

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA  
RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA  
INGENIERIA GEOLÓGICA**



**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA AMBIENTAL POR CONTAMINACIÓN CON  
HIDROCARBUROS EN UNA ESTACION DE SERVICIO UBICADA EN EL KM 4½  
BARRIO SANTA CLARA, CARRETERA PANAMERICANA NORTE,  
DEPARTAMENTO DE MANAGUA”.**

**MONOGRAFIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA  
GEÓLOGA**

PRESENTADO POR:

**Br. Andrea Yahoska Arias Monterrey**

TUTOR:

**Dr. William Martínez Bermúdez**

ASESOR:

**MSc. María Elena López**

**Managua, Febrero 2017**

## DEDICATORIA

Dedico esta monografía a Dios, quien ha cambiado mi vida por completo, quien a cada momento de la realización de este trabajo estuvo conmigo dándome la fuerza, la gracia y la sabiduría para poder culminarlo.

Gracias Dios, porque me has enseñado que:

***“Con Dios, lo imposible no existe...”***

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi mayor y más grande bendición, mi Madre, **Lourdes Monterrey** por su apoyo incondicional a cada momento de mi vida, por afirmarme siempre y ser mi mejor cómplice en mis sueños, por sus consejos y amor. A mi pequeña princesita **Angell Nikolle** por todo su cariño.

A mi tutor **Dr. William Martínez** por su apoyo y orientación a lo largo de esta tesis y a mi asesora **MSc. María Elena López** con quien estoy sumamente agradecida por que ha sido quien me ha apoyado en todo momento y ha tenido siempre la disposición de ayudarme, gracias **MSc. López** por su confianza y por cada corrección que sin duda alguna vinieron a formar muchas cosas en mí.

Al **Ing. Efraín López** por permitirme realizar este trabajo monográfico en la Empresa que dirige, **Environmental Protection & Control (EPC)** donde recibí los recursos, equipos y todos los materiales necesarios que me llevaron a dar inicio y culminación de esta tesis.

Agradezco de manera muy especial a **MSc. Gema Velásquez** de quien he aprendido mucho, gracias maestra por toda la paciencia todos estos años, por la confianza depositada en mí y por brindarme su amistad.

**Josué**, gracias por cada palabra de ánimo todo este tiempo y por compartir tus conocimientos. Agradezco a mis tan especiales amigas; **Iris, Xiomara, Rixis y Raysa**, gracias chicas porque siempre estuvieron ahí recordándome que podía lograrlo, las quiero.

**Fhernanda**, gracias por haber estado conmigo animándome en los momentos difíciles y tener siempre una palabra de afirmación para mí.

Son muchas las personas que en el transcurso de este trabajo monográfico estuvieron presentes a través de cada palabra de ánimo, afirmación, a través de cada acción donde mostraron todo el cariño hacia mi persona, realmente estoy muy agradecida con Dios porque cada una ha aportado grandes cosas a mi vida y me han bendecido en gran manera, de todo corazón, Gracias!!!.

## RESUMEN

Debido a una filtración generada por corrosión en los tanques soterrados y en unas líneas de conducción a surtidoras (bombas de despacho) en una estación de servicio ubicada en el Barrio Santa Clara en el Municipio de Managua, fue necesario dar respuesta a este incidente, por lo cual fue de vital importancia evaluar las condiciones geológicas, hidrogeológicas y geoquímicas para conocer y delimitar el área afectada determinando la concentración, migración y distribución de los contaminantes derivados del petróleo.

Para ello, se realizó la Caracterización Geológica Ambiental en el sitio, siguiendo la metodología adecuada. Se llevó a cabo un reconocimiento geológico e hidrológico en los alrededores del área, se perforaron 9 sondeos mecanizados partiendo de la ubicación de sondeos previos y los resultados químicos de las muestras obtenidas.

Se obtuvieron un total de 150 muestras para análisis de compuestos orgánicos volátiles en campo como parámetro indicador, encontrándose en 7 sondeos valores por encima del valor guía (100 ppm), en toda la columna de los pozos. En los análisis de laboratorio realizados a 26 muestras se determinaron concentraciones de BTEX y TPH (GRO y DRO) a profundidades variables en 7 de los 9 sondeos.

De la interpretación integral de los datos geológicos, hidrogeológicos y geoquímicos se delimitó un área de afectación de 191 m<sup>2</sup>, lo que permitió definir el volumen de suelo impactado con hidrocarburos de 1,446 m<sup>3</sup>. Evaluadas las condiciones del sitio y las concentraciones de los contaminantes presentes en el área se analizaron dos técnicas de remediación de acuerdo a las características del medio; proponiendo la alternativa más idónea como es la Oxidación Química In Situ (ISCO por sus siglas en inglés) para lograr alcanzar los límites de limpieza del subsuelo, según las normativas estándares empleadas en Nicaragua.

## Contenido

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos .....	2
1.1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivos específicos .....	2
1.2. Localización y acceso.....	2
1.3. Características del Municipio de Managua .....	4
1.3.1. Población.....	4
1.3.2. Clima, temperatura y precipitación.....	4
1.3.3. Suelo .....	5
1.3.4. Vegetación.....	7
1.4. Antecedentes .....	8
1.5. Planteamiento del problema .....	13
1.6. Justificación.....	14
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
2.1. Aspectos geológicos en la caracterización de sitios contaminados .....	15
2.1.1. Estratigrafía .....	15
2.1.2. Geología estructural .....	15
2.2. Fundamentos Básicos de Hidrogeología .....	16
2.2.1. Permeabilidad (K) .....	19
2.2.2. Gradiente Hidráulico: ( $\Delta h/l$ ).....	22
2.2.3. Gradiente Hidráulico Ambiental .....	23
2.3. Perforaciones Mecanizadas .....	23
2.4. Características de los Hidrocarburos .....	23
2.4.1. Comportamiento de los Hidrocarburos en el subsuelo.....	24
2.4.2. Factores que intervienen en el transporte y distribución de los contaminantes .....	25
2.4.3. Características de los Hidrocarburos Totales de Petróleo .....	27
2.4.4. Características de los contaminantes BTEX .....	28
2.4.5. Efectos de los BTEX en la salud.....	28
2.5. Técnicas de remediación implementadas en sitios contaminados.....	29

<b>III. GEODINÁMICA GENERAL DE LA DEPRESIÓN DE NICARAGUA .....</b>	<b>30</b>
3.1. El Graben de Managua .....	31
3.2. Fallas Activas en el Área de Managua.....	32
3.3. Principales Unidades Estratigráficas.....	35
<b>IV. HIDROLOGÍA GENERAL.....</b>	<b>38</b>
4.1. Hidrogeología de Managua .....	39
<b>V. DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>41</b>
Etapa 1. Trabajo de Gabinete .....	41
Etapa 2. Trabajo de campo .....	43
a. Perforación manual (pre-drilling).....	43
b. Perforación mecanizada .....	43
c. Obtención de muestras para medición de COV .....	45
d. Selección de muestras.....	45
Etapa 3. Análisis e interpretación de datos de campo y laboratorio.....	46
<b>VI. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>
6.1. Geología del área de estudio.....	47
6.2. Descripción de los sondeos.....	49
6.3. Hidrogeología del Sitio .....	51
6.3.1. Gradiente Hidráulico .....	51
6.4. Determinación de la permeabilidad (K).....	54
6.5. Compuestos Orgánicos Volátiles (COV`s) medidos en campo .....	56
6.6. Resultados de Hidrocarburos en muestras de suelo.....	57
6.7. Propiedades Fisicoquímicas y Microbiológicas del Suelo. ....	62
6.8. Comportamiento geoquímico del Hidrocarburo.....	65
6.9. Procesos en la Infiltración y Transporte del Hidrocarburo.....	65
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
Conclusiones .....	72
Recomendaciones .....	73
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>74</b>

**ANEXO 1 PROPUESTA DE REMEDIACIÓN**

**ANEXO 2 DESCRIPCIÓN DE SONDEOS**

**ANEXO 3 REPORTE DE LABORATORIO IAG**

**ANEXO 4 REPORTE DE LABORATORIO LAQUISA**

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio.....	3
Figura 2. Zonas bioclimáticas de Managua.....	4
Figura 3. Croquis de sub grupos Taxonómicos de suelo del Municipio de Managua .....	6
Figura 4. Plano con ubicación de sondeos realizados en el año 2012 y pluma de afectación obtenida.....	11
Figura 5. Plano con ubicación de sondeos realizados en el año 2013 y la pluma de afectación obtenida.....	12
Figura 6. Esquema de un acuífero.....	16
Figura 7. Esquema de acuífero libre .....	17
Figura 8. Acuífero semi confinado .....	17
Figura 9. Acuífero confinado.....	18
Figura 10. Ilustración de las mediciones durante el Ensayo de Lefranc a nivel variable .....	22
Figura 11. Modelo conceptual del proceso de migración y dispersión del hidrocarburo en el Subsuelo .....	25
Figura 12. Esquema de mecanismo de sorción .....	26
Figura 13. Terreno de la Depresión de Nicaragua y las Principales Estructuras Tectónicas activas.....	30
Figura 14. Principales volcanes activos que conforman el frente volcánico. ....	32
Figura 15. Mapa Geológico Estructural del Área de Managua. ....	34
Figura 16. Columna estratigráfica de las unidades que conforman el área de Managua .....	37
Figura 17. Mapa de cuencas de Nicaragua .....	39
Figura 18. Sistema Acuífero de Managua, dividido en tres sub acuíferos: Acuífero Occidental, Acuífero Central y Acuífero Oriental .....	40
Figura 19. Plano con ubicación de los sondeos realizados .....	42
Figura 20. Ubicación tectónica del área de estudio.....	48

Figura 21.Descripción del sondeo 12.....	50
Figura 22.Gráfico de cálculo de Gradiente.....	53
Figura 23.Gráfico de ensayo de permeabilidad.....	55
Figura 24. Plano con principales contaminantes encontrados en el sitio.....	59
Figura 25. Pluma de afectación por BTEX y TPH en la matriz suelo.....	60
Figura 27. Perfil SW- NE mostrando la Pluma de afectación TPH en la matriz suelo .....	70
Figura 28. Perfil W- E mostrando la Pluma de afectación por TPH .....	71

### **INDICE DE CUADROS**

Cuadro 1. Valores promedios de Permeabilidad de Suelo .....	20
Cuadro 2. Fracciones de Hidrocarburos Totales de Petróleo.....	28
Cuadro 3. Resultados obtenidos de la prueba de permeabilidad .....	55
Cuadro 4. Valores de compuestos orgánicos volátiles medidos en campo .....	56
Cuadro 5. Resultados analíticos de Laboratorio .....	61
Cuadro 6. Resultados de parámetros físico químicos y microbiológicos .....	62

### **INDICE DE FOTOS**

Foto 1. Fosa excavada en extracción de tanques.....	10
Foto 2. Extracción de tanques en la estación de servicio.....	10
Foto 3. Perforadora Power Probe 9700 - VTR .....	43
Foto 4.Liners usados para la toma de muestras inalteradas. ....	44
Foto 5.Hollowstem Auger utilizado para instalación de pozos en una perforación .....	45
Foto 6. Prueba de permeabilidad.....	54
Foto 7. Fosa excavada en extracción de tanques.....	66

---

## I. INTRODUCCIÓN

Nicaragua y más específicamente el área de Managua, presenta una geodinámica activa, donde los rasgos morfotectónicos y lito estratigráficos ejercen un estricto control en el patrón de migración y dispersión de un contaminante infiltrado en el subsuelo. El impacto ambiental por desechos líquidos infiltrados en el subsuelo sería mínimo si se ubicara este tipo de actividad en terrenos geológicamente adecuados, que no permitan el transporte y migración de los contaminantes, ya que al momento de un derrame o una fuga en el suelo pueden llegar a afectar un área extensa del subsuelo hasta llegar y afectar acuíferos importantes.

Cuando se logra identificar un derrame de hidrocarburos y la fuente primaria de la contaminación, se deben llevar a cabo las acciones pertinentes para conocer el impacto de su migración y las posibilidades de saneamiento del subsuelo. Para ello, es necesario realizar una exhaustiva caracterización geológica ambiental con la finalidad de conocer a detalle las condiciones in situ, naturaleza de los materiales del subsuelo y las condiciones hidrológicas como la permeabilidad, el gradiente hidráulico semi regional, para dimensionar la pluma contaminante y con base en las características geológicas, hidrogeológicas y geoquímicas, proponer las mejores alternativas de remediación para el saneamiento del sitio afectado.

Debido a la infiltración de hidrocarburos ocurrida en dos fuentes identificadas, se realizó la investigación denominada “Caracterización Geológica Ambiental por Contaminación con Hidrocarburo en una estación de servicio ubicada en el Barrio Santa Clara en el km 4 ½ Carretera Panamericana Norte, Departamento de Managua”; con el apoyo de la Empresa **Environmental Protection & Control, S.A.**, conocida comercialmente como **EPC**.

Este documento presenta los resultados obtenidos de campo y laboratorio definiéndose un área afectada por hidrocarburos de 191m<sup>2</sup> con espesores variables, que permitió definir la técnica de remediación más adecuada a las condiciones geológicas, hidrogeológicas y geoquímicas del sitio.

---

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

- Evaluar las condiciones geológicas que permitan la identificación y localización del área afectada por contaminación con hidrocarburos

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Identificar a escala local las estructuras geológicas (fallas, fracturas, discontinuidades en el terreno) y naturaleza de los estratos
- Determinar el gradiente hidráulico semi regional que incide en el patrón de migración y dispersión del contaminante en el medio
- Delinear la pluma del contaminante y proponer la medida de remediación adecuada, de acuerdo a las condiciones geológicas, hidrogeológicas y geoquímicas

## **1.2. Localización y acceso**

El área de estudio se localiza en el sector Noreste de la ciudad de Managua capital de Nicaragua, Carretera Panamericana Norte, en la parte central del Distrito 4 (Figura 1), cubre un área aproximada de 1,847 m<sup>2</sup> comprendida en la hoja topográfica de Nindirí 2952-II a escala 1:50,000, editada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 2006). Las coordenadas UTM WGS84 de referencia del sitio son 583730E-1343210N.

Existen 4 vías principales de acceso a la ciudad de Managua:

- 1) Carretera Panamericana Sur
- 2) Carretera Masaya-Managua
- 3) Carretera Panamericana Norte
- 4) Carretera León-Managua



Figura 1. Localización del área de estudio: **A.** Mapa de Managua y sus distritos **B.** Distrito cuatro de Managua **C.** Área de estudio

### 1.3. Características del Municipio de Managua

#### 1.3.1. Población

La población del Municipio, de acuerdo a las cifras estimadas por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE, 2015) es de 1, 480,270, siendo el que cuenta con mayor cantidad poblacional de Nicaragua.

#### 1.3.2. Clima, temperatura y precipitación

El Municipio de Managua presenta un clima un poco variado definiéndose tipo Tropical de Sabana en casi toda la región (Figura 2), excepto en el área de las Sierras de Managua que se clasifica como clima Tropical de altura (Velásquez, 2011). El Municipio se caracteriza por temperaturas altas todo el año, que van desde 27°C hasta 32°C. La precipitación anual promedio es de 1,125 milímetros.

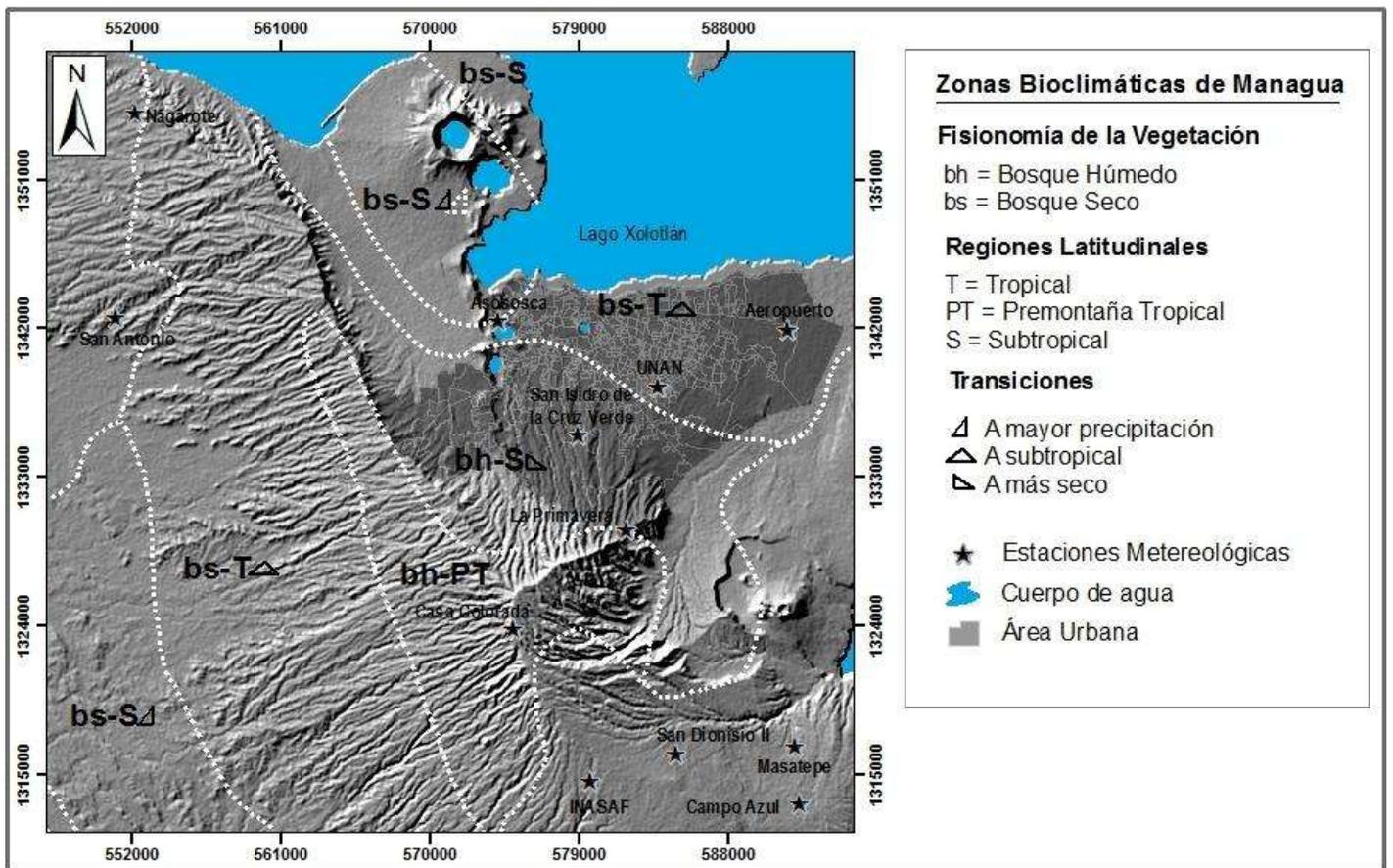


Figura 2. Zonas bioclimáticas de Managua (Velásquez, 2011)

---

### **1.3.3. Suelo**

La actividad volcánica del Cuaternario dio como resultado el origen de los suelos del Municipio de Managua (Figura 3), los cuales difieren en su grado de desarrollo en función de la época de deposiciones de los mismos (Castillo, 1992), a continuación se describen

#### **a) Suelos de desarrollo reciente**

Estos suelos se caracterizan por tener un perfil de tipo A-C, con un epipedón Ócrico. El horizonte "C" es de espesor variable, con textura gruesa en todo el perfil, es más claro, presenta incremento significativo en arena y una disminución en materia orgánica; taxonómicamente corresponde al orden de los entisoles, dentro del sub-grupo de los Typic Ustortents. La capa superior "A" presenta colores oscuros debido a la presencia de materia orgánica, con estructura granular de poca estabilidad y desarrollo (Castillo, 1992).

#### **b) Suelos de desarrollo Incipiente**

Estos suelos aunque presentan un perfil A-C muestran un epipedón Móllico y una característica genética muy importante como es el de contener material amorfo (Alofán) en la fracción arcilla. Taxonómicamente pertenece a los inceptisoles derivados de la ceniza volcánica, correspondiente al sub-orden de los Andepts y al sub-grupo de los Mollic Vitrandepts. Son correlacionados con los regosoles de la clasificación de Baldwin y corresponden a la serie de suelos Sabana Grande y Los Brasiles (Castillo, 1992).

#### **c) Suelos de desarrollo Juvenil**

En estos suelos el grado de desarrollo es más avanzado respecto a los anteriores por la presencia de un horizonte Cámbico de estructura bastante definida y estable, de coloración clara, diferenciándose del epipedón Móllico. Taxonómicamente corresponden al orden de los Inceptisoles clasificado como Eutrandspts y Durandspts (taxonomía Americana) (Castillo, 1992).

A continuación se mencionan los sub grupos:

- Typic Eutrandepts
- Typic Durandepts
- Vertic Haplustolls
- Typic Durustolls
- Duric Haplustolls
- Typic Haplquolls
- Lithic Vertic Haplaquolls

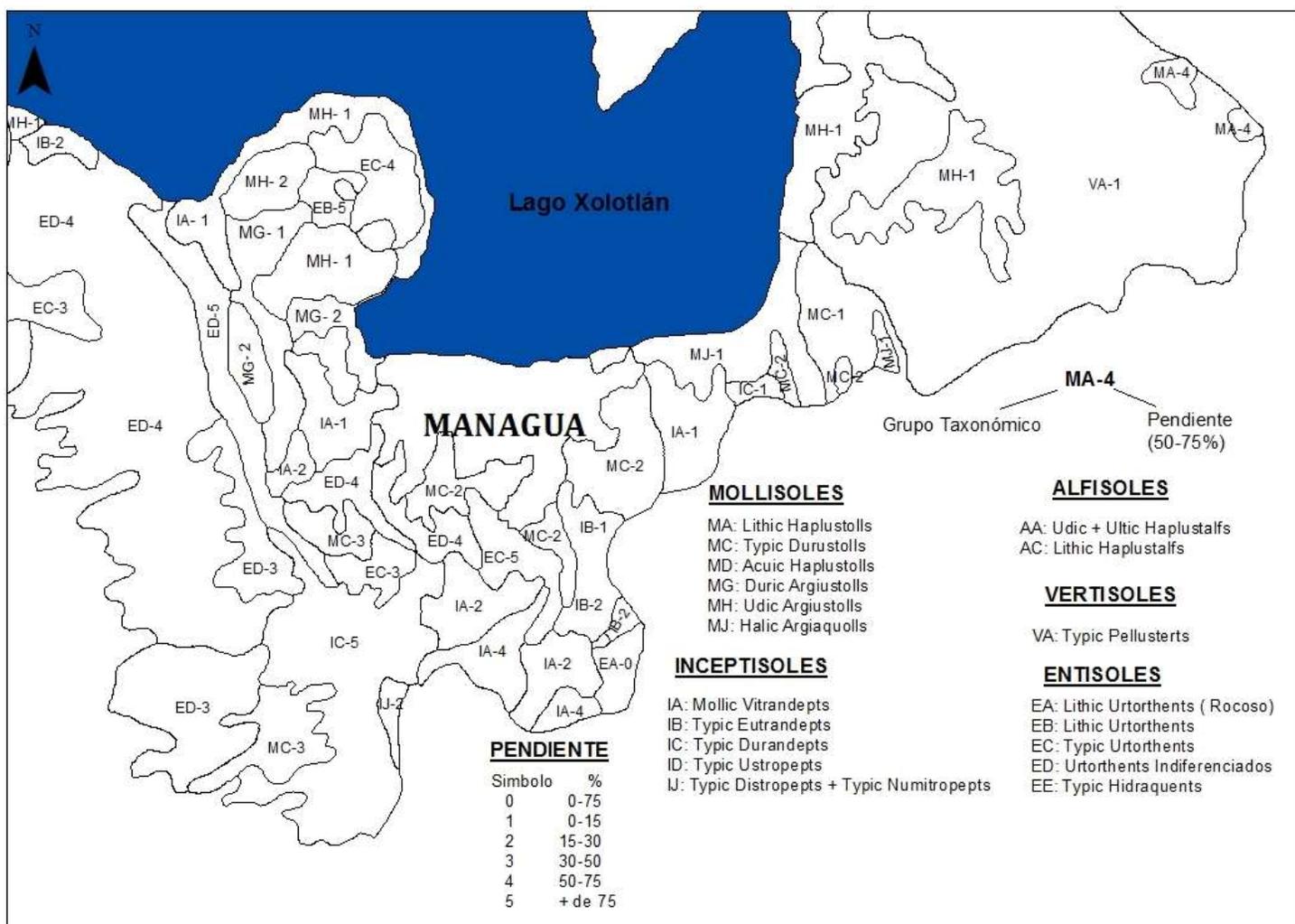


Figura 3. Croquis de sub grupos Taxonómicos de suelo del Municipio de Managua (Escaneado y modificado de Castillo 1992)

---

### **1.3.4. Vegetación**

La vegetación en Nicaragua está compuesta por los árboles emergentes de más de 50 m de altura y árboles vasculares con un promedio de 30 m que forman el techo del bosque. El Departamento de Managua presenta áreas protegidas como la Reserva Natural; Laguna de Asososca, Laguna de Tiscapa, Laguna de Nejapa, Península de Chiltepe y El Chocoyero (IEA- MARENA, 2001).

#### **a. Bosques bajos o medianos caducifolios**

Este tipo de vegetación cubre las partes bajas a orillas del Lago Xolotlán al Norte de la ciudad de Managua. Asimismo, este tipo de vegetación natural es el que corresponde a casi toda la Península de Chiltepe en la cual solamente en las partes altas la vegetación es de tipo perennifolio con clima fresco y moderadamente húmedo. De estos bosques caducifolios solamente quedan fragmentos de los mismos encontrándose matorrales y árboles esparcidos del bosque deciduo o macrotérmico original (Pereira, 2007).

#### **b. Bosques bajos o medianos sub- caducifolios**

Este tipo de vegetación cubre parte de la Cuenca Sur del Lago de Managua comprendido entre 55 y 200 m.s.n.m. La zona de este ecosistema es levemente más fresca que las partes más cercanas al lago. La precipitación pluvial es un poco más alta y el porcentaje de la humedad relativa es bastante alto durante todo el año, con promedio anual cerca del 80% con oscilaciones mensuales entre 70% y 90%, permitiendo a las especies arborescentes defenderse bastante bien durante los meses cuando la sequía es severa (Pereira, 2007).

#### **c. Bosques medianos sub-caducifolios**

La flora natural de este tipo de vegetación se presenta en algunos poblados como Ticuantepe, San Isidro de la Cruz Verde, San Isidro de las Bolas, Chiquilistagua, Nejapa, Pochocuape y Monte tabor (Pereira, 2007).

---

#### **d. Bosques altos perennifolios**

Este es un ecosistema relativamente pequeño comprende las franjas que se encuentran a una altura entre 500 - 850 m.s.n.m. La ciudad de Managua presenta vegetación de todo tipo proveniente de la repoblación natural, donde figuran especies nicaragüenses y especies introducidas de diversos países del mundo. Las especies faunísticas se distribuyen de acuerdo a la vegetación, lo que se determina por la elevación con respecto al nivel del mar, entre las especies coexistentes en la zona urbana se observan garrobos, zanates, garzas, entre otros. Otro tipo de fauna se reubicó en las Sierras de Managua (El Crucero, Las Nubes), con especies como Tucanes, Loros, Chocoyos, Boas, falsos Corales, ranas de ojos rojos (ALMA, 2003).

#### **1.4. Antecedentes**

Como parte de revisiones periódicas que se efectúan en las estaciones de servicio a nivel nacional, se realizan pruebas de hermeticidad para conocer el estado de las tuberías de conducción de combustible y tanques de almacenamiento. Por tanto, en el año 2010, se realizó una prueba de hermeticidad en el área de estudio, para conocer el estado en el que se encontraban las tuberías de conducción y los tanques de almacenamiento.

Debido a que se presentó una falla en una tubería, una de las petroleras asentadas en el país solicitó a **Environmental Protection & Control, S.A (EPC)**, realizar diferentes monitoreos para definir el área de afectación a diferentes profundidades en el sitio de interés, por lo que a partir de los resultados de la prueba de hermeticidad donde se detectaron fallas en 2 tramos de la tubería de combustible, se realizó un muestreo de suelo superficial colectándose 4 muestras de suelo. La muestra tomada a 3.0 m de profundidad presentó valores por encima de los límites de referencia para suelos de uso residencial de la Norma Oficial Mexicana (NOM-138-SEMARNAT-2003) para dos de las tres fracciones de hidrocarburos del petróleo (GRO y DRO)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> GRO: Rango orgánico de gasolina  
DRO: Rango orgánico de Diesel.

---

En el año 2011, se llevó a cabo nuevamente la prueba de hermeticidad al tramo de tubería de gasolina regular en la que se determinaron puntos de pérdida de presión. En esta prueba se colectaron 2 muestras de suelo a 0.5 m del piso de la zanja abierta de las tuberías y fueron enviadas al laboratorio para análisis de BTEX<sup>2</sup> y TPH's<sup>3</sup> totales. Una de esas muestras (MSC<sup>4</sup>-1) que se colectó a 6.8 m, presentó valores por encima de los límites de referencia para Benceno (19 mg/kg) y Xilenos Totales (130 mg/kg).

Debido a que la afectación en el muestreo realizado en el 2011 se encontró a mayor profundidad, fue necesario realizar un cambio en las facilidades soterradas (tanques y tuberías), por lo que en el año 2012 se llevó a cabo la Auditoría de Extracción de Tanques (TEA<sup>5</sup> por sus siglas en inglés), con la finalidad de conocer las condiciones del subsuelo (Foto 2). Se obtuvieron muestras de las paredes de la fosa excavada con dimensiones de 27.0 m en el sentido E-W, 11.50 m en el sentido N-S y hasta 2.70 m de profundidad desde la superficie (Foto 1).

En este mismo año se perforaron 5 sondeos (PMSC-1, PMSC-2, PMSC-3, PMSC-4 y PMSC-5) a 18.0 metros de profundidad para conocer y delimitar el área afectada, de los cuales solamente dos de ellos PMSC<sup>6</sup>-1 y PMSC-2 presentaron afectación entre los 5.0 y los 10.0 metros. Se determinó la mayor afectación por gasolina y diésel en un área promedio de aproximadamente 137 m<sup>2</sup> (Figura 4). Dado que con estos cinco sondeos no existía la certeza del área contaminada, en el año 2013 se perforaron otros cinco (5) sondeos (PMSC-6, PMSC-7, PMSC-8, PMSC-9 y PMSC-10) en los alrededores de la pluma previamente determinada, con la finalidad de tener un mayor conocimiento de la migración y extensión del contaminante (Figura 5). Dos de los cinco sondeos presentaron concentraciones de hasta 11,900 mg/kg de diésel, valor por encima de la norma establecida para uso de suelo residencial de 1,200 mg/kg. Se determinó que el contaminante había alcanzado una profundidad de 14 m.

---

<sup>2</sup> BTEX: Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno.

<sup>3</sup>TPH: Hidrocarburos Totales de Petróleo

<sup>4</sup> MSC: Muestra Santa Clara

<sup>5</sup> TEA: Tank Extraction Audit

<sup>6</sup> PMSC: Pozo de Monitoreo Santa Clara

---

La afectación en el PMSC-8 estaba dada por la presencia de la fracción media (DRO) de hidrocarburo producto de la infiltración de una de las fuentes (tubería de conducción) en la parte sur de la estación de servicio.



**Foto 1. Fosa excavada en extracción de tanques**



**Foto 2. Extracción de tanques en la estación de servicio**

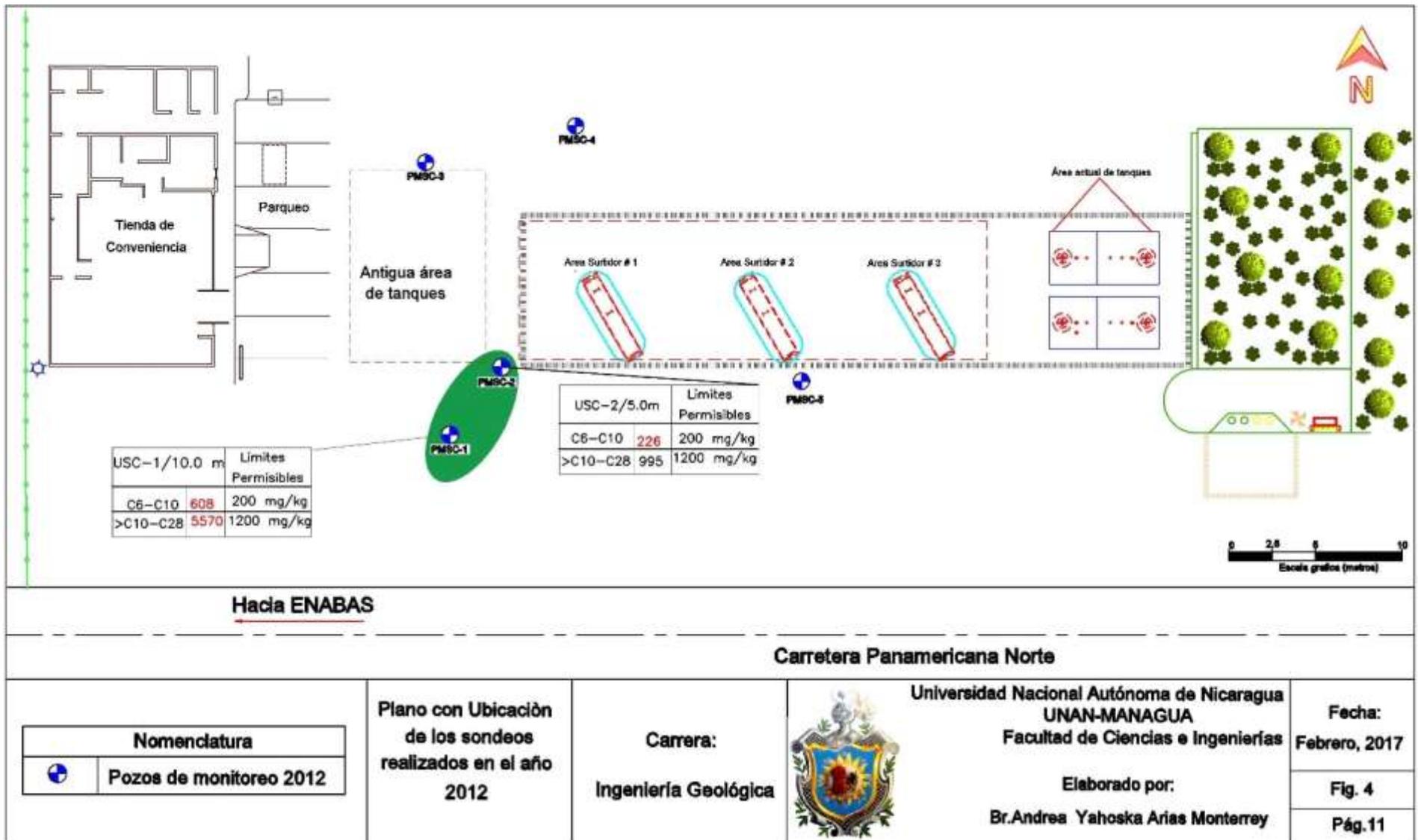


Figura 4. Plano con ubicación de sondeos realizados en el año 2012 y pluma de afectación obtenida

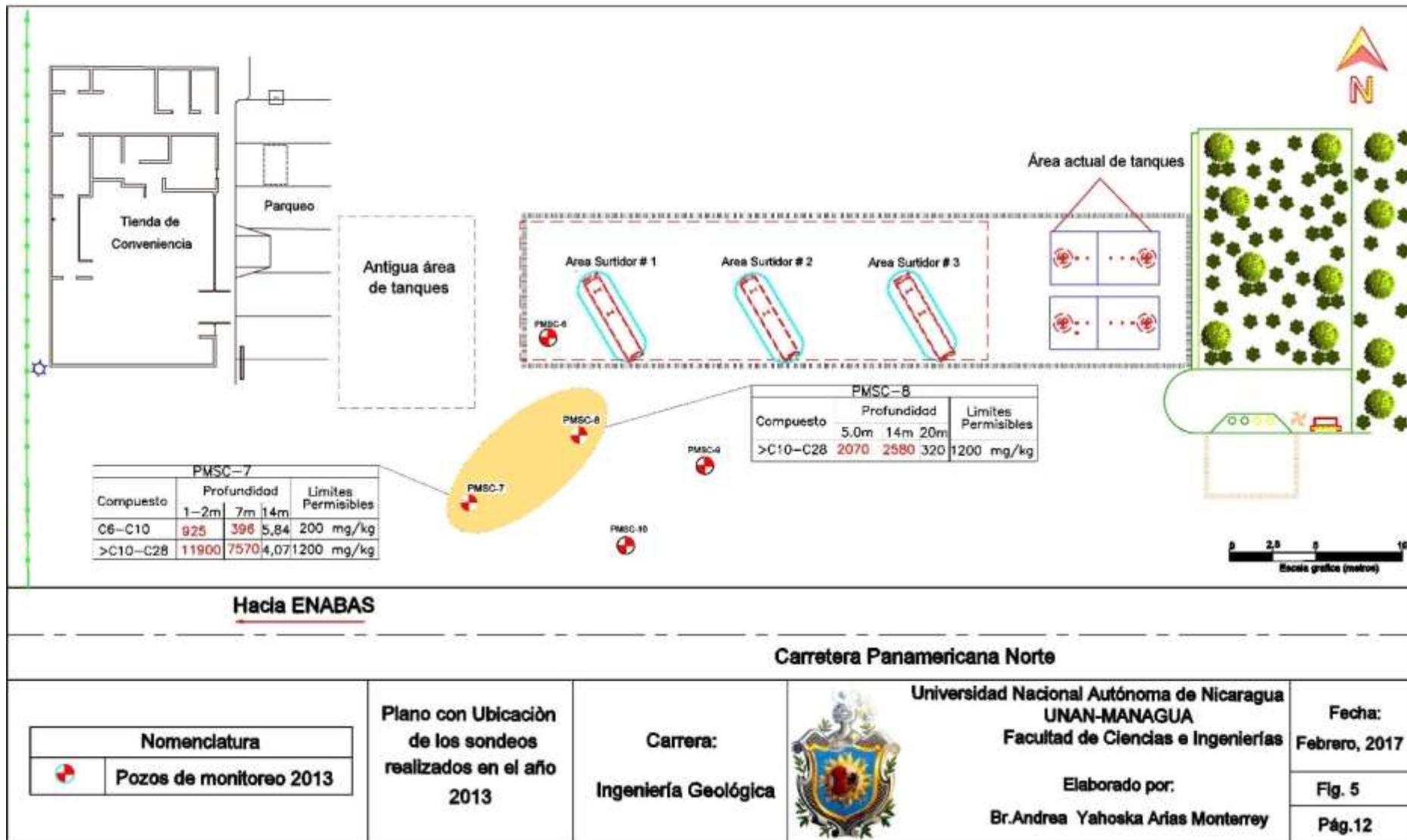


Figura 5. Plano con ubicación de sondeos realizados en el año 2013 y la pluma de afectación obtenida

---

## 1.5. Planteamiento del problema

Managua, capital y principal ciudad de densidad poblacional en Nicaragua, con su crecimiento ha traído consigo demanda de orden económico y social, uno de ellos es el aumento del parque vehicular, que ha generado mayor consumo de combustible y por tanto el incremento en el número de estaciones de servicio. Sin embargo, a pesar de este incremento, hay poco control en cuanto a la ubicación de estas ya que tienden a establecerse en lugares inadecuados, como zonas vulnerables a incidentes de derrames o infiltración.

Debido a la geodinámica activa del área de Managua, la hace muy susceptible a impactos ambientales; por tanto los lugares de almacenamiento y manejo de hidrocarburos a pesar de toda la tecnología y las medidas de seguridad con la que pudieran contar, una fuga o un derrame, tiene consecuencias en el subsuelo afectando el agua subterránea, de vital importancia en el área de Managua.

Dependiendo de las condiciones geológicas del sitio y de los procesos de transporte de los contaminantes estos pueden alcanzar el agua subterránea, produciendo afectación de las mismas. Algunos componentes de la gasolina como el Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno tienen la característica química de volatilidad y el Benceno la peculiaridad de ser cancerígeno.

Es importante señalar que a pesar que existe la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense, para las estaciones de servicio NTON 14 002 – 03 desde el año 2002, esta no era de estricto cumplimiento y por ende no se realizaban los estudios bases exigidos en el Artículo 5.2 de esta normativa, como son los estudios geotécnicos, riesgo sísmico y geológico para la planificación adecuada del uso del terreno y la ubicación de edificaciones críticas como son las estaciones de servicio.

Por ello, es de vital importancia evaluar las condiciones geológicas e hidrogeológicas en el sitio de estudio para conocer y delimitar el área que ha sido afectada por infiltración de hidrocarburo y de esta manera recomendar las medidas correctivas pertinentes para sanear el subsuelo aplicando una técnica de remediación adecuada que permita alcanzar los niveles establecidos por la norma.

---

## 1.6. Justificación

El suelo está expuesto a las actividades humanas, lo que lo vuelve vulnerable en sitios donde se originan procesos geodinámicos que en el inciden. Durante décadas solo se consideró que la industrialización favorecía el bienestar de la población pero no que alteraba los sistemas naturales. En particular, los hidrocarburos son parte elemental de los procesos industriales, los que generan mayor probabilidad de contaminación por derrames e infiltración en el subsuelo durante su explotación, refinamiento y manipulación.

El transporte de hidrocarburos a través del suelo y subsuelo también puede producir contaminación en los acuíferos, deteriorando la calidad del agua, que en la mayoría de los casos es fuente de abastecimiento para la población, implicando un riesgo mayor ya que este tipo de contaminantes tienen repercusiones directas en la salud humana.

El impacto ambiental de los desechos liberados sería mínimo si permanecieran en el punto de fuga; desafortunadamente en la mayoría de los casos los contaminantes migran hasta afectar áreas extensas. Este transporte es generalmente a través de capas permeables y/o estructuras geológicas (fallas, fracturas) hasta llegar al agua subterránea. Es por esto que la principal preocupación de los derrames es la potencial migración en diferentes direcciones en la zona saturada y no saturada (Berruecos, 2012).

Al respecto, en el área de Managua con una densidad considerable de estaciones de autoconsumo de las industrias, estaciones de servicio (gasolineras), talleres de mecánica y del potencial riesgo que representan, es importante realizar estudios geológicos e hidrogeológicos en los sitios donde se van a ubicar emplazamientos que manejen este tipo de contaminantes para prevenir la contaminación por hidrocarburos. Es necesario evaluar el comportamiento de los contaminantes en el medio geológico, la naturaleza de los materiales del subsuelo para dimensionar la pluma contaminante y proponer las medidas de remediación adecuada a las condiciones geológicas y geoquímicas del área en estudio.

---

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Aspectos geológicos en la caracterización de sitios contaminados**

En la caracterización de sitios contaminados, los aspectos geológicos son de suma importancia, debido a que estos aportan información de las características del medio y ayudan a conocer el posible comportamiento del contaminante. Dentro de los principales aspectos se destacan los siguientes:

#### **2.1.1. Estratigrafía**

Es el estudio de la formación, composición, secuencia y correlación de rocas estratificadas y materiales no consolidados (arcillas, arenas, limos y gravas). Datos estratigráficos incluyen designaciones formativas tales como la edad, el espesor, extensión del área, composición, secuencia y correlaciones. En una investigación estratigráfica, los acuíferos y las formaciones se identifican por las unidades que podrían transportar contaminantes (EPA, 1991).

En efecto, la estratigrafía de un sitio define la geometría y el marco del sistema de flujo del agua subterránea. Por lo tanto, es necesario el conocimiento de esta, para identificar las vías de migración química, estimar la extensión de zona afectada, y definir el marco hidrogeológico (EPA, 1991).

#### **2.1.2. Geología estructural**

Incluye el estudio y mapeo de características estructurales tales como: fallas, fracturas y pliegues, producidas por el movimiento después de la deposición. Las fallas y fracturas son comúnmente las principales vías de transporte de fluidos (vías preferenciales), (EPA, 1991). La determinación de la existencia de estructuras y orientación de las mismas es de suma importancia debido a que proporcionan la información necesaria acerca de la migración del contaminante.

---

## 2.2. Fundamentos Básicos de Hidrogeología

La hidrogeología estudia el almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en las zonas saturada y no saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico, biológico y sus reacciones a la acción del hombre (Ortíz, 1996).

**Acuíferos:** son unidades geológicas capaces de almacenar y ceder agua con facilidad (Figura 6), tienen una capacidad de drenaje alta en las que se pueden perforar pozos con el fin de satisfacer las diferentes necesidades humanas (Maldonado, 2012).



Figura 6. Esquema de un acuífero (López et al., 2008)

### Tipos de acuíferos y su comportamiento

Los acuíferos se pueden clasificar de la siguiente manera:

#### A. Según la presión hidrostática:

- **Acuífero libre o freático:** Se definen como aquellos en los que el límite superior de la masa de agua forma una superficie real que está en contacto con el aire de la zona no saturada (Figura 7). A la superficie piezométrica de un acuífero libre se denomina superficie freática. La recarga de este tipo de acuíferos se realiza principalmente por infiltración de la precipitación a través del suelo o por infiltración de agua de ríos o lagos (López et al., 2012).

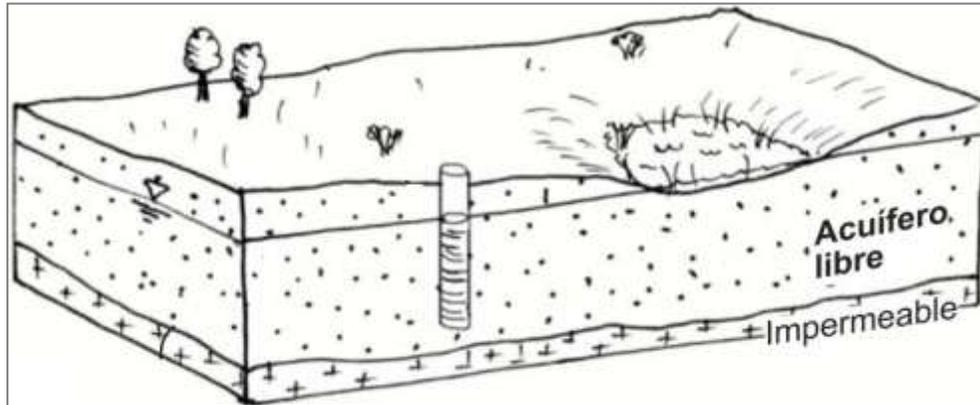


Figura 7. Esquema de acuífero libre (Sánchez, 2014)

- **Acuífero semi- confinado:** Pueden considerarse como un caso particular de los acuíferos cautivos (Figura 8), en los que el muro, el techo o ambos no son totalmente impermeables sino que permiten la circulación vertical de agua, este paso vertical de agua puede hacerse desde o hacia el acuitardo, e incluso variar con el tiempo, según sean los valores relativos de los niveles piezométricos. Este tipo de acuíferos son mucho más frecuentes que los acuíferos confinados ya que en rocas sedimentarias son más abundantes las formaciones poco permeables que las absolutamente impermeables (López et al., 2012).

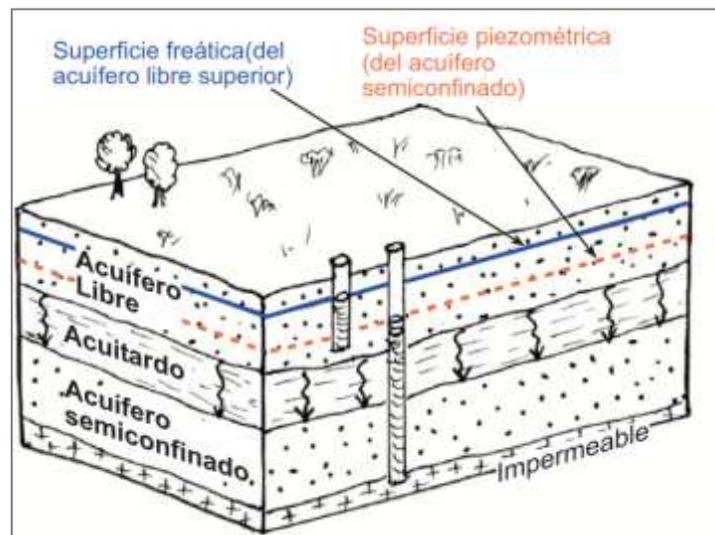


Figura 8. Acuífero semi confinado (Sánchez, 2014)

- **Acuífero confinado:** Son aquellos en que su límite superior, el agua está a una presión superior a la atmosférica (Figura 9). Se comportan así los materiales permeables que están cubiertos por una capa confinante mucho menos

---

permeable (por ejemplo, una capa arenosa, bajo otra arcillosa). La recarga de un acuífero confinado procede principalmente de la lluvia que se infiltra directamente a través de la zona en la que aflora la formación acuífera, es decir donde el acuífero se comporta como libre o bien donde se puede considerar como semiconfinado y las condiciones sean favorables. Si se perfora este acuífero, el nivel de agua ascenderá hasta situarse en una posición que coincidirá con el nivel de saturación del acuífero en el área de recarga (López et al., 2012).

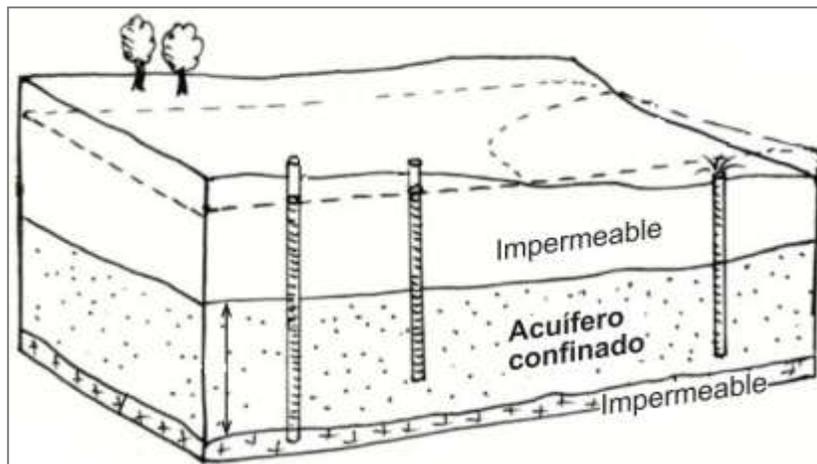


Figura 9. Acuífero confinado (Sánchez, 2014)

**B.** En función del tipo de materiales que constituyen el acuífero:

➤ **Depósitos no consolidados de materiales sueltos:**

Son formaciones geológicas constituidas por la acumulación de partículas transportadas por la gravedad, viento o hielo; en ambiente lacustre o marino. Suelen ser arenas y gravas de distinto origen geológico: fluvial, como los que forman los materiales aluviales de los ríos o las terrazas de los mismos; deltaico, si se trata de depósitos acumulados en la desembocadura de los ríos. Por lo general son de edades geológicamente recientes. Debido a sus buenas condiciones, suministran notables caudales si se explotan convenientemente (López et al., 2012).

---

### ➤ **Rocas sedimentarias consolidadas**

Se trata de sedimentos que se han consolidado debido a procesos de compactación o diagénesis. Se pueden clasificar según su origen en: dendrítico (conglomerados, areniscas, arcillas), químico (calizas, dolomías, margas), y orgánico (carbones e hidrocarburos naturales). Las más importantes son las calizas y dolomías. Varían mucho en densidad, porosidad y permeabilidad, según haya sido el ambiente sedimentario existente en su formación y el desarrollo posterior de zonas permeables producidas por disolución del carbonato, sobre todo en las calizas (López et al., 2012).

### ➤ **Rocas ígneas y metamórficas**

Las posibilidades en las rocas metamórficas de formar acuífero quedan reducidas a la zona alterada superficial o a las fracturadas por fallas y diaclasas, que permiten una apreciable circulación de agua. En las rocas volcánicas es difícil definir su comportamiento entre las rocas consolidadas porosas y las fracturadas. Los factores principales que van a condicionar el flujo del agua subterránea son; la composición, edad y sobre todo el grado de alteración (López et al., 2012).

Existen varios conceptos básicos que son importantes en hidrogeología, entre ellos se encuentra la permeabilidad, gradiente hidráulico, transmisividad (T) y el coeficiente de almacenamiento (s).

#### **2.2.1. Permeabilidad (K)**

La Permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos: la porosidad del material; la densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura; la presión a que está sometido el fluido (Lambe & Whitman, 1997).

---

La permeabilidad se ve afectada por diversos factores inherentes tanto al suelo como a las características del agua circundante. Dentro de los principales factores se encuentran:

- Densidad del suelo
- Relación entre los espacios vacíos del subsuelo
- La estructura y estratificación del suelo
- Existencia de agujeros, fisuras, etc., en el suelo.
- La viscosidad del agua del suelo que varía con la temperatura.

El intervalo de los valores del coeficiente de permeabilidad ( $k$ ) es muy amplio, se extiende desde  $10^{-1}$  cm/s hasta un valor insignificante en el caso de las arcillas. El Cuadro 1 muestra el intervalo de valores promedio de  $k$  (Lambe & Whitman, 1997).

**Cuadro 1. Valores promedios de Permeabilidad de Suelo (Whitlow, 1994)**

Grado de permeabilidad	Valor de $K$ (cm/s)
Elevada	Superior a $10^{-1}$
Media	$10^{-1}$ a $10^{-3}$
Moderada a Baja	$10^{-3}$ a $10^{-5}$
Muy baja	$10^{-5}$ a $10^{-7}$
Prácticamente Impermeable	Menor de $10^{-7}$

En el subsuelo existen 2 tipos de permeabilidades:

- **Permeabilidad Primaria:** es intergranular, el agua se transmite a través de los poros y microfisuras interconectadas (Ordoñez, 2012).
- **Permeabilidad Secundaria:** el flujo de agua se da a través de fallas y fracturas en el medio geológico (Ordoñez, 2012).

Para determinar la permeabilidad del subsuelo existen varios ensayos:

- Ensayo de Lefranc
- Ensayo de Lugeon
- Ensayo de Gilg Gavard
- Ensayo de Matsuo
- Ensayo de Haefeli

---

## **Ensayo de Lefranc**

El ensayo utilizado para determinar la permeabilidad “in situ” fue el de Lefranc, elegido porque se aplica en suelos semi permeables y rocas fracturadas (Torres, 2009), condiciones aproximadas al sitio de estudio y es uno de los ensayos de uso más frecuente. Los otros métodos tienen sus limitantes ya que algunos son solo para rocas como el Lugeon y otros para suelos.

El ensayo de Lefranc se puede realizar mediante dos métodos: el método a nivel constante y el método a nivel variable.

### ➤ **Método a nivel variable**

Torres, 2009 indica que el procedimiento consiste en llenar de agua el sondeo hasta una altura  $h_1$ , luego se mide el tiempo  $t$  durante el cual el agua desciende hasta un nivel  $h_2$  que debe estar por encima del nivel freático (Figura 10). En este caso, para obtener la permeabilidad se aplica la siguiente expresión:

$$K = \frac{2\pi R}{11(T_2 - T_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Dónde:

**R:** Radio del Pozo  
**T:** Tiempo descenso del agua  
**h:** Descenso del agua

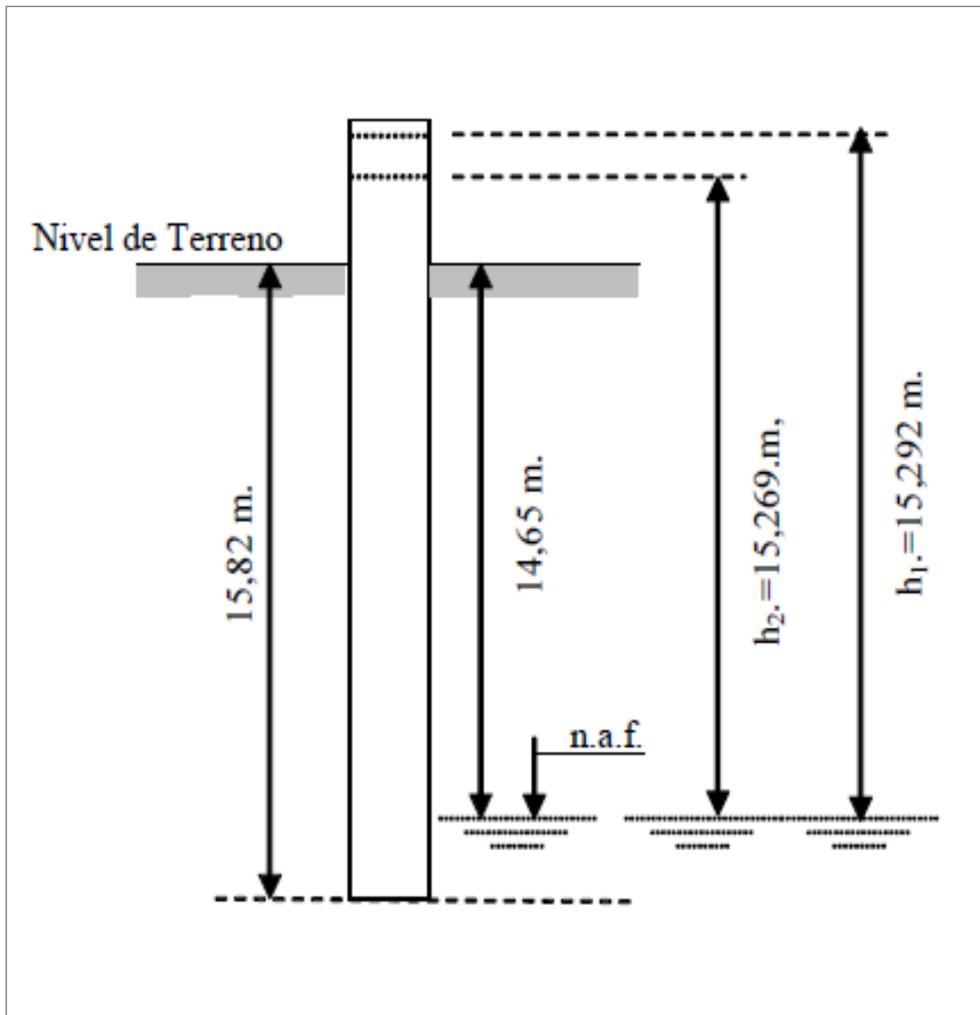


Figura 10. Ilustración de las mediciones durante el Ensayo de Lefranc a nivel variable ( Torres, 2009)

### 2.2.2. Gradiente Hidráulico: ( $\Delta h/l$ )

Es la diferencia de altura entre dos niveles divididos por la distancia horizontal entre ellos, la dirección de movimiento del agua es hacia la zona de menor nivel. Dos puntos separados 1500 metros con diferencia de 1 metro tienen un gradiente hidráulico de 1/1500 (Angelone & Garibay, 2006). La velocidad de desplazamiento en arena muy fina, según la Ley de Darcy será.

**Velocidad:  $V = KHz/l$**

**Gradiente hidráulico: 1/1500**

**Permeabilidad:  $K = 100 \times 10^{-4}$  cm/s**

---

Es importante definir los gradientes hidráulicos regional, semi-regional y local para conocer la orientación de la pluma contaminante. En este sentido el más importante para un sitio específico es el gradiente local.

### **2.2.3. Gradiente Hidráulico Ambiental**

Es el incremento de una variable entre dos puntos, en relación a la distancia entre ambos. El gradiente hidráulico ambiental está dado por la dirección de la pendiente en función de la topografía del sitio, dirección y buzamiento de los estratos, sistema de fallas y fracturas en un punto considerado (Martínez, 2012).

### **2.3. Perforaciones Mecanizadas**

Son aquellas que se realizan empleando equipos que por su tecnología permiten: un eficiente control de la dirección, paralelismo, profundidad, presión contra la roca, rotación, número de golpes por minutos, así como del tiempo de perforación. En una perforación mecanizada algunos equipos van montados sobre estructuras llamadas orugas, desde donde el operador controla en forma cómoda todos los parámetros de perforación (Horna, 2013).

### **2.4. Características de los Hidrocarburos**

Los hidrocarburos son compuestos formados por átomos de carbono e hidrógeno, de gran abundancia en la naturaleza, presentes principalmente en el petróleo. Se considera a los hidrocarburos de petróleo como una mezcla líquida compleja de gases, líquidos y sólidos, existiendo pequeñas cantidades de mezclas de nitrógeno, oxígeno y azufre, además de contener compuestos de hierro, níquel, vanadio y otros metales (Ubaldo, 2007).

El grupo de hidrocarburos de petróleo comprende un gran número de compuestos que por definición se encuentran en el combustible crudo, así como en otras fuentes combustibles tales como el gas natural, carbón y turba. Pueden clasificarse en: alquenos, alquinos y aromáticos. Un tipo de contaminante muy común son los hidrocarburos líquidos en fase no acuosa Non Aqueous Phase Liquid, (NAPLs por

---

sus siglas en inglés), son líquidos inmiscibles con el agua por lo tanto no tienden a infiltrarse debido a que flotan sobre ésta. Los NAPLs pueden clasificarse en aquellos cuya densidad es mayor a la del agua **Dense Nonaqueous Phase Liquid** (DNAPLs) y aquellos más ligeros que el agua **Light Nonaqueous Phase Liquid** (LNAPLs), (Maldonado, 2012).

Los diferentes productos obtenidos por refinamiento y destilación del crudo: gasolina, diésel y asfaltos, son combinaciones de múltiples hidrocarburos individuales, cada uno de los cuales tiene diferente temperatura de ebullición. Por ejemplo, la gasolina es la combinación de muchos componentes de bajo rango de ebullición, incluyendo alcanos de C4 a C12, alquenos de C4 a C7 y aromáticos tipo BTEX. Los compuestos de rango intermedio de ebullición se utilizan en diferentes proporciones para conseguir productos como queroseno, diésel y aceites combustibles. Estos productos contienen preferentemente alcanos de C10 a C24 y policíclicos aromáticos con bajo o ningún contenido en olefinas (Bustamante, 2007).

#### **2.4.1. Comportamiento de los Hidrocarburos en el Subsuelo**

Para que el proceso de transporte de los LNAPL<sub>s</sub><sup>7</sup> se lleve a cabo deben de existir una variedad de parámetros, entre ellas se pueden considerar las características propias del LNAPL como la densidad, viscosidad, solubilidad, presión de vapor, volatilidad, además de las características del suelo donde se propaga, como estructuras geológicas, distribución del tamaño de los poros, características de las aguas subterráneas (Berruecos, 2012).

Cuando ocurre un derrame de LNAPL (gasolina, diésel), éste producto empieza a lixiviar hacia el acuífero por acción de la gravedad, a medida que el LNAPL avanza en el subsuelo, va quedando retenido dentro de los poros y fracturas presentes debido a las fuerzas capilares, lo que significa que una fracción del LNAPL quedará atrapado de manera residual; el LNAPL no atrapado y móvil puede continuar migrando en el subsuelo. Simultáneo a esto se genera una pluma gaseosa que contiene los

---

<sup>7</sup> LNAPL<sub>s</sub>: Fase líquida ligera no acuosa.

compuestos volátiles del LNAPL residual y del LNAPL móvil que continúa avanzando en profundidad (Maldonado, 2012).

La figura 11 muestra un típico derrame de hidrocarburo desde un tanque de almacenamiento subterráneo.

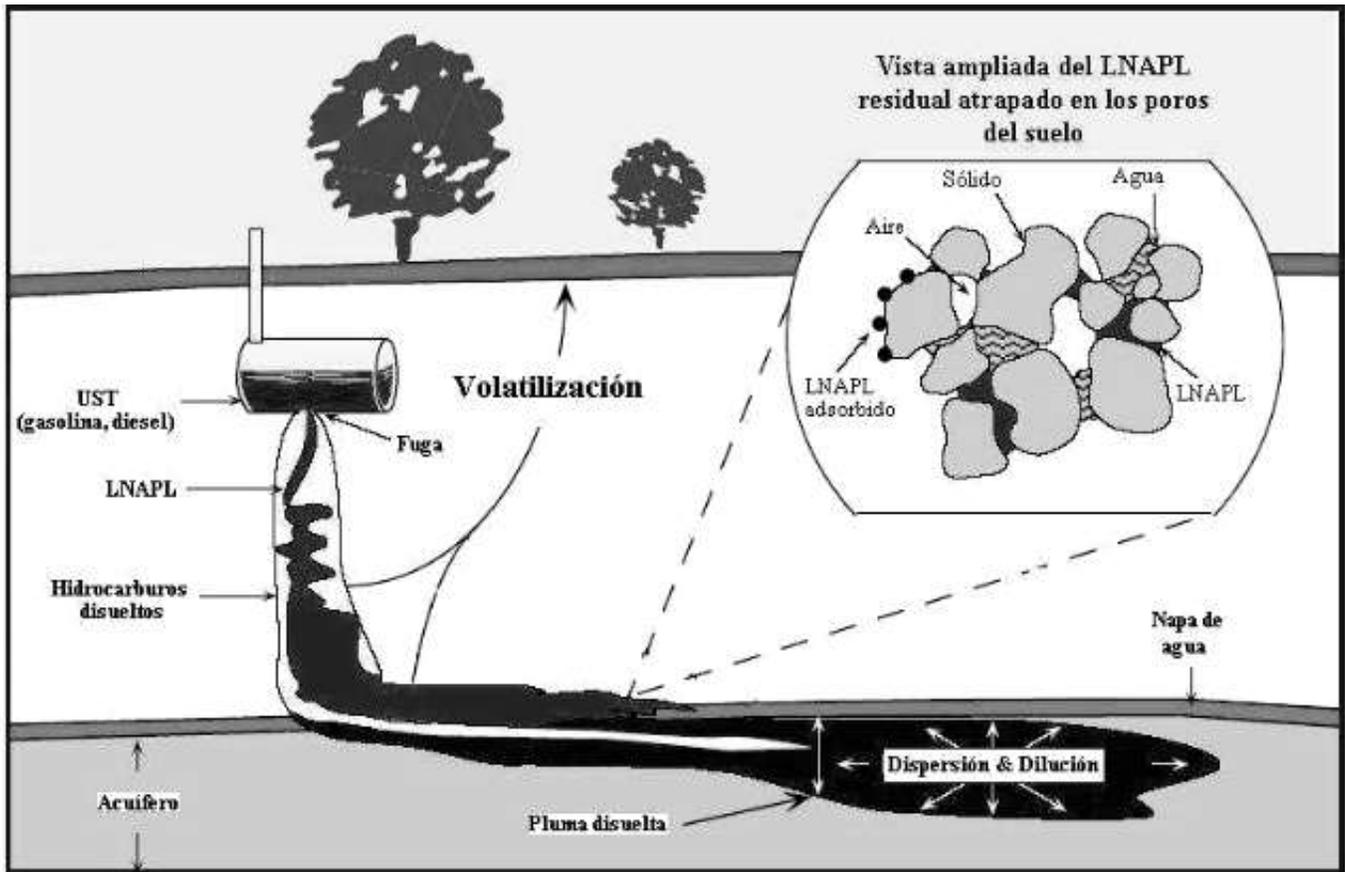


Figura 11. Modelo conceptual del proceso de migración y dispersión del hidrocarburo en el Subsuelo (Maldonado, 2012)

#### 2.4.2. Factores que intervienen en el transporte y distribución de los contaminantes

Cada contaminante posee características únicas que determinan el grado de combinación de ellos y que a su vez controlan su movimiento, degradabilidad en el medio y su estructura química determina la polaridad, solubilidad y capacidad para reaccionar con otras sustancias. Algunos contaminantes son altamente resistentes a la transformación, mientras que otros son completamente reactivos químicos. En relación a lo anterior, la liberación de contaminantes tóxicos al subsuelo implica, entre muchos

---

otros problemas, que no son fácilmente degradados por los microorganismos presentes en el subsuelo, es decir son de lenta biodegradación (Volke & Velasco, 2002).

Los contaminantes en el suelo están sometidos a mecanismos de sorción, estos incluyen la adsorción, que es la atracción de un contaminante hacia la superficie sólida y la absorción que es la penetración de un contaminante en un sólido. La sorción de un contaminante tiene un gran impacto en su degradación y depende de las propiedades del contaminante y del suelo (Volke & Velasco, 2002). La adsorción afecta la volatilización y difusión del contaminante (por consiguiente su transporte y destino) así como su disponibilidad para los microorganismos (Figura 12).

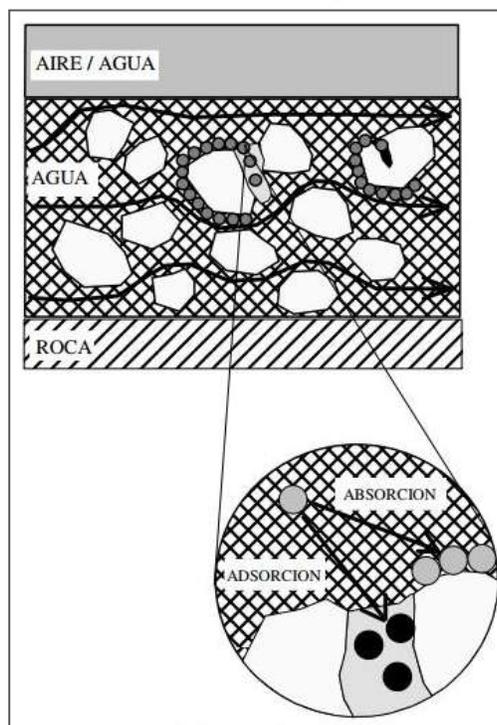


Figura 12. Esquema de mecanismo de sorción ( Volke & Velasco, 2002)

Entre los aspectos a considerar para explicar la dinámica de los contaminantes en el subsuelo y los factores que los están influenciando, se encuentran:

➤ **Advección**

En materiales muy porosos como arenas y gravas, la migración de los contaminantes está determinada por la advección, proceso en el que los contaminantes se mueven

---

de manera similar al flujo del agua subterránea y es el factor predominante en la migración, en un medio poroso saturado (Rosas, 2004).

➤ **Dispersión**

Proceso de mezclado originado por variaciones en la velocidad de flujo en un medio poroso (entre el centro y las paredes del poro) resultando en la dilución del soluto y el avance del frente contaminante. La variable más importante para este mecanismo es la conductividad hidráulica (Rosas, 2004).

➤ **Difusión**

Es la velocidad de movimiento de un contaminante a través del suelo, es proporcional a su concentración y a su coeficiente de difusión. El movimiento de un contaminante hacia dentro y fuera de los poros del suelo controla su degradación; por lo que, la manera en que los contaminantes se difunden, representa uno de los procesos que compite más efectivamente con los microorganismos por el sustrato (Rosas, 2004).

➤ **Biodegradación**

Dentro de los factores bióticos que se pueden mencionar como componentes del suelo, se encuentran los microorganismos, estos son los responsables de la biodegradación, que es la susceptibilidad de un compuesto para ser transformado a través de mecanismos biológicos (Rosas, 2004).

### **2.4.3. Características de los Hidrocarburos Totales de Petróleo**

El término de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH's por sus siglas en inglés), se usa para describir una gran familia de cientos de compuestos químicos originados del petróleo crudo. Debido a que hay muchos productos químicos diferentes en el petróleo crudo y en otros productos del petróleo, no es práctico medir cada uno de forma separada; sin embargo, es útil medir la cantidad de TPH's en un sitio. Los científicos han dividido los TPH's en grupos de hidrocarburos de petróleo que actúan de forma similar en el suelo o el agua. Estos grupos se denominan fracciones de hidrocarburos del petróleo (Zuñiga, 2006).

---

El cuadro 2 muestra las fracciones de hidrocarburos de petróleo, que contienen muchos químicos individuales:

**Cuadro 2. Fracciones de Hidrocarburos Totales de Petróleo (Zuñiga, 2006)**

Fracción	TPH
GRO	C <sub>6</sub> a C <sub>10</sub>
DRO	C <sub>10</sub> a C <sub>28</sub>
ORO	C <sub>28</sub> a C <sub>35</sub>

#### **2.4.4. Características de los Contaminantes BTEX**

Los BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos), son un grupo de compuestos orgánicos volátiles pertenecientes a la familia de los hidrocarburos aromáticos, que se caracterizan por encontrarse en forma de vapor a temperatura ambiente y por ser insolubles en agua pero muy solubles en otras sustancias. (ATSDR, 2004).

Los BTEX pueden proceder de fuentes naturales (incendios forestales o emisiones volcánicas) o artificiales. El hecho de que se encuentren de manera natural en el petróleo y en sus derivados hace que la mayoría de procesos de combustión de hidrocarburos, tanto ligados a la industria como al tráfico rodado, sean importantes fuentes de emisión de estos compuestos. A estas fuentes hay que añadir los procesos industriales que los emplean como intermediarios para la fabricación de otros productos (Lacasaña et al., 2008).

#### **2.4.5. Efectos de los BTEX en la Salud**

La exposición ambiental al benceno es un problema de salud pública importante. Hay que destacar su carácter cancerígeno, catalogado como cancerígeno categoría A por la Internacional Agency for Research of Cancer (IARC, por sus siglas en inglés). El benceno es un contaminante ambiental ubicuo y se han constatado efectos graves en la salud de los trabajadores expuestos al mismo (Lacasaña et al., 2008).

---

Los riesgos para la salud en cuanto a la exposición a BTEX puede ocurrir por ingestión (agua contaminada), inhalación (exposición a vapores) o por absorción a través de la piel. La exposición prolongada de estos compuestos tiene un efecto similar en los riñones, hígado y el sistema arterial. Además de los efectos cancerígenos del benceno también se han descrito otros daños en la salud asociados con la exposición a altas dosis de estos COVs<sup>8</sup>, tales como efectos respiratorios (asma), hematológicos (anemia, trombocitopenia, leucopenia, pancitopenia, anemia aplásica), inmunológicos, neurológicos, reproductivos y de desarrollo (Peña, 2012).

## **2.5. Técnicas de remediación implementadas en sitios contaminados**

El término técnica de remediación implica cualquier operación unitaria o serie de operaciones que alteran la composición de un contaminante a través de acciones químicas, físicas o biológicas de manera que reduzcan la toxicidad, movilidad o volumen del material contaminado. Las tecnologías de remediación depende de factores específicos del sitio y de las propiedades fisicoquímicas del contaminante. Existen diferentes técnicas de remediación entre ellas se encuentran las siguientes; Biológicas (Bioremediación, Fitoremediación), Físicas ( Inyección de Aire y Extracción de Vapores, Burbujeo de Aire) Química (Permanganato de Potasio, Peróxido de Hidrógeno, Persulfato de sodio, Ozono, entre otros). Cada técnica se aplica de acuerdo a las condiciones geológicas, hidrogeológicas y geoquímicas que conforman el medio (Volke & Velasco, 2002).

---

<sup>8</sup> COVs: Compuestos Orgánicos Volátiles

### III. GEODINÁMICA GENERAL DE LA DEPRESIÓN DE NICARAGUA

La principal estructura regional activa del Oeste de Nicaragua conocida como Depresión de Nicaragua (Figura 13), es un nuevo terreno geológico cuya formación se debe al cambio de inclinación de la Placa de Cocos a partir del Mioceno Medio al Tardío (Martínez 2014).

Dentro de la depresión se emplaza el frente volcánico nicaragüense o cadena de volcanes activos, concentrando casi todo el volcanismo Cuaternario (Martínez 2014).

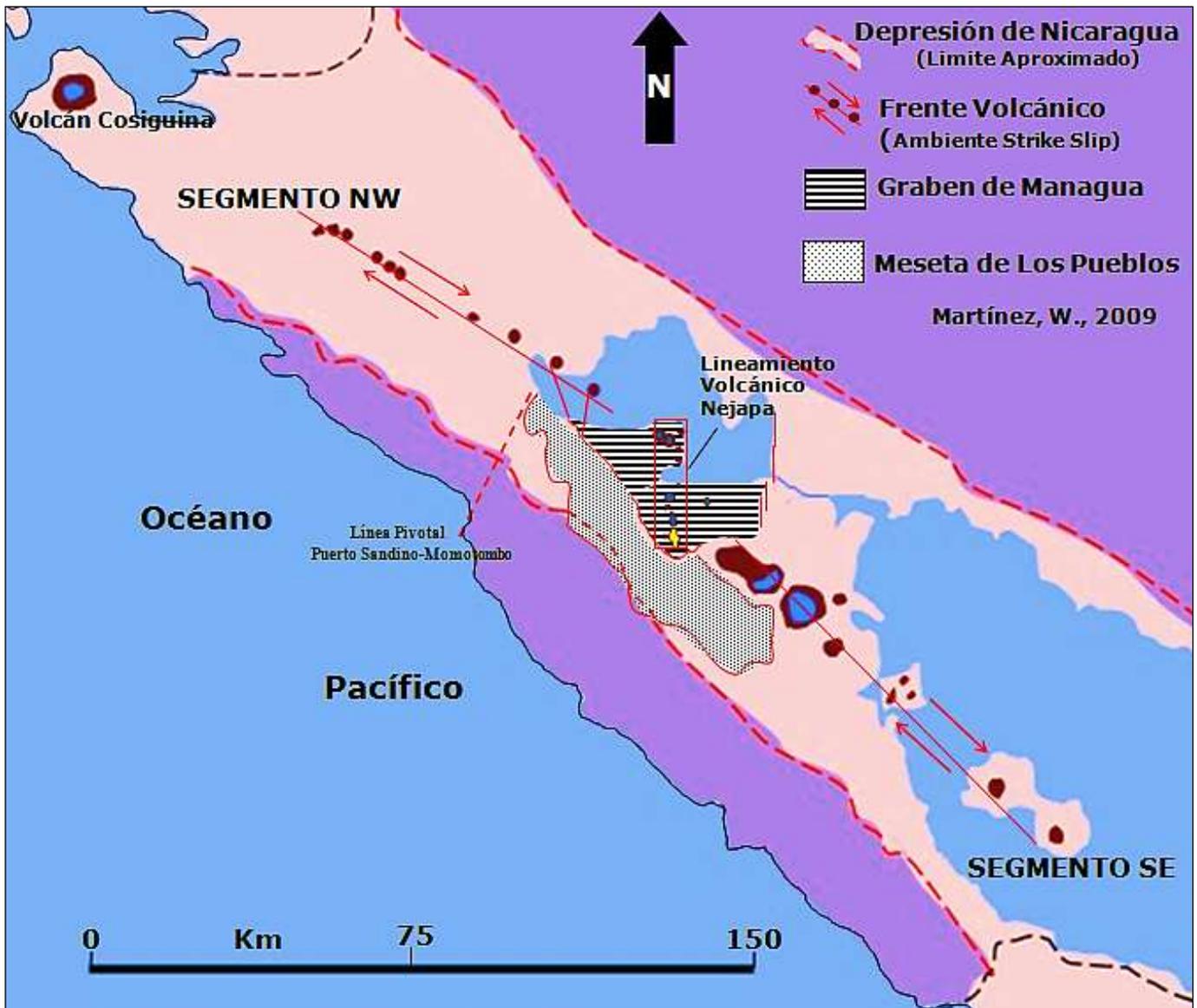


Figura 13. Terreno de la Depresión de Nicaragua y las Principales Estructuras Tectónicas activas. Nótese el emplazamiento de las estructuras del Graben de Managua y la Meseta de los Pueblos, entre los segmentos del frente volcánico Nicaragüense (Martínez, 2014).

El ambiente strike slip del frente volcánico y su partición en dos segmentos contrastantes, el Segmento NW y el Segmento SE, condujo al emplazamiento de un complejo tectónico-estructural tipo graben y horst, conocidos como Graben de Managua y Meseta de Los Pueblos (Martínez 2012).

El Graben de Managua es una estructura extensional o pull apart, mientras la Meseta de los Pueblos es un elevado estructural o pressure ridge. En la Meseta de los Pueblos las fallas activas son casi nula y el volcanismo activo inexistente. En contraste en el Graben de Managua existe un intenso fallamiento activo y un volcanismo reciente (Martínez 2012).

### **3.1. El Graben de Managua**

El Graben de Managua de aproximadamente 1,800 km<sup>2</sup>, incluyendo el área del Lago de Managua, está ubicado en la parte central del Oeste de Nicaragua, a 45 km del Océano Pacífico dentro de la Depresión de Nicaragua (Martínez 2012).

El graben de ~40 km de ancho en el sentido E-W, se abrió a lo largo de dos zonas distintas de fallamiento normal: El Sistema de Falla Mateare al Oeste y el Sistema de Falla Las Nubes al Sur; el Sistema de Falla Cofradía marca el límite Este del Graben de Managua (Martínez 2012).

El estiramiento de la corteza, en un estilo tectónico extensional denominado pull apart basin, es el proceso más viable para la formación del graben. A cada porcentaje de estiramiento le corresponde un plano de ruptura o falla activa (Martínez 2012).

Lo anterior significa que el graben es una estructura geológica activa, en medio de los segmentos del frente volcánico (Figura 14), donde se combinan dos tipos continuos de esfuerzos tectónicos: extensión (movimientos horizontales) que adelgaza la corteza, la cual se hunde gradualmente y compresión (movimientos verticales) que engrosa la corteza, la cual se levanta gradualmente (Martínez 2012).

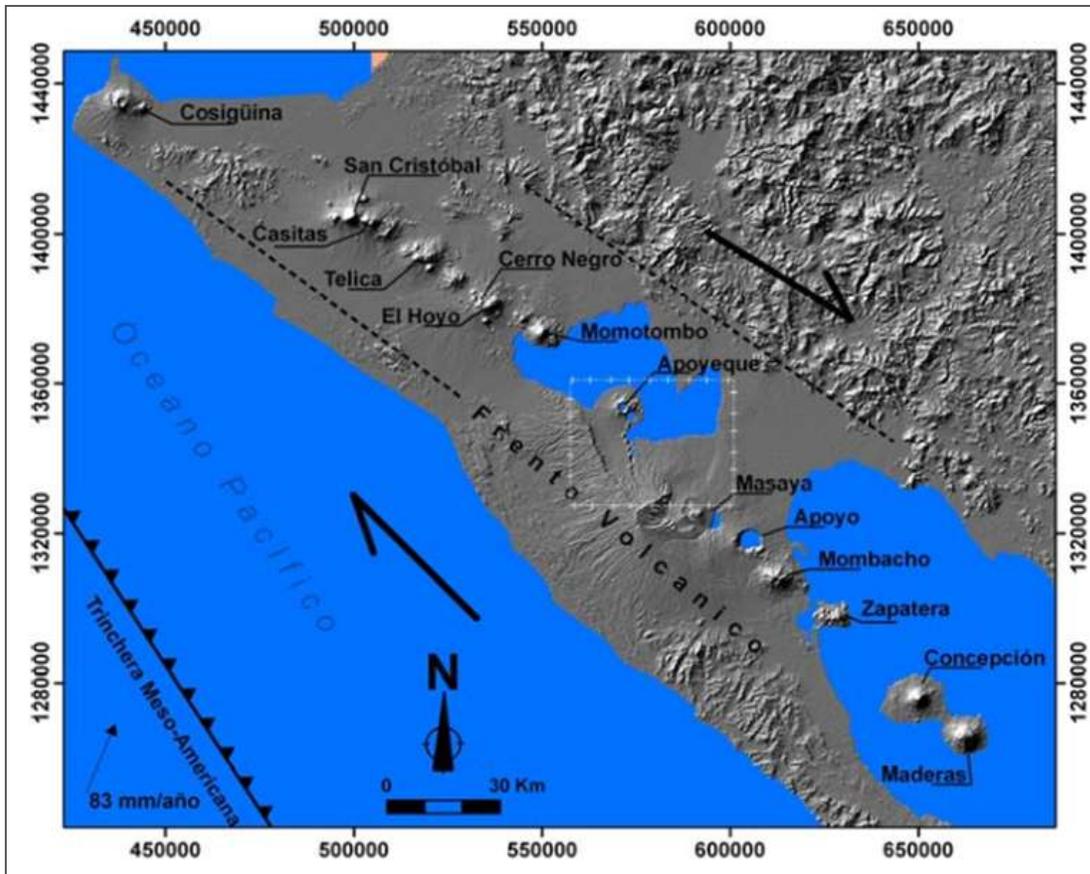


Figura 14. Principales volcanes activos que conforman el frente volcánico. El rectángulo en blanco indica los límites del Graben de Managua (Avellán, 2009).

### 3.2. Fallas Activas en el Área de Managua

En el área de Managua convencionalmente se considera falla activa la que se ha movido en el Holoceno (últimos 10,000 años) (Martínez 2014). Los principales sistemas de fallas activas son las siguientes:

**Sistema de Fallas Normales:** Forman los límites del Graben de Managua de aproximadamente 40 km de ancho, que se abrió a lo largo de dos zonas distintas de fallamiento normal: la Falla Mateare al Oeste y la Falla Las Nubes al Sur, las cuales parecen estar ligando los dos segmentos separados del frente volcánico (Martínez, 2014).

Una magnitud de hasta 7.5 puede ser asignada a eventos principales de cada una de esas estructuras mayores, el ajuste isostático producto del levantamiento y

hundimiento del graben podría controlar el movimiento en estos sistemas de fallas mayores, al igual que los deslizamientos masivos por inestabilidad del terreno, lo cual no es frecuente, requiriendo lapsos de centenas a más de 2 mil años de recurrencia (Martínez, 2014).

**Fallas del Alineamiento Volcánico Nejapa:** El alineamiento es una zona de debilidad estructural extendiéndose desde la Península de Chiltepe hasta más allá de Casa Colorada. Las fallas activas pueden apreciarse en los escarpes de la Cuesta del Plomo, en las laderas de las lagunas de Asososca, Xiloá y Apoyeque, entre otras (Martínez, 2014).

**Sistema de Fallas de Rumbo Lateral Izquierdo (strike slip) de Segundo Orden:** Las principales fallas de este sub-sistema son las siguientes: Falla San Judas, Falla Estadio, Falla Tiscapa, Falla Escuela, Falla Centro América, Falla El Mirador, Falla Aeropuerto, entre otras. Los terremotos provenientes de estas fallas son pequeños a moderados, con eventos principales de magnitudes entre 4.8 y 6.2 grados Richter, la magnitud de los sismos están en función de la longitud de las fallas que varían por los 15 km y menos de 10 km de profundidad (Martínez, 2014).

**Sistema de Calderas:** Se dan alrededor del Complejo Volcánico Masaya, de más antigua a reciente son: la Caldera La Estrella, la Caldera Las Nubes y la Caldera de Masaya con los conductos de Santiago, Masaya y Nindirí. Los bordes de calderas presentan predisposición a los peligros sísmicos dado que tangencialmente se ubican en trazos de fallas activas que limitan bloques tectónicos (Martínez, 2014). Las Principales estructuras y fallas activas del Área de Managua se presentan en el Mapa Geo-Estructural de la figura 15.

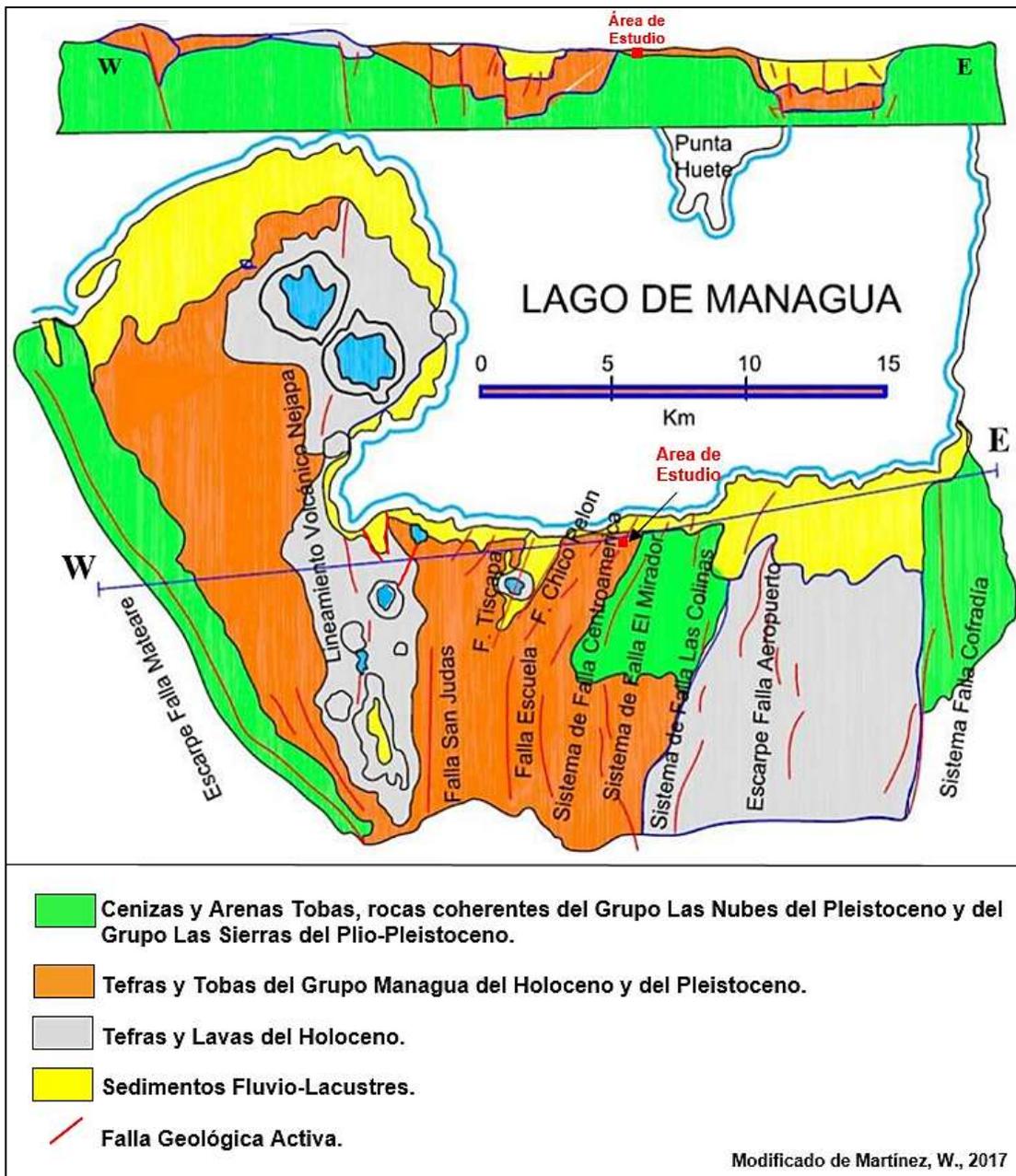


Figura 15. Mapa Geológico Estructural del Área de Managua. Nótese el área de estudio próximo al Terminal NE de un segmento de la Falla Centro América y a 2.0 km del litoral del Lago de Managua (Martínez, 2014).

En el mapa de la figura 15, se puede apreciar que el área de estudio se encuentra inmersa entre segmentos del terminal Norte de las estructuras activas del Sistema de Falla Centro América, localmente en el área ocurren unidades con estratos nítidos sin perturbación estructural o sea se encuentra libre de fallas o fracturas.

### 3.3. Principales Unidades Estratigráficas

En el área de Managua, se han identificado 30 unidades lito-estratigráficas del Holoceno y del Pleistoceno pertenecientes al Grupo Managua, Grupo Las Nubes, Grupo Planetario y Grupo Mateare; así como unidades del Plioceno correspondientes a los materiales del basamento del Grupo Las Sierras (Martínez, 2012) (figura 16).

- **Grupo Managua:** Comprende una secuencia del Holoceno (hasta 10 mil años atrás) y Pleistoceno Tardío (hasta ~40 mil años atrás) de depósitos de caídas y flujos semi consolidados a consolidados con intercalaciones de paleo suelos, variando en potencia por los 8.0 m. La fuente del Grupo Managua proviene principalmente del Complejo Volcánico Masaya, con aportes significativos del volcán Laguna de Apoyo y de estructuras a lo largo del Alineamiento Volcánico Nejapa (Martínez, 2012).
- **Grupo Las Nubes:** Comprende una secuencia del Pleistoceno Medio al Temprano (de 40 mil a 600 mil años atrás) de arena tobas de textura masivas y granos gruesos con intercalaciones de escorias, en menor proporción ocurren ceniza tobas y unidades de pómez. Las unidades de ~30.0 m de potencia están subyaciendo a las unidades del Grupo Managua. La fuente del Grupo Las Nubes proviene en su mayoría del Complejo Pre Caldera de Masaya (Martínez, 2012).
- **Grupo Planetario:** Comprende una secuencia del Pleistoceno (de 200 mil a 600 mil años atrás) de arena tobas de grano grueso con intercalaciones de pómez, en la parte superior son característicos los depósitos de base surge (oleadas piroclásticas). La potencia media de las unidades de este grupo es de 30.0 m. La fuente del Grupo Planetario es un extinto centro volcánico en las inmediaciones del Reparto Planetario, ubicado en el km 16.50 de la Carretera Vieja a León, con aportes de productos máficos del Grupo Las Nubes y de productos intermedios de estructuras del Alineamiento Volcánico Nejapa (Martínez, 2012).
- **Grupo Mateare:** Comprende una secuencia del Pleistoceno Temprano (600 mil años a más de un millón de años atrás) de arena tobas de color gris verdoso intercaladas con capas delgadas de escorias y pómez. La fuente del Grupo

Mateare son el centro volcánico en las inmediaciones del Residencial Planetario, centro volcánico en las inmediaciones del poblado de Mateare y pequeños centros volcánicos locales (Martínez, 2012).

- **Grupo Las Sierras:** Comprende unidades de rocas, con predominio de aglomerados basálticos, de hasta 600.0 m de potencia. Estas unidades se depositaron en un ambiente de agua somera, provenientes de un volcanismo extinto, al momento poco estudiado, del Plio-Pleistoceno (150 mil hasta 1.6 millones de años atrás) o sea previo al emplazamiento del actual frente volcánico. Las unidades de este grupo conforman el basamento del área Managua (Martínez, 2012).

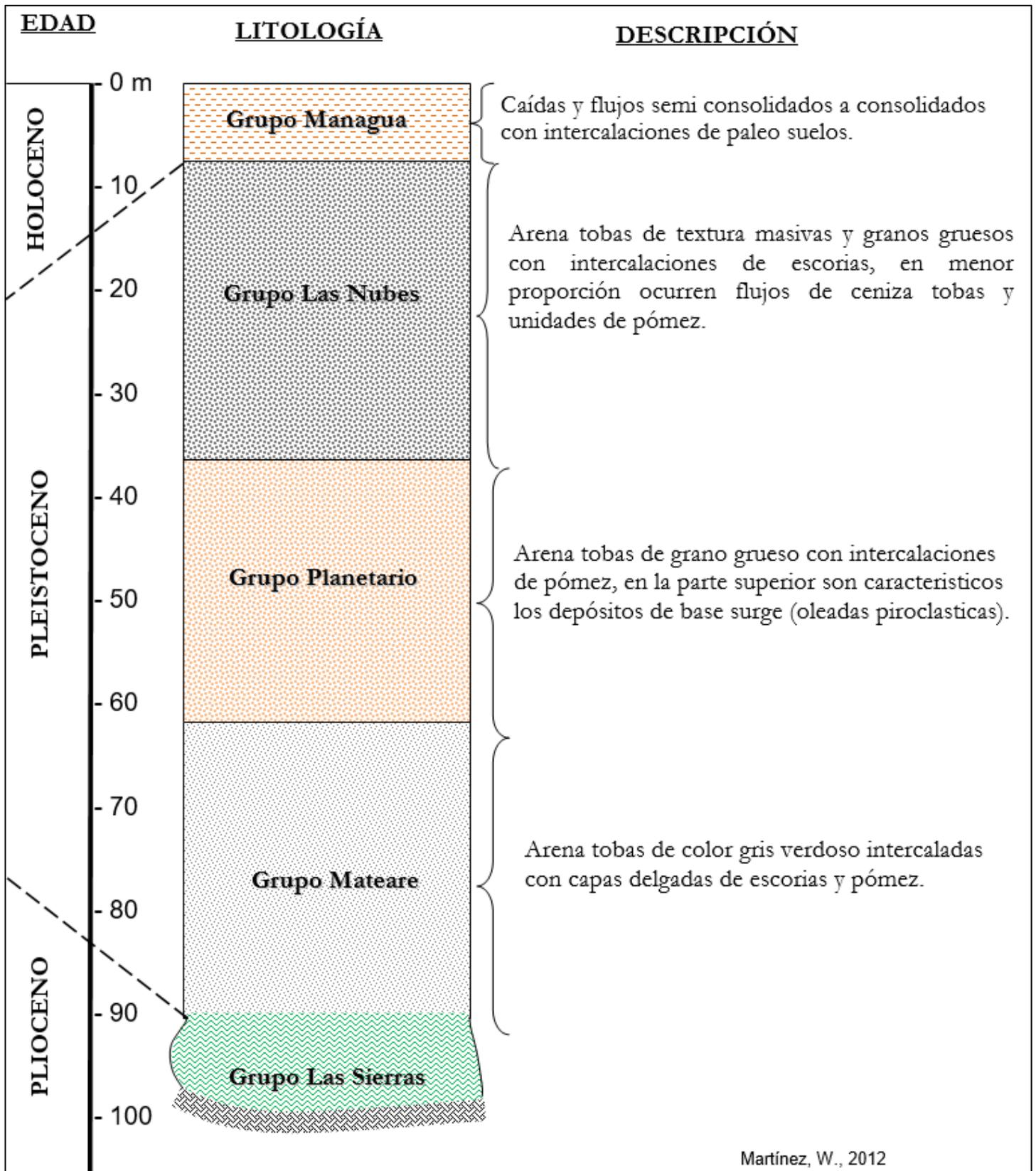


Figura 16. Columna estratigráfica de las unidades que conforman el área de Managua (Martínez, 2012)

### IV. HIDROLOGÍA GENERAL

El proyecto Hidrometeorológico Centroamericano (PHCA) definió para la República de Nicaragua 21 cuencas hidrográficas (Figura 17). De éstas, 13 drenan hacia la vertiente del Mar Caribe, abarcando un área estimada de 117, 420 km<sup>2</sup>, aproximadamente el 90 % del territorio Nacional. Las otras 8 cuencas drenan hacia la vertiente del Océano Pacífico y cubren un área de 12, 183 km<sup>2</sup>, aproximadamente el 10 % del territorio Nacional (PROATAS, 2014).

La red hidrográfica está determinada por el tipo de relieve de la zona y sus características climáticas. Los ríos de la vertiente del Atlántico en su parte media son sinuosos y caudalosos; en la parte baja al entrar en la zona sedimentaria del Atlántico se presentan con configuraciones más suaves, de carácter meándrico (Castillo, et al. 2006). Los de la vertiente del Pacífico presenta una mejor disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos para el abastecimiento de agua potable, acá se dan los mayores problemas en el uso de los recursos hídricos por ser el área de mayor desarrollo de Nicaragua, casi todo el abastecimiento del agua potable para la población urbana proviene del agua subterránea (IEA-MARENA, 2001).

Dentro de las 21 cuencas hidrográficas que posee Nicaragua se encuentra la cuenca 69 (Río San Juan), caracterizada por tener abundante disponibilidad hídrica debido a su cobertura boscosa. Cabe mencionar que dentro de la cuenca 69 se encuentra el acuífero de Managua que cuenta con una extensión de 1,040 km<sup>2</sup>. Según estimaciones realizadas, este acuífero tiene una disponibilidad de 158 millones de m<sup>3</sup> de los cuales se abastecen 20 poblados y 18 comunidades rurales incluyendo la ciudad de Managua (Poveda, 2005).

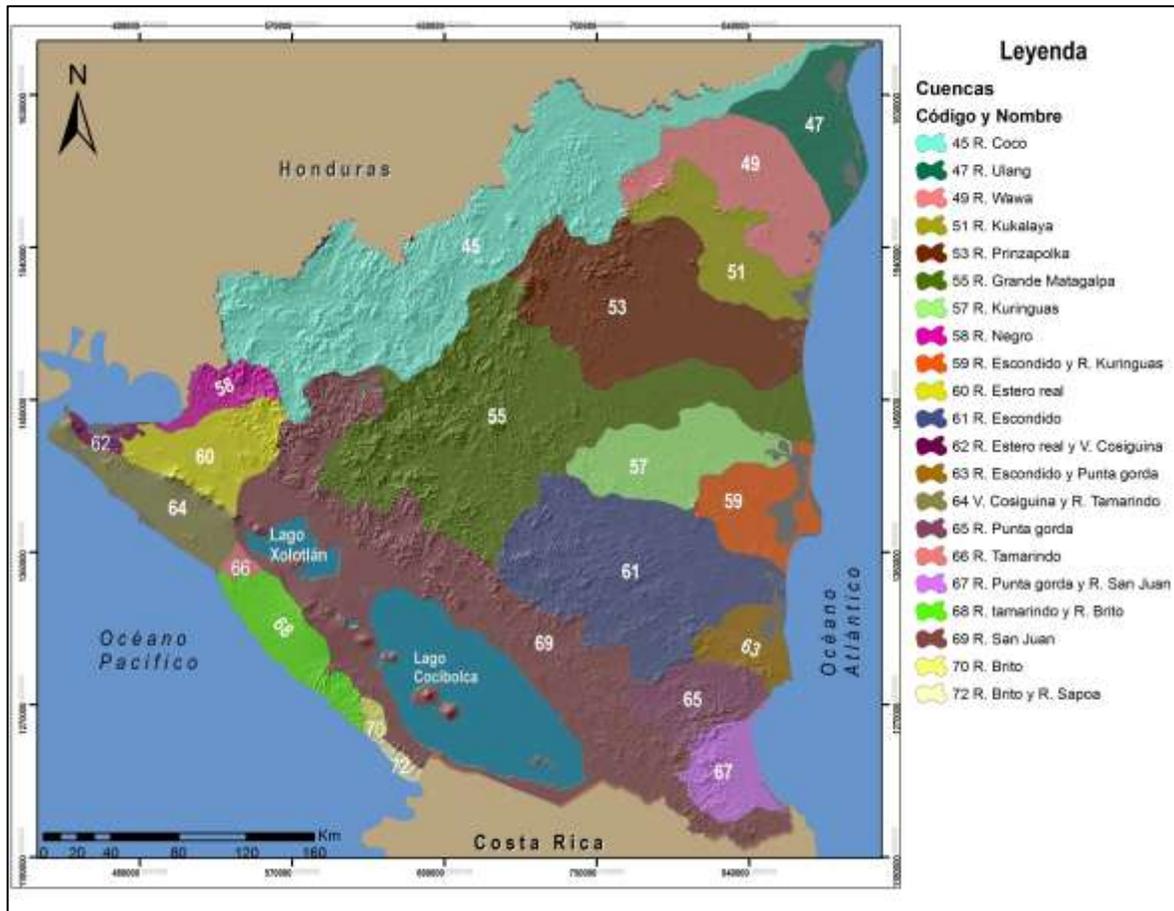
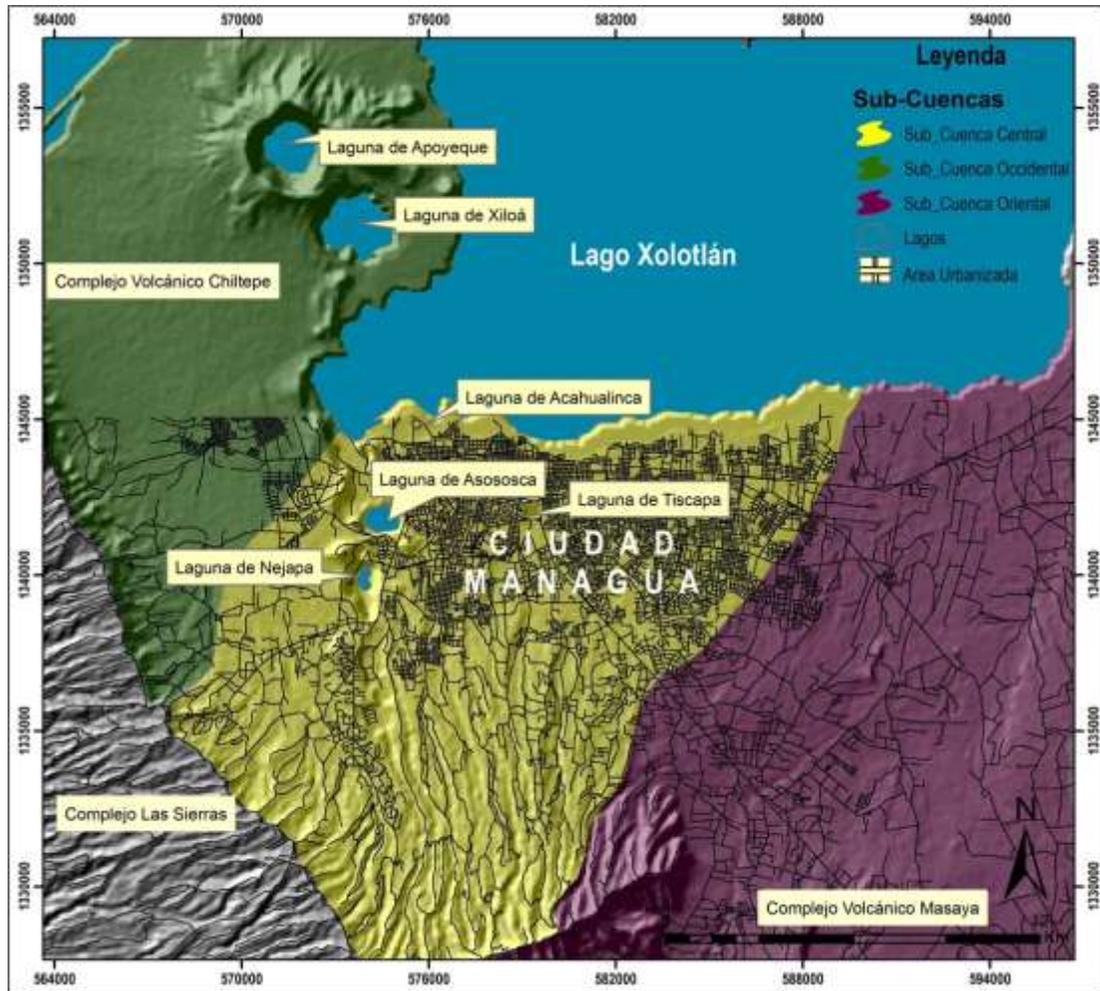


Figura 17. Mapa de cuencas de Nicaragua (Modificado de Ineter, 1999)

#### 4.1. Hidrogeología de Managua

El Acuífero de Managua comprende las subcuencas Occidental, Central y Oriental; estas se desarrollaron dentro y en los alrededores de la configuración del Graben de Managua (Figura 18). La Subcuenca Central tiene una cobertura de 255 km<sup>2</sup>, fue delimitada de acuerdo a las características morfológicas de la zona. La profundidad de esta, depende tanto de las condiciones geomorfológicas, como de las geológicas de la región; según Montgomery y Heilemann (1979), la profundidad del nivel freático de las aguas subterráneas se encuentra entre 0 y 200 m. La profundidad disminuye de Sur a Norte, hasta culminar en el litoral del Lago Xolotlán, sin embargo, el espesor de este acuífero aún no se ha definido por la complejidad geológica en la zona pero se cree que está limitado en la parte superior de la Formación Las Sierras, de acuerdo a las características litológicas (semi-permeables), que esta presenta.



**Figura 18. Sistema Acuífero de Managua, dividido en tres sub acuíferos: Acuífero Occidental, Acuífero Central y Acuífero Oriental (Modificado de MARENA, 2000)**

La aportación o recarga de la subcuenca proviene de la precipitación directa y la escorrentía con un valor  $\sim 1200 \text{ Hm}^3/\text{año}$ , proveniente del Sur en la parte alta del Graben de Managua e infiltrándose como aguas subterráneas, controladas por la pendiente que disminuye hacia la zona de descarga natural más importante en la región (Lago Xolotlán). Además, de esta zona de descarga, existen otras pequeñas, como las lagunas de Acahualinca, Nejapa y Asososca, que son cuerpos de agua controlados por fallas geológicas en la zona (SUWAR-NICARAGUA, 2000).

### V. DISEÑO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe la metodología empleada para el desarrollo de este trabajo, dividida en tres etapas descritas a continuación:

#### **Etapas 1. Trabajo de Gabinete**

Durante esta etapa se llevó a cabo la recopilación y análisis de la información bibliográfica existente acerca del sitio de estudio. Dentro de la información recopilada se encuentran: mapa topográfico de Nindirí 2952-II a escala 1:50,000, editada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 2006), ortofomapa de Managua (Jica, 2004) y documentos tales como: tesis, artículos, estudios técnicos (Plan de remediación en la matriz suelo, caracterización geológica ambiental en estaciones de servicio de Nicaragua y Centroamérica).

Así mismo se prepararon las condiciones para la realización de la etapa de campo, definiéndose una ubicación previa de cada uno de los sondeos tomando en cuenta los 10 pozos instalados entre el año 2012 y 2013 que fueron parte de los estudios previos realizados en el área, la ubicación de las utilidades subterráneas existentes (tanques, líneas y bombas surtidoras) y el tipo de análisis a realizar en la matriz suelo,

Con el objetivo de delimitar horizontal y verticalmente el área afectada, partiendo de la premisa que los límites de la pluma contaminante del sitio aún no estaba bien definida con los resultados obtenidos, como se observa en la figura 19. La simbología asignada a los sondeos fue “**PMSC**” (Pozo de Monitoreo Santa Clara), dando continuidad a los sondeos anteriores.

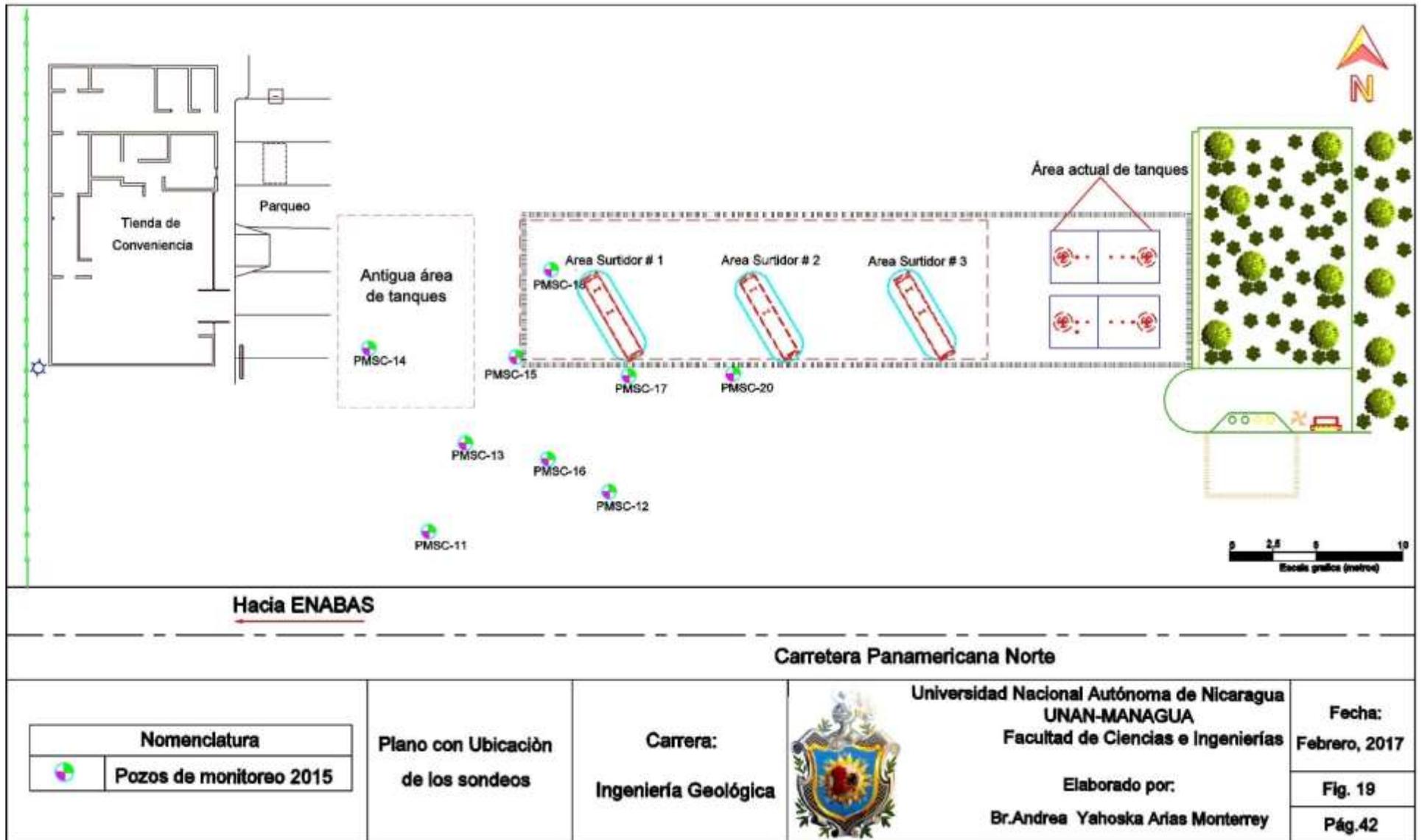


Figura 19.Plano con ubicación de los sondeos realizados

### Etapa 2. Trabajo de campo

Se realizó el reconocimiento geológico e hidrogeológico de los alrededores del sitio de estudio, con lo que se pudo orientar mejor los puntos de sondeos para el muestreo de suelo por cada metro perforado con el objetivo de obtener muestras no perturbadas mediante el uso de Liners. Se definió la dirección de flujo, la geología superficial y se visitaron algunos cauces cercanos al área que pudieran influir o asociarse a fallas o fracturas próximas al área y la permeabilidad del sitio como parámetro importante para conocer la velocidad con que el fluido pudo viajar al subsuelo.

#### a. Perforación manual (pre-drilling)

Una vez ubicados los puntos de los sondeos se inició el pre – drilling o ante pozo, con el perforador manual Hand Auger, hasta 2.50 m de profundidad con la finalidad de descartar la existencia de líneas de conducción subterránea o cualquier elemento que pudiera dañarse tales como líneas eléctricas y agua potable.

#### b. Perforación mecanizada

Los sondeos mecanizados fueron realizados con una perforadora hidráulica “Power Probe 9700-VTR” con un motor de enfriamiento líquido de 80 caballos de fuerza y un martillo hidráulico de 550 pies por libra de potencia, con una capacidad de perforar hasta 30 metros de profundidad (AMS, 2008-2009) mediante el método de “Empuje Directo” (Direct Push) y Hollowstem Auger (Foto 3).



Foto 3. Perforadora Power Probe 9700 - VTR (EPC, 2008)

## Capítulo V

---

El método de Empuje Directo se aplica utilizando un martillo de alta frecuencia que empuja un barreno de doble pared G3 con un diámetro exterior de 2- 3/8 pulgadas, 1.2 m de longitud y un tubo interno desechable PVC<sup>9</sup>(Liners), con un diámetro de 1- 1/2 pulgadas y 1.2 m de longitud (AMS, 2008-2009). En este liners es donde se va almacenando la muestra de suelo durante la perforación (Foto 4). Durante la perforación no se hace uso de ningún tipo de fluido de perforación debido a que estos podrían movilizar el contaminante a estratos inferiores.



**Foto 4. En la foto A) Se observan los liners usados para la toma de muestras inalteradas. En la foto B) se aprecia una muestra de suelo en un liners una vez extraído de la perforación (EPC, 2008)**

El método Hollowstem Auger con diámetro de 6.0 pulgadas y una longitud de 1.20 m (Foto 5), generalmente es utilizado para instalar pozos de monitoreo de agua subterránea de hasta 4.0 pulgadas de diámetro (AMS, 2008-2009).

---

<sup>9</sup> PVC: Polyvinyl chloride (Policloruro de vinilo)



Foto 5. Hollowstem Auger utilizado para instalación de pozos en una perforación (EPC, 2008)

### c. Obtención de muestras para medición de COV

Se obtuvieron **150** muestras en total para la medición de COVs, las cuales fueron depositadas en bolsas de cierre hermético dividiendo 2 porciones, una para la medición de campo con el Detector Fotoinizante (PID por sus siglas en inglés) 10 minutos después de recolectadas y la otra se resguardó en un termo con hielo manteniendo la temperatura aproximadamente a 4° C hasta su envío a laboratorio.

### d. Selección de muestras

Las muestras para el envío a laboratorio se seleccionaron tomando como criterio la de inicio de sondeo, la que presentó mayor lectura de volátiles y la de final del sondeo para delimitar verticalmente la pluma. De cada sondeo perforado se tomaron 3 muestras a diferentes profundidades, a excepción del PMSC-20 donde se eligieron 2 muestras debido a que este fue el sondeo con menor profundidad.

Del sondeo PMSC-3 se tomó una muestra denominada MCSC (Muestra Compuesta Santa Clara) en el intervalo de 8 a 13m, para analizar los parámetros físico químicos y microbiológicos que sirvieran de base para la evaluación de la técnica de remediación

a proponer. Estas muestras fueron enviadas al Laboratorio Químico S.A (LAQUISA), ubicado en entrada a la ciudad de León.

Un total de 26 muestras fueron enviadas al laboratorio IAG/ TestAmerica (International Analytical Group), Pensacola Florida, Estados Unidos conforme protocolo de la EPA<sup>10</sup>, para determinar las concentraciones de Hidrocarburos Totales (método 8015B), BTEX & MTBE<sup>11</sup> (método 8260 B); estos métodos de análisis fueron definidos de acuerdo con lo establecido en el límite residencial de la Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003. Las muestras fueron depositadas en envases de vidrio de 4 onzas, etiquetadas con la identificación de la muestra, profundidad, fecha, hora de recolección de la muestra y nombre del área de estudio; estas se resguardaron en heladeras herméticas a  $\pm 4^{\circ}$  C hasta su arribo al laboratorio.

### **Etapas 3. Análisis e interpretación de datos de campo y laboratorio**

En esta etapa se procesó toda la información geológica, hidrogeológica y geoquímica obtenida en campo haciendo uso de software Microsoft Excel, estableciendo tablas dinámicas para procesar los resultados físico-químicos de laboratorio y para el cálculo de permeabilidad. Se delimitó la pluma de contaminación haciendo uso del software AutoCAD 2015 y se hizo uso del Software Strater 4.1 para la elaboración de las columnas estratigráficas y el diseño constructivo de cada pozo.

Con base en las condiciones geológicas, hidrogeológicas, geoquímicas del sitio, los datos obtenidos en campo y los resultados de laboratorio se definió la extensión de la pluma contaminante, proponiendo la alternativa de remediación más adecuada a las condiciones del sitio.

---

<sup>10</sup> EPA: Agencia de Protección Ambiental

<sup>11</sup> MTBE: Metil tert-butil éter

---

## **VI. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En este capítulo se hace un análisis de los resultados obtenidos tanto en campo como en laboratorio; así como el comportamiento del contaminante en el subsuelo de acuerdo a las condiciones geológicas, hidrogeológicas y geoquímicas del sitio de estudio.

### **6.1. Geología del área de estudio**

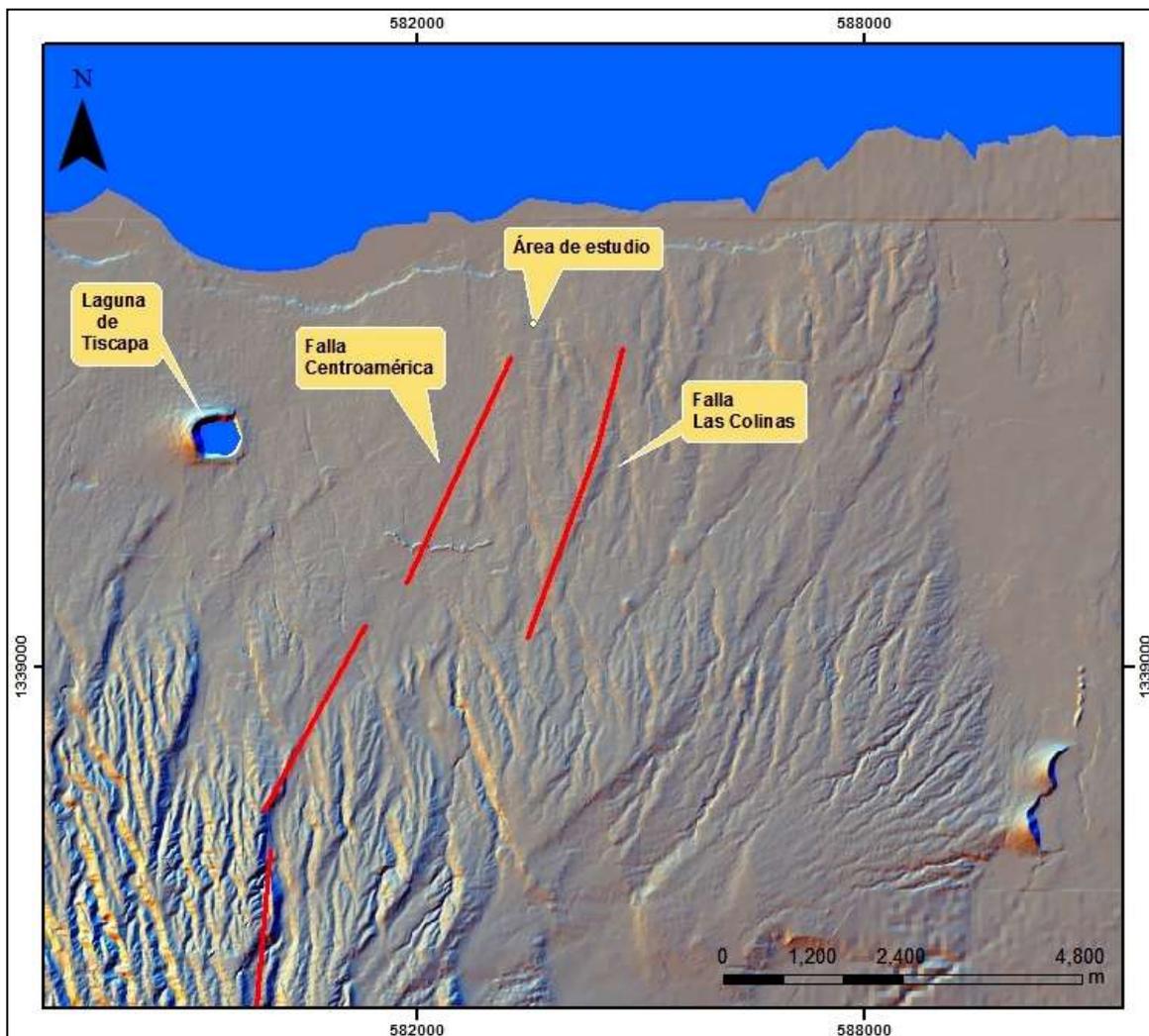
El área de Managua de aproximadamente 1800 km<sup>2</sup> incluyendo el área del lago de Managua, está en la parte central de Nicaragua occidental, a 45 km del Océano Pacífico, dentro de la Depresión de Nicaragua.

La diferencia de altitud de 900 m en el relieve de cuesta estructural, que va desde la cresta levantada (948 m.s.n.m) del escarpe de falla Las Nubes hasta el litoral del Lago de Managua (a 40 m.s.n.m) en una distancia corta de 17 km, conlleva a zonas definidas donde se manejan esfuerzos de levantamiento y hundimientos paulatinos, los cuales se caracterizan por representar planos de discontinuidades en la superficie y sub superficie que los facilitan como zonas de recargas localizadas.

En el contexto del Graben de Managua, la estación de servicio se encuentra bajo la influencia directa de 2 rasgos físicos que condicionan los procesos geológicos que inciden en el sitio:

1.- El área de estudio se encuentra en la cota de 74 m.s.n.m, propio de la parte baja de la cuesta estructural, 2 km antes de alcanzar el litoral del Lago de Managua. Esta ubicación, coincide con un cambio sutil en la inclinación de los estratos, el cual hace un plano de discontinuidad subvertical, facilitando el proceso de infiltración y transporte del hidrocarburo en el subsuelo. Es importante notar que el área de la estación de servicio se encuentra totalmente impermeabilizada, evitando así la infiltración de las aguas pluviales, las cuales no tienen ninguna influencia en el transporte y migración del contaminante.

2.- El sitio de estudio se encuentra en un bloque sometido a esfuerzos de compresión entre un segmento de falla del Sistema Centroamérica a 460 m al Oeste y un segmento de la Falla Las colinas a 750 m al Este (Figura 20). Este ambiente compresivo estructural se asocia al grado de coherencia y compacidad de los horizontes de tobas de moderada a baja permeabilidad que dificulta el avance lateral y longitudinal del hidrocarburo en el medio.



**Figura 20. Ubicación tectónica del área de estudio**

Con base en la determinación del gradiente hidráulico semi regional, se ubicaron los sondeos transversales a la posible trayectoria de una pluma contaminante y tomando en cuenta los 10 sondeos exploratorios previamente realizados en el área, las 9 perforaciones mecanizadas alcanzaron una profundidad entre los 13.0 y 21.0 m desde la superficie, siendo lo más relevante que ninguno de ellos alcanzó el nivel freático del

---

área, indicando esto que la zona de infiltración, transporte y afectación está constreñida a la parte de la zona vadosa, caracterizada por horizontes de tefras y tobas del Holoceno y Pleistoceno pertenecientes al Grupo Managua y Grupo Las Nubes.

## **6.2. Descripción de los sondeos**

De acuerdo a los resultados obtenidos en los nueve sondeos perforados en la estación de servicio, se conoció las características del sitio. Se describe el sondeo PMSC-12 por ser el de mayor profundidad, ya que todos presentan el mismo comportamiento y características, dado lo reducido del área de estudio.

- **Pozo PMSC-12**

Este sondeo se perforó hasta una profundidad de 24.0 m, iniciando la descripción a los 3 metros de profundidad, debido a que producto de las actividades de remodelación en la estación de servicio, de los 0 a los 3 m fue cubierto por material selecto de relleno. En el área se presenta arena que va de fina a gruesa y la coloración del material varía de gris claro a gris oscuro. A la profundidad de 9.0 m se encontraron fragmentos de escoria con tamaño de 2.0 cm, con presencia de líticos subangulosos con tamaños variables entre 2.0 a 2.5 cm. A los 19.0 m de profundidad los fragmentos de escoria se meteorizaron a una arcilla de coloración café oscuro (Figura 21). Los registros de cada sondeo se presentan en el anexo 2.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA  
UNAN - MANAGUA  
Facultad de Ciencias e Ingenierías  
Ingeniería Geológica

PMSC-12

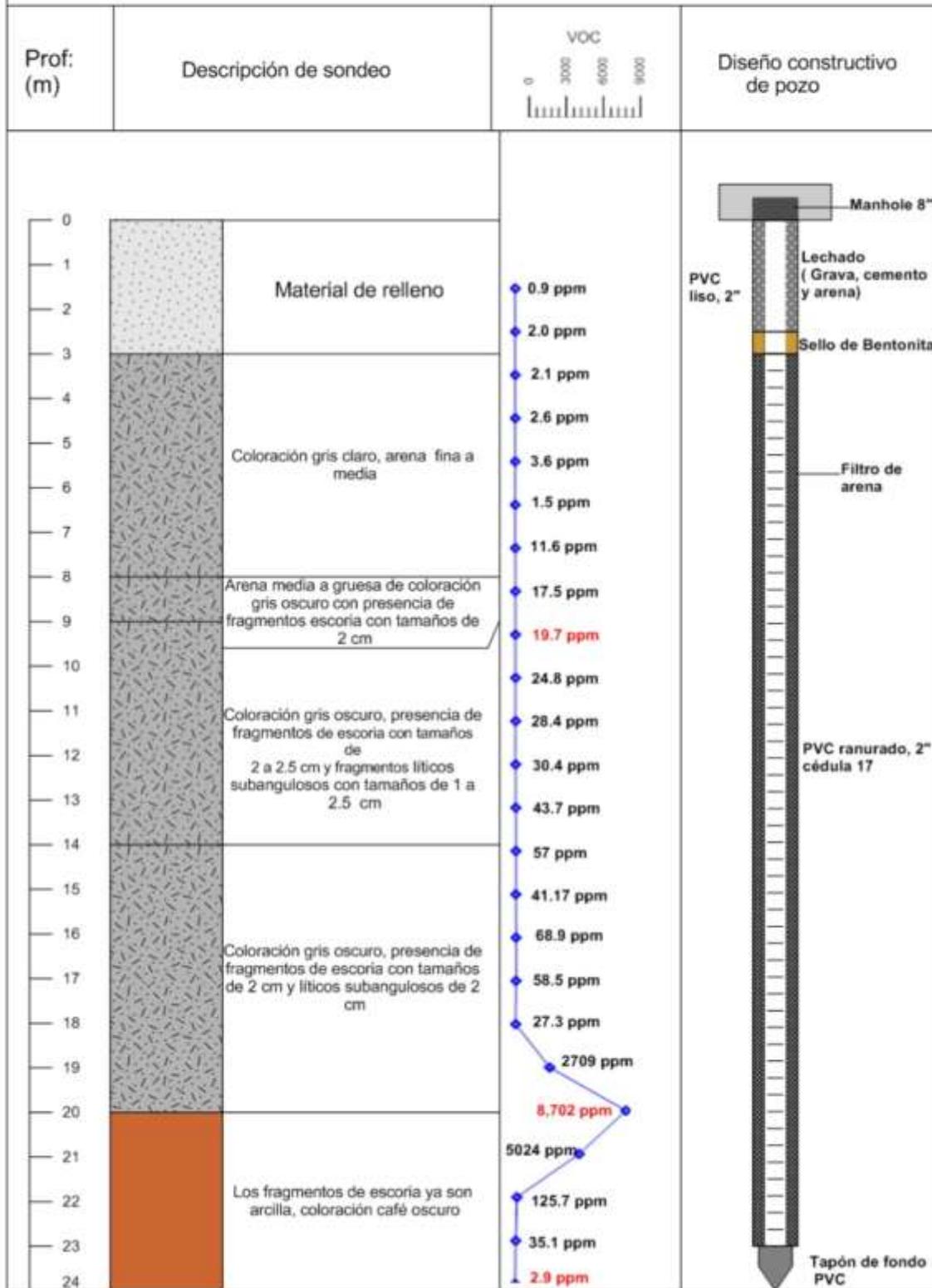


Figura 21.Descripción del sondeo 12

---

### **6.3. Hidrogeología del Sitio**

Las aguas superficiales y subterráneas dentro del Graben de Managua presentan un estrecho vínculo genético, por lo que la ocurrencia de ambas tiene el mismo abordaje desde el punto de vista hidrológico. El terreno de la estación de servicio se encuentra en el margen interno Este del Acuífero Central de Managua, donde el medio acuífero lo conforman las rocas del Grupo Las Sierras o rocas reservorios, mientras los estratos del Grupo Managua conforman la zona vadosa.

En las perforaciones no se interceptó el nivel freático, dada la diferencia de cota con relación al litoral de Lago de Managua este se considera que esté al menos 35.0 m de profundidad debajo del área superficial de la estación de servicio.

#### **6.3.1. Gradiente Hidráulico**

El transporte de contaminantes es controlado por el gradiente hidráulico, conjuntamente con la conductividad hidráulica y la porosidad del acuífero. El gradiente hidráulico indica la dirección del flujo subterráneo. En acuíferos no confinados el gradiente con frecuencia, sigue la pendiente prevaleciente del terreno (Álvarez et al., 2003).

Para la realización del cálculo del gradiente semi regional y la dirección del flujo se tomó de referencia tres pozos cercanos al sitio, el pozo denominado Kennedy ubicado hacia el NW a una distancia de 2.40 km, el pozo denominado Café Soluble ubicado hacia el NE a una distancia de 4.22 km y el pozo de la empresa Enacal (Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados) ubicado en la parte SE a una distancia de 1.22 km aproximadamente (Figura 22).

Una vez ubicados los pozos, se identificó el pozo Café soluble con columna media de agua ( $C_{\text{media}}$ : 3.77 m), posteriormente se midió la distancia entre el pozo de ENACAL con la mayor columna ( $C_{\text{mayor}}$ : 45.8 m) y Kennedy de columna menor ( $C_{\text{menor}}$ : 0.55 m), con esta distancia se calculó el valor de X mediante la ecuación 1.

Calculando X de la ecuación 1 se obtiene

---

---

**Ecuación 1**       $X = \frac{2,371.63 \text{ m} (45.8 \text{ m} - 3.77 \text{ m})}{(45.8 \text{ m} - 0.55 \text{ m})} = 2,204.44 \text{ m}$

Obtenido el valor de X, se trazó una línea equipotencial o isolínea partiendo del pozo de columna media hasta la intersección del valor de “X” calculado. Se trazó una línea perpendicular (dirección de flujo) a esa línea equipotencial partiendo del pozo con columna menor de agua y la distancia entre el punto C<sub>menor</sub> y la intersección entre estas dos líneas, se obtiene la distancia para calcular gradiente hidráulico con la ecuación 2.

De la gráfica, el valor de D = 2.19 m se calcula el gradiente hidráulico empleando la siguiente fórmula:

**Ecuación 2**

$$i = \frac{C_{media} - C_{menor}}{D}$$

Donde D es la distancia de la dirección del flujo.

$$\text{Por tanto } i = \frac{3.77 \text{ m} - 0.55 \text{ m}}{219 \text{ m}} = 0.015 \text{ m}$$

El gradiente hidráulico semi regional es de 0.015 indicando una dirección de flujo hacia el NW.

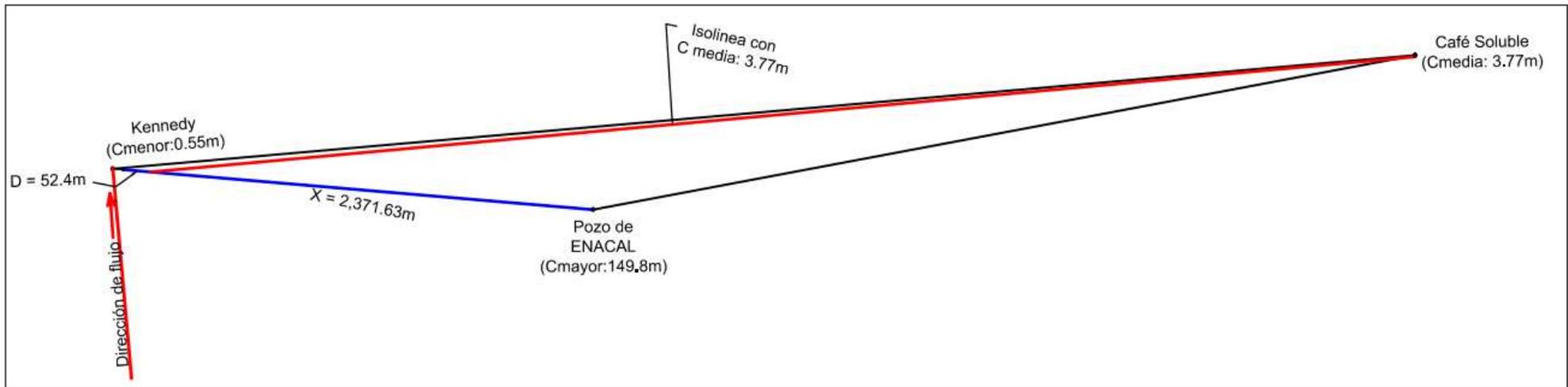


Figura 22. Gráfico de cálculo de Gradiente

---

#### 6.4. Determinación de la permeabilidad (K)

Para una mejor comprensión del posible comportamiento del contaminante en el subsuelo se llevó a cabo la prueba de permeabilidad, realizando un ensayo de infiltración in-situ, empleando el método de Lefranc.

Para la ejecución del ensayo se realizó un sondeo manual (Hand Auger) al que se le denominó SCPP-1<sup>12</sup> hasta una profundidad de 6.0 m. Las coordenadas del punto de medición son: 583705 E/1343429N.



**Foto 6. Prueba de permeabilidad**

Se definió realizar la prueba de infiltración a esta profundidad para conocer la permeabilidad del subsuelo más allá de los 3.0 m de profundidad (profundidad por debajo de la ubicación en la que se encuentran los tanques de almacenamiento cercanos al sitio de la prueba) y así estimar la velocidad con la que cualquier fluido podría moverse en el medio sub superficial (Foto 6).

Una vez realizado el sondeo se introdujo agua hasta saturar el subsuelo, al iniciar la prueba se tenía una columna de agua de 6.0 m en el sondeo (Figura 23) y se midió cada 5 minutos (equivalente a 300 seg) haciendo uso de la sonda interfase, las mediciones se hicieron conforme el descenso del nivel de agua.

---

<sup>12</sup> SCPP: Santa clara prueba de permeabilidad

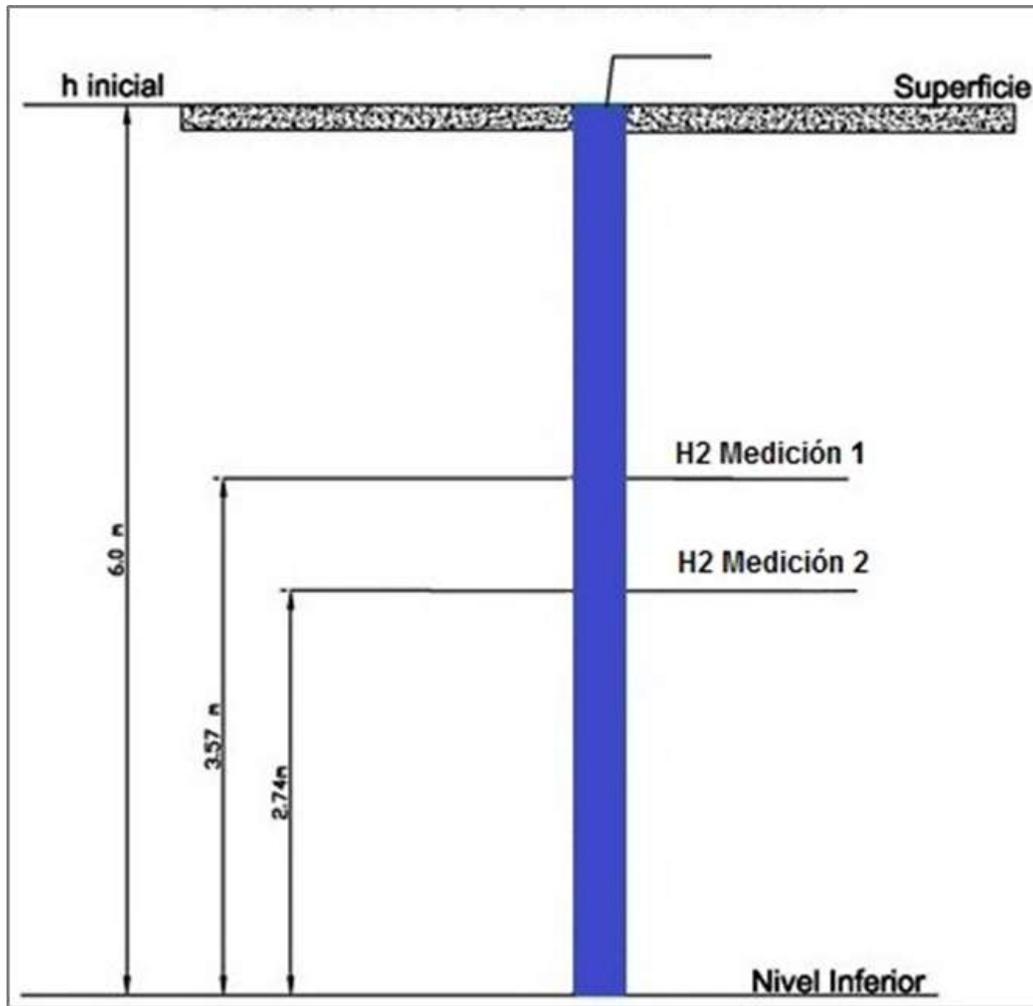


Figura 23. Gráfico de ensayo de permeabilidad

En el cuadro 3 se observan las 6 mediciones realizadas durante el ensayo, haciendo uso de la ecuación 1 aplicada para cada medición se obtuvo el valor de k.

$$\text{Ecuación 1} \quad K = \frac{2\pi R}{11(T_2 - T_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Cuadro 3. Resultados obtenidos de la prueba de permeabilidad

Medición	H1 (m)	H2 (m)	T1 (Seg)	T2 (Seg)	Radio (m)	K (m/seg)
1	6	3.57	0	300	0.0381	3.77E-05
2	6	2.74	300	600	0.0381	5.69E-05
3	6	2.70	600	900	0.0381	5.79E-05
4	6	2.81	900	1200	0.0381	5.50E-05
5	6	3.18	1200	1500	0.0381	4.61E-05
6	6	3.36	1500	1800	0.0381	4.21E-05
<b>Promedios</b>	6	3.06	750	1050	0.0381	4.88E-05

De acuerdo a los resultados de la prueba realizada, se obtuvo una permeabilidad primaria de moderada baja, con un valor promedio de  $4.88 \times 10^{-5}$  m/seg, lo cual concuerda con el hecho de no existir falla o fractura en el terreno de la estación de servicio que indicara una permeabilidad secundaria.

### 6.5. Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) medidos en campo

De acuerdo a la columna de la mayoría de los sondeos (PMSC-11, 12, 13, 14, 15,16, 17), se obtuvieron altos valores de volátiles a partir de los 3.0 metros en los estratos de arena fina a media con fragmentos de escoria y en la capa que presenta una meteorización incipiente (arcilla) a los 14.0metros promedio también presentó valores (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Valores de compuestos orgánicos volátiles medidos en campo**

Profundidad	Sondeos									Limite de referencia
	PMSC-11	PMSC-12	PMSC-13	PMSC-14	PMSC-15	PMSC-16	PMSC-17	PMSC-18	PMSC-20	
1	212.8	0.9	Relleno ( Material Selecto)							100 ppm
2	376.6	2.0								
3	296.8	2.1								
4	348.7	2.6	4,886	1,779	13,348	15,000	4,449	6.20	19.3	
5	355.3	3.6	4,469	1,249	15,000	8,201	5,301	0.30	17	
6	335.9	1.5	3,108	22.8	15,000	5,460	3,637	0.40	27.9	
7	394.8	11.6	3,847	48.0	15,000	5,706	399.8	1.60	15.4	
8	861.1	17.5	3,555	25.4	10,818	4,448	303.8	2.40	28.3	
9	719	19.7	3,244	14.2	10,148	3,545	194	9.0	15.4	
10	1,461	24.8	15,000	23.2	15,000	15,000	139.8	22.5	5.3	
11	4,748	28.4	15,000	31.9	15,000	15,000	88.8	9.0	3.0	
12	2,839	30.4	15,000	45.2	10,083	15,000	41.2	29		
13	1,929	43.7	15,000	29.6	15,000	15,000	71.5	39		
14	151.7	57	15,000	41.5	14,365	15,000	52.7	20.5		
15	263.2	41.7	15,000	53.4	15,000	15,000	300.3	46.4		
16	20.4	68.9	15,000	24	3,253	15,000	6,878	18.8		
17	4.60	58.5	3,682	7.70	131	15,000	-	14.8		
18	2.10	27.3	3,464	6.20	64.1	15,000	60.9	10.7		
19		2,709	1,523		135.4	15,000	19.3			
20		8,702	57.5		15,000					
21		5,024	0		93.5					
22		125.7			5.9					
23		35.1			6.7					
24		2.90								

---

## 6.6. Resultados de Hidrocarburos en muestras de suelo

Las concentraciones obtenidas de laboratorio fueron comparadas con la norma oficial mexicana para suelo de uso residencial SEMARNAT-2003. Un resumen de los resultados se presenta en el cuadro 5 y el reporte analítico del laboratorio en el anexo 3, los valores presentados en rojo son los que se encuentran por encima de la norma establecida.

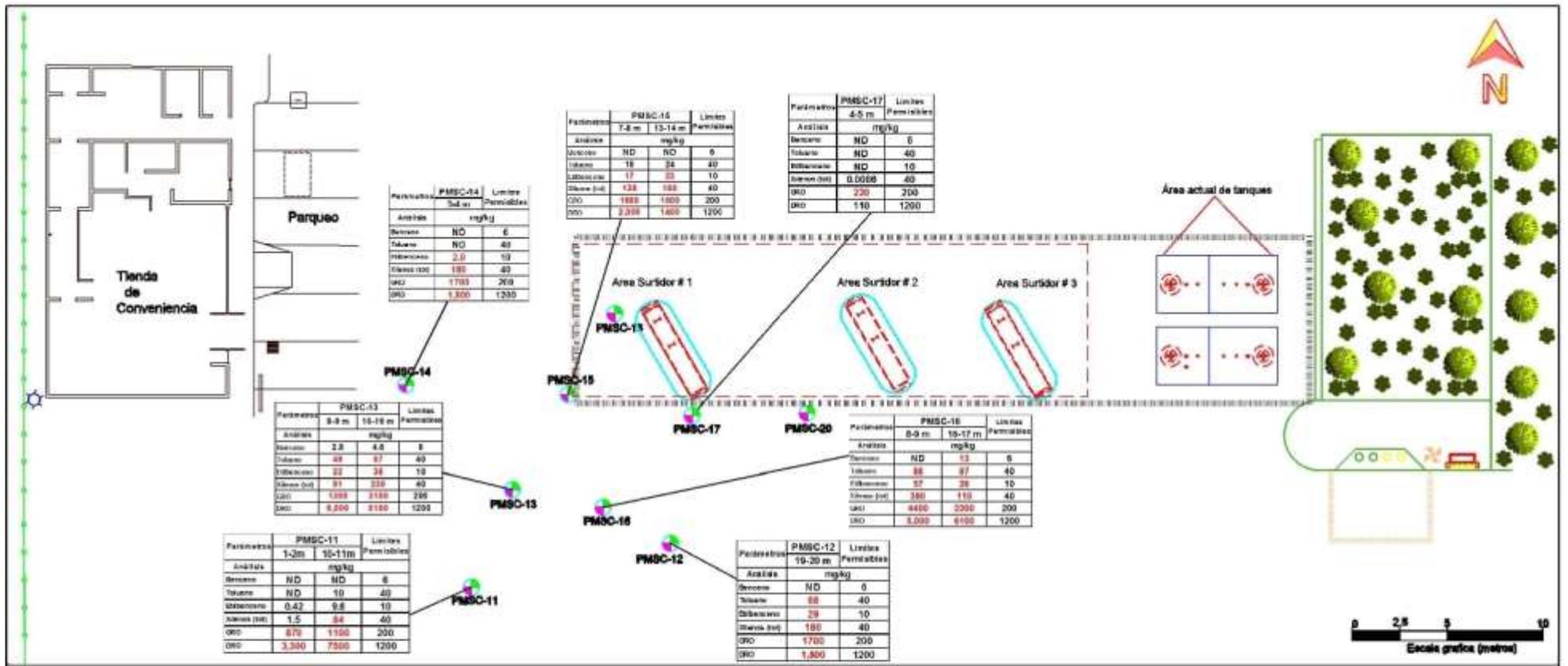
- El sondeo PMSC- 11 que se encuentra ubicado en el costado Suroeste de la antigua fosa de tanques, mostró concentraciones en la cadena ligera y media en el intervalo de 1 – 2 metros con concentraciones de 870 y 3300 mg/kg y el intervalo 10 – 11 metros presentó las mayores concentraciones de 1,100 y 7,500 mg/kg respectivamente mostrando una alta concentración de Xilenos Totales (84 mg/kg), en este mismo intervalo.
- El sondeo PMSC – 12 presentó afectación en el intervalo de 19- 20 m de profundidad con concentraciones de Tolueno (68 mg/kg), Etilbenceno (29 mg/kg), Xilenos Totales (180 mg/kg), en la cadena ligera (1700 mg/kg) y en la cadena media (1800 mg/kg).
- La afectación en el sondeo PMSC – 13 se encontró a diferentes profundidades, el intervalo de 8 – 9 metros presentó concentraciones de Tolueno (49 mg/kg), Etilbenceno (22 mg/kg) y Xilenos Totales (91 mg/kg), para la cadena ligera (1300 mg/kg) y en la cadena media con los valores más altos (6500 mg/kg). En el intervalo de 15- 16 metros se determinaron concentraciones de Tolueno (57 mg/kg), Etilbenceno (38 mg/kg) y Xilenos Totales (230 mg/kg), la cadena ligera presentó los valores de 3100 mg/kg y la cadena mediana (5100mg/kg).
- El sondeo PMSC-14 registró únicamente afectación de 300 mg/kg para la cadena ligera de hidrocarburo y 2500 mg/kg para la cadena media en el intervalo de 3-4 metros de profundidad.
- La afectación en el sondeo PMSC-15 se encontró en intervalos de 7-8 m con concentraciones de Etilbenceno (17mg/kg), Xilenos Totales (120 mg/kg), así como 1600 mg/kg en la cadena ligera y 2000 mg/kg en la

---

cadena media, las concentraciones en el intervalo de 13- 14 m de Etilbenceno (23mg/kg) y Xilenos Totales (160 mg/kg) y las concentraciones de las cadenas ligera y mediana de hidrocarburo de 1500 mg/kg y 1400 mg/kg.

- El sondeo PMSC-16 presentó concentraciones de Tolueno (86 mg/kg) Etilbenceno (57 mg/kg) y Xilenos Totales (390 mg/kg) en el intervalo de 8-9 metros, sin embargo a profundidad las concentraciones de la cadena ligera y mediana de hidrocarburo son de 4400 mg/kg y 5000 mg/kg. De igual manera en el intervalo de 16-17 metros, se encontró afectación por Benceno (13 mg/kg), Tolueno (97 mg/kg), Etilbenceno (26 mg/kg) y Xilenos Totales (110 mg/kg), mientras que las fracciones ligera y mediana de hidrocarburo registraron 2200 mg/kg y 6100 mg/kg.
- En el sondeo PMSC-17 se registró una afectación 220 mg/kg para la cadena ligera de hidrocarburo en el intervalo de 3-4 metros de profundidad, cabe destacar que la mayoría de los sondeos fueron realizados dentro de la fosa excavada para la extracción de los tanques de combustible. Los sondeos PMSC-18 y PMSC-20 no presentaron afectación por hidrocarburo.

La figura 24 presenta el plano con la ubicación de los 9 sondeos perforados con los valores encontrados y la figura 25 muestra la vista en planta del área afectada con la distribución de los contaminantes en la estación de servicio.



Hacia ENABAS

Carretera Panamericana Norte

Nomenclatura

Pozos de monitoreo 2015

Principales contaminantes encontrados en el sitio

Carrera:  
Ingeniería Geológica



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua  
UNAN-MANAGUA  
Facultad de Ciencias e Ingenierías

Elaborado por:  
Br. Andrea Yahoska Arias Monterrey

Fecha:  
Febrero, 2017

Fig. 24

Pág. 59

Figura 24. Plano con principales contaminantes encontrados en el sitio

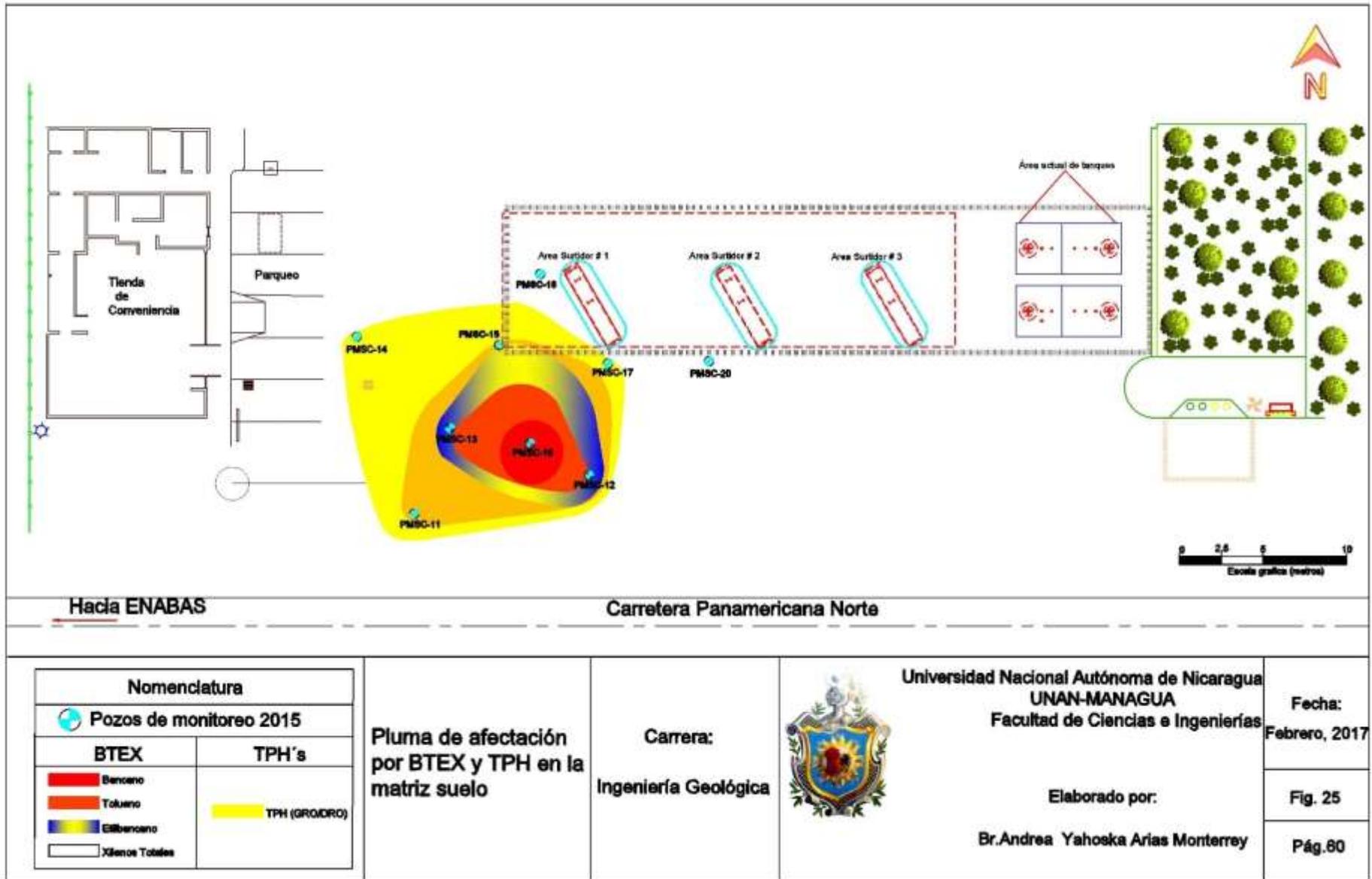


Figura 25. Pluma de afectación por BTEX y TPH en la matriz suelo

**Cuadro 5. Resultados analíticos de Laboratorio**

Parámetros	Muestra																										Límites Permisibles (mg/kg)	
	PMSC-11			PMSC-12			PMSC-13			PMSC-14			PMSC-15			PMSC-16			PMSC-17			PMSC-18			PMSC-20			
	1-2	10-11	17-18	8-9	19-20	23-24	8-9	15-16	20-21	3-4	11-12	17-18	7-8	13-14	18-19	8-9	16-17	22-23	4-5	10-11	18-19	4-5	14-15	17-18	7-8	10-11		
COV (100 ppm)	376.6	4748	2.10	19.7	8702	2.9	3244	15000	0.0	1779	45.2	6.20	10,818	14,365	135.4	3545	15000	6.7	5301	88.8	19.3	0.30	46.4	10.7	28.3	3.00		
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles, Método 8260B BTEX (mg/kg)</b>																												
Benceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.8	4.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6*
Tolueno	ND	10	ND	ND	68	0.017	49	57	ND	ND	ND	ND	10	24	ND	86	97	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	40*
Etilbenceno	0.42	9.6	ND	ND	29	ND	22	38	ND	2.0	ND	ND	17	23	ND	57	26	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10*
Xilenos Totales	1.5	84	ND	ND	180	0.024	91	230	ND	7.4	ND	ND	120	160	ND	390	110	0.012	0.92	0.0086	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	40*
MTBE	ND	ND	0.15	0.067	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.021	ND	ND	ND	1.4	ND	3.9	ND	ND	0.036	0.35	ND	0.018	0.24	ND	ND	ND	4400*
<b>Hidrocarburos Totales de Petróleo, Método 8015B (mg/kg)</b>																												
C6-C10	870	1100	ND	ND	1700	ND	1300	3100	ND	300	ND	ND	1600	1500	ND	4400	2200	ND	220	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	200*
>C10-C28	3300	7500	21	ND	1800	ND	6500	5100	ND	2500	ND	ND	2000	1400	ND	5000	6100	ND	110	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1200*

\*Los estándares de comparación se obtienen de la Norma NOM-138-SEMARNAT/SS-2003  
 ND: No Detectado

---

## 6.7. Propiedades Fisicoquímicas y Microbiológicas del Suelo.

Es de vital importancia tomar en cuenta las características físico-químicas en la matriz suelo para poder definir la técnica de remediación a aplicar en el sitio de interés y lograr alcanzar niveles de limpieza adecuados.

En el cuadro 6 se presentan los resultados de análisis físico- químicos realizados a la muestra de suelo del intervalo afectado 8- 13 metros de profundidad del sondeo PMSC-13. Se detalla el análisis de cada parámetro y su importancia en la técnica de remediación propuesta. En el anexo 4 se presenta el informe emitido por el Laboratorio LAQUISA.

**Cuadro 6. Resultados de parámetros físico químicos y microbiológicos**

<b>Muestra Compuesta MCSC 8-13m / PMSC - 13</b>		
<b>Análisis</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
pH	-	8.5
Materia Orgánica	%	1.27
Nitrógeno Total	%	0.10
Fósforo	ppm	8.5
Hierro Ferroso	ppm	2981.6
Hierro Ferrico	ppm	31.1
Hierro Total	ppm	3443.5
Manganeso	ppm	17.6
Nitritos	ppm	21.46
Nitratos	ppm	56.96
Potencial Redox	mV	-88
Capacidad de Intercambio Cationico (CIC)	meq/100g	43.18
Carbonatos	mg/l	1.90
Densidad Aparente	g/ml	1.44
Arcilla	%	2.48
Limo	%	14.36
Arena	%	83.16
Textura	%	Arenoso
<b>Análisis Microbiológicos</b>		
Recuento de Aerobios	UFC/g	170
Recuento de Hongos y Levaduras	UFC/g	70

---

El pH del suelo es alcalino con 8.5 unidades de pH. Este parámetro influye en la efectividad de la técnica de Oxidación Química In Situ (ISCO por sus siglas en inglés) tanto para la generación de radicales como en la especiación de Hierro. El hierro ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ) necesario para el proceso Fenton, predomina en un medio ácido (pH de 3 a 4), sin embargo, la presencia de Hierro en estado ferroso se garantiza en el medio alcalino empleando un agente Quelante como el EDTA<sup>13</sup> (Huling & Pivetz, 2006).

El porcentaje de materia es de 1, 27 %, lo que a simple vista no resulta ser significativo considerando que este es un componente susceptible a ser oxidado. No obstante, teniendo una densidad promedio de suelo de  $1,44 \text{ g / cm}^3$  lo que es equivalente a  $1440 \text{ kg/ m}^3$ , se determina que por cada metro cúbico de suelo se encontrarían 18 kg de materia orgánica, lo cual para un volumen de suelo considerable representaría una cantidad significativa que consumiría oxidante, reduciendo la cantidad destinada a reacción con el oxidante.

El potencial REDOX con un valor de -88 mV indica que en el intervalo afectado pueden predominar condiciones reductoras, lo cual está relacionado a la poca aireación y la baja concentración de materia orgánica (considerada como principal agente reductor en suelo), a su vez corrobora el pH alcalino determinado. Por consiguiente, las condiciones reductoras benefician a la formación del anión superóxido ( $\text{O}_2^-$ ) en el proceso de reactivo Fenton.

Los carbonatos son reactivos con los radicales generados y por tanto pueden afectar la eficiencia de reacción del Fenton, sin embargo las concentraciones de carbonatos en el suelo no son significativos (1.90 mg/l).

La capacidad de intercambio catiónico indica la capacidad para retener o intercambiar elementos minerales, este parámetro tiene su influencia en el sistema Fenton en lo que respecta al Hierro Ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ), lo que representaría un impacto positivo a la oxidación al mantenerse el hierro ferroso disponible para la catálisis del peróxido de hidrógeno.

---

<sup>13</sup> EDTA Ácido etilendiamino tetraacético

---

Se detectaron altas concentraciones del catión ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ), considerado este catión como una fuente natural de catalizador para la reacción Fenton y la degradación de contaminantes.

La concentración de nitratos es relativamente alta (56.96 ppm), considerando que los iones nitratos consumen radicales hidroxilos generados en el sistema Fenton, se toma este dato en consideración para la dosis idónea de oxidante a aplicar. Los nitritos por su parte son considerados iones inestables, lo normal es que se encuentren concentraciones bajas de este ion debido al proceso de desnitrificación que forma parte del ciclo biogeoquímico del Nitrógeno.

El material tomado a esa profundidad se ha definido, según el laboratorio como de textura arenosa, cuya característica principal es tener una baja permeabilidad, cuyo efecto es acondicionar el medio para la infiltración del contaminante.

Los tipos de compuestos de fósforo que existen en el suelo están determinados por el pH del suelo, en el medio existe un pH alcalino, en estas condiciones este compuesto se encuentra predominantemente insoluble, por lo tanto el fósforo se encuentra muy poco disponible con concentraciones de 8.5 ppm.

Ante la baja disponibilidad de nutrientes, la comunidad microbiana con potencial degradador de hidrocarburos es baja, observándose valores de 170 unidades formadoras de colonias por gramo de suelo siendo un valor muy por debajo de lo recomendado por la EPA (1000 CFU/ gr suelo<sup>14</sup>).

---

<sup>14</sup> CFU:Unidades Formadoras de Colonias

---

## **6.8. Comportamiento geoquímico del Hidrocarburo**

Con base en los resultados obtenidos de laboratorio, la información adquirida de la fosa excavada en la extracción de tanques y de cada sondeo realizado, se observa como los estratos de escoria, arena y líticos en una matriz de cenizas compactadas (tobas) dificultan la migración del contaminante. La textura de la escoria presenta vesículas donde se da el proceso de sorción, proceso que se repite en el medio poroso primario de tobas (cenizas y arenas), capaz de retener las partículas de hidrocarburos en forma pelicular tras entrar en contacto con este.

A una profundidad de 14.0 m en promedio los estratos de arcilla, que son producto de la meteorización de la roca, actúan como capa sello debido a sus características de baja a muy baja permeabilidad, impidiendo el avance progresivo en la migración y el transporte del contaminante.

Un dato importante a considerar es que el contaminante no alcanzó el nivel freático, por tanto todo el patrón de dispersión y migración del contaminante está contenido en la zona vadosa o zona de aireación.

En la dinámica de la movilización del contaminante, el valor de la permeabilidad es de mucha importancia; el área según el ensayo realizado in-situ posee una permeabilidad primaria de moderada a baja, lo que concuerda con la naturaleza litológica y estructural de coherencia media a alta de los materiales existentes en el área de estudio.

## **6.9. Procesos en la Infiltración y Transporte del Hidrocarburo**

La principal afectación en el subsuelo del sitio está dada por la fracción de gasolina y diésel, con la presencia de concentraciones de BTEX; todo esto ocurre en un medio de comportamiento geodinámico de estratos de tefras y tobas (foto 7), del Grupo Managua y del Grupo Las Nubes propia de la secuencia estratigráfica del área de Managua.

Considerando la morfología de cuesta estructural que va desde los 948 m.s.n.m en las Nubes hasta los 40 m.s.n.m en el litoral del Lago de Managua, el mismo se caracteriza

---

por quiebres sutiles en el relieve. Tales quiebres o líneas de inflexión del relieve implican planos de discontinuidad sub superficial, en los cambios de inclinación de la superficie de envoltura que siguen los estratos.

La estación de servicio está ubicada en un quiebre sutil del terreno, que sirvió como plano de discontinuidad donde aprovechó el hidrocarburo infiltrado para transportarse por advección hasta alcanzar el basamento de baja permeabilidad a 14.0 m de profundidad promedio. Esta parece ser la explicación más plausible para la advección en un medio no fracturado, donde la naturaleza lito estratigráfica del medio favorece el proceso de dispersión.

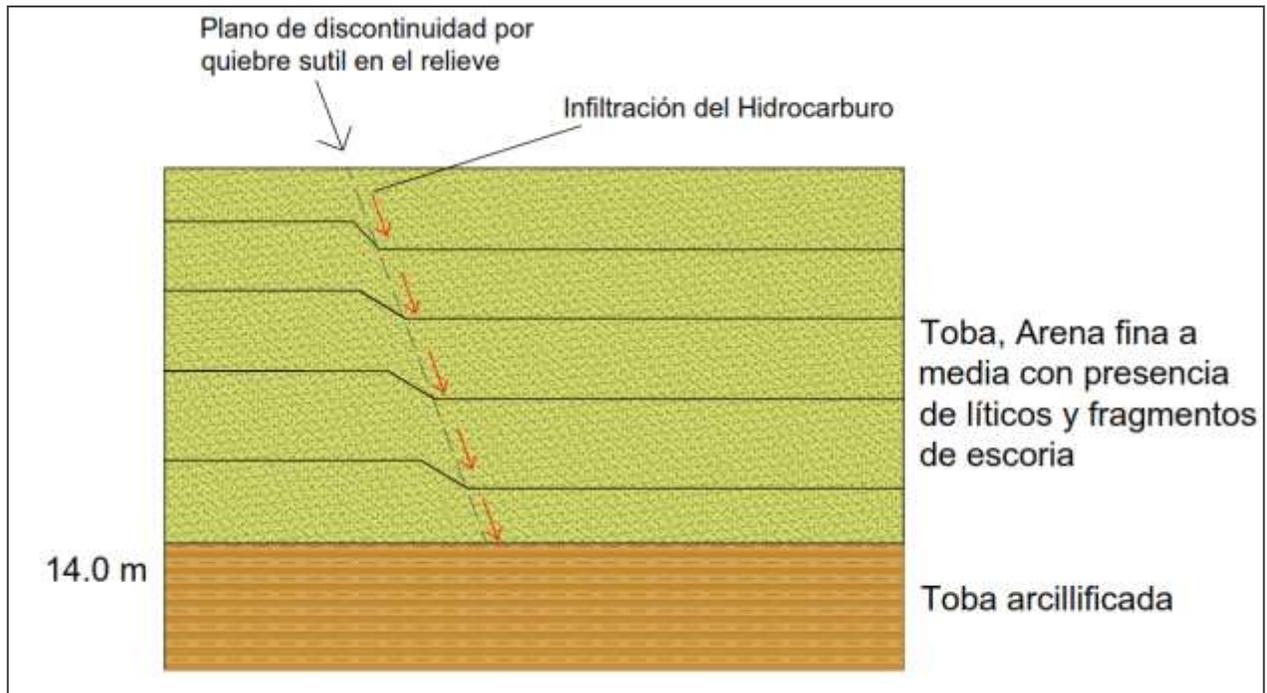


Foto 7. Fosa excavada en extracción de tanques

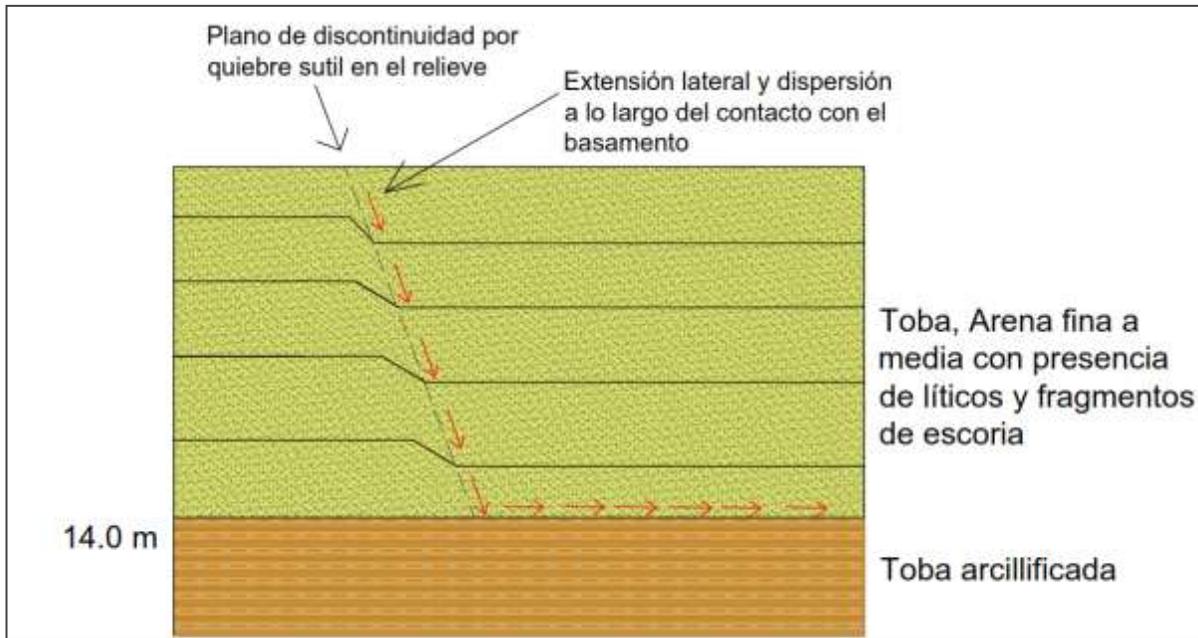
---

La secuencia en el proceso de advección y posterior dispersión sigue el siguiente orden:

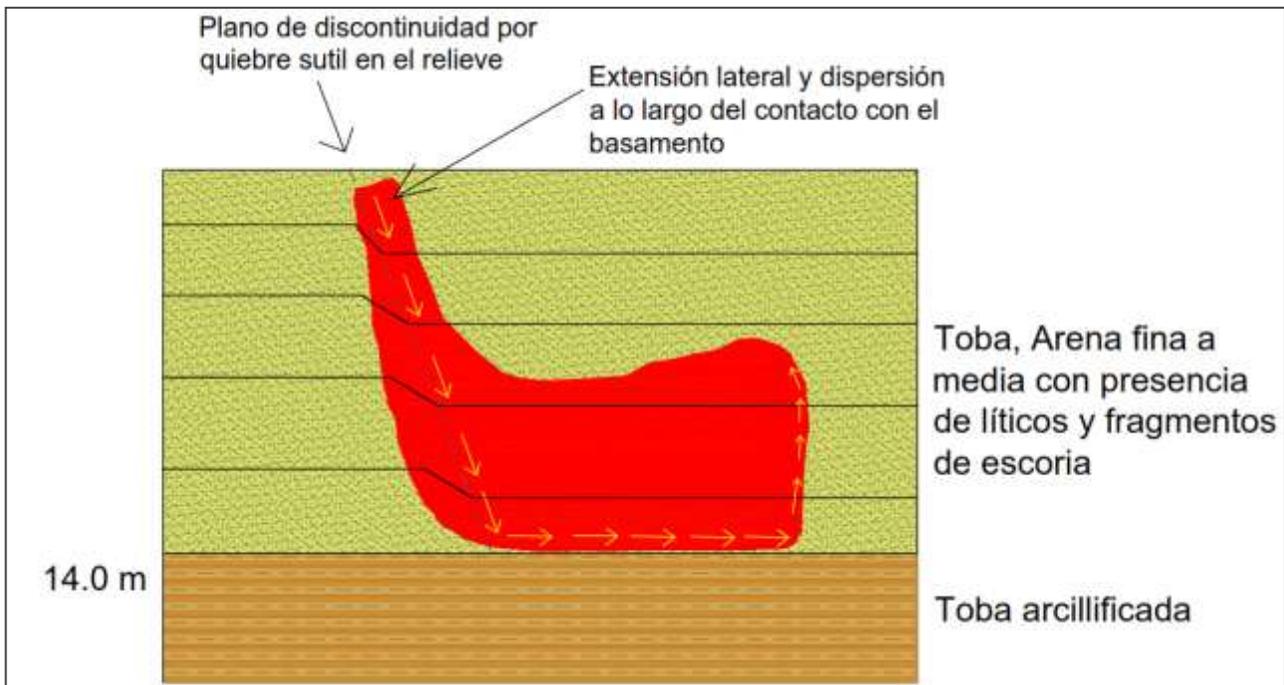
1. Infiltración y transporte sub vertical por advección del contaminante hasta los 14.0 m de profundidad, en el contacto con el basamento del área.



2. Dada la baja a muy baja permeabilidad del basamento, impide la continuidad de infiltración vertical del hidrocarburo pasando a transportarse horizontalmente por dispersión molecular a lo largo del contacto.
3. La estructura masiva de porosidad primaria de las tobas limitan la expansión horizontal por dispersión del contaminante, pasando a moverse en los espacios abiertos de la micro porosidad por difusión molecular.



4. El proceso de difusión molecular conlleva el retardo en el movimiento y transporte del contaminante causando una pluma estacionaria que cubre un área de 191 m<sup>2</sup>.



---

Con la finalidad de obtener una mejor visión acerca del proceso de advección por el cual el hidrocarburo logró infiltrarse en el subsuelo, se elaboraron 2 perfiles con la representación de la pluma de afectación. Cada perfil se trazó partiendo de las 2 fuentes de infiltración identificadas (antigua ubicación de tanques y área de antiguas líneas de conducción a los surtidores), observándose claramente en el perfil 1 (Figura 26) el comportamiento advectivo del contaminante que al llegar al estrato de arcilla tiende a moverse en la longitudinal, en el perfil 2 se aprecia de mejor manera el proceso de dispersión que presentó el contaminante (Figura 27).

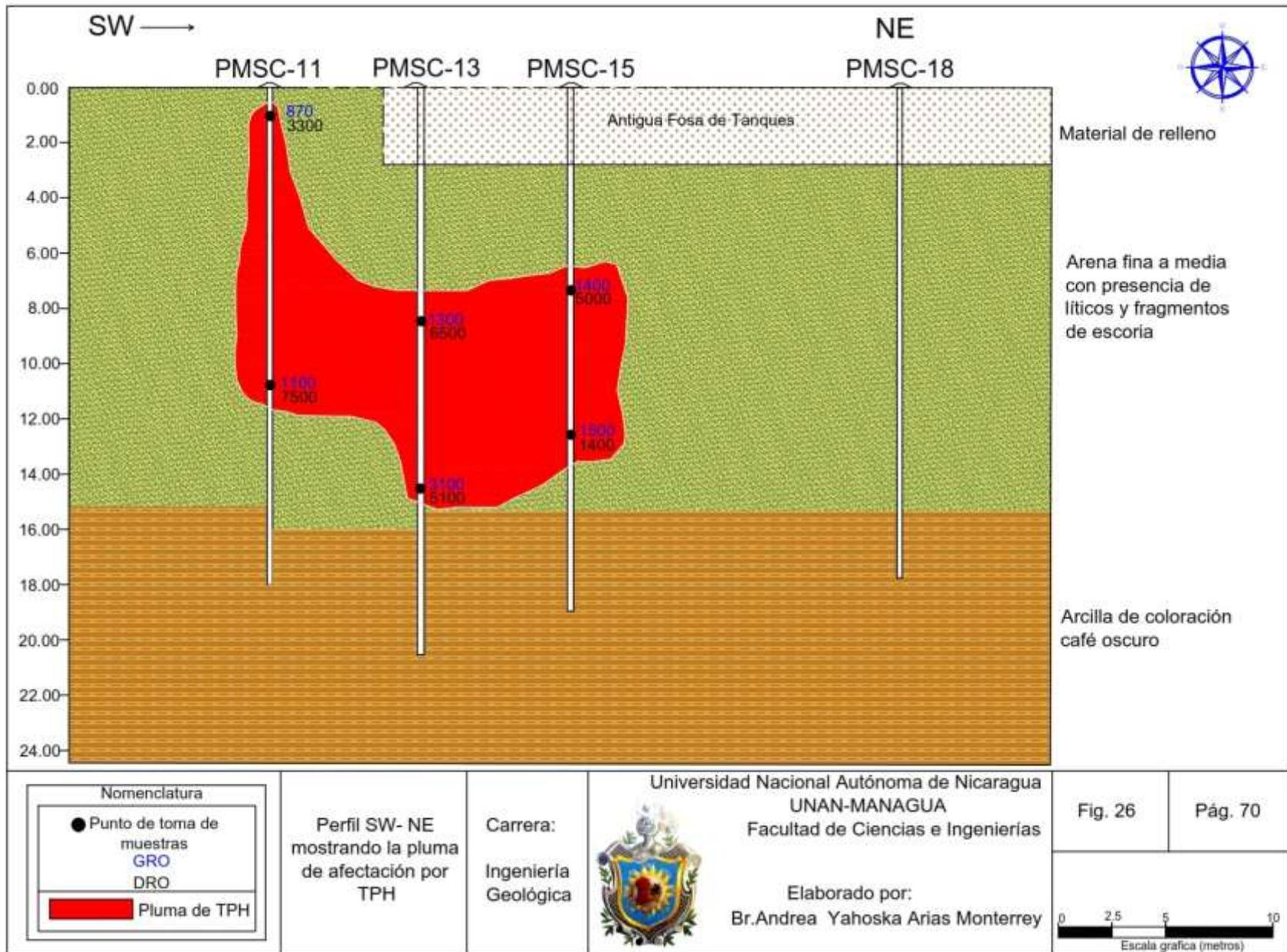


Figura 26. Pluma de afectación en dirección SW –NE por BTEX y TPH en la matriz suelo

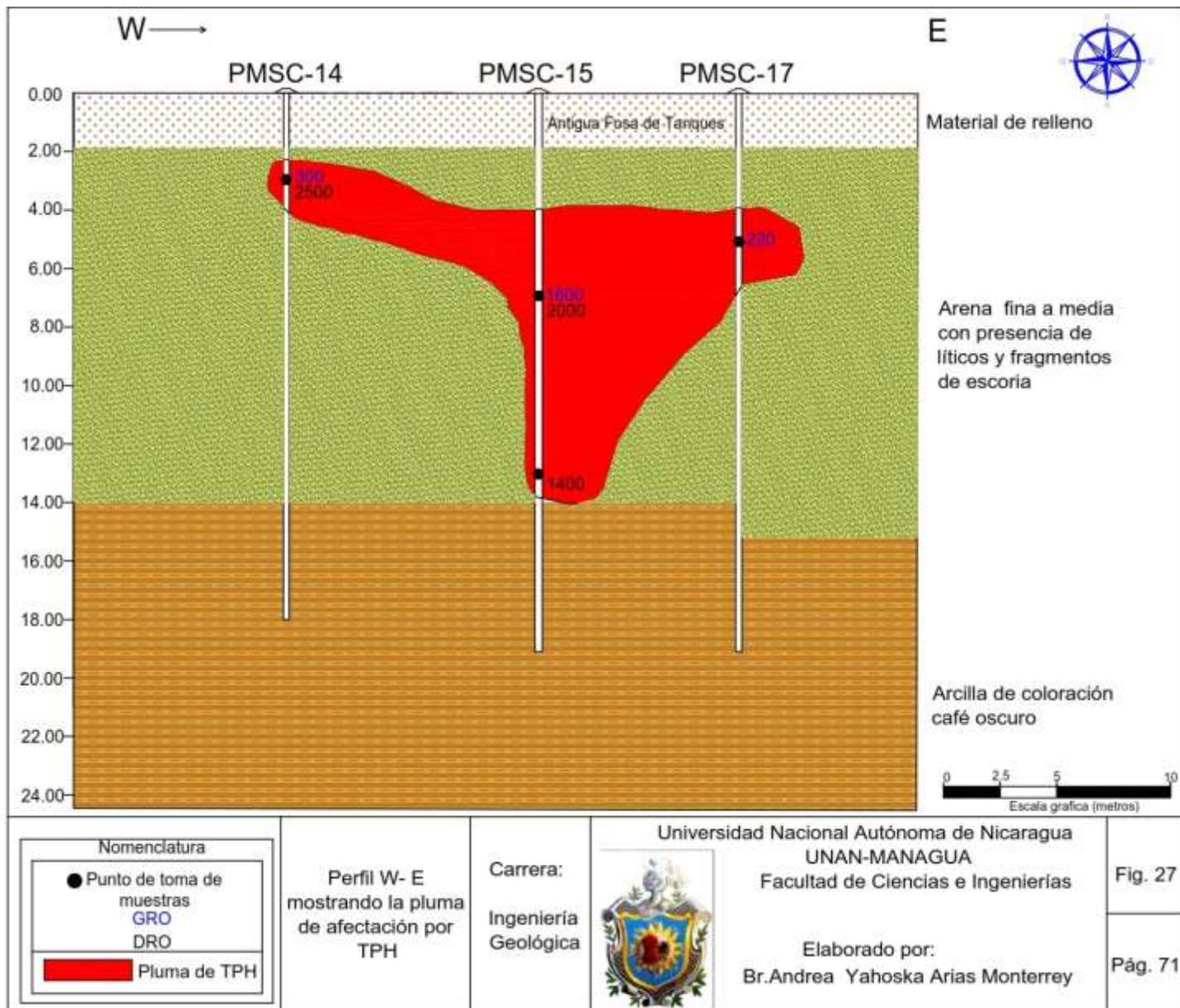


Figura 27. Perfil W- E mostrando la Pluma de afectación por TPH

---

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos de la Caracterización Geológica Ambiental por contaminación con Hidrocarburo en el sitio de estudio, donde se evaluaron las condiciones geológicas, hidrogeológicas y geoquímicas, se concluye lo siguiente:

- Localmente, el área no está siendo influenciada por ninguna estructura geológica (falla o fractura), lo que beneficia a que no haya una mayor dispersión del contaminante en el medio. Sin embargo la estación de servicio está ubicada en un quiebre sutil del terreno, que sirvió como plano de discontinuidad donde el hidrocarburo infiltrado se transportó por advección hasta alcanzar el basamento de baja permeabilidad a 14.0 m de profundidad promedio.
- El hidrocarburo se ha movido en el estrato que va de arena fina a media de los 3.0 m a los 14.0 m de profundidad, a partir de estas profundidades los estratos conforman una arcilla casi impermeable que funciona como una capa sello, dificultando la migración y transporte del contaminante a mayores profundidades.
- La mayor afectación en el sitio está dada por las fracciones ligera y media de los TPH's (GRO y DRO), semi volátiles que se han movido en dirección NW del gradiente hidráulico semi regional.
- La pluma contaminante delineada es de 191m<sup>2</sup> y espesores variables que definen un volumen de suelo afectado de 1,446 m<sup>3</sup>.
- Los parámetros físico químicos y microbiológicos del medio subterráneo indican que existen condiciones favorables para aplicar la técnica de remediación por oxidación química que mineralice los contaminantes presente en el medio.

---

## Recomendaciones

Considerando la afectación en el sitio y en muchos otros a nivel nacional; además que algunos estudios no se llevan a cabo con la rigurosidad debida se recomienda que:

- Previo a la ubicación de edificaciones críticas como son las estaciones de servicio, se realicen todos los estudios requeridos en la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 2014- 002- 03 en el artículo 5.2 que indica que se deben hacer estudios geológicos y de riesgo sísmicos en sitios donde se emplazarán Estaciones de Servicios, para evitar ubicarse en lugares inadecuados y así evitar riesgos de contaminación en caso de fuga o derrame.
- Realizar estudios geofísicos con la finalidad de determinar anomalías que puedan asociarse a presencia de hidrocarburos en el subsuelo y de esta manera optimizar la ubicación de los sondeos mecanizados que ayuden a obtener una mayor delimitación de la pluma de contaminación.

Para dar respuesta al problema de contaminación planteado en este estudio, se propone llevar acciones correctivas para lograr niveles de limpieza aceptables en el sitio de acuerdo a la normativa empleada en el país (SEMARNAT-2003), para lo cual se presentan alternativas de remediación en el Anexo 1.

---

## BIBLIOGRAFÍA

- ALMA (2003), Ficha Municipal del Municipio de Managua, Nicaragua.  
<http://www.inifom.gob.ni/>
- AMS (2008-2009), Master Catalog.
- Angelone - Garibay (2006), Permeabilidad de suelos.
- ATSDR. (2004). INTERACTION PROFILE FOR: Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX).
- Avellán, D., (2009), Tefroestratigrafía de la parte occidental de Managua, Nicaragua: Evolución de las estructuras volcánicas de Ticomo, Nejapa y Asososca, UNAM-México.
- Berruecos, D., (2012), Uso de métodos directo e indirecto en la caracterización de un sitio contaminado por hidrocarburos, México.
- Bustamante, J., (2007), Remediación de suelos y aguas subterráneas por contaminación de hidrocarburos en los terminales de Mollendo y salavery de la costa Peruana.
- Castillo, M., (1992), Estudio Agroecológico de la región III y su aplicación al desarrollo agropecuario. Agencia Finlandesa para el desarrollo internacional (FINNIDA).
- EPA (1991), Site Characterization for Subsurface Remediation.
- EPA (2004), How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites.
- EPC (2008), Perforaciones mecanizadas realizadas en estaciones de servicio de la ciudad de Managua
- Horna, L., (2013), Métodos de perforación.
- Huling, S., & Pivetz, B., (2006), In situ chemical Oxidation. EPA.
- MARENA (2001), Informe del estado Ambiental en Nicaragua. Managua.
- INETER (1999), Mapa de Cuencas Hidrográficas de Nicaragua, Dirección de Recursos Hídricos.
- INETER (2006), Mapa topográfico Nindirí Hoja 2952-II. Managua, Nicaragua.
- INIDE (2015), VIII de Población y IV de viviendas. Población características generales Volumen I. Gobierno de Nicaragua.

- 
- Lacasaña, M., González, B., Rodríguez, M., & Antonio, D., (2008). Evaluación de la exposición a BTEX en la población del Campo de Gibraltar.
- Lambe, W., & Whitman, R., (1997), Mecánica de Suelos. México.
- López, J., Fornés, A., Juan, M., Ramos, G., Gerardo, V., Fermín, (2012). Las aguas subterráneas un recurso natural del subsuelo. España: Instituto Geológico y Minero.
- Maldonado, L., (2012), Evaluación del comportamiento de la pluma contaminante ante eventuales escenarios de contaminación por hidrocarburo liviano en aguas subterráneas dentro de dos instalaciones industriales utilizando el software visual MODFLOW.
- MARENA (2000), Estimación del peligro potencial de contaminación en el acuífero de Managua. . Proyecto Uso Sostenible de los Recursos Hídricos (SUWaR Nicaragua).
- MARENA -IEA (2001), Estado del Ambiente en Nicaragua. Informe.
- Martínez, W., (2012), Registro de perforación para el desarrollo de exploración y explotación, concesión minera Boqueron Nagarote. Managua.
- Martínez, W., (2014), Estudio Geológico-Geofísico- Geotécnico, Proyecto El Carmen, Managua. Managua.
- Montgomery Santos & Heilemann - Chan., (1979). Estudio hidrogeológico del Área de las Lagunas de Nejapa, Asososca y Acahualinca. Managua.
- Ordoñez, N., (2012), Hidrogeología en rocas plutónicas y metamórficas.
- Ortiz, R., (1996), Glosario geohidrológico. México.
- Peña, V., (2012), Cuantificación de compuestos aromáticos (BTEX) en las emisiones gaseosas de fuentes móviles terrestres de gasolina en el distrito Metropolitano de Quito.
- Pereira, R., (2007), Recopilación de la información sobre la Biodiversidad de Nicaragua
- Poveda, R., (2005), Balance de la subcuenca central del acuífero de Managua utilizando el software Flowpath II. Managua.
- PROATAS (2014), Cuencas Hidrográficas de Nicaragua bajo la metodología Pfafstetter. Managua.

---

Rosas, A., (2004), El análisis de toxicidad de BTEX en agua, un elemento a considerar en la normativa de suelos contaminados por Hidrocarburos y en los criterios ambientales para aguas subterráneas en México.

Sánchez (2014), Conceptos fundamentales de Hidrogeología, España.

Siegrist, R., (2011), In situ Chemical Oxidation for Groundwater Remediation. New York: Springer Science.

SUWAR NICARAGUA., (2000), Vulnerabilidad Hidrogeológica del Acuífero de Managua.

Torres, P., (2009), Ensayo de Permeabilidad de Lefranc.

Ubaldo, J. L. (2007). Remediación de suelos y aguas subterráneas por contaminación de Hidrocarburos en los Terminales de Mollendo y Salaverry de la costa Peruana. Lima, Perú: Univerisdad Nacional De Ingenieria .

Velásquez, G., (2011). Geomorfología y vulnerabilidad social del Municipio de Managua, Nicaragua. UNAM - México.

Volke, T., Velasco, J., (2002), Tecnologías de remediación para suelos contaminados. México.

Whitlow, R., (1994), Fundamentos de mecánica de suelos.

Zuñiga, C., (2006), Determinación de Hidrocarburos Totales de Petróleo(TPH Diesel) en choritos *Mytilus chilensis* (Hupe, 1854) de la bahía de corral y sitios aledaños. Chile.

# **Anexo 1**

## **ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN**

## 1. Introducción

En este anexo se presentan las alternativas de remediación in situ que pudieran ser aplicables de acuerdo a las características geológicas, geoquímicas e hidrogeológicas del área de estudio, así mismo basado en las principales características de los contaminantes y el grado de afectación del medio.

### 1.1. Inyección de aire /extracción de vapores del suelo (AS/SVE)

La inyección de aire (AS por sus siglas en inglés, Air Sparging), es una técnica de remediación in-situ que reduce la concentración de los constituyentes volátiles de los productos derivados del petróleo que se encuentran adsorbidos en el suelo o disueltos en el agua subterránea (Huling & Pivetz, 2006).

Esta tecnología involucra la inyección de aire libre de contaminante en la zona saturada sub-superficial, produciendo la transferencia de los hidrocarburos del estado disuelto al gaseoso. Al combinar esta técnica con la de extracción de vapores del suelo (SVE por su siglas en inglés, Soil Vapour Extraction), también conocida como extracción al vacío, se crea un gradiente de presión negativa en la zona no saturada a través de una serie de pozos que controlan la migración de la afectación (Huling & Pivetz, 2006).

Las ventajas y desventajas del método son:

Ventajas:

- Equipo de fácil disponibilidad e instalación.
- Implementación con mínimas interferencias.
- No requiere remoción, tratamiento, almacenamiento, o consideraciones de descarga de las aguas subterráneas.

Desventajas:

- No puede ser usado si existe producto libre (este deberá ser removido antes de la inyección de aire)

- Existen interacciones no bien entendidas entre complejos procesos químicos, físicos y biológicos producidos por el método.
- Potencial para inducir la migración de los contaminantes.
- Requiere la implementación de prueba piloto y monitoreo para asegurar el control del vapor y limitar la migración de los diferentes componentes.
- Períodos relativamente largos de tratamiento (de 1 a 3 años bajo condiciones óptimas).

Los dos factores principales que condicionan la efectividad de técnica de extracción de vapores son:

- Volatilidad: cuanto mayor sea la volatilidad de los contaminantes más fácilmente serán extraídos, lo cual indica que funciona mejor con los COVs.
- Permeabilidad del suelo: determina la velocidad a la que el aire puede ser inyectado en la zona saturada y la tasa de transferencia de masa de los constituyentes de la fase disuelta a la volátil. La permeabilidad para la aplicación de esta técnica tiene que ser de  $K \geq 10^{-8}$ .

## **1.2. Oxidación Química In Situ**

La técnica de Oxidación Química in situ, consiste de la introducción de un agente químico oxidante en la sub-superficie para transformar los contaminantes presentes en el suelo o en el agua subterránea en especies químicas menos peligrosas. Entre los oxidantes comúnmente usados están el Peróxido de Hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y su variante del Reactivo Fenton (peróxido de hidrógeno catalizado con hierro ferroso) y el Permanganato de Potasio ( $KMnO_4$ ). El Persulfato ( $S_2O_8$ ) es un oxidante actualmente en desarrollo y bajo investigaciones y también se encuentra el Ozono ( $O_3$ ) un fuerte oxidante que resulta ser muy costoso (Huling & Pivetz, 2006).

### **1.2.1. Permanganato de Potasio ( $KMnO_4$ )**

El  $KMnO_4$  es un oxidante que puede ser usado en zonas de afectación por hidrocarburos u otros compuestos orgánicos en agua y suelo. Este compuesto químico

es usado en debido a su persistencia y difusión ya que su velocidad de oxidación es relativamente lenta, lo que permite su entrada en el medio poroso antes de reaccionar con materia orgánica y logra por ende transportarse en materiales de baja permeabilidad. Además, funciona efectivamente para el tratamiento de compuestos aromáticos. En algunos casos junto con el oxidante se emplea un catalizador que aumenta la eficiencia del proceso de oxidación (EPA, 2004).

La aplicación puede llevarse a cabo mediante perforación con barras de inyección, o mediante pozos de aplicación por gravedad, en disoluciones de 0.5, 2 o hasta 6 %. La inyección puede realizarse a presión para aumentar el radio de distribución del producto en la zona (EPA, 2004).

Las ventajas del uso de permanganato son las siguientes:

- Oxida compuestos orgánicos en un amplio rango de pH (3.5 – 12)
- Es altamente soluble, por lo que permite la inyección del producto en altas concentraciones.
- Reacciona por un período prolongado en la sub-superficie, permitiéndole un mejor contacto con los contaminantes ya que se transporta tanto por advección como por difusión.
- Normalmente no produce calor o vapores perjudiciales para la salud pública.

Entre sus desventajas se encuentran las siguientes:

- Una vez estando en el medio, el  $\text{KMnO}_4$  no se limitará a atacar a las moléculas de hidrocarburo, sino que también reaccionará con la materia orgánica natural del sitio y especies minerales reducidas, como son las especies ferrosas, manganosas y de azufre (Demanda Natural de Oxidante) (Siegrist et al, 2011).
- Posible formación de precipitados o compuestos insolubles que podrían afectar reduciendo la permeabilidad del medio interfiriendo con la eficiencia del tratamiento (Siegrist et al, 2011).

- Entre los compuestos que se consideran resistentes ante la acción oxidante del permanganato de potasio se encuentran los hidrocarburos de petróleo, los cuales se degradan 2 o 3 órdenes de magnitud menos que otros compuestos. (Huling et al, 2006).

### **1.2.2. Persulfato de sodio ( $Na_2S_2O_8$ )**

Es la forma más nueva de oxidante que se utiliza actualmente para la ISCO<sup>15</sup>. Las sales de persulfato se disocian en soluciones acuosas para formar el anión de persulfato ( $S_2O_8$ ); este es un fuerte oxidante y puede degradar muchos contaminantes ambientales o puede ser catalizado con diversos reactivos entre ellos el hierro ferroso (Fe II) para formar radicales de sulfato ( $SO_4^-$ ), un motor más potente para la oxidación del contaminante. El persulfato es más estable en el subsuelo y pueden persistir durante semanas, lo que sugiere que la demanda oxidante natural para persulfato es baja (EPA, 2004).

Ventajas.

- Persiste en el suelo y puede ser inyectado en altas concentraciones.
- Se transporta en medio poroso y en materiales de baja densidad.
- Reacciona con el benceno, permitiendo así que pueda ser usado en sitios con altas concentraciones de BTEX.
- No parece reaccionar tan fácilmente con la materia orgánica del suelo.

Desventajas:

- Es un oxidante emergente y en general la literatura es limitada.
- Falta de sistema de diseño, por la poca experiencia en campo.
- Requiere altos contenidos de catalizador (Fe (II)) para radical el sulfato ( $SO_4^-$ )

### **1.2.3. Peróxido de hidrógeno catalizado (Reactivo FENTON)**

El  $H_2O_2$  es un oxidante fuerte, cuando este es inyectado en el ambiente sub-superficial reacciona rápidamente con los contaminantes orgánicos y otros materiales del medio.

---

<sup>15</sup> ISCO: In situ chemical oxidation

Se descompone en oxígeno y agua en cuestión de horas posterior a su introducción al medio, reaccionando exotérmicamente y por ende generando calor en el proceso (EPA, 2004).

El peróxido resulta ser particularmente efectivo en presencia de un catalizador metálico como el hierro ferroso ( $\text{Fe}_{2+}$ ), para producir el Reactivo Fenton. El hierro ferroso puede estar presente de manera natural en el medio, o puede ser agregado como una solución catalizadora junto con el peróxido de hidrógeno (EPA, 2004).

La presencia del catión metálico hierro en su forma reducida ( $\text{Fe}_{2+}$ ), permite la síntesis de radicales hidroxilo, principal agente oxidante que reacciona con los compuestos orgánicos rompiendo los enlaces de hidrocarburos de petróleo, siendo capaz incluso de oxidar MTBE y benceno. Para que este metal se asegure en el medio debe presentarse un ambiente con un pH ácido (3-5), o puede adicionarse en una solución junto con un agente quelante (EPA, 2004).

El peróxido es típicamente añadido en estado líquido en dosis de concentraciones de 1 al 10%. De acuerdo a las características del medio, el peróxido de hidrógeno o el reactivo Fenton puede inyectarse a presión o por gravedad a través de pozos de inyección. Ya sea para ambos tipos de aplicación, se recomienda múltiples eventos, separado por períodos extendidos de monitoreo, para lograr los objetivos de remediación (EPA, 2004).

### Ventajas

- Especies químicas intermediarias de la reacción Fenton como el superóxido.
- Reacciona rápidamente con una gran variedad de compuestos.
- ( $\text{O}_2^-$ ) pueden transformar los contaminantes por reducción.
- Puede optimizar la atenuación natural de los contaminantes debido a la liberación de oxígeno gaseoso y calor en el medio. Además que algunas especies inorgánicas oxidadas pueden servir como aceptores de electrones de las bacterias.
- Bajo costo

Desventajas:

- Excesiva descomposición del peróxido de hidrógeno produce reacciones no productivas , lo cual disminuye la eficiencia del proceso.
- Excesiva liberación de calor asociado con altas concentraciones de peróxido puede dañar o derretir tuberías PVC, volatilizar los contaminantes.

### **1.3. Evaluación de la técnica recomendada**

Con base en las condiciones geológicas, hidrogeológicas, geoquímicas del área de estudio y los resultados de laboratorio de parámetros físico químicos que deben ser considerados en el diseño del plan de remediación y que contribuyen a la efectividad de limpieza del área de estudio se considera lo siguiente:

- La técnica de inyección de aire y extracción de vapores del suelo es eficiente mayormente con compuestos volátiles.
- El permanganato de potasio es el oxidante con mayor demanda natural, producto de que es un oxidante que reacciona con diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos, en consecuencia se necesitan altos volúmenes para alcanzar los límites de limpieza permisibles en suelo.
- El Persulfato de sodio necesita de un catalizador para ser activado, puede ser activados con el hierro Fe (II) el que se encuentra disponible en el medio con concentraciones relativamente altas y reacciona con una gran variedad de contaminantes principalmente con los hidrocarburos, sin embargo es una técnica que cuenta con muy poca literatura disponible y por ende poca experiencia en campo, con base en lo descrito anteriormente está técnica no se considera confiable para aplicar.

De la descripción teórica realizada sobre las técnicas de remediación y algunos parámetros claves que contribuyen a su efectividad y que se deben de tomar en cuenta para el diseño del plan de remediación del sitio; se ha considerado llevar a cabo la técnica de Oxidación Química usando el reactivo Fenton (peróxido de hidrogeno, sulfato ferroso y el quelante EDTA), para degradar el contaminante y

disminuir las concentraciones hasta los límites permisibles que establece la norma oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 para suelo de uso residencial.

Para determinar la dosis de oxidante a suministrar en un tiempo de reacción prudente que logre la degradación efectiva del contaminante se tomaron en cuenta los siguientes elementos.

- Máximos valores de cada compuesto detectado
- Volumen de suelo a remediar en intervalos por cada área
- Masa total a remediar por cada área
- Contenido de contaminante en las masas de suelo
- Cantidad de oxígeno requerido
- Demanda estequiométrica del hidrocarburo
- Volumen del oxidante requerido al 50%
- Volumen del oxidante requerido al 10%

### **1.3.1. Cálculo de reactivo Fenton**

- **Máximos valores de cada compuesto detectado**

Para la realización del cálculo del oxidante, primeramente se tomaron los máximos valores de los compuestos obtenidos en los resultados analíticos de laboratorio.

**Benceno:** 13 mg/kg

**Tolueno:** 97 mg/ kg

**Etilbenceno:** 57 mg/kg

**Xilenos:** Totales: 390 mg/kg

**GRO:** 4, 400 mg/kg

**DRO:** 7, 500 mg/kg

➤ **Volumen de suelo a remediar en intervalos por cada área**

Una vez obtenidos los máximos valores por cada compuesto, se dividió el área total (191 m<sup>2</sup>) en seis áreas para la correcta distribución del oxidante en el sitio. Para el cálculo del volumen se emplea la siguiente fórmula:

$$V = (\text{área de afectación}) (\text{intervalo afectado})$$

**Área 1**

El área 1 tiene una extensión de 22.26 m<sup>2</sup> y se localiza en las cercanías del PMSC-14, donde la principal afectación corresponde a cadenas ligeras y media de hidrocarburos donde solamente se detectó afectación a los 4 metros de profundidad.

$$V = (22.26 \text{ m}^2) (1 \text{ m}) \quad \underline{V = 22.26 \text{ m}^3}$$

**Área 2**

La segunda área tiene una extensión de 34.87 m<sup>2</sup> y se encuentra en los alrededores del PMSC-15. Esta área presenta afectación por Etilbenceno, Tolueno, cadenas ligeras y cadenas medias de hidrocarburos en los intervalos 8-14 metros.

$$V = (34.87 \text{ m}^2) (6 \text{ m}) , \quad \underline{V = 209.22 \text{ m}^3}$$

**Área 3**

El PMSC-16 es el punto de referencia de la tercer área, el cual tiene una extensión de 35.6282 m<sup>2</sup> y presenta afectación por BTEX, cadenas ligeras y medianas de hidrocarburos en el intervalo 8-17 metros de profundidad.

$$V = (35.62 \text{ m}^2) (9 \text{ m}), \quad \underline{V = 320.22 \text{ m}^3}$$

**Área 4**

La cuarta área se caracteriza por tener la mayor extensión con 52.59m<sup>2</sup> ubicada en el centro de la pluma de afectación detectándose Tolueno, Etilbenceno, Xilenos, cadenas

ligeras y medias de hidrocarburo, sin embargo la afectación se encuentra a partir de los 3 hasta los 16 metros de profundidad.

$$V = (52.58 \text{ m}^2) (13 \text{ m}), \quad \underline{V = 683.54 \text{ m}^3}$$

### **Área 5**

La quinta área corresponde a  $19.2184 \text{ m}^2$  y se localiza en la parte Suroeste de la pluma de afectación en los alrededores del PMSC-11 presentando afectación por Xileno, cadenas ligera y medias de hidrocarburo a partir de los primer metro hasta los 11 metros de profundidad.

$$V = (19.21 \text{ m}^2) (10 \text{ m}), \quad \underline{V = 192.1 \text{ m}^3}$$

### **Área 6**

La sexta área tiene una extensión de  $19.4742 \text{ m}^2$  que corresponde a los alrededores del PMSC-12, presentando afectación por Tolueno, Etilbenceno, Xilenos, cadenas medias y ligeras de hidrocarburos a los 20 metros de profundidad.

$$V = (19.47 \text{ m}^2) (1 \text{ m}), \quad \underline{V = 19.47 \text{ m}^3}$$

#### **➤ Masa total a remediar**

Una vez calculados los datos del volumen de suelo a remediar y el dato de densidad de  $1440 \text{ kg/m}^3$ , obtenido del análisis de laboratorio realizado a la muestra compuesta (MCSC-8-13m), se estima una masa de suelo total a remediar de  $2.015,802.45 \text{ kg/m}^3$ . La masa por sub área se muestra en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Masa total a remediar**

Area	Volumen de suelo (m3)	Masa calculada (kg/m3)
1	22.26	32054.40
2	209.22	301276.80
3	320.22	461116.80
4	683.54	984297.60
5	192.10	276624.00
6	19.47	28036.80

➤ **Contenido de contaminante por masa de suelo en cada sub área**

Una vez calculadas las diferentes masas a remediar en cada una de las áreas, se procede a obtener el contenido total de contaminante, realizando el cálculo multiplicando cada masa con los máximos valores obtenidos de los análisis de laboratorio (Cuadros 2 al 7).

**Cuadro 2. Contenido de masa contaminante en el área 1**

<b>Área 1</b>			
Compuesto	Contenido (kg)	Valores máximos mg/kg	Contenido de contaminante en masa de suelo mg
<b>Benceno</b>	32,054.4	13	416,707.20
<b>Tolueno</b>	32,054.4	97	3109,276.80
<b>Etilbenceno</b>	32,054.4	57	1827,100.80
<b>Xilenos Totales</b>	32,054.4	390	12501,216.00
<b>GRO</b>	32,054.4	4,400	141039,360.00
<b>DRO</b>	32,054.4	7,500	240408,000.00

**Cuadro 3. Contenido de masa contaminante en el área 2**

<b>Área 2</b>			
Compuesto	Contenido (kg)	Valores máximos mg/kg	Contenido de contaminante en masa de suelo mg
<b>Benceno</b>	301,276.8	13	3916,598.40
<b>Tolueno</b>	301,276.8	97	29223,849.60
<b>Etilbenceno</b>	301,276.8	57	17172,777.60
<b>Xilenos Totales</b>	301,276.8	390	117497,952.00
<b>GRO</b>	301,276.8	4,400	1325617,920.00
<b>DRO</b>	301,276.8	7,500	2259576,000.00

**Cuadro 4. Contenido de masa contaminante en el área 3**

<b>Área 3</b>			
Compuesto	Contenido (kg)	Valores máximos mg/kg	Contenido de contaminante en masa de suelo mg
<b>Benceno</b>	461,635.2	13	6001,257.60
<b>Tolueno</b>	461,635.2	97	44778,614.40
<b>Etilbenceno</b>	461,635.2	57	26313,206.40
<b>Xilenos Totales</b>	461,635.2	390	180037,728.00
<b>GRO</b>	461,635.2	4,400	2031194,880.00
<b>DRO</b>	461,635.2	7,500	3462264,000.00

**Cuadro 5. Contenido de masa contaminante en el área 4**

<b>Área 4</b>			
Compuesto	Contenido (kg)	Valores máximos mg/kg	Contenido de contaminante en masa de suelo mg
<b>Benceno</b>	984,297.6	13	12795,868.80
<b>Tolueno</b>	984,297.6	97	95476,867.20
<b>Etilbenceno</b>	984,297.6	57	56104,963.20
<b>Xilenos Totales</b>	984,297.6	390	383876,064.00
<b>GRO</b>	984,297.6	4,400	4330909,440.00
<b>DRO</b>	984,297.6	7,500	7382232,000.00

**Cuadro 6. Contenido de masa contaminante en el área 5**

<b>Área 5</b>			
Compuesto	Contenido (kg)	Valores máximos mg/kg	Contenido de contaminante en masa de suelo mg
<b>Benceno</b>	276,624.0	13	3596,112.00
<b>Tolueno</b>	276,624.0	97	26832,528.00
<b>Etilbenceno</b>	276,624.0	57	15767,568.00
<b>Xilenos Totales</b>	276,624.0	390	107883,360.00
<b>GRO</b>	276,624.0	4,400	1217145,600.00
<b>DRO</b>	276,624.0	7,500	2074680,000.00

**Cuadro 7. Contenido de masa contaminante en el área 6**

<b>Área 6</b>			
Compuesto	Contenido (kg)	Valores máximos mg/kg	Contenido de contaminante en masa de suelo mg
<b>Benceno</b>	28,036.8	13	364,478.40
<b>Tolueno</b>	28,036.8	97	2719,569.60
<b>Etilbenceno</b>	28,036.8	57	1598,097.60
<b>Xilenos Totales</b>	28,036.8	390	10934,352.00
<b>GRO</b>	28,036.8	4,400	123361,920.00
<b>DRO</b>	28,036.8	7,500	210276,000.00

➤ **Cantidad de Oxígeno requerido**

La cantidad de oxígeno requerido es uno de los cálculos más importantes en la determinación del volumen de oxidante a aplicar; este cálculo se realiza a través del dato obtenido de cantidad de contaminante en la masa de suelo y la relación estequiométrica del oxígeno por cada compuesto.

Las relaciones estequiométricas para cada compuesto son las siguientes:

<b>Benceno</b>	
$C_6H_6 + 7.5 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 3 H_2O$	
$240 \text{ g } O_2 / 78.11 \text{ g } C_6H_6 = 3.1 \text{ O}_2/1\text{g}_{\text{Benceno}}$	
<b>PM <math>C_6H_6 = 78.11 \text{ g/mol}</math></b>	
<b>PM <math>O_2 = 32 \text{ g/mol}</math></b>	

**Ecuación 1**

<b>Etilbenceno</b>	
$C_2H_5C_6H_5 + 7.5 O_2 \rightarrow 8 CO_2 + 5 H_2O$	
$336 \text{ g } O_2 / 106 \text{ g } C_2H_5C_6H_5 = 3.1 \text{ O}_2/1\text{g}_{\text{Etilbenceno}}$	
<b>PM <math>C_2H_5C_6H_5 = 106 \text{ g/mol}</math></b>	
<b>PM <math>O_2 = 32 \text{ g/mol}</math></b>	

**Ecuación 2**

<b>Tolueno</b>	
$C_6H_5CH_3 + 9O_2 \rightarrow 7 CO_2 + 4 H_2O$	
$288 \text{ g } O_2 / 92 \text{ g } C_6H_5CH_3 = 3.1 \text{ O}_2/1\text{g}_{\text{Tolueno}}$	
<b>PM <math>C_6H_5CH_3 = 92 \text{ g/mol}</math></b>	
<b>PM <math>O_2 = 32 \text{ g/mol}</math></b>	

**Ecuación 3**

<b>Xilenos</b>	
$C_6H_4(CH_3)_2 + 10.5 O_2 \rightarrow 8 CO_2 + 5 H_2O$	
$336 \text{ g } O_2 / 106 \text{ g } C_6H_4(CH_3)_2 = 3.2 \text{ O}_2/1\text{g}_{\text{Xilenos}}$	
<b>PM <math>C_6H_4(CH_3)_2 = 106 \text{ g/mol}</math></b>	
<b>PM <math>O_2 = 32 \text{ g/mol}</math></b>	

**Ecuación 4**

<b>GRO</b>	
$C_{10}H_{22} + 15.5 O_2 \rightarrow 10 CO_2 + 11 H_2O$	
$496 \text{ g } O_2 / 142 \text{ g } C_{10}H_{22} = 3.5 \text{ O}_2/1\text{g}_{\text{Benceno}}$	
<b>PM <math>C_{10}H_{22} = 142 \text{ g/mol}</math></b>	
<b>PM <math>O_2 = 32 \text{ g/mol}</math></b>	

**Ecuación 5**

<b>DRO</b>	
$C_{28}H_{58} + 53 O_2 \rightarrow 35CO_2 + 29 H_2O$	
$1360 \text{ g } O_2 / 394 \text{ g } C_{28}H_{58} = 3.4 \text{ O}_2/1\text{g}_{\text{Benceno}}$	
<b>PM <math>C_{28}H_{58} = 394 \text{ g/mol}</math></b>	
<b>PM <math>O_2 = 32 \text{ g/mol}</math></b>	

**Ecuación 6**

**Cuadro 8. Cantidad de oxígeno requerido en el área 1**

<b>Área 1</b>			
Compuesto	Contenido (mg)	Relación estequiométrica mgO <sub>2</sub> /Mg comp.	Oxígeno requerido mg/O <sub>2</sub>
<b>Benceno</b>	416,707.2	3.1	1291,792.32
<b>Tolueno</b>	3109,276.8	3.1	9638,758.08
<b>Etilbenceno</b>	1827,100.8	3.1	5664,012.48
<b>Xilenos Totales</b>	12501,216	3.2	40003,891.20
<b>GRO</b>	141039,360	3.5	493637,760.00
<b>DRO</b>	240408,000	3.4	817387,200.00
<b>Total de Oxígeno requerido mg/O<sub>2</sub> =</b>			1367623,414.08
<b>Total de Oxígeno requerido kg/O<sub>2</sub> =</b>			1,367.62

**Cuadro 9. Cantidad de oxígeno requerido en el área 2**

<b>Área 2</b>			
Compuesto	Contenido (mg)	Relación estequiométrica mgO <sub>2</sub> /Mg comp.	Oxígeno requerido mg/O <sub>2</sub>
<b>Benceno</b>	3916,598.4	3.1	12141,455.04
<b>Tolueno</b>	29223,849.6	3.1	90593,933.76
<b>Etilbenceno</b>	17172,777.6	3.1	53235,610.56
<b>Xilenos Totales</b>	117497,952	3.2	375993,446.40
<b>GRO</b>	1325617,920	3.5	4639662,720.00
<b>DRO</b>	2259576,000	3.4	7682558,400.00
<b>Total de Oxígeno requerido mg/O<sub>2</sub> =</b>			12854185,565.76
<b>Total de Oxígeno requerido kg/O<sub>2</sub> =</b>			12,854.19

**Cuadro 10. Cantidad de oxígeno requerido en el área 3**

<b>Área 3</b>			
Compuesto	Contenido (mg)	Relación estequiométrica mgO <sub>2</sub> /Mg comp.	Oxígeno requerido mg/O <sub>2</sub>
<b>Benceno</b>	6001,257.6	3.1	18603,898.56
<b>Tolueno</b>	44778,614.4	3.1	138813,704.64
<b>Etilbenceno</b>	26313,206.4	3.1	81570,939.84
<b>Xilenos Totales</b>	180037,728	3.2	576120,729.60
<b>GRO</b>	2031194,880	3.5	7109182,080.00
<b>DRO</b>	3462264,000	3.4	11771697,600.00
<b>Total de Oxígeno requerido mg/O<sub>2</sub> =</b>			19695988,952.64
<b>Total de Oxígeno requerido kg/O<sub>2</sub> =</b>			19,695.99

**Cuadro 11. Cantidad de oxígeno requerido en el área 4**

<b>Área 4</b>			
Compuesto	Contenido (mg)	Relación estequiométrica mgO <sub>2</sub> /Mg comp.	Oxígeno requerido mg/O <sub>2</sub>
<b>Benceno</b>	12795,868.8	3.1	39667,193.28
<b>Tolueno</b>	95476,867.2	3.1	295978,288.32
<b>Etilbenceno</b>	104,963.2	3.1	325,385.92
<b>Xilenos Totales</b>	383876,064	3.2	1228403,404.80
<b>GRO</b>	4330909,440	3.5	15158183,040.00
<b>DRO</b>	7382232,000	3.4	25099588,800.00
<b>Total de Oxígeno requerido mg/O<sub>2</sub> =</b>			41822146,112.32
<b>Total de Oxígeno requerido kg/O<sub>2</sub> =</b>			41,822.15

**Cuadro 12. Cantidad de oxígeno requerido en el área 5**

<b>Área 5</b>			
Compuesto	Contenido (mg)	Relación estequiométrica mgO <sub>2</sub> /Mg comp.	Oxígeno requerido mg/O <sub>2</sub>
<b>Benceno</b>	3596,112.0	3.1	11147,947.20
<b>Tolueno</b>	26832,528.0	3.1	83180,836.80
<b>Etilbenceno</b>	15767,568.0	3.1	48879,460.80
<b>Xilenos Totales</b>	107883,360	3.2	345226,752.00
<b>GRO</b>	1217145,600	3.5	4260009,600.00
<b>DRO</b>	2074680,000	3.4	7053912,000.00
<b>Total de Oxígeno requerido mg/O<sub>2</sub> =</b>			11802356,596.80
<b>Total de Oxígeno requerido kg/O<sub>2</sub> =</b>			11,802.36

**Cuadro 13. Cantidad de oxígeno requerido en el área 6**

<b>Área 6</b>			
Compuesto	Contenido (mg)	Relación estequiométrica mgO <sub>2</sub> /Mg comp.	Oxígeno requerido mg/O <sub>2</sub>
<b>Benceno</b>	364,478.4	3.1	1129,883.04
<b>Tolueno</b>	2719,569.6	3.1	8430,665.76
<b>Etilbenceno</b>	1598,097.6	3.1	4954,102.56
<b>Xilenos Totales</b>	10934,352	3.2	34989,926.40
<b>GRO</b>	123361,920	3.5	431766,720.00
<b>DRO</b>	210276,000	3.4	714938,400.00
<b>Total de Oxígeno requerido mg/O<sub>2</sub> =</b>			1196209,697.76
<b>Total de Oxígeno requerido kg/O<sub>2</sub> =</b>			1,196.21

➤ **Demanda de Peróxido del hidrocarburo**

**Cuadro 14. Demanda estequiométrica del Hidrocarburo**

<b>Demanda estequiométrica del Hidrocarburo</b>			
<b>Áreas</b>	<b>Total de oxígeno requerido (kg)</b>	<b>Relación estequiométrica O<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/1gO<sub>2</sub>)</b>	<b>Cantidad de peróxido (KgH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)</b>
<b>Área 1</b>	1,367.62	2.13	2,913.03
<b>Área 2</b>	12,854.19	2.13	27,379.42
<b>Área 3</b>	19,695.99	2.13	41,952.46
<b>Área 4</b>	41,822.15	2.13	89,081.18
<b>Área 5</b>	11,802.36	2.13	25,139.03
<b>Área 6</b>	1,196.21	2.13	2,547.93

➤ **Volumen del oxidante requerido al 10 %**

Para determinar el volumen del oxidante se debe tomar en cuenta la presentación comercial disponible, el cual es al 50% de concentración. Sin embargo por factores de seguridad debido a las características exotérmicas, alta reactividad y por presentar energía de activación rápida; es necesario diluir al 10 %, de manera que se logre la misma eficiencia de remediación y evitar riesgos a la salud e infraestructura. El volumen de peróxido calculado al 10% se presenta en el cuadro 15.

**Cuadro 15. Volumen de oxidante a aplicar**

<b>Volumen de oxidante al 50 % (LH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)</b>	<b>Volumen de oxidante al 10 % (LH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)</b>
3,483.98	1,719.90
32,745.79	163,728.95
50,175.14	250,875.70
106,541.09	5,327.05
30,066.28	150,331.40
3,047.32	15,236.60
<b>Total en litros =</b>	<b>587,219.60</b>
<b>Total en galones =</b>	<b>155,143.88</b>

Se realizarán 8 eventos de inyección y por cada evento de aplicación se requerirá un total de 28,257.45 galones de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 50% que será disuelto en agua hasta formar una solución al 10%. El volumen total de mezcla a inyectar en los pozos será de 155, 143.88 galones de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 10%.

Los resultados de los análisis Físico-químicos obtenidos de la muestra compuesta MCSC/8-13m del sondeo PMSC-13 revelan la abundancia de hierro ferroso como catalizador de la reacción del Fenton. La alta concentración de este catión metálico indica que la aplicación no sería necesaria en el medio. Para garantizar la eficiencia del método y que se produzca la reacción Fenton, será necesaria la aplicación de Sulfato Ferroso (proveedor del hierro ferroso, catalizador) que junto con el quelante (EDTA, mantendrá disponible el Hierro Ferroso) optimizarían la reacción del peróxido de hidrógeno. La aplicación del catalizador de la reacción en conjunto con su ligando será efectuada previo a la inyección del oxidante en cada evento.

La cantidad de hierro ferroso necesaria para la productividad de la reacción debe ser mayor a las concentraciones de fondo presentes, pero bajas en relación a la cantidad de peróxido a adicionar. Se estimó necesaria una concentración de 1mg/L, para garantizar este requisito se ha considerado el volumen de solución oxidante total, los cálculos se presentan a continuación:

**Catalizador Fe (II) y quelante EDTA:**

$$\frac{1mg}{L} L \times \frac{1 g Fe^{2+}}{1000 mgFe^{2+}} \times \frac{1molFe^{2+}}{55.8gFe^{2+}} \times \frac{1 mol FeSO_4 \times 7H_2O}{1 mol Fe^{2+}} \times \frac{278.01 gFeSO_4 \times 7H_2O}{1 mol FeSO_4 \times 7H_2O} = g FeSO_4 \times 7H_2O$$

*Dónde:*

[Fe<sup>2+</sup>]= 1mg/L

V de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 10% = Volumen de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 10% en L

PM de Fe<sup>2+</sup>= 55.8 g/mol

PM de FeSO<sub>4</sub>×7H<sub>2</sub>O= 278.01 g/mol

La solución quelante será preparada a partir de una masa determinada, los cálculos siguientes muestran la proporción que será empleada:

- EDTA:

$$C = \frac{m}{V}; m = C.V = (10 \text{ mg/L})L (H_2O_2 \text{ al } 10\%) = (\text{mg EDTA})$$

**Cuadro 16. Concentración de Fe II y EDTA requerido**

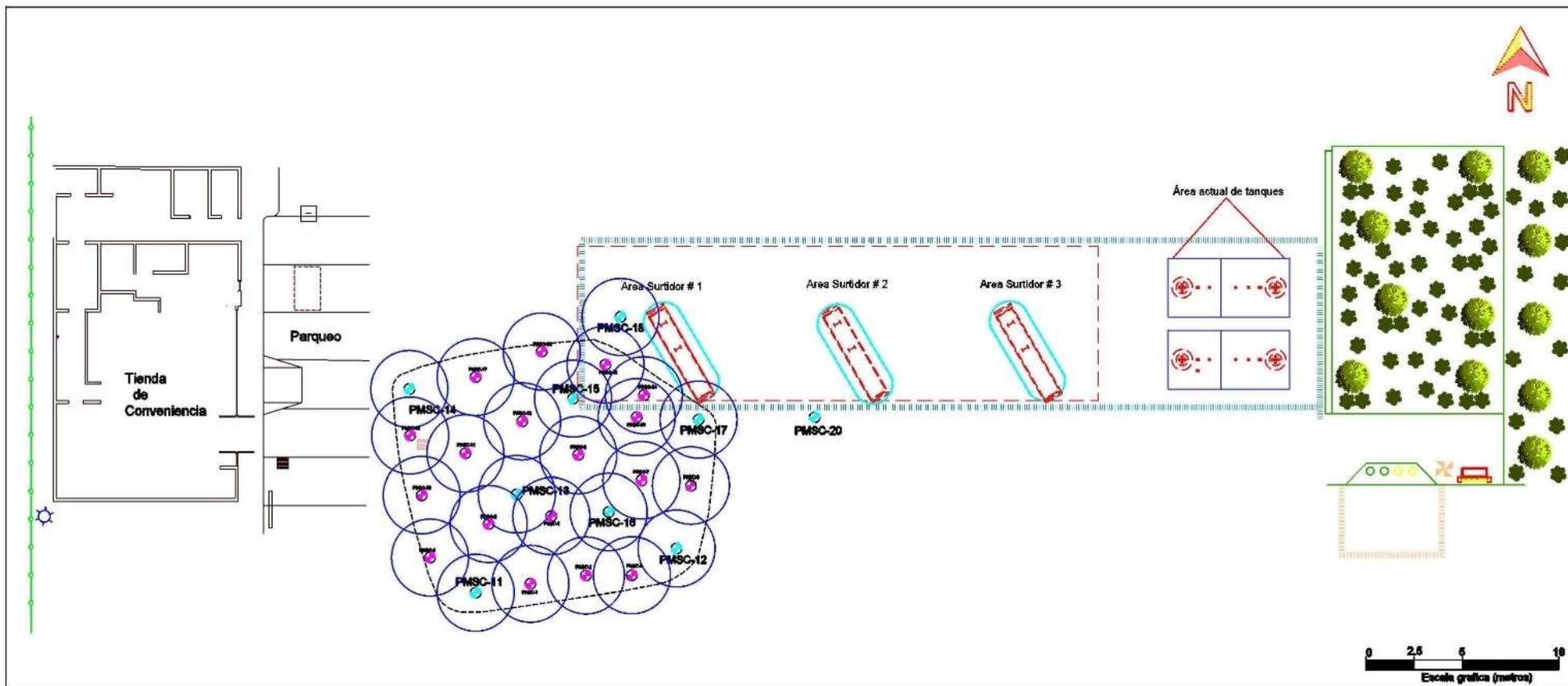
Área a remediar	Fe II (g)	EDTA (g)
Área 1	8.60	17.20
Área 2	818.64	1637.29
Área 3	1,254.38	2508.76
Área 4	26.64	53.27
Área 5	751.66	1503.31
Área 6	76.18	152.37

El volumen considerado para los cálculos del catalizador y quelante corresponde a la cantidad de litros de solución de peróxido de hidrógeno al 10% por pozo. En el cuadro 16 se resume la cantidad de catalizador y quelante por pozo.

### 1.3.2. Instalación de pozos de aplicación

Con el fin de lograr la eficiente distribución de oxidante en el área de estudio se instalarán pozos de aplicación debido a que los pozos instalados durante la realización de la caracterización geológica ambiental en el sitio no son los suficientes para que haya una completa distribución del oxidante en el medio y de esta manera haya una dispersión completa en toda el área afectada.

En estudios de casos presentados por la EPA y estudios realizados por la Empresa EPC, este tipo de oxidante obtiene un radio de acción de 2 m , por lo tanto para este caso se considera que en la prueba piloto alcanzará un radio de acción de 2 metros. En la figura 28 se muestra la ubicación de los pozos en el plano de la estación de servicio, la posición de cada uno de ellos abarca la pluma identificada. Todos los pozos serán construidos con tubería Johnson de 2” de diámetro de cedula 80.



Hacia ENABAS

Carretera Panamericana Norte

<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Nomenclatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>Propuesta de pozos de inyección</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pozos de Monitoreo</td> </tr> </tbody> </table>		Nomenclatura			Propuesta de pozos de inyección		Pozos de Monitoreo	<p>Pozos de aplicación en prueba piloto</p>	<p>Carrera: Ingeniería Geológica</p>	 <p>Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-MANAGUA Facultad de Ciencias e Ingenierías</p> <p>Elaborado por: Br.Andrea Yahoska Arias Monterrey</p>	<p>Fecha: Febrero, 2017</p>
Nomenclatura											
	Propuesta de pozos de inyección										
	Pozos de Monitoreo										
				<p>Fig.1</p>							

Figura 28.Pozos de aplicación de oxidante

### 1.3.3. Procedimiento de Inyección

Se inyectará el reactivo en cada una de las áreas de manera descendente en los intervalos que presentaron afectación según los resultados de laboratorio obtenidos, la inyección se realizará a través de los 9 pozos de monitoreo ya instalados y los pozos a instalar.

Para cada intervalo, se inyectará primeramente la mezcla de EDTA con Sulfato Ferroso, e inmediatamente se inyectará el peróxido al 10 %. Posterior a la inyección de cada intervalo, se dejará reposar entre 20 a 30 minutos para la infiltración y dispersión que permita un mayor contacto con el contaminante.

### 1.3.4. Tiempo estimado de degradación de los contaminantes.

Se utilizó la ecuación de biodegradación de primer orden para estimar el tiempo requerido para alcanzar los niveles de limpieza. Se tomó la mayor concentración de diésel obtenida en el área de 7,500 mg/kg y como concentración inicial de (1,200 mg/kg) para los cálculos.

$$t = \frac{\ln(C/C_0)}{-k}$$

Donde:

C = concentración meta o nivel a alcanzar ( 1,200 mg/kg)

C<sub>0</sub>= Concentración inicial (7,500 mg/kg)

k = tasa de degradación de contaminante (d<sup>-1</sup>)

t = Tiempo para alcanzar niveles metas

$$t = \frac{\ln(1200/7500)}{0.0147} \quad t = 156 \text{ días}$$

De los cálculos realizados se obtuvo un tiempo estimado de 156 días lo que significa que en un período entre 5 y 8 meses se habrán de alcanzar los valores de limpieza requeridos.

### **1.3.5. Muestreo confirmatorio**

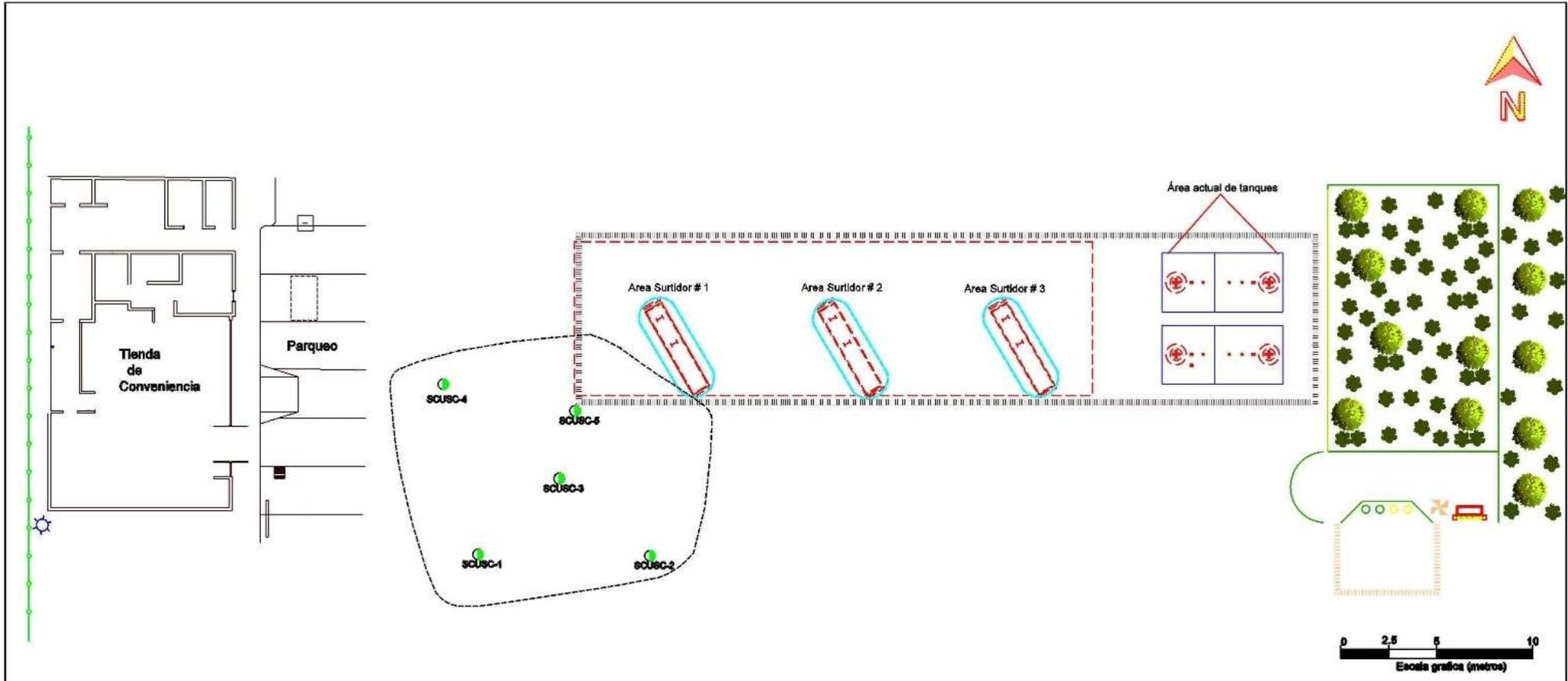
Cuatro meses después de finalizados los eventos de aplicación de oxidante se propone la perforación de cinco sondeos para la validar la efectividad del método realizando el muestreo de suelo en los intervalos inicialmente afectados para conocer el porcentaje de remoción de los hidrocarburos en el sitio. La ubicación de los sondeos del muestreo confirmatorio se presenta en la figura 29.

### **1.3.6. Manipulación del producto y medidas de seguridad**

La inyección del  $H_2O_2$  a la concentración del 10%, no representa un riesgo alto para la seguridad, pero se tomarán medidas de precaución al momento de realizar la aplicación, como el cierre de despacho en la estación. El personal usará ropa de protección impermeable, incluyendo botas, guantes, gafas, máscaras para gases químicos para evitar cualquier contacto con la piel.

Se tomarán las siguientes medidas de seguridad adicionales:

- Se colocarán barreras para restringir el paso en el área alrededor de cada pozo. Se colocarán extintores ABC en las cercanías del área de vertido.
- Se colocarán rótulos de NO FUMAR y NO PASAR en los alrededores del sitio de aplicación.
- Se efectuará reunión previa de seguridad con el personal involucrado en la actividad.



Hacia ENABAS

Carretera Panamericana Norte

<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Nomenclatura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Sondeos confirmatorios</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pluma de afectación</td> </tr> </table>		Nomenclatura			Sondeos confirmatorios		Pluma de afectación	<p><b>Ubicación de los sondeos para el muestreo confirmatorio</b></p>	<p>Carrera: Ingeniería Geológica</p>	 <p>Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-MANAGUA Facultad de Ciencias e Ingenierías</p> <p>Elaborado por: Br. Andrea Yahoska Arias Monterrey</p>	<p>Fecha: Febrero, 2017</p>
Nomenclatura											
	Sondeos confirmatorios										
	Pluma de afectación										
					<p>Fig.2</p>						

Figura 29. Ubicación de los sondeos para el muestreo confirmatorio

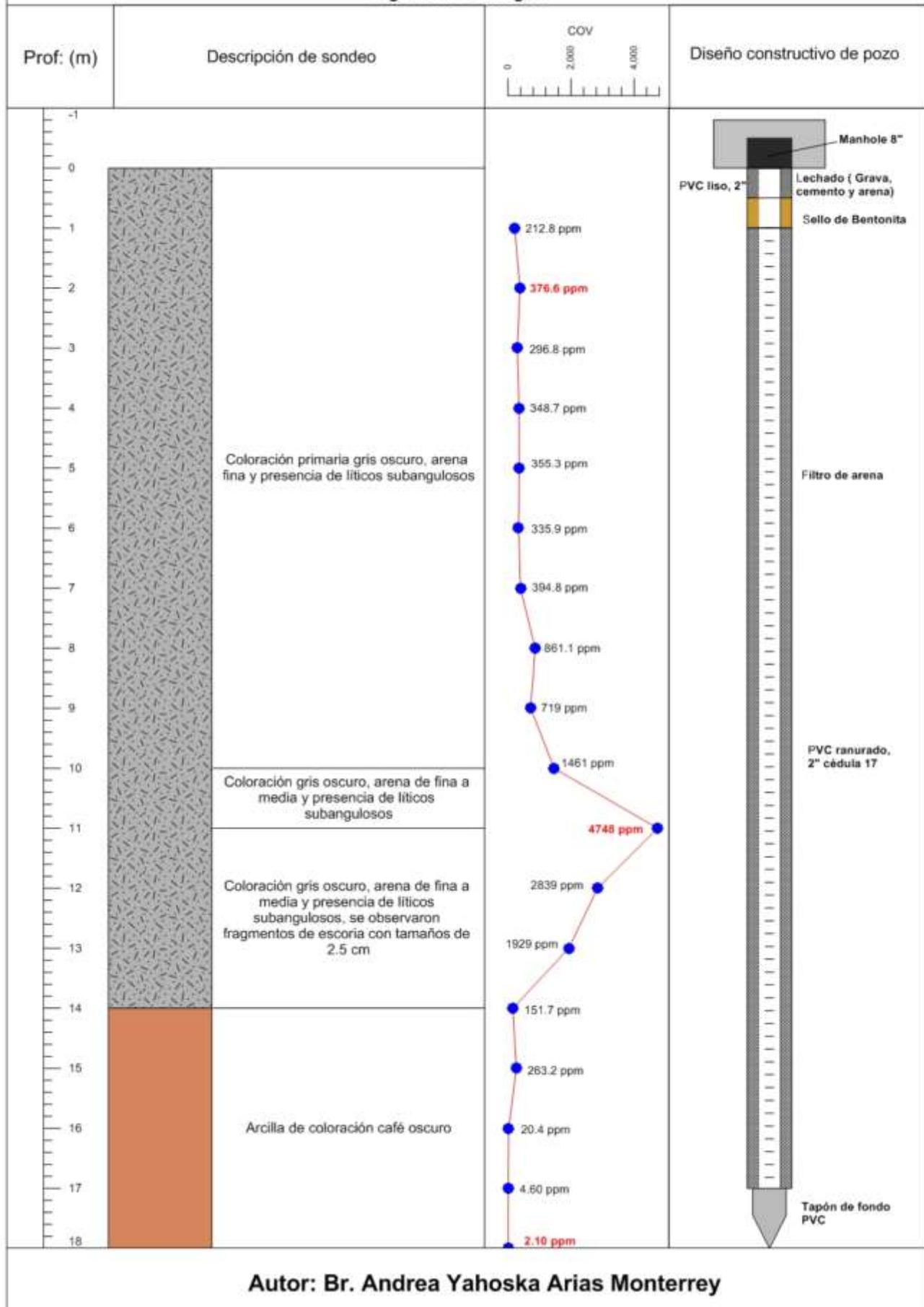
## **ANEXO 2**

### **Descripción de sondeos**



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA  
UNAN - MANAGUA  
Facultad de Ciencias e Ingenierías  
Ingeniería Geológica

PMSC-11

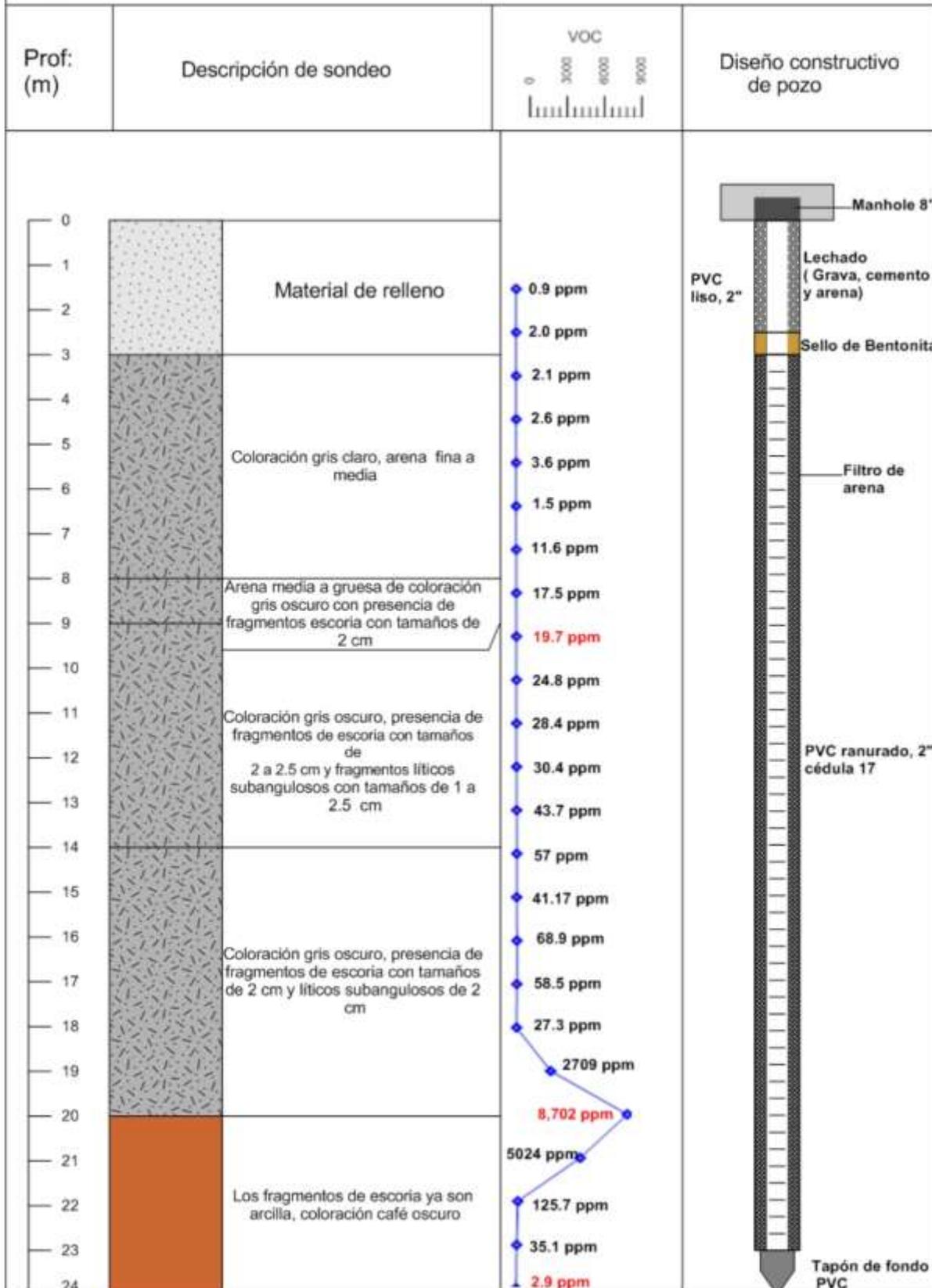


Autor: Br. Andrea Yahoska Arias Monterrey



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA  
UNAN - MANAGUA  
Facultad de Ciencias e Ingenierías  
Ingeniería Geológica

PMSC-12

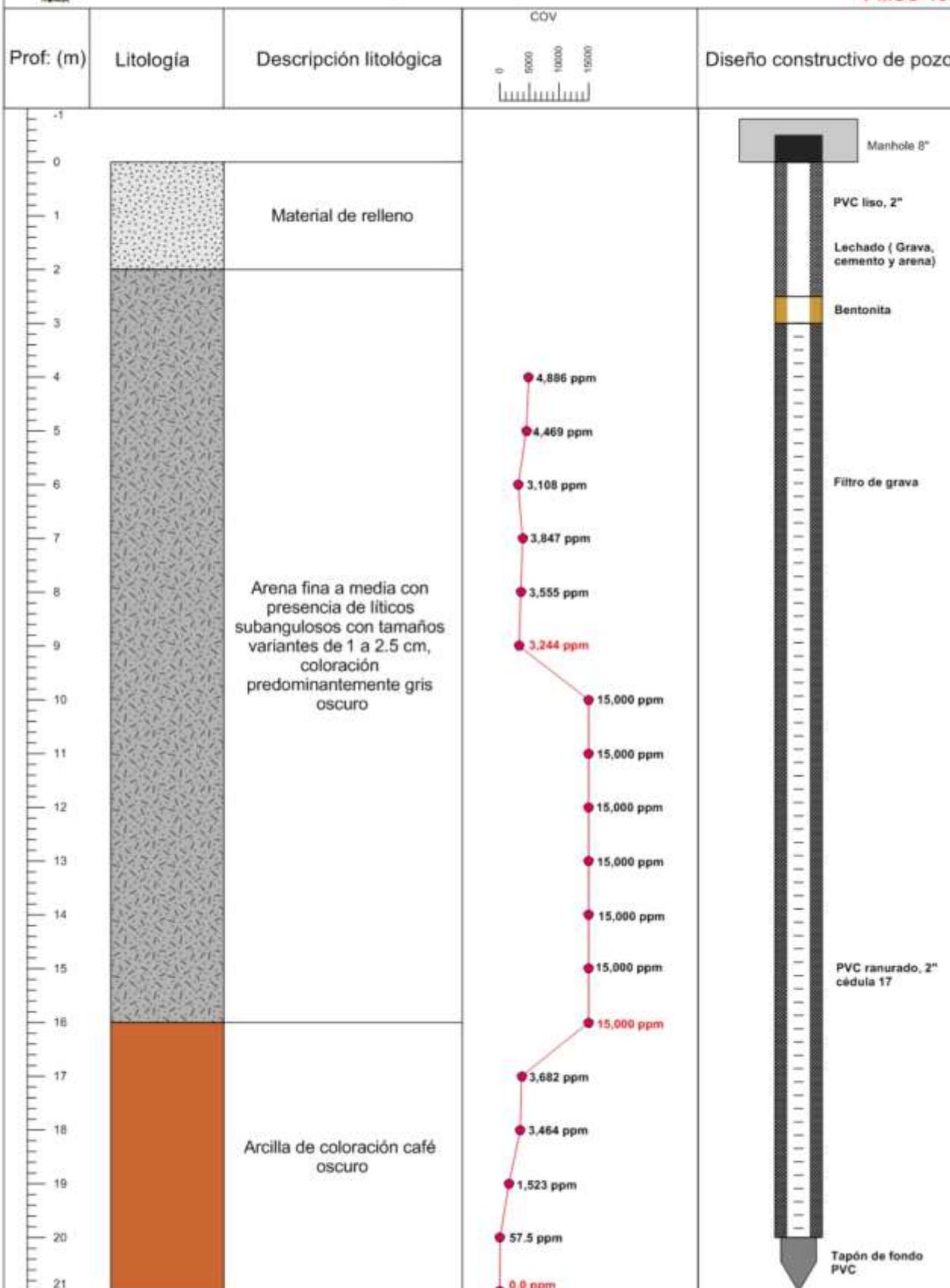


Autor: Br. Andrea Yahoska Arias Monterrey

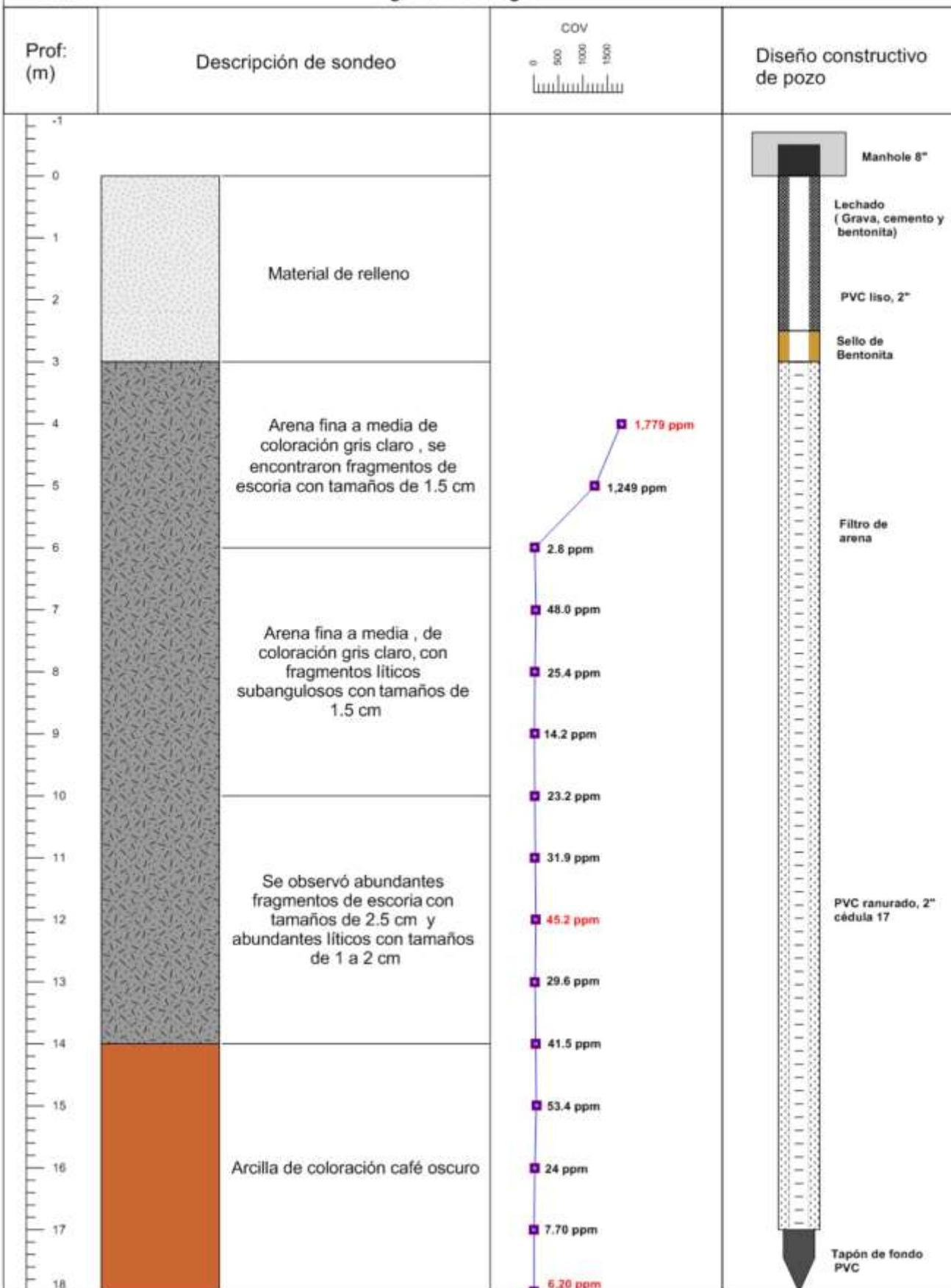


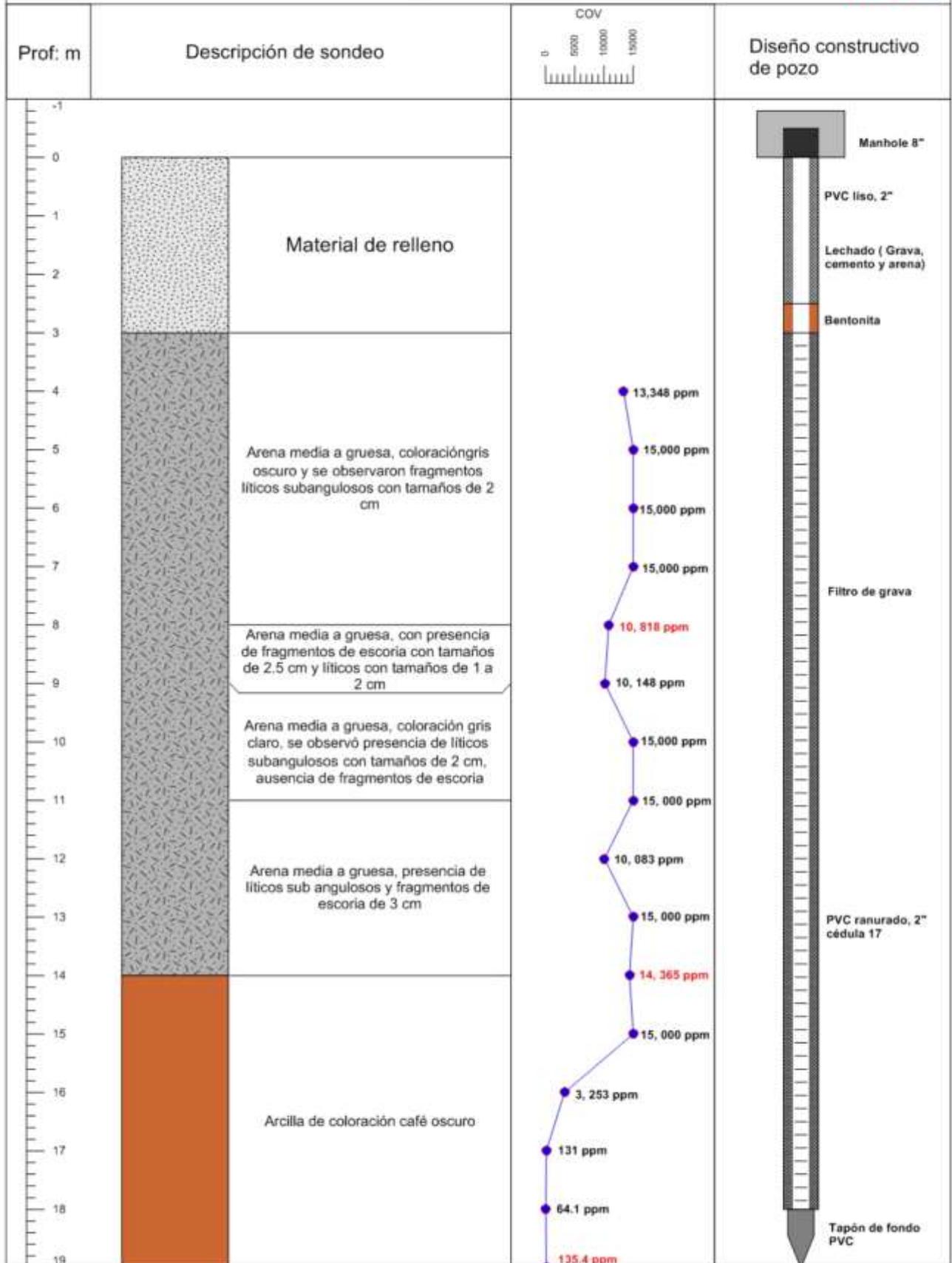
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA  
UNAN - MANAGUA  
Facultad de Ciencias e Ingenierías  
Ingeniería Geológica

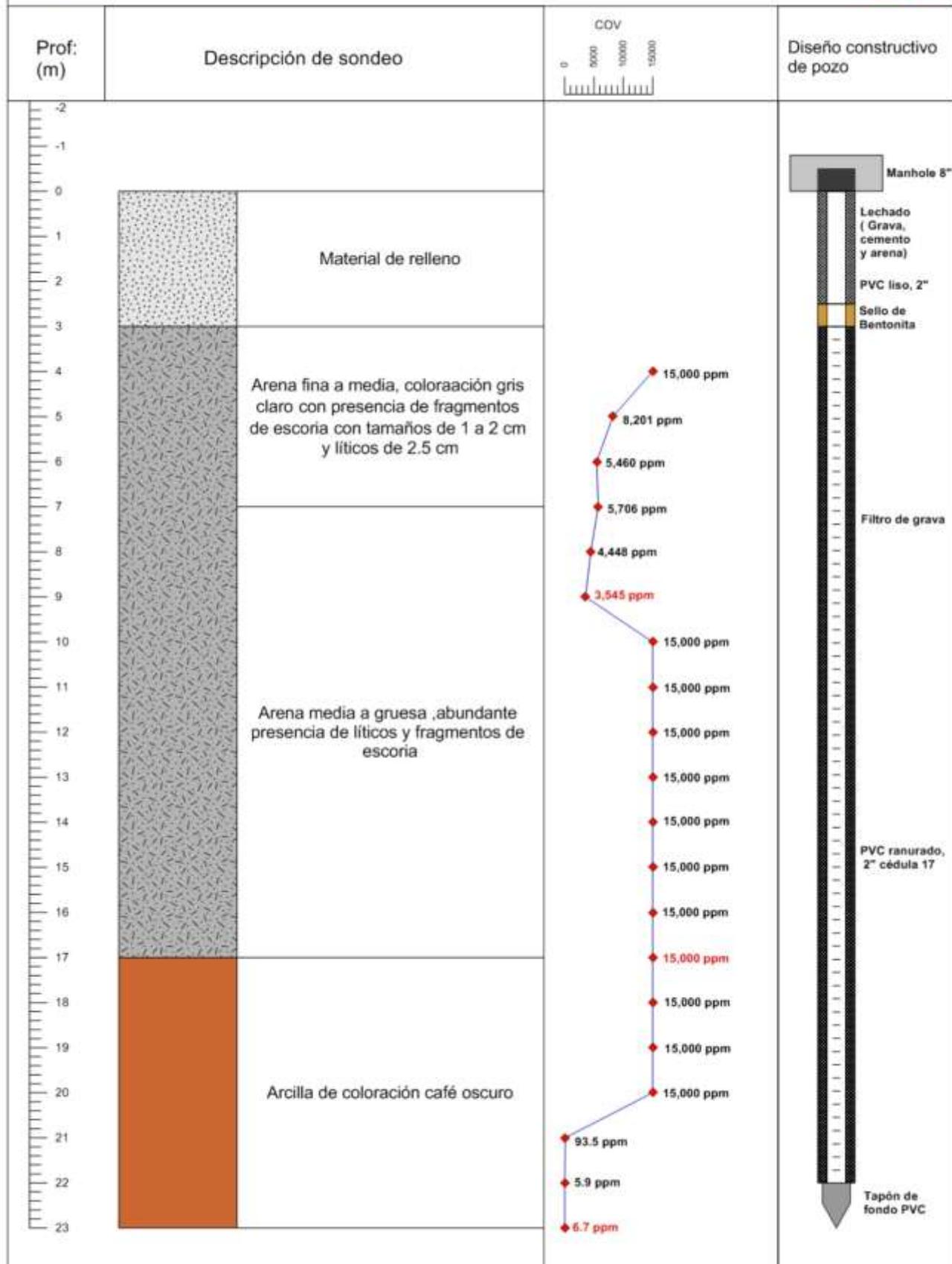
PMSC-13



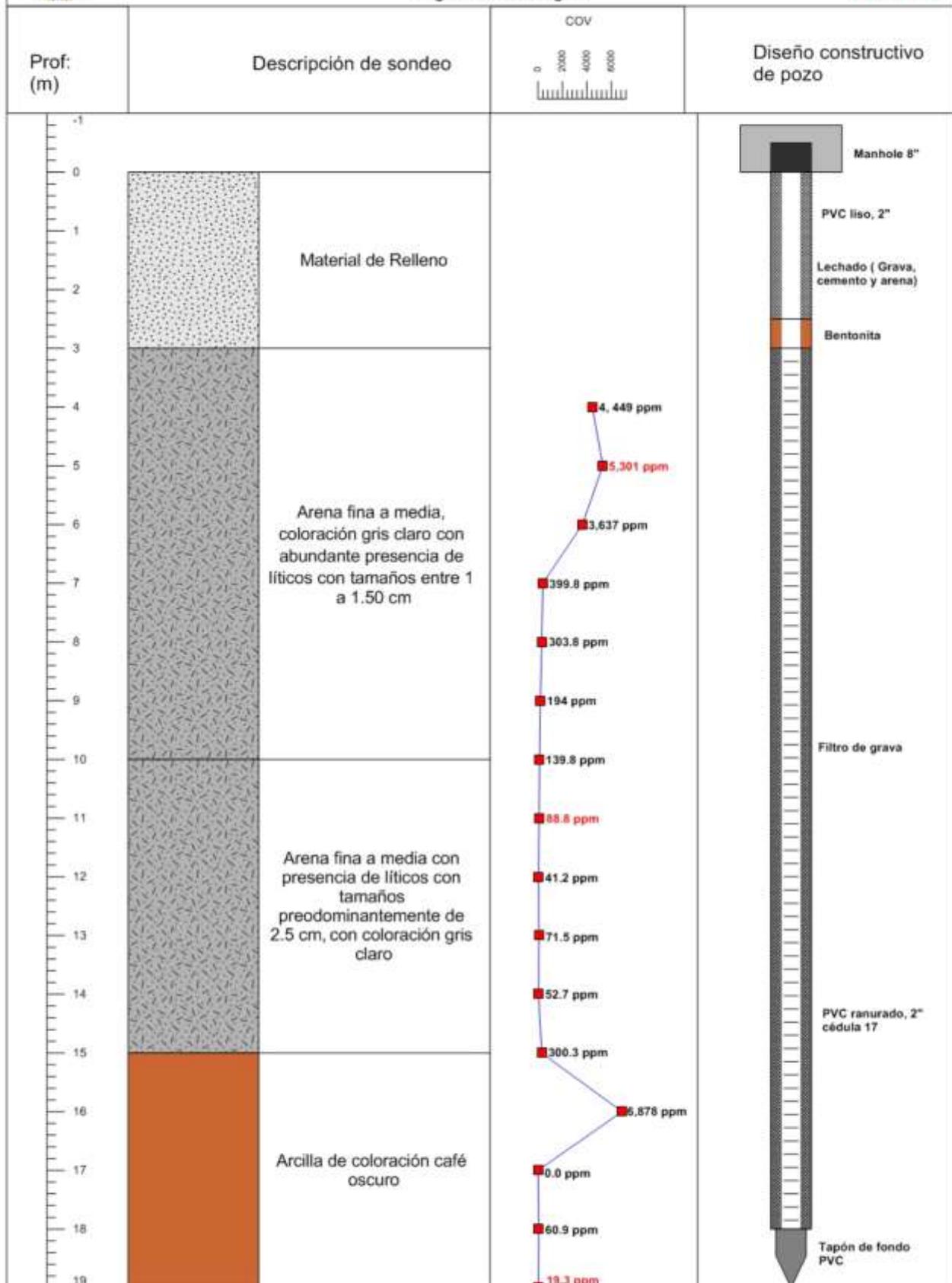
Autor: Br. Andrea Yahoska Arias Monterrey



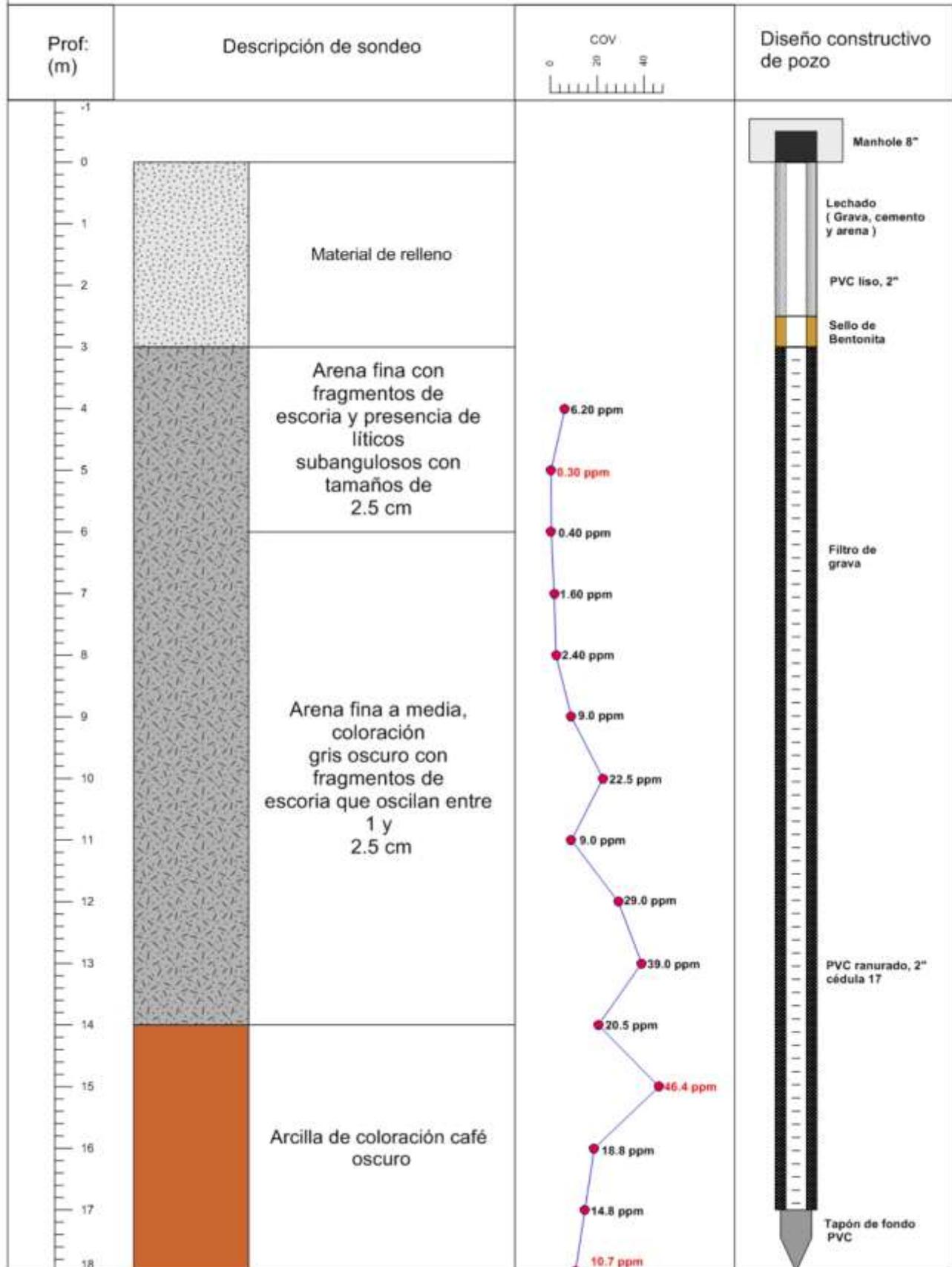




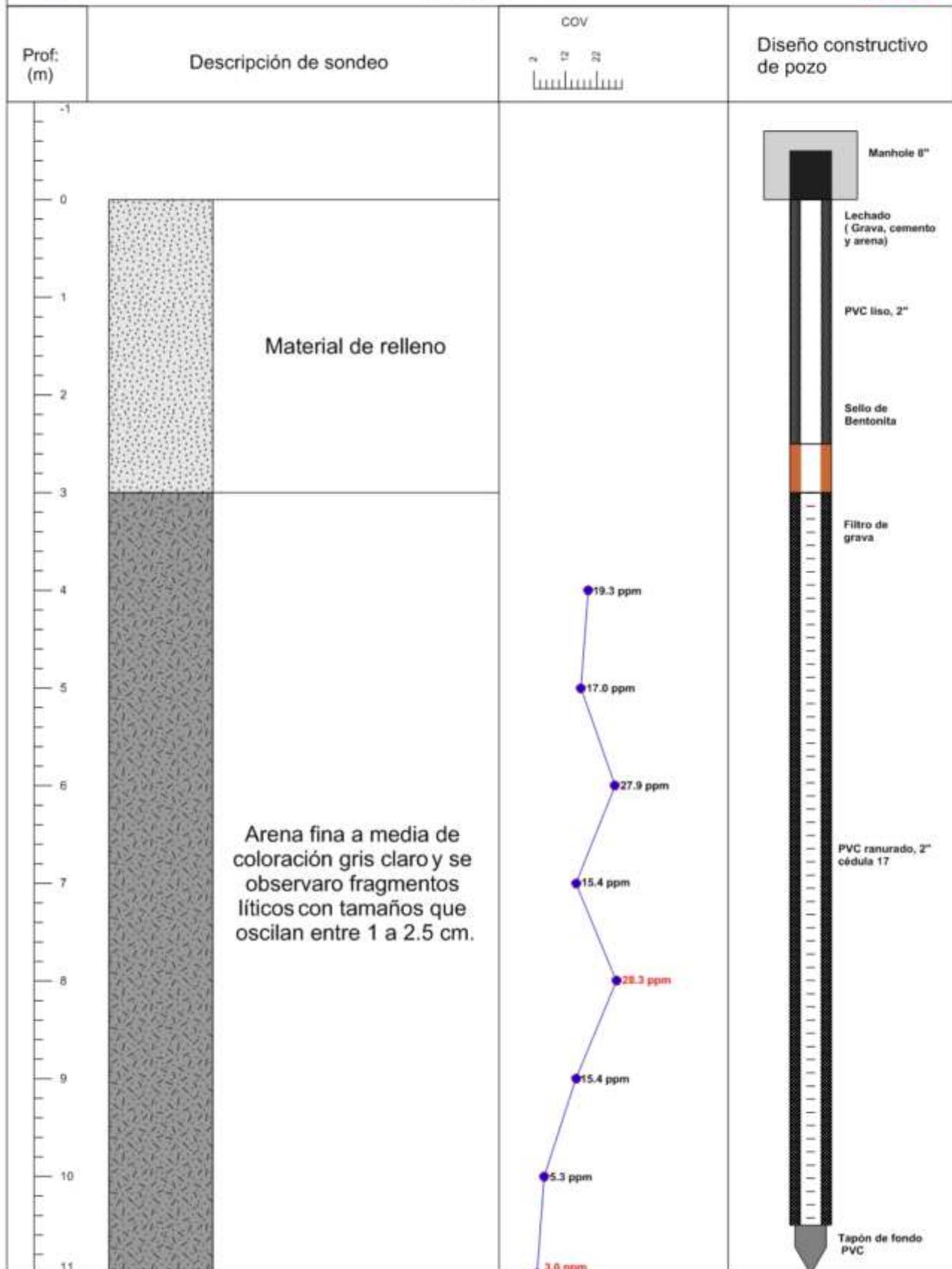
Autor: Br. Andrea Yahoska Arias Monterrey



Autor: Br. Andrea Yahoska Arias Monterrey



Autor: Br. Andrea Yahoska Arias Monterrey



Autor: Br. Andrea Yahoska Arias Monterrey

## **ANEXO 3**

# **Resultados de Laboratorio- IAG**

## Definiciones/Glosario

Cliente: Environmental Protection & Control  
Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

### Glosario

Abreviatura	Estas abreviaturas comúnmente usadas pudieran no estar presentes en este informe.
□	Listed under the "D" column to designate that the result is reported on a dry weight basis
%R	Percent Recovery
CFL	Contains Free Liquid
CNF	Contains no Free Liquid
DER	Duplicate error ratio (normalized absolute difference)
Dil Fac	Dilution Factor
DL, RA, RE, IN	Indicates a Dilution, Re-analysis, Re-extraction, or additional Initial metals/anion analysis of the sample
DLC	Decision level concentration
MDA	Minimum detectable activity
EDL	Estimated Detection Limit
MDC	Minimum detectable concentration
MDL	Method Detection Limit
ML	Minimum Level (Dioxin)
NC	Not Calculated
ND	Not detected at the reporting limit (or MDL or EDL if shown)
PQL	Practical Quantitation Limit
QC	Quality Control
RER	Relative error ratio
RL	Reporting Limit or Requested Limit (Radiochemistry)
RPD	Relative Percent Difference, a measure of the relative difference between two points
TEF	Toxicity Equivalent Factor (Dioxin)
TEQ	Toxicity Equivalent Quotient (Dioxin)



## Narrativa

Cliente: Environmental Protection & Control  
Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID del Informe: 400-113417-2**

**Laboratorio: TestAmerica Pensacola**

Narrativa

Narrativa del Trabajo  
400-113417-2

### Comentarios

No hay comentarios adicionales.

### Recibo

Las muestras fueron recibidas el 5/11/2015 9:44 AM; las muestras llegaron en buen estado y debidamente preservadas en hielo. La temperatura de la nevera al recibo fue de 1.2° C.

### GC/MS VOA

Método 8260B: La siguiente muestra se diluyo para llevar la concentración de los analitos objetivo dentro del rango de calibración: PMSC-17/4-5m (400-113417-4). Límites de reporte elevados (RLs) se proporcionan.

No se observaron problemas analíticos o de calidad adicionales, que no sean descritos en la página de Definiciones / Glosario.

### GC VOA

No se observaron problemas analíticos o de calidad, que no sean descritos en la página de Definiciones / Glosario.

### GC Semi VOA

Método 8015B: La siguiente muestra se diluyo para llevar la concentración de los analitos objetivo dentro del rango de calibración: PMSC-14/3-4m (400-113417-1). Límites de reporte elevados (LRs) se proporcionan.

No se observaron problemas analíticos o de calidad adicionales, que no sean descritos en la página de Definiciones / Glosario.

### Preparación Orgánica

No se observaron problemas analíticos o de calidad, que no sean descritos en la página de Definiciones / Glosario.



## Resumen de Muestra

Cliente: Environmental Protection & Control  
Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

ID de Muestra/Laboratorio	ID de Muestra/Cliente	Matriz	Fecha de Mue	Recibido
400-113417-1	PMSC-14/3-4m	Sólidos	26/10/15 13:55	05/11/15 09:44
400-113417-2	PMSC-14/11-12m	Sólidos	26/10/15 16:25	05/11/15 09:44
400-113417-3	PMSC-14/17-18m	Sólidos	27/10/15 15:00	05/11/15 09:44
400-113417-4	PMSC-17/4-5m	Sólidos	28/10/15 11:38	05/11/15 09:44
400-113417-5	PMSC-17/10-11m	Sólidos	28/10/15 14:07	05/11/15 09:44
400-113417-6	PMSC-17/18-19m	Sólidos	29/10/15 14:10	05/11/15 09:44
400-113417-7	PMSC-18/4-5m	Sólidos	29/10/15 16:30	05/11/15 09:44
400-113417-8	PMSC-18/14-15m	Sólidos	30/10/15 11:50	05/11/15 09:44
400-113417-9	PMSC-18-17-18m	Sólidos	30/10/15 14:30	05/11/15 09:44

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-14/3-4m**

**ID de Muestra/Laboratorio:**

**400-113417-1**

**Fecha de Toma de Muestra: 26/10/15 13:55**

**Matriz: Sólidos**

**Fecha Recibida: 05/11/15 09:44**

**Porcentaje de Sólidos: 79.5**

### Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.30	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Tolueno	ND		0.30	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Etilbenceno	2.0		0.30	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Xilenos, Total	7.4		0.30	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Metil terbutil eter	ND		0.30	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Limites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno	113		72 - 122			08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Dibromofluorometano	87		79 - 123			08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Tolueno-d8 (Surr)	101		80 - 120			08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50

### Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	300		6.1	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 18:20	50
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Limites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
a,a,a-Trifluorotolueno (ftc)	96		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 18:20	50

### Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	2500		25	mg/Kg	☐	08/11/15 11:52	10/11/15 13:19	2
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Limites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
o-Terfenil (Surr)	66		27 - 151			08/11/15 11:52	10/11/15 13:19	2

### Química General

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	21		0.10	%	-		08/11/15 12:58	1

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-14/11-12m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-2**

**Fecha de Toma de Muestra: 26/10/15 16:25**

**Matriz: Sólidos**

**Fecha Recibida: 05/11/15 09:44**

**Porcentaje de Sólidos: 83.5**

### Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.0057	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Tolueno	ND		0.0057	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Etilbenceno	ND		0.0057	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Xilenos, Total	ND		0.0057	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
<b>Metil terbutil eter</b>	<b>0.021</b>		0.0057	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno	116		72 - 122			08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Dibromofluorometano	93		79 - 123			08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Tolueno-d8 (Sur)	100		80 - 120			08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1

### Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		5.1	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 20:05	50
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	89		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 20:05	50

### Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		12	mg/Kg	☐	08/11/15 11:52	09/11/15 16:04	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
o-Terfenil (Sur)	73		27 - 151			08/11/15 11:52	09/11/15 16:04	1

### Química General

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	17		0.10	%	-		06/11/15 12:59	1

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-14/17-18m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
 400-113417-3**

Fecha de Toma de Muestra: 27/10/15 15:00

**Matriz: Sólidos**

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

**Porcentaje de Sólidos: 79.7**

### Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Tolueno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Etilbenceno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Xilenos, Total	ND		0.0067	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Metil terbutil eter	ND		0.0067	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno	95		72 - 122			10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Dibromofluorometano	91		79 - 123			10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Tolueno-d8 (Sur)	91		80 - 120			10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1

### Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		0.12	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 17:48	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	90		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 17:48	1

### Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		12	mg/Kg	☐	06/11/15 11:52	09/11/15 16:13	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
o-Terfenil (Sur)	123		27 - 151			06/11/15 11:52	09/11/15 16:13	1

### Química General

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	20		0.10	%	-		06/11/15 12:59	1



## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-17/4-5m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
 400-113417-4**

Fecha de Toma de Muestra: 28/10/15 11:38

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 86.8

### Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.29	mg/Kg	☐	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
Tolueno	ND		0.29	mg/Kg	☐	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
Etilbenceno	ND		0.29	mg/Kg	☐	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
<b>Xilenos, Total</b>	<b>0.92</b>		0.29	mg/Kg	☐	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
Metil terbutil eter	ND		0.29	mg/Kg	☐	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Limites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno	99		72 - 122			07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
Dibromofluorometano	85		79 - 123			07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
Tolueno-d8 (Surr)	95		80 - 120			07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50

### Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
<b>Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10</b>	<b>220</b>		5.4	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 21:48	50
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Limites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	94		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 21:48	50

### Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
<b>Rango Organico de Diesel (C10-C28)</b>	<b>110</b>		11	mg/Kg	☐	06/11/15 11:52	09/11/15 18:23	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Limites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
o-Terfenil (Surr)	102		27 - 151			06/11/15 11:52	09/11/15 18:23	1

### Química General

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
<b>Porcentaje de Humedad</b>	<b>13</b>		0.10	%			06/11/15 12:59	1

TestAmerica Pensacola

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-17/10-11m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-5**

Fecha de Toma de Muestra: 28/10/15 14:07

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 84.7

**Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.0058	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1
Tolueno	ND		0.0058	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1
Etilbenceno	ND		0.0058	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1
<b>Xilenos, Total</b>	<b>0.0088</b>		0.0058	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1
<b>Metil terbutil eter</b>	<b>0.036</b>		0.0058	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1
<b>Surrogados</b>								
	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno	100		72 - 122			10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1
Dibromofluorometano	93		79 - 123			10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1
Tolueno-d8 (Surr)	93		80 - 120			10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1

**Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6--C10	ND		4.8	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 22:22	50
<b>Surrogados</b>								
	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
a,a,a-Trifluorotolueno (ftd)	89		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 22:22	50

**Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		12	mg/Kg	☐	08/11/15 11:52	09/11/15 16:33	1
<b>Surrogados</b>								
	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
o-Terfenil (Surr)	89		27 - 151			08/11/15 11:52	09/11/15 16:33	1

**Química General**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	15		0.10	%	-		06/11/15 12:59	1



## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-17/18-19m**

**ID de Muestra/Laboratorio:**

**400-113417-6**

**Fecha de Toma de Muestra: 29/10/15 14:10**

**Matriz: Sólidos**

**Fecha Recibida: 05/11/15 09:44**

**Porcentaje de Sólidos: 76.7**

**Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil			
Benceno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1			
Tolueno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1			
Etilbenceno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1			
Xilenos, Total	ND		0.0067	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1			
<b>Metil terbutil eter</b>	<b>0.35</b>		0.0067	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1			
<b>Surrogados</b>						<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Limites</b>	<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno		101		72 - 122		11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1			
Dibromofluorometano		99		79 - 123		11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1			
Tolueno-d8 (Surr)		99		80 - 120		11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1			

**Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil			
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		5.4	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 22:57	50			
<b>Surrogados</b>						<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Limites</b>	<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)		90		65 - 125		09/11/15 12:00	09/11/15 22:57	50			

**Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil			
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		13	mg/Kg	☐	06/11/15 11:52	09/11/15 16:43	1			
<b>Surrogados</b>						<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Limites</b>	<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
o-Terfenil (Surr)		104		27 - 151		06/11/15 11:52	09/11/15 16:43	1			

**Química General**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	23		0.10	%	-		06/11/15 12:59	1



## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-18/4-5m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-7**

Fecha de Toma de Muestra: 29/10/15 16:30

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 87.0

<b>Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Benceno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	1
Tolueno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	2
Etilbenceno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	3
Xilenos, Total	ND		0.0062	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	4
Metil terbutil eter	ND		0.0062	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	5
Surrogados	Recuperación	Calificador	Límites			Preparado	Analizado	Fac Dil	
4-Bromofluorobenceno	101		72 - 122			11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	6
Dibromofluorometano	99		79 - 123			11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	7
Tolueno-d8 (Surr)	100		80 - 120			11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	8

<b>Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		0.11	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 16:05	1	9
Surrogados	Recuperación	Calificador	Límites			Preparado	Analizado	Fac Dil	
a,a,a-Trifluorotolueno (ftd)	89		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 16:05	1	10

<b>Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		11	mg/Kg	☐	08/11/15 11:52	09/11/15 17:03	1	
Surrogados	Recuperación	Calificador	Límites			Preparado	Analizado	Fac Dil	
o-Terfenil (Surr)	93		27 - 151			08/11/15 11:52	09/11/15 17:03	1	

<b>Química General</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Porcentaje de Humedad	13		0.10	%	-		08/11/15 12:59	1	

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-18/14-15m**

**ID de Muestra/Laboratorio:**

**400-113417-8**

**Fecha de Toma de Muestra: 30/10/15 11:50**

**Matriz: Sólidos**

**Fecha Recibida: 05/11/15 09:44**

**Porcentaje de Sólidos: 76.0**

<b>Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Benceno	ND		0.0064	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	
Tolueno	ND		0.0064	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	
Etilbenceno	ND		0.0064	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	
Xilenos, Total	ND		0.0064	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	
<b>Metil terbutil eter</b>	<b>0.018</b>		0.0064	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	
Surrogados	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac Dil	
4-Bromofluorobenceno	94		72 - 122			12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	
Dibromofluorometano	87		79 - 123			12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	
Tolueno-d8 (Surr)	90		80 - 120			12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	
<b>Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		5.7	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 18:57	50	
Surrogados	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac Dil	
a,a,a-Trifluorotolueno (ftc)	97		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 18:57	50	
<b>Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		13	mg/Kg	☐	06/11/15 11:52	09/11/15 17:12	1	
Surrogados	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac Dil	
o-Terfenil (Surr)	103		27 - 151			06/11/15 11:52	09/11/15 17:12	1	
<b>Química General</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Porcentaje de Humedad	24		0.10	%			06/11/15 12:59	1	

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-18-17-18m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-9**

Fecha de Toma de Muestra: 30/10/15 14:30

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 78.5

<b>Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac	Dil
Benceno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1	
Tolueno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1	
Etilbenceno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1	
Xilenos, Total	ND		0.0062	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1	
<b>Metil terbutil eter</b>	<b>0.24</b>		0.0062	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1	
Surrogados	Recuperación	Calificador	Límites			Preparado	Analizado	Fac	Dil
4-Bromofluorobenceno	94		72 - 122			12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1	
Dibromofluorometano	91		79 - 123			12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1	
Tolueno-d8 (Surr)	94		80 - 120			12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1	
<b>Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac	Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		5.0	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 19:31	50	
Surrogados	Recuperación	Calificador	Límites			Preparado	Analizado	Fac	Dil
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	90		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 19:31	50	
<b>Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac	Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		13	mg/Kg	☐	06/11/15 11:52	09/11/15 17:22	1	
Surrogados	Recuperación	Calificador	Límites			Preparado	Analizado	Fac	Dil
o-Terfenil (Surr)	83		27 - 151			06/11/15 11:52	09/11/15 17:22	1	
<b>Química General</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac	Dil
Porcentaje de Humedad	21		0.10	%	-		06/11/15 12:59	1	

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2



**ID de Muestra/Cliente: PMSC-14/3-4m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-1**

**Fecha de Toma de Muestra: 26/10/15 13:55**

**Matriz: Sólidos**

**Fecha Recibida: 05/11/15 09:44**

**Porcentaje de Sólidos: 79.5**

### Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.30	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Tolueno	ND		0.30	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
<b>Etilbenceno</b>	<b>2.0</b>		0.30	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
<b>Xilenos, Total</b>	<b>7.4</b>		0.30	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Metil terbutil eter	ND		0.30	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromoflurobenceno	113		72 - 122			08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Dibromofluorometano	87		79 - 123			08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Tolueno-d8 (Surr)	101		80 - 120			08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50

### Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
<b>Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10</b>	<b>300</b>		8.1	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 16:20	50
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	98		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 16:20	50

### Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
<b>Rango Organico de Diesel (C10-C28)</b>	<b>2500</b>		25	mg/Kg	☐	08/11/15 11:52	10/11/15 13:19	2
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
o-Terfenil (Surr)	88		27 - 151			08/11/15 11:52	10/11/15 13:19	2

### Química General

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
<b>Porcentaje de Humedad</b>	<b>21</b>		0.10	%	-		08/11/15 12:59	1

TestAmerica Pensacola

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-14/11-12m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-2**

Fecha de Toma de Muestra: 26/10/15 16:25

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 83.5

### Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.0057	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Tolueno	ND		0.0057	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Etilbenceno	ND		0.0057	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Xilenos, Total	ND		0.0057	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
<b>Metil terbutil eter</b>	<b>0.021</b>		0.0057	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Surrogados	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac Dil
4-Bromofluorobenceno	116		72 - 122			08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Dibromofluorometano	93		79 - 123			08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Tolueno-d8 (Surr)	100		80 - 120			08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1

### Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		5.1	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 20:05	50
Surrogados	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac Dil
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	89		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 20:05	50

### Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		12	mg/Kg	☐	08/11/15 11:52	09/11/15 16:04	1
Surrogados	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac Dil
o-Terfenil (Surr)	73		27 - 151			08/11/15 11:52	09/11/15 16:04	1

### Química General

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	17		0.10	%	-		08/11/15 12:59	1

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-14/17-18m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-3**

Fecha de Toma de Muestra: 27/10/15 15:00

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 79.7

### Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Tolueno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Etilbenceno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Xilenos, Total	ND		0.0067	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Metil terbutil eter	ND		0.0067	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Limites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno	95		72 - 122			10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Dibromofluorometano	91		79 - 123			10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Tolueno-d8 (Surr)	91		80 - 120			10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1

### Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		0.12	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 17:48	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Limites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	90		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 17:48	1

### Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		12	mg/Kg	☐	06/11/15 11:52	09/11/15 16:13	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Limites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
o-Terfenil (Surr)	123		27 - 151			06/11/15 11:52	09/11/15 16:13	1

### Química General

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	20		0.10	%	-		06/11/15 12:59	1

TestAmerica Pensacola

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-17/4-5m**

**ID de Muestra/Laboratorio:**

**400-113417-4**

**Fecha de Toma de Muestra: 28/10/15 11:38**

**Matriz: Sólidos**

**Fecha Recibida: 05/11/15 09:44**

**Porcentaje de Sólidos: 86.8**

### Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.29	mg/Kg	☐	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
Tolueno	ND		0.29	mg/Kg	☐	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
Etilbenceno	ND		0.29	mg/Kg	☐	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
<b>Xilenos, Total</b>	<b>0.92</b>		0.29	mg/Kg	☐	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
Metil terbutil eter	ND		0.29	mg/Kg	☐	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50

Surrogados	Recuperación	Calificador	Límites	Preparado	Analizado	Fac Dil
4-Bromofluorobenceno	99		72 - 122	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
Dibromofluorometano	85		79 - 123	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
Tolueno-d8 (Surr)	95		80 - 120	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50

### Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
<b>Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10</b>	<b>220</b>		5.4	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 21:48	50

Surrogados	Recuperación	Calificador	Límites	Preparado	Analizado	Fac Dil
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	94		65 - 125	09/11/15 12:00	09/11/15 21:48	50

### Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
<b>Rango Organico de Diesel (C10-C28)</b>	<b>110</b>		11	mg/Kg	☐	08/11/15 11:52	09/11/15 16:23	1

Surrogados	Recuperación	Calificador	Límites	Preparado	Analizado	Fac Dil
o-Terfenil (Surr)	102		27 - 151	08/11/15 11:52	09/11/15 16:23	1

### Química General

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
<b>Porcentaje de Humedad</b>	<b>13</b>		0.10	%	-		08/11/15 12:59	1

TestAmerica Pensacola

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-17/10-11m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-5**

Fecha de Toma de Muestra: 28/10/15 14:07

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 84.7

### Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.0058	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1
Tolueno	ND		0.0058	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1
Etilbenceno	ND		0.0058	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1
<b>Xilenos, Total</b>	<b>0.0086</b>		0.0058	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1
<b>Metil terbutil eter</b>	<b>0.036</b>		0.0058	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno	100		72 - 122			10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1
Dibromofluorometano	93		79 - 123			10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1
Tolueno-d8 (Sur)	93		80 - 120			10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1

### Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		4.8	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 22:22	50
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	89		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 22:22	50

### Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		12	mg/Kg	☐	08/11/15 11:52	09/11/15 18:33	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
o-Terfenil (Sur)	89		27 - 151			06/11/15 11:52	09/11/15 18:33	1

### Química General

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	15		0.10	%	-		08/11/15 12:59	1

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-17/18-19m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-6**

Fecha de Toma de Muestra: 29/10/15 14:10

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 76.7

<b>Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac	Dil
Benceno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1	
Tolueno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1	
Etilbenceno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1	
Xilenos, Total	ND		0.0067	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1	
<b>Metil terbutil eter</b>	<b>0.35</b>		0.0067	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1	
<b>Surrogados</b>									
	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac	Dil
4-Bromofluorobenceno	101		72 - 122			11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1	
Dibromofluorometano	99		79 - 123			11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1	
Tolueno-d8 (Surr)	99		80 - 120			11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1	

<b>Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac	Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		5.4	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 22:57	50	
<b>Surrogados</b>									
	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac	Dil
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	90		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 22:57	50	

<b>Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac	Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		13	mg/Kg	☐	08/11/15 11:52	09/11/15 16:43	1	
<b>Surrogados</b>									
	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac	Dil
o-terfenil (Surr)	104		27 - 151			08/11/15 11:52	09/11/15 16:43	1	

<b>Química General</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac	Dil
Porcentaje de Humedad	23		0.10	%			08/11/15 12:59	1	

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-18/4-5m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-7**

Fecha de Toma de Muestra: 29/10/15 16:30

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 87.0

<b>Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Benceno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	
Tolueno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	
Etilbenceno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	
Xilenos, Total	ND		0.0062	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	
Metil terbutil eter	ND		0.0062	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	
Surrogados	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac Dil	
4-Bromofluorobenceno	101		72 - 122			11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	
Dibromofluorometano	99		79 - 123			11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	
Tolueno-d8 (Surr)	100		80 - 120			11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1	
<b>Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		0.11	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 16:05	1	
Surrogados	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac Dil	
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	89		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 16:05	1	
<b>Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		11	mg/Kg	☐	06/11/15 11:52	09/11/15 17:03	1	
Surrogados	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac Dil	
o-Terfenil (Surr)	93		27 - 151			06/11/15 11:52	09/11/15 17:03	1	
<b>Química General</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Porcentaje de Humedad	13		0.10	%	-		06/11/15 12:59	1	



## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-18/14-15m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
 400-113417-8**

Fecha de Toma de Muestra: 30/10/15 11:50

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 76.0

Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Benceno	ND		0.0064	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	1
Tolueno	ND		0.0064	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	2
Etilbenceno	ND		0.0064	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	3
Xilenos, Total	ND		0.0064	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	4
<b>Metil terbutil eter</b>	<b>0.018</b>		0.0064	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	5
Surrogados	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac Dil	
4-Bromofluorobenceno	94		72 - 122			12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	6
Dibromofluorometano	87		79 - 123			12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	7
Tolueno-d8 (Surr)	90		80 - 120			12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1	8

Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		5.7	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 18:57	50	9
Surrogados	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac Dil	
a,a,a-Trifluorotolueno (ftd)	97		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 18:57	50	10

Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		13	mg/Kg	☐	06/11/15 11:52	09/11/15 17:12	1	1
Surrogados	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac Dil	
o-Terfenil (Surr)	103		27 - 151			06/11/15 11:52	09/11/15 17:12	1	1

Química General									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Porcentaje de Humedad	24		0.10	%	-		06/11/15 12:59	1	1

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-18-17-18m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-9**

Fecha de Toma de Muestra: 30/10/15 14:30  
 Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Matriz: Sólidos  
 Porcentaje de Sólidos: 78.5

**Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1
Tolueno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1
Etilbenceno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1
Xilenos, Total	ND		0.0062	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1
<b>Metil terbutil eter</b>	<b>0.24</b>		0.0062	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno	94		72 - 122			12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1
Dibromofluorometano	91		79 - 123			12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1
Tolueno-d8 (Surr)	94		80 - 120			12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1

**Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		5.0	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 19:31	50
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
<i>o,a,a-Trifluorotolueno (fid)</i>	90		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 19:31	50

**Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		13	mg/Kg	☐	06/11/15 11:52	09/11/15 17:22	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
<i>o-Terfenil (Surr)</i>	83		27 - 151			06/11/15 11:52	09/11/15 17:22	1

**Química General**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	21		0.10	%	-		06/11/15 12:59	1



## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2



**ID de Muestra/Cliente: PMSC-14/3-4m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-1**

Fecha de Toma de Muestra: 26/10/15 13:55  
 Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Matriz: Sólidos  
 Porcentaje de Sólidos: 79.5

**Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.30	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Tolueno	ND		0.30	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Etilbenceno	2.0		0.30	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Xilenos, Total	7.4		0.30	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Metil terbutil eter	ND		0.30	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
<b>Surrogados</b>						<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno	113		72 - 122			08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Dibromofluorometano	87		79 - 123			08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50
Tolueno-d8 (Surr)	101		80 - 120			08/11/15 07:20	08/11/15 18:11	50

**Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	300		6.1	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 16:20	50
<b>Surrogados</b>						<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	96		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 16:20	50

**Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	2500		25	mg/Kg	☐	08/11/15 11:52	10/11/15 13:19	2
<b>Surrogados</b>						<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
o-Terfenil (Surr)	66		27 - 151			08/11/15 11:52	10/11/15 13:19	2

**Química General**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	21		0.10	%	-		08/11/15 12:59	1

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-14/11-12m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-2**

Fecha de Toma de Muestra: 26/10/15 16:25

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 83.5

### Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.0057	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Tolueno	ND		0.0057	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Etilbenceno	ND		0.0057	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Xilenos, Total	ND		0.0057	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
<b>Metil terbutil eter</b>	<b>0.021</b>		0.0057	mg/Kg	☐	08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno	116		72 - 122			08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Dibromofluorometano	93		79 - 123			08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1
Tolueno-d8 (Surr)	100		80 - 120			08/11/15 07:20	08/11/15 10:55	1

### Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		5.1	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 20:05	50
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	89		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 20:05	50

### Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		12	mg/Kg	☐	08/11/15 11:52	09/11/15 16:04	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
o-Terfenil (Surr)	73		27 - 151			08/11/15 11:52	09/11/15 16:04	1

### Química General

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	17		0.10	%	-		08/11/15 12:59	1

TestAmerica Pensacola

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-14/17-18m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
 400-113417-3**

Fecha de Toma de Muestra: 27/10/15 15:00

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 79.7

**Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Tolueno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Etilbenceno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Xilenos, Total	ND		0.0067	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Metil terbutil eter	ND		0.0067	mg/Kg	☐	10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno	95		72 - 122			10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Dibromofluorometano	91		79 - 123			10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1
Tolueno-d8 (Sur)	91		80 - 120			10/11/15 12:45	10/11/15 15:16	1

**Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		0.12	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 17:48	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	90		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 17:48	1

**Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		12	mg/Kg	☐	08/11/15 11:52	09/11/15 16:13	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
o-Terfenil (Sur)	123		27 - 151			06/11/15 11:52	09/11/15 16:13	1

**Química General**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	20		0.10	%	-		06/11/15 12:59	1



## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-17/4-5m**

**ID de Muestra/Laboratorio:**

**400-113417-4**

Fecha de Toma de Muestra: 28/10/15 11:38

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 86.8

**Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.29	mg/Kg	☐	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
Tolueno	ND		0.29	mg/Kg	☐	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
Etilbenceno	ND		0.29	mg/Kg	☐	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
<b>Xilenos, Total</b>	<b>0.92</b>		0.29	mg/Kg	☐	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
Metil terbutil eter	ND		0.29	mg/Kg	☐	07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Limites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno	99		72 - 122			07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
Dibromofluorometano	85		79 - 123			07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50
Tolueno-d8 (Surr)	95		80 - 120			07/11/15 12:30	11/11/15 00:30	50

**Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
<b>Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10</b>	<b>220</b>		5.4	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 21:48	50
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Limites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
α,α,α-Trifluorotolueno (fid)	94		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 21:48	50

**Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
<b>Rango Organico de Diesel (C10-C28)</b>	<b>110</b>		11	mg/Kg	☐	06/11/15 11:52	09/11/15 16:23	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Limites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
α-Terfenil (Surr)	102		27 - 151			06/11/15 11:52	09/11/15 16:23	1

**Química General**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
<b>Porcentaje de Humedad</b>	<b>13</b>		0.10	%	-		06/11/15 12:59	1



## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-17/10-11m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-5**

Fecha de Toma de Muestra: 28/10/15 14:07

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 84.7

<b>Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Benceno	ND		0.0058	mg/Kg	□	10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1	1
Tolueno	ND		0.0058	mg/Kg	□	10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1	2
Etilbenceno	ND		0.0058	mg/Kg	□	10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1	3
<b>Xilenos, Total</b>	<b>0.0086</b>		0.0058	mg/Kg	□	10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1	4
<b>Metil terbutil eter</b>	<b>0.036</b>		0.0058	mg/Kg	□	10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1	5
<b>Surrogados</b>	<b>recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>	
4-Bromofluorobenceno	100		72 - 122			10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1	6
Dibromofluorometano	93		79 - 123			10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1	7
Tolueno-d8 (Surr)	93		80 - 120			10/11/15 12:45	10/11/15 17:10	1	8
<b>Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		4.8	mg/Kg	□	09/11/15 12:00	09/11/15 22:22	50	9
<b>Surrogados</b>	<b>recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>	
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	89		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 22:22	50	10
<b>Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		12	mg/Kg	□	06/11/15 11:52	09/11/15 16:33	1	
<b>Surrogados</b>	<b>recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>	
o-Terfenil (Surr)	89		27 - 151			06/11/15 11:52	09/11/15 16:33	1	
<b>Química General</b>									
Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil	
Porcentaje de Humedad	15		0.10	%	-		06/11/15 12:59	1	

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-17/18-19m**

**ID de Muestra/Laboratorio:**

**400-113417-6**

Fecha de Toma de Muestra: 29/10/15 14:10

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 76.7

**Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1
Tolueno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1
Etilbenceno	ND		0.0067	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1
Xilenos, Total	ND		0.0067	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1
<b>Metil terbutil eter</b>	<b>0.35</b>		0.0067	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno	101		72 - 122			11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1
Dibromofluorometano	99		79 - 123			11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1
Tolueno-d8 (Surr)	99		80 - 120			11/11/15 11:16	11/11/15 22:07	1

**Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		5.4	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 22:57	50
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	90		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 22:57	50

**Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		13	mg/Kg	☐	06/11/15 11:52	09/11/15 16:43	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
o-Terfenil (Surr)	104		27 - 151			06/11/15 11:52	09/11/15 16:43	1

**Química General**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	23		0.10	%	-		06/11/15 12:59	1



## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-18/4-5m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-7**

Fecha de Toma de Muestra: 29/10/15 16:30

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 87.0

**Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1
Tolueno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1
Etilbenceno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1
Xilenos, Total	ND		0.0062	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1
Metil terbutil eter	ND		0.0062	mg/Kg	☐	11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno	101		72 - 122			11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1
Dibromofluorometano	99		79 - 123			11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1
Tolueno-d8 (Surr)	100		80 - 120			11/11/15 11:16	11/11/15 22:34	1

**Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		0.11	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 16:05	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	89		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 16:05	1

**Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		11	mg/Kg	☐	08/11/15 11:52	09/11/15 17:03	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
o-Terfenil (Surr)	93		27 - 151			08/11/15 11:52	09/11/15 17:03	1

**Química General**

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	13		0.10	%	-		08/11/15 12:59	1

## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-18/14-15m**

**ID de Muestra/Laboratorio:**

**400-113417-8**

**Fecha de Toma de Muestra: 30/10/15 11:50**

**Matriz: Sólidos**

**Fecha Recibida: 05/11/15 09:44**

**Porcentaje de Sólidos: 76.0**

### Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.0064	mg/Kg	□	12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1
Tolueno	ND		0.0064	mg/Kg	□	12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1
Etilbenceno	ND		0.0064	mg/Kg	□	12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1
Xilenos, Total	ND		0.0064	mg/Kg	□	12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1
<b>Metil terbutil eter</b>	<b>0.018</b>		0.0064	mg/Kg	□	12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
4-Bromofluorobenceno	94		72 - 122			12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1
Dibromofluorometano	87		79 - 123			12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1
Tolueno-d8 (Surr)	90		80 - 120			12/11/15 12:46	12/11/15 19:44	1

### Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		5.7	mg/Kg	□	09/11/15 12:00	09/11/15 18:57	50
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
a,a,a-Trifluorotolueno (fid)	91		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 18:57	50

### Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		13	mg/Kg	□	06/11/15 11:52	09/11/15 17:12	1
<b>Surrogados</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Calificador</b>	<b>Límites</b>			<b>Preparado</b>	<b>Analizado</b>	<b>Fac Dil</b>
o-Terfenil (Surr)	103		27 - 151			06/11/15 11:52	09/11/15 17:12	1

### Química General

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	24		0.10	%	-		06/11/15 12:59	1



## Resultados de Muestra de Cliente

Cliente: Environmental Protection & Control  
 Proyecto/Lugar: Santa Clara

Numero de Identificación de TestAmerica: 400-113417-2

**ID de Muestra/Cliente: PMSC-18-17-18m**

**ID de Muestra/Laboratorio:  
400-113417-9**

Fecha de Toma de Muestra: 30/10/15 14:30

Matriz: Sólidos

Fecha Recibida: 05/11/15 09:44

Porcentaje de Sólidos: 78.5

### Método: 8260B - Compuestos Orgánicos Volátiles (GC/MS)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Benceno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1
Tolueno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1
Etilbenceno	ND		0.0062	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1
Xilenos, Total	ND		0.0062	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1
<b>Metil terbutil eter</b>	<b>0.24</b>		0.0062	mg/Kg	☐	12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1
Surrogados	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac Dil
4-Bromofluorobenceno	94		72 - 122			12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1
Dibromofluorometano	91		79 - 123			12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1
Tolueno-d8 (Surr)	94		80 - 120			12/11/15 12:46	12/11/15 20:09	1

### Método: 8015B - Rango Organico de Gasolina (ROG)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Gasolina (ROG) C6-C10	ND		5.0	mg/Kg	☐	09/11/15 12:00	09/11/15 19:31	50
Surrogados	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac Dil
a,a,a-Trifluorotolueno (Tfd)	90		65 - 125			09/11/15 12:00	09/11/15 19:31	50

### Método: 8015B - Rango Organico de Diesel (ROD) (GC)

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Rango Organico de Diesel (C10-C28)	ND		13	mg/Kg	☐	08/11/15 11:52	09/11/15 17:22	1
Surrogados	Recuperación	Calificador	Limites			Preparado	Analizado	Fac Dil
o-terfenil (Surr)	83		27 - 151			06/11/15 11:52	09/11/15 17:22	1

### Química General

Analito	Resultado	Calificador	RL	Unidad	S	Preparado	Analizado	Fac Dil
Porcentaje de Humedad	21		0.10	%			06/11/15 12:59	1



# **Anexo 4**

## **Resultados Físico-Químicos y Microbiológico- LAQUISA**



LABORATORIOS QUIMICOS S.A.  
LAQUISA

Teléfono: (505) 24011-24012  
Cel. 2476 989423932  
Cel. 30866 989423944

## INFORME DE ANÁLISIS

**Cliente:** EPC  
**Dirección:** De los Semaforos de Donde Fue la Vicky 50 varas hacia arriba casa N° 180  
**Nombre muestra:** MCSC/8-13m  
**Descripción muestra:** Suelo  
**Fecha ingreso:** 22/10/2015  
**Ref. laboratorio:** Su-6042-15  
**Número de muestreo:**

**Lugar muestreo:** Santa Clara  
**Munic./Depto.:** Managua  
**Fecha muestreo:** 15/10/2015  
**Fecha informe:** 02/11/2015  
**Muestreado por:** Cliente

Análisis	Unidad	Resultado
Recuento de Aerobios	UFC/gr	160
Recuento de Hongos y Levaduras	UFC/gr	70

*LAQUISA, es responsable de la exactitud de los resultados de la muestra recibida.  
Para la reproducción de este informe deberá haber un escrito autorizado.*



Lic. Benito Zapata Amaya  
Gerente General

Lic. Félix Antonio Jirón Cantillo  
Responsable Técnico

Página 1 de 3

## INFORME DE ANÁLISIS

**Cliente:** EPC **Lugar muestreo:** Santa Clara  
**Dirección:** De los Semaforos de Donde Fue la Vicky 50 varas **Munic./Depto.:** Managua  
 hacia arriba casa N° 180  
**Nombre muestra:** MCSC/8-13m **Fecha muestreo:** 15/10/2015  
**Descripción muestra:** Suelo **Fecha informe:** 03/11/2015  
**Fecha ingreso:** 22/10/2015 **Muestreado por:** Cliente  
**Ref. laboratorio:** Su-6042-15  
**Número de muestreo:**

Análisis	Unidad	Resultado
pH	-	8.5
Materia Orgánica	%	1.27
Nitrógeno Total	%	0.10
Fósforo	ppm	8.5
Hierro Ferroso	ppm	2981.6
Hierro Ferrico	ppm	31.1
Hierro Total	ppm	3443.5
Manganeso	ppm	17.6
Nitritos	ppm	21.46
Nitratos	ppm	56.96
Potencial Redox	mv	-88
Capacidad de Intercambio Cationico (CIC)	meq/100g	43.18
Carbonatos	mg/l	1.90
Densidad Aparente	g/ml	1.44
Arcilla	%	2.48
Limo	%	14.36

LAQUISA, es responsable de la exactitud de los resultados de la muestra recibida.  
 Para la reproducción de este informe deberá haber un escrito autorizado.



Lic. Benito Zapata Amaya  
 Gerente General




Lic. Julio César Barrera Berrios  
 Responsable de Suelo

## INFORME DE ANÁLISIS

**Cliente:** EPC  
**Dirección:** De los Sémaforos de Donde Fue la Vicky 50 varas hacia arriba casa N° 180  
**Nombre muestra:** MCSC/8-13m  
**Descripción muestra:** Suelo  
**Fecha ingreso:** 22/10/2015  
**Ref. laboratorio:** Su-6042-15  
**Número de muestreo:**

**Lugar muestreo:** Santa Clara  
**Munic./Depto.:** Managua  
**Fecha muestreo:** 15/10/2015  
**Fecha informe:** 03/11/2015  
**Muestreado por:** Cliente

Análisis	Unidad	Resultado
Arena	%	83,16
Textura	-	Arenoso

*LAQUISA, es responsable de la exactitud de los resultados de la muestra recibida.  
Para la reproducción de este informe deberá haber un escrito autorizado.*



Lic. Benito Zapata Amaya  
Gerente General




Lic. Julio César Barrera Berrios  
Responsable de Suelo