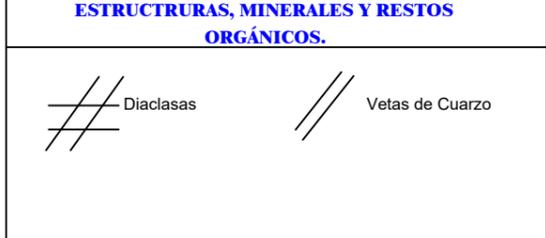
B  
A  
T  
I  
A  
L

**UBICACIÓN**



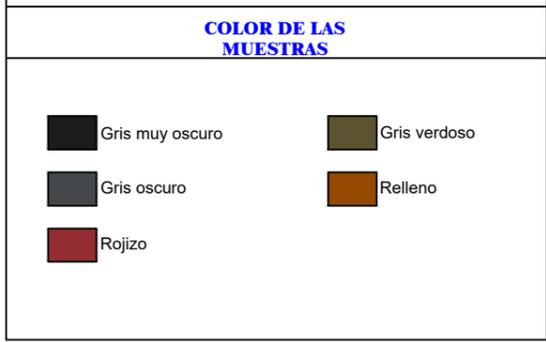
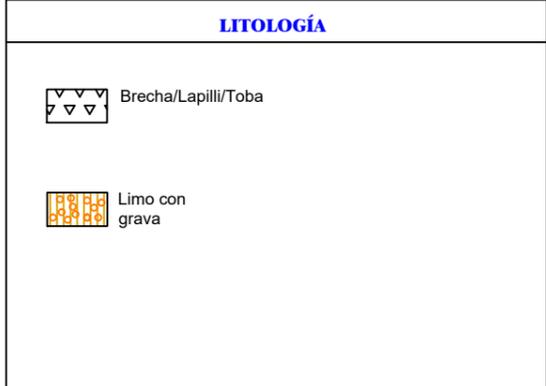
PROVINCIA: GUAYAS  
CANTÓN: GUAYAQUIL

**SIMBOLOGÍA**



**GRANULOMETRÍA (ASTM)**

No hubo ensayos granulométricos para las Rocas.



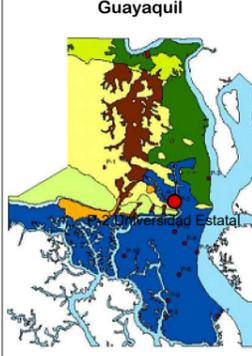
**NOTAS**

- Perforación mediante rotación, realizada en el proyecto de 'Estudio de Uso de Suelo como Sumidero de Calor para Reemplazo de Torres de Enfriamiento/Enfriadores Evaporativos'.
- Mapa Geológico. 'Estudios Geológicos. Municipalidad de Guayaquil'.
- Amb. = Ambiente Depositacional.
- T. = Toba Volcánica.
- L. = Lapilli.
- B. = Brecha Volcánica.

	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.</b> Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.		
	<b>TESIS:</b> <b>MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE GUAYAQUIL.</b>		
<b>CONTIENE:</b> <b>COLUMNA ESTRATIGRÁFICA - ESPOL P-1.</b>			
<b>ELABORADO POR:</b> Tania Espinoza	<b>UBICACIÓN:</b> GUAYAQUIL, GUAYAS, ECUADOR		
<b>DIRIGIDO POR:</b> Dra. Kathy López	<b>PLANO No:</b> 1/10	<b>ESCALA:</b> 1:200	

Prof.	Color	Arcilla	Limo	Arena F M G	Grava F M G	Amb.	Descripción	ASTM	Difracción Rayos X
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									
41									
42									
43									
44									
45									
46									
47									
48									
49									
50									
51									
52									
53									
54									
55									
56									
57									
58									
59									
60									

**UBICACIÓN**




PROVINCIA: GUAYAS  
CANTÓN: GUAYAQUIL

**SIMBOLOGÍA**

**MICROPALEONTOLOGÍA**

▬ Lignito

○ Materia Orgánica

● Nódulos

**GRANULOMETRÍA (ASTM)**

ML°: Limo de Baja Plasticidad con Arena  
MH: Limo de Alta Plasticidad  
SM: Arena Limosa  
SM x: Arena Limosa con grava

**LITOLOGÍA**

▨ Limo

▨ Arena

▨ Grava

▨ Limo con grava

▨ Arena con grava

▬ Estratos milimétricos de arena

**COLOR DE LAS MUESTRAS**

▨ Marrón oliva

▨ Relleno

▨ Pardo grisáceo oscuro

▨ Pardo grisáceo muy oscuro

**NOTAS**

- Perforación mediante rotación, realizada en el proyecto de 'Estudio de Uso de Suelo como Sumidero de Calor para Reemplazo de Torres de Enfriamiento/Enfriadores Evaporativos'.
- Mapa Geológico. 'Estudios Geológicos. Municipalidad de Guayaquil'.
- Amb. = Ambiente Depositacional.
- ASTM = American Society of Testing Materials. Norma Internacional.
- Solo en algunas muestras se realizó cuantificación mineralógica.



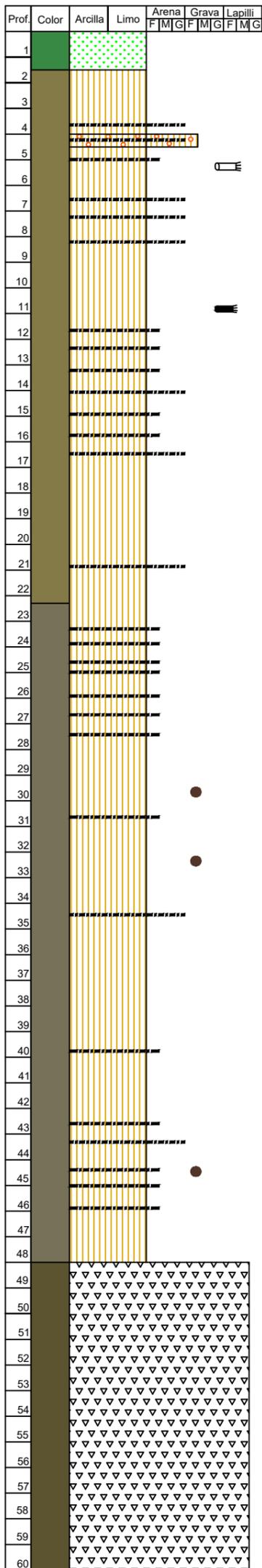
**ESCUELA SUPERIOR  
POLITÉCNICA DEL LITORAL.**  
Facultad de Ingeniería en  
Ciencias de la Tierra.



TESIS: **MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE GUAYAQUIL.**

CONTIENE: **COLUMNA ESTRATIGRÁFICA - UNIVERSIDAD ESTATAL P-2.**

ELABORADO POR: Tania Espinoza	UBICACIÓN: GUAYAQUIL, GUAYAS, ECUADOR
DIRIGIDO POR: Dra. Kathy López	PLANO No: 2/10
ESCALA: 1:200	



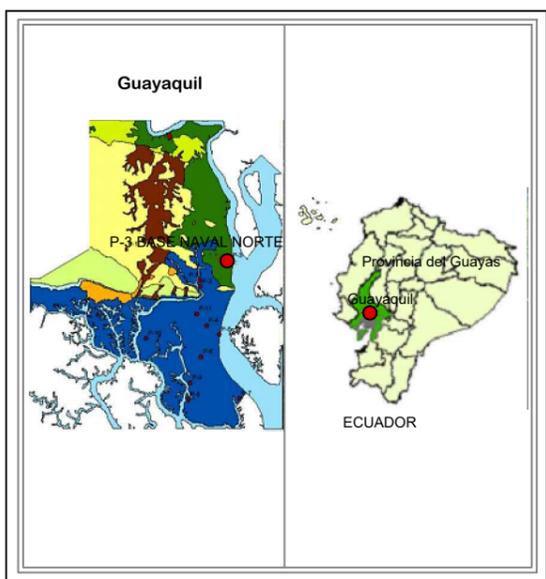
Amb.	Descripción
	Relleno: Limo de color marrón con grava y hormigón.
	Limo de color marrón olivo con arena gruesa y fina. Hasta 5 m hay mayor porcentaje de arena gruesa después de 5 m aumenta el porcentaje de fina y disminuye la gruesa. Nódulos de arcilla grisácea y marrón de hasta 1 cm y presentan oxidación. Materia orgánica y algo de lignito.
	Limo de color pardo grisáceo oscuro con arena fina. Algo de Lignito. Nódulos limosos oxidados. Mayor porcentaje de arena en este nivel. Hacia piso va aumentando el porcentaje de limo y disminuye la arena.
	Lapilli de matriz color gris verdoso, clastos subangulos.

ASTM	Difracción Rayos X
Relleno	Relleno
ML°	Anortita Cuarzo Nontronita
ML°	Anortita Cuarzo Nontronita
ML*	Anortita 44.8% Cuarzo 23% Amorfos 32.2%
ML*	Anortita 18.9% Nontronita 1.5% Mordenita 12.6% Amorfos 67%

ESTUARINO

BATIAL

**UBICACIÓN**



PROVINCIA: GUAYAS  
CANTÓN: GUAYAQUIL

**SIMBOLOGÍA**

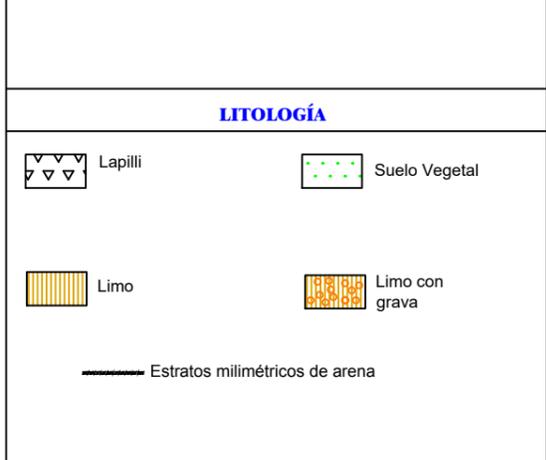
**MICROPALENTEOLOGÍA**



**GRANULOMETRÍA (ASTM)**

MH°: Limo de Alta Plasticidad con Arena  
MH\*: Limo de Alta Plasticidad Arenoso

**LITOLOGÍA**



**COLOR DE LAS MUESTRAS**



**NOTAS**

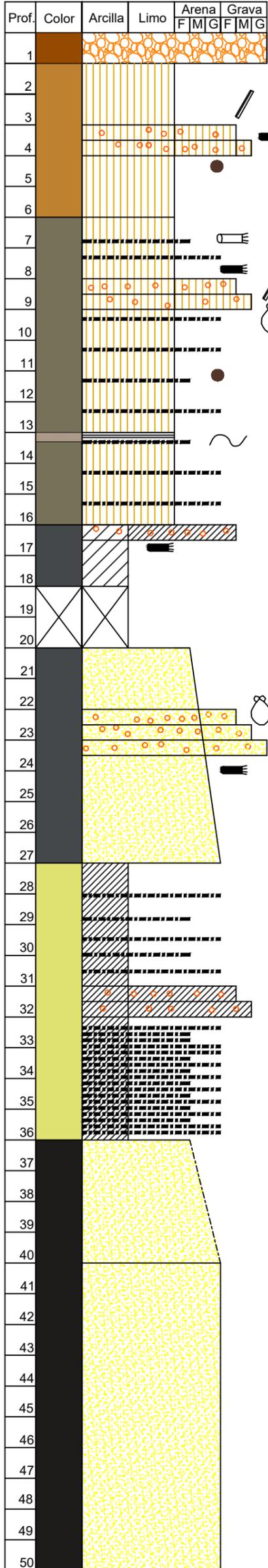
- Perforación mediante rotación, realizada en el proyecto de 'Estudio de Uso de Suelo como Sumidero de Calor para Reemplazo de Torres de Enfriamiento/Enfriadores Evaporativos'.
- Mapa Geológico. 'Estudios Geológicos. Municipalidad de Guayaquil'.
- Amb. = Ambiente Depositacional.
- ASTM=American Society of Testing Materials. Norma Internacional.
- Solo en algunas muestras se realizó cuantificación mineralógica.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.**  
 Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.

TESIS: **MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE GUAYAQUIL.**

CONTIENE: **COLUMNA ESTRATIGRÁFICA - BASE NAVAL NORTE P-3.**

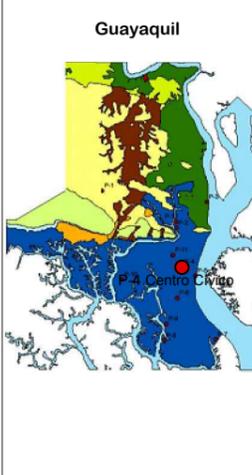
ELABORADO POR: Tania Espinoza	UBICACIÓN: GUAYAQUIL, GUAYAS, ECUADOR
DIRIGIDO POR: Dra. Kathy López	PLANO No: 3/10 ESCALA: 1:200



Amb.	Descripción	
ESTUARINO	Relleno: Limo de color marrón con grava y hormigón.	
	Limo de color marrón claro amarillento con cantos de grava. Hay presencia de oxidación. Cristales aciculares de yeso (mm) y lignito.	
	Limo color pardo grisáceo oscuro con lentes e intercalaciones milimétricas de arena gruesa y fina. Presencia materia orgánica, conchas rotas, lignito y cantos de gravas. Cristales aciculares de yesos (5 mm). A los 13 m presencia de semiroca arcillosita	
	Arcilla color gris oscuro, con lignito y gravas.	
	No testigo.	
	Arena color gris oscuro con arcilla. Presencia de conchas rotas, poco lignito y cantos de grava.	
	Arcilla color amarillo pálido con arena y patinas de oxidación. Capas de arcilla, arena y grava (6 mm), con espesor de la arena hasta 2 cm.	
	DELTAICO	Arena mal graduada de color gris muy oscuro con limo. De 36-40 es una arena fina su composición: Cuarzo 43.7 %, Halita 11.4 %, Magnetita 15.2 %, Anfíbol 19%, Feldespatos 9.5 %, Micas 0.95 %, Pirita 0.24%. De 40-50 es una arena gruesa su composición: Cuarzo 11.32%, Cantos oxidados 5.66%, Magnetita 1.89%, Arcilla 3.77%, Anfíbol 60.38%, Feldespatos 16.99%, Fragmentos de rocas ígneas 7.55%.

ASTM	Difracción Rayos X
Relleno	Relleno
MH	
MH*	Anortita Cuarzo Nontronita
CH	
SC	Anortita Cuarzo
CH*	Anortita 31.6% Cuarzo 18.6% Vermiculita 1.5% Amorfos 48.3%
SP-SM	Anortita 65% Cuarzo 21% Amorfos 13.4%

**UBICACIÓN**




PROVINCIA: GUAYAS  
CANTÓN: GUAYAQUIL

**SIMBOLOGÍA**

**ESTRUCTURAS, MINERALES Y RESTOS ORGÁNICOS**

Lignito

Materia Orgánica

Nódulos

Conchillas

Minerales de yeso

Microplegamientos

**GRANULOMETRÍA (ASTM)**

MH: Limo de Alta Plasticidad  
MH\*: Limo de Alta Plasticidad Arenoso  
CH: Arcilla de Alta Plasticidad  
CH\*: Arcilla de Alta Plasticidad Arenosa  
SC: Arena Arcillosa  
SP-SM: Arena Mal Graduada con Limo

**LITOLOGÍA**

Arcilla

Limo

Arena

Grava

Estratos milimétricos de arena

Arcilla con grava

Limo con grava

Arena con grava

Semiroca

No recupera

**COLOR DE LAS MUESTRAS: (SEMIROCA)**

Grisáceo Claro

**COLOR DE LAS MUESTRAS**

Gris muy oscuro

Gris oscuro

Amarillo pálido

Marrón claro amarillento

Relleno

Pardo grisáceo oscuro

**NOTAS**

-Perforación mediante rotación, realizada en el proyecto de 'Estudio de Uso de Suelo como Sumidero de Calor para Reemplazo de Torres de Enfriamiento/Enfriadores Evaporativos'.

- Mapa Geológico. 'Estudios Geológicos. Municipalidad de Guayaquil'.

- Amb. = Ambiente Depositacional.

- ASTM=American Society of Testing Materials. Norma Internacional.

- Solo en algunas muestras se realizó cuantificación mineralógica.



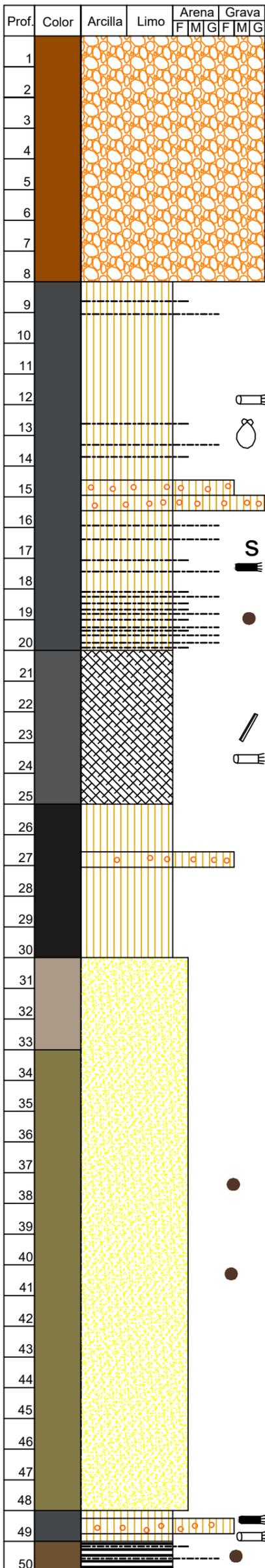
**ESCUELA SUPERIOR  
POLITÉCNICA DEL LITORAL.**  
Facultad de Ingeniería en  
Ciencias de la Tierra.



TESIS: **MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE GUAYAQUIL.**

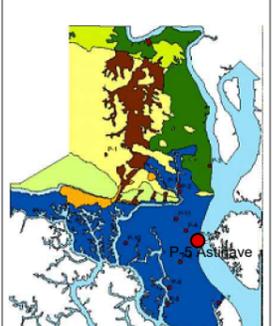
CONTIENE: **COLUMNA ESTRATIGRÁFICA - CENTRO CÍVICO P-4.**

ELABORADO POR: Tania Espinoza	UBICACIÓN: GUAYAQUIL, GUAYAS, ECUADOR
DIRIGIDO POR: Dra. Kathy López	PLANO No: 4/10 ESCALA: 1:150



Amb.	Descripción	ASTM	Difracción Rayos X
	Relleno: Limo con grava, hay hormigón y barras de hierro.	Relleno	Relleno
ESTUARINO	Limo de color gris oscuro con lentes e intercapas milimétricas de arena fina a gruesa, especie de estratificación capas de limo, arena y lignito, se incrementan hacia piso. Materia orgánica y nódulos de arcilla color marrón de hasta 1 cm, oxidación. Minerales de azufre. Presencia de restos de conchas.	MH	Anortita 32.1% Cuarzo 18.2% Ilita 45.3% Amorfos 4.4%
	Lignito de color negro brillante, hojoso. Materia orgánica. Tiene minerales prismáticos de yeso.	Pt	Anortita 29.3% Cuarzo 18.8% Amorfos 51.9%
	Limo de color gris muy oscuro con arena fina. Hacia piso aumenta el porcentaje de limo.		
DELTAICO	Arena de color marrón oliva con limo. Nódulos esporádicos de arcilla marrón. Su composición es: Cuarzo 27.35%, Magnetita 10.26%, Carbonatos 13.68%, Anfíbol 27.35%, Feldespatos 20.52%, Mica 0.85%.	SP	Anortita Cuarzo
	Limo de color gris oscuro. Restos de lignito y raíces. Semiroca limosa de color marrón grisáceo con arena gruesa y fina, presenta nódulos calcáreos.	SP-SM	Anortita Cuarzo
		MH*	

**UBICACIÓN**




PROVINCIA: GUAYAS  
CANTÓN: GUAYAQUIL

---

**SIMBOLOGÍA**

**ESTRUCTURAS, MINERALES Y RESTOS ORGÁNICOS.**

Lignito	Conchillas
Materia Orgánica	Nódulos
Minerales de yeso	Minerales de Azufre

---

**GRANULOMETRÍA (ASTM)**

MH: Limo de Alta Plasticidad  
MH\*: Limo de Alta Plasticidad Arenoso  
Pt: Lignito  
SP: Arena Mal Graduada  
SP-SM: Arena Mal Graduada con Limo

---

**LITOLOGÍA**

Grava	Semiroca
Limo	Limo con grava
Arena	Lignito

Estratos milimétricos de arena

---

**COLOR DE LAS MUESTRAS: (SEMIROCA)**

Marrón grisáceo.

---

**COLOR DE LAS MUESTRAS**

Gris muy oscuro	Marrón oliva
Gris oscuro	Relleno
Negro	

---

**NOTAS**

- Perforación mediante rotación, realizada en el proyecto de 'Estudio de Uso de Suelo como Sumidero de Calor para Reemplazo de Torres de Enfriamiento/Enfriadores Evaporativos'.
- Mapa Geológico. 'Estudios Geológicos. Municipalidad de Guayaquil'.
- Amb. = Ambiente Depositacional.
- ASTM = American Society of Testing Materials. Norma Internacional.
- Solo en algunas muestras se realizó cuantificación mineralógica.

---



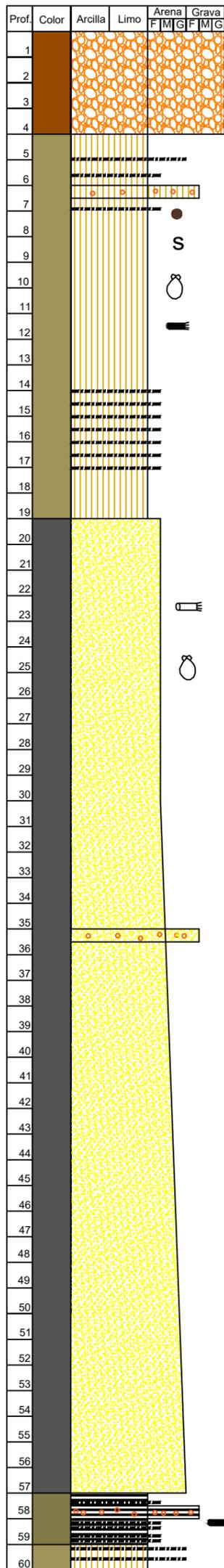
**ESCUELA SUPERIOR  
POLITÉCNICA DEL LITORAL.**  
Facultad de Ingeniería en  
Ciencias de la Tierra.



TESIS: **MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE GUAYAQUIL.**

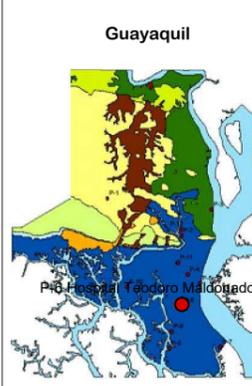
CONTIENE: **COLUMNA ESTRATIGRÁFICA - ASTINAVE P-5.**

ELABORADO POR: Tania Espinoza	UBICACIÓN: GUAYAQUIL, GUAYAS, ECUADOR
DIRIGIDO POR: Dra. Kathy López	PLANO No: 5/10      ESCALA: 1:150



Amb.	Descripción	ASTM	Difracción Rayos X	
	Relleno: Limo de color marrón con grava y hormigón.	Relleno	Relleno	
ESTUARINO	Limo de color marrón oliva claro con nódulos arcillosos de hasta 1.2 cm aproximadamente. Hay intercapas milimétricas de arena y lignito. Pequeños minerales de azufre y conchas. Hacia piso disminuye el porcentaje de intercapas de arena hasta cero casi.	MH	Anortita Cuarzo Nontronita	
		MH		
		MH		
DELTAICO	Arena color negra con limo. Hasta 30 m la arena es fina, luego va de media a gruesa. Nódulos arcillosos y limosos de hasta 1 cm, conchas rotas esporádicas, materia orgánica. Su composición es: Cuarzo 22.86%, Magnetita 11.43%, Anfíbol 45.71%, Feldespatos 20%.	SM	Anortita Cuarzo	
	Semiroca Limonita color marrón oliva posee algo de lignito.	MH	Anortita 23.8% Cuarzo 10.6% Iilita 42.5% Amorfos 23.1%	
	Limo de color marrón oliva claro con arena media a gruesa.			

**UBICACIÓN**




PROVINCIA: GUAYAS  
CANTÓN: GUAYAQUIL

**SIMBOLOGÍA**

**ESTRUCTURAS, MINERALES Y RESTOS ORGÁNICOS**

 Lignito

 Materia Orgánica

 Conchillas

 Nódulos

**S** Minerales de Azufre

**GRANULOMETRÍA (ASTM)**

MH: Limo de Alta Plasticidad  
SM: Arena con Limo

**LITOLOGÍA**

 Limo

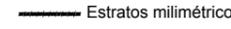
 Arena

 Grava

 Limo con grava

 Arena con grava

 Semiroca

 Estratos milimétricos de arena

**COLOR DE LAS MUESTRAS: (SEMIROCA)**

 Marrón Oliva

 Negro

 Marrón oliva claro

 Relleno

**NOTAS**

- Perforación mediante rotación, realizada en el proyecto de 'Estudio de Uso de Suelo como Sumidero de Calor para Reemplazo de Torres de Enfriamiento/Enfriadores Evaporativos'.
- Mapa Geológico. 'Estudios Geológicos. Municipalidad de Guayaquil'.
- Amb. = Ambiente Depositacional.
- ASTM=American Society of Testing Materials. Norma Internacional.
- Solo en algunas muestras se realizó cuantificación mineralógica.



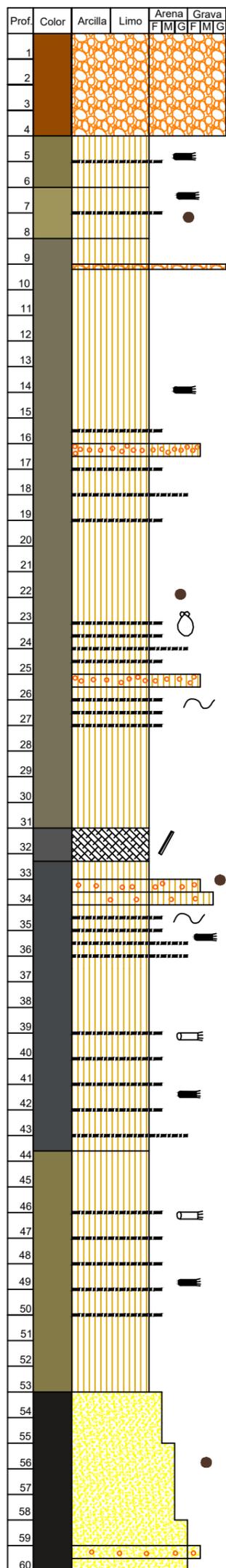
**ESCUELA SUPERIOR  
POLITÉCNICA DEL LITORAL.**  
Facultad de Ingeniería en  
Ciencias de la Tierra.



TESIS: **MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE GUAYAQUIL.**

CONTIENE: **COLUMNA ESTRATIGRÁFICA - HOSPITAL TEODORO MALDONADO P-6.**

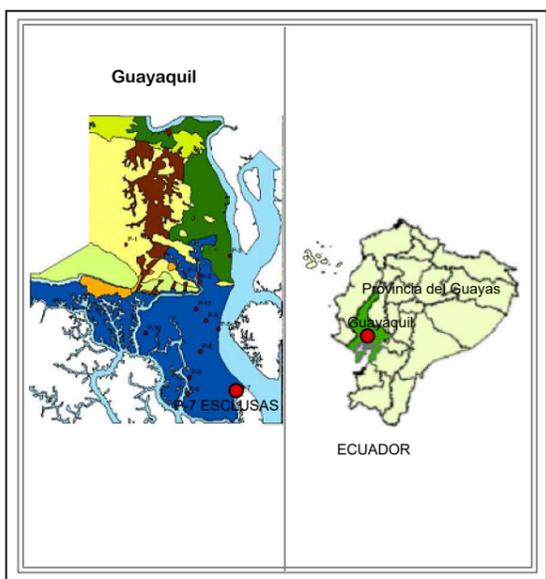
ELABORADO POR: Tania Espinoza	UBICACIÓN: GUAYAQUIL, GUAYAS, ECUADOR
DIRIGIDO POR: Dra. Kathy López	PLANO No: 6/10      ESCALA: 1:200



Amb.	Descripción
	Relleno: Limo de color marrón con grava y hormigón.
	Limo de color marrón oliva. Presencia de patinas de oxidación y de lignito.
	Limo de color marrón oliva claro con muy poca arena. Presencia de lignito, fuerte olor. Presencia de nódulos de arcilla.
ESTUARINO	Limo de color pardo grisáceo oscuro con arena fina. Lentes e intercapas de arena milimétricas plegadas. Varía el porcentaje de limo y arena en todo el nivel. Presencia de lignito y nódulos arcillosos grisáceos. Abundantes conchas.
	Lignito de color negro. Cristales de yeso aciculares alargados.
	Limo de color gris oscuro. Presencia en bajo porcentaje de lentes e intercapas de arena gruesa y fina, hay plegamiento. Presentes nódulos de arcilla y lignito. Presencia de materia orgánica, gravas.
	Limo de color marrón oliva con abundante arena. Presencia de materia orgánica y lignito.
	Arena de color gris muy oscuro con nódulos arcillosos. Su composición es: Cuarzo 71.79%, Magnetita 10.25%, Anfibol 10.25%, Feldespatos 7.59%.

ASTM	Difracción Rayos X
Relleno	Relleno
MH	
ML x	Anortita Cuarzo
ML°	Anortita 37.6% Cuarzo 18.3% Amorfos 44%
Pt	Anortita 17.3% Cuarzo 16.4% Irita 48.9% Amorfos 17.3%
MH	Anortita Cuarzo Nontronita
SP-SM	Anortita Cuarzo

**UBICACIÓN**



PROVINCIA: GUAYAS  
CANTÓN: GUAYAQUIL

**SIMBOLOGÍA**

**ESTRUCTURAS, MINERALES Y RESTOS ORGÁNICOS**

- Lignito
- Materia Orgánica
- Nódulos
- Conchillas
- Minerales de yeso
- Microplegamientos

**GRANULOMETRÍA (ASTM)**

MH: Limo de Alta Plasticidad  
ML°: Limo de Baja Plasticidad con Arena  
ML x: Limo de Baja Plasticidad Gravoso  
Pt: Lignito  
SP-SM: Arena Mal Graduada con Limo

**LITOLOGÍA**

- Limo
- Arena
- Grava
- Limo con grava
- Arena con grava
- Lignito
- Estratos milimétricos de arena

**COLOR DE LAS MUESTRAS**

- Marrón oliva
- Marrón oliva claro
- Negro
- Relleno
- Pardo grisáceo oscuro
- Gris muy oscuro
- Gris oscuro

**NOTAS**

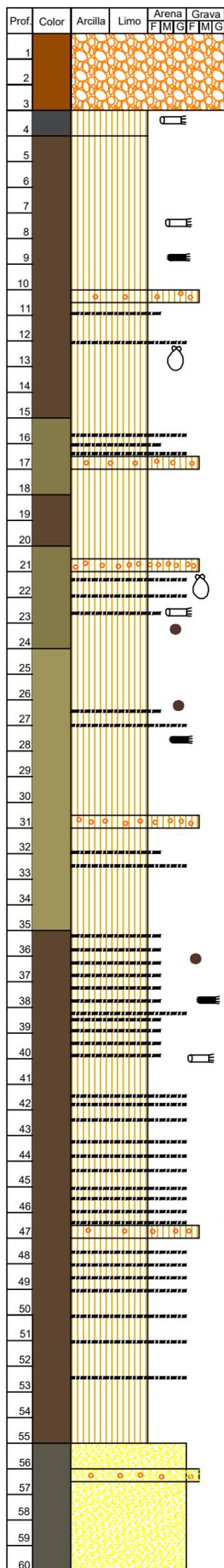
- Perforación mediante rotación, realizada en el proyecto de 'Estudio de Uso de Suelo como Sumidero de Calor para Reemplazo de Torres de Enfriamiento/Enfriadores Evaporativos'.
- Mapa Geológico. 'Estudios Geológicos. Municipalidad de Guayaquil'.
- Amb. = Ambiente Depositacional.
- ASTM=American Society of Testing Materials. Norma Internacional.
- Solo en algunas muestras se realizó cuantificación mineralógica.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.

TESIS: **MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE GUAYAQUIL.**

CONTIENE: **COLUMNA ESTRATIGRÁFICA - ESCLUSAS P-7.**

ELABORADO POR: Tania Espinoza	UBICACIÓN: GUAYAQUIL, GUAYAS, ECUADOR
DIRIGIDO POR: Dra. Kathy López	PLANO No: 7/10 ESCALA: 1:200



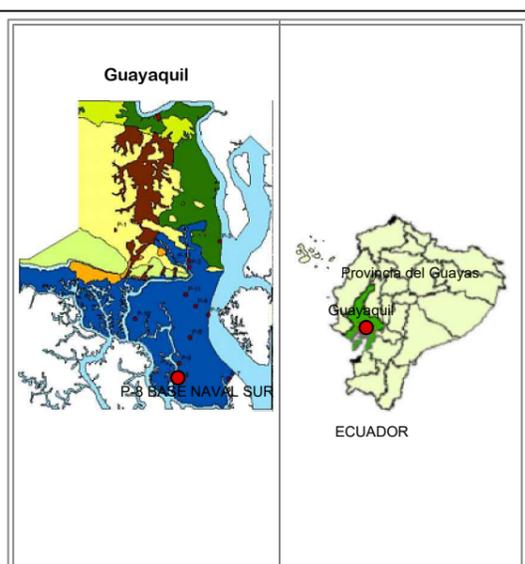
Amb.	Descripción
	Relleno: Limo de color marrón con grava y hormigón.
	Limo color gris oscuro con grava, bastantes restos de materia orgánica. Patinas de oxidación.
	Limo de color marrón grisáceo oscuro con arena. Lignito abundante, materia orgánica y conchas. Abundantes micas y patinas de oxidación. Hacia piso aumenta el porcentaje de arena.
	Limo color marrón oliva con arena fina.
	Limo color marrón grisáceo oscuro con arena y micas presentes.
	Limo de color marrón oliva con arena gruesa y fina. Restos de materia orgánica y conchas. Nódulos de arcilla. Patinas de oxidación.
	Limo de color marrón oliva claro con lentes de arena fina y gruesa. Presencia de micas. Nódulos de arcilla de color grisáceo y marrones. Presencia de lignito.
	Limo de color marrón grisáceo oscuro con arena que va de gruesa a media y fina, siendo primero más fina y luego más gruesa hacia piso. Va variando el porcentaje de arena y limo en el nivel. Hay presencia de micas, materia orgánica, lignito. Hacia piso aumenta la cantidad de limo.
	Arena gruesa color pardo grisáceo muy oscuro y abundantes nódulos de arcilla. Su composición es: Cuarzo 40.34%, Magnetita 20.17%, Arcilla 2.52%, Anfíbol 26.89%, Feldespato 5.04%, Carbonatos 5.04%.

ASTM	Difracción Rayos X
Relleno	Relleno
ML	Anortita Cuarzo
ML*	
ML°	Anortita Cuarzo Nontronita
ML*	Anortita Cuarzo Nontronita
ML°	Anortita 39.8% Cuarzo 17.7% Ferroactinolita 5.7% Amorfos 36.8

ESTUARINO

DELTICO

**UBICACIÓN**



PROVINCIA: GUAYAS  
CANTÓN: GUAYAQUIL

**SIMBOLOGÍA**

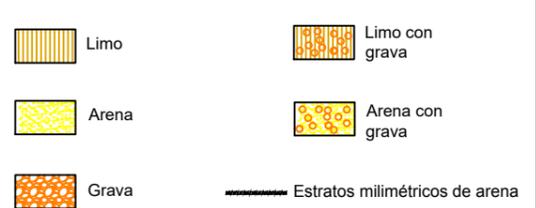
**ESTRUCTURAS, MINERALES Y RESTOS ORGÁNICOS**



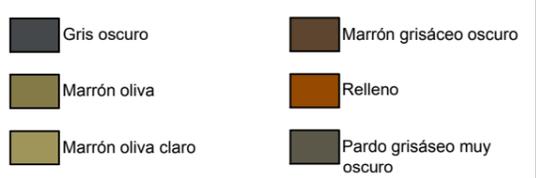
**GRANULOMETRÍA (ASTM)**

ML: Limo de Baja Plasticidad con Arena  
ML\*: Limo de Baja Plasticidad Arenoso  
ML°: Limo de Baja Plasticidad

**LITOLOGÍA**



**COLOR DE LAS MUESTRAS**

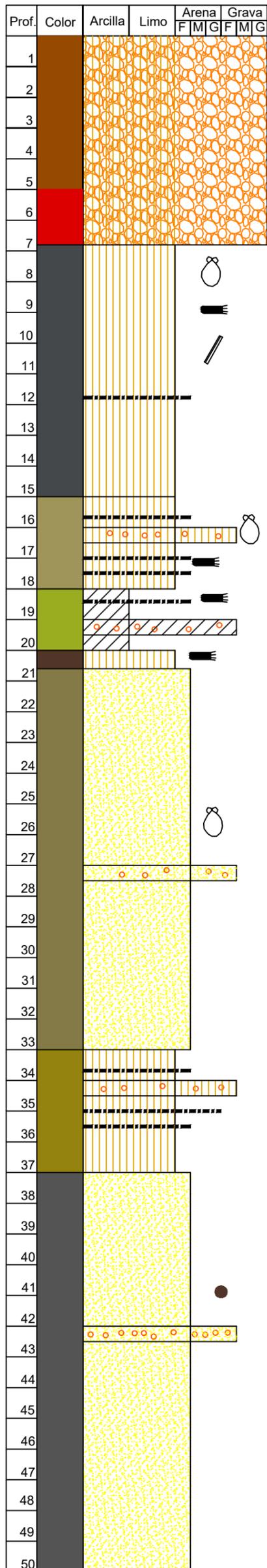


**NOTAS**

- Perforación mediante rotación, realizada en el proyecto de 'Estudio de Uso de Suelo como Sumidero de Calor para Reemplazo de Torres de Enfriamiento/Enfriadores Evaporativos'.
- Mapa Geológico. 'Estudios Geológicos. Municipalidad de Guayaquil'.
- Amb. = Ambiente Depositacional.
- ASTM=American Society of Testing Materials. Norma Internacional.
- Solo en algunas muestras se realizó cuantificación mineralógica.

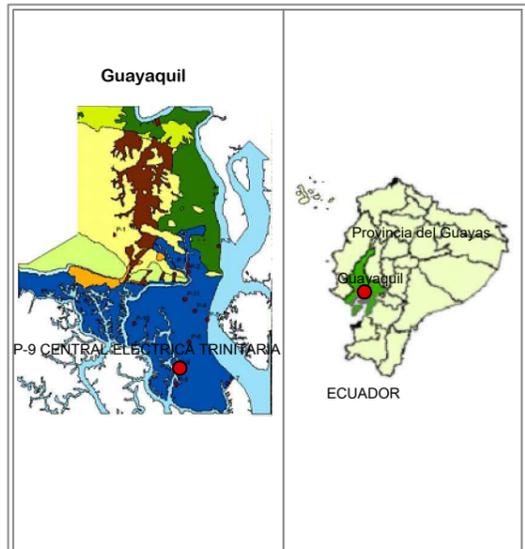
	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.</b> Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.	
--	--	--

<b>TESIS:</b> <b>MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE GUAYAQUIL.</b>		
<b>CONTIENE:</b> <b>COLUMNA ESTRATIGRÁFICA - BASE NAVAL SUR P-8.</b>		
<b>ELABORADO POR:</b> Tania Espinoza	<b>UBICACIÓN:</b> GUAYAQUIL, GUAYAS, ECUADOR	
<b>DIRIGIDO POR:</b> Dra. Kathy López	<b>PLANO No:</b> 8/10	<b>ESCALA:</b> 1:200



Amb.	Descripción	ASTM	Difracción Rayos X
	Relleno: Limo con grava centimétrica. A partir de 5 m el limo es de color rojizo. Con materia orgánica.	Relleno	Relleno
ESTUARINO	Limo de color gris oscuro. Hay intercalaciones y lentes de arena. Presencia de lignito, materia orgánica, caracol grande y conchas. Minerales aciculares alargados de yeso. Presenta oxidación pasando a limo de color marrón rojizo.	MH	Anortita Cuarzo
	Limo de color marrón oliva claro con arena fina. Las intercapas milimétricas de arena combinadas con capas de lignito, pero en unas zonas el limo es más abundante. En todo el nivel abundantes conchas rotas.	ML	
	Arcilla de color oliva con gravas calcáreas, y algo de lignito disperso.	CH	Anortita Cuarzo Vermiculita Laumontita
DELTAICO	Limo de color marrón grisáceo muy oscuro. Intercapas milimétricas de arena y lignito.		
	Arena fina de color marrón oliva con limo. Hacia piso aumenta la cantidad de limo. Presencia de conchas rotas.	SM	Anortita 37.6% Cuarzo 15.3% Amorfos 47.1%
	Limo de color amarillo oliva con patinas de oxidación.	MH	
	Arena fina y gruesa color negro. Nódulos arcillosos y limo. Su composición es: Cuarzo 50%, Magnetita 12.5%, Anfíbol 25%, Feldespatos 14.42%.	SP	Anortita Cuarzo

**UBICACIÓN**



PROVINCIA: GUAYAS  
CANTÓN: GUAYAQUIL

**SIMBOLOGÍA**

**ESTRUCTURAS, MINERALES Y RESTOS ORGÁNICOS**

 Lignito  
 Materia Orgánica  
 Nódulos

 Conchillas  
 Minerales de yeso

**GRANULOMETRÍA (ASTM)**

MH: Limo de Alta Plasticidad  
ML: Limo de Baja Plasticidad  
CH: Arcilla de Alta Plasticidad  
SM: Arena Limosa  
SP: Arena Mal Graduada

**LITOLOGÍA**

 Arcilla  
 Limo  
 Arena  
 Grava

 Arcilla con grava  
 Limo con grava  
 Arena con grava  
 Estratos milimétricos de arena

**COLOR DE LAS MUESTRAS**

 Negro  
 Gris oscuro  
 Marrón grisáceo muy oscuro  
 Relleno limoso oxidado  
 Relleno

 Amarillo oliva  
 Oliva  
 Marrón oliva  
 Marrón oliva claro

**NOTAS**

- Perforación mediante rotación, realizada en el proyecto de 'Estudio de Uso de Suelo como Sumidero de Calor para Reemplazo de Torres de Enfriamiento/Enfriadores Evaporativos'.
- Mapa Geológico. 'Estudios Geológicos. Municipalidad de Guayaquil'.
- Amb. = Ambiente Depositacional.
- ASTM=American Society of Testing Materials. Norma Internacional.
- Solo en algunas muestras se realizó cuantificación mineralógica.



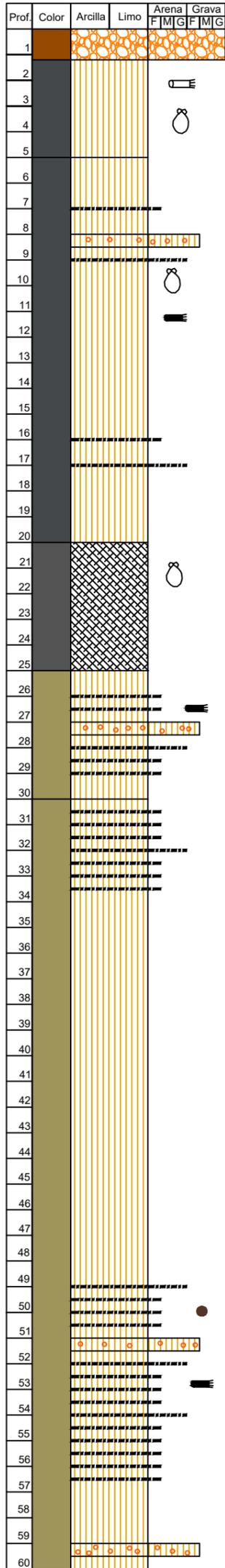
**ESCUELA SUPERIOR  
POLITÉCNICA DEL LITORAL.**  
Facultad de Ingeniería en  
Ciencias de la Tierra.



TESIS: **MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE GUAYAQUIL.**

CONTIENE: **COLUMNA ESTRATIGRÁFICA - CENTRAL ELÉCTRICA TRINITARIA P-9.**

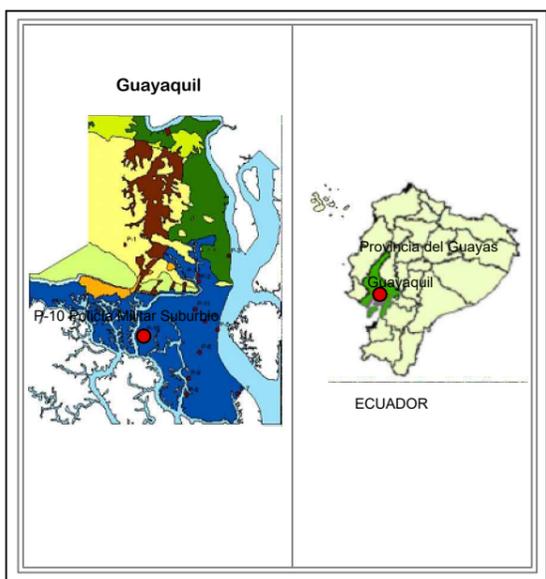
ELABORADO POR: Tania Espinoza	UBICACIÓN: GUAYAQUIL, GUAYAS, ECUADOR
DIRIGIDO POR: Dra. Kathy López	PLANO No: 9/10      ESCALA: 1:200



Amb.	Descripción	ASTM	Difracción Rayos X
	Relleno: Limo de color marrón con grava y hormigón.	Relleno	Relleno
	Limo de color gris oscuro. Materia orgánica y restos de conchas. Algunos cantos oxidados. Fuerte olor fétido.		
	Limo de color gris oscuro con lentes e intercapas milimétricas de arena y de lignito. Hay presentes conchas. Aumenta el porcentaje de lignito a partir de 11 m se encuentra hasta 3 cm.	MH	
	Lignito de color negro. Muchas conchas rotas.	Pt	
	Limo de color marrón oliva claro con lentes de arena escasas. Impresiones de hojas y lignito.	MH	Anortita Cuarzo Nontronita
	Limo de color marrón oliva claro con arena fina. Hay lignito y nódulos de arcilla.	ML°	
		ML°	Anortita 33.3% Cuarzo 20.3% Amorfos 46.4%

ESTUARINO

**UBICACIÓN**



PROVINCIA: GUAYAS  
CANTÓN: GUAYAQUIL

**SIMBOLOGÍA**



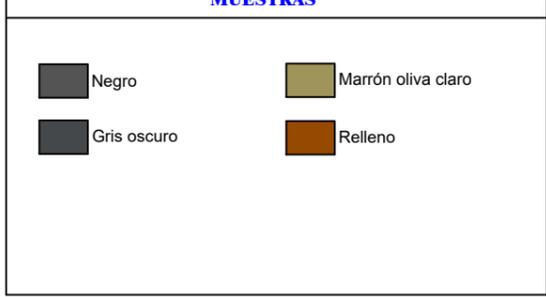
**GRANULOMETRÍA (ASTM)**

MH: Limo de Alta Plasticidad  
ML°: Limo de Baja Plasticidad con Arena  
Pt: Lignito

**LITOLOGÍA**



**COLOR DE LAS MUESTRAS**



**NOTAS**

- Perforación mediante rotación, realizada en el proyecto de 'Estudio de Uso de Suelo como Sumidero de Calor para Reemplazo de Torres de Enfriamiento/Enfriadores Evaporativos'.
- Mapa Geológico. 'Estudios Geológicos. Municipalidad de Guayaquil'.
- Amb. = Ambiente Depositacional.
- ASTM = American Society of Testing Materials. Norma Internacional.
- Solo en algunas muestras se realizó cuantificación mineralógica.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.**  
 Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.

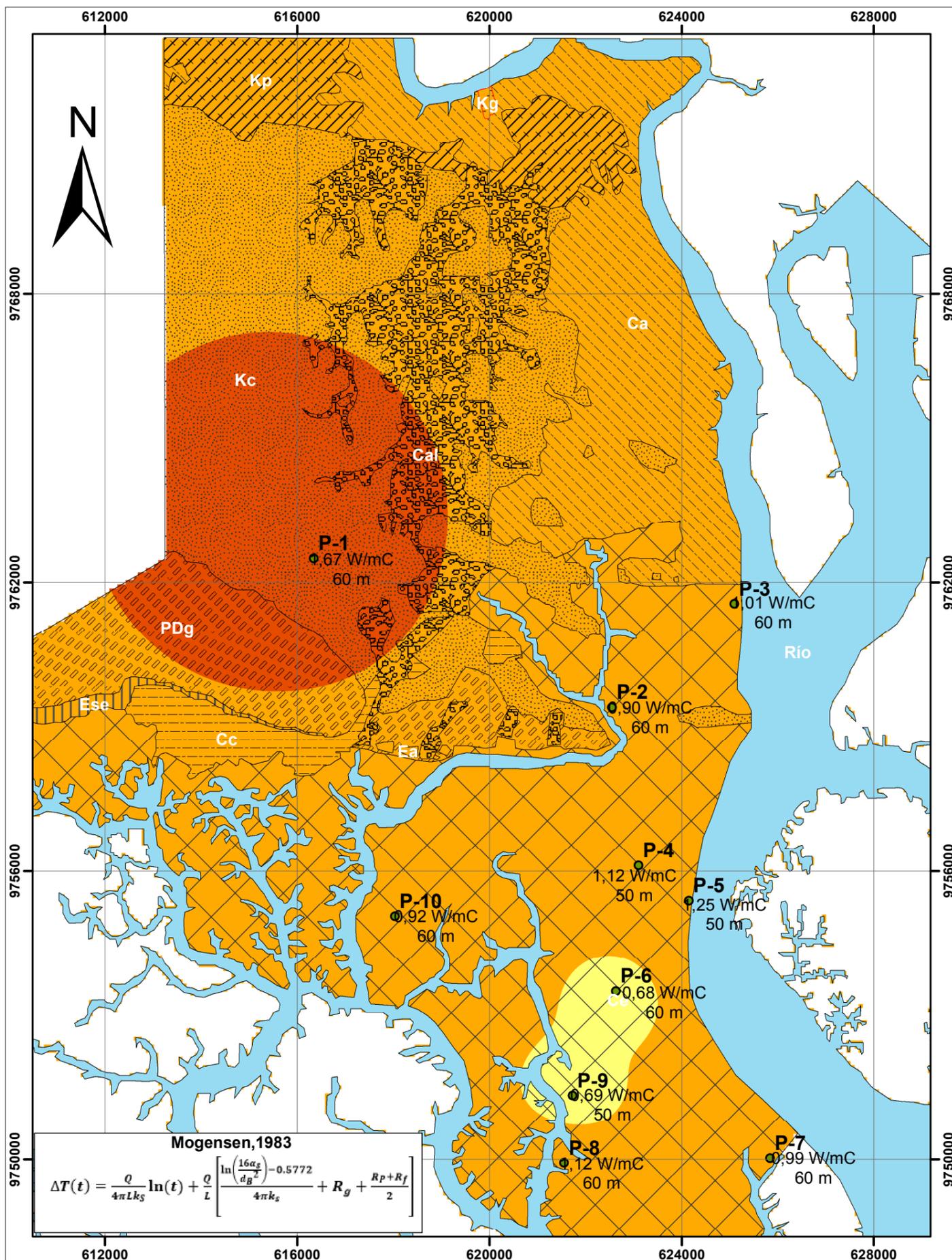
TESIS: **MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE GUAYAQUIL.**

CONTIENE: **COLUMNA ESTRATIGRÁFICA - POLICÍA MILITAR SUBURBIO P-10.**

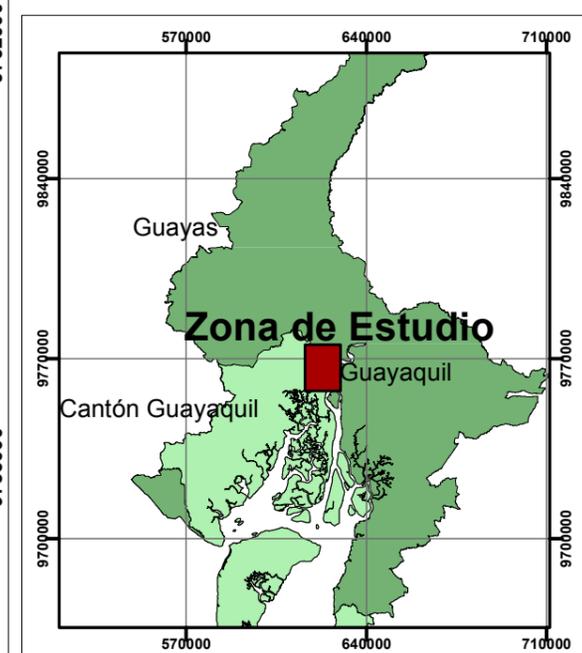
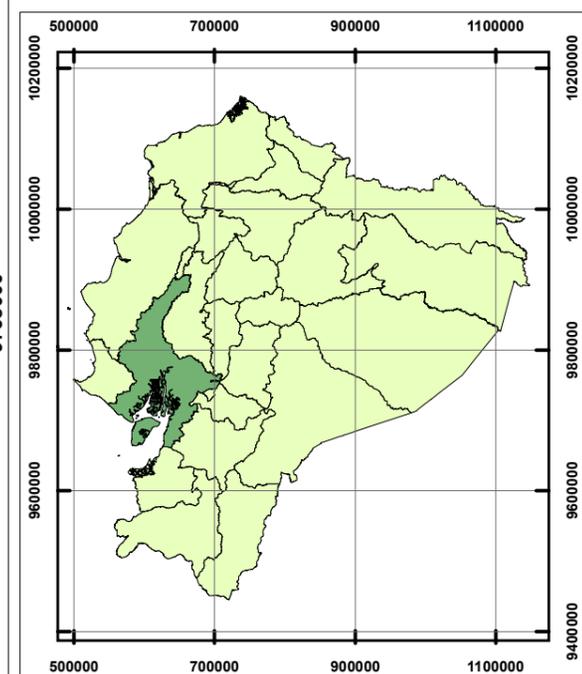
ELABORADO POR: Tania Espinoza	UBICACIÓN: GUAYAQUIL, GUAYAS, ECUADOR
DIRIGIDO POR: Dra. Kathy López	PLANO No: 10/10 ESCALA: 1:200

# **ANEXO F**

# MAPA DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS DE GUAYAQUIL



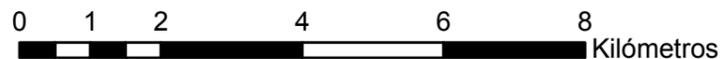
## Ubicación Geográfica Ecuador-Guayaquil



- ### Legenda Geológica
- Ca Depósitos y Formaciones
  - Río
  - Kp: Fm. Piñón
  - Kg: Rocas graníticas indiferenciadas
  - Kc: Fm. Cayo
  - PDg: Fm. Guayaquil
  - Ese: Fm. San Eduardo
  - Ea: Grupo Ancón
  - Ca: Depósitos Aluvial
  - Cal: Depósitos Aluvio-lacustres
  - Cc: Depósitos Coluvial
  - Ce: Depósitos Deltaico-estuarino
- ### Simbología
- Perforaciones
- ### No. LUGAR DE PERFORACIÓN
- P-1 Espol
  - P-2 Estatal
  - P-3 Base Naval Norte
  - P-4 Centro Cívico
  - P-5 Astinave
  - P-6 Hospital Teodoro Maldonado
  - P-7 Esclusas
  - P-8 Base Naval Sur
  - P-9 Central Eléctrica Trinitaria
  - P-10 Policía Militar del Suburbio

Mogensen, 1983

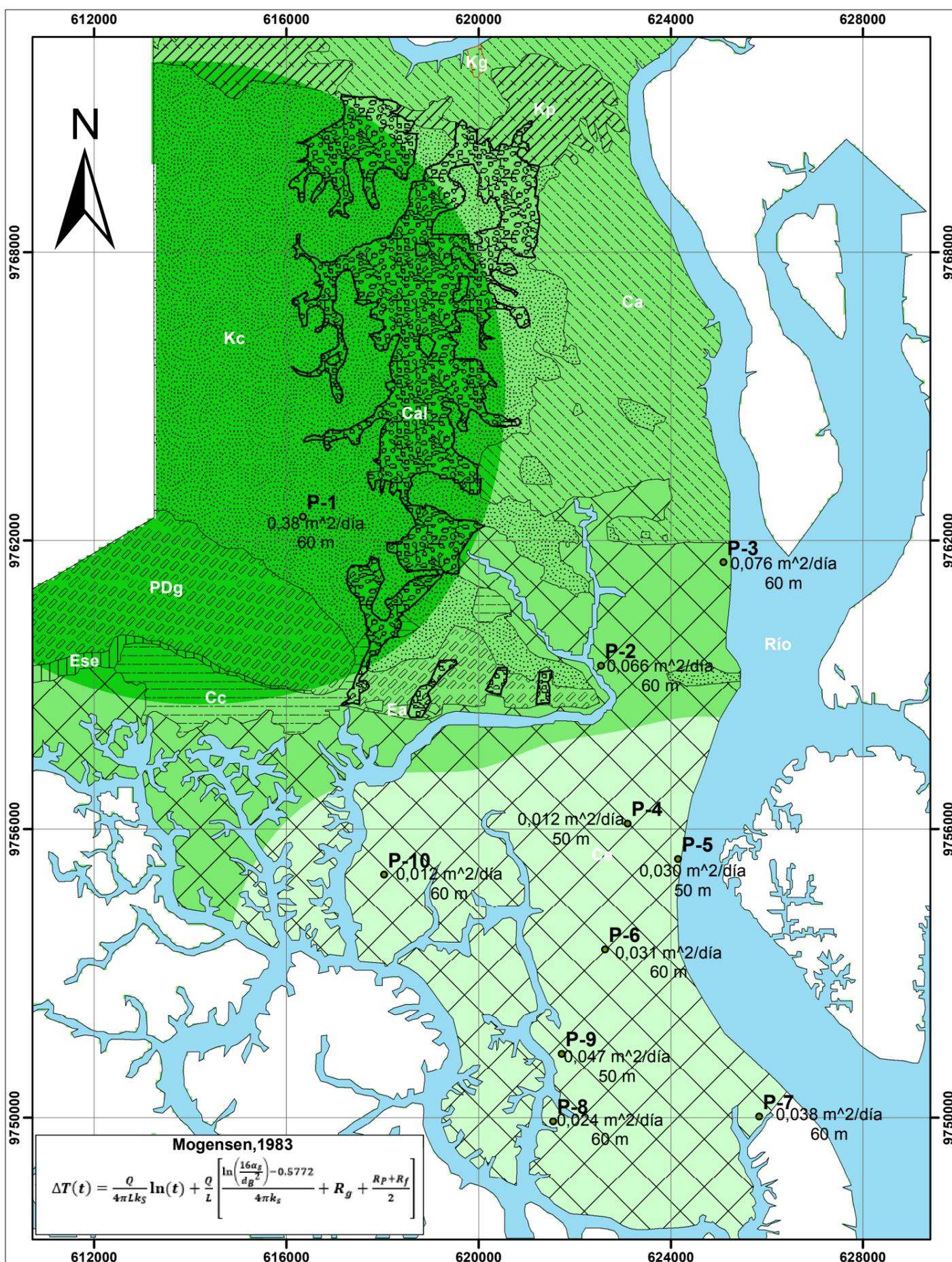
$$\Delta T(t) = \frac{Q}{4\pi Lk_s} \ln(t) + \frac{Q}{L} \left[ \frac{\ln\left(\frac{16a_s}{d_b^2}\right) - 0.5772}{4\pi k_s} + R_g + \frac{R_p + R_f}{2} \right]$$



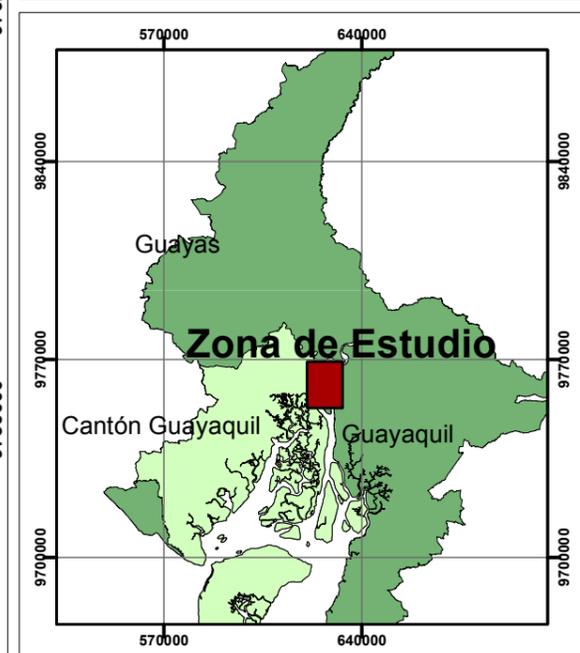
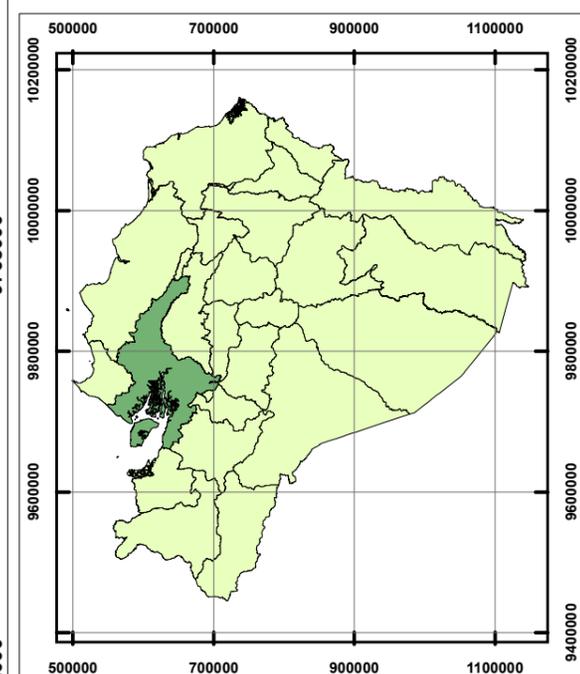
 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL</b> Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra		
<b>MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE GUAYAQUIL</b>		
Contiene: <b>MAPA DE CONDUCTIVIDAD DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL</b>		
Escala: 1:100.000	Fecha: Octubre 2014	Fuente: -Uso de Suelo como sumidero de calor para reemplazo de torres de enfriamiento/enfriadores evaporativos. Proyecto: INER-ESPOL. -Mapa Geológico: Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil. Autor: Stalin Benítez, et al.
Mapa modificado por: Tania Espinoza Yépez		Revisado por: Dra. Kathy López
Proyección Universal Transversa de Mercator UTM Datum Horizontal de Referencia: WGS84, Zona 17 Sur		



# MAPA DE DIFUSIVIDAD TÉRMICA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL



## Ubicación Geográfica Ecuador-Guayaquil



### Legenda Geológica

- Ca Depósitos y Formaciones
- Río
- Kp: Fm. Piñón
- Kg: Rocas graníticas indiferenciadas
- Kc: Fm. Cayo
- PDg: Fm. Guayaquil
- Ese: Fm. San Eduardo
- Ea: Grupo Ancón
- Ca: Depósitos Aluvial
- Cal: Depósitos Aluvio-lacustres
- Cc: Depósitos Coluvial
- Ce: Depósitos Deltaico-estuarino

### Simbología

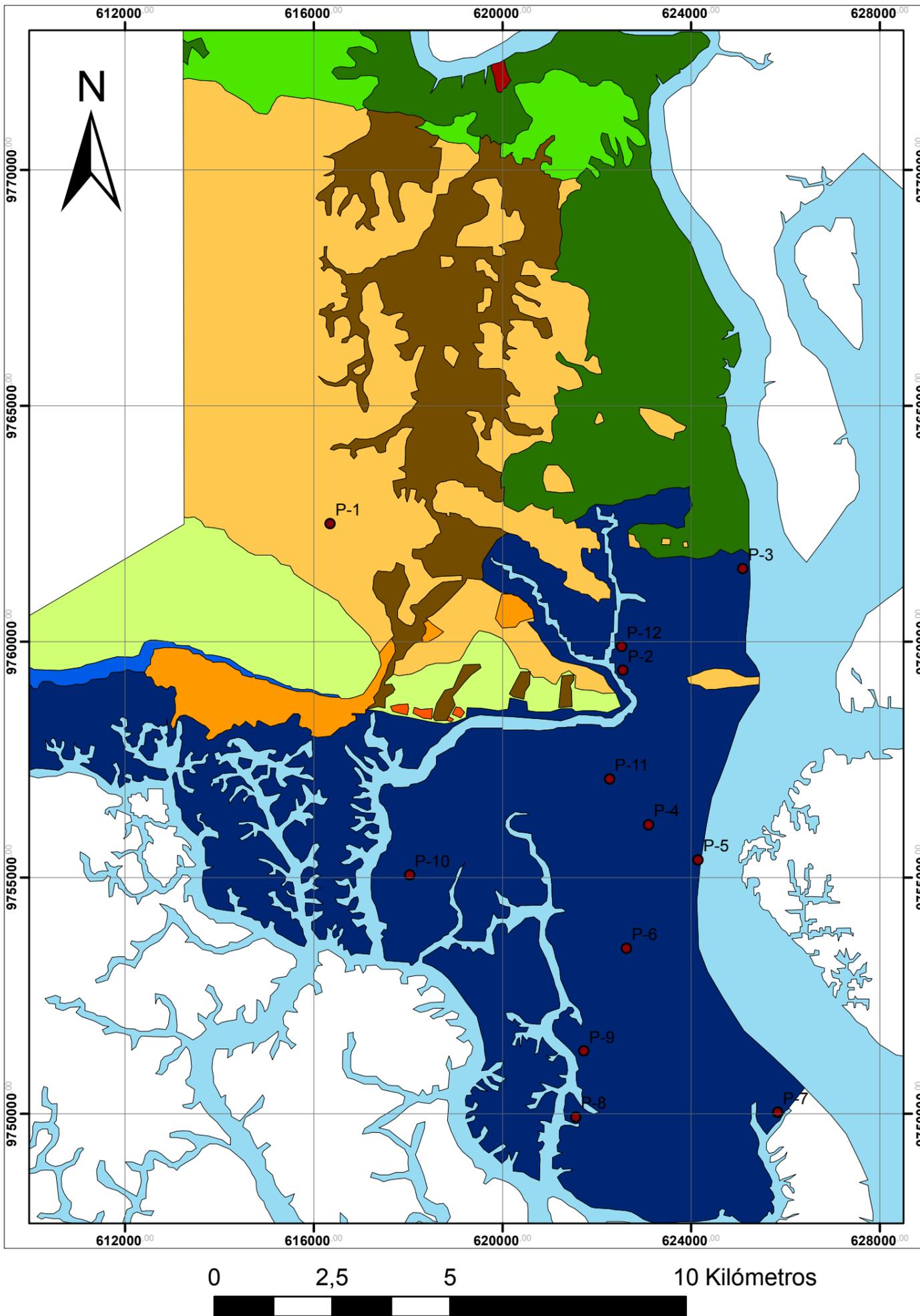
- Perforaciones
- No. LUGAR DE PERFORACIÓN**
- P-1 Espol
  - P-2 Estatal
  - P-3 Base Naval Norte
  - P-4 Centro Cívico
  - P-5 Astinave
  - P-6 Hospital Teodoro Maldonado
  - P-7 Esclusas
  - P-8 Base Naval Sur
  - P-9 Central Eléctrica Trinitaria
  - P-10 Policía Militar del Suburbio

### Difusividad del suelo, $\alpha$ (m<sup>2</sup>/día)

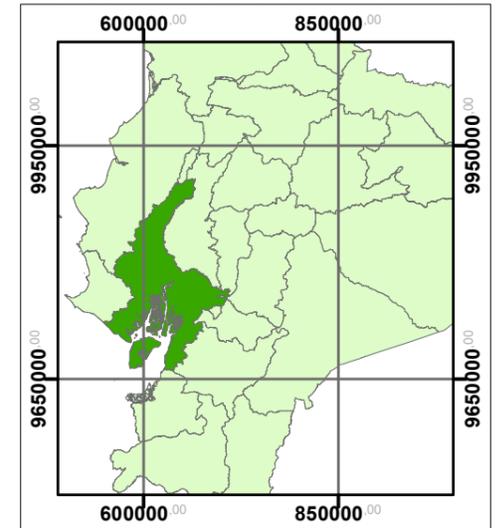
- 0,012 - 0,050: Medio
- 0,050 - 0,140: Alto
- 0,140 - 0,378: Muy Alto

 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL</b> Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra		
<b>MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE GUAYAQUIL</b>		
Contiene: <b>MAPA DE DIFUSIVIDAD DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL</b>		
Escala: 1:100.000	Fecha: Octubre 2014	Fuente: -Uso de Suelo como sumidero de calor para reemplazo de torres de enfriamiento/enfriadores evaporativos. Proyecto: INER-ESPOL. -Mapa Geológico: Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil. Autor: Stalin Benítez, et al.
Mapa modificado por: Tania Espinoza Yépez		Revisado por : Dra. Katthy López
Proyección Universal Transversa de Mercator UTM Datum Horizontal de Referencia: WGS84, Zona 17 Sur		

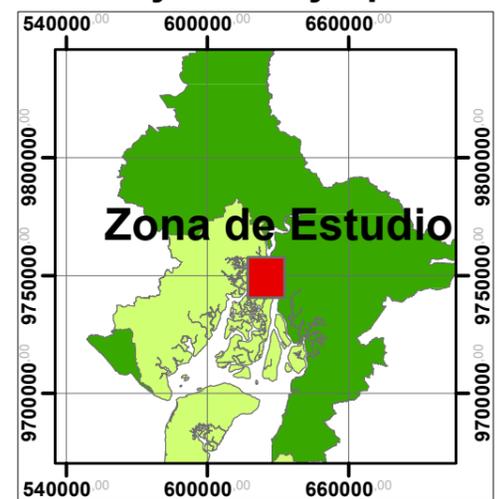
# MAPA GEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL



## Ubicación Geográfica Ecuador Continental



## Ubicación Geográfica Guayas-Guayaquil



## Leyenda Geológica

● Perforaciones

### Formación, Depósitos

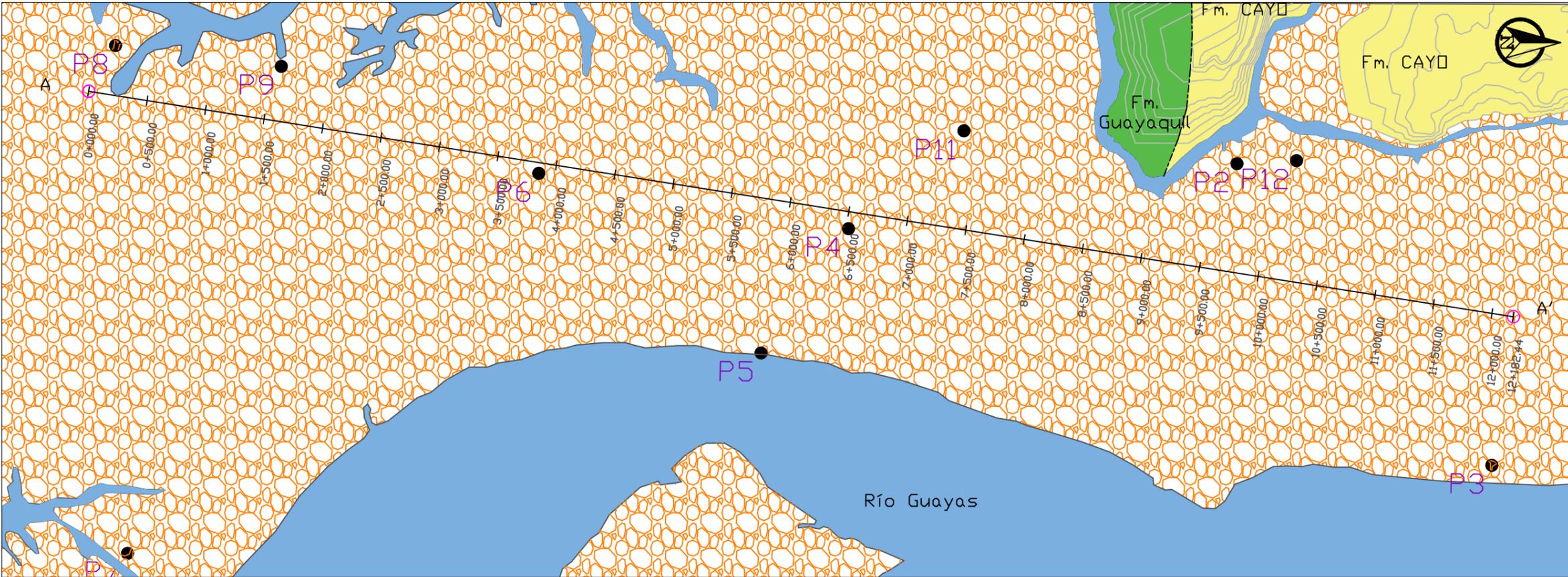
- Fm. Piñón
- Rocas graníticas indiferenciadas
- Fm. Cayo
- Fm. Guayaquil
- Fm. San Eduardo
- Grupo Ancón
- Depósitos Aluvial
- Depósitos Aluvio-lacustres
- Depósitos Coluvial
- Depósitos Deltaico-estuarino
- Río

## Simbología

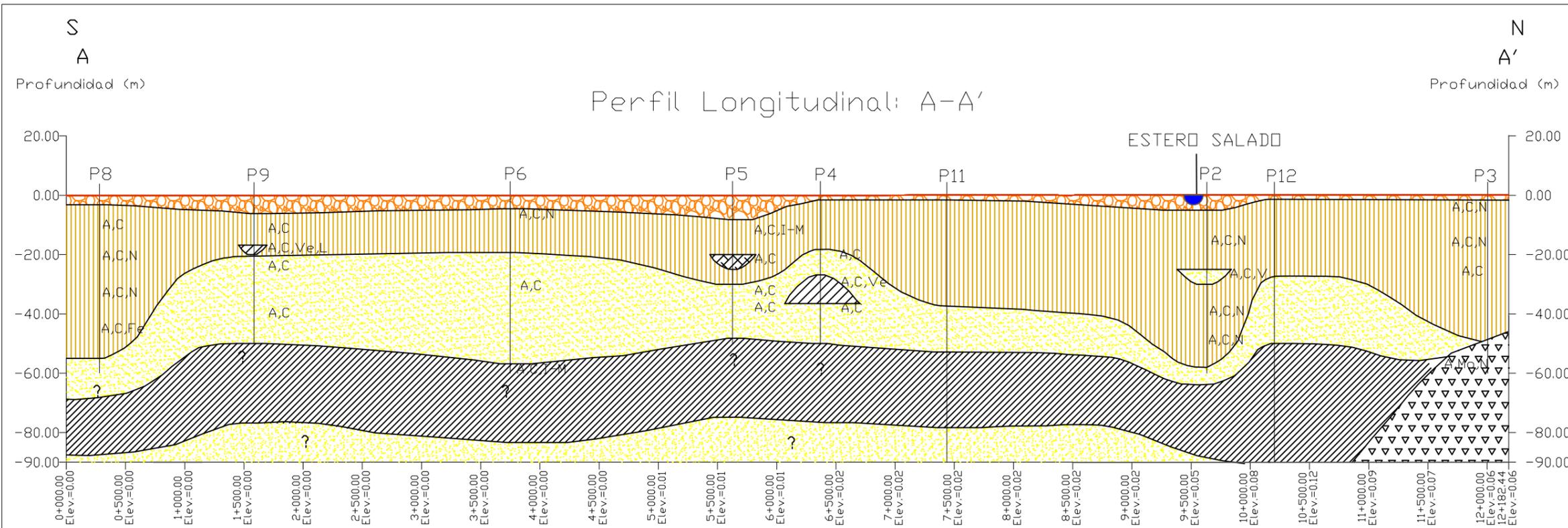
No.	Lugar de perforación
1	ESPOL
2	ESTATAL
3	BASE NAVAL NORTE
4	CENTRO CÍVICO
5	ASTINAVE
6	HOSPITAL
7	ESCLUSA
8	BASE NAVAL SUR
9	TRINITARIA
10	SUBURBIO MILITAR

 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL</b> Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra		
<b>MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE GUAYAQUIL</b>		
Contiene: <b>MAPA GEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL</b>		
Escala: 1:100.000	Fecha: Octubre 2014	Fuente: -Uso de Suelo como sumidero de calor para reemplazo de torres de enfriamiento/enfriadores evaporativos. Proyecto: INER-ESPOL. -Mapa Geológico: Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil. Autor: Stalin Benítez, et al.
Mapa modificado por: Tania Espinoza Yépez		Revisado por : Dra. Kathy López
Proyección Universal Transversa de Mercator UTM Datum Horizontal de Referencia: WGS84, Zona 17 Sur		

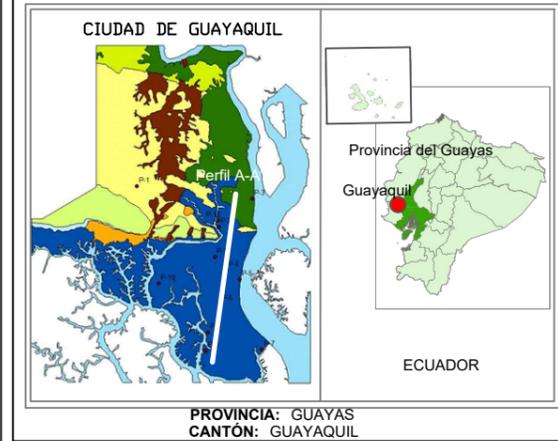
**ALINEAMIENTO A-A'**  
Perfil 1 / ESCALA H 1:40000



**PERFIL LONGITUDINAL A-A'**  
Perfil 1 / ESCALA H 1:40000 - V 1:1600



**UBICACIÓN**



PROVINCIA: GUAYAS  
CANTÓN: GUAYAQUIL

**MINERALOGÍA**

TECTOSILICATOS	FILOSILICATOS
Feldespatos	Esmectitas
A: Anortita	N: Nontronita
Sílice	V: Volkonskoita
C: Cuarzo	M: Micas, E: Esmectita
Zeolitas	I-M: Illita-Montmorillonita, M-E
L: Laumontita	Ve: Vermiculita, M
Mo: Mordenita	<b>INOSILICATO</b>
	Anfíbol
	Fe: Ferroactinolita

**LITOLOGÍA**

Suelos Deltaico-Estuarinos	
1 [diagonal lines] Arcilla	4 [orange circles] Relleno
2 [horizontal lines] Limo	5 [cross-hatch] Lignito
3 [yellow dots] Arena	
Rocas Sedimentarias	
1 [yellow] Formación Cayo	2 [green] Formación Guayaquil
3 [triangles] Brecha/ Cayo ss. Volcanoclastico	

**SIMBOLOGÍA**

[dashed line] Perfil	[wavy line] Curvas de Nivel
[black dot] Punto de Perforación	[question mark] Zona Inferida

**NOTAS**

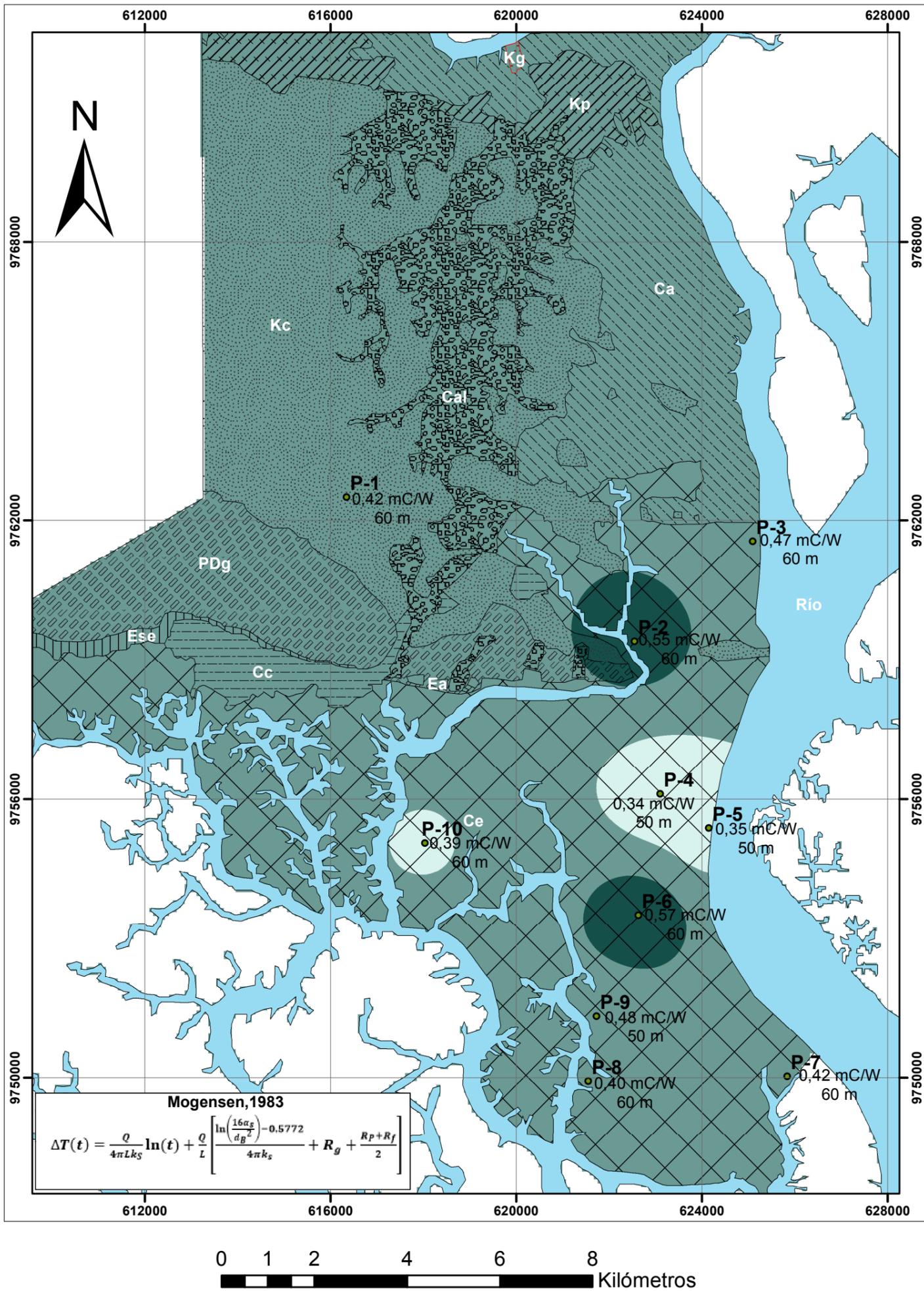
Perforación mediante rotación realizado en el proyecto "Estudio de Uso de Suelo como Sumidero de Calor para Reemplazo de Torres de Enfriamiento/Enfriadores Evaporativos". INER-ESPOL.  
-Curvas Topográficas: 1/50000, de la Hoja Topográfica de Guayaquil 1/50000.  
-Mapa Geológico. Estudios Geológicos. Municipalidad de Guayaquil.

	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL</b> FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA	
	TESIS PARA GRADUACION DE INGENIERIA EN GEOLOGIA:	

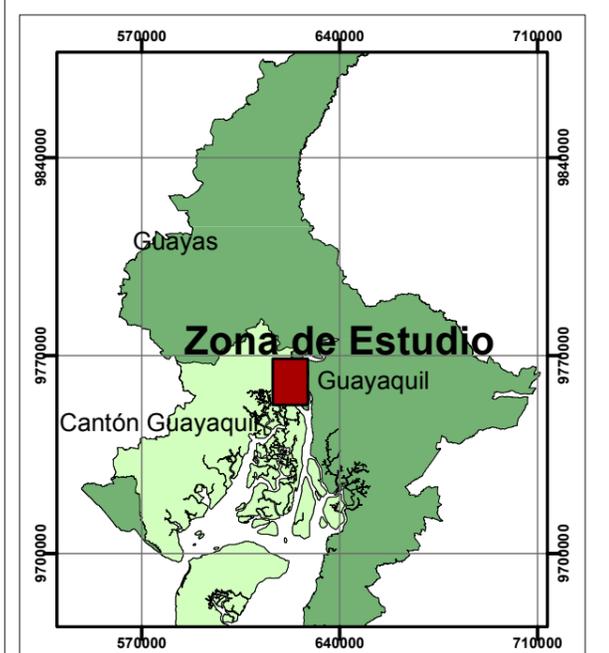
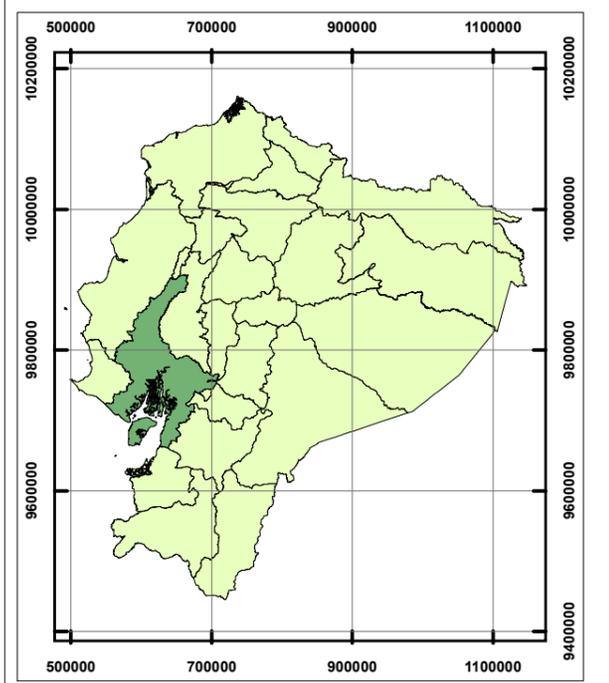
**MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE GUAYAQUIL.**

CONTIENE: <b>Vista en Planta: Geología Sur-Centro de Guayaquil y PERFIL LONGITUDINAL: A-A'</b>		
ELABORADO POR: Tania Espinoza	UBICACIÓN: GUAYAQUIL, GUAYAS, ECUADOR	
DIRIGIDO POR: Dra. Kathy López	PLANO No: 1/1	ESCALA: INDICADAS

# MAPA DE RESISTIVIDAD TÉRMICA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS DE GUAYAQUIL



## Ubicación Geográfica Ecuador-Guayaquil



- ### Leyenda Geológica
- Ca Depósitos y Formaciones
  - Río
  - Kp: Fm. Piñón
  - Kg: Rocas graníticas indiferenciadas
  - Kc: Fm. Cayo
  - PDg: Fm. Guayaquil
  - Ese: Fm. San Eduardo
  - Ea: Grupo Ancón
  - Ca: Depósitos Aluvial
  - Cal: Depósitos Aluvio-lacustres
  - Cc: Depósitos Coluvial
  - Ce: Depósitos Deltaico-estuarino

- ### Simbología
- Perforaciones
- ### No. LUGAR DE PERFORACIÓN
- P-1 Espol
  - P-2 Estatal
  - P-3 Base Naval Norte
  - P-4 Centro Cívico
  - P-5 Astinave
  - P-6 Hospital Teodoro Maldonado
  - P-7 Esclusas
  - P-8 Base Naval Sur
  - P-9 Central Eléctrica Trinitaria
  - P-10 Policía Militar del Suburbio
- ### Resistencia térmica de suelo, Rs (mC/W)
- 0,34 - 0,40: Medio
  - 0,40 - 0,50: Alto
  - 0,50 - 0,57: Muy Alto



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE LITORAL**  
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra



---

## MODELO GEOLÓGICO-TÉRMICO DE GUAYAQUIL

---

Contiene: **MAPA DE RESISTIVIDAD DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL**

Escala: 1:100.000	Fecha: Octubre 2014	Fuente: -Uso de Suelo como sumidero de calor para reemplazo de torres de enfriamiento/enfriadores evaporativos. Proyecto: INER-ESPOL. -Mapa Geológico: Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil. Autor: Stalin Benítez, et al.
Mapa modificado por: Tania Espinoza Yépez		Revisado por: Dra. Kathy López

Proyección  
Universal Transversa de Mercator UTM  
Datum Horizontal de Referencia:  
WGS84, Zona 17 Sur