



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD CIENCIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**DETERMINACIÓN DE LA PLUMA DE CONTAMINACIÓN DE UN  
DERRAME DE COMBUSTIBLE EN LA VÍA SANTO DOMINGO DE  
LOS TSÁCHILAS-ESMERALDAS UTILIZANDO EL SOFTWARE  
NAPL SIMULATOR**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: JORGE HAMILTON JIMÉNEZ VELASCO**

**DIRECTOR: Dr. FAUSTO MANOLO YAULEMA GARCÉS**

Riobamba-Ecuador

2020

**© 2020, Jorge Hamilton Jiménez Velasco**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jorge Hamilton Jiménez Velasco, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de febrero del 2020



**Jorge Hamilton Jiménez Velasco**

**080303037-8**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

El Tribunal de Trabajo de titulación experimental certifica que: El trabajo técnico “**DETERMINACIÓN DE LA PLUMA DE CONTAMINACIÓN DE UN DERRAME DE COMBUSTIBLE EN LA VÍA SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS-ESMERALDAS UTILIZANDO EL SOFTWARE NAPL SIMULATOR**”, realizado por el señor **Jorge Hamilton Jiménez Velasco**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autorizada su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
		2020-02-28
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2020-02-28
Dr. Fausto Manolo Yaulema Garcés <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2020-02-28
Ing. Luis Miguel Santillán Quiroga <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2020-02-28

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Con mucho amor le dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta tesis A MI MADRE, por ser ella el pilar más importante y fundamental en mi vida, por demostrarme siempre su amor, ejemplo y apoyo incondicional.

A mis hermanos Jahaira, Omar, Liliana, André y Gerardo gracias por estar conmigo y apoyarme siempre, los amo mucho.

A mi abuela bella que siempre ha estado allí aportando su granito de arena y a mi Padrastro Mauricio que siempre ha estado dándome su apoyo y consejos para ser un hombre de bien.

Y no me puedo irme de aquí sin antes decirles, que sin ustedes a mi lado no lo hubiera logrado, tantas desveladas sirvieron de algo y aquí está el fruto. Los amo mucho y nunca los olvidare.

Hamilton

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar, a cada uno de los que son parte de mi familia a mi Madre Jacqueline Velasco, a mis hermanos, mi padrastro y mi abuela por siempre haberme dado la fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado a llegar a donde estoy ahora.

A mi director de tesis, Dr. Fausto Yaulema por su esfuerzo y dedicación, quien, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

Son muchas las personas que han formado parte de esta etapa a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por la formación de excelencia recibida en esta prestigiosa institución.

Hamilton

## TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE GRÁFICOS.....	xi
INDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA .....	4
1.1. Antecedentes de la investigación.....	4

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Hidrocarburos.....	5
2.2. Contaminación.....	5
2.2.1. <i>Modos de formación de suelos contaminados</i> .....	6
2.2.2. <i>Contaminación por hidrocarburos</i> .....	6
2.2.2.1. <i>Factores que influyen</i> .....	7
2.2.2.2. <i>Consecuencias de la contaminación por hidrocarburos</i> .....	7
2.4. Comportamiento de los hidrocarburos en el suelo .....	8
2.5. NAPL .....	8
2.5.1. <i>Características de los NAPL</i> .....	8
2.5.2. <i>Tipos de NAPL</i> .....	9
2.5.2.1. <i>LNAPL</i> .....	9
2.5.2.2. <i>DNAPL</i> .....	10
2.6. Pluma de contaminación.....	11
2.6.1. <i>Caracterización de las plumas contaminantes</i> .....	11
2.6.2. <i>Ciclo de vida de las plumas de contaminación</i> .....	12
2.7. Simulación de contaminantes .....	12

2.7.1.	<i>Modelos matemáticos para NAPL</i> .....	13
2.8.	<b>NAPL Simulator</b> .....	13
2.8.1.	<i>Simulaciones numéricas por el simulador NAPL</i> .....	14
2.8.1.1.	<i>Aplicación de algoritmos genéticos</i> .....	14

### **CAPÍTULO III**

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	15
3.1.	<b>Diseño de la Investigación</b> .....	15
3.2.	<b>Localización del proyecto</b> .....	15
3.3.	<b>Método de recopilación de los datos</b> .....	16
3.4.	<b>Desarrollo de la simulación</b> .....	16
3.4.1.	<i>Cartografía y Mapas de Ubicación</i> .....	16
3.4.2.	<i>Ingreso de datos para la simulación en NAPL</i> .....	17
3.4.3.	<i>Obtención de datos e imagen Bidimensional de la pluma de contaminación</i> .....	18

### **CAPÍTULO IV**

4.	<b>RESULTADOS</b> .....	19
4.1.	<b>Concentración y Desplazamiento del Contaminante</b> .....	19
4.2.	<b>Áreas de Contingencia y Mitigación</b> .....	25
4.2.1.	<i>Bombeo, Tratamiento Y Reinserción De Aguas Subterráneas</i> .....	26
4.2.2.	<i>Biorremediación</i> .....	27
4.3.	<b>Discusión</b> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>

	<b>CONCLUSIONES</b> .....	28
--	---------------------------	----

	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	29
--	------------------------------	----

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**



## **INDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1-3:</b> Coordenadas de ubicación de la zona afectada.....	15
<b>Tabla 1-4:</b> Alternativa y tratamientos de remediación de aguas subterráneas.....	25

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Formación de suelos contaminados.....	6
<b>Figura 2-2:</b>	Suelos contaminados con NAPL.....	9
<b>Figura 3-2:</b>	Ciclo de vida de los contaminantes.....	12
<b>Figura 1-3:</b>	Localización de la zona de estudio.....	16
<b>Figura 1-4:</b>	Pluma de contaminación a 15 años-vista superior.....	19
<b>Figura 2-4:</b>	Pluma de contaminación a 15 años-vista frontal.....	20
<b>Figura 3-4:</b>	Pluma de contaminación a 15 años-vista transversal.....	20
<b>Figura 4-4:</b>	Pluma de contaminación a 30 años-vista superior.....	21
<b>Figura 5-4:</b>	Pluma de contaminación a 30 años-vista frontal.....	21
<b>Figura 6-4:</b>	Pluma de contaminación a 30 años-vista transversal.....	22
<b>Figura 7-4:</b>	Pluma de contaminación a 150 años-vista superior.....	22
<b>Figura 8-4:</b>	Pluma de contaminación a 150 años-vista frontal.....	23
<b>Figura 9-4:</b>	Pluma de contaminación a 150 años-vista transversal.....	23
<b>Figura 10-4:</b>	Modelo simplificado de poros para la filtración de LFNA.....	24
<b>Figura 11-4:</b>	Sistema de pozo de extracción de aguas subterráneas.....	26

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b>	Puntos de muestreo en zonas de actividades petroleras de la Región Amazónica.....	5
<b>Gráfico 1-3:</b>	Mapa de los puntos de muestreo de la provincia de Orellana.....	26
<b>Gráfico 2-3:</b>	Mapa de los puntos de muestreo de la provincia de Orellana.....	27
<b>Gráfico 3-3:</b>	Mapa de los puntos de muestreo de la provincia de Orellana.....	27
<b>Gráfico 4-3:</b>	Mapa de los puntos de muestreo de la provincia de Orellana.....	28

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** REPORTES DE LABORATORIO PARA SUELOS

**ANEXO B:** REPORTES DE LABORATORIO PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ANEXO C:** REGISTROS CLIMATOLÓGICOS

## RESUMEN

Los contaminantes presentes en el suelo pueden estar presentes en fase acuosa, gaseosa, aislados o adsorbidos por la fase porosa del suelo, por lo que la fuga del almacenamiento subterráneo y los derrames en la superficie de varias fuentes de hidrocarburos en el Ecuador han causado grandes problemas de contaminación y han generado preocupación porque han vuelto imposible el análisis de campo en las zonas afectadas, considerando estos problemas es necesaria la aplicación de técnicas de detección y medición de la concentración de contaminantes de manera remota, por lo que ha surgido la necesidad de implementar metodologías con el uso de software para simular la contaminación por líquidos en aguas subterráneas de la vía Santo Domingo de los Tsáchilas-Esmeraldas usando el software NAPL, lo que permitirá generar alternativas que disminuyan los daños provocados por los derrames de combustibles fósiles, como resultado del estudio se logró detectar que el suelo de la zona donde se produjo el derrame posee características arcillo-arenosas, que permiten que la contaminación disminuya facilitando la recolección y recuperación del contaminante en las capas superficiales, además estas simulaciones facilitan las predicciones en el tiempo para tomar decisiones que permitan minimizar el impacto ambiental que puede causar futuros derrames de combustibles por lo que se recomienda el uso de programación para la obtención de datos en tiempo real que permitan la apreciación puntual del comportamiento del contaminante para minimizar el impacto en la zona afectada.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS>; <NAPL (SOFTWARE)>; <COMBUSTIBLES FÓSILES>; <SIMULACIÓN>; <SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS (CANTÓN)>; <ESMERALDAS (PROVINCIA)>; <ECUADOR (PAÍS)>.



Firmado digitalmente por:  
JHONATAN RODRIGO  
PARRERO UQUILLAS



03-05-2021

1088-DBRA-UTP-2021

## ABSTRACT

The pollutants in the soil can be present in the aqueous and gaseous phase, isolated or adsorbed by the porous phase of the soil, so the leakage from underground storage and spills on the surface from several hydrocarbon sources in Ecuador have caused large pollution problems as well as concern because it has been impossible to carry out the field analysis of the affected areas, these problems reflect the need to apply techniques for detecting and measuring the concentration of pollutants in a remote way, this results from the need to implement methodologies with the use of software to simulate the contamination by liquids in groundwater from Santo Domingo de los Tsáchilas-Esmeraldas road using the NAPL software, this will allow generating alternatives that reduce the damage caused by fossil fuel spills. As a result of the study, it was possible to detect that the soil in the area where spills occurred has clay-sandy characteristics, which allow pollution to decrease, facilitating in this way the collection and recovery of the pollutant in superficial layers, in addition these simulations facilitate predictions over time to make decisions which allow minimizing the environmental impact that may cause fuel spills in the future; thus, the use of programming is recommended to obtain real-time data for the punctual appreciation of the pollutant action in order to minimize the impact on the affected area.

**Keywords:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <GROUNDWATER POLLUTION>; <NAPL (SOFTWARE)>; <FOSSIL FUELS>; <SIMULATION>; <SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS (COUNTY)>; <ESMERALDAS (PROVINCE)>; <ECUADOR (COUNTRY)>.

## **INTRODUCCIÓN**

La fuga del almacenamiento subterráneo y los derrames en la superficie de varias fuentes de hidrocarburos en el Ecuador han causado contaminación superficial peligrosa. Los compuestos tóxicos de los productos químicos han hecho inviable el estudio de campo y ha sido reemplazado por simulaciones numéricas y de laboratorio. Este estudio introduce la metodología para experimentos bidimensionales en fase líquida no acuosa con el uso de software para simular la contaminación. Además, este estudio enfatiza los experimentos con simulaciones numéricas en las que la adquisición de datos es esencial para la verificación y validación de modelos numéricos.

Los contaminantes presentes en el suelo pueden estar presentes en fase acuosa, gaseosa, aislados o adsorbidos por la fase porosa del suelo, por lo que la existencia de diversas técnicas de detección y medición de la concentración de contaminantes en las diferentes fases del suelo permiten la localización considerando la predominancia de los contaminantes. (Perez, 2010, p.1)

Debido a la gran cantidad de derrames petroleros y la gran cantidad de sustancias químicas dispersas, especialmente de compuestos más densos que el agua, conocidos por sus siglas en inglés como NAPL, son los principales causantes del deterioro ambiental y los problemas de salud, al ser contaminantes que no se combinan con el agua, su caracterización y remediación son complicadas por lo que es necesario realizar modelaciones matemáticas que permitan simular el comportamiento de los contaminantes en el suelo. (Perez, 2010, p.3)

## **Justificación**

Siendo los hidrocarburos una fuente energética primordial en el desarrollo y avance de las sociedades modernas, su explotación es cada vez más intensiva. Con esto se hacen cada vez más frecuentes eventos de contaminación causados por las actividades forzadas de explotación de este recurso. Debido a que la contaminación por petróleo y sus derivados se extiende rápidamente en el ecosistema, muchos de los procesos de descontaminación aplicados no alcanzan a cubrir todas las áreas afectadas y se realizan mucho después de que el crudo o sus derivados han penetrado el ecosistema desconociendo así la dirección de la pluma contaminante.

La simulación facilita conocer el desplazamiento del contaminante, su ubicación, el espesor del hidrocarburo y la velocidad de desplazamiento de las partículas transportadas por el agua subterránea. Igualmente es posible establecer los puntos específicos en los cuales se pueden presentar los eventos contaminantes, la afectación a receptores sensibles y al ecosistema en general dentro de estas áreas.

La aplicación de la simulación de la pluma contaminante en situaciones de derrames permitiría establecer áreas de contingencia y mitigación, además de ubicar puntos de exploración y construcción como los pozos de monitoreo. Finalmente, la simulación realizada en las áreas de estudio dejará como resultado el mapa de flujo de aguas subterráneas que es necesario conocer en caso de un derrame.

De esta manera se incentiva el desarrollo de un escenario de simulación utilizando el software NAPL Simulator en su versión 2.0, el cual permite visualizar de manera tridimensional la magnitud del impacto que genera un derrame de crudo o cualquier otro derivado ajustado a la realidad regional, cuando éste alcanza un objetivo y así plantear soluciones viables para contrarrestar dicho impacto.

Por las razones anteriormente mencionadas el presente trabajo se considera relevante, ya que marca una visión preventiva ante la situación de riesgo que la industria petrolera genera y a su vez, explora una nueva temática en cuanto a identificación y recuperación de las aguas subterráneas.



## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Determinar la pluma de contaminación de un derrame de combustible en la vía Santo Domingo de los Tsáchilas - Esmeraldas utilizando el software NAPL simulator.

### **Objetivos Específicos**

Simular escenarios de contaminación de líquidos de fase no acuosa en aguas subterráneas de la zona de estudio usando el software NAPL Simulator.

Analizar los resultados obtenidos de la simulación y los datos de la visualización bidimensional de la pluma de contaminación.

Compilar los resultados obtenidos por el modelado para establecer áreas de contingencia y mitigación.

.

## **CAPITULO I**

### **1. DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA**

#### **1.1. Antecedentes de la investigación**

El área de estudio comprende aproximadamente 15 hectáreas de terreno, este sector es netamente agrícola, su población es de escasos recursos económicos y por este sector atraviesa el poliducto Esmeraldas Santo Domingo de propiedad de EP Petroecuador, mismo que transporta combustibles desde esmeraldas hacia la ciudad de Santo Domingo.

Se detectó un derrame en la línea PK128 del Poliducto La Concordia –Santo Domingo-Quito- Macul km 42, este accidente es reportado a la Gerencia de Seguridad, Salud y Ambiente, posteriormente se identifican sitios que presentan derivados de hidrocarburo, luego se inspecciono el lugar y se encontraron afloramientos de hidrocarburos por filtración en el sitio y escorrentía de lluvias.

Se inició labores de control sobre los focos de contaminación identificados, también se planificó inspecciones sobre el área probablemente afectada, dentro de la cual se encuentran dos pozos artesanales contaminados con el hidrocarburo en propiedades circundantes al incidente, los mismos se encuentran bajo observación y control con equipos de succión, almacenamiento y transporte. Durante las inspecciones se ubica un foco de contaminación el cual es controlado de inmediato, evitando que la estela de contaminación llegara a otros pozos de agua cerca de la zona afectada.

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

#### **2.1. Hidrocarburos**

Son compuestos orgánicos que poseen en su estructura átomos de carbono e hidrógeno, estos compuestos son la base estructural de la química orgánica, en el mundo moderno, los hidrocarburos representan la principal fuente de generación de energía y un recurso esencial en la manufactura de varios materiales que mejoran la calidad de la vida humana. (Cornejo, 2012)

Según Velásquez, (2017), los hidrocarburos son combustibles fósiles que son utilizados en todo el mundo como principales generadores de energía, son producidos debido a la acumulación de restos animales y vegetales, conocidos como biomasa durante millones de años.

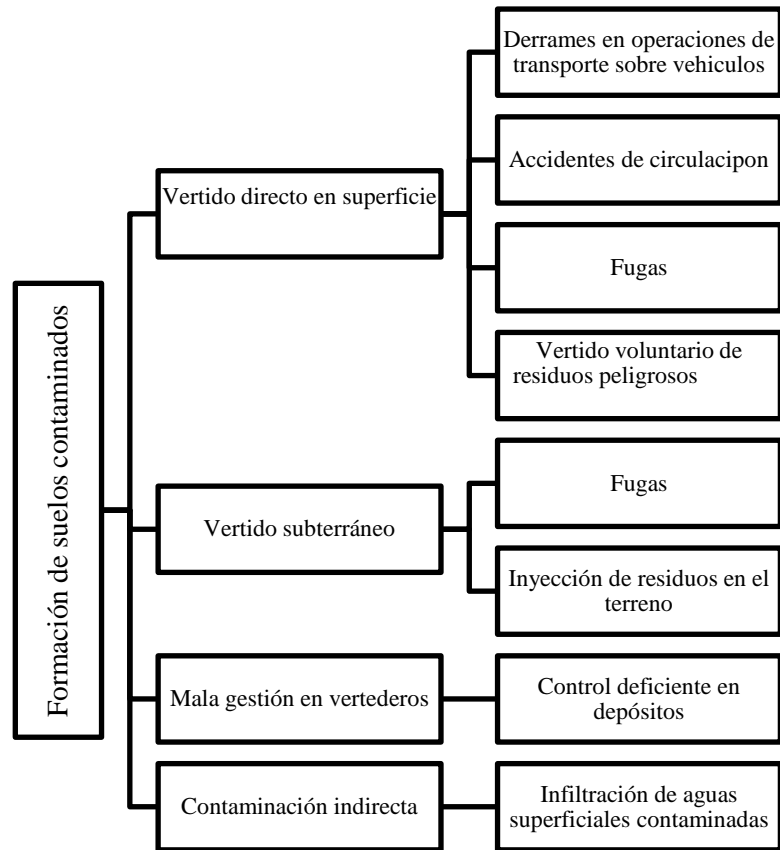
La fabricación de fibras sintéticas y plásticos ha adoptado gran relevancia en la industria petroquímica por lo que varias empresas extractivas realizan la gestión ambiental y social de estos recursos para evitar la contaminación de los ecosistemas por derrames petroleros. (Cornejo, 2012)

#### **2.2. Contaminación**

La contaminación es la incorporación de una sustancia en cualquier forma de energía al ambiente en un ritmo más rápido de la capacidad del planeta para asimilar los contaminantes o estos puedan dispersarse, o que afecta al ambiente y a la calidad de vida de los humanos. (Nathanson, 2017)

Los problemas de contaminación causados principalmente por las actividades antropogénicas, como la extracción de recursos naturales han generado un grave impacto ambiental debido a que la contaminación no solo afecta a la zona del derrame, sino que afecta diversas fuentes hídricas, provoca cambios en los paisajes y altera las características de la zona. (Velásquez, 2017, pp.151-152)

### 2.2.1. *Modos de formación de suelos contaminados*



**Figura 1-2:** Formación de suelos contaminados  
Fuente: Conde, 2010

### 2.2.2. *Contaminación por hidrocarburos*

La contaminación por hidrocarburos es un hecho que ocurre con frecuencia y afecta no solo a las aguas superficiales sino también a los reservorios subterráneos presentes en los ecosistemas, estos procesos son causantes de cambios en las características físicas, químicas y microbiológicas del agua por lo que los ecosistemas se ven afectados y la ingestión de este tipo de agua representan un riesgo para la salud. (Prieto y Martínez, 1999, p.13)

Este tipo de contaminación es un tipo de contaminación muy frecuente que se encuentra estrechamente relacionado con las operaciones hidrocarburíferas desde su extracción, transportación, refinación y distribución de los compuestos orgánicos. (Lastra,2013, p.22)

#### 2.2.2.1. *Factores que influyen*

La cantidad de vertidos existentes alrededor del mundo provoca preocupación de varias organizaciones que buscan mitigar los efectos que este tipo de contaminación causa, para que las operaciones y esfuerzos por remediar los ecosistemas afectados se deben considerar los factores que influyen sobre el vertido, entre estos están. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2017)

- Composición química del producto.
- Tipo y textura del sedimento o suelo
- Época del año
- Temperatura
- pH
- Precipitaciones

El reconocimiento de suelos contaminados con hidrocarburos es complejo si se trata de suelos arcillosos pues, en suelos areno-limosos la identificación de la contaminación es más sencilla debido a que la textura del suelo evita que los lixiviados e hidrocarburos sean absorbidos. (Lastra,2013, p.22)

#### 2.2.2.2. *Consecuencias de la contaminación por hidrocarburos*

Considerando que los hidrocarburos juegan un papel importante en la economía global por la energía que generan, la exploración y explotación de las reservas han ido aumentando progresivamente en todos los países del mundo y con ello la contaminación de ecosistemas con estos compuestos es inevitable y provocan afectaciones irreversibles en la naturaleza, entre los efectos que causa se encuentra:

- Impiden el intercambio gaseoso entre la atmósfera y el suelo, lo que provoca la penetración de los hidrocarburos en la corteza terrestre provocando toxicidad dependiendo de las características de la zona.
- Causan disminución de la flora debido a que se acumulan en la capa hidrofóbica e inducen la fragmentación de los agregados del suelo.
- Degeneración de las propiedades de los suelos y mantos acuíferos provocando la desaparición de especies (Cavazos-Arroyo, Pérez-Armendariz y Mauricio-Gutiérrez, 2014, p.539-545)

- Formación de biopelículas sobre el agua que evitan el paso de la luz solar, impidiendo el proceso de la fotosíntesis. (Bermúdez et al. 2014, p.34)
- La presencia de materia orgánica aumenta la degradación de las bacterias aerobias, lo que genera la disminución de los niveles de oxígeno. (Bermúdez et al. 2014, p.37)

## **2.4. Comportamiento de los hidrocarburos en el suelo**

Al provocarse un derrame de petróleo sobre el suelo, éste se esparce y una fracción penetra en él, la penetrabilidad y el esparcimiento depende del grado de permeabilidad que presenta el suelo, la naturaleza del contenido de agua que contiene y el tipo de crudo derramado, es decir, si la viscosidad que presenta es pequeña la penetrabilidad será mayor si el suelo es poroso y está formado por arena, lo que evita el esparcimiento dl mismo. (Bergueiro, Domínguez y Morales, 1990, pp.280)

## **2.5. NAPL**

Se los conoce como líquidos en fase no acuosa y se los define como hidrocarburos derivados del petróleo que no se mezclan con el agua y que no se infiltran en el suelo cuando existe la presencia de ésta, su densidad los permite flotar sobre el agua. (CEUPE, 2020)

Estos compuestos representan un riesgo para la salud humana y para la calidad ambiental debido a que pueden permanecer en el entorno durante varios años, esto ocurre por la movilidad que estos presentan característica que dificulta la localización y remediación de los suelos que contienen estos contaminantes. (Perez, 2010, p.2)

### **2.5.1. Características de los NAPL**

Entre las características que presentan los NAPL son densidad, viscosidad, permeabilidad, intercambio catiónico, humectabilidad y tensión superficial, propiedades que facilitan el estudio del transporte de los contaminantes en la superficie, además, la movilidad está estrechamente relacionada con el aumento de la densidad y disminución de la viscosidad mientras que la solubilidad, la presión de vapor y la volatilidad de los compuestos influyen en la aparición de contaminantes en distintas

fases, por lo que existirá mayor contaminación del acuífero, sin embargo las propiedades que rigen el comportamiento en la propagación del contaminante. (García y Martínez, 2005, p.68)

La tensión interfacial, correspondiente a la energía libre en la interfase de separación de ambos, es la causante en gran medida del comportamiento único de los NAPLs mientras que la presión capilar, junto con el tamaño de poro y las superficies irregulares, determinan las cantidades de saturación residual que queda en el medio, después de un vertido de NAPL. (García y Martínez, 2005, pp.67-69)

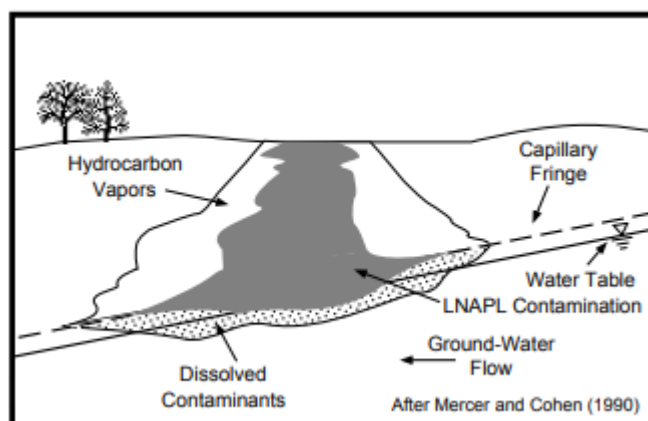
### 2.5.2. Tipos de NAPL

Los NAPL's se clasifican según su densidad en dos tipos:

#### 2.5.2.1. LNAPL.

Son mezclas con una densidad menor a la del agua, afectan principalmente a la calidad de las aguas subterráneas, la contaminación relacionada con este tipo de mezclas se debe a derrames de petróleo, éstos poseen mezclas de componentes orgánicos con varios grados de solubilidad.

Las propiedades físicas y químicas que los LNAPL tienen, afectan directamente al transporte y a la biorremediación de los ecosistemas afectados, actualmente, representan compuestos con largos tiempos de residencia y de difícil remoción. (Newell et al. 1995, p. 2)



**Figura 2-2:** Suelos contaminados con NAPL

Fuente: Newell et al. 1995, p.4

### *Parámetros del Transporte de los LNAPL*

Las características de los LNAPL y las propiedades de los acuíferos permiten el transporte de éstos a través de los poros del suelo y los ecosistemas.

- Escala de poros: La migración está influenciada principalmente por la heterogeneidad de los poros y la capacidad de liberación del complejo que poseen, se deben considerar los siguientes factores para establecer el derrame:
  - Densidad
  - Viscosidad
  - Tensión superficial
  - Humectabilidad
  - Presión capilar
  - Saturación residual
  - Permeabilidad relativa
  
- Escala de campo: Se considera las propiedades físicas y químicas que presentan el ecosistema, así como también las condiciones ambientales. (Newell et al. 1995, p.5)

#### *2.5.2.2. DNAPL*

Son compuestos conocidos por sus siglas en inglés como Dense-Non-Aqueous Phase Liquids, son fluidos inmiscibles en el agua que forman dos fases en el agua debido a que presentan mayor densidad a la del agua.

El problema de estos compuestos radica en que por sus propiedades físicas y químicas cuando son vertidos al ambiente se infiltran en el suelo, contaminando los suelos que atraviesan, llegando a contaminar los acuíferos presentes, por su elevada capacidad de penetración y heterogeneidad, una particularidad es que la contaminación causada por estos hidrocarburos es compleja de localizar. (Fernández, Carles y Borrell ,2014, p.19)



## **2.6. Pluma de contaminación**

Se define como la concentración de un contaminante en sectores determinados, estos contaminantes pueden expandirse, mantenerse estables o reducirse, estos procesos dependerán de las características físicas, químicas y biológicas que presenten las zonas afectadas. (González, Rodríguez y Coronado, 2007, p.6) (Grupo Camaleón, 2016)

Actualmente se realizan seguimiento a las plumas de contaminación, este proceso permite dar seguimiento a los avances de la remediación o el derrame de acuerdo se observen cambios en el tamaño aparente de la concentración del contaminante. (Lenoir y Tornari 2004, p.36)

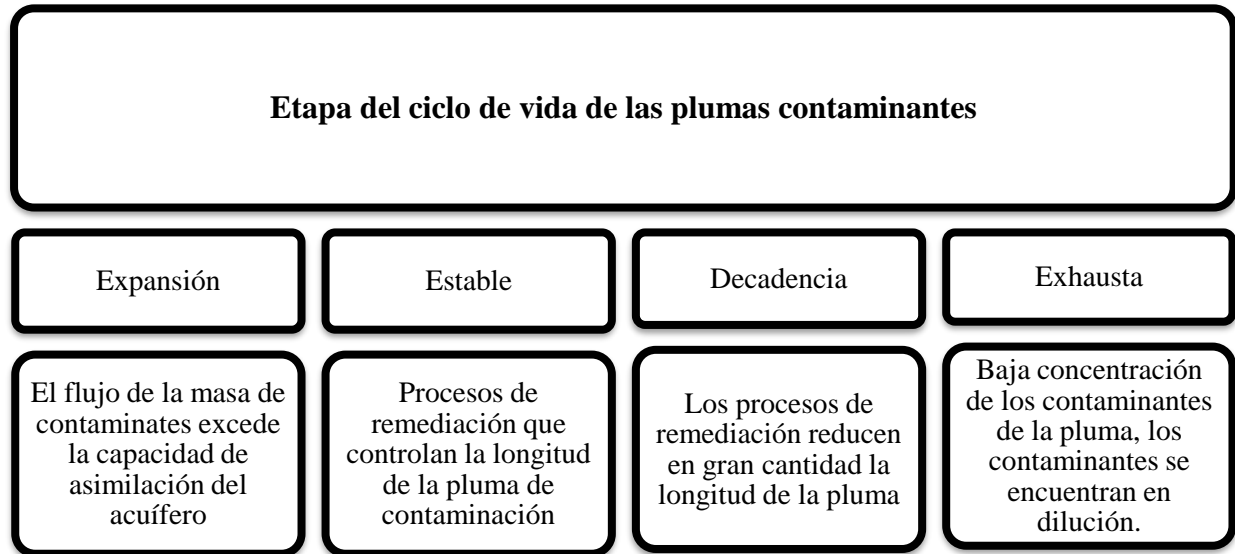
### **2.6.1. Caracterización de las plumas contaminantes**

Los estudios apuntan a que las plumas contaminantes sufren variaciones en el tiempo, como consecuencia de las múltiples variables del medio y sus procesos. El resultado de estos modelos geofísicos es satisfactoriamente compatible con los análisis químicos de laboratorio complementarios.

Se ha determinado que existe una elevada conductividad del agua subterránea en estudios geoquímicos para áreas contaminadas bajo el modelamiento de algunas plumas de LNAPLs. Las alteraciones en las mediciones pueden ser causadas por

- A un nivel capilar por el recorrido y avance del agua.
- Variaciones de porosidad cercanos a la zona vadosa porque las sustancias llenan los poros.
- Procesos de reacción que ocurren entre los productos de la degradación microbiana y la fase sólida del acuífero.
- Por la distribución, saturación y espesor de los residuos que ocurren sobre el nivel freático.
- La degradación microbiana causa alteraciones de los fluidos y su química en los espacios porosos.
- Dirección y cantidad de sustancia de la pluma en su viaje por el acuífero superior (López. 2005, p. 15)

### 2.6.2. *Ciclo de vida de las plumas de contaminación*



**Figura 3-2:** Ciclo de vida de los contaminantes

Fuente: González, Rodríguez y Coronado, 2007, p.8

### 2.7. **Simulación de contaminantes**

Algunos expertos logran la predicción del desplazamiento y la evolución de las concentraciones de las sustancias que se emiten a través de las distintas fuentes de contaminación, los modelos utilizados para la realización de simulaciones son herramientas estratégicas que permiten realizar evaluaciones de la incidencia de las actividades sobre los elementos de la naturaleza, para lograr la determinación de los efectos sobre el entorno.(DEKRA, 2016)

Una adecuada modelación del transporte de contaminantes en los acuíferos suele presentar inconvenientes debido a la escala en la que se trabaja, según Carrera et al, sugieren que la dispersión de los contaminantes puede variar dependiendo del tamaño de poro del suelo y de la escala en la que se realiza el análisis, es decir, la escala en campo puede llegar a ser en kilómetros mientras que en la simulación será en centímetros. (Giraldo, David y Ignacio 2017, pp.15-18)

### **2.7.1. Modelos matemáticos para NAPL**

Son modelos que pueden ser utilizado como herramientas conceptuales o para describir una NAPL particular problema de contaminación, que requiere un específico supuestos y datos de campo asociados. La capacidad predictiva de estos modelos y la adecuación de sus supuestos deben ser verificadas en laboratorios y con experimentación de campo. (Jing-feng et al. 2014)

### **2.8. NAPL Simulator**

Es un simulador que conduce la simulación de la contaminación en los suelos y los acuíferos, fue desarrollado en el laboratorio de la Agencia de Protección Ambiental para el estudio del movimiento y desplazamiento de los contaminantes en la fase granular de la superficie del suelo.

Este modelo, trabaja con tres aspectos físicos fundamentales como:

- Flujo multifásico: Define la extensión volumétrica dependiendo del tiempo móvil y los componentes inmóviles del agua, NAPL y gas.
- Interfase de la transferencia de masa entre masas
- Fase gaseosa. es la distribución temporal y espacial de contaminantes dentro de una fase específica.

El Simulador de NAPL, usa un conjunto de acoplamientos no lineales con ecuaciones de saldo diferencias parcial para lograr la manipulación de la variabilidad temporal y espacial del sistema, del mismo modo utiliza ecuaciones constitutivas y termodinámicas que permiten la relación de parámetros considerando las variables dependientes. (Kamon et al. 2006, p.47)

Es un modelo que realiza una simulación de la contaminación que se presenta en los suelos y acuíferos producidos por sustancias como los LNAPL, líquidos de fase no acuosa, el simulador permite trabajar con tres zonas específicas:

- Zona vadosa
- Zona capilar
- Zona freática del acuífero

La simulación permite trabajar con tres fases móviles, agua, NAPL y gases, por lo que el modelo trifásico k-s-p, acomoda la histéresis capilar y el atrapamiento de fluidos.(EPA, 2017)

Según Jing-feng et al. (2014), este modelo matemático fue desarrollado por el Laboratorio de Investigación y Manejo de riesgos Nacionales de la USEPA y es utilizado para el flujo y transporte subterráneo, permite considerar el flujo en fases múltiples, la transferencia de masa que se produce en la interfase y el transporte de masa que se lleva a cabo en el subsuelo. (EPA, 2017)

### **2.8.1. Simulaciones numéricas por el simulador NAPL**

La región es modelada por elementos rectangulares, el transporte computacional de la simulación de NAPL está basado en su velocidad total, la ecuación que gobierna considera el tiempo de movimiento según la teoría de Hermit. La estrategia para la solución numérica se encuentra controlada por el método Picard, mismo que se encuentra diseñado para que exista una reducción del tiempo computacional y la memoria requerida.

#### **2.8.1.1. Aplicación de algoritmos genéticos**

La aplicación de este tipo de sistemas produce mejores resultados que los métodos de ajuste de curvas en los análisis de regresión, debido a que éstos deben modificarse durante largos periodos de tiempo del análisis. Con este tipo de algoritmos se pueden establecer los parámetros necesarios para la simulación. (Chen y Chang 2004, p.383)

## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo es de tipo técnico, debido a que utiliza un conjunto de datos para la realización de una simulación bidimensional de la pluma de contaminación y poder estimar el nivel de significancia, áreas de contingencia y mitigación.

#### 3.1. Diseño de la Investigación

Para poder simular el recorrido que realiza el contaminante a través de las distintas capas del suelo y la concentración del mismo en cada una de ellas es necesario atravesar por una serie de pasos estructurados y ordenados en etapas, mismas que son interactivas entre sí.

#### 3.2. Localización del proyecto

El lugar designado para la realización de la simulación se encuentra ubicado en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón la Concordia, ubicado en las siguientes coordenadas:

<b>COORDENADAS REFERENCIALES DE UBICACIÓN</b>	
<b>LIMITES</b>	<b>ALTURA m.s.n.m</b>
<b>NORTE</b>	684618.683
<b>SUR</b>	684951.104
<b>ESTE</b>	685091.969
<b>OESTE</b>	684897.644

Tabla 1-3: **Coordenadas de ubicación de la zona afectada**

**Realizado por:** Hamilton Jiménez, 2020

### 3.3. Método de recopilación de los datos

La recopilación de los datos necesarios para desarrollar el presente trabajo fue facilitada por el Dr. Fausto Yaulema, la cual comprende de análisis de suelo y agua que fueron debidamente realizadas por laboratorios acreditados.

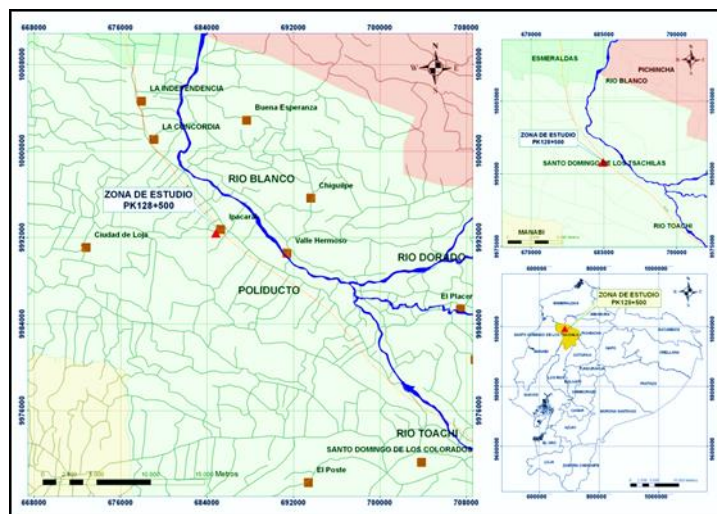
El conjunto de toda esta información es necesario para poder realizar los diferentes procesos digitales necesarios, para posteriormente utilizarlos al momento de ingresar los datos dentro del programa de simulación NAPL.

### 3.4. Desarrollo de la simulación

#### 3.4.1. Cartografía y Mapas de Ubicación

Uno de los archivos necesarios para poder realizar una simulación en la mayoría de los sistemas de programación, es la generación de archivos shapefile (SHP) de la ubicación del proyecto que se va a realizar que contiene las coordenadas UTM WGS 84 zona 17S.

Con la ayuda del programa ArcGis 10.1 2011, se procedió a digitalizar los mapas de ubicación de la zona de estudio para ser importados en el programa NAPL, ya que contiene su ubicación, curvas de nivel, datos meteorológicos, entre otros.



**Figura 1-3:** Localización de la zona de estudio  
Realizado por: Hamilton Jiménez, 2020

### **3.4.2. *Ingreso de datos para la simulación en NAPL***

Para iniciar con la programación es necesario que tener creada una carpeta con todos los datos necesarios para ingresar dentro del programa, inicialmente son los datos geográficos los cuales son importados directamente a la interface del programa NAPL, esperar que se cargue los datos de la ubicación para poder configurar el programa con los parámetros necesarios indispensables para la simulación tales como el tipo de suelo, concentración del contaminante y las condiciones ambientales propias de la zona.

Los parámetros físicos se midieron en campo mediante un medidor multiparámetros portátil y sus resultados revelaron que:

- El agua del acuífero tiene un pH promedio de 6.4, el cual nos indica que el agua es ácida y varía a débilmente básica hacia el oeste de la zona de estudio, la causa de la acidez en el agua se puede explicar por la presencia de CO<sub>2</sub>, el cual está disuelto en el agua que conforman la zona vadosa.
- La temperatura promedio del acuífero es de 24.9°C y no presenta variaciones significativas.
- En promedio la conductividad eléctrica del agua es 0.26 ms/cm.
- El agua presenta leve turbidez con valor promedio de 8.96 (UNT).
- En promedio el agua del acuífero tiene 1.2 mg/l de oxígeno disuelto.
- Las conductividades se resumieron en un promedio general de 0.19 m/día

Todo el conjunto de datos puede ser ingresados manualmente o importados de tablas de Excel creadas con la información requerida para su funcionamiento, es muy importante tener en cuenta las facilidades que nos brinda el programa al momento de ingresar los datos requeridos y ser eficientes al momento de utilizar cualquier sistema de programación.

Antes de ejecutar el programa es la configuración del tiempo que se desea que el programa simule la pluma de contaminación ya que, dependiendo a este, se podrá apreciar en la escala de colores el porcentaje de concentración del contaminante en el suelo con respecto a la infiltración de este. El tiempo determinado para este estudio fueron de 15, 30 y 150 años.

### **3.4.3. *Obtención de datos e imagen Bidimensional de la pluma de contaminación***

En esta parte de la programación obtendremos las imágenes bidimensionales, las cuales serán obtenidas dependiendo del tiempo que se le haya establecido al programa, mismas que pueden durar un tiempo estimado de 15 a 20 min en lo que se analizan todos los datos ingresados al sistema.

Las imágenes bidimensionales de las plumas de contaminación obtenidas dentro de la programación podrán ser observadas en 3 cortes diferentes tales como: el corte superior, corte frontal y el corte transversal, siendo un total de 9 imágenes obtenidas que serán exportadas para poder ser analizadas posteriormente.

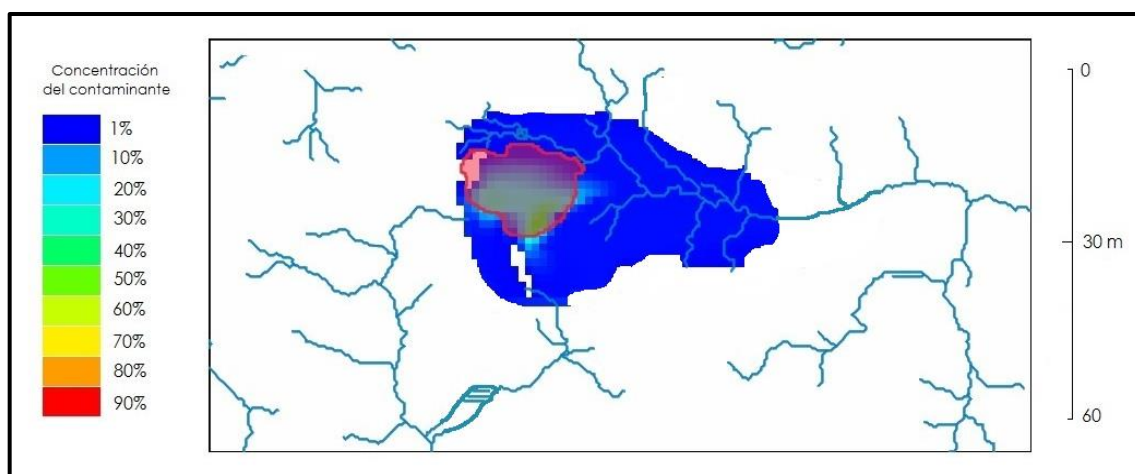


## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS

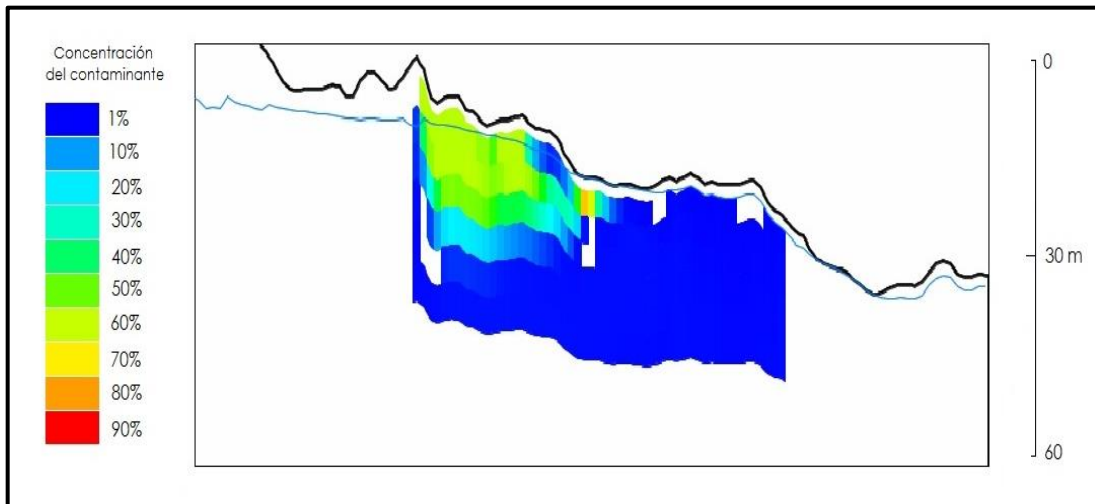
La simulación nos facilita conocer el desplazamiento del contaminante, la ubicación, el espesor del hidrocarburo y la velocidad de desplazamiento de las partículas transportadas por las aguas subterráneas, igualmente es posible establecer los puntos específicos en los cuales se pueden presentar los eventos contaminantes, la afectación de receptores sensibles y al ecosistema en general dentro del área de estudio.

#### 4.1. Concentración y Desplazamiento del Contaminante



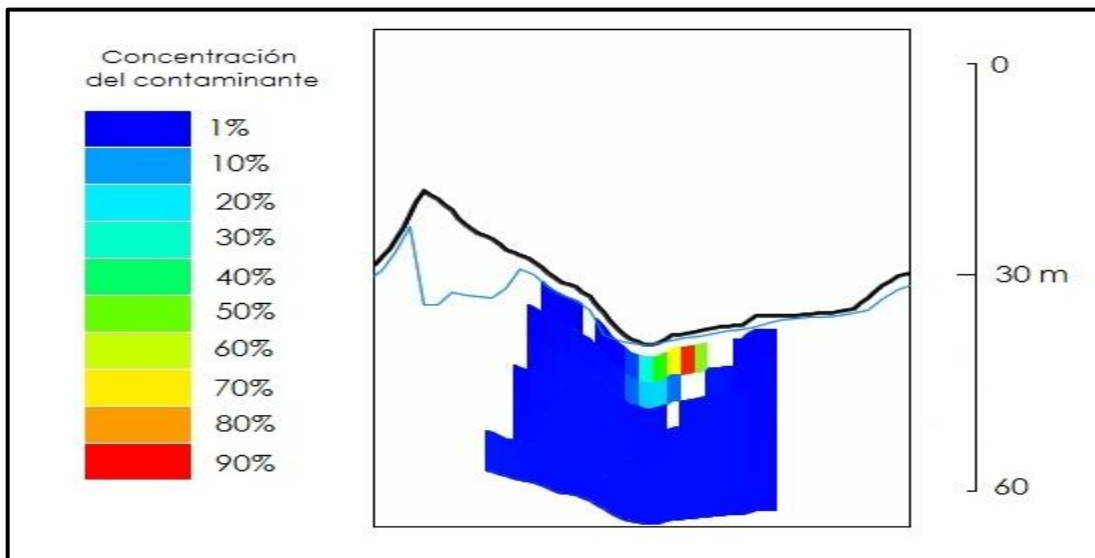
**Figura 1-4:** Pluma de contaminación a 15 años-Vista superior

Realizado por: Hamilton Jiménez, 2020



**Figura 2-4:** Pluma de contaminación a 15 años-Vista frontal

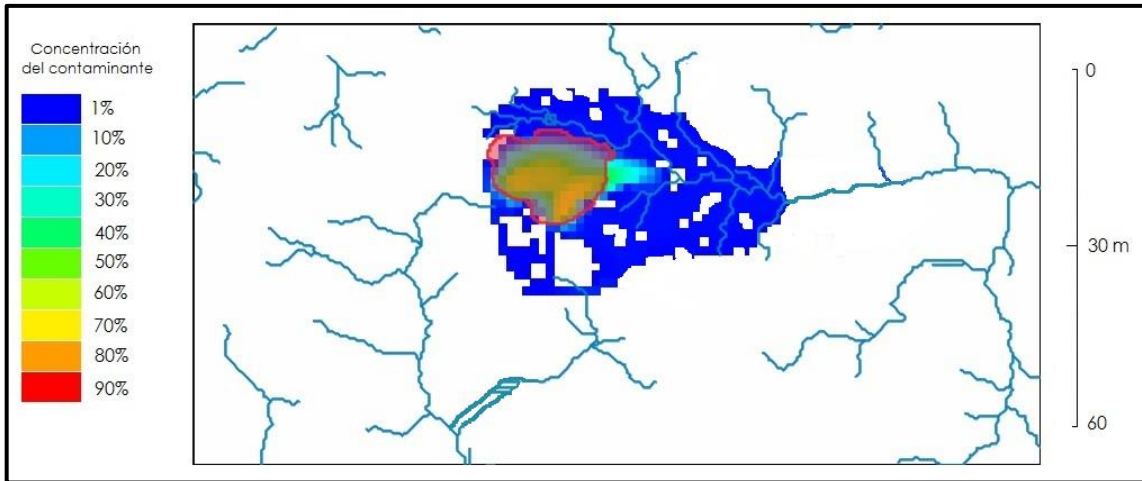
Realizado por: Hamilton Jiménez, 2020



**Figura 3-4:** Pluma de contaminación a 15 años-Vista transversal

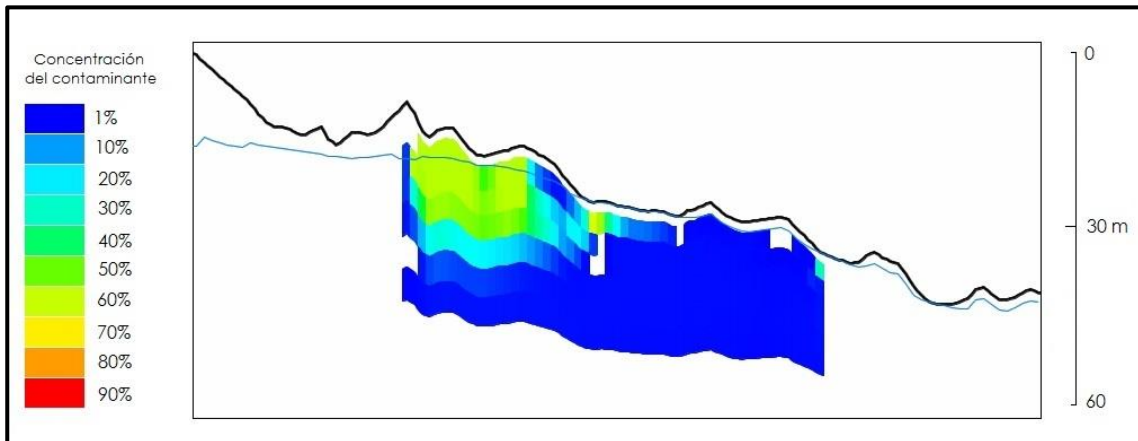
Realizado por: Hamilton Jiménez, 2020

De acuerdo al tiempo establecido de 15 años en la simulación en el software NAPL, de la pluma de contaminación se observa la dispersión del contaminante a través de las capas del suelo, donde la concentración del contaminante en cada una de estas va disminuyendo debido a la infiltración isotrópica.



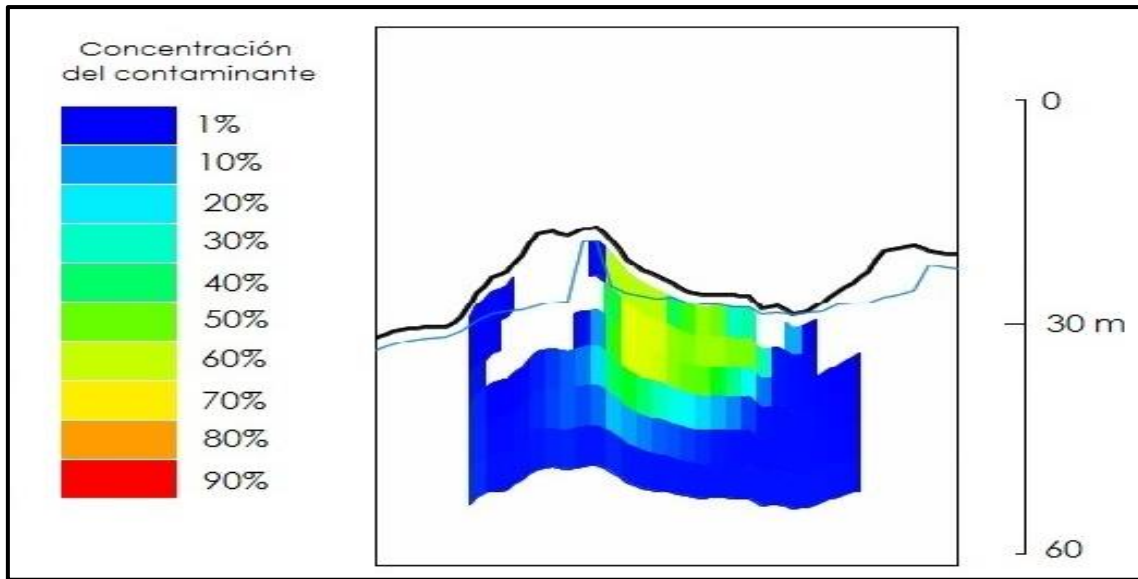
**Figura 4-4:** Pluma de contaminación a 30 años-Vista superior

Realizado por: Hamilton Jiménez, 2020



**Figura 5-4:** Pluma de contaminación a 30 años-Vista frontal

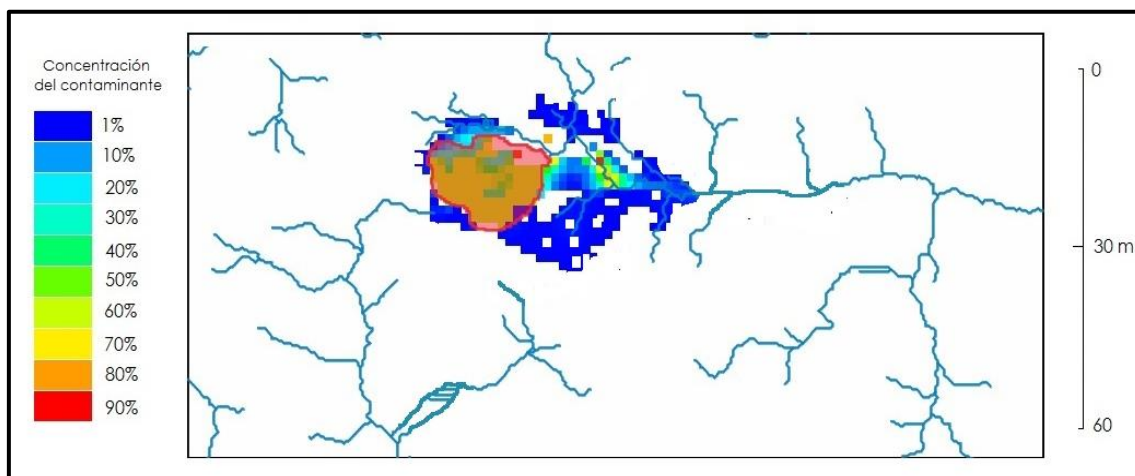
Realizado por: Hamilton Jiménez, 2020



**Figura 6-4:** Pluma de contaminación a 30 años-Vista transversal

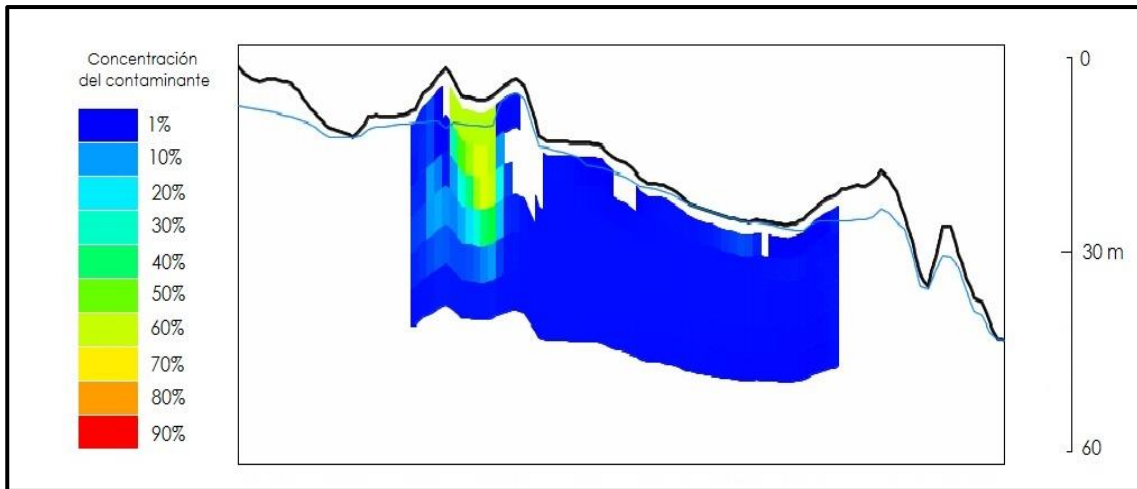
Realizado por: Hamilton Jiménez, 2020

Para este tiempo de simulación de 30 años podemos observar el desplazamiento del contaminante y como poco a poco se ha ido dispersando ya que el suelo va variando a distintas profundidades lo que influye mucho en el desplazamiento horizontal del contaminante.



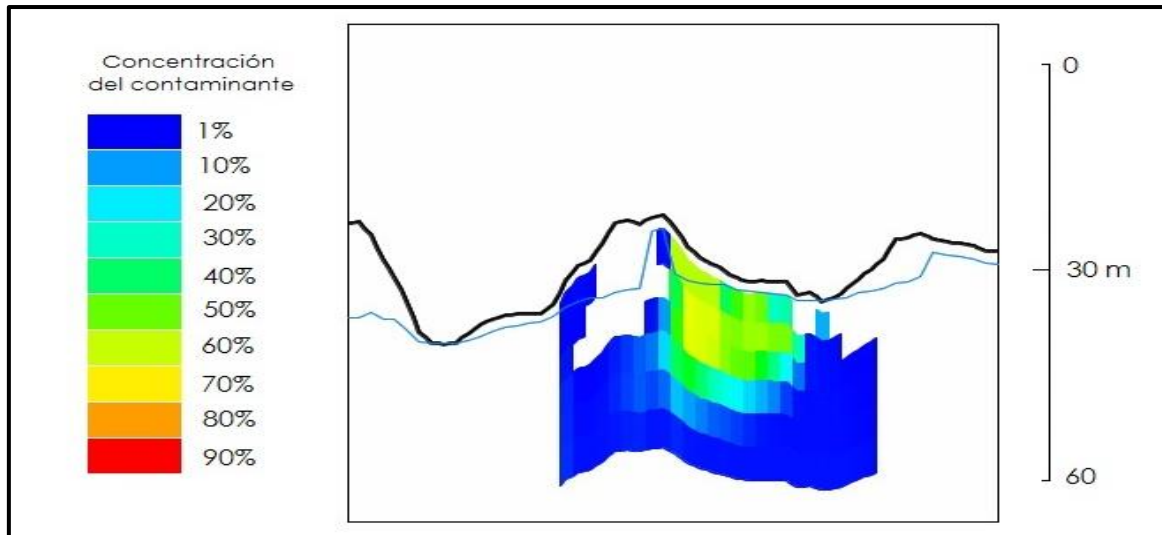
**Figura 7-4:** Pluma de contaminación a 150 años-Vista superior

Realizado por: Hamilton Jiménez, 2020



**Figura 8-4:** Pluma de contaminación a 30 años-Vista frontal

Realizado por: Hamilton Jiménez, 2020



**Figura 9-4:** Pluma de contaminación a 150 años-Vista transversal

Realizado por: Hamilton Jiménez, 2020

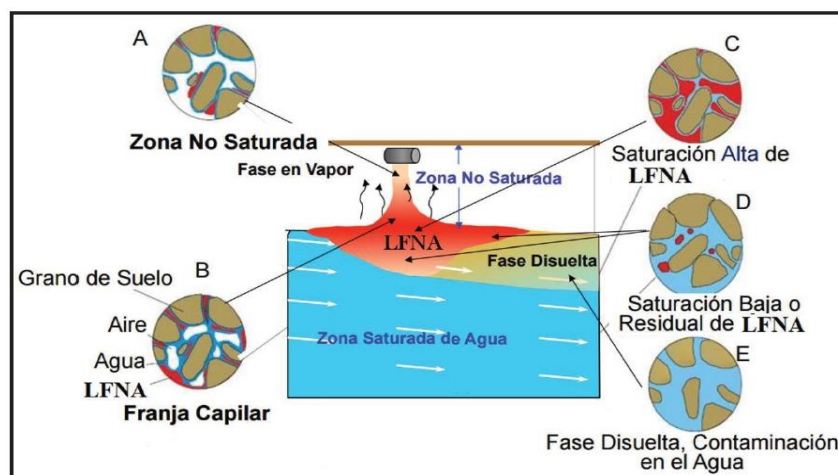
Para el tiempo determinado de 150 años se observa una dispersión mayor del contaminante y el recorrido que éste ha realizado por medio de la infiltración isotrópica y anisotrópica, debido a que su desplazamiento ya no solo es horizontal si no también vertical.

En conjunto todo este grupo de visualizaciones bidimensionales que se han formado desde el punto inicial del derrame, su dispersión a lo largo de tiempo se observa que la concentración inicial marcada en la escala con color rojo representa aproximadamente el 90% de la concentración inicial y las concentraciones mínimas en azul cuando están cerca a cero.

Se debe considerar que el contaminante en este caso combustible va con advección o transporte horizontal el cual se ve influenciado por las condiciones atmosféricas, el régimen de flujo y además es una fuente contaminante debido al derrame producido.

Los LFNA se caracterizan por presentar una baja solubilidad en agua y al ser menos densos que esta, se quedan flotando sobre el nivel freático del acuífero, mientras que las fases volátiles ocupan parte de la zona vadosa y pueden incorporarse al flujo subterráneo. La fase libre circula en la parte superior del acuífero, mientras que la fase de disueltos forma una pluma en la parte superior de la zona saturada.

Cuando ocurre un derrame de LFNA, éste comienza a migrar hacia el acuífero bajo la acción de la gravedad, a medida que el LFNA avanza, va quedando retenido dentro de los poros y fracturas del suelo debido a las fuerzas capilares, lo que significa que una fracción del LFNA queda atrapado como LFNA residual, mientras el LFNA no atrapado y móvil puede continuar migrando.



**Figura 10-4:** Modelo simplificado de poros para la filtración de LFNA en la zona saturada

**Fuente:** Persistence of LNAPL sources: relationship between risk reduction and LNAPL recovery. Journal of Contaminant Hydrology (59), 3-26.

#### 4.2. Áreas de Contingencia y Mitigación

La aplicación de la simulación de la pluma de contaminación en situaciones de derrames de combustible nos permitirá establecer áreas de contingencias y mitigación, además de ubicar puntos de exploración y construcción como los pozos de monitoreo.

Para establecer el área de contingencia se determinó de manera puntual del grado de contaminación que el derrame de combustible provocó en la zona de estudio, en el cual se establece el lugar donde ocurrió el percance, la característica propia de la zona, la obtención de las muestras y los análisis de éstas para poder realizar la simulación.

Con los resultados obtenidos de la simulación de la pluma de contaminación se puede sugerir soluciones para la descontaminación de los pozos de agua y la remediación de los suelos para lograr la mitigación del impacto ambiental provocado por el derrame de combustible en la zona.

**Tabla 1-4:** Alternativas y Tratamientos de Remediación en Aguas Subterráneas.

TRATAMIENTOS	ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN
Biológicos in situ	Biorremediación
	Fitorremediación
Fisicoquímico in situ	Aireación
	Oxidación química
	Extracción de vapores
Contención	Bombeo, tratamiento y reinserción de aguas subterráneas

**Fuente:** PetroEcuador, 2011

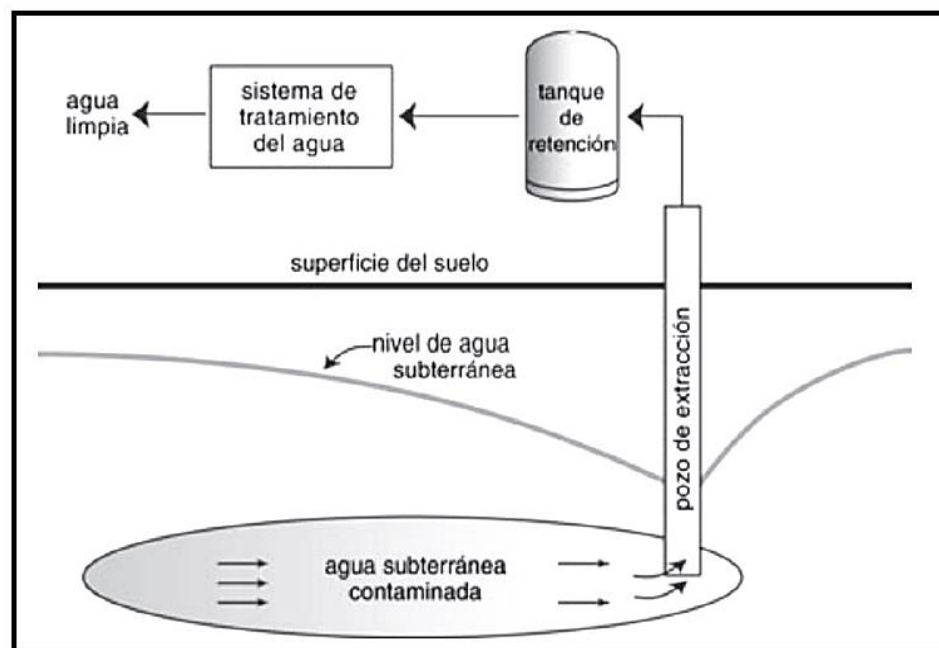
**Realizado por:** Hamilton Jiménez, 2020

Todas las alternativas de remediación recomendadas son muy importantes para poder minimizar el impacto ambiental que la contaminación en los suelos provoca y es de gran importancia el estudio realizado por la simulación para poder tomar decisiones y la alternativa con mayor eficacia al momento de remediar los suelos.

#### 4.2.1. *Bombeo, Tratamiento Y Reinserción De Aguas Subterráneas*

Una de las alternativas recomendadas para la remediación de las aguas subterráneas es la perforación de pozos para la extracción de aguas subterráneas para poder tratarlas y reinsertarla a su medio natural, la cual consiste en un sistema de extracción con aire y la utilización de filtros de carbono activado. El agua contaminada extraída hacia la superficie por medio de una bomba sumergible se almacena en un tanque de recolección. (EPA, 2003)

Posteriormente pasa a otro tanque con sistema de aireación, en donde por procesos de inserción de aire en la base del tanque se procede a la volatilización del contaminante la cual lleva estos hasta la superficie del tanque para poder ser recolectados, el agua se escurre del tanque y se analiza para asegurarse de que esté en condiciones para poder ser reinsertada a su medio natural posteriormente. En caso de que el agua analizada contenga presencia de contaminantes esta volverá a ser reciclada por el sistema para poder ser tratada nuevamente. (EPA, 2003).



**Figura 11-4:** Sistema de Pozo de Extracción de Aguas Subterráneas.

Fuente: Environmental Protection Agency, 2003

Para que todo tratamiento remedial sea eficiente dependerá la calidad de la información obtenida, así como la correcta interpretación de las condiciones hidrogeológicas mediante la elaboración de un modelo conceptual y numérico de transporte de contaminantes. En general esta técnica ha sido usada



ampliamente en sitios de litología variada desde arenas hasta arcillas y de gradiente hidráulico bajo a medio. (Játiva, 2016)

#### **4.2.2. Biorremediación**

Es una técnica que se encarga de la aplicación de estrategias de limpieza basadas en procesos biológicos, para remover contaminantes en los suelos producidos por derrames de combustibles. El principal objetivo es de implementar los procesos de tratamiento eficientes para poder alcanzar las condiciones naturales de limpieza, además de proveer una adecuada seguridad para el personal que opera y mantiene los sistemas de Biorremediación.

Esta técnica demuestra un mayor rendimiento cuando se trata sitios contaminados por hidrocarburos, debido a que las bacterias son degradadores eficaces por su fácil adaptación a cualquier condición de entorno y propiedades del suelo.

Entre los tratamientos más implementados de esta tecnología, están:

- Atenuación natural
- Bioaumentación
- Bioestimulación (Zúñiga,2019)

### **4.3. Discusión**

Con la simulación de la pluma de contaminación se busca disminuir los daños provocados por el derrame de combustible ya que en las visualizaciones obtenidas se ha detectado un riesgo moderado debido a que la zona donde se produjo este derrame de combustible es mayormente agrícola motivo por el cual no se ven afectada directamente las personas. El uso de los distintos programas que existen en la actualidad son de vital importancia para poder realizar predicciones a futuro del comportamiento del contaminante, su infiltración y desplazamiento de acuerdo a la zona donde este se presente con la finalidad de poder tomar decisiones inmediatas con respecto a los planes de contingencia y mitigación, para poder llevarlos a cabo en el menor tiempo posible y de esa forma minimizar el impacto ambiental que este tipo de percances pueden provocar, de igual forma esto conlleva a minimizar costos debido a la obtención de datos en corto periodo de tiempo por la facilidad de obtención de los mismos mediante la programación y el uso de sistemas operativos.

## CONCLUSIONES

Se logró determinar la pluma de contaminación con el software NAPL simulador obteniendo visualizaciones del comportamiento de la contaminación para distintos periodos de tiempo y su escala de concentración del mismo en porcentajes de 1 al 90%, en las cuales se pudo observar la dispersión, infiltración, el movimiento horizontal y vertical del contaminante a través de las distintas capas del suelo.

Se simuló los escenarios de contaminación en los cuales se puede observar cómo se ve influenciado el movimiento del contaminante hacia las zonas de agua subterráneas por el tipo de suelo en las distintas capas del mismo que varían a distintas profundidades por lo que el desplazamiento y concentración van a variar al mezclarse con los pozos de agua subterránea.

El análisis de la modelación bidimensional nos demostró cómo va disminuyendo la contaminación provocada por el derrame de combustible, debido a las características del lugar donde ocurrió este percance ya que el tipo de suelo es arcillo-arenoso provocando que el combustible penetre en pocas cantidades lo que facilita su recolección. Es por este motivo que la concentración del combustible es muy alta al inicio de la simulación y a medida que pasa el tiempo disminuye por el tipo de suelo y la autodepuración.

Los datos obtenidos nos ayudaron a predecir cómo será el comportamiento del contaminante y así proponer soluciones inmediatas para poder recuperar el combustible y limpieza de las capas de agua con la perforación de pozos en puntos claves y remediación de los suelos con técnicas eficaces como el uso de bacterias que degradan hidrocarburos.

Es de vital importancia el uso de nuevas tecnologías informáticas para la elaboración de simulaciones de contaminación ya que nos facilita predicciones en el tiempo para tomar decisiones inmediatas y de manera puntual para minimizar el impacto ambiental que causa un derrame de combustible en el medio ambiente.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda el uso de programación para poder realizar simulaciones de contaminación y poder obtener datos reales en el tiempo, que faciliten una apreciación puntual del comportamiento del contaminante y tomar acciones puntuales para minimizar el impacto ambiental en la zona de estudio.

Es recomendable la interacción de programas ya que en la actualidad todos son compatibles entre sí y nos ayudan a que el ingreso de datos dentro de la simulación sea sencilla y eficiente al momento de compilar todos los datos dentro del programa de simulación.

Se recomienda la realización de otros estudios de simulación utilizando programas de similares características para poder ser comparados y obtener un modelo aplicable con diferentes condiciones y tiempos de simulación.

Se recomienda que para la realización de este tipo de estudios se use programación libre para minimizar costos al momento de realizar simulaciones, además programas que sean compatibles con los sistemas operativos actuales ya que el programa tiene sus restricciones para poder ser utilizado y mucho más ya que en la actualidad Microsoft ya no está dando soporte a sistemas operativos menores a Windows 7.

## BIBLIOGRAFÍA

**BERGUEIRO, J; et al.** "Conducta de algunos crudos y derivados del petróleo derramados en Arena de playa de Baleares". *Crudos y derivados en Arena* [en línea], 1990, España, vol. 33, pp. 279-286. [Consulta: 30 de Julio del 2020]. ISSN 0212-260X. Disponible en: [http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/bolletiHistoriaNatural/index/assoc/Bolleti\\_/1989\\_90v/033p279.dir/Bolleti\\_1989\\_90v033p279.pdf](http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/bolletiHistoriaNatural/index/assoc/Bolleti_/1989_90v/033p279.dir/Bolleti_1989_90v033p279.pdf)

**BERMÚDEZ, J., et al.** Study of the Hydrocarbon's pollution of a mangrove ecosystem in Santa Maria. *Revista de investigaciones marinas* [en línea], 2014, Cuba, vol. 34 (1), pp. 36-48. [Consulta: 25 Agosto 2019]. ISSN 1991-6086. Disponible en: <http://www.rim.uh.cu/index.php/RIM/article/view/249>

**CAVAZOS-ARROYO, J; et al.** Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo, Puebla, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo* [en línea], 2014, México, pp. 539-550. [Consulta: 22 Junio 2020]. ISSN 1870-5472. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722014000400006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722014000400006)

**CEUPE**, *Contaminación de agua y suelos subterráneos* [blog]. Texas: Elena González Muñoz, 2 de febrero 2018. [Consultado: 9 Junio 2020], Disponible en: <https://www.ceupe.com/blog/contaminacion-de-suelos-y-aguas-subterraneas.html>.

**CHEN, H; & CHANG, L.** Simulation of multiphase flows of LNAPLs using experimental data of the soil water characteristic curves. *Coastal Environmental V. incorporating Oil Spill Studies* [en línea], 2004, Taiwan, Vol 1, pp. 381-389. [Consulta: 5 Mayo 2020]. ISBN 1-85312-710-8. Disponible en: <https://www.witpress.com/cart/openaccessdownload>

**CONDE, G.,** Contaminación de suelos y aguas subterráneas [en línea] (tesis) (Maestría). EOI Escuela de Organización Industrial, Escuela de Negocios, Madrid, España, 2010. pp. 1-34 [Consulta: 2019-07-23]. Disponible en: <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45689.pdf>

**CORNEJO, M. de L.** Importancia de los hidrocarburos [en línea]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, México, 2012, pp. 20-23 Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n2/m11.html>.

**DEKRA**, "Modelos simplificados para la dispersión de contaminantes atmosféricos. Caso de

estudio", *Revista Cubana de Química* [en línea], 2017, Cuba, Vol 30, N°1, pp. 90-103. [Consulta: 30 Enero 2020]. ISSN 2224 - 5421. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-54212018000100008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212018000100008)

**ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**, *Citizen's guide to pumping and treatment* [en línea], United States: Sean W. O'Donnell, 2003 [Consulta: 28 Septiembre 2019], Disponible en: <https://www.epa.gov/remedytech/guia-para-el-ciudadano-sobre-bombeo-y-tratamiento>.

**ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**, *NAPL Simulator*. [en línea], United States: Sean W. O' Donnell, 2017 [Consulta: 10 Noviembre 2019] Disponible en: <https://www.epa.gov/water-research/non-aqueous-phase-liquid-napl-simulator>.

**FERNÁNDEZ, D; et al.** Guía técnica para la evaluación de la problemática del subsuelo asociada a compuestos organoclorados [en línea] (Tesis) (Grado), Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería del terreno, Cataluña, España, 2014. pp. 66-78. [Consulta: 15 de Agosto 2019]. Disponible en: [https://h2ogeo.upc.edu/images/pdf/proyectos/Empresas/Guia-tecnica\\_Castellano.pdf](https://h2ogeo.upc.edu/images/pdf/proyectos/Empresas/Guia-tecnica_Castellano.pdf)

**GARCÍA, A; & MARTÍNEZ, C.,** . Análisis de metodologías para la caracterización y remediación de acuíferos contaminados por líquidos en fase no acuosa (NAPLs), *Boletín Geológico y Minero* [en línea], 2005, Madrid, España. vol. 116, no. 1, pp. 65-78. [Consulta: 28 Diciembre 2019]. ISSN 0366-0176. Disponible en: [https://www.igme.es/Boletin/2005/116\\_1\\_2005/ARTI%205.pdf](https://www.igme.es/Boletin/2005/116_1_2005/ARTI%205.pdf)

**GIRALDO, G; et al.** Simulación del transporte de contaminantes en un medio subterráneo heterogéneo mediante el rastro aleatorio de partículas. *Aqua-LAC* [en línea], 2017, Colombia, vol. 9, N° 2. pp. 15-30. [Consulta: 15 Junio 2019]. ISSN 1761-1770. Disponible en: [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/AquaLAC\\_Vo9N2Set2017\\_GomezGiraldoAndrea.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/AquaLAC_Vo9N2Set2017_GomezGiraldoAndrea.pdf)

**GONZÁLEZ, R; et al.** Atenuación Natural en el Acuífero Yucateco. *Revista internacional de Contaminación Ambiental* [en línea], 2007, México, vol. 23, N° 1, pp. 5-15. [Consulta: 25 Septiembre 2019]. ISSN 0188-4999. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v23n1/v23n1a1.pdf>

**GRUPO CAMALEÓN**, "Pluma de contaminación", *Revista de Ingestivaciones Altoandinas* [en línea], 2016, Perú, Vol 21(3), pp. 225-237 [Consulta: 28 Octubre 2019]. ISSN 2306 - 8582. Disponible en: <https://glosarios.servidor-alicante.com/medio-ambiente/pluma-de-contaminacion>.

**JÁTIVA, J.,** . Diseño de un sistema preliminar de remediación, en el sector PK 128+500 del

poliducto Esmeraldas-Santo Domingo, basado en un modelo conceptual y numérico hidrogeológico [en línea] (Tesis) (Grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2016. pp. 84-89. [Consulta: 11 Octubre 2019]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/14487>.

**JING-FENG, Z; et al.** Testing of NAPL simulator to predict migration of a light nonaqueous phase liquid ( LNAPL ) under water table fluctuation in a sandy medium, *Journal Central South University* [en línea], 2014, China, vol. 21, pp. 317-325. [Consulta: 20 agosto 2019]. ISSN 2227-5223. Disponible en DOI: 10.1007/s11771-014-1943-2.

**KAMON, M. et al.** Experimental and Numerical Study on Migration of LNAPL under the Influence of Fluctuating Water Table in Subsurface Masashi, *Annals of Disas of Kyoto University* [en línea], 2006, Japón, no. 49. pp. 383 - 392. [Consulta: 28 Marzo 2019]. ISSN 1943-7870. Disponible en: <http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no49/49b0/a49b0p41.pdf>

**LASTRA, C.**, Determinación de una pluma contaminante por hidrocarburos mediante tomografía eléctrica en el municipio de Texistepec [en línea] (Tesis) (Grado), Universidad autónoma de México, México, 2013. pp. 40-45 [Consulta: 2 Abril 2019]. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:UNyJfCzywREJ:www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4825/Informe.pdf%3Fsequence%3D1+%&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>

**LENOIR, C; & TORNARI, G.**, "Contaminación y tratamiento de suelo", *Revista Geosistemas - Introducción a la geografía-física* [en línea], 2004, Argentina, vol 1, [Consulta: 15 Octubre 2019] pp. 1-66. ISSN 4203 - 7953. Disponible en: [http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/ing/cont\\_y\\_tratam\\_suelos.pdf](http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/ing/cont_y_tratam_suelos.pdf)

**MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO**, *Impacto ambiental de los hidrocarburos y recuperación de los ecosistemas*. [en línea], 2017, [Consulta: 11 Noviembre 2019] Disponible en: [https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/plan-ribera/contaminacion-marina-accidental/impacto\\_ambiental.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/plan-ribera/contaminacion-marina-accidental/impacto_ambiental.aspx).

**NATHANSON, J.**, "Factores determinantes de la contaminación ambiental y del uso de los recursos naturales", *Enciclopedia británica* [en línea], 2017, Bogotá, vol. 12, N° 20, pp. 1-14 [Consulta: 17 Agosto 2019]. ISSN 0121 - 5051. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-50512002000200007&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-50512002000200007&lng=en&nrm=iso&tlng=es)

**NEWELL, C.J.**, et al.. *Ground Water Issue* [en línea], *Environmental Protection Agency United States*: Sean W. O' Donnell, 1995, [Consulta: 19 Noviembre 2019] Disponible en: <https://archive.epa.gov/ada/web/pdf/p1009bho.pdf>

**PEREZ, D.**, "Alternativas para la detección de NAPLs". *Journal of hidrology and Vadose zone journal* [en línea], 2010, Colombia, vol 1, pp. 37-48 [Consulta: 15 Julio 2020]. ISSN 0366-0176. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/8047>

**PRIETO, V. y MARTÍNEZ, A.** "La contaminación de las aguas por hidrocarburos". *Revista Cubana de Higiene y epidemiología* [en línea], 1999, Cuba, vol. 37, no. 1, pp. 13-20 [Consulta: 8 Mayo 2019]. ISSN 1561-3003. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30031999000100003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30031999000100003)

**VELÁSQUEZ, A.** "Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia, análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de investigación agraria y ambiental* [en línea], 2017, vol. 8, no. 1, pp. 151-168 [Consulta: 1 agosto 2019]. ISSN 1870-0462. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/21456453.1846>

**ZÚÑIGA, O.** Alternativas para la recuperación de suelos contaminados por actividades industriales en Colombia [en línea] (Tesis) (Grado), Universidad Nacional Abierta y a Distancia, España, 2019, pp. 48-54 [Consulta: 3 Julio 2019]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/28181/1094662820.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>.



Firmado electrónicamente por:  
**JHONATAN RODRIGO  
PARREÑO UQUILLAS**



## ANEXOS

### ANEXO A: REPORTES DE LABORATORIO PARA SUELOS

Rotulación muestra	PEC-16-SR-2.5-3.0-200611	PEC-17-SR-2.5-3.0-210611	PEC-20-SR-2.50-3.0-220611	Método adaptado de Referencia
Número de reporte Grüntec	110703-S-4	110703-S-5	110703-S-6	
Coordenadas	684744.5; 9992446.1	684733.4; 9992475.5	684790.7; 9992303	
Fecha de muestreo	20-jun-11	20-jun-11	22-jun-11	

Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/kg <sup>(1,3)</sup>	<50	<50	373	EPA 8015D
Hidrocarburos GRO (C6-C10) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos DRO (C10-C28) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D

<i>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</i> <sup>(1,2,3)</sup>				
Fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)antraceno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(ghi)perileno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Indenol (1,2,3 cd) pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D

Rotulación muestra	PEC-19-SR-4.0-4.5-190611	PEC-12-SR-12.20-12.60-200611	PEC-15-SR-20-2.50-200611	Método adaptado de Referencia
Número de reporte Grüntec	110703-S-1	110703-S-2	110703-S-3	
Coordenadas	684824.6; 9992301.2	684717.6; 9992357.6	684710.1; 9992420.6	
Fecha de muestreo	19-jun-11	20-jun-11	20-jun-11	

Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/kg <sup>(1,3)</sup>	<50	1321	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos GRO (C6-C10) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos DRO (C10-C28) mg/kg *	<50	96	<50	EPA 8015D

<i>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</i> <sup>(1,2,3)</sup>				
Fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)antraceno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(ghi)perileno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Indenol (1,2,3 cd) pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D

Rotulación muestra	PEC-16-SR-2.5-3.0-200611	PEC-17-SR-2.5-3.0-210611	PEC-20-SR-2.50-3.0-220611	Método adaptado de Referencia
Número de reporte Grüntec	110703-S-4	110703-S-5	110703-S-6	
Coordenadas	684744.5; 9992446.1	684733.4; 9992475.5	684790.7; 9992303	
Fecha de muestreo	20-jun-11	20-jun-11	22-jun-11	
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/kg <sup>(1,3)</sup>	<50	<50	373	EPA 8015D
Hidrocarburos GRO (C6-C10) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos DRO (C10-C28) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</b> <sup>(1,2,3)</sup>				
Fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)antraceno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(ghi)perileno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Indenol (1,2,3 cd) pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D

Rotulación muestra	PEC-18-SR-4.20-4.80-220611	PEC-21-SR-2.50-3.0-220611	PEC-23-SR-3.5-40-230611	Método adaptado de Referencia
Número de reporte Grüntec	110703-S-7	110703-S-8	110703-S-9	
Coordenadas	684858.3; 9992387.2	684714.5; 9992192.8	684650.7; 9992394.6	
Fecha de muestreo	22-jun-11	22-jun-11	23-jun-11	
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/kg <sup>(1,3)</sup>	2557	105	709	EPA 8015D
Hidrocarburos GRO (C6-C10) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos DRO (C10-C28) mg/kg *	191	<50	56	EPA 8015D
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</b> <sup>(1,2,3)</sup>				
Fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)antraceno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(ghi)perileno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Indenol (1,2,3 cd) pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D



Rotulación muestra	PEC-18-SR-14.30-15.0-230611	PEC-22-SR-4.5-5.0-230611	Método adaptado de Referencia
Número de reporte Grúntec	110703-S-10	110703-S-11	
Coordenadas	684858.3; 9992387.2	684528.2; 9992277.5	
Fecha de muestreo	23-jun-11	23-jun-11	

Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/kg <sup>(1,3)</sup>	156	75	EPA 8015D
Hidrocarburos GRO (C6-C10) mg/kg *	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos DRO (C10-C28) mg/kg *	<50	<50	EPA 8015D

<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</b> <sup>(1,2,3)</sup>			
Fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)antraceno mg/kg	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)pireno mg/kg	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(ghi)perileno mg/kg	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Indenol (1,2,3 cd) pireno mg/kg	<0.25	<0.25	EPA 8270D

Rotulación muestra	PEC-25-SR-8.40-9.0-240611	PEC-25-SR-9.60-10.20-250611	PEC-26-SR-11.0-11.60-250611	Método adaptado de Referencia
Número de reporte Grúntec	110726-S-1	110726-S-2	110726-S-3	
Coordenadas	684826.7; 9992348.4	684826.7; 9992348.4	684689.5; 9992349.3	
Fecha de muestreo	24-jun-11	25-jun-11	25-jun-11	

Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/kg <sup>(1,3)</sup>	<50	156	8293	EPA 8015D
Hidrocarburos GRO (C6-C10) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos DRO (C10-C28) mg/kg *	<50	<50	616	EPA 8015D

<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</b> <sup>(1,2,3)</sup>				
Fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)antraceno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(ghi)perileno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Indenol (1,2,3 cd) pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D

Rotulación muestra	PEC-25-SR-14.40-15.0-250611	PEC-27-SR-4.0-4.5-270611	PEC-30-SR-4.0-4.5-280611	Método adaptado de Referencia
Número de reporte Grüntec	110726-S-4	110726-S-5	110726-S-6	
Coordenadas	684826.7; 9992348.4	684684.6; 9992553.4	685021; 9992530	
Fecha de muestreo	25-jun-11	27-jun-11	28-jun-11	
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/kg <sup>(1,3)</sup>	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos GRO (C6-C10) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos DRO (C10-C28) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</b> <sup>(1,2,3)</sup>				
Fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)antraceno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(ghi)perileno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Indenol (1,2,3 cd) pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D

Rotulación muestra	PEC-14-SR-2.0-2.5 180611	PEC-12-SR-7.20 7.80-180611	PEC-13-SR-1.50 2.0-180611	Método adaptado de Referencia
Número de reporte Grüntec	1106222-S-13	1106222-S-14	1106222-S-15	
Fecha de muestreo	18-jun-11	18-jun-11	18-jun-11	
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/kg <sup>(1,3)</sup>	105	4756	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos GRO (C6-C10) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos DRO (C10-C28) mg/kg *	<50	283	<50	EPA 8015D
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</b> <sup>(1,2,3)</sup>				
Fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)antraceno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(ghi)perileno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Indenol (1,2,3 cd) pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D



Rotulación muestra	PEC-29-SR-15.0- 15.96-280611	PEC-32-SR-14.0- 14.30-290611	PEC-32-SD-14.0- 14.30-290611	Método adaptado de Referencia
Número de reporte Grúntec	110726-S-7	110726-S-8	110726-S-9	
Coordenadas	684785; 9992426.3	684898; 9992452.3	684898; 9992452.3	
Fecha de muestreo	28-jun-11	29-jun-11	29-jun-11	
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/kg <sup>(1,3)</sup>	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos GRO (C6-C10) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos DRO (C10-C28) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</b> <sup>(1,2,3)</sup>				
Fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)antraceno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(ghi)perileno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Indenol (1,2,3 cd) pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D

Rotulación muestra	PEC-34-SR- 13.60-13.80- 300611	PEC-33-SR-12.0- 12.60-300611	Método adaptado de Referencia
Número de reporte Grúntec	110726-S-10	110726-S-11	
Coordenadas	684950.9; 9992314	685030.3; 9992457	
Fecha de muestreo	30-jun-11	30-jun-11	
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/kg <sup>(1,3)</sup>	<50	1676	EPA 8015D
Hidrocarburos GRO (C6-C10) mg/kg *	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos DRO (C10-C28) mg/kg *	<50	158	EPA 8015D
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</b> <sup>(1,2,3)</sup>			
Fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)antraceno mg/kg	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)pireno mg/kg	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(ghi)perileno mg/kg	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Indenol (1,2,3 cd) pireno mg/kg	<0.25	<0.25	EPA 8270D

Rotulación muestra	PEC-1-SR-2.5-2.8-130611	PEC-2-SR-5.0-5.5-130611	PEC-4-SR-1.5-2.0-140611	Método adaptado de Referencia
Número de reporte Grúntec	1106222-S-1	1106222-S-2	1106222-S-3	
Fecha de muestreo	13-jun-11	13-jun-11	14-jun-11	

Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/kg <sup>(1,3)</sup>	<50	<50	514	EPA 8015D
Hidrocarburos GRO (C6-C10) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos DRO (C10-C28) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D

<i>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</i> <sup>(1,2,3)</sup>				
Fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)antraceno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(ghi)perileno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Indenol (1,2,3 cd) pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D

Rotulación muestra	PEC-5-SR-2.5-3.0-140611	PEC-6-SR-10-1.50-140611	PEC-6-SR-6.5-7.0-150611	Método adaptado de Referencia
Número de reporte Grúntec	1106222-S-4	1106222-S-5	1106222-S-6	
Fecha de muestreo	14-jun-11	14-jun-11	15-jun-11	

Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/kg <sup>(1,3)</sup>	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos GRO (C6-C10) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos DRO (C10-C28) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D

<i>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</i> <sup>(1,2,3)</sup>				
Fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)antraceno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(ghi)perileno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Indenol (1,2,3 cd) pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D



Rotulación muestra	PEC-7-SR-7.50-8.0-150611	PEC-8-SR-6.0-6.5-150611	PEC-3-SR-14.80-15.4-160611	Método adaptado de Referencia
Número de reporte Grúntec	1106222-S-7	1106222-S-8	1106222-S-9	
Fecha de muestreo	15-jun-11	15-jun-11	16-jun-11	
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/kg <sup>(1,3)</sup>	<50	<50	109	EPA 8015D
Hidrocarburos GRO (C6-C10) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos DRO (C10-C28) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</b> <sup>(1,2,3)</sup>				
Fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)antraceno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(ghi)perileno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Indenol (1,2,3 cd) pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D

Rotulación muestra	PEC-9-SR-2.5-3.0-170611	PEC-10-SR-2.0-2.5-170611	PEC-11-SR-3.0-3.5-170611	Método adaptado de Referencia
Número de reporte Grúntec	1106222-S-10	1106222-S-11	1106222-S-12	
Fecha de muestreo	17-jun-11	17-jun-11	17-jun-11	
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/kg <sup>(1,3)</sup>	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos GRO (C6-C10) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
Hidrocarburos DRO (C10-C28) mg/kg *	<50	<50	<50	EPA 8015D
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</b> <sup>(1,2,3)</sup>				
Fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)antraceno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(a)pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Benzo(ghi)perileno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D
Indenol (1,2,3 cd) pireno mg/kg	<0.25	<0.25	<0.25	EPA 8270D

ANEXO B: Reportes de Laboratorio para Aguas Subterráneas

Rotulación muestra	PM-1-AR-3.14-040711	PM-2-AR-5.23-040711	Método Adaptado de Referencia
Número de reporte Grüntec	110738-AG-1	110738-AG-2	
Fecha de muestreo	04-Jul-11	04-Jul-11	

<b>Físico-químico:</b>			
pH <sup>(1, 2, 3)</sup>	6.9	7.3	SM 4500 H
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ <sup>(1, 2, 3)</sup>	122	135	EPA 9050 A
Oxígeno disuelto mg/L <sup>(1,3)</sup>	3.6	6.5	SM 4500 O G
Oxígeno saturación % *	52.1	93.7	SM 4500 O G

<b>Parámetros orgánicos:</b>			
Demanda química de oxígeno mg/L <sup>(1,2,3)</sup>	10	<5	SM 5220 D
Demanda bioquímica de oxígeno mg/L <sup>(1,2,3)</sup>	<3	<3	SM 5210B/D
Hidrocarburos totales (TPH) mg/L <sup>(1, 3)</sup>	<0.5	<0.5	EPA 8015 D CG-FID
Coliformes fecales NMP/100 mL <sup>(1, 3),(a)</sup>	<30	<30	SM 9223 B
Compuestos Fenólicos mg/L <sup>(1,3)</sup>	<0.008	0.032	EPA 420.1
Sustancias tensoactivas mg/L <sup>(1,3)</sup>	<0.02	<0.02	HACH 8028

<b>Aniones y no metálicos:</b>			
Amonio (NH <sub>4</sub> -N) mg/L <sup>(1,2,3)</sup>	0.1	<0.1	EPA 350.3

<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</b> <sup>(1,2,3)</sup>			
Fluoranteno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(b)fluoranteno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(k)fluoranteno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(a)pireno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Indeno(1,2,3-c,d)pireno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(g,h,i)perileno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D

Rotulación muestra	PM-1-AR-3.14-040711	PM-2-AR-5.23-040711	Método Adaptado de Referencia
Número de reporte Grüntec	110738-AG-1	110738-AG-2	
Fecha de muestreo	04-Jul-11	04-Jul-11	

<b>Metales:</b>			
Bario mg/L <sup>(1,3)</sup>	0.045	0.031	EPA 6020 A
Cadmio mg/L <sup>(1,3)</sup>	<0.0002	<0.0002	EPA 6020 A
Cromo total mg/L <sup>(1,3)</sup>	0.0025	0.0028	EPA 6020 A
Níquel mg/L <sup>(1,3)</sup>	<0.0002	0.0003	EPA 6020 A
Plomo mg/L <sup>(1,3)</sup>	<0.0002	<0.0002	EPA 6020 A
Vanadio mg/L <sup>(1,3)</sup>	0.0035	0.0018	EPA 6020 A



Rotulación muestra	PM-10-AR-3.36-040711	PM-11-AR-2.72-040711	Método Adaptado de Referencia
Número de reporte Grüntec	110738-AG-3	110738-AG-4	
Fecha de muestreo	04-Jul-11	04-Jul-11	

<b>Físico-químico:</b>			
pH <sup>(1, 2, 3)</sup>	6.8	6.7	SM 4500 H
Conductividad $\mu$ S/cm <sup>(1, 2, 3)</sup>	157	157	EPA 9050 A
Oxígeno disuelto mg/L <sup>(1, 3)</sup>	7.0	6.7	SM 4500 O G
Oxígeno saturación % *	>100	97.5	SM 4500 O G

<b>Parámetros orgánicos:</b>			
Demanda química de oxígeno mg/L <sup>(1, 2, 3)</sup>	<5	<5	SM 5220 D
Demanda bioquímica de oxígeno mg/L <sup>(1, 2, 3)</sup>	<3	<3	SM 5210B/D
Hidrocarburos totales (TPH) mg/L <sup>(1, 3)</sup>	<0.5	<0.5	EPA 8015 D CG-FID
Coliformes fecales NMP/100 mL <sup>(1, 3, (a))</sup>	2400	<30	SM 9223 B
Compuestos Fenólicos mg/L <sup>(1, 3)</sup>	<0.008	<0.008	EPA 420.1
Sustancias tensoactivas mg/L <sup>(1, 3)</sup>	<0.02	<0.02	HACH 8028

<b>Aniones y no metálicos:</b>			
Amonio (NH <sub>4</sub> -N) mg/L <sup>(1, 2, 3)</sup>	<0.1	<0.1	EPA 350.3

<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</b> <sup>(1, 2, 3)</sup>			
Fluoranteno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(b)fluoranteno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(k)fluoranteno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(a)pireno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Indeno(1,2,3-c,d)pireno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(g,h,i)perileno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D

Rotulación muestra	PM-10-AR-3.36-040711	PM-11-AR-2.72-040711	Método Adaptado de Referencia
Número de reporte Grüntec	110738-AG-3	110738-AG-4	
Fecha de muestreo	04-Jul-11	04-Jul-11	

<b>Metales:</b>			
Bario mg/L <sup>(1, 3)</sup>	0.11	0.048	EPA 6020 A
Cadmio mg/L <sup>(1, 3)</sup>	<0.0002	<0.0002	EPA 6020 A
Cromo total mg/L <sup>(1, 3)</sup>	0.0063	0.0033	EPA 6020 A
Níquel mg/L <sup>(1, 3)</sup>	0.0005	0.0006	EPA 6020 A
Plomo mg/L <sup>(1, 3)</sup>	<0.0002	<0.0002	EPA 6020 A
Vanadio mg/L <sup>(1, 3)</sup>	0.0035	0.0026	EPA 6020 A

Rotulación muestra	PM-6-AR-2.18-040711	PM-16-AR-4.39-050711	Método Adaptado de Referencia
Número de reporte Grúntec	110738-AG-5	110738-AG-6	
Fecha de muestreo	04-Jul-11	05-Jul-11	

<b>Físico-químico:</b>			
pH <sup>(1, 2, 3)</sup>	6.4	7.8	SM 4500 H
Conductividad $\mu$ S/cm <sup>(1, 2, 3)</sup>	85	108	EPA 9050 A
Oxígeno disuelto mg/L <sup>(1,3)</sup>	3.0	6.9	SM 4500 O G
Oxígeno saturación % *	42.5	98.7	SM 4500 O G

<b>Parámetros orgánicos:</b>			
Demanda química de oxígeno mg/L <sup>(1,2,3)</sup>	<5	<5	SM 5220 D
Demanda bioquímica de oxígeno mg/L <sup>(1,2,3)</sup>	<3	<3	SM 5210B/D
Hidrocarburos totales (TPH) mg/L <sup>(1,3)</sup>	<0.5	<0.5	EPA 8015 D CG-FID
Coliformes fecales NMP/100 mL <sup>(1, 3),(a)</sup>	<30	<30	SM 9223 B
Compuestos Fenólicos mg/L <sup>(1,3)</sup>	0.029	<0.008	EPA 420.1
Sustancias tensoactivas mg/L <sup>(1,3)</sup>	<0.02	<0.02	HACH 8028

<b>Aniones y no metálicos:</b>			
Amonio (NH <sub>4</sub> -N) mg/L <sup>(1,2,3)</sup>	<0.1	<0.1	EPA 350.3

<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</b> <sup>(1,2,3)</sup>			
Fluoranteno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(b)fluoranteno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(k)fluoranteno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(a)pireno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Indeno(1,2,3-c,d)pireno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(g,h,i)perileno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D

Rotulación muestra	PM-6-AR-2.18-040711	PM-16-AR-4.39-050711	Método Adaptado de Referencia
Número de reporte Grúntec	110738-AG-5	110738-AG-6	
Fecha de muestreo	04-Jul-11	05-Jul-11	

<b>Metales:</b>			
Bario mg/L <sup>(1,3)</sup>	0.017	0.041	EPA 6020 A
Cadmio mg/L <sup>(1,3)</sup>	<0.0002	<0.0002	EPA 6020 A
Cromo total mg/L <sup>(1,3)</sup>	0.0027	0.0039	EPA 6020 A
Níquel mg/L <sup>(1,3)</sup>	0.0026	0.0003	EPA 6020 A
Plomo mg/L <sup>(1,3)</sup>	<0.0002	<0.0002	EPA 6020 A
Vanadio mg/L <sup>(1,3)</sup>	0.0065	0.0047	EPA 6020 A



Rotulación muestra	PM-19-AR-5.69-050711	PM-18-AR-3.82-050711	Método Adaptado de Referencia
Número de reporte Grüntec	110738-AG-7	110738-AG-8	
Fecha de muestreo	05-Jul-11	05-Jul-11	

<b>Físico-químico:</b>			
pH <sup>(1, 2, 3)</sup>	5.8	6.8	SM 4500 H
Conductividad $\mu$ S/cm <sup>(1, 2, 3)</sup>	19	162	EPA 9050 A
Oxígeno disuelto mg/L <sup>(1,3)</sup>	4.8	6.8	SM 4500 O G
Oxígeno saturación % *	68.0	95.9	SM 4500 O G

<b>Parámetros orgánicos:</b>			
Demanda química de oxígeno mg/L <sup>(1,2,3)</sup>	<5	<5	SM 5220 D
Demanda bioquímica de oxígeno mg/L <sup>(1,2,3)</sup>	<3	<3	SM 5210B/D
Hidrocarburos totales (TPH) mg/L <sup>(1, 3)</sup>	<0.5	<0.5	EPA 8015 D CG-FID
Coliformes fecales NMP/100 mL <sup>(1, 3),(a)</sup>	<30	<30	SM 9223 B
Compuestos Fenólicos mg/L <sup>(1,3)</sup>	<0.008	<0.008	EPA 420.1
Sustancias tensoactivas mg/L <sup>(1,3)</sup>	<0.02	<0.02	HACH 8028

<b>Aniones y no metálicos:</b>			
Amonio (NH <sub>4</sub> -N) mg/L <sup>(1,2,3)</sup>	<0.1	<0.1	EPA 350.3

<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</b> <sup>(1,2,3)</sup>			
Fluoranteno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(b)fluoranteno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(k)fluoranteno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(a)pireno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Indeno(1,2,3-c,d)pireno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(g,h,i)perileno mg/L	<0.00005	<0.00005	EPA 8270 D

Rotulación muestra	PM-19-AR-5.69-050711	PM-18-AR-3.82-050711	Método Adaptado de Referencia
Número de reporte Grüntec	110738-AG-7	110738-AG-8	
Fecha de muestreo	05-Jul-11	05-Jul-11	

<b>Metales:</b>			
Bario mg/L <sup>(1,3)</sup>	0.013	0.072	EPA 6020 A
Cadmio mg/L <sup>(1,3)</sup>	<0.0002	<0.0002	EPA 6020 A
Cromo total mg/L <sup>(1,3)</sup>	0.0016	0.0029	EPA 6020 A
Níquel mg/L <sup>(1,3)</sup>	0.0004	0.0003	EPA 6020 A
Plomo mg/L <sup>(1,3)</sup>	<0.0002	<0.0002	EPA 6020 A
Vanadio mg/L <sup>(1,3)</sup>	<0.0005	0.0031	EPA 6020 A

Rotulación muestra	PB-3-AR-7.65-050711	Método Adaptado de Referencia
Número de reporte Grúntec	110738-AG-9	
Fecha de muestreo	05-Jul-11	

<b>Físico-químico:</b>		
pH <sup>(1, 2, 3)</sup>	5.8	SM 4500 H
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ <sup>(1, 2, 3)</sup>	433	EPA 9050 A
Oxígeno disuelto mg/L <sup>(1, 3)</sup>	4.9	SM 4500 O G
Oxígeno saturación % *	70.1	SM 4500 O G

<b>Parámetros orgánicos:</b>		
Demanda química de oxígeno mg/L <sup>(1, 2, 3)</sup>	<5	SM 5220 D
Demanda bioquímica de oxígeno mg/L <sup>(1, 2, 3)</sup>	<3	SM 5210B/D
Hidrocarburos totales (TPH) mg/L <sup>(1, 3)</sup>	<0.5	EPA 8015 D CG-FID
Coliformes fecales NMP/100 mL <sup>(1, 3), (a)</sup>	150	SM 9223 B
Compuestos Fenólicos mg/L <sup>(1, 3)</sup>	0.052	EPA 420.1
Sustancias tensoactivas mg/L <sup>(1, 3)</sup>	<0.02	HACH 8028

<b>Aniones y no metálicos:</b>		
Amonio (NH <sub>4</sub> -N) mg/L <sup>(1, 2, 3)</sup>	<0.1	EPA 350.3

<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos:</b> <sup>(1, 2, 3)</sup>		
Fluoranteno mg/L	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(b)fluoranteno mg/L	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(k)fluoranteno mg/L	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(a)pireno mg/L	<0.00005	EPA 8270 D
Indeno(1,2,3-c,d)pireno mg/L	<0.00005	EPA 8270 D
Benzo(g,h,i)perileno mg/L	<0.00005	EPA 8270 D

Rotulación muestra	PB-3-AR-7.65-050711	Método Adaptado de Referencia
Número de reporte Grúntec	110738-AG-9	
Fecha de muestreo	05-Jul-11	

<b>Metales:</b>		
Bario mg/L <sup>(1, 3)</sup>	0.44	EPA 6020 A
Cadmio mg/L <sup>(1, 3)</sup>	<0.0002	EPA 6020 A
Cromo total mg/L <sup>(1, 3)</sup>	0.0013	EPA 6020 A
Níquel mg/L <sup>(1, 3)</sup>	<0.0002	EPA 6020 A
Plomo mg/L <sup>(1, 3)</sup>	<0.0002	EPA 6020 A
Vanadio mg/L <sup>(1, 3)</sup>	0.0006	EPA 6020 A



ANEXO C: Registros Climatológicos

ESTACION	DIRECCION GESTION METEOROLOGICA ESTUDIOS E INVESTIGACIONES METEOROLOGICAS ESTADISTICA CLIMATOLOGICA MAYO 2011										
	PRECIPITACION (mm)					TEMPERATURA (°C)					
	HORM.	MES	% VAR.	MAX. 24h. FECHA	DIAS RR.	HORM.	MES	ANOM.	MAXIMA ABSOLUTA	MINIMA ABSOLUTA	
ESMERALDAS AER.	55.3	15.2	-72	8.4 / 3	5	26.3	26.6	0.3	32.4 / 12	21.2 / 28	
MUISNE	238.4	NIL	NIL	NIL	NIL	26.4	NIL	NIL	NIL	22.6 / 25	
LA CONCORDIA	333.8	91.6	-72	39.0 / 23	14	25.4	25.7	0.3	32.5 / 6	21.2 / 23	
STO. DOMINGO AER.	297.0	76.0	-74	26.0 / 23	19	23.5	23.8	0.3	30.4 / 6	19.8 / 29	
PUERTO ILA	247.4	53.3	-78	16.8 / 23	22	25.3	25.6	0.3	31.7 / 9	21.7 / 22	
CHONE	89.2	NIL	NIL	NIL	NIL	26.7	NIL	NIL	NIL	NIL	
PORTOVIEJO	35.8	0.3	-99	0.3 / 12	1	26.7	27.3	0.6	35.1 / 6	19.5 / 19	
PICHILINGUE	160.4	9.9	-93	6.6 / 3	11	26.1	26.4	0.3	33.2 / 6	20.9 / 19	
BABAHOYO	160.5	1.9	-98	1.0 / 2	3	26.6	27.1	0.5	34.2 / 6	21.0 / 6	
MILAGRO	86.8	0.6	-99	0.6 / 31	1	26.1	27.0	0.9	34.0 / 6	19.9 / 23	
GUAYAQUIL AER.	71.6	7.0	-90	7.0 / 31	1	27.0	27.3	0.3	34.6 / 4	21.3 / 19	
SANTA ROSA	19.2	NIL	NIL	NIL	NIL	25.9	NIL	NIL	31.0 / 25	21.1 / 29	
ZARUMA	107.4	NIL	NIL	NIL	NIL	22.4	NIL	NIL	30.5 / 25	15.0 / 25	
TULCAN AER.	78.9	80.3	1	17.0 / 22	18	12.8	12.8	0.0	20.2 / 12	4.2 / 18	
EL ANGEL	74.2	NIL	NIL	NIL	NIL	12.2	NIL	NIL	18.5 / 21	5.4 / 25	
SAN GABRIEL	84.0	93.3	11	16.8 / 16	19	12.7	12.6	-0.1	22.0 / 12	2.9 / 18	
INGUINCHO	156.5	58.6	-62	20.4 / 22	13	10.8	10.8	0.0	17.9 / 20	3.0 / 28	
IBARRA AER.	76.9	116.6	51	38.0 / 12	14	16.7	18.0	1.3	27.2 / 10	10.0 / 20	
OTAVALO	94.6	NIL	NIL	NIL	NIL	14.7	NIL	NIL	21.5 / 23	8.8 / 24	
TOMALON	72.0	41.2	-42	12.8 / 12	18	15.3	15.4	0.1	24.4 / 1	4.2 / 18 (t)	
QUITO-INAQUITO	106.1	55.3	-47	16.8 / 1	15	15.2	16.2	1.0	25.0 / 10	6.7 / 18	
LA TOLA	81.0	60.6	-25	14.4 / 15	13	16.4	16.6	0.2	27.4 / 10	5.7 / 18	
IZOBAMBA	154.5	91.7	-40	25.2 / 12	17	12.2	12.5	0.3	21.6 / 6	2.0 / 18	
LATACUNGA AER.	50.1	23.9	-52	7.4 / 12	14	14.0	14.8	0.8	26.1 / 17	2.5 / 19	
EL CORAZON	267.0	47.3	-82	15.2 / 3	19	18.7	19.2	0.5	25.0 / 29	14.0 / 19	
RUMIPAMBA	58.7	26.5	-54	9.6 / 12	15	14.8	14.8	0.0	24.2 / 17	3.8 / 19	
AMBATO AER.	56.3	49.9	-11	16.5 / 12	14	15.2	16.0	0.8	24.8 / 17	7.0 / 19	
QUEROCHACA	69.5	76.0	9	13.9 / 12	22	13.1	13.6	0.5	24.8 / 12 (R)	4.0 / 19	
RIOBAMBA AER.	46.9	52.2	11	23.0 / 13	16	14.5	15.3	0.8	23.6 / 5	3.8 / 20	
CAÑAR	43.3	46.4	7	14.9 / 26	18	12.4	12.0	-0.4	19.5 / 15	3.0 / 19	
CUENCA AER.	83.5	54.8	-34	16.0 / 13	14	15.7	15.4	-0.3	24.8 / 20	4.0 / 20	
PAUTE	57.9	88.6	53	18.4 / 23	19	17.5	17.4	-0.1	27.0 / 18	5.6 / 20	
GUALACEO	54.1	72.7	34	31.2 / 14	14	17.5	16.5	-1.0	27.5 / 20	4.2 / 19	
SARAGURO	56.8	NIL	NIL	NIL	NIL	13.4	NIL	NIL	23.6 / 21	6.5 / 21	
LA ARGELIA	57.7	72.4	25	20.8 / 13	21	16.6	16.3	-0.3	25.2 / 15	4.8 / 19	
LA TOMA AER.	17.2	16.7	-2	13.0 / 15	5	23.8	23.8	0.0	33.6 / 15	13.0 / 20	
CELICA	60.1	NIL	NIL	NIL	NIL	16.6	NIL	NIL	31.0 / 27	11.0 / 21	
CARIAMANGA	87.4	25.7	-70	18.6 / 1	4	17.9	18.9	1.0	26.5 / 5	12.2 / 8	
LAGO AGRIO AER.	447.1	336.2	-24	57.1 / 27	25	25.4	25.1	-0.3	32.7 / 12	20.8 / 8	
EL COCA AER.	NIL	355.5	NIL	56.5 / 12	23	26.0	25.8	-0.2	33.7 / 12	20.9 / 4	
NVO. ROCAFUERTE	357.6	326.9	-8	66.7 / 18	25	26.2	25.9	-0.3	33.7 / 12	20.6 / 5	
TENA AER.	400.8	497.4	24	69.7 / 17	26	24.5	24.1	-0.4	32.4 / 15	18.5 / 1	
PASTAZA AER.	529.9	333.6	-37	54.0 / 20	31	21.4	21.1	-0.3	27.6 / 20	16.7 / 30	
PUYO	450.2	313.2	-30	74.8 / 17	29	21.7	22.0	0.3	28.5 / 20	16.8 / 8	
MACAS AER.	223.1	153.1	-31	23.0 / 2	26	22.0	22.4	0.4	29.6 / 21	16.8 / 8	
S. CRISTOBAL-GAL.	45.0	5.9	-86	2.1 / 10	8	25.8	26.8	1.0	31.4 / 4	20.3 / 20	



**DIRECCION GESTION METEOROLOGICA**  
**ESTUDIOS E INVESTIGACIONES METEOROLOGICAS**  
**ESTADISTICA CLIMATOLOGICA**

**JUNIO 2011**

ESTACION	PRECIPITACION (mm)					TEMPERATURA (°C)				
	HORM.	MES	% VAR.	MAX. 24h. FECHA	DIAS RR.	HORM.	MES	ANOM.	MAXIMA ABSOLUTA	MINIMA ABSOLUTA
ESMERALDAS AER.	55.9	11.4	-79	3.0 / 12	12	27.0	26.8	-0.2	32.0 / 21	21.4 / 5
MUISNE	531.8	30.1	-94	11.4 / 7	6	22.5	NIL	NIL	NIL	22.5 / 22
LA CONCORDIA	183.0	119.2	-34	46.0 / 2	13	24.6	25.4	0.8	31.4 / 26	21.0 / 2
STO. DOMINGO AER.	140.2	85.4	-39	24.0 / 16	21	22.8	23.4	0.6	29.2 / 2	19.0 / 29
PUERTO ILA	129.8	52.6	-59	29.0 / 2	9	24.1	25.2	-1.1	30.6 / 20	20.9 / 17
CHONE	55.3	NIL	NIL	NIL	NIL	25.7	NIL	NIL	NIL	NIL
PORTOVIEJO	22.9	42.5	85	37.0 / 15	4	25.9	26.7	0.8	35.6 / 4 (R)	21.0 / 9
PICHILINGUE	65.3	48.4	-25	31.1 / 2	12	24.8	25.7	0.9	32.2 / 19	20.9 / 29
BABAHOYO	48.6	31.3	-35	16.5 / 16	12	25.3	25.5	0.2	33.8 / 5	21.1 / 17
MILAGRO	31.1	18.3	-41	13.3 / 2	6	24.9	25.8	0.9	32.5 / 18	21.0 / 15
GUAYAQUIL AER.	30.7	4.1	-86	2.0 / 3	5	25.8	26.3	0.5	32.4 / 5	21.2 / 22
SANTA ROSA	9.9	15.2	53	4.0 / 7	11	25.5	26.2	0.7	32.3 / 10	21.4 / 10
ZARUMA	28.6	35.6	24	17.5 / 16	11	21.4	23.3	1.9	32.6 / 2	16.5 / 11
TULCAN AER.	49.8	41.7	-16	17.0 / 30	18	11.5	12.1	0.6	19.7 / 6	2.1 / 28
EL ANGEL	35.4	31.3	-11	9.8 / 3	12	11.6	12.4	0.8	18.5 / 8	4.6 / 30
SAN GABRIEL	52.5	71.8	36	17.9 / 3	22	11.9	11.7	-0.2	20.4 / 6	1.2 / 28
INGUINCHO	52.8	65.0	23	13.3 / 30	19	10.5	10.4	-0.1	18.1 / 29	3.0 / 28
IBARRA AER.	36.8	62.1	68	26.2 / 3	14	16.3	17.7	1.4	26.0 / 4	8.0 / 28
OTAVALO	39.9	19.3	-51	8.0 / 30	10	14.4	15.4	1.0	23.0 / 28	3.5 / 28
TOMALON	26.6	26.2	-1	5.7 / 5	15	15.3	14.7	-0.6	24.4 / 28	4.4 / 29
QUITO-ÍNAQUITO	44.0	28.5	-35	13.6 / 19	11	15.1	16.0	0.9	24.1 / 28	7.4 / 21
LA TOLA	27.4	19.5	-28	7.6 / 19	9	16.2	16.0	-0.2	25.4 / 8	5.0 / 29
IZOBAMBA	68.7	61.6	-10	23.9 / 29	15	11.9	12.2	0.3	20.6 / 28	2.2 / 29
LATACUNGA AER.	21.2	29.7	40	16.0 / 19	9	13.3	14.3	1.0	24.9 / 6	5.5 / 28
EL CORAZON	78.3	79.1	1	17.4 / 17	23	18.8	18.8	0.0	24.6 / 13	15.0 / 21
RUMIPAMBA	27.7	19.9	-28	4.8 / 22	13	14.1	14.6	0.5	22.7 / 6	5.4 / 28
AMBATO AER.	38.9	29.0	-25	13.0 / 25	11	14.3	15.6	1.3	23.8 / 8	8.0 / 15
QUEROCHACA	70.6	56.1	-20	21.6 / 25	14	12.1	13.1	1.0	23.0 / 6 (R)	3.4 / 28
RIOBAMBA AER.	27.6	31.5	14	6.2 / 25	11	13.6	15.2	1.6	24.4 / 29	6.2 / 21
CAÑAR	20.8	31.3	50	6.2 / 25	15	11.9	11.9	0.0	19.0 / 10	3.0 / 3
CUENCA AER.	42.2	63.6	50	19.0 / 30	14	14.7	15.6	0.9	24.8 / 29	6.0 / 21
PAUTE	48.2	37.8	-21	11.4 / 25	13	16.7	18.5	1.8	25.2 / 3	10.0 / 19
GUALACEO	39.7	32.2	-18	10.1 / 25	10	17.0	17.8	0.8	27.4 / 24	7.2 / 1
SARAGURO	39.7	31.6	-20	9.1 / 30	11	13.1	15.3	2.2	24.6 / 29	7.0 / 20
LA ARGELIA	49.1	56.9	15	11.0 / 3	21	15.9	16.5	0.6	24.0 / 19	8.6 / 1
LA TOMA AER.	8.6	4.1	-52	2.0 / 7	5	23.6	24.4	0.8	33.9 / 29	14.8 / 1
CELICA	11.0	7.5	-31	4.1 / 3	4	16.5	19.0	2.5	22.6 / 28	10.0 / 26
CARIAMANGA	22.6	4.2	-81	4.2 / 3	1	17.8	18.4	0.6	26.0 / 8	12.4 / 9
LAGO AGRIO AER.	318.8	338.4	6	51.0 / 21	25	24.9	25.1	0.2	33.1 / 7	19.6 / 20
EL COCA AER.	NIL	239.6	NIL	57.0 / 13	19	25.4	26.0	0.6	33.5 / 7	20.3 / 28
NVO. ROCAFUERTE	313.7	311.3	0	36.3 / 14	25	25.6	26.1	0.5	33.1 / 7	20.5 / 6
TENA AER.	434.3	278.8	-35	56.0 / 25	19	24.0	24.7	0.7	32.6 / 8	19.0 / 28
PASTAZA AER.	554.4	321.7	-41	46.0 / 22	28	20.3	21.1	0.8	29.1 / 3	16.2 / 28
PUYO	477.9	205.0 (r)	-57	34.6 / 14	26	21.2	21.6	0.4	28.8 / 8	14.2 / 20
MACAS AER.	265.9	132.7 (r)	-50	19.0 / 23	26	21.2	22.2	1.0	30.6 / 8	14.8 / 20
S. CRISTOBAL-GAL.	32.6	13.6	-58	7.9 / 18	13	24.5	26.0	1.5	30.3 / 7	21.8 / 22