



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Dirección General de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y  
Geográfica  
Unidad de Posgrado

**Modelación de riesgos ambientales ocasionados por el  
derrame de combustibles suscitado en el poliducto  
Esmeraldas-Santo Domingo en el PK- 128 de  
“EPPETROECUADOR”**

**TESIS**

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias  
Ambientales

**AUTOR**

Fausto Manolo YAULEMA GARCÉS

**ASESOR**

Dra. María Clarisa TOVAR TORRES DE AGUILAR

Lima, Perú

2019



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Yaulema, F. (2019). *Modelación de riesgos ambientales ocasionados por el derrame de combustibles suscitado en el poliducto Esmeraldas-Santo Domingo en el PK- 128 de "EPPETROECUADOR"*. Tesis para optar grado de Doctor en Ciencias Ambientales. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

---

## HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

**CODIGO ORCID DEL AUTOR: NO TENGO**

**CODIGO ORCID DEL ASESOR: 0000\_0002\_3297\_4147**

**DNI: 08457313**

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN: NO TENGO**

**INSTITUCIÓN QUE FINANCIA PARCIAL O TOTALMENTE LA INVESTIGACIÓN:**

**EPPETROECUADOR**

**UBICACIÓN GEOGRÁFICA DONDE SE DESARROLLÓ LA INVESTIGACIÓN. DEBE INCLUIR LOCALIDADES Y COORDENADAS GEOGRÁFICAS**

Latitud: +00°,01'36"

Altitud: msnm 360 tipo CP

10'002,949

**AÑO O RANGO DE AÑOS QUE LA INVESTIGACIÓN ABARCÓ:**

Octubre del 2011 al abril del 2015



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
 (Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA)  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y  
 GEOGRÁFICA**



**UNIDAD DE POSGRADO**

«Año del buen servicio al ciudadano»

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**SUSTENTACIÓN PÚBLICA**



En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Lima, a los veinticuatro días del mes de octubre de 2017, siendo las 10:00 horas, se reúnen los suscritos miembros del JURADO EXAMINADOR DE TESIS, nombrado mediante Dictamen N.º 736/UPG-FIGMMG/2017 del 09 de octubre de 2017, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TITULO

**«MODELACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES OCASIONADOS POR EL DERRAME DE COMBUSTIBLES  
 SUSCITADO EN EL POLIDUCTO ESMERALDAS – SANTO DOMINGO EN EL PK – 128 DE  
 “EPPETROECUADOR”»**

Que, presenta el **MG. FAUSTO MANOLO YAULEMA GARCÉS**, para optar el **GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**.

El secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente 06366-FIGMMG-2013 del 26 de agosto del 2013, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas de la Directiva para el procedimiento de la elaboración de la tesis para la obtención del Grado de Magister o Doctor (Aprobado por Resolución Directoral 080.EPG.2010).

Luego de la Sustentación de la Tesis, los miembros del Jurado Examinador procedieron a aplicar la escala descrita en el Art. 61 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

..... *BUENO (15)* .....

Habiendo sido aprobada la sustentación de la tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES** a el **MG. FAUSTO MANOLO YAULEMA GARCÉS**.

Siendo las 11:00 horas, se dio por concluido al acto académico.

*[Firma]*  
 DR. CARLOS FRANCISCO CABRERA CARRANZA  
 Presidente

*[Firma]*  
 DR. JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO  
 Secretario

*[Firma]*  
 DR. ERNESTO OSVALDO ADUVIRE PATACA  
 Miembro

*[Firma]*  
 DR. JHONNY WILFREDO VALVERDE FLORES  
 Miembro

*[Firma]*  
 DRA. MARÍA CLARISA TOVAR TORRES DE AGUILAR  
 Asesor

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a mi madre Rosa Garcés (QEPD). A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mi esposa Bethsabé Castañeda y mis hijos Iván y Jorge, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad.

Fausto Manolo Yaulema Garcés

## AGRADECIMIENTO

A Dios por darme siempre aliento de vida, y quitarme el temor a culminar el proceso de graduación y darme el alimento diario. A mis amigos del programa que siempre estuvieron en las buenas y en las malas. A las autoridades de la FIGMMG UNMSM. A la Ing. Linda Toro por permitirme participar en Programa de remediación Ambiental de EPPETROECUADOR que gracias a ella se hizo posible recabar información para la culminación de la investigación. A los docentes del programa por sembrar su granito de sabiduría Dr, Ángel Chávez, Dr, Osvaldo Aduvire, Ing. Jenner Baquero por su valiosa colaboración. Y en especial a la Dra. María Tovar por ser mi tutora, por darme el ánimo en los momentos que se quebrantó mi salud para este estudio; a ella GRACIAS infinita.

## ÍNDICE GENERAL

ACTA DE SUSTENTACION .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
LISTA DE CUADROS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	x
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Situación problemática .....	1
1.2 Formulación del Problema .....	4
1.2.1 Problema de investigación .....	4
1.2.2 Problemas específicos .....	5
1.3 Justificación de la Investigación .....	5
1.3.1 Teórica.....	6
1.3.2 Práctica.....	6
1.4 Objetivos de la Investigación.....	7
1.4.1 Objetivo General .....	7
1.4.2 Objetivos Específicos.....	7
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>8</b>
MARCO TEÓRICO .....	8

2.1. Marco Filosófico o Epistemológico de la Investigación .....	8
2.2 Antecedentes de la Investigación .....	10
2.2.1 Localización del sitio de contaminación .....	16
2.2.2 Localización de los perfiles de prospección .....	16
2.2.3 Condiciones climatológicas.....	22
2.3. Bases Teóricas .....	29
2.3.1 La Prospección Geoeléctrica Continua .....	29
2.3.2 Ley de Ohm .....	30
2.3.3 Resistividades reales de los diferentes sedimentos y rocas .....	31
2.3.4 Unidades Geológicas .....	31
2.3.5 Tectónica .....	33
2.3.6 Geomorfología .....	34
2.3.7 Normativas.....	36
2.4. Marco Conceptual.....	38
2.4.1 Marco teórico conceptual para la evaluación del riesgo ambiental .....	38
2.4.2 Guía matricial de riesgos ambientales .....	39
2.4.3 Análisis de riesgos ambientales.....	40
2.4.4 Estimación de la probabilidad .....	43
2.4.5 Estimación del riesgo ambiental .....	48
2.4.6 Evaluación de riesgos ambientales.....	50
2.4.7 Caracterización del riesgo ambiental .....	51
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>52</b>
METODOLOGÍA .....	52
3.1 Hipótesis General .....	52
3.2 Hipótesis Específicas .....	52

3.3 Operacionalización de variables .....	53
3.4 Matriz de consistencia .....	55
3.5 Procedimiento de investigación .....	56
3.5.1 Tipo y Diseño de Investigación .....	56
3.5.2 Unidad de análisis.....	56
3.5.3 Población de estudio.....	56
3.5.4 Tamaño muestral .....	56
3.5.5 Selección de la muestra.....	57
3.5.6 Técnicas de recolección de datos.....	57
3.6 Lógica de la investigación (metodología Per Se) .....	57
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>59</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>59</b>
4.1. Análisis, Interpretación y Discusión .....	59
4.1.1 Discusión prospección geoelectrica.....	79
4.1.2 Análisis de Riesgos.....	80
4.1.3 Caracterización del nivel de contaminación .....	90
4.1.3.1 Análisis del agua.....	90
4.1.3.2 Discusión análisis de agua.....	95
4.1.3.3 Análisis de suelo .....	96
4.1.3.4 Discusión suelo.....	102
4.1.3.5 Modelo matemático de prospección geoelectrica .....	104
4.2 Modelo de riesgos.....	105
4.2.1 Valoración de las consecuencias del entorno Humano .....	105
4.2.2 Valoración de los entornos.....	107
4.2.3 Estimación del riesgo ambiental .....	107

4.2.4 Evaluación de riesgos ambientales.....	110
4.2.5 Caracterización del riesgo ambiental.....	111
4.2.6 Discusión .....	113
4.2.7. Limitaciones de la investigación.....	114
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>115</b>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	115
5.1 Conclusiones .....	115
5.2 Recomendaciones .....	119
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>121</b>
ANEXO 1 .....	125
ANEXO 2 .....	136
ANEXO 3 .....	144
ANEXO 4 .....	146
ANEXO 5 .....	156
ANEXO 6 .....	161
ANEXO 7 .....	166

## LISTA DE CUADROS

Cuadro. 1. Identificación de los Perfiles de prospección geoelectrica .....	18
Cuadro. 2 Estaciones metereológicas .....	23
Cuadro. 3 Extensión de Registros Meteorológicos .....	24
Cuadro. 4 Parámetros Climáticos - Estación La Concordia (M-025).....	24
Cuadro. 5 Parámetros Climáticos - Estación Sto. Domingo (M-027) .....	25
Cuadro. 6. Parámetros Climáticos - Estación Esmeraldas Tachina (M058)	25
Cuadro. 7. Parámetros Climáticos - Estación Esmeraldas (M-269) .....	25
Cuadro. 8 Valores referenciales de evaporación .....	26
Cuadro. 9 Precipitación Media Mensual (mm) .....	26
Cuadro. 10 Precipitación mensual .....	28
Cuadro. 11. Resistividades de Sedimentos y Rocas .....	31
Cuadro. 12. Leyes, Reglamentos, Decretos y Convenios Internacionales.	36
Cuadro. 13. Identificación típica de fuentes de peligro .....	41
Cuadro. 14. Definición de fuentes de peligro .....	42
Cuadro. 15. Rangos de estimación probabilística.....	43
Cuadro. 16. Formulario para la estimación de las consecuencias .....	43
Cuadro. 17. Rangos de los límites de los entornos.....	44
Cuadro. 18. Valoración de consecuencias (entorno humano) .....	45
Cuadro. 19. Valoración de consecuencias (entorno ecológico) .....	45
Cuadro. 20. Valoración de consecuencias (entorno socioeconómico).....	46
Cuadro. 21 Valoración de los escenarios identificados.....	48
Cuadro. 22. Estimador del riesgo ambiental .....	49
Cuadro. 23. Escenarios en el estimador del riesgo ambiental .....	50
Cuadro. 24 Establecimiento del riesgo alto en la escala de evaluación .....	51
Cuadro. 25. Operacionalización de variables .....	54
Cuadro. 26. Matriz de consistencia.....	55
Cuadro. 27. Correlación entre el valor de la resistividad y la litología.....	80
Cuadro. 28. Localización del área de influencia .....	84
Cuadro. 29. Demografía de la zona .....	85
Cuadro. 30. Vivienda de la zona.....	85
Cuadro. 31. Necesidades básicas insatisfechas.....	86

Cuadro. 32. Afecciones en el área de influencia.....	89
Cuadro. 33. Parámetros de sensibilidad socioeconómica en el área .....	89
Cuadro. 34 Estadísticos descriptivos (agua) 2011-2015.....	91
Cuadro. 35 Efectos intersujetos agua .....	91
Cuadro. 36 Estadísticos suelo .....	96
Cuadro. 37. Efectos intersujetos suelo 2011-2015 .....	97
Cuadro. 38. Valoración de los escenarios identificados.....	106
Cuadro. 39 Estimación del riesgo ambiental.....	108
Cuadro. 40. Estimación del riesgo ambiental entorno humano.....	108
Cuadro. 41. Estimación del riesgo ambiental entorno natural.....	109
Cuadro. 42. Estimación del riesgo ambiental entorno socioeconómico .....	110
Cuadro. 43. Escala de riesgo.....	110
Cuadro. 44. Modelo de prevención de riesgos ambientales .....	112

## LISTA DE FIGURAS

Figura. 1. Localización del Área de Estudio .....	3
Figura. 2 Mapa Geológico Regional (Referencia HGE-Shapes UniAzuay)....	3
Figura. 3. Ubicación de Perfiles Geoeléctricos Ejecutados en el área.....	19
Figura. 4. Ubicación de pozos de monitoreo en el área de estudio .....	20
Figura. 5. Ubicación de las perforaciones exploratorias .....	21
Figura. 6 Histogramas de Precipitación Media Mensual.....	27
Figura. 7. Principales Fallas para la región del proyecto .....	34
Figura. 8. Unidades Geomorfológicas.....	35
Figura. 9. Metodología de Análisis de Riesgos Ambientales .....	40
Figura. 10. Estimación del riesgo ambiental .....	48
Figura. 11. Imagen de resistividad calicata geoeléctrica L1 .....	61
<i>Figura. 12 Resistividad calicata geoeléctrica L2 .....</i>	<i>63</i>
Figura. 13. Imagen de resistividad calicata geoeléctrica L3.....	65
Figura. 14. Modelo de correlación de convergencia perfil L4.....	66
Figura. 15. Imagen de resistividad calicata geoeléctrica L4.....	68
Figura. 16. Imagen de resistividad calicata geoeléctrica L5.....	71
Figura. 17. Modelo de correlación de convergencia perfil L6.....	72
Figura. 18. Imagen de resistividad calicata geoeléctrica L6.....	74
Figura. 19. Imagen de resistividad calicata geoeléctrica L7.....	76
Figura. 20. Imagen de resistividad calicata geoeléctrica L8.....	78
Figura. 21. Dietas de aves que viven circundantes al derrame .....	82
Figura. 22. Población ocupada. ....	86
Figura. 23 BTEX agua .....	92
Figura. 24 Conductividad agua .....	93
Figura. 25 Hap's agua.....	94
Figura. 26 pH agua .....	95
Figura. 27 Cadmio en el suelo .....	98
Figura. 28 Níquel en el suelo .....	99
Figura. 29 Plomo en el suelo .....	100
Figura. 30 Hap's en suelo .....	101
Figura. 31 HTP en suelo .....	102

Figura. 32. Función Resistividad vs Profundidad del suelo.....	104
Figura. 33 Pluma de contaminación para 0.25, 0.5, 1 y 5 años.....	144

## RESUMEN

El propósito encarado en la presente investigación se orienta a determinar un esquema de riesgos relacionado con un importante derrame de hidrocarburos en el poliducto de la empresa Petroecuador en la provincia Santo Domingo de los Tsáchilas. Se realizaron diversas metodologías entre las cuales estuvieron los análisis de suelos y aguas afectados por los contaminantes; se estudiaron tanto el suelo superficial cuanto el subsuelo mediante el diseño de componentes principales, árboles de decisión y predicciones estadísticas para conocer la prevalencia de los contaminantes en la superficie y sus respectivas articulaciones; en el segundo caso se echó mano de la prospección geoeléctrica de baja frecuencia para determinar la profundidad de alcance de los contaminantes a través de la resistividad y conductividad del suelo, la investigación fue longitudinal arrojando datos desde el 2011 al 2015. Los resultados mostraron que la resistividad fue muy alta al año siguiente de ocurrido el derrame, lo que muestra una prevalencia del efluente el cual ha ido desplazándose en los años siguientes para ubicarse en el subsuelo. Se determinó el modelo *per se* de riesgos ambientales construido a través de la información obtenida a partir de la tabulación de los datos por los diferentes métodos.

Palabras clave: Derrame de efluentes, Diagnóstico de contaminación, Prospección Geoeléctrica, Diseño de Componentes Principales, Gestión de Riesgos.

## ABSTRACT

The purpose of the present investigation is to determine a risk scheme related to a significant hydrocarbon spill in the pipeline of Petro Ecuador in the province of Santo Domingo de los Tsáchilas. Several methodologies were carried out, among which were the soil and water analyzes affected by pollutants; Both the surface soil and the subsoil were studied through the design of main components, decision trees and statistical predictions to know the prevalence of contaminants on the surface and their respective joints; In the second case, low-frequency geoelectric prospecting was used to determine the depth of reach of the pollutants through the resistivity and conductivity of the soil, the investigation was longitudinal throwing data from 2011 to 2015. The results showed that the Resistivity was very high in the year following the spill which shows a prevalence of effluent which has been displaced in the following years to be located in the subsoil. The model *per se* of environmental risks was determined through the information obtained from the tabulation of the data by the different methods.

Keywords: Effluent, Contamination diagnosis, Geoelectric prospecting, Design of Principal Components, Risk Management.

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 Situación problemática**

La prospección geolétrica continua mide la respuesta del subsuelo a la excitación del suelo de superficie a un campo eléctrico.

La prospección geolétrica en los últimos años no ha cambiado demasiado con respecto a lo que se hacía en ese ramo en el siglo XX (Okiwelu, 2018); es decir la utilización de la diferencia de potencial en el suelo para caracterizar su estructura, de las rocas o del agua mediante los indicadores de la resistividad o conductividad cuya prevalencia orienta la determinación de contaminación del suelo; las aplicaciones del caso son las típicas: análisis de cuencas, formaciones geológicas, hidrogeología, etc. Se esperaría que con el desarrollo tecnológico y la globalización se notaría un cambio drástico en la metodología de la prospección mencionada, pero además de la utilización del ordenador como inversor de resultados no existen demasiadas diferencias en los protocolos usados hace 20 años, por ejemplo.

El problema que se aborda en el presente documento y será detallado en el siguiente acápite se orienta al análisis de la posibilidad del uso de la prospección geolétrica a fin de caracterizar el impacto de la contaminación en suelos que tradicionalmente han sido atravesados por ductos conductores de hidrocarburos para su refinación. La respuesta a la pregunta de investigación permite dar una alternativa a la simpleza de prevenir los riesgos ambientales para biorremediar con organismos vivos, por ejemplo, solo las capas visibles del suelo o dañar su morfología mediante la transposición del material afectado hacia otros lugares a fin de justificar una aparente remediación del nocivo derrame.

La Coordinación de Gestión Social y técnicos de Tecnologías Ambientales con el personal de remediación, ha realizado varios levantamientos, dada la indeterminada extensión del derrame y su pluma de contaminación ver la figura 1.

En la figura 2, Anexo Atlas Temático, Mapa geológico regional, se detallan los sitios donde se realizaron los trabajos ambientales tanto de reconocimiento del área como de los puntos de perforación, se encuentran también los elementos y facilidades encontrados en el sitio. Como se puede observar en la figura, los estudios se concentraron en la zona del poliducto y zonas cercanas a la quebrada y al río Cucaracha, con una densificación importante de los puntos exploratorios hacia el área donde existió el fisuramiento del Poliducto y en donde superficialmente se reconoce el impacto producido por el derrame.

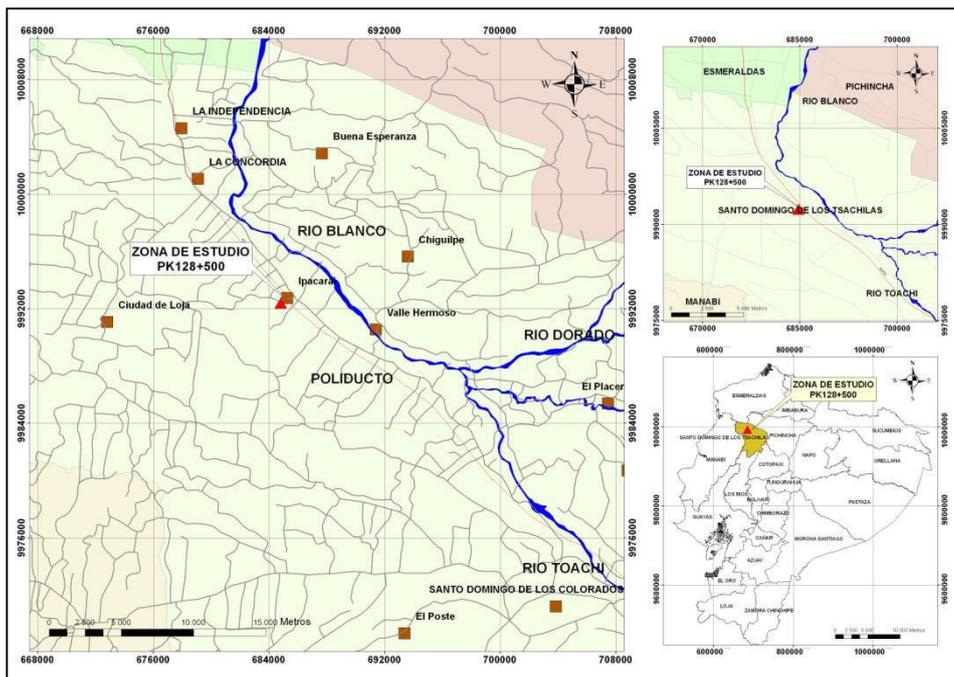


Figura. 1. Localización del Área de Estudio  
Elaborado por: HIDROGEOCOL ECUADOR Cía. Ltda.

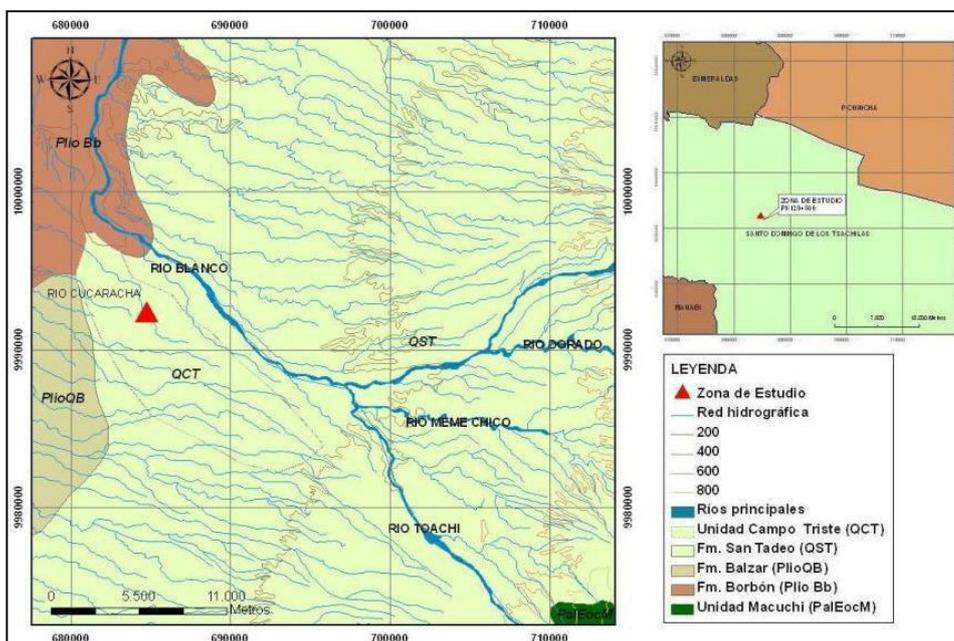


Figura. 2 Mapa Geológico Regional (Referencia HGE-Shapes UniAzua)  
Elaborado por: Hidrogeocol Ecuador Cía. Ltda.

Los derrames de combustibles del poliducto requieren del uso de una serie de recursos técnicos y económicos y, como cualquier actividad, conlleva una serie de impactos sobre el medio. La magnitud de dichos impactos puede

variar considerablemente en función de la cantidad de combustible derramado siendo aquellos derrames de mayor desplazamiento presenta mayor problemática.

Una de las preguntas de investigación que requiere atención es: ¿Qué hacer para que los derrames de combustibles provenientes del poliducto Esmeraldas Santo Domingo de los Tsáchilas no afecte significativamente los entornos humano, ecológico y socioeconómico?

En respuesta a esta problemática, a través de la Superintendencia conscientes de su responsabilidad ambiental de mitigar los efectos negativos que eventualmente están siendo generados por la operación de conducción de los combustibles se plantean como estrategia colaborar en la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos Ambientales, y de esta manera lograr contribuir al bienestar de la comunidad con un manejo ambiental amigable de sus actividades en todos sus procesos productivos.

El estudio presentado en este documento fue realizado en el periodo 2011-2015

## **1.2 Formulación del Problema**

### ***1.2.1 Problema de investigación***

¿Cuál es el modelo que caracteriza los riesgos ambientales subyacentes, debido al derrame de combustibles por la operación del poliducto Esmeraldas-Santo Domingo de PETROECUADOR en el periodo 2011-2015?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las características de los sistemas biótico y abiótico del cantón la Concordia en la zona de influencia donde se suscitó el derrame de hidrocarburos?
- ¿Cuáles son los aspectos ambientales a considerar en cuanto a los entornos socioeconómico, humano y ecológico del Cantón la Concordia?
- ¿Existe un modelo de evaluación de Riesgos Ambientales fiable para el transporte de combustibles del poliducto de la empresa “EPPETROECUADOR”?

### **1.3 Justificación de la Investigación**

En el poliducto Esmeraldas-Santo Domingo Pk-128, ocurrió un derrame ocasionado por la falla en una abrazadera colocada en el punto aproximadamente 14 años atrás, ocurriendo se produzca la contaminación al área circundante de 20.4 hectáreas en un trayecto de 2 km.

En el tramo del poliducto Esmeraldas Santo domingo, no existe sistema automático de detección de fugas.

El volumen derramado estimado, fue de 13000 barriles, en el año 2011 en el Poliducto de (EPPETROECUADOR).

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación se basa en los siguientes aspectos:

- Cumplir con la legislación ambiental.
- Determinar el estado actual de los entornos ecológico, humano y socioeconómico del área de influencia del derrame.
- Determinar el riesgo ambiental ocasionado por el derrame suscitado.

### **1.3.1 Teórica**

La investigación se llevó a cabo a fin de responder a la pregunta a la academia: ¿es suficiente analizar un derrame de hidrocarburos debido a la operación de las empresas estatales y privadas y remediar sus impactos in-situ?; Esta preocupación a nivel local y regional principalmente por el deterioro de la calidad del agua y suelo lleva a la necesidad de priorizar las aplicaciones de estrategias para mejorar la disponibilidad de agua no contaminada, como elemento básico y vital para mejorar las condiciones de vida de estas poblaciones.

### **1.3.2 Práctica.**

Este estudio trata de evaluar los riesgos ambientales para encontrar alternativas para que el transporte de combustibles, no afecte a los componentes ambientales suelo, agua, flora fauna y paisaje, facilitando los recursos logísticos y de análisis de los parámetros físicos químicos y microbiológicos en laboratorios acreditados.

## **1.4 Objetivos de la Investigación**

### **1.4.1 Objetivo General**

Modelar los riesgos ambientales ocasionados por el derrame de combustibles suscitado en el poliducto Esmeraldas – Santo-Domingo en el Pk – 128 de “EPPETROECUADOR”.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

1. Caracterizar los sistemas biótico y abiótico del cantón la Concordia en la zona de influencia donde se suscitó el derrame en el periodo 2011-2015.
2. Ponderar los aspectos ambientales de los entornos socioeconómico ecológico, humano, y del Cantón la Concordia.
3. Desarrollar un Modelo de evaluación de Riesgos Ambientales fiable para el transporte de combustibles del poliducto de la empresa “EPPETROECUADOR”.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Marco Filosófico o Epistemológico de la Investigación**

Los nuevos conocimientos científicos obtenidos mediante la experimentación y la investigación aplicada mejoran nuestra comprensión del mundo que nos rodea. La ciencia es un instrumento importante en las decisiones que tomamos sobre nuestra función y nuestras acciones en ese mundo. Nos ayuda a resolver problemas, prediciendo las probables consecuencias de nuestras acciones en respuesta a desafíos previamente experimentados. La ciencia ensancha las fronteras de nuestra comprensión y es de naturaleza dinámica, poniendo en duda y desafiando constantemente los conocimientos existentes.

Las tecnologías incipientes plantean otros desafíos a cada uno de nosotros y a nuestras instituciones. Aplicar esas tecnologías transforma las sociedades de formas desconocidas que no se ajustan a nuestra comprensión actual. En respuesta a esos problemas hay que crear con frecuencia nuevas prácticas, nuevas instituciones y nuevos significados. Esos desafíos nuevos requieren

nuevos medios de solución de problemas y adopción de decisiones. Las soluciones pueden verse complicadas además por la información aparentemente inconexa y potencialmente conflictiva que recibe el público sobre las tecnologías incipientes, dado que las diversas partes interesadas promueven sus últimos descubrimientos y puntos de vista.

A pesar del poder que hoy ofrecen los conocimientos científicos, su utilidad está en los objetivos sociales que tratan de alcanzar. La investigación científica debe insertarse en amplios valores sociales y ser respaldada por principios éticos.

La ética trata de los principios que definen el comportamiento, la actuación o las reglas de actuación (incluidas las normas) como justos, buenos y adecuados. Esos principios no dictan siempre una sola forma de actuación «moral», sino que proporcionan medios de evaluar y decidir entre opciones contrapuestas (1). Las declaraciones de ética comprenden la expresión, defensa e interpretación de esos principios, así como su aplicación a problemas concretos. Dentro del discurso ético hay una serie de perspectivas que dan cabida a la diversidad de la experiencia humana y la reflejan.

La utilización de la ciencia no es algo separado ni divorciado de la ética. Se basa en una serie de decisiones e interpretaciones, cada una de ellas coloreada por los valores que mantenemos. Las actuaciones científicas se basan en nuestro valor compartido de lograr una mejor comprensión del mundo.

En la ciencia alimentaria, y en particular en la ciencia de la inocuidad de los alimentos, esos valores han actuado siempre. La necesidad de crear y mantener la confianza en el sistema de inocuidad alimentaria requiere más transparencia. Por ello, los valores insertados en las decisiones que respaldan ese sistema necesitan explicación, a fin de que la adopción de decisiones sea más transparente y proporcione una mejor comprensión de las elecciones que hacemos en la buena gestión de la inocuidad de los alimentos.

Las causas que subyacen tras los accidentes ambientales, son muchas y variadas, ellas incluyen las condiciones meteorológicas cada vez más extremas, el aumento de la densidad de la población en los centros urbanos y la concentración de las actividades económicas en ciertas regiones. Todo esto, unido al proceso de globalización facilita la propagación de, agentes contaminantes peligrosos y fallas técnicas de operación de actividades petrolíferas.

Éste trabajo se orientó en la denominada “Epistemología del Sur” (Ruano, 2016) cuyos paradigmas se enfocan a la generación del conocimiento desde el punto de vista complejo, integral, no reductivo (Morin, 2016), la comprensión del mundo es un entrelazado de circunstancias transdisciplinarias en el tiempo y el espacio; el hombre es un participante activo sociopolítico en la construcción de la realidad; la academia busca integrarse con los actores sociales “oprimidos” para modificar su realidad y así integrarlos a los procesos de desarrollo nacional, ¿cómo es posible aquello sin que ellos conozcan su condición?, he allí la labor académica en cuanto a lo que antes era la transposición científica y ahora una elaboración conjunta de conceptos, supuestos y leyes humanas que se alejan en ciertos casos del cartesianismo atomizador de realidades.

## **2.2 Antecedentes de la Investigación**

A modo de prólogo cabe indicar en el presente estudio las complejidades que hicieron complicada la investigación:

- a. La viabilidad de las políticas empresariales en cuanto a la provisión de documentación imparcial sobre las causas de la contaminación por hidrocarburos, lo cual es natural por obvias razones, no por eso deja

de constituirse en riesgo de sesgo a la hora de abordar la temática así como sus objetivos.

- b. La disposición del equipo técnico para la realización del prospección geoelectrica tanto en espacial como temporal.
- c. La viabilidad de las políticas empresariales en cuanto a la provisión de documentación imparcial sobre los alcances de la remediación de la contaminación por hidrocarburos, lo cual es natural por obvias razones, no por eso deja de constituirse en riesgo de sesgo a la hora de discutir los resultados así como las conclusiones de los propios estudios que constituyen los antecedentes del problema.

En cuanto a estudios científicos relacionados a esta investigación se nombrarán los siguientes:

Shevnin y Sánchez (2016) muestran en su artículo *Investigation of Some Case of Oil Contamination in Mexico* que la contaminación por petróleo del suelo cerca de la tubería en Tamaulipas fue evaluado mediante tomografía de resistividad eléctrica. El problema fue un movimiento rápido del contaminante encontrado a una distancia de 1.5 km diez días después de la fuga. La contaminación reciente dio una anomalía de resistividad más alta en comparación con el suelo limpio. Mediante prospectiva geoelectrica y experimentos de monitoreo se encontraron lugares de alta conductividad hidráulica cerca del punto de fuga y el movimiento de petróleo.

El hindú Sonkamble S en el artículo Sonkamble, S. (2014). *Electrical resistivity and hydrochemical indicators distinguishing chemical characteristics of subsurface pollution at Cuddalore coast, Tamil Nadu* escribe que los métodos de resistividad eléctrica se aplican ampliamente para análisis de superficie pero tienen limitaciones para distinguir las características químicas del medio, sin embargo esta complejidad puede resolverse mediante investigaciones integradas donde la anomalía geofísica se validaría con datos hidrogeoquímicos.

El estudio destaca la notable importancia de las investigaciones geofísicas e hidrogeológicas integradas en la demarcación de la contaminación subsuperficial debida a la intrusión de agua salina y efluentes industriales en la costa de Cuddalore, en la India. La exploración geofísica que abarca un total de 35 sondeos geoeléctricos verticales (VES) se validaron con parámetros de litología de perforación, nivel de agua y calidad del agua de una red de 125 pozos de observación en un sitio de prueba de 17 km<sup>2</sup>.

Moises Ortega Gonzalez en su artículo *Métodos de Prospección Geofísica Aplicados en la Zona Aurífera de Chega Tudo, Región del Gurupí, Maranhao* publicado en la *Revista Brasileira de Geociencias* establece una relación directa entre las anomalías magnéticas y la producción mineral, así como la resistividad del suelo (Gonzalez, 2018).

Delgado *et al* en su artículo *Characterization of Hydrocarbon Contaminated Sites Based on Geoelectrical Methods on Geophysical Exploration* describen con prolijidad la metodología de aplicación de los métodos geoeléctricos de detección de contaminantes hidrocarbúricos, dando validez teórica a este estudio (Okiwelu, 2018)

C.N. Ehirim, O.F. Adizua and I.P.C. Okorie en su artículo *Geoelectrical Characterization of Matured Petroleum Hydrocarbon Impacted Soil in Port Harcourt, Nigeria* publicado en la revista *Asian Journal of Earth Sciences* concluyen que en base a la aplicación de la prospección geoeléctrica, la baja resistividad del suelo revela la contaminación del mismo, relacionado este fenómeno a la degradación microbiana. («*Geoelectrical Characterization of Matured Petroleum Hydrocarbon Impacted Soil in Port Harcourt, Nigeria, SciAlert Responsive Version*», s. f.)

Para comprender la variación espacial de la contaminación subsuperficial se generaron dos perfiles de secciones de resistividad aparente que cubren los puntos VES paralelos a la costa. Los resultados revelaron que el orden bajo del rango de resistividad de 3 a 10  $\Omega$ -m (hasta 30-40 m de profundidad) y el total de sólidos disueltos de 2000 a 10,000 mg / l de agua subterránea refleja

la contaminación subsuperficial pero no puede distinguir el tipo de salinidad que se verifica adicionalmente mediante análisis químico de  $\text{Ca}^{2+}$  (1200-2041 mg / l),  $\text{SO}_4^{2-}$  (3000-9480 mg / l) que confirma la contaminación por yeso y  $\text{Na}^+$  (750-1000 mg / l),  $\text{Cl}^-$  (1000-2000 mg) / l) designar la contaminación del agua marina. Además, las mediciones estáticas del agua subterránea demarcan el área de estudio en el nivel medio del mar (MSL).

El estudio ha proporcionado una imagen rápida y completa sobre las variaciones espaciales de la contaminación del agua subterránea que pueden ayudar en la planificación, protección y gestión segura de los acuíferos costeros en la India y en todo el mundo.

Los investigadores Pandey, L. y Shukla (2017) en su paper denominado Detection of leachate contamination in Perth landfill base soil using electrical resistivity technique. International Journal of Geotechnical Engineering, indican que la resistividad eléctrica del suelo base del vertedero cambia cuando los lixiviados se infiltran en el suelo debido a filtraciones a través del revestimiento, su artículo presenta los resultados de una investigación sobre los efectos del contenido de fluidos (agua y / o lixiviados) del suelo y el tipo de lixiviados en la resistividad eléctrica del suelo base del vertedero de Perth.

El método experimental utilizado para las mediciones de resistividad se fabricó según la norma australiana AS 1289.4.4.1-1997. Tres lixiviados fueron adquiridos para la experimentación. El fluido infiltrante consistía en una mezcla de agua y lixiviados en concentraciones variables, para simular la contaminación del suelo base en situaciones de campo. Los resultados de la prueba mostraron que la resistividad eléctrica del suelo arenoso de Perth disminuyó rápidamente cuando el contenido de fluido aumentó. Se encontró que la resistividad del suelo disminuía significativamente con el aumento en el contenido de lixiviados en el fluido.

En cuanto a los análisis de riesgos ambientales en Ecuador no se han elaborado investigaciones acerca de derrames de petróleo con una metodología como la propuesta en la siguiente investigación. Se ha abordado el problema del derrame en esta investigación a través del análisis de riesgos.

Heenan, J., Slater, L. D., Ntarlagiannis, D., Atekwana, E. A., Fathepure, B. Z., Dalvi, S., ... & Atekwana, E. A. (2014) en su investigación *Electrical resistivity imaging for long-term autonomous monitoring of hydrocarbon degradation: Lessons from the Deepwater Horizon oil spill* publicado en la revista *Geophysics*, 80(1) sostiene que Los modelos conceptuales para las respuestas geofísicas asociadas con la degradación de hidrocarburos sugieren que la evolución a largo plazo de una pluma de petróleo dará como resultado una anomalía más conductiva que la contaminación inicial.

En respuesta al derrame de petróleo de Deepwater Horizon (DH) en el Golfo de México en 2010 se implementó un sistema autónomo de monitoreo de resistividad en Grand Terre, Louisiana, en un intento de monitorear los procesos de degradación natural en los sedimentos de playa impactados por hidrocarburos en esta isla. Se instaló una matriz de superficie de 48 electrodos con una separación de 0,5 m para obtener imágenes dos veces al día de la estructura de resistividad de la subsuperficie poco profunda afectada por el petróleo.

En el transcurso de aproximadamente 18 meses, los investigadores observaron una disminución progresiva en la resistividad de la región afectada por el derrame. El análisis detallado de la variación de resistividad de píxel / punto dentro del área de la imagen mostró que las disminuciones a largo plazo en la resistividad se asociaron en gran medida con los sedimentos impactados.

Una encuesta de diversidad microbiana reveló la presencia de organismos que degradan hidrocarburos en todo el sitio de prueba. Sin embargo, la actividad de degradación de hidrocarburos fue mucho más alta en las ubicaciones impactadas en comparación con las ubicaciones no impactadas, lo que sugiere la presencia de degradadores de hidrocarburos activos, que respaldan los procesos de biodegradación. Los resultados de este experimento de monitoreo a largo plazo sugirieron que la resistividad podría usarse para monitorear de forma no invasiva la degradación a largo plazo de los derrames de petróleo crudo.

En cuanto a la prospección geoelectrica Veloso, D. I. K., Moreira, C. A., & Côrtes, A. R. P. (2016) en su artículo *Integration of Geoelectrical Methods In The Diagnostic Ofa Diesel Contaminated Site in Santa Ernestina* en la Revista Brasileira de Geofísica indican que los hidrocarburos satisfacen más del 50% de la demanda mundial de industrias y medios principales de transporte. Desafortunadamente, el uso de esta matriz energética en gran escala es la causa frecuente de la contaminación del suelo y las aguas subterráneas, escenarios que presentan riesgos para la salud humana y limitan el uso de los recursos naturales.

Los métodos geofísicos constituyen una herramienta importante para la evaluación de estos casos, ya que ofrecen información importante de forma indirecta e integral, con bajo costo relativo, guiando los esfuerzos de remediación en áreas contaminadas. En este trabajo se realizó un estudio geofísico en Electro DC Resistividad y Polarización inducida en un suelo tropical arenoso contaminado por un derrame de diesel de 58.000L en un accidente ferroviario y tuvo como objetivo diagnosticar el escenario de contaminación después de más de siete años del incidente.

Se realizaron 11 líneas de imágenes eléctricas con generación de resistividad y modelos de capacidad de carga integrados en bloques de vista 3D. Los resultados indicaron la ocurrencia puntual de zonas poco profundas de baja resistividad cerca del lugar de infiltración de contaminantes, asociada a la acción de los procesos naturales de atenuación.

Los investigadores Heenan, J. W., Ntarlagiannis, D., Slater, L. D., Beaver, C. L., Rossbach, S., Revil, A., ... & Bekins, B. (2017) en el artículo *Field-scale observations of a transient geobattery resulting from natural attenuation of a crude oil spill* del Journal of Geophysical Research: Biogeosciences establecen que existe evidencia de una geobatería asociada con la degradación microbiana de un derrame de petróleo crudo maduro. Las mediciones de autopotencia se recolectaron utilizando una matriz vertical de electrodos no polarizantes, comenzando en la superficie de la tierra y pasando por la zona de frotis donde las fluctuaciones estacionales de la capa freática han resultado en el recubrimiento de hidrocarburos en los sólidos del acuífero.

Estas medidas de potencial eléctrico pasivo exhiben un patrón dipolar asociado con una fuente de corriente. Las reacciones anódica y catódica de esta batería natural se producen debajo y encima de la zona de frotis, respectivamente.

La zona de frotis se caracteriza por altos valores de susceptibilidad magnética asociados con la precipitación de minerales en fase magnética de hierro semiconductores como un subproducto de la biodegradación, lo que facilita la transferencia de electrones entre el ánodo y el cátodo. Esta respuesta de geobatería parece tener una naturaleza transitoria, cambiando a escala mensual, probablemente como resultado de cambios químicos y físicos en las condiciones del subsuelo, como las fluctuaciones de la capa freática.

### ***2.2.1 Localización del sitio de contaminación***

El lugar de estudio PK-128 se ubica en la Concordia, a 285 metros de altura sobre el nivel del mar en el Poliducto de EP. PETROECUADOR en un área de 20.4 hectáreas compueta por la faja de servidumbre del Oleoducto y Poliducto, así como la franja de tierra de la vecindad al sitio del derrame y su consecuente contaminación. El área de estudio se encuentra.

### ***2.2.2 Localización de los perfiles de prospección***

En el cuadro 1 y la Figuras 3 ,4 y 5, se presenta la localización y orientación de los perfiles, donde se indican las coordenadas y cota del terreno de cada uno de los electrodos asociados a la prospección geoléctrica continua a partir de 8 perfiles, 36 perforaciones exploratorias PEC, 19 pozos de monitoreo PM y las 8 fugas o afloramientos de combustibles.

Para la adquisición de la información de campo se empleó un equipo de resistividad digital de alta resolución y precisión, marca Super/Sting™ R8 IP, un instrumento automático multielectrodo de 8 canales, con 200 watts de potencia y voltaje de salida hasta de 800 V, con cableado de 8 secciones de 162 m. de longitud y 7 sensores separados uno de otro una distancia de 20.25 m., los cuales se amarran a igual número de electrodos de corriente. El equipo fue construido por la firma Advanced Geoscience, Inc. Geophysical Instruments (Austin, Texas-USA).

El procesamiento de la información fue realizado utilizando el programa computacional EarthImager 2D v.2.0. (2009) distribuido igualmente por la anterior firma, con licencia de uso para HIDROGEOCOL Cía. Ltda., generando para cada perfil de investigación las respectivas imágenes en 2D, (Ver cuadro 1).

Cuadro. 1. Identificación de los Perfiles de prospección geoelectrónica continua

Identificación del Punto de Cada Perfil	Coordenada Este (M)	Coordenada Norte (M)	Dirección	Longitud del Perfil (M)	Separación de Electrodo (M)	Altura del Punto Inicial (M.S.N.M)	Altura del Punto Final (M.S.N.M)
L1	684618.683	9992266.62	N 46°	450	8.5	256.57	
L1'	684951.104	9992586.57					281.071
L2	685091.969	9992375.2	N 317°	300	5.5	283.013	
L2'	684897.644	9992577.1					284.649
L3	684934.377	9992307.97	N 316°	300	5.5	286.093	
L3'	684727.581	9992522.8					278.997
L4	684656.765	9992282.05	N316°	150	3.0	264.504	
L4'	684543.245	9992399.97					254.238
L5	684630.441	9992349.1	N277°	350	6.5	259.08	
L5'	684980.921	9992392.34					281.732
L6	684656.901	9992472.68	N107°	150	3.0	256.036	
L6'	684807.895	9992425.93					285.751
L7	9992183.17	684811.485	N354°	150	2.7	257.507	
L7'	684796.726	9992326.82					273.187
L8	684750.783	9992184.37	N316°	150	3.0	263.332	
L8'	684639.389	9992300.1					264.223

Fuente: (Hidrogeocol Ecuador Cía Ltda., 2010)

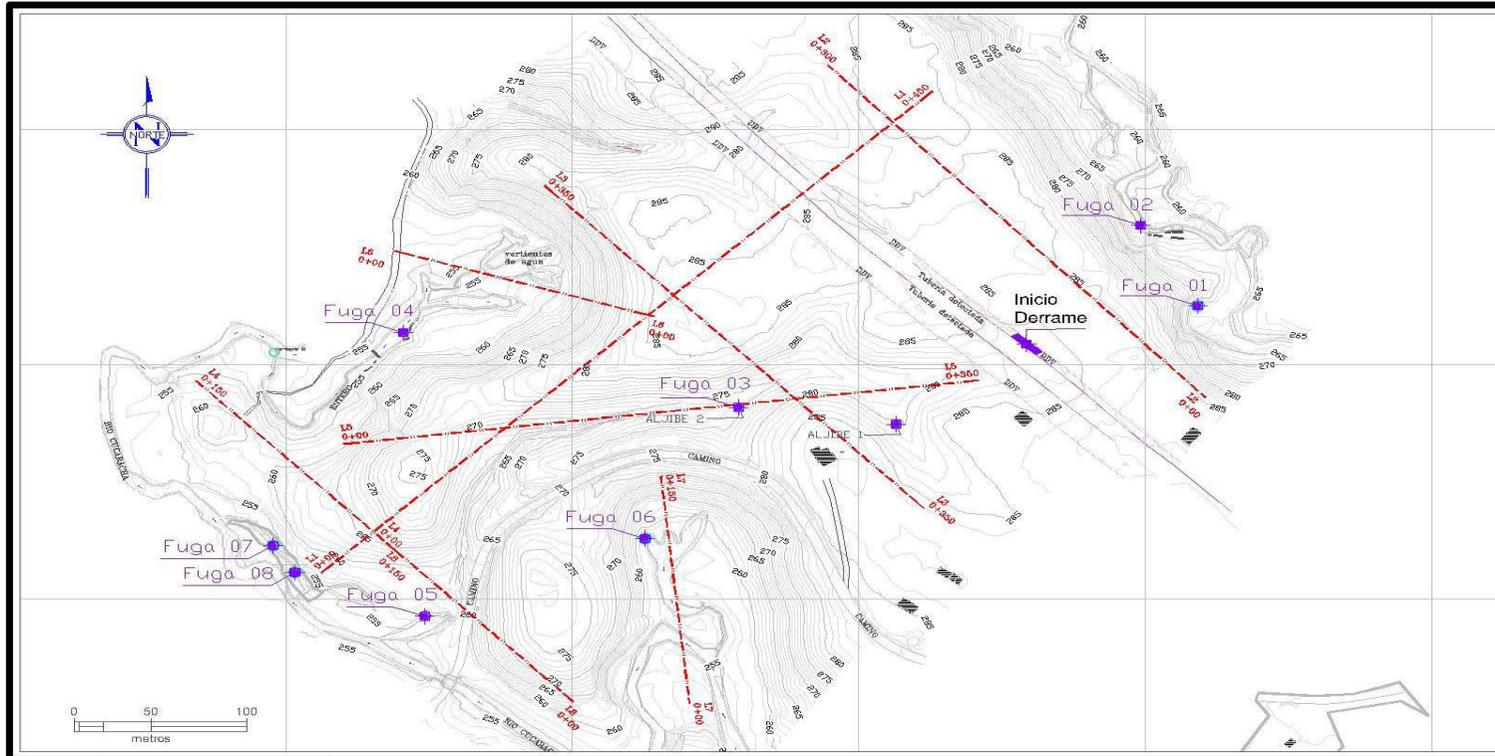


Figura. 3. Ubicación de Perfiles Geoelectrónicos Ejecutados en el Área de Estudio

Fuente: (Hidrogeocol Ecuador Cía Ltda., 2010)

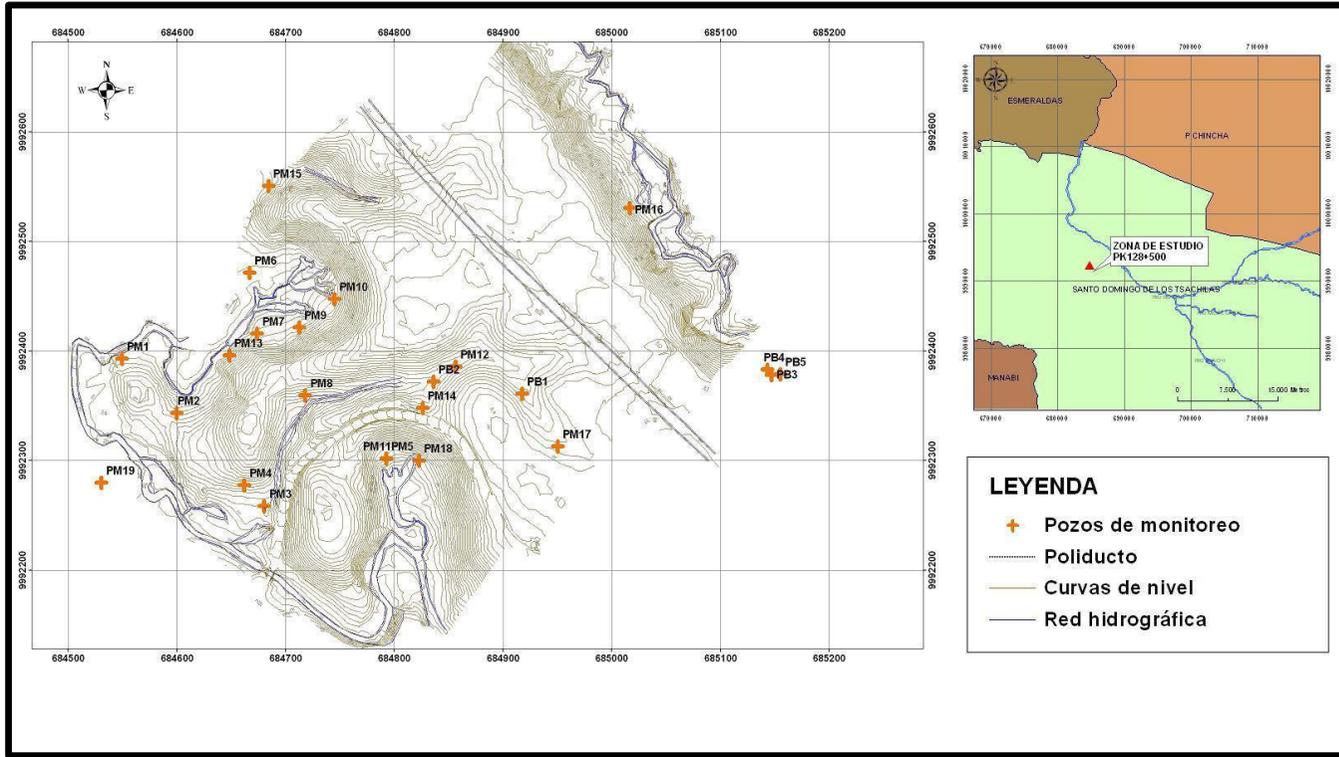


Figura. 4. Ubicación de pozos de monitoreo en el Área de Estudio

Fuente: (Hidrogeocol Ecuador Cía Ltda., 2010)

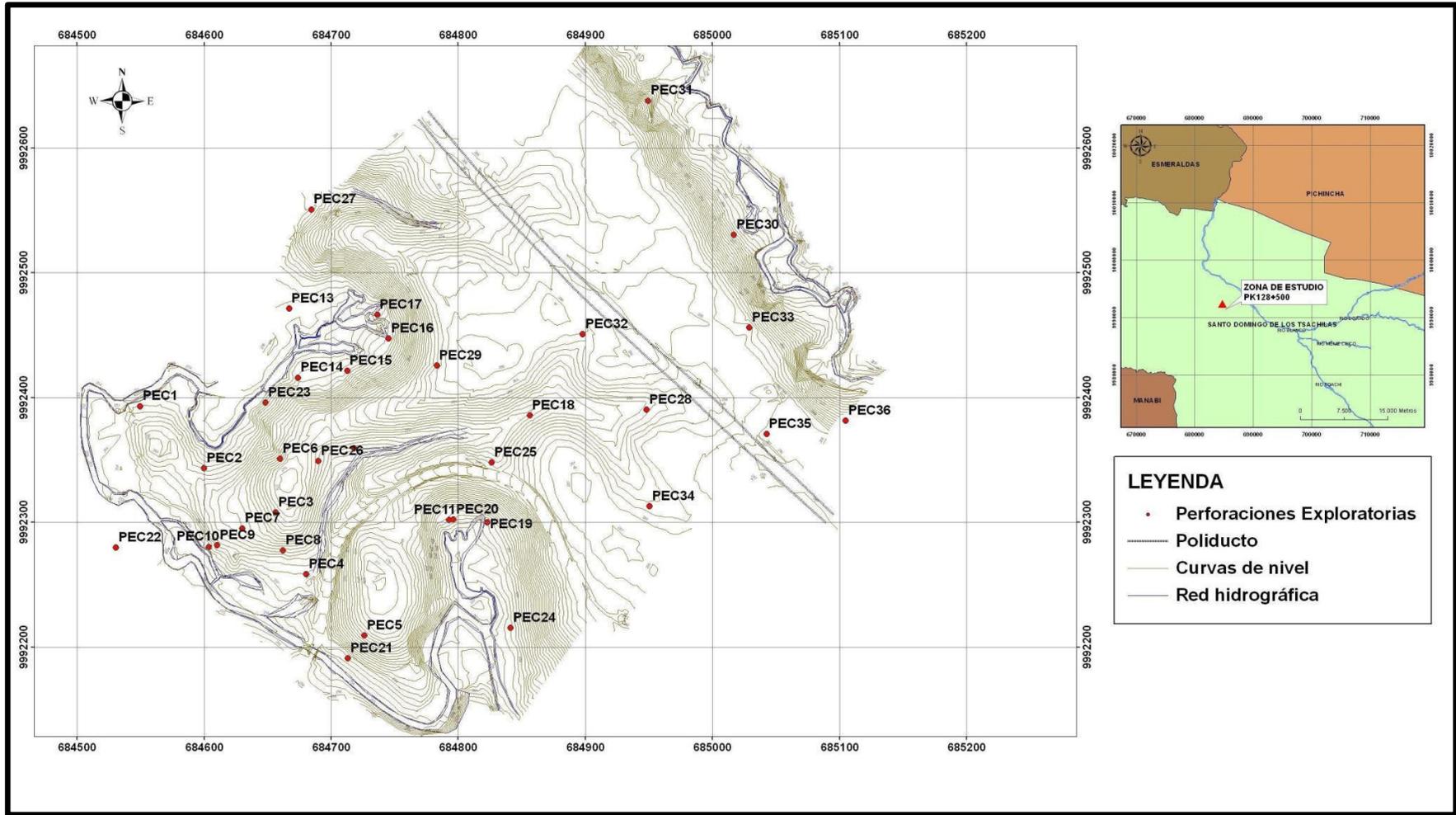


Figura. 5. Ubicación de las perforaciones exploratorias en el Área de Estudio

Fuente: (Hidrogeocol Ecuador Cía Ltda., 2010)

La interpretación de los perfiles levantados señala que la mayor parte del área está cubierta por materiales de sobrecarga constituida por sedimentos poco consolidados representados por limos de alta plasticidad de color marrón depositados sobre una paleo-topografía de sedimentos poco consolidados y con alto grado de alteración. Los espesores de los limos plásticos de color marrón presentan un espesor promedio entre 7 a 10 m y decrecen hacia el Suroccidente del área cuando se acercan a las partes más bajas (Rossello, 2018).

Los resultados de la Geoelectrica Continua muestran zonas saturadas, dibujando en los perfiles formas lenticulares con valores de resistividades baja. El aljibe 2 de 17 m de profundidad y ubicado en la línea L5, confirma que los valores bajos de resistividad corresponden al nivel acuífero de la zona.

### ***2.2.3 Condiciones climatológicas***

- Zona de la costa

Se ha considerado al tramo comprendido entre la Población de Alluriquín y Esmeraldas, con una altitud que varía entre los ochocientos veinte (820) msnm hasta llegar a cero (0) msnm en el Océano Pacífico.

Para este tramo se han considerado como representativas las siguientes estaciones: La Concordia (M025), Santo Domingo (M027), Esmeraldas Tachina (M058), Esmeraldas

INOCAR (M269) y Sague (San Mateo) (M441), cuya información tiene registros de más de cinco (5) años completos.

- Información Hidrometeorológica

Se recopiló la información publicada en los Anuarios Meteorológicos e Hidrológicos y la que está en las instituciones a cargo de las estaciones, cuyos datos no se encuentran publicados. Para el análisis se utilizó cinco (5) estaciones meteorológicas (con un número de años completos de registro mayor a cinco (5)), que se describen en el cuadro 2

- Estaciones Meteorológicas

*Cuadro. 2 Estaciones metereológicas*

<b>CÓDIGO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>ALTITUD (msnm)</b>	<b>TIPO</b>
M025	LA CONCORDIA	+00°01'36'' 10'002,949	+79°22'17'' 681,255	360	CP
M027	STO. DOMINGO	-00°15'00'' 9'974,197	+79°10'00'' 700,334	557	AR
M058	ESMERALDAS TACHINA	+00°58'55'' 10'108,260	+79°37'30'' 653,064	7	AR
M269	ESMERALDAS INOCAR	+00°59'07'' 10'108,935	+79°38'07'' 651,857	6	CO
M441	SAGUE (SAN MATEO)	+00°53'13'' 10'098,063	+79°37'54'' 652,264	15	PV

AR = Aeronáutica

CO = Climatologica Ordinaria

CP = Climatologica principal

PV = Pluviométrica

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) Elaboración: ESINGECO, 2005

La extensión de los registros históricos disponibles se indica en el cuadro 3

Cuadro. 3 Extensión de Registros Meteorológicos

COD	NOMBRE	P	T	H	N	L	V	E
M025	LA CONCORDIA	62/94	65/90	66/90	66/90	66/90	66/90	81/90
M027	STO. DOMINGO AEROPUERTO	51/91	61/91	59/91	65/90	64/87		
M058	ESMERALDAS TACHINA	43/93	68/91	68/91	68/91		68/91	
M269	ESMERALDAS INOCAR	49/94	60/94	59/82	62/94		62/81	
M441	SAGUE (SAN MATEO)	50/93						

Donde, P: Precipitación (mm)

T: Temperatura (°C)

H: Humedad(%)

N: Nubosidad (%) V: Velocidad del viento(m/s)

E: Evaporación Tanque (mm)

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) Elaboración: ESINGECO, 2005

- Homogenización de la Información

Los datos climatológicos de: temperatura, humedad, heliofanía, evaporación del tanque clase "A" y velocidad del viento fueron homogeneizados mediante pruebas de simples masas, metodología aplicable por la poca variación temporal de los datos.

En los cuadros 4, 5, 6 y 7 se presentan los valores medios mensuales de los diferentes parámetros climáticos de las estaciones tomadas como representativas del área de estudio:

Cuadro. 4 Parámetros Climáticos - Estación La Concordia (M-025)

Período 1966 - 1990

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
T	23.1	23.4	23.8	23.8	22.1	22.7	22.3	22.2	22.2	22.3	22.3	21.5	22.6
H	84.9	84.2	83.6	84.0	77.2	85.3	84.6	83.7	84.0	83.4	83.0	83.5	83.4
N	15.0	15.0	14.4	14.4	15.3	15.6	14.4	15.0	14.4	14.4	14.4	14.4	14.7
V	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.6	1.8	1.6	1.7	1.6	1.5	1.4	1.6

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) Elaboración:ESINGECO,2005

Cuadro. 5 Parámetros Climáticos - Estación Sto. Domingo Aeropuerto (M-027)

Período 1965 - 1990

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
T	21.9	22.3	22.8	22.8	22.3	21.6	21.1	21.0	19.9	21.0	21.1	21.5	21.6
H	90.0	89.1	85.0	85.2	90.0	87.2	90.6	90.0	90.4	90.8	90.4	89.9	89.1
N	15.0	14.1	15.6	15.0	15.0	15.0	15.6	15.0	15.6	15.0	15.0	15.0	15.1
V	1.9	2.0	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.6	1.6	1.8	1.8	1.7	1.8

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Elaboración: ESINGECO, 2005

Cuadro. 6. Parámetros Climáticos - Estación Esmeraldas Tachina (M058)

Período 1968 - 1991

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
T	26.5	26.6	27.1	27.0	27.2	27.0	26.7	26.6	26.5	26.8	26.8	26.8	26.8
H	79.3	80.6	79.0	77.7	79.5	78.4	76.8	71.4	74.6	74.1	73.9	75.7	76.7
N	21.6	22.4	26.7	26.1	23.2	26.6	23.8	25.5	20.3	23.0	25.8	26.6	24.3
V	5.0	4.8	4.8	4.7	5.2	4.8	5.6	5.1	5.5	5.6	5.6	5.3	5.2

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Elaboración: ESINGECO, 2005

Cuadro. 7. Parámetros Climáticos - Estación Esmeraldas INOCAR (M-269)

Período 1962 - 1994

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ME
T	25.7	25.9	26.3	26.4	26.4	26.2	25.8	25.6	25.4	25.7	25.8	26.0	25.9
H	87.6	87.3	86.9	86.3	84.9	85.3	84.8	85.1	84.4	84.6	83.8	85.0	87.6
N	6.6	6.5	6.4	6.2	6.5	6.6	6.5	6.4	6.3	6.5	6.5	6.6	6.5
V	3.2	3.3	2.6	3.0	3.5	3.4	3.6	3.9	4.2	4.3	3.7	4.0	3.5

Donde, T: Temperatura (°C)

H: Humedad (%)

N: Nubosidad (%)

V: Velocidad del viento (m/s)

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) Elaboración: ESINGECO, 2005

Los valores referenciales de evaporación del tanque clase A, son los de la estación: La Concordia (Ver cuadro 8).

*Cuadro. 8 Valores referenciales de evaporación*

COD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MED
M025	72.5	78.5	90.0	74.8	71.7	65.5	69.9	71.0	64.3	65.7	66.0	66.7	856.4

*Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) Elaboración: ESINGECO, 2005*

En el cuadro siguiente se encuentran los valores de precipitación media mensual de las estaciones tomadas para el presente estudio (Ver cuadro 9).

*Cuadro. 9 Precipitación Media Mensual (mm)*

COD.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
M025	455.1	543.5	580.7	589.5	306.8	172.0	78.7	53.2	70.2	67.5	56.5	170.6	3144.4
M027	478.1	463.4	533.0	515.2	308.5	158.2	85.3	52.2	96.2	96.8	94.2	199.6	3080.6
M058	131.6	176.1	116.5	87.7	54.4	40.7	29.0	14.3	16.2	27.6	19.9	28.6	742.5
M269	120.8	195.5	147.8	102.2	55.1	60.8	31.2	10.4	12.0	20.8	21.7	33.6	67.7
M441	160.7	209.1	137.5	150.4	94.6	62.5	36.7	21.2	23.9	31.8	26.7	55.3	2616.7

*Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) Elaboración: ESINGECO, 2005*

Para la zona comprendida entre las poblaciones de Alluriquín y la Ciudad de Esmeraldas, la distribución temporal de precipitación a lo largo del año, tiene un período de mayor precipitación, que va desde el mes de enero hasta mayo; donde la precipitación media mensual máxima se da en el mes de abril (589.5 mm, Estación M-025) y un periodo de bajas precipitaciones que va desde junio hasta noviembre con un mínimo en el mes de agosto (10.4 mm, M-269). La mencionada variación se puede observar la Figura 6.

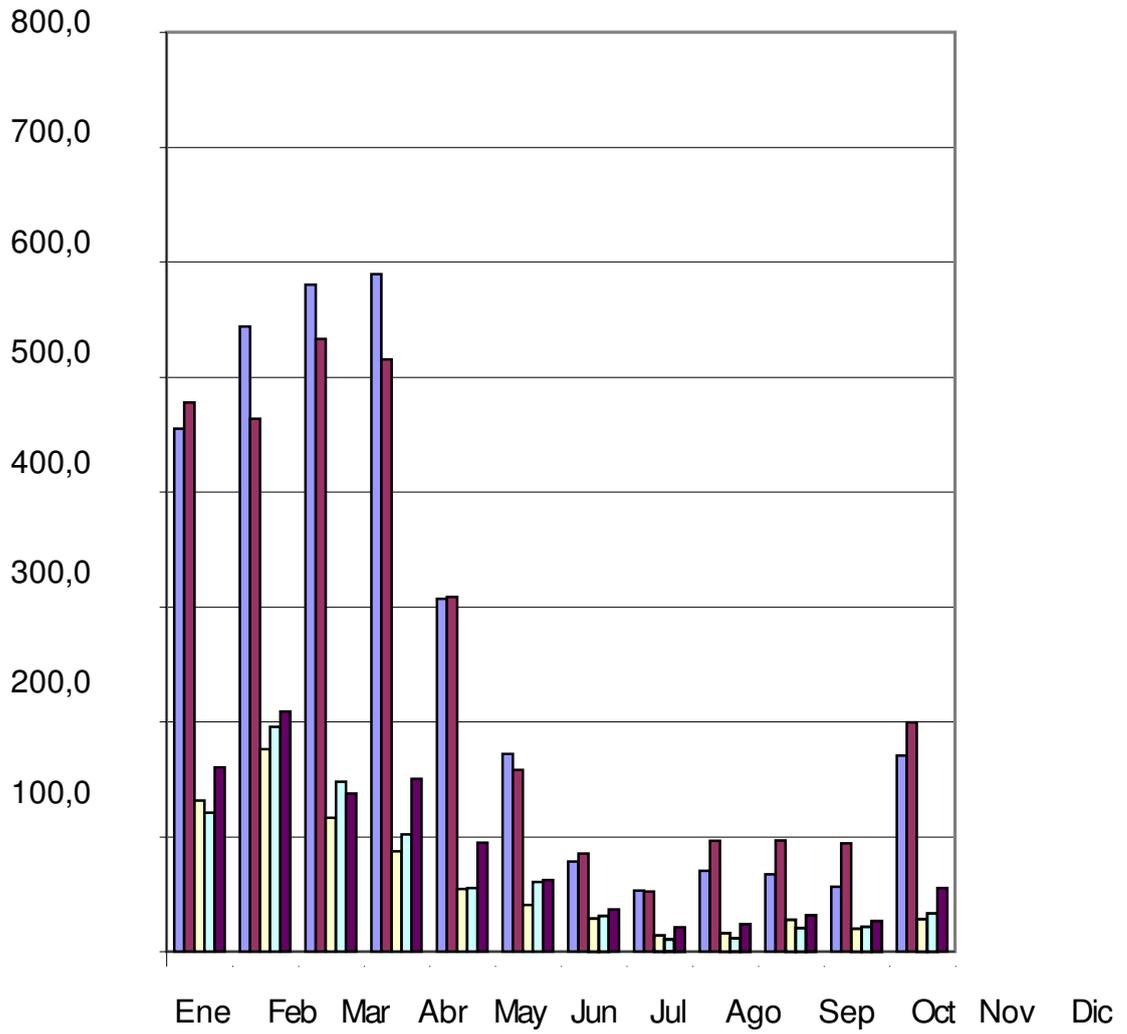


Figura. 6 Histogramas de Precipitación Media Mensual

Cuadro. 10 Precipitación mensual

CÓDIGO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
M-188	455.1	543.5	580.7	589.5	306.8	172.0	78.7	53.2	70.2	67.5	56.5	170.6
M-201	478.1	463.4	533.0	515.2	308.5	158.2	85.3	52.2	96.2	96.8	94.2	199.6
M-203	131.6	176.1	116.5	87.7	54.4	40.7	29.0	14.3	16.2	27.6	19.9	28.6
M-215	120.8	195.5	147.8	102.2	55.1	60.8	31.2	10.4	12.0	20.8	21.7	33.6
M441	160.7	209.1	137.5	150.4	94.6	62.5	36.7	21.2	23.9	31.8	26.7	55.3

Elaboración: ESINGECO, 2005

- Distribución Espacial de la Precipitación

Las estaciones pluviométricas cuya precipitación se puede considerar representativa de la zona de estudio, son las estaciones La Concordia (M-025), Santo Domingo Aeropuerto (M-027) y Esmeraldas Tachina (M-058).

- Dirección del Viento

Los datos de vientos se tomaron de un estudio de vientos SETN de 20 años del aeropuerto de Esmeraldas. Los datos se desarrollaron de acuerdo al *informe a.h. glenn - proyecto OCP Ecuador, Estudio Oceanográfico para el diseño de tuberías submarinas*. En general, los vientos prevalecientes en la costa de Ecuador son de sur a suroeste, variando entre 4 y 12 nudos (estudio SETN de 20 años en el aeropuerto de esmeraldas). En base a estos datos, los vientos más fuertes suceden en septiembre con doce nudos.

De enero a abril el viento tiene una velocidad promedio de 8.5 a 9.5 nudos, mientras que de mayo a diciembre promedia 10.1 a 11.8 nudos, amainando estos con el decaimiento de las precipitaciones (Estudio de Impacto Ambiental OCP - 2001).

El Terminal Marítimo Balao y Esmeraldas en la costa ecuatoriana están situados justo al norte del (a aproximadamente 1° N). Las corrientes son

bastante variadas cerca de la costa. Gradientes de presión a gran escala pueden combinarse con el viento para cambiar la dirección de flujo a lo largo de la costa (Estudio de Impacto Ambiental OCP - 2001).

El Fenómeno del niño es un calentamiento de la superficie del océano por encima del promedio anual en el Océano Pacífico tropical central y oriental. Sobre Indonesia, las precipitaciones se reducen mientras que las precipitaciones aumentan sobre el Océano Pacífico tropical. Los vientos superficiales de bajo nivel que normalmente soplan de este a oeste a lo largo del ecuador, en cambio se debilitan o, en algunos casos, comienzan a soplar en la otra dirección de oeste a este (Estudio de Impacto Ambiental OCP - 2001).

## **2.3. Bases Teóricas**

### ***2.3.1 La Prospección Geoelectrica Continua***

A continuación se presenta un resumen de los fundamentos teóricos y prácticos de la metodología de prospección geofísica a emplearse en el presente trabajo de investigación, conocido como Prospección Geo eléctrica Continua la cual se define como una metodología de prospección en la cual, para evaluar la resistividad del subsuelo, tanto lateral como en profundidad, se mantienen constantes las separaciones del arreglo de electrodos, dispuestos equidistantemente a lo largo del perfil de investigación (Giraldo Sánchez, H. F., & Sendoya Losada, D. F., 2016). Una vez disparada la corriente desde el punto central del perfil, en cada punto de medida (electrodo) se registra el gradiente de voltaje y la corriente a una distancia conocida y a una profundidad dada desde la superficie del terreno.

Con los datos registrados la descrita metodología se obtiene a lo largo y bajo el perfil de investigación, una sección o imagen subsuperficial bidimensional o tridimensional, que indica la variación de la resistividad aparente a diferentes distancias y profundidades.

El método de Prospección Geo eléctrica Continua es quizás la metodología de prospección geofísica más útil para evaluar a través de una sección (bajo el perfil de investigación), las condiciones y características de las diferentes capas y/o cuerpos de materiales que conforman el subsuelo (Rodríguez, 2018). Con la imagen bidimensional que se obtiene como resultado del procesamiento de la información de campo, es posible identificar y localizar tanto en extensión como en profundidad los diferentes estratos y/o cuerpos que conforman el subsuelo y determinar algunas de las características y condiciones geológicas y estructurales de los materiales que los conforman (Luna de Anda, 2015).

### **2.3.2 Ley de Ohm**

De acuerdo a la Ley de Ohm y el principio de continuidad para campos eléctricos estacionarios, la ecuación diferencial que rige la distribución bidimensional del potencial en un medio heterogéneo y anisotrópico está dada como:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{1}{\rho_x} \frac{\partial V}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \frac{1}{\rho_z} \frac{\partial V}{\partial z} \right] = -W$$

Ec. 1 Ecuación diferencial que rige la distribución bidimensional

Donde V es el potencial eléctrico, W es la descarga eléctrica por unidad de área y  $\rho_x$ ,  $\rho_z$  es el tensor de resistividad eléctrica (Nielsen, D. M.1991)

### 2.3.3 Resistividades reales de los diferentes sedimentos y rocas

En el siguiente cuadro 11 se presentan los valores de resistividad real típicos para algunas de las rocas y sedimentos saturadas o no con agua, y que se los encuentra con mayor frecuencia dentro de la corteza terrestre (Gómez, 2016).

Cuadro. 11. Resistividades de Sedimentos y Rocas

ROCAS O SEDIMENTOS	RESISTIVIDAD (Ohm)
Arcilla y limolita	2 – 15
Arena seca	>200
Arena saturada con agua dulce	20-150
Arena saturada con agua salobre	5 - 15
Arena saturada con agua salada	< 5
Grava saturada con agua dulce	50-300
Arenisca con agua dulce	30 - 50
Caliza porosa con agua dulce	< 500
Caliza compacta	> 500
Roca ígnea, volcánica o metamórfica fracturada saturada con agua dulce	200 - 1000
Roca ígnea, volcánica o metamórfica masiva	> 1000

Fuente: Gómez, S

### 2.3.4 Unidades Geológicas

**Unidad Macuchi** (E1E2) (PalEocM) (BGS-CODIGEM, 1993). [Cordillera Occidental]. Domina la geología de gran parte de la Cordillera Occidental; toma su nombre del pequeño pueblo de Macuchi en la ruta La Maná - Latacunga. Corresponde a una secuencia de arco submarino, volcánico-clástica, predominantemente sedimentaria, con volcánicos intercalados, posiblemente lavas u hojas subvolcánicas.

Litológicamente está compuesta por areniscas volcánicas de grano grueso, brechas, tobas, hialoclastitas, limolitas volcánicas, micro gabros/diabasas, basaltos sub porfiríticos, lavas en almohadillas y escasas calcarenitas. Geoquímicamente, la Unidad Macuchi muestra características definitivas de arco de islas y comprende basaltos a andesitas basálticas subalcalinos de afinidad toleítica a calco-alcalina con características geoquímicas relacionadas a subducción.

La evidencia paleontológica de la unidad es escasa pero la presencia de radiolarios del Eoceno temprano a medio y foraminíferos del Eoceno temprano ha sido reportada por Egüez (1986) en la sección tipo. Adicionalmente, silos de andesita basáltica que cortan la secuencia en la misma área han dado edades K/Ar de  $42 \pm 2$  y  $36 \pm 2$  Ma, y la unidad está intruida y localmente metamorfoseada por un grupo de plutones tipo I cuya edad varía de 35 a 14 Ma.

Consecuentemente, la Unidad Macuchi se considera que es del Eoceno temprano a medio o más antigua, y teniendo en cuenta que no se observa su base, es probable que parte de la secuencia sea de edad Paleocena. La mayor parte de las facies de la Unidad Macuchi son productos de actividad volcánica efusiva submarina, ya sean productos eruptivos o material retrabajado depositado por procesos de flujo de masas. La unidad se interpreta como un arco de islas encimático (Figueroa & Luis, 2019).

**Formación Borbón** (N2Bb) (PlioBb) (Stainforth, 1948) [Litoral]. La localidad tipo, está en el Río Santiago, en el este de la Provincia de Esmeraldas, junto a Borbón. En la base es un conglomerado que descansa discordantemente sobre las Formaciones Onzole y Playa Grande. Sigue luego una arenisca de grano grueso en bancos compactos con abundantes megafósiles en bolsones irregulares. Según los moluscos corresponde a una facies marina. Bristow, 1976, la considera equivalente a la Formación Progreso en el sur y piensa que es una unidad diacrona cuya edad varía según la posición relativa a la playa en la cuenca de sedimentación.

**Formación Balzar** (Plio QB) (Huacho, J., y Cevallos, L., 1979), Comprende una serie de conglomerados, arenas, limos y arcillas bien estratificadas, depositadas en aguas de poca profundidad. Esta unidad sobre yace a la Formación Borbón (Díaz 1999).

**Formación San Tadeo** (QST) (Longo R., y otros, 1978), cubre la mayor parte del área de estudio, se extiende desde San Bernabé al norte de la hoja Santo Domingo, hasta Pechiche al sur de la hoja Patricia Pilar. Consiste de piroclastos, conglomerados volcánicos y flujos de lodo que lubricados por corrientes de agua se deslizaron hacia la parte baja por los cauces de los ríos, rellenoando superficies preexistentes, hoy visibles por acción fluvial erosiva.

Los flujos de lodo están constituidos por fragmentos de lavas andesíticas. Esta secuencia estratigráfica, según SIERRA J. y WOLFF F. (2002), se trataría de una depositación sedimentaria diferente a la Formación San Tadeo.

### ***2.3.5 Tectónica***

Lo más destacable es la Cordillera de los Andes en sentido Norte-Noreste distribuida en bloques por las fallas geológicas en sentido Sur Oeste-Noreste de naturaleza transversa y dextral con representación litológica en la formación cretácica de Macuchi (Hidrogecol 2011).

El Toachi representa un lineamiento recto con sentido Noreste. En la figura 7 se presentan las fallas regionales del sector (Eguez et al., 2003)

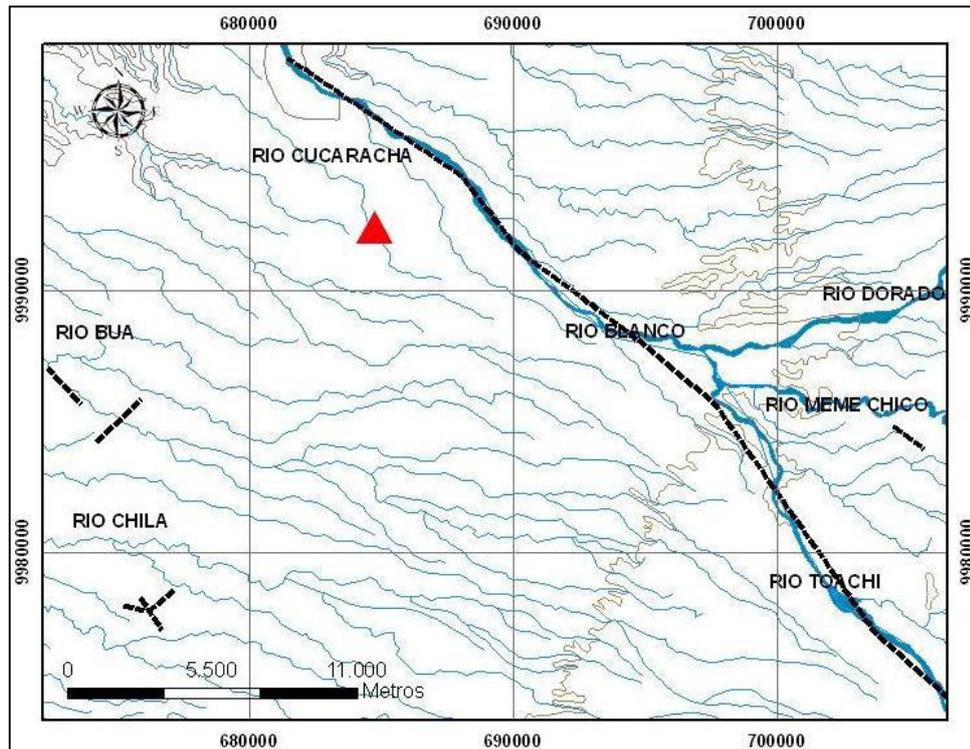


Figura. 7. Fallas región del proyecto

Fuente: Egúez 2003.

### 2.3.6 Geomorfología

Geomorfológicamente el área de estudio corresponde a la Cuenca del Esmeraldas, a la cual pertenece la subcuenca del Río Toachi. Se presentan a continuación tres tipos diversos de relieves geomorfológicos:

Entre los 700 y 1000 msnm. Zona de Montaña, ubicada hacia el Este en la cordillera occidental, en las estribaciones cuya característica son las pendientes fuertes y las agudas crestas.

Entre los 300 y 700 msnm, la llamada zona de lomas bajas y medias que se ubican en pequeños valles a lo largo de los ríos; su característica es la ondlada geomorfología y los escarpados erosionables.

En la figura 8 se muestra la llamada Zona Plana, que está extendida a lo largo de los ríos Peripa, Baba, Blanco y Congoma.

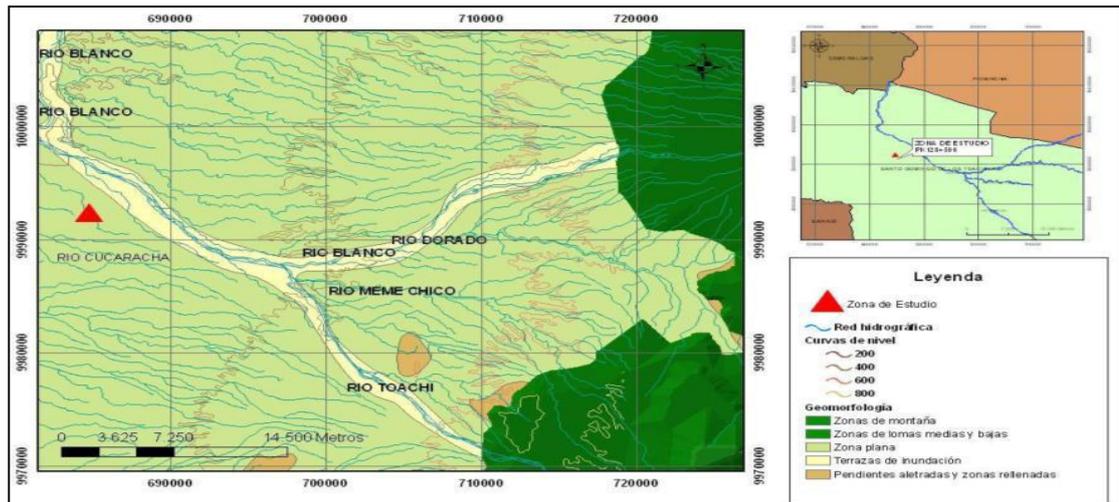


Figura. 8. Geomorfológicas

Fuente : Hidrogeocol Ecuador 2010

La presente investigación se ha desarrollado en base del cumplimiento de leyes nacionales, reglamentos y también de convenios internacionales los mismos están ilustrados en el cuadro 12.

### 2.3.7 Normativas

Cuadro. 12. Leyes, Reglamentos, Acuerdos, Decretos y Convenios Internacionales.

MARCO LEGAL	NOMBRE	REFERENCIA
LEY	Constitución de la República	Artículos: 14, 15, 57, 395, 396, 397,399, 411 Y 412.
	Ley de Gestión Ambiental	Art. 23, publicada en el Registro Oficial N° 245,30 de julio de 1999.
	Ley de Aguas	Decreto Supremo N° 369 R0J69 del 30 de mayo de 1972 y su Codificación 2004.016, publicada en el R.O. 339 del 20 de mayo de 2004. Artículos: 2 v 14
REGLAMENTOS	Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental, TULSMA	Libro VI de la Calidad Ambiental, Anexos 1, 2, 3, 4, 5 Y 6; relativos a la normativa de calidad ambiental por recursos agua, suelo, aire, así como el manejo de residuos sólidos no peligrosos y contaminación por ruido, Título 11 de Políticas Nacionales de Residuos Sólidos, Título V del Reglamento para la Prevención y Control por Desechos Peligrosos, Título VI del Reglamento Nacional para la Gestión de Productos Químicos Peligrosos.
	Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador. RAOHE	Normas para el Almacenamiento, Transporte y Comercialización del Petróleo y sus derivados; en lo que aplica a almacenamiento de combustible para ESC.
	Reglamento general para la aplicación de la Ley de Aguas	Decreto Supremo 40 publicado en el R.O. 233, 26-1-1973 y reformas.
	Reglamento de Participación Social	Decreto 1040: Reglamento de aplicación de los mecanismos de Participación Social en la Ley de Gestión Ambiental, 22 de abril de 2008.
NORMAS	INEN	NTE INEN 2266:2000 para Manejo, Almacenamiento y Transporte de Productos Químicos Peligrosos Sección 6. NTE INEN 2288:2000 Etiquetado de Productos Químicos INTE INEN 439 -1984; norma técnica ecuatoriana colores señales y símbolos de seguridad.

MARCO LEGAL	NOMBRE	REFERENCIA
CONCESIONES	CNRH, Concejo Nacional de Recursos Hídricos	Concesión de derecho de aprovechamiento de agua natural de pozo perforado.
PERMISOS	Ministerio de Salud Publica	Orgánica de Salud 2006. Ley 67.Registro Oficial Suplemento 423 del 22 de diciembre de 2006
	Cuerpo de Bomberos	Reglamento del Cuerpo de Bomberos
LEYES SOCIO-AMBIENTALES RELEVANTES	Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA.	Publicada el 31 de marzo de 2003 en la Edición Especial No. 2 del Registro Oficial por Decreto Presidencial No. 3516 que consta de nueve libros: I. De la Autoridad Ambiental; II De la Gestión ambiental; III. Del Régimen Forestal; IV. De la Biodiversidad; V. De los Recursos Costeros; VI. De la Calidad Ambiental; VII. Del Régimen Especial: Galápagos; VIII. Del Instituto para Eco desarrollo Regional Amazónico, ECORAE; IX. Del Sistema de Derechos o Tasas por los Servicios que presta el Ministerio del Ambiente y por el uso y aprovechamiento de bienes nacionales que se encuentran bajo su cargo.
	Ley no. 37. Ro/ 245 de 30 de julio de 1999. Ley de Gestión Ambiental	Establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.
	Codificación de la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre	En atención a que por disposición de los Artículos 1 y 2 del Decreto Ejecutivo No. 505 expedido el 22 de Enero de 1999 y publicado en el Registro Oficial No. 118 del 28 de Enero de 1999, se fusionó el INEFAN al Ministerio del Medio Ambiente; y, además la Disposición Transitoria Primera de la Ley de Participación Ciudadana expresa que: "las facultades, atribuciones y funciones asignadas al Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales y Vida Silvestre.
	Decreto supremo no. 374. Ro/ 97 de 31 de Mayo de 1976. Ley de Prevención y Control de Contaminación.	Decreto Supremo No. 374. RO/ 97 de 31 de Mayo de 1976. Nota: Capítulos I, II, III y IV, con sus respectivos artículos del 1 al 10, derogados por Ley No. 37, Disposición General Segunda publicada en Registro Oficial 245 de 30 de Julio de 1999.
	Normativas Forestales Acuerdo no. 37 del Ministerio del Ambiente -	Establecimiento del procedimiento administrativo para autorizar el aprovechamiento sustentable de los recursos.

## 2.4. Marco Conceptual.

### ***2.4.1 Marco teórico conceptual para la evaluación del riesgo ambiental***

#### RIESGO AMBIENTAL

El riesgo ambiental se puede definir como la "amenaza real o potencial de efectos adversos sobre los organismos vivos y el medio ambiente por efluentes, emisiones, desechos, agotamiento de recursos, etc., inducida por las actividades de una organización". El riesgo ambiental se relaciona con una exposición ambiental, ya sea física, química, o biológica que puede inducir una respuesta dañina y afectar el suelo, el agua, el aire, los recursos naturales o ecosistemas enteros, así como las plantas y animales, incluidos los humanos, y los alrededores donde viven («Crawford GTS - Environmental Risk Defined», 2019).

#### ESCENARIO DE EXPOSICIÓN

Este escenario corresponde al área física que incluye el área geográfica en riesgo. El escenario es la trayectoria que sigue un contaminante a partir de la fuente de emisión hasta el cuerpo receptor expuesto potencialmente (Carles, 2017).

#### POSIBILIDAD DE OCURRENCIA

Probabilidad de que un fenómeno acontezca en un lapso determinado (*Cap8\_se\_el\_inga.pdf*, s. f.).

## CONSECUENCIA

Prejuicio o daño ocasionado por el descuido en un riesgo de un entorno (Figuroa., Ysabel Montalvo 2011).

## EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL

El riesgo se define ampliamente como la probabilidad de que ocurra una consecuencia nociva como resultado de una acción o condición. Implica la evaluación combinada de los riesgos y la exposición. La evaluación de riesgos ambientales se ocupa de las interacciones de agentes o peligros, humanos y recursos ecológicos, describe recursos ecológicos, poblaciones humanas; analiza potencial de exposición y agentes, define incertidumbres y caracteriza el potencial de efectos adversos (Montalvo Figuroa & Luque, 2011).

### ***2.4.2 Guía matricial de riesgos ambientales***

Establece un modelo estandarizado en base a la NORMA UNE 150008 2008- EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES (que es con la que se trabajó la presente tesis) Ver detalle en la figura 9.

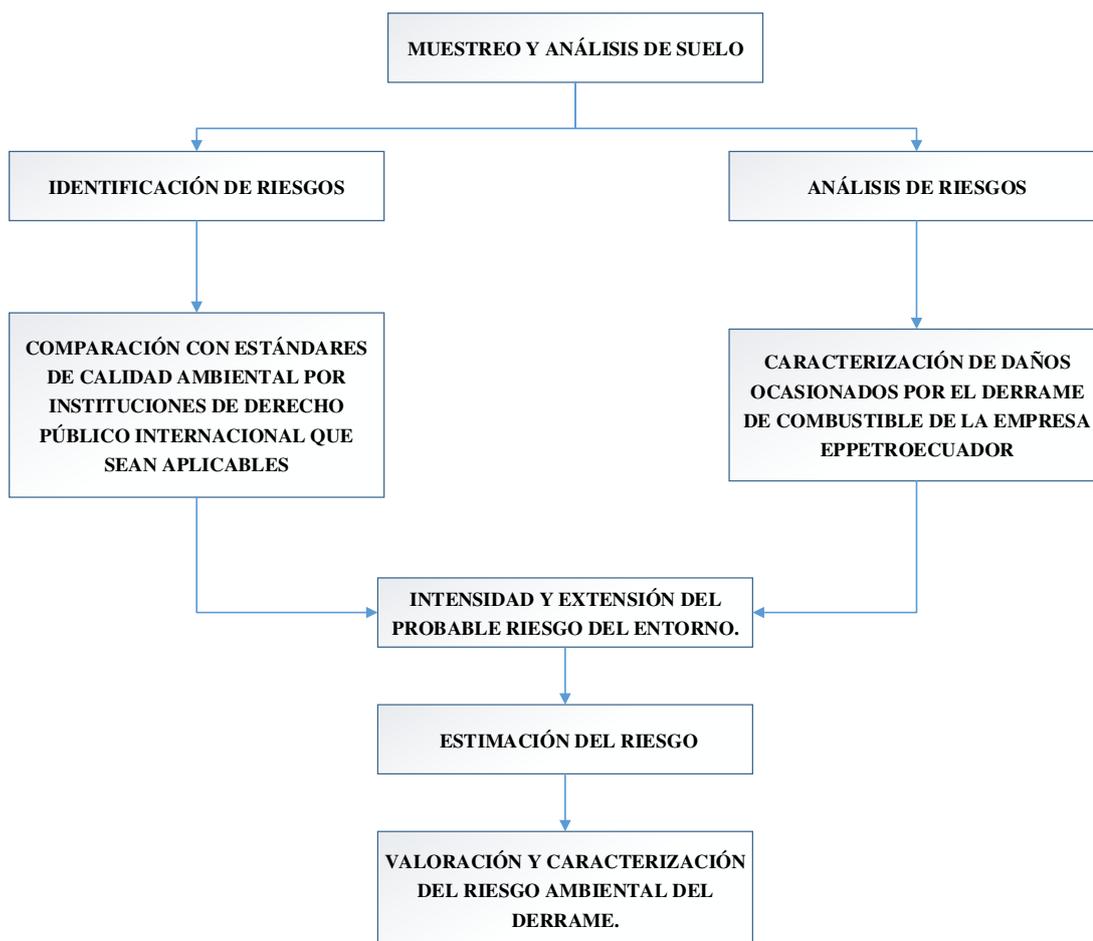


Figura. 9. Metodología de Análisis de Riesgos Ambientales

### 2.4.3 Análisis de riesgos ambientales

Se han de recoger todos los datos de campo que se requieran para la ejecución de la evaluación correspondiente como se detalla en los cuadros 13 y 14.

Cuadro. 13. Identificación típica de fuentes de peligro

CAUSAS		
Humano	Natural	Socioeconómico
<p>Ámbito organizativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Errores humanos;</li> <li>▪ Sistemas de Gestión</li> <li>▪ Condiciones ambientales</li> <li>▪ Esporádica capacitación del personal técnico y auxiliar de la empresa, organización o entidad gubernamental.</li> </ul> <p>Instalaciones y actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manipulación de combustibles;</li> <li>▪ Generación de residuos sólidos;</li> <li>▪ Generación de efluentes;</li> <li>▪ Deficiente nivel de medidas de seguridad</li> <li>▪ Deficiente calidad de tratamiento de Aguas residuales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tala indiscriminada de especies forestales;</li> <li>▪ Alteración del paisaje natural</li> <li>▪ Manejo inapropiado de los recursos hídricos;</li> <li>▪ Intensificación del uso de maquinaria agrícola y pesada;</li> <li>▪ Uso excesivo de plaguicidas a base de arsénico y otros;</li> <li>▪ Uso excesivo de sustancias contaminantes;</li> <li>▪ Incremento de más industrias extractoras en zonas reservadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajo nivel de ingresos que cubre necesidades básicas;</li> <li>▪ Baja oferta laboral;</li> <li>▪ Deficiente nivel organizacional;</li> <li>▪ Baja participación de la población en trabajos comunales en post del restablecimiento turístico de la zona (pérdida de ingresos);</li> <li>▪ Escasa área urbana para habitabilidad, tienden a expandirse en zonas de riesgo, posteriormente esto representa un alto costo para la autoridad local;</li> <li>▪ Proceso migratorio de zonas rurales a zonas urbanas.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Escaso conocimiento sobre la ocurrencia de desastres naturales;</li> <li>▪ Falta de actitud frente a la ocurrencia de desastres naturales;</li> <li>▪ Construcción de viviendas cercanas a zonas ribereñas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Incremento de siembra de monocultivo deteriorando el suelo y cambiando su estructura forestales, consecuentemente se tiene un aumento de taladores informales;</li> <li>▪ Incremento de fauna nociva (caso de la Langosta migratoria entre el 2000 y 2002 zona norte del país).</li> <li>▪ Incremento de fauna desconocida que afecta a otras especies de la zona.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aprovechamiento de bancadas de arena en zonas ribereñas;</li> <li>▪ Aprovechamiento de los recursos naturales indiscriminadamente</li> </ul>

Fuente: Archivo bibliográfico del autor

Cuadro. 14. Definición de fuentes de peligro

Tipología de peligro	Causa		Geo												
	Hidrometeorológica														
	Sustancia	Tipo	Peligrosidad												
Antrópico	MP	R	Mi	Mt	li	Exp	Inf	Cor	Com	Otro	Volumen	Interior Tierra (1)	Superficie Tierra (2)	Hidrológico Meteorológico (3)	Intensidad

Fuente: Norma UNE 150008

Explicación: Causas Físico Química:(Comprende sustancias por su clasificación) MP = Materia Prima, R = Residuo, Mi = Muy inflamable, Mt = Muy tóxico, li = Irreversible inmediato, Exp = Explosiva, Inf = Inflamable, Cor = Corrosivo y Com = Combustible. Causa Geo Hidrometeorológica:(Comprende eventos naturales)

- (1) Sismo, maremoto, actividad volcánica
- (2) Deslizamiento, aluvión, derrumbe, alud, erosión
- (3) Inundación, viento, lluvia, sequía

#### 2.4.4 Estimación de la probabilidad

Se pondera cada escenario (pluma de contaminación) con una probabilidad de ocurrencia según la escala, véase el cuadro 15.

Cuadro. 15. Estimación de probabilidad

Valor	Probabilidad	
5	Muy probable	< una vez a la semana
4	Altamente probable	> una vez a la semana y < una vez al mes
3	Probable	> una vez al mes y < una vez al año
2	Posible	> una vez al año y < una vez cada 05 años
1	Poco probable	> una vez cada 5 años

Fuente: Norma UNE 150008

Se pondera cada escenario (pluma de contaminación) con un grado de gravedad de riesgo según la escala, véase el cuadro 16.

Cuadro. 16. Escala de estimación de consecuencias

Gravedad	Límites del entorno	Vulnerabilidad
Ent. Nat	= Cant + 2 peligrosidad + ext	+ Cal. medio
Ent. Hum	= Cant + 2 peligrosidad + ext	+ Pob. afectada
Ent. Socioec	= Cant + 2 peligrosidad + ext	+ Patrim- cap prod.

Cantidad: sustancia emitida al entorno medida en unidades de volumen de combustible derramado.

Peligrosidad: Es la propiedad o aptitud intrínseca de la sustancia para impactar nocivamente el entorno.

Extensión: Influencia en el entorno

Calidad del medio: Determinada por el impacto en el medio y su probable reversión.

Población afectada: Número de individuos perjudicados.

Patrimonio y capital productivo: Ponderación del patrimonio económico y social

La valoración conduce a establecer rangos definidos, según lo mostrado en los cuadros 17 al 20.

*Cuadro. 17. Rangos de los límites de los entornos*

SOBRE EL ENTORNO HUMANO				
Valor	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Población afectada
4	Muy alta	Muy peligrosa	Muy extenso	Muy Alto
3	Alta	Peligrosa	Extenso	Alto
2	Poca	Poco peligrosa	Poco extenso (Emplazamiento)	Bajo
1	Muy poca	No peligrosa	Puntual (Área afectada)	Muy bajo
SOBRE EL ENTORNO NATURAL				
Valor	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Población afectada
4	Muy alta	Muy peligrosa	Muy extenso	Muy elevada
3	Alta	Peligrosa	Extenso	Elevada
2	Poca	Poco peligrosa	Poco extenso (Emplazamiento)	Media
1	Muy poca	No peligrosa	Puntual (Área afectada)	Baja
SOBRE EL ENTORNO SOCIOECONOMICO				
Valor	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Población afectada
4	Muy alta	Muy peligrosa	Muy extenso	Muy Alto
3	Alta	Peligrosa	Extenso	Alto
2	Poca	Poco peligrosa	Poco extenso (Emplazamiento)	Bajo
1	Muy poca	No peligrosa	Puntual (área afectada)	Muy bajo

*Fuente: Norma UNE 150008*

Cuadro. 18. Valoración de consecuencias (entorno humano)

Cantidad (Según ERA)(Tn)			Peligrosidad (Según caracterización)		
4	Muy alta	Mayor a 500	4	Muy Peligrosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy inflamable</li> <li>• Muy tóxica</li> <li>• Causa efectos irreversibles inmediatos</li> </ul>
3	Alta	50 – 500	3	Peligrosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explosiva</li> <li>• Inflamable</li> <li>• Corrosiva</li> </ul>
2	Poca	5 – 49	2	Poco peligrosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combustible</li> </ul>
1	Muy poca	Menor a 5	1	No peligrosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños leves y reversibles</li> </ul>
Extensión (Km)			Población afectada (personas)		
4	Muy extenso	Radio mayor a 1 km.	4	Muy Alto	Más de 100
3	Extenso	Radio hasta 1 Km.	3	Alto	Entre 50 y 100
2	Poco extenso	Radio menos a 0.5 Km. (zona emplazada)	2	Bajo	Entre 5 y 50
1	Puntual	Área afectada (zona delimitada)	1	Muy bajo	< 5 personas

Fuente: Norma UNE 150008

Cuadro. 19. Valoración de entorno ecológico

Cantidad (Según ERA)(Tn)			Peligrosidad (Según caracterización)		
4	Muy Alta	Mayor a 500	4	Muy Peligrosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy inflamable</li> <li>• Muy tóxica</li> <li>• Causa efectos irreversibles inmediatos</li> </ul>
3	Alta	50 – 500	3	Peligrosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explosiva</li> <li>• Inflamable</li> <li>• Corrosiva</li> </ul>
2	Muy Poca	5 – 49	2	Poco peligrosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combustible</li> </ul>
1	Poca	Menor a 5	1	No peligrosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños leves y reversibles</li> </ul>
Extensión (m)			Calidad del medio		
4	Muy extensor	Radio mayor a 1 km.	4	Muy elevada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños muy altos: Explotación indiscriminada de RRNN, y existe un nivel de contaminación alto</li> </ul>
3	Extenso	Radio hasta 1 Km.	3	Elevada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños altos: Alto nivel de explotación de RRNN y existe un nivel de contaminación moderado</li> </ul>
2	Poco extensor	Radio menos a 0.5 Km. (zona emplazada)	2	Media	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños moderados: Nivel moderado de explotación de RRNN y existe un nivel de contaminación leve</li> </ul>
1	Puntual	Área afectada (zona delimitada)	1	Baja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños leves: conservación de los RRNN, y no existe contaminación</li> </ul>

Fuente: Norma UNE 150008

Cuadro. 20. Valoración entorno socioeconómico

Cantidad			Peligrosidad		
4	Muy Alta	Mayor a 500	4	Muy Peligrosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy inflamable</li> <li>• Muy tóxica</li> <li>• Causa efectos irreversibles inmediatos</li> </ul>
3	Alta	50 – 500	3	Peligrosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explosiva</li> <li>• Inflamable</li> <li>• Corrosiva</li> </ul>
2	Muy Poca	5 – 49	2	Poco peligrosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combustible</li> </ul>
1	Poca	Menor a 5	1	No peligrosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños leves y reversibles</li> </ul>
Extensión (m)			Patrimonio y capital productivo		
4	Muy extensor	Radio mayor a 1 km.	4	Muy Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Letal: Pérdida del 100% del cuerpo receptor. Se aplica en los casos en que se prevé la pérdida total del receptor. Sin productividad y nula distribución de recursos</li> </ul>
3	Extenso	Radio hasta 1 Km.	3	Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agudo: Pérdida del 50% del receptor. Cuando el resultado prevé efecto agudo y en los casos de una pérdida parcial pero intensa del receptor. Escasamente productiva</li> </ul>
2	Poco extensor	Radio menos a 0.5 Km. (zona emplazada)	2	Bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crónico: Pérdida de entre el 10% y 20% del receptor. Los efectos a largo plazo implican pérdida de funciones que puede hacerse equivalente a ese rango de pérdida del receptor, también se aplica en los casos de escasas pérdidas directas del receptor. Medianamente productiva</li> </ul>
1	Puntual	Área afectada (zona delimitada)	1	Muy bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de entre el 1% y 2% del receptor. Esta se puede clasificar los escenarios que producen efectos pero difícilmente medido o evaluados, sobre el receptor. Alta productividad</li> </ul>

Fuente: Norma UNE 150008

Finalmente, para cada escenario, se asigna una ponderación en escala de 1 a 5, según el nivel de gravedad de las consecuencias en cada uno de los entornos, véase cuadro 21.

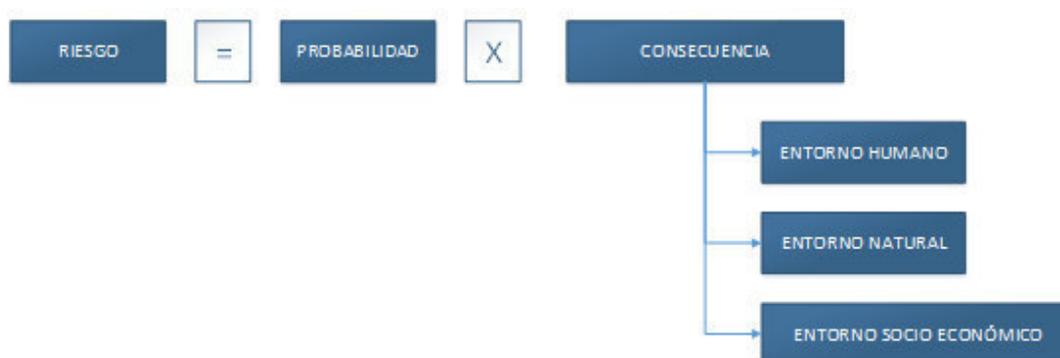
*Cuadro. 21 Escala de escenarios*

VALOR	VALORACIÓN	VALOR ASIGNADO
Crítico	20 – 18	5
Grave	17 – 15	4
Moderado	14 – 11	3
Leve	10 – 8	2
No relevante	7 – 5	1

*Fuente: Norma UNE 150008*

#### **2.4.5 Estimación del riesgo ambiental**

El producto de entre la gravedad y la probabilidad de las consecuencias citadas facilita la ponderación del riesgo ambiental. Dicho riesgo se estima para los entornos analizados: socioeconómicos, humanos y naturales; véase la figura 10.



*Figura. 10. Estimación del riesgo ambiental*





o bajos, y de allí identificar aquellos que habrían de eliminarse o en su caso reducirse. Los riesgos altos son considerados como críticos.

*Cuadro. 24 Establecimiento del riesgo alto en la escala de evaluación de riesgo ambiental*

		Valor Matricial	Equivalencia Porcentual (%)	Promedio (%)	
	Riesgo Leve	1-5	1-20	10,5	RIESGO ALTO
	Riesgo Moderado	6-15	24-60	42	
	Riesgo Significativo	16-25	64-100	82	



*Fuente: Norma UNE 150008*

#### **2.4.7 Caracterización del riesgo ambiental**

Se pondera alrededor de los tres entornos: socioeconómico, humano y natural y, promediando cada uno en función del porcentaje, luego de lo cual se realiza la media y sumatoria de dichos entornos arrojando los criterios: Riesgo Significativo, Moderado o Leve

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Hipótesis General**

Las características del sistema biótico y abiótico están alterados debido a La contaminación de los derrames ocasionados en el poliducto de “EPPETROECUADOR, un modelo de riesgos ambientales será fiable para prevenir que los entornos se ambientales se deterioren.

#### **3.2 Hipótesis Específicas**

Es posible caracterizar los entornos ambientales contaminados del emplazamiento en el cantón la Concordia mediante prospección geoeléctrica en la zona de influencia donde se suscitó el derrame de hidrocarburos

Evaluar los indicadores de los entornos socioeconómico, antropogénico y ecológico del Cantón la Concordia permite desarrollar un modelo de evaluación de riesgos ambientales.

Mediante la modelización cualitativa de riesgos ambientales se puede reducir y prevenir los riesgos ambientales e implementar las técnicas de remediación más efectivas

### **3.3 Operacionalización de variables**

Factor: Caracterización del suelo mediante prospectiva geoelectrica continua.  
Variable respuesta: Modelo de evaluación de Riesgos Ambientales.

En base a la operacionalización de variables cuadros 25 y 26 se elaboró la Modelación de Riesgos Ambientales.

Cuadro. 25. Operacionalización de variables

Variable	Concepto	Categoría	Indicador	Instrumento	Método
Independiente Caracterización del suelo mediante prospectiva geoelectrica continua.	Método que determina la respuesta del subsuelo a través del análisis de la diferencia de potencial aplicada por un campo eléctrico al cual es sometido el suelo.	Ciencias de la tierra y estadísticas.	Resistividad del suelo.	Inventario de parámetros multidimensionales. Escala	Observación estructurada
Dependiente Modelo de riesgos ambientales.	Esquema cualitativa de interpretación de riesgos ambientales	Entornos Ambientales	Humano Ecológica Socioeconómico	Inventario	Observación estructurada
Intervinientes Historial de derrames Manipulación personal técnico	Parámetros antropogénicos que aunque no se toman en cuenta en el análisis estadístico, su exclusión sesga la investigación	Entorno humano	Historial Error técnico de los operadores del poliducto de productos limpios	Inventario	Búsqueda bibliográfica

### 3.4 Matriz de consistencia

Cuadro. 26. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
<p>Problema General</p> <p>¿Cuál es el modelo que caracteriza los riesgos ambientales subyacentes, debido al derrame de combustibles por la operación del poliducto de PETROECUADOR?</p> <p>2. Problemas específicos</p> <p>¿Cuáles son las características de los sistemas biótico y abiótico en el emplazamiento del cantón la Concordia en la zona de influencia donde se suscitó el derrame de hidrocarburos?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuáles son las características ambientales de los entornos humano, ecológico y socioeconómico del Cantón la Concordia?</li> <li>• ¿Cómo determinar un modelo de evaluación de Riesgos Ambientales fiable para el transporte de combustibles del poliducto de “EPPETROECUADOR” ?</li> </ul>	<p>Objetivo General</p> <p>Establecer un modelo de caracterización de los riesgos ambientales ocasionados por el derrame de combustibles</p> <p>2. Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterizar los sistemas biótico y abiótico del cantón la Concordia en la zona de influencia donde se suscitó el derrame</li> <li>• Evaluar los indicadores socioeconómico, antropogénico y ecológico del Cantón la Concordia.</li> <li>• Desarrollar un Modelo de evaluación de Riesgos Ambientales fiable para el transporte de combustibles del poliducto de la “EPPETROECUADOR”.</li> </ul>	<p>Hipótesis General</p> <p>Las características del sistema biótico y abiótico están alterados debido a La contaminación de los derrames ocasionados en el poliducto de “EPPETROECUADOR, un modelo de riesgos ambientales será fiable para prevenir que los entornos se ambientales se deterioren de “EPPETROECUADOR”</p> <p>El modelo de evaluación será fiable para prevenir los riesgos ambientales en el Poliducto Esmeraldas- Santo Domingo de los Tsáchilas.</p> <p>.2. Hipótesis específicas:</p> <p>Es posible caracterizar los entornos ambientales contaminados del emplazamiento en el cantón la Concordia mediante prospección geoelectrica en la zona de influencia donde se suscitó el derrame de hidrocarburos.</p> <p>Se deben determinar las características ambientales de los entornos humano, ecológico y socioeconómico del Cantón la Concordia para desarrollar un modelo de evaluación de riesgos ambientales.</p> <p>Mediante la Modelización de Riesgos Ambientales se puede reducir y prevenir los riesgos ambientales e implementar las técnicas de remediación más efectivas</p>	<p>El estudio propuesto es <b>aplicado</b> a las ciencias ambientales; de diseño experimental.</p> <p>2. Nivel de la investigación</p> <p>Exploratorio, descriptivo, explicativo y predictivo con diseño longitudinal se realizó mediciones en varias etapas.</p> <p>3. Metodo de investigación</p> <p>El método científico estará presente en todo el desarrollo del trabajo experimental.</p> <p>Analítico-Sintético.</p> <p>Métodos de la lógica de investigación: Prospectiva geoelectrica continua.</p> <p>Métodos estadísticos de análisis de resultados.</p> <p>4. Enfoque de la investigación</p> <p>Mixto: cualitativo y cuantitativo.</p> <p>5 Temporalidad de la investigación</p> <p>El estudio tiene una temporalidad longitudinal, se compilarán datos a través de diferentes momentos de la investigación.</p> <p>7. Población</p> <p>La población corresponde a 8 puntos potenciales de monitoreo.</p> <p>8.Tamaño muestral</p> <p>Corresponde a los 8 puntos de monitoreo.</p> <p>9.</p>

### **3.5 Procedimiento de investigación**

#### ***3.5.1 Tipo y Diseño de Investigación***

Tipo de investigación: Aplicada a las Ciencias Ambientales; diseño: no experimental, niveles exploratorio, descriptivo, explicativo y predictivo.

#### ***3.5.2 Unidad de análisis***

Nivel de resistividad del suelo

#### ***3.5.3 Población de estudio***

Indeterminada

#### ***3.5.4 Tamaño muestral***

19 puntos de monitoreo de suelo y agua en el área de contaminación por derrame de hidrocarburos.

### **3.5.5 Selección de la muestra**

Al ser el presente un estudio de diseño experimental se eligieron los puntos aleatoriamente.

### **3.5.6 Técnicas de recolección de datos**

Observación estructurada

Inventario

## **3.6 Lógica de la investigación (metodología Per Se)**

La ubicación y el levantamiento de los ocho (8) perfiles de “Prospección de Geoeléctrica Continua” en el área de estudio, obedeció a la necesidad de conocer en profundidad las configuraciones estratigráficas de los materiales existentes en el subsuelo.

Para la ubicación de perfiles se tuvo en cuenta el criterio de los técnicos de EP PETROECUADOR, además de lo concerniente al espaciamiento y profundidad de la prospección. Los perfiles se emplazaron siguiendo un arreglo geométrico en el sector de interés asociado a las posibles rutas de migración del hidrocarburo producidas por el derrame.

Una vez ubicados los ocho (8) perfiles, 36 perforaciones exploratorias y los 19 puntos de monitoreo para la caracterización físico química de las aguas subterráneas como también los suelos, se procedió a seleccionar la separación de los 56 electrodos de corriente, para identificar el espesor de los materiales presentes, a partir del contraste de los valores de resistividad por ellas reflejadas, logrando alcanzar una profundidad de investigación que oscila entre 37 m y 84 m aproximadamente.

Para la adquisición de la información de campo se empleó un equipo de resistividad digital de alta resolución y precisión, marca Super/Sting™ R8 IP, un instrumento automático multielectrodo de 8 canales, con 200 watts de potencia y voltaje de salida hasta de 800 V, con cableado de 8 secciones de 162 m. de longitud y 7 sensores separados uno de otro una distancia de 20.25 m., los cuales se amarran a igual número de electrodos de corriente. El equipo fue construido por la firma Advanced Geoscience, Inc. Geophysical Instruments (Austin, Texas-USA).

El procesamiento de la información fue realizado utilizando el programa computacional EarthImager 2D v.2.0. (2009) distribuido igualmente por la anterior firma, con licencia de uso para HIDROGEOCOL Cía. Ltda., generando para cada perfil de investigación las respectivas imágenes en 2D.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Análisis, Interpretación y Discusión

Se incluye el resultado de la Interpretación del Perfil de Geoelectrónica Continua L1.

El **perfil L1** siendo el más extenso, se ubicó sobre la principal península hacia el Noreste del derrame. Este perfil se muestra en la figura 11, levantando la parte central del área de estudio en una dirección NE-SW y con una longitud de 450 m.

Contiene un espaciamiento de electrodos cada 8.5 m, logrando una profundidad de investigación de aproximadamente 105 m. El Error Medio Porcentual (con sus siglas en ingles RMS) es bajo, del orden de 2.03%, y por consiguiente los resultados de la interpretación se consideran confiables. El electrodo No.1 se sitúa en el extremo Sur Occidental de la línea que corresponde a la parte topográfica baja (lado izquierdo de la imagen) y el No.56 en el extremo Nororiental equivalente a la topografía más alta (lado derecho de la imagen).

El modelo geológico-geoelectrico interpretado que se muestra en la parte inferior de las imágenes Figura 11, muestra un rango de resistividades entre 53 a 1415 (Ohm-m), presentado tres gamas de colores.

Resistividades entre rangos entre 53 a 197 (Ohm-m), que corresponden a las tonalidades o gama de colores azul hacia celeste, dominan todo el perfil a partir de los 260 m de elevación. Los tonos azul intenso forman una especie de lentes y en la parte central a partir de 207 a 428 m se forma el lente más extenso. Este rango de resistividades correspondería a secuencias limo arenosas y los lentes a zonas saturadas o con gran contenido de humedad.

Las tonalidades verdes hacia amarillo representan resistividades entre 107 a 535 (Ohm-m) y cubren totalmente a las tonalidades de color azul, este rango de resistividades corresponde a limos de alta plasticidad difundidos en la mayor parte del área de estudio. La tonalidad marrón a roja que se encuentran dentro de las tonalidades verdes y representan a un material denso y/o seco. Estas resistividades de tonalidades verdes a marrones muestran espesores entre 10 a 26 m.

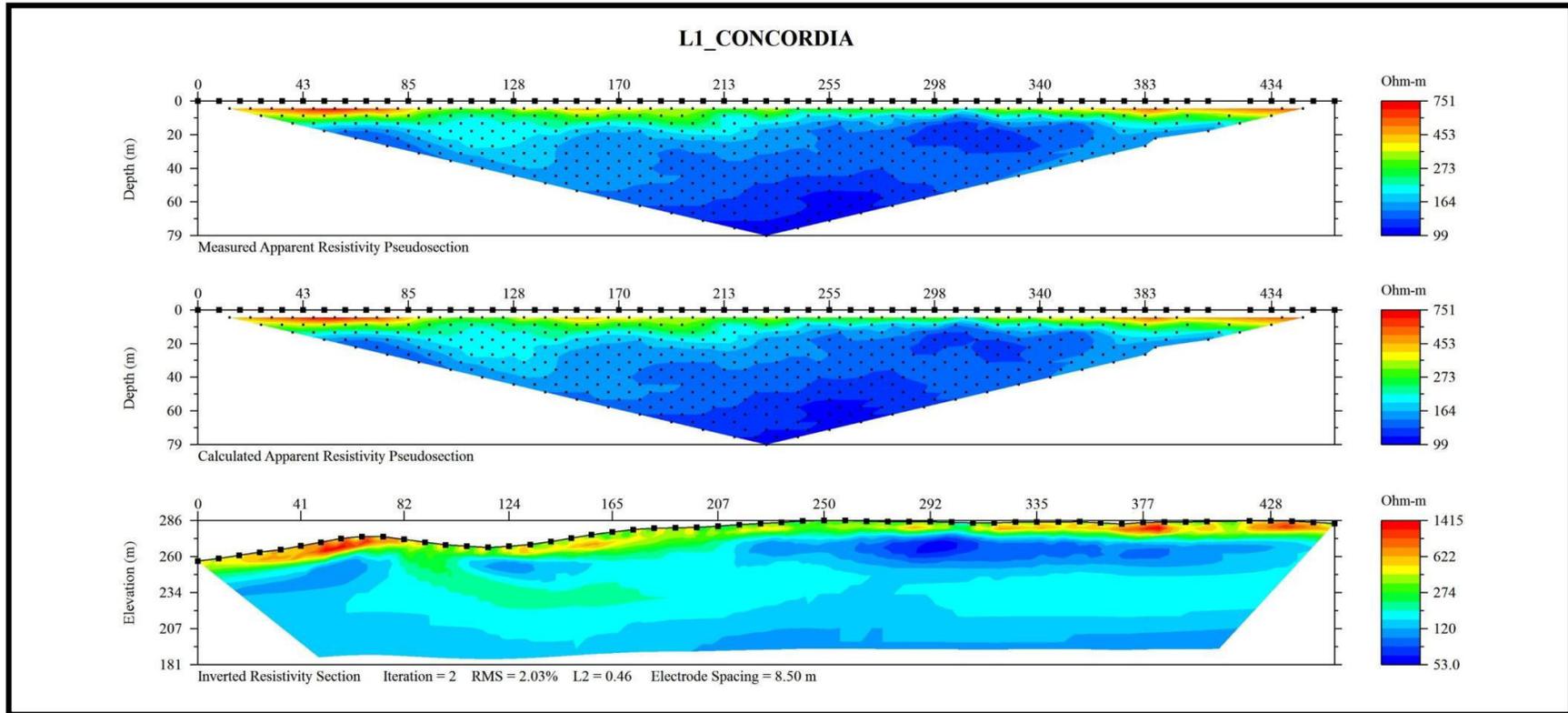


Figura. 11. Imagen de resistividad calicata geolétrica L1

Elaborado por: Hidrogeocol Ecuador Cía. Ltda.

Resultado de la Interpretación del Perfil de Geoelectrica Continua L2.

El **perfil L2** se situó sobre la ladera más cercana al punto de derrame, primeros afloramientos y paralelo al trazado del poliducto. Este perfil de 300 m., forma una perpendicular a la previa L1 con una dirección Noreste.

Contiene un espaciamiento de electrodos cada 5.5 m, logrando una profundidad de investigación de aproximadamente 59.0 m. El Error Medio Porcentual (RMS) es bajo, del orden de 2.59%, y por consiguiente los resultados de la interpretación se consideran confiables. Este perfil muestra una topografía relativamente plana, el primer electrodo se ubicó en el Sureste y el electrodo 56 se ubicó hacia el Noroeste del perfil.

El modelo geológico-geoeléctrico interpretado que se muestra en la parte inferior de las imágenes muestra un rango de resistividades entre 98 a 1400 (Ohm-m), presentado tres gamas de colores de la misma forma que en el perfil L1.

Hasta la profundidad investigada los rangos de resistividades de color azul dominan el perfil a partir de 271 m de elevación. Es también evidente la formación de lentes con tonalidades azul oscuro. Los rangos de resistividades de las gamas de color azul figura 12, se encuentran entre 98 a 237.5 (Ohm-m).

Rangos de resistividades entre 237.5 a 546 (Ohm-m) que en el perfil L2 son representados por las tonalidades verdes figura 12 representan el material de cobertura y asociado a limos arcillosos de color marrón que dominan el área. El espesor estimado de este rango de resistividades se encuentra entre 15 a 10 m.

Las resistividades con tonos marrones a rojos se encuentran en los rangos de resistividades más altos de 546 a 1400 (Ohm-m). Estas resistividades altas son asociadas a materiales secos y densos.

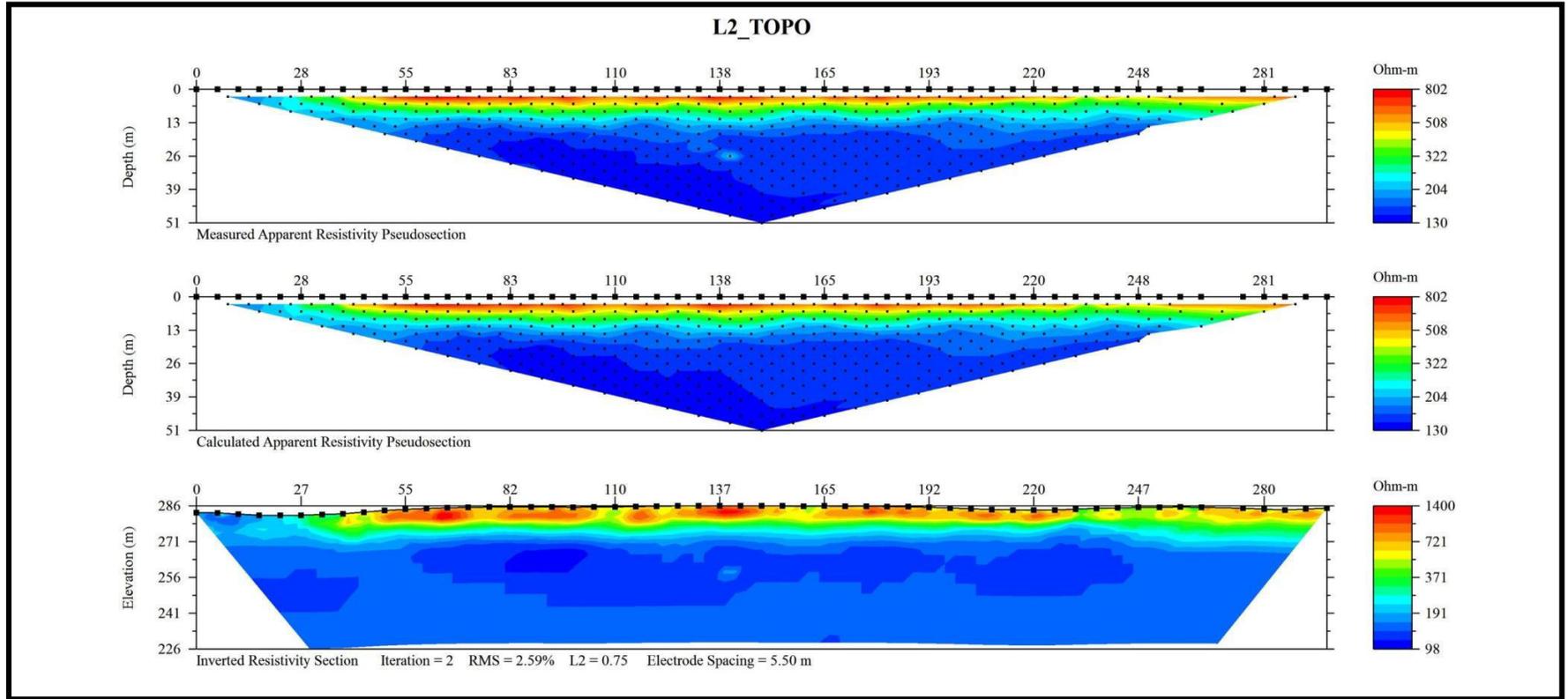


Figura. 12 Resistividad calicata geoelectrica L2  
Elaborado por: Hidrogeocol Ecuador Cía. Ltda.

### Resultado de la Interpretación del Perfil de Geoelectrica Continua L3

El **perfil L3** es paralelo a L2 ubicado a 150 m al Suroeste e interseca a los perfiles L1 y L5. Los electrodos fueron espaciados cada 5.5 m, logrando una profundidad de investigación de aproximadamente 65.0 m. El Error Medio Porcentual (RMS) es bajo, del orden de 2.74%, y por consiguiente los resultados de la interpretación se consideran confiables. Este perfil muestra una topografía poco irregular, ubicándose el primer electrodo en el extremo NW del perfil y el electrodo 56 en el extremo SE.

De manera similar a los dos perfiles anteriores, se puede observar tres rangos de resistividades representados por tres gamas de colores de la tercera imagen de la figura 13.

Las gamas de color verde ocupan la parte superior de la imagen y representa resistividades comprendidas entre 276.5 a 648.5 (Ohm-m), se interpreta a estas resistividades pertenecientes a los limos plásticos de color marrón que cubren la mayor parte del área estudiada, mientras resistividades entre 648.5 hasta 2130 (Ohm-m), representan porciones de arcillas densas y secas dentro de las gamas de color verde. El espesor aproximado de este intervalo estaría entre 16 m la parte más espesa. En la abscisa 108 del perfil el espesor de este rango de resistividades decrece hasta 1m de potencia.

En profundidad la gama de colores azules domina el perfil y representa un rango de resistividades entre 71 a 276.5 (Ohm-m). Los rangos de resistividad bajos entre 71 y 94 (Ohm-m) forman figuras lenticulares y muy probablemente corresponden a zonas muy húmedas y saturadas, estos lentes tienen espesores aproximados entre 16 a 20 m. Mientras que las resistividades entre 94 a 276.5 (Ohm-m) representarían a una mezcla de arcillas y arenas húmedas.

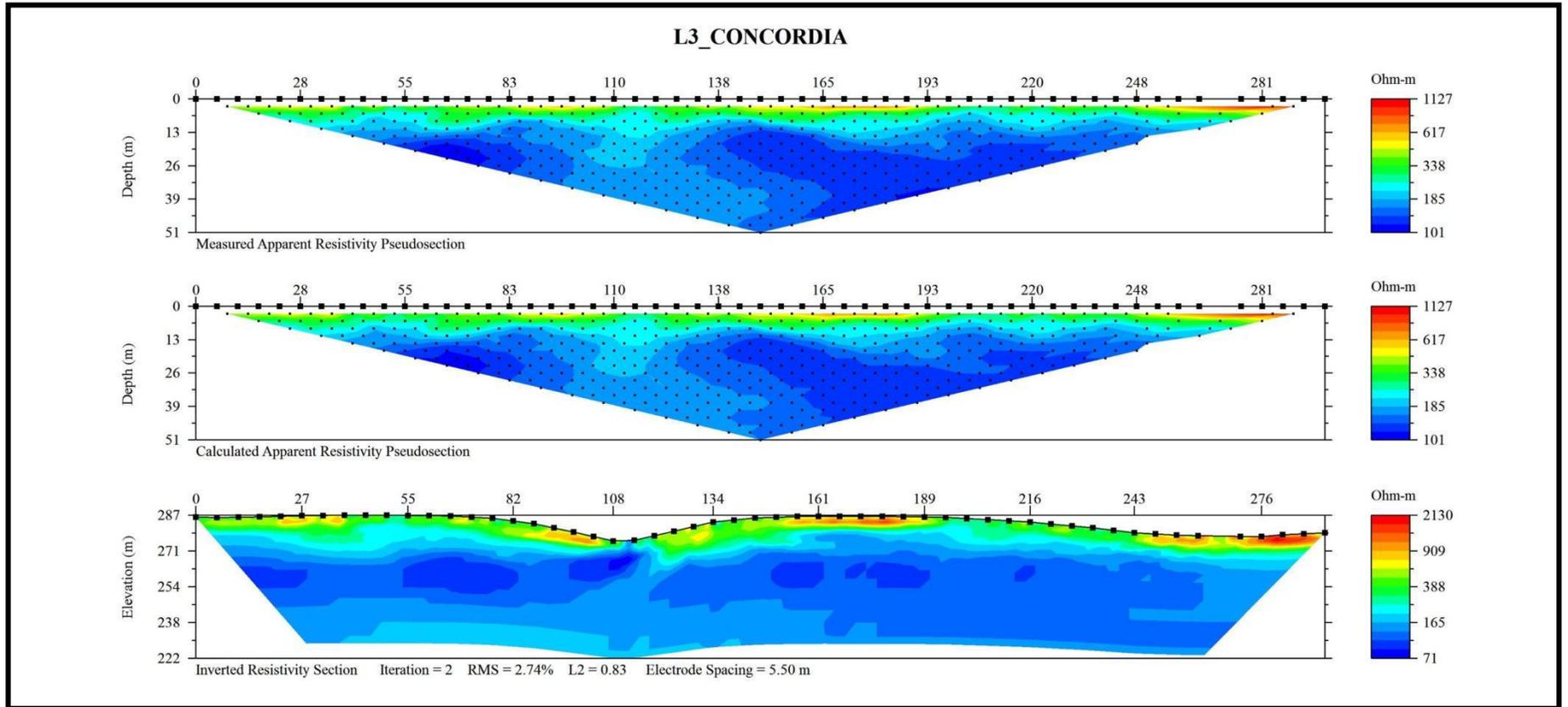


Figura. 13. Imagen de resistividad calicata geoelectrica L3

Elaborado por: Hidrogeocol Ecuador Cía. Ltda.

## Resultado de la Interpretación del Perfil de Geoelectrica Continua L4

El **perfil L4** se localiza también paralelo a L2 y L3 hacia el Rio Cucaracha. Este perfil resultó de la división a la mitad del perfil L4 original como fue planteado por técnicos de la EP- PETROECUADOR para disminuir la profundidad de estudio a 37.6 m e incrementar de esa manera el detalle en la tomografía resultante. Este perfil arranca al Sur de la línea L1 unos 20 m y unos 50 m del río para luego extenderse 150 metros paralelos al río dirección Noreste.

Este perfil interseca al perfil L1. Los electrodos fueron espaciados cada 3.0 m, logrando una profundidad de investigación de aproximadamente 40.0 m. El Error Medio Porcentual (RMS) en la primera corrida arrojó un valor de 14.63%, y por consiguiente se consideró necesario filtrar la información mediante el uso de módulos de correlación de convergencia como la presentada en la siguiente figura 14.

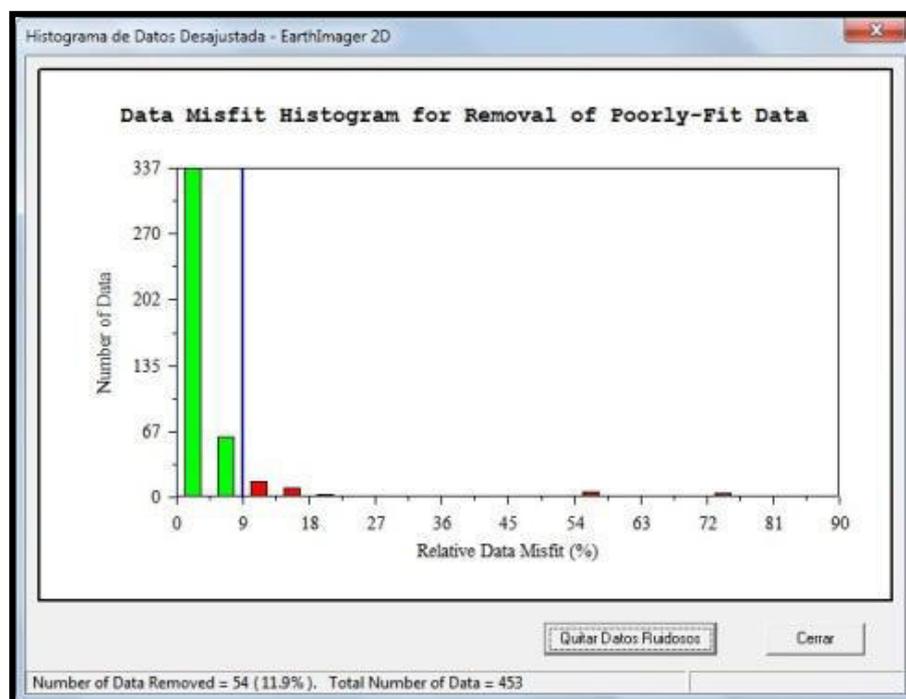


Figura. 14. Modelo de correlación de convergencia perfil L4

Elaborado por: HIDROGEOCOL Ecuador Cía. Ltda.

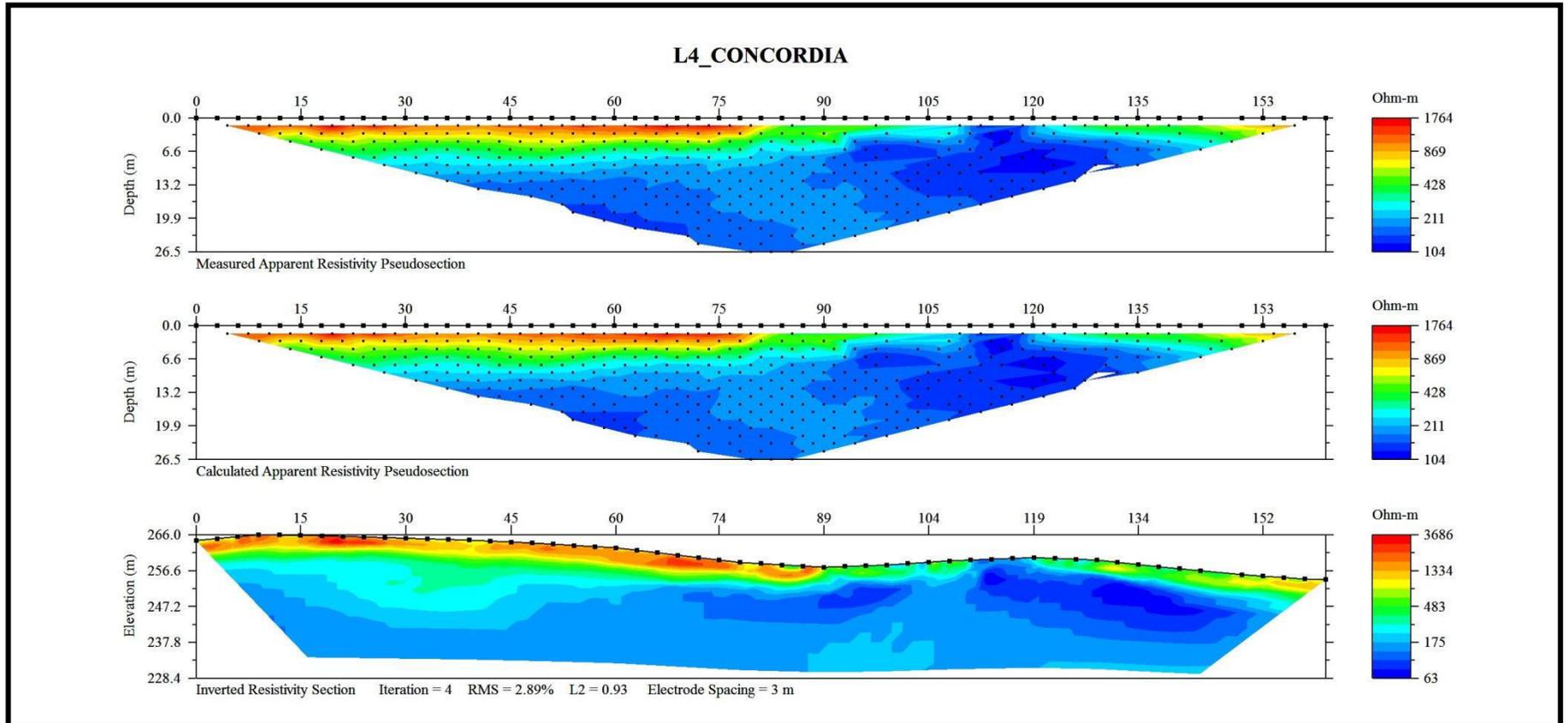
Luego del filtrado y las respectivas correcciones el modelo RMS arrojó un valor de 2.89%. El perfil muestra una topografía poco irregular, ubicándose el primer electrodo en el extremo Noroeste del perfil y el electrodo 56 en el extremo Sureste.

De manera similar a los perfiles anteriores, se puede observar tres rangos de resistividades representados por tres gamas de colores de la tercera imagen de la figura No. 15.

Los rangos de resistividades de las gamas azules se encuentran entre 63 a 262 (Ohm-m), los rangos de resistividades de las gamas de color verde están entre 262 a 830 (Ohm-m) y las resistividades más altas representadas por colores marrones a rojos están entre 830 a 3686 (Ohm-m).

Los espesores de las gamas verde tienen aproximadamente 15 m de potencia adelgazándose en la abscisa 112, donde el espesor de esta gama desaparece y aflora las gamas de colores azules figura 15. Las resistividades más altas forman un estrato continuo desde la abscisa 0 hasta abscisa 89 con espesores de 4 a 5 m. A partir de la abscisa 89, este rango de resistividades desaparece.

En la abscisa 104 hasta la abscisa 134 del perfil, el rango de resistividades de gamas azules entre 63 a 86.4 (Ohm-m), representa las zonas más saturadas y muy próximas a la superficie del terreno entre 4 a 6 m de profundidad.



*Figura. 15. Imagen de resistividad calicata geoelectrica L4  
Elaborado por: Hidrogeocol Ecuador Cía. Ltda.*

## Resultado de la Interpretación del Perfil de Geoelectrica Continua L5

El **perfil L5** corre sobre la cuenca hidrográfica principal aguas arriba hacia el origen del derrame. Tiene una dirección NE-SW y pasa sobre el pozo artesanal o denominado fuga 2.

Para este perfil los electrodos fueron espaciados cada 6.5 m, logrando una profundidad de investigación de aproximadamente 81.0m. El Error Medio Porcentual (RMS) es bajo, del orden de 2.83%, y por consiguiente los resultados de la interpretación se consideran confiables. Este perfil muestra una topografía poco irregular, ubicándose el primer electrodo en el extremo SW del perfil y el electrodo 56 en el extremo NE.

De manera similar a los dos perfiles anteriores, se puede observar tres rangos de resistividades representados por tres gamas de colores en la tercera imagen de la figura

Resistividades en rangos de 64 a 217.5 (Ohm-m) gamas de color azul  
Resistividades en rangos de 217.5 a 466.5 (Ohm-m) gamas de verde, y  
Resistividades en rangos de 466.5 a 1365 (Ohm-m) gamas de pardo a rojo.

El rango de resistividades de los colores verdes se manifiesta a lo largo de todo el perfil, con espesores entre 10 a 5 m. Estas gamas de color verde cubren en su totalidad a las gamas de color azul. Las resistividades más altas o tonos pardos a rojos se encuentran incluidas dentro de las gamas de color verde. De manera similar a las anteriores líneas las tanto las gamas pardas y verdes representan el material cuaternario de cobertura o limos de alta plasticidad de color pardo.

Dentro de las gamas de color azul, las resistividades más bajas o azul intenso forman figuras lenticulares bien definidas con rangos de resistividades entre 64 a 101 (Ohm-m) y representan a la zona de mayor conductividad.

Entre la abscisa 192 a 204 de la figura 16, se encuentra ubicado un pozo artesanal de aproximadamente 17 m de profundidad, en este pozo se registró aparición de producto libre de hidrocarburo, y en la actualidad sigue recuperando. Si ponemos al pozo sobre el perfil, este atraviesa las gamas de color verde llegando hasta las gamas azules de menor resistividad, lo que confirmaría que esas gamas de azul intenso representan litologías permeables e incluso saturadas de agua.

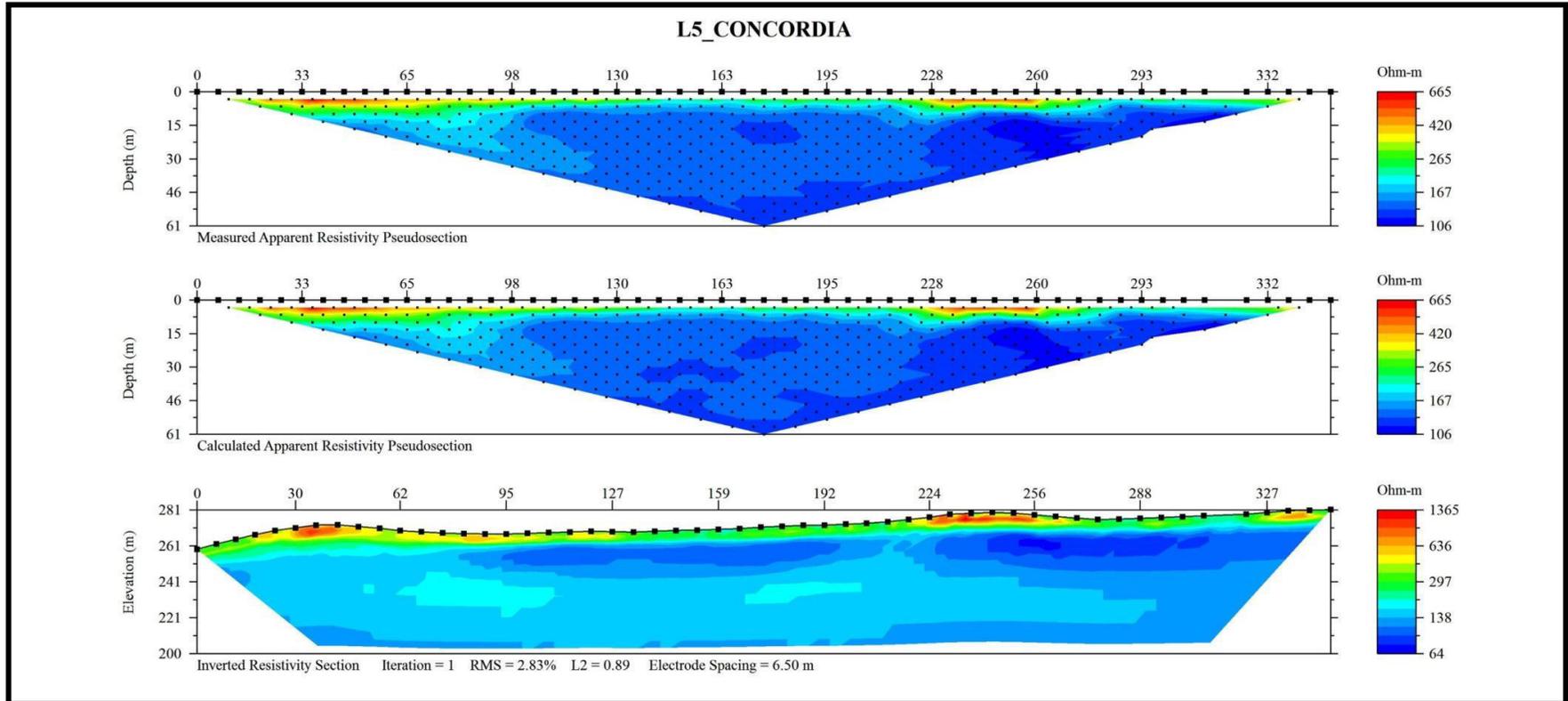


Figura. 16. Imagen de resistividad calicata geoelectrica L5  
Elaborado por: Hidrogeocol Ecuador Cía. Ltda.

## Resultado de la Interpretación del Perfil de Geoelectrica Continua L6

El **perfil L6** corre sobre un área pantanoso sobre el margen izquierdo del sitio de trabajo. Éste comienza sobre la vía carrosable habilitada por EP-PETROECUADOR y se extiende en dirección NW-SE.

Para este perfil los electrodos fueron espaciados cada 3.0 m, logrando una profundidad de investigación de aproximadamente 55.0 m en el extremo Noroccidental y de 27 m en el extremo Suroriental. El Error Medio Porcentual (RMS) en la primera corrida arrojó un valor de 19.33%, y por consiguiente se consideró necesario filtrar la información mediante el uso de módulos de correlación de convergencia como la presentada en la siguiente figura 17.

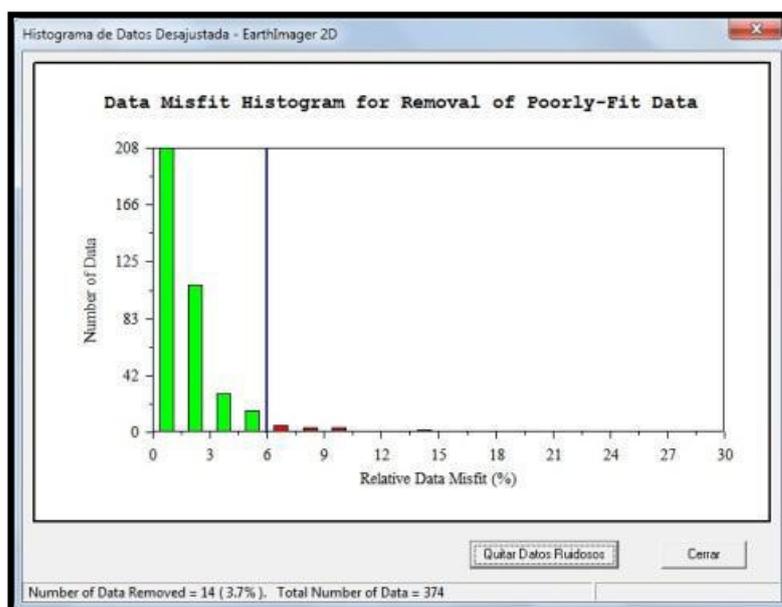


Figura. 17. Modelo de correlación de convergencia perfil L6  
Elaborado por: HIDROGEOCOL Ecuador Cía. Ltda.

Luego del filtrado y las respectivas correcciones el modelo RMS arrojó un valor de 2.88%. Este perfil muestra una topografía relativamente plana hacia el Suroccidente, mientras el extremo Suroriental la pendiente es moderada a fuerte.

De manera similar a los perfiles anteriores, se puede observar tres rangos de resistividades representados por tres gamas de colores en la tercera imagen de la figura 18:

Resistividades en rangos de 23 a 133.1 (Ohm-m) gamas de color azul a celeste

Resistividades en rangos de 133.1 a 488 (Ohm-m) gamas de verde - amarillo, y

Resistividades en rangos de 488 a 1367 (Ohm-m) gamas de pardo a rojo.

En este perfil se dibujan lentes de color azul intenso que representan a resistividades bajas entre 23 a 40 (Ohm-m) correspondientes a zonas muy húmedas y saturadas. Estas nubes de color azul guardan una estrecha relación con la zona pantanosa, y en ese sector los espesores de resistividades medias o gamas verdes son muy pequeñas en el orden de 4 a 5 m.

Las resistividades mayores o tonos pardos rojizos son muy restringidas hacia las partes superiores del perfil.

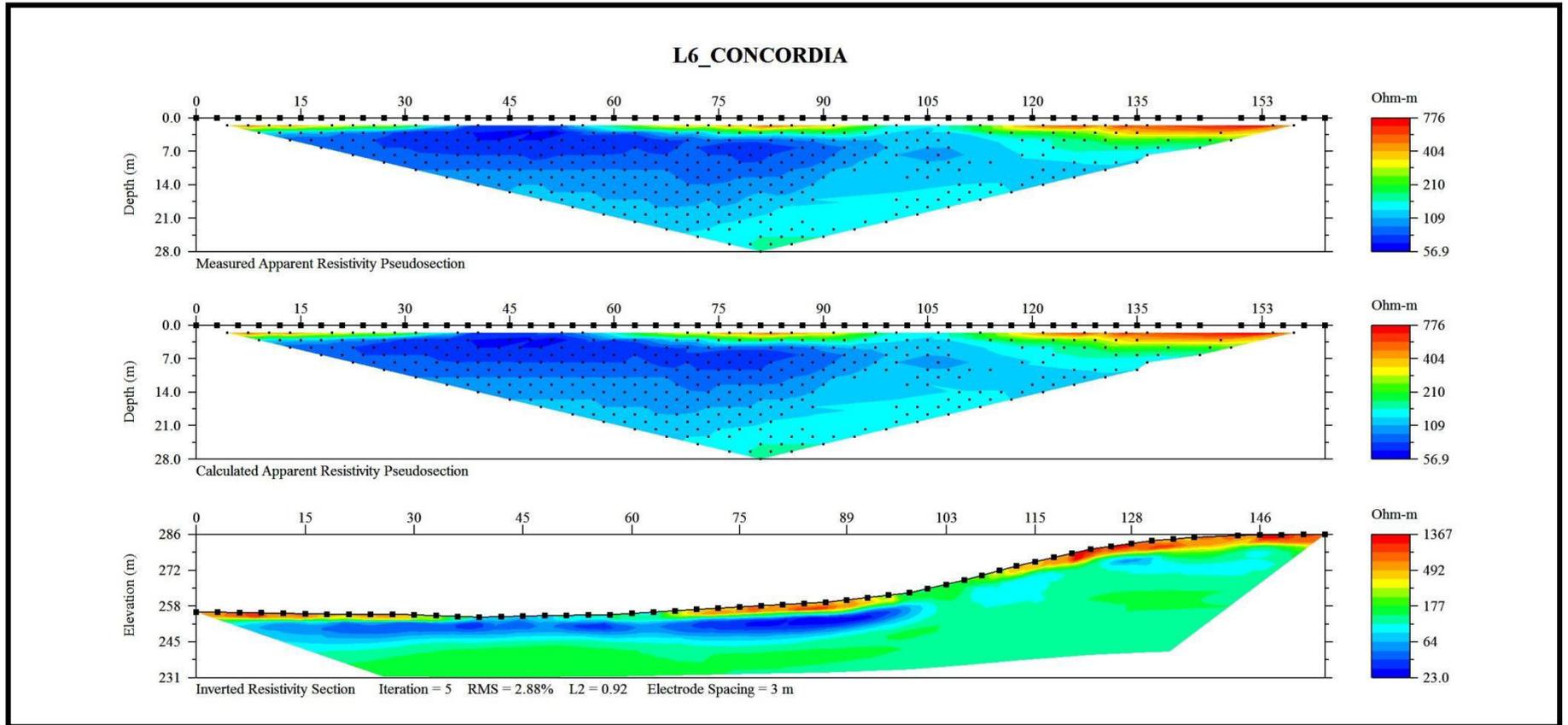


Figura. 18. Imagen de resistividad calicata geoelectrica L6  
Elaborado por: Hidrogeocol Ecuador Cía. Ltda.

## Resultado de la Interpretación del Perfil de Geoeléctrica Continua L7

El **perfil L7** se localiza en una cuenca hidrográfica diferente poco probable para la presencia de una fuga, sin embargo, se la traza desde el margen opuesto al sitio, sobre el río Cucaracha y hacia la Fuga 06.

Para este perfil los electrodos fueron espaciados cada 2.7 m, logrando una profundidad de investigación de aproximadamente 40.0 m en el extremo Sur y 40 m en el extremo Norte. El Error Medio Porcentual (RMS) es moderado, del orden de 3.44 %, y por consiguiente los resultados de la interpretación se consideran confiables. Este perfil muestra una topografía relativamente plana hacia el Sur, mientras al extremo Norte la pendiente es moderada a fuerte.

De manera similar a los perfiles anteriores, se puede observar tres rangos de resistividades representados por tres gamas de colores figura 19:

Resistividades en rangos de 17.1 a 119.45 (Ohm-m) gamas de color azul  
Resistividades en rangos de 119.45 a 390.5 (Ohm-m) gamas de verde, y  
Resistividades en rangos de 390.5 a 1954 (Ohm-m) gamas de pardo a rojo.

Es destacable las nubes de resistividades representadas por colores azules. Estas resistividades se asocian a litologías muy permeables como acumulaciones de arenas con alto contenido de agua, y corresponden al nivel freático del área aproximadamente a una cota de 255 m.s.n.m.

Las tramas verdes indican la presencia de sectores menos saturados y asociadas a limos de plasticidad alta y arcillas.

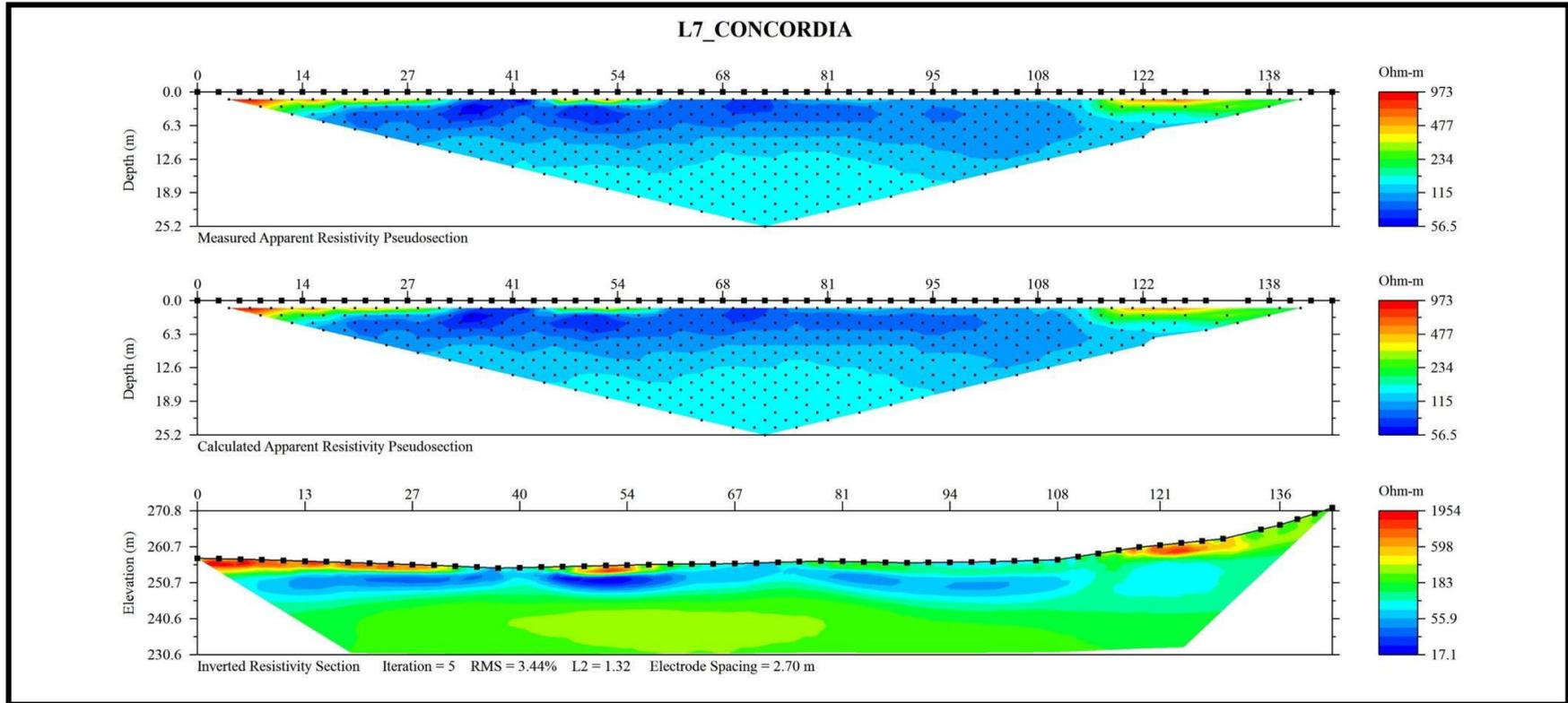


Figura. 19. Imagen de resistividad calicata geolétrica L7  
Elaborado por: Hidrogeocol Ecuador Cía. Ltda.

## Resultado de la Interpretación del Perfil de Geoelectrica Continua L8

El **perfil L8** tiene una orientación SE-NW paralelo al perfil L3 y coincide con la dirección del perfil L4. Los perfiles L4 y L8 buscan obtener información del suelo a mayor detalle.

Para este perfil los electrodos fueron espaciados cada 3.0 m, logrando una profundidad de investigación de aproximadamente 41.0 m. El Error Medio Porcentual (RMS) es bajo, del orden de 2.87 %, y por consiguiente los resultados de la interpretación se consideran confiables. Este perfil muestra una topografía irregular con colinas suaves de moderada pendiente.

De manera similar a los perfiles anteriores, se puede observar tres rangos de resistividades representados por tres gamas de colores figura 20.

Resistividades en rangos de 81 a 336 (Ohm-m) gamas de color azul

Resistividades en rangos de 336 a 815 (Ohm-m) gamas de verde, y

Resistividades en rangos de 815 a 2799 (Ohm-m) gamas de pardo a rojo.

En este perfil los rangos de resistividad intermedios representados por las tramas de color verde, se disponen sobre las tonalidades de color azul, lo cual indica la presencia de dos tipos de materiales que difieren en resistividades, como se ha venido presentando en los perfiles anteriores.

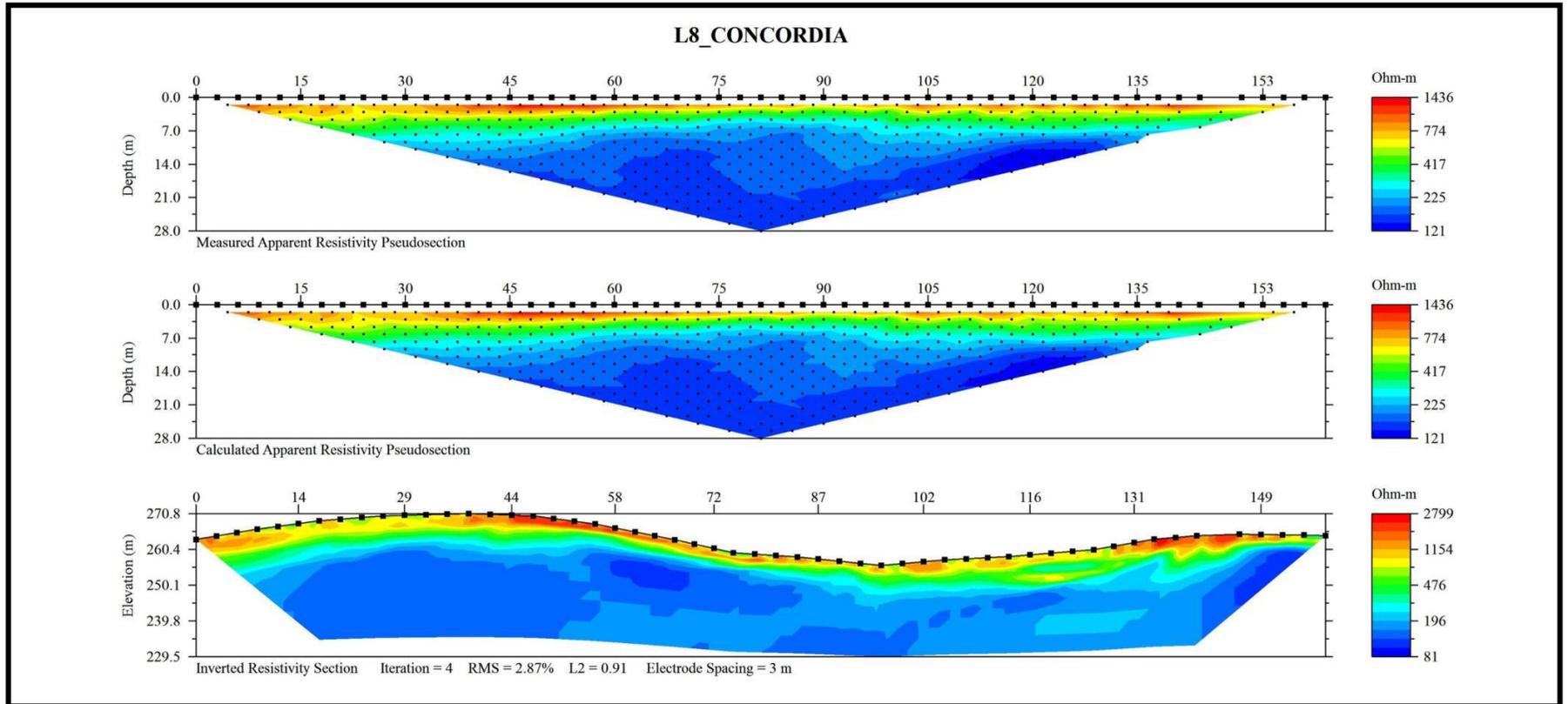


Figura. 20. Imagen de resistividad calculada geoelectrica L8

Elaborado por: Hidrogeocol Ecuador Cía. Ltda.

#### ***4.1.1 Discusión prospección geoelectrica***

Topográficamente el área de estudio corresponde a zonas planas de terrazas disecadas asociadas a los depósitos cuaternarios de la Formación San Tadeo. La litología que cubre gran parte del área son limos, limos de alta plasticidad con colores característicos de color marrón rojizo. Mientras que, hacia las partes bajas (entre 255 a 260 m.s.n.m), en el lecho del Río Cucaracha y al Nororiente en la quebrada sin nombre se destacan litologías de arenas limosas, limos de alta plasticidad y conglomerados hacia la base, con colores característicos blancos a beige.

La interpretación de los perfiles levantados señala que la mayor parte del área está cubierta por materiales de sobrecarga constituida por sedimentos poco consolidados representados por limos de alta plasticidad de color marrón depositados sobre una paleo-topografía de sedimentos poco consolidados y con alto grado de alteración. Los espesores de los limos plásticos de color marrón presentan un espesor promedio entre 7 a 10 m y decrecen hacia el Suroccidente del área cuando se acercan a las partes más bajas.

Los resultados de la Geoelectrica Continua muestran zonas saturadas, dibujando en los perfiles formas lenticulares con valores de resistividades baja. El aljibe 2 de 17 m de profundidad y ubicado en la línea L5, confirma que los valores bajos de resistividad corresponden al nivel acuífero de la zona.

El cuadro 27 muestra el valor de resistividad promedio y la litología existente en el área de estudio.

Cuadro. 27. Correlación entre el valor de la resistividad y la litología existente en el área de estudio

Valor de Resistividad en Ohm-m	Color en la Imagen	Correlación con la Geología
< 58	Azul intenso	Canales conglomeráticos, zonas sat
58 - 222	Azul celeste	Arenas limosas, arcillas arenosas, arcilladas
222 - 590	Verde amarillo	Limos de alta plasticidad, limos
590 - 2151	Marrón rojo	Arcillas densas y secas

Elaborado por: HIDROGEOCOL Ecuador Cía. Ltda.

#### 4.1.2 Análisis de Riesgos

Para el Análisis de Riesgos se realizó en base de la Norma UNE 150008 a partir de los entornos Natural, Humano y Socioeconómico

##### ENTORNO NATURAL

Flora es el nombre dado a la vida vegetal colectiva que crece o alguna vez creció en un área determinada o durante un período de tiempo determinado. Por lo general, se refiere a la vida vegetal nativa presente, pero incluye nuevas especies que también se han introducido. La flora y la fauna de la tierra tienen nombres derivados del latín.

"Flora" era una diosa de las flores y las plantas. En la mitología romana, ella era la diosa de la fertilidad. Y así, el reino vegetal llegó a ser conocido como Flora. El estudio de la vida vegetal en todo el mundo es muy interesante ya que se realizan diferentes clasificaciones de la flora.

La vida vegetal en la tierra se puede distinguir entre sí de varias maneras. Lo más simple es dividir en función de la región. Las plantas que crecen específicamente en las montañas son muy diferentes de las que crecen en el desierto. Del mismo modo, las plantas que se han adaptado para vivir bajo el agua son tratadas como una forma única de flora.

Al hablar de "flora nativa", uno se refiere a la vida vegetal autóctona de una región en particular. Los cactus son la flora nativa de los desiertos de todo el mundo. Pueden crecer en la mayoría de las condiciones climáticas, pero son nativos de las dunas arenosas de los desiertos. Cuando nos referimos a "Flora Agrícola", estamos hablando de la vida vegetal que ha sido cultivada por los humanos para un determinado propósito («What is Flora and Fauna», 2013).

#### b. Fauna

Nombre dado a la vida animal colectiva que vive o que alguna vez se encontró en un área o período de tiempo determinado. En latín, la fauna se deriva de tres fuentes diferentes. Fauna en sí misma era el nombre de una diosa romana que representaba la fertilidad y la tierra, y *Fauno* era otro dios romano. Los faunos eran espíritus del bosque.

Tanto la flora como la fauna de la tierra han recibido subdivisiones. La fauna también se distingue de muchas maneras diferentes, sin embargo, estas formas son mucho más complejas que las divisiones florales porque la vida animal ha evolucionado en muchas formas diferentes.

Para empezar, el reino animal en sí mismo es Fauna, sin embargo, dentro de ella tenemos la "Avifauna" que se refiere a las aves y la "Piscifauna" que se refiere a los peces. Estas son clasificaciones más simples, ya que no cubren

organismos pequeños unicelulares como bacterias y virus, tampoco tienen en cuenta los organismos microscópicos que abundan en la naturaleza pero que no pueden ser vistos por el ojo humano. La vida animal antes descrita se conoce como "Microfauna". Se puede ver gran parte de la flora y fauna de la tierra, pero hay un porcentaje muy grande que aún no se ha nombrado e incluso descubierto.

Surgen otras clasificaciones como "Cryptofauna", que se refiere a animales que son extremadamente raros e incluso mitológicos. Existe la "Microfauna", que se refiere a los animales extremadamente pequeños y "Megafauna", que habla de los animales grandes (*Ibidem*).

### c. Aspectos ecológicos

Se presenta en la figura 21 los porcentajes de dietas de las aves que habitan cerca al derrame.

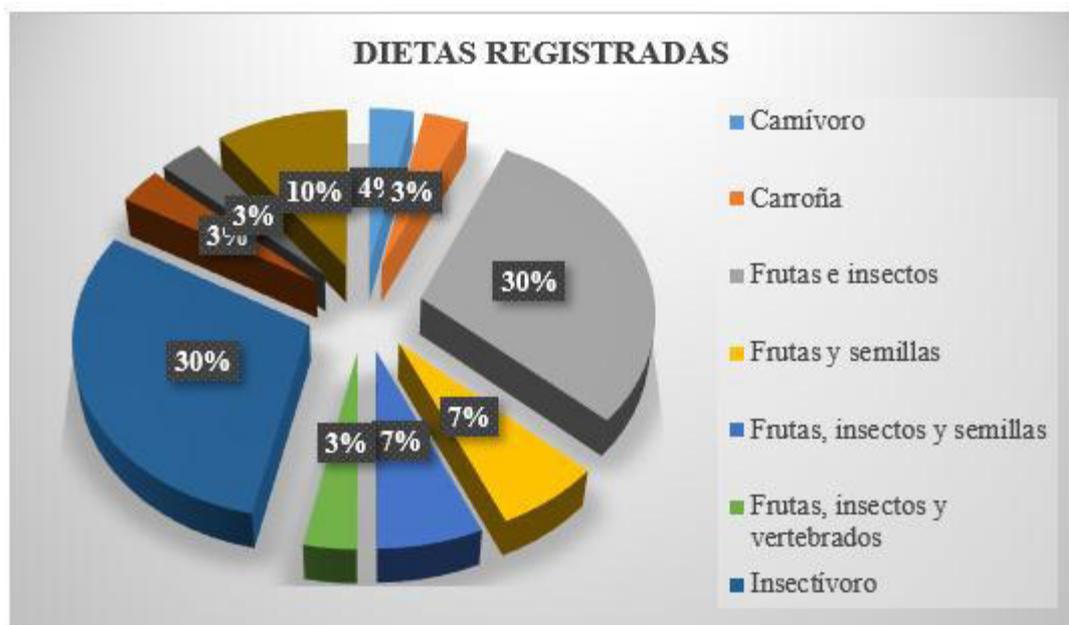


Figura. 21. Dietas de aves que viven circundantes al derrame

Fuente: Lorena Zavala

**Categorías de amenaza.** – Se determinaron 3 especies alrededor del sector, dentro de los apéndices de CITES, en peligro de extinción

**Distribución de la herpetofauna.**- Dos especies ocupan el estrato medio. Se determinaron herpetozoos en dos estratos del bosque, cinco especies se distribuyen en el estrato bajo del bosque, sustrato de suelo y hojarasca.

**Hábitat.** – Se habla del *bufonido (Rhinella marina)*, un anuro y seis especies de reptiles, de las familias *Iguanidae* y *Bufoidea*.

**Características alimenticias.** - Los anfibios son consumidores de crustáceos, insectos, artrópodos del suelo y la flora.

Gracias a la ubicación que presenta, se favorece ya que mayoritariamente existe un suelo fértil tiene una abundancia de recursos hídricos y clima benigno.

Existe diversidad de flora autóctona, según Fundación Natura, las cuales corresponden a la familia morácea, laurácea, mimosácea, melastomatácea, sapotáceo y árboles como bambú, mocora, laurel, caña guadua, guayacán tagua, etc.

Por otro lado, la fauna del sector está determinada por especies introducidas por el hombre como la bovina, porcino y avícola que, por lo general, son domésticos. También podemos encontrar peces que permiten actividades artesanales de pesca, de autoconsumo. En lo referente a las aves, la tal a indiscriminada de árboles, ha provocado que las especies migren a otros lugares.

## **ENTORNO HUMANO**

### a. Componente social

**Alcance.** – El entorno de investigación es la comunidad El Rosario, de la Concordia que está vinculada al Poliducto Esmeraldas-Santo Domingo y en el sentido noroccidente ecuatoriano.

**Metodología.** - Se basa en la selección de informantes clave y el análisis de las voces de los distintos actores, en este caso de los miembros del recinto El Rosario; área de influencia del proyecto de investigación.

El método de análisis social que se utiliza es la denominada Evaluación Rural Rápida que se basa en la aplicación de entrevistas y el uso de la observación participante

Por otro lado, se analiza la situación socio-ambiental cuadro 28, de los principales afectados, propietarios de los terrenos que se encuentran en el área de influencia del derrame del Pk 128+500.

Área de influencia del plan de investigación (Ver cuadro 28).

*Cuadro. 28. Localización del área de influencia*

COMUNIDAD RURAL	UBICACIÓN	ÁREA A INVESTIGAR
Recinto rural "El Rosario"	Km. 32 Plan Piloto. Vía Santo Domingo	Punto PK. 128

Características socioculturales del sector. – En el cantón la Concordia, la población tiene el carácter urbano y rural. El nivel socioeconómico es pobre.

#### b. Población

La Concordia tiene 4 parroquias que representan el 2.1% del territorio de la provincia de Santo Domingo (alrededor de 3 24.3 mil km<sup>2</sup>). Su población

consta de 47.568 habitantes cuya tasa de crecimiento equivale al 3,2 % anual. La Concordia tiene una población de 42.924.

Se presenta en el cuadro 29 un estimado de la población de la Concordia según censo de 2010.

*Cuadro. 29. Demografía de la zona*

<b>Población</b>	42,924 mil hab. (8,7 % respecto a la provincia de SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS)
<b>Urbana</b>	29,00%
<b>Rural</b>	32,40%
<b>Mujeres</b>	49,30%
<b>Hombres</b>	50,70%
<b>PEA</b>	51,3 %. (8,9 % de la PEA de la provincia de SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS)

*Fuente: INEC – Censo de Población y Vivienda 2010*

*Cuadro. 30. Vivienda de la zona*

<b>Vivienda</b>	<b>Nº Viviendas</b>
Particulares y colectivas	12.969
Particulares	12.964
Con niños menores de cinco años	10.662

*Fuente: INEC - Censo de Población y Vivienda 2010*



*Figura. 22. Población ocupada.*

**Fuente:** INEC – Censo de Población y Vivienda 2010

### c. Empleo.

El trabajo asalariado en las industrias del sector es la fuente primigenia de empleo, seguido por el trabajo agrícola para el comercio de la palma africana, cacao, café, y finalmente palmito.

Condiciones de vida y servicios básicos.

Las poblaciones de la zona están por debajo de la línea de la pobreza, lo cual se ve agravado por la falta de cobertura de servicios básicos.

En el Rosario por ejemplo, las necesidades básicas insatisfechas, afectan al 80.72% de la población, véase el cuadro 31.

*Cuadro. 31. Necesidades básicas insatisfechas*

CANTÓN	POBREZA POR NBI	EXTREMA POBREZA
La Concordia	80.82%	42%

*Fuente SIISE*

El recinto el Rosario no cuenta con agua potable para el consumo. En el lugar existen apenas dos pozos de agua que están contaminados por el combustible y afectando la salud de sus habitantes.

d. Salud.

Existe apenas un Subcentro de Salud del Ministerio de Salud para atender a todo el cantón La Concordia cuyo personal se reduce a dos auxiliares de enfermería y un odontólogo. La mayoría de trabajadores no tiene acceso a la seguridad social que prestan tanto el Seguro Social Campesino como el IESS

f. Alimentación y nutrición.

Está basada en yuca, maíz, arroz y plátano. Por otro lado se consumen frutas como maracuyá, naranja, limón, piña, etc.

g. Educación.

El 87,6% de la población de La Concordia es alfabetizada pero el promedio de años de estudio no es superior a los 5 años.

En el Rosario hay una sola escuela fiscal, cuenta actualmente con 85 niños y 4 profesores en tres aulas.

En años anteriores, de acuerdo a la información proporcionada por el presidente de la comunidad, Gonzalo Gómez y de la directiva del recinto, las familias del recinto, trabajaban fundamentalmente en la hacienda de propiedad del señor Carlos Becdach, dedicada al cultivo y extracción de aceite de palma africana. No obstante, esta situación se ha revertido debido al traspaso hereditario de la industria de palma y de la hacienda.

Cabe señalar que, de acuerdo a los testimonios de los pobladores de la zona, el señor Becdach (padre) les proporcionó durante su vida, los terrenos para vivir, servicios básicos (agua, luz), contrataba los profesores y les daba empleo, situación que concluyó con la muerte del mencionado señor.

## ENTORNO SOCIOECONÓMICO

### a. Actividades económicas.

Existen pobladores que cuentan con terrenos escriturados, sin embargo, también existen pobladores que viven en los terrenos del señor Carlos Becdach, quien les ha cedido en calidad de préstamo.

En el recinto El Rosario, el uso del suelo es predominantemente agrícola. Los pobladores que tienen propiedades de una extensión entre 2 y 5 hectáreas, se dedican a la producción de palma africana, café, cacao, palmito. Dicha producción es comercializada en los mercados cercanos a La Concordia.

El autoconsumo es practicado por los pobladores propietarios de tierras con una extensión no mayor a la media hectárea; los cultivos más practicados son los de yuca, maíz, plátano, y frutales. Tienen gallinas y cerdos para autoconsumo.

En cuanto a los ingresos económicos de los habitantes del sector, este se deriva de los jornales de las industrias del sector (piñal, palmicultora y avícola). El trabajador obtiene ingresos que fluctúan entre 8 y 10 dólares al día. En jornadas de 8 horas ó más de lunes a viernes incluyendo sábados hasta el medio día.

En años anteriores, de acuerdo a la información proporcionada por el presidente de la comunidad, Gonzalo Gómez y de la directiva del recinto, las familias del recinto, trabajaban fundamentalmente en la hacienda de propiedad del señor Carlos Becdach, dedicada al cultivo y extracción de aceite de palma africana. No obstante, esta situación se ha revertido debido al traspaso hereditario de la industria de palma y de la hacienda.

Cabe señalar que, de acuerdo a los testimonios de los pobladores de la zona, el señor Becdach (padre) les proporcionó durante su vida, los terrenos para

vivir, servicios básicos (agua, luz), contrataba los profesores y les daba empleo, situación que concluyó con la muerte del mencionado señor.

b. Determinación del área de influencia.

El cuadro 32 presenta las afectaciones en el área de influencia del derrame de hidrocarburos.

*Cuadro. 32. Afecciones en el área de influencia.*

AFECCIONES	OBSERVACIONES
2 Pozos contaminados	Cultivo de palma, cacao ( 2 Hectáreas) sin problemas. Presentó denuncia en la Defensoría del Pueblo en Sto. Domingo.
Sembrío de yuca 15 x 50 para acceso	Afectación por accesos al control del derrame
Afloramiento en propiedad	Afectación por accesos al control del derrame
Afecciones al suelo	Sembríos de boyá, maracuyá. Afectación por accesos al control del derrame
Afloramiento en el pantano	Afectación por accesos al control del derrame

*Fuente SIISE*

Con mayor potencial riesgo de significativa afectación en cuanto al recurso agua (esteros y río Cucaracha) están los habitantes del recinto El Rosario.

c. Áreas de sensibilidad

Los indicadores de sensibilidad en el sector de impacto del derrame están resumidos en el cuadro 33:

*Cuadro. 33. Parámetros de sensibilidad socioeconómica en el área de influencia directa*

PARÁMETRO	SENSIBILIDAD	OBSERVACIÓN
Agropecuario	Alta	Las fincas de la zona se encuentran destinadas fundamentalmente a cultivos para comercialización de productos a menor escala y autoconsumo.
Acceso al agua	Alta	Existe escasez de agua para consumo humano en la zona, a nivel general. La mayor parte de viviendas posee pozos de agua, sin embargo, no todo el año son productivos. El agua la toman de los esteros y del río Cucaracha.
Economía	Media	La fundamental fuente de empleo es el trabajo asalariado de la producción a gran escala. La ejecución del plan de remediación generará fuentes de empleo.
PARÁMETRO	SENSIBILIDAD	OBSERVACIÓN
Servicios Básicos	Alta	La mayoría de pobladores no tiene acceso a servicios básicos de agua potable, alcantarillado. Poseen electricidad y telefonía celular.
Educación	Alta	El nivel de educación en la zona es precario, el promedio de escolaridad es de apenas 5 años.
Salud	Alta	Insuficiente oferta de servicios de salud

Fuente SIISE

#### **4.1.3 Caracterización del nivel de contaminación**

Se presentan los parámetros analizados para el diseño de componentes principales que determina los indicadores que caracterizan el agua y suelo de superficie en el área del derrame en el año 2010 con los años de seguimiento desde el 2011 al 2015

##### **4.1.3.1 Análisis del agua**

Cuadro. 34 Estadísticos descriptivos (agua) 2011-2015

Factores inter-sujetos

	Etiqueta del valor	N
1,00	2011	9
2,00	2012	21
AÑO 3,00	2013	14
4,00	2014	41
5,00	2015	16

Los cuadros 34 y 35 incluyen 101 datos monitoreados del 2011 al 2015 de los parámetros BTEX, conductividad, DQO, pH, HTP y Hap's.

Cuadro. 35 Efectos intersujetos agua

Pruebas de los efectos inter-sujetos						
Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	BTEX	,021a	4	,005	10,261	,000
	CONDUCTIVIDAD	277472,160b	4	69368,040	2,590	,041
	DQO	39703,041c	4	9925,760	1,223	,306
	HAPS_A	,013d	4	,003	5,597	,000
	pH	18,487e	4	4,622	9,052	,000
	TPH	2691111,790f	4	672777,948	,357	,838
Intersección	BTEX	,064	1	,064	125,778	,000
	CONDUCTIVIDAD	2006470,074	1	2006470,074	74,927	,000
	DQO	48230,710	1	48230,710	5,942	,017
	HAPS_A	,107	1	,107	182,433	,000
	pH	3540,999	1	3540,999	6935,060	,000
	TPH	349185,876	1	349185,876	,185	,668
AÑO	BTEX	,021	4	,005	10,261	,000
	CONDUCTIVIDAD	277472,160	4	69368,040	2,590	,041
	DQO	39703,041	4	9925,760	1,223	,306
	HAPS_A	,013	4	,003	5,597	,000
	pH	18,487	4	4,622	9,052	,000
	TPH	2691111,790	4	672777,948	,357	,838

Planteamiento de la hipótesis

Ho: No existen diferencias en las concentraciones de los contaminantes al paso de los años.  $p < 0,05$

Hi: existen diferencias en las concentraciones de los contaminantes al paso de los años  $p \geq 0,05$

Decisión.

En los casos del BTEX, Conductividad, Hap's, pH, Como  $p < 0,05$  se desecha Ho, en los casos de DQO y TPH, no existen argumentos para desechar Ho, no existen diferencias.

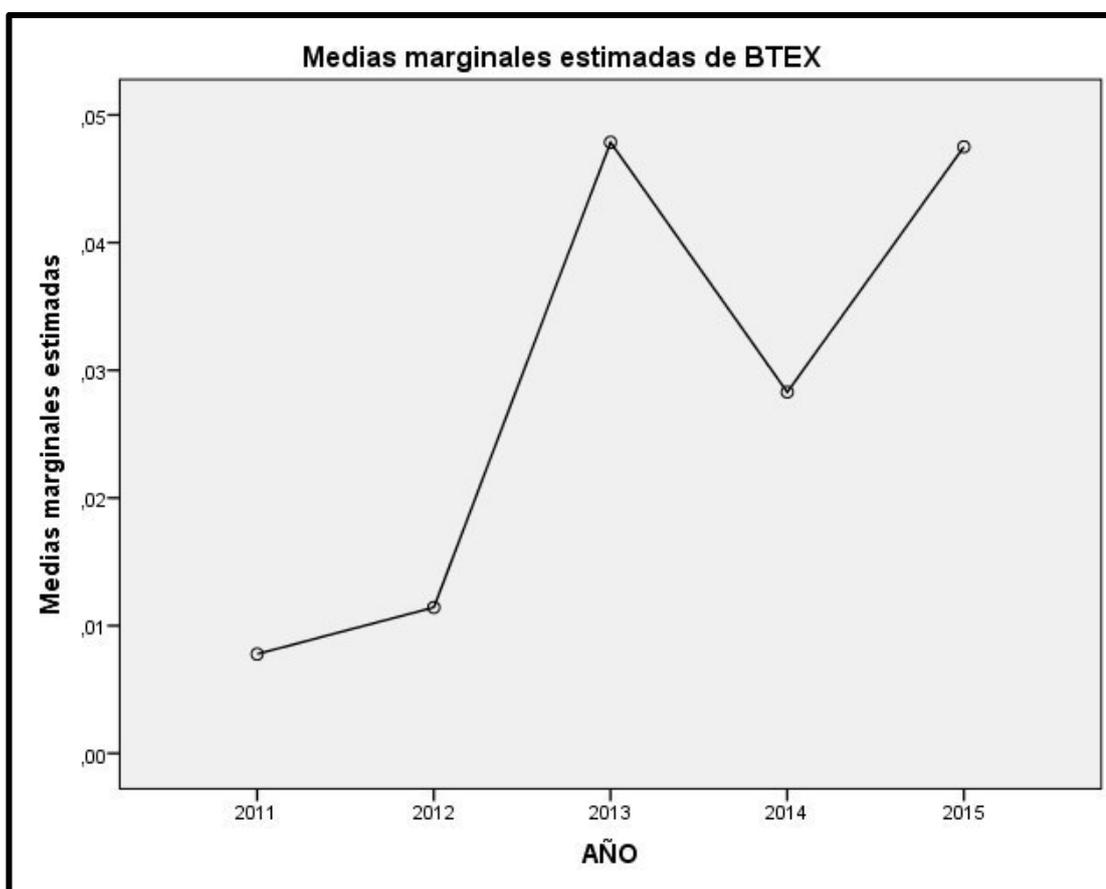


Figura. 23 BTEX agua

Explicación: En la figura anterior se registra en el eje de las abscisas el año de análisis, en el eje y, las medidas marginales correspondientes a la concentración del contaminante; los círculos permiten ubicar la coincidencia entre concentración y año; las líneas marcan una tendencia pero no relacionan linealmente a las medidas las cuales son puntuales.

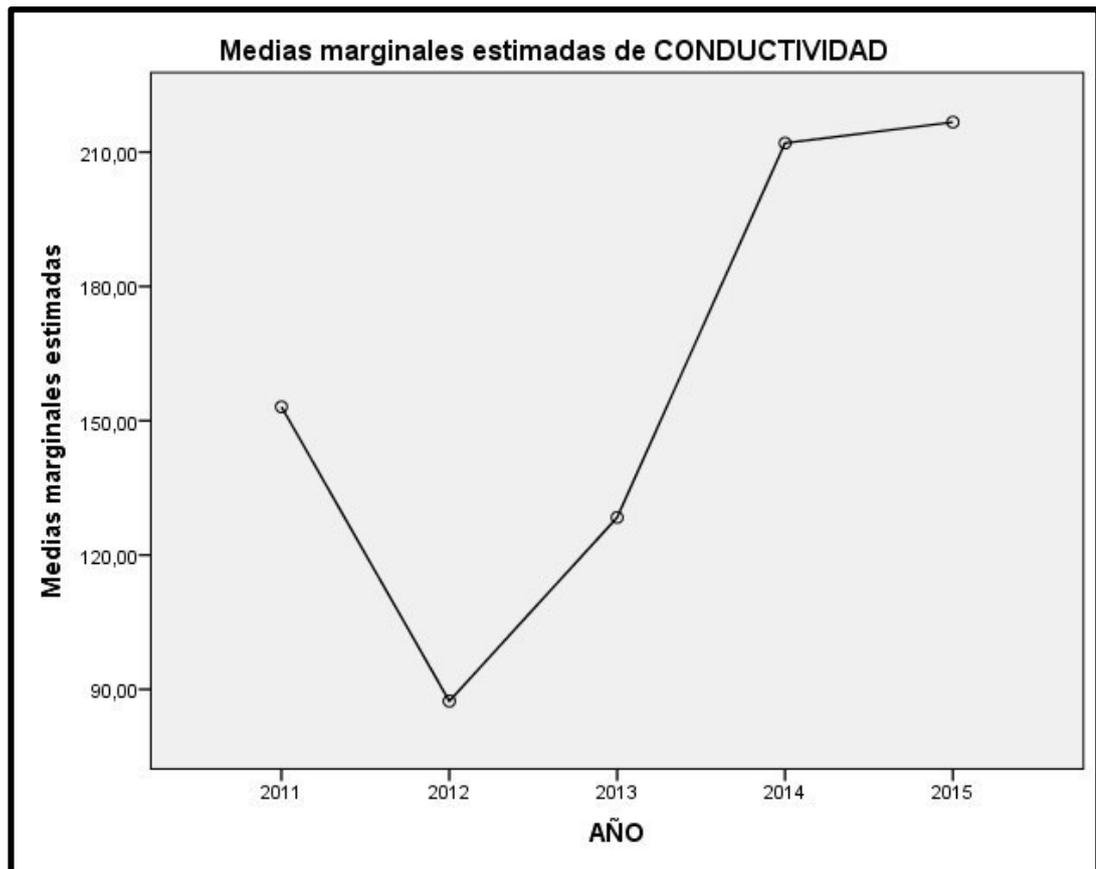


Figura. 24 Conductividad agua

Explicación:

En la figura anterior se registra en el eje de las abscisas el año de análisis, en el eje y, las medidas marginales correspondientes a la concentración del contaminante; los círculos permiten ubicar la coincidencia entre concentración y año; las líneas marcan una tendencia pero no relacionan linealmente a las medidas las cuales son puntuales.

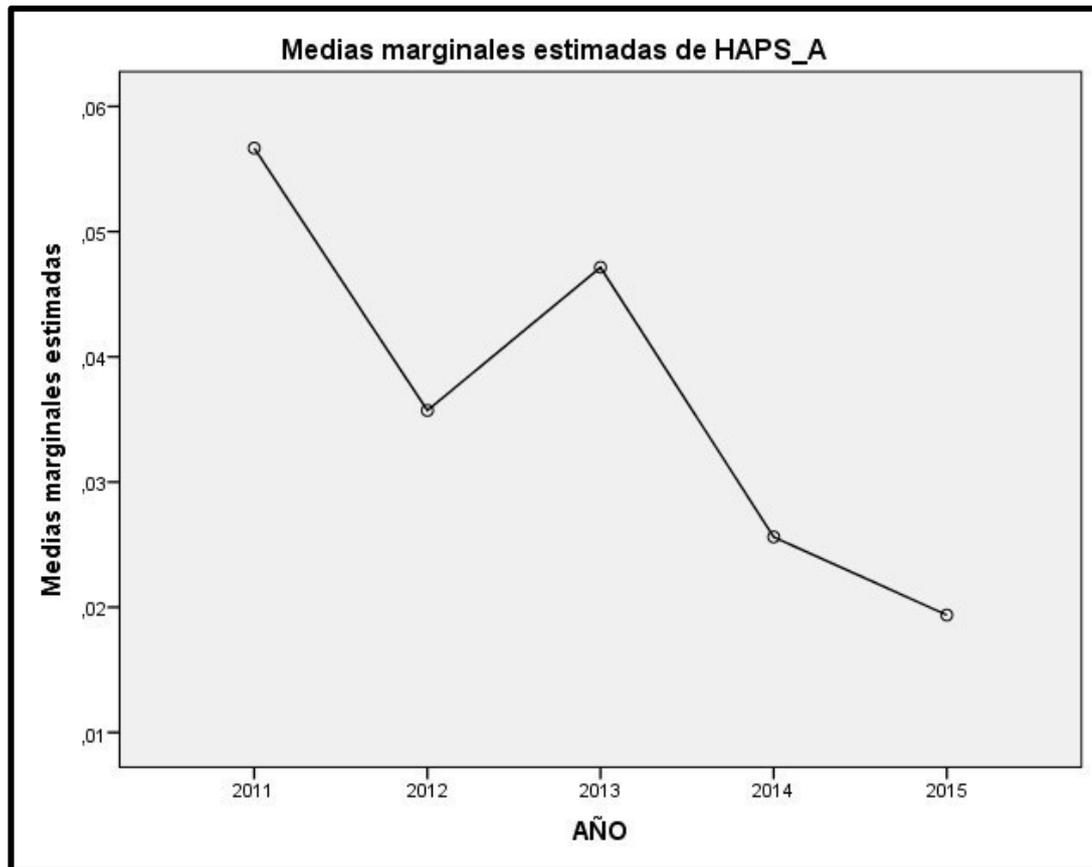


Figura. 25 Hap's agua

Explicación:

En la figura anterior se registra en el eje de las abscisas el año de análisis, en el eje y, las medidas marginales correspondientes a la concentración del contaminante; los círculos permiten ubicar la coincidencia entre concentración y año; las líneas marcan una tendencia pero no relacionan linealmente a las medidas las cuales son puntuales.

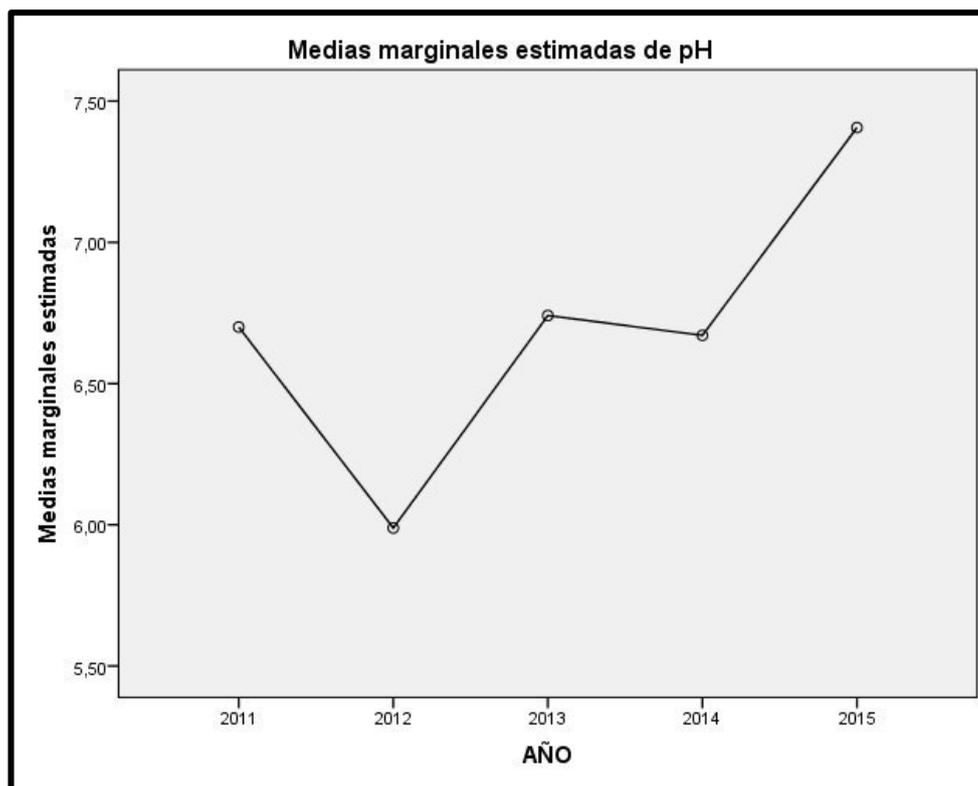


Figura. 26 pH agua

Explicación: En la figura anterior se registra en el eje de las abscisas el año de análisis, en el eje y, las medidas marginales correspondientes a la concentración del contaminante; los círculos permiten ubicar la coincidencia entre concentración y año; las líneas marcan una tendencia pero no relacionan linealmente a las medidas las cuales son puntuales.

#### **4.1.3.2 Discusión análisis de agua**

Entre 2011 y 2015 aumentaron los compuestos BTEX volátiles, dicho crecimiento es irregular como efecto de la contaminación; el peligro de estos compuestos en los habitantes del sector expuestos a él es la afectación del sistema nervioso central.

En el periodo detallado anteriormente la conductividad tiende a un franco crecimiento a partir de 2014, la conductividad es directamente proporcional a

los sólidos disueltos que son adversos además a la calidad del agua y a la aparición del agua dura.

Los Hap's decaen entre 2011 a 2015, tal fenómeno se esperaba ya que el derrame en el sector no se ha vuelto a producir; el efecto de los Hap's sobre la salud humana son sumamente nocivos pudiendo causar incluso cáncer. Entre 2011 y 2015 el pH se estabiliza en el nivel neutro; entre 2011 y 2012 éste parámetro física era más bien bajo, lo que muestra una interacción del agua con los gases contaminantes atmosféricos.

#### **4.1.3.3 Análisis de suelo**

*Cuadro. 36 Estadísticos suelo*

Factores inter-sujetos

		Etiqueta del valor	N
	1,00	2011	68
	2,00	2012	27
AÑO	3,00	2013	12
	4,00	2014	29
	5,00	2015	38

El cuadro 36 incluye 174 datos monitoreados del 2011 al 2015 de los contaminantes Cadmio, Niquel, Plomo, Hap's y HTP.

Cuadro. 37. Efectos intersujetos suelo 2011-2015

Pruebas de los efectos inter-sujetos						
Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados	degl tipo	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	CADMIO	,547a	4	,137	7,325	,000
	NIQUEL	5617,772b	4	1404,443	10,398	,000
	PLOMO	1011,493c	4	252,873	11,804	,000
	HAPS	,023d	4	,006	7,115	,000
	HTP	431126175,112e	4	107781543,778	24,297	,000
Intersección	CADMIO	2,419	1	2,419	129,593	,000
	NIQUEL	21379,957	1	21379,957	158,293	,000
	PLOMO	2760,932	1	2760,932	128,883	,000
	HAPS	,183	1	,183	228,830	,000
AÑO	HTP	160747499,977	1	160747499,977	36,238	,000
	CADMIO	,547	4	,137	7,325	,000
	NIQUEL	5617,772	4	1404,443	10,398	,000
	PLOMO	1011,493	4	252,873	11,804	,000
	HAPS	,023	4	,006	7,115	,000
	HTP	431126175,112	4	107781543,778	24,297	,000

Planteamiento de la hipótesis (Ver cuadro 37).

Ho: No existen diferencias en las concentraciones de los contaminantes al paso de los años.  $p < 0,05$

Hi: existen diferencias en las concentraciones de los contaminantes al paso de los años  $p \geq 0,05$

Decisión.

Como  $p < 0,05$  se desecha Ho.

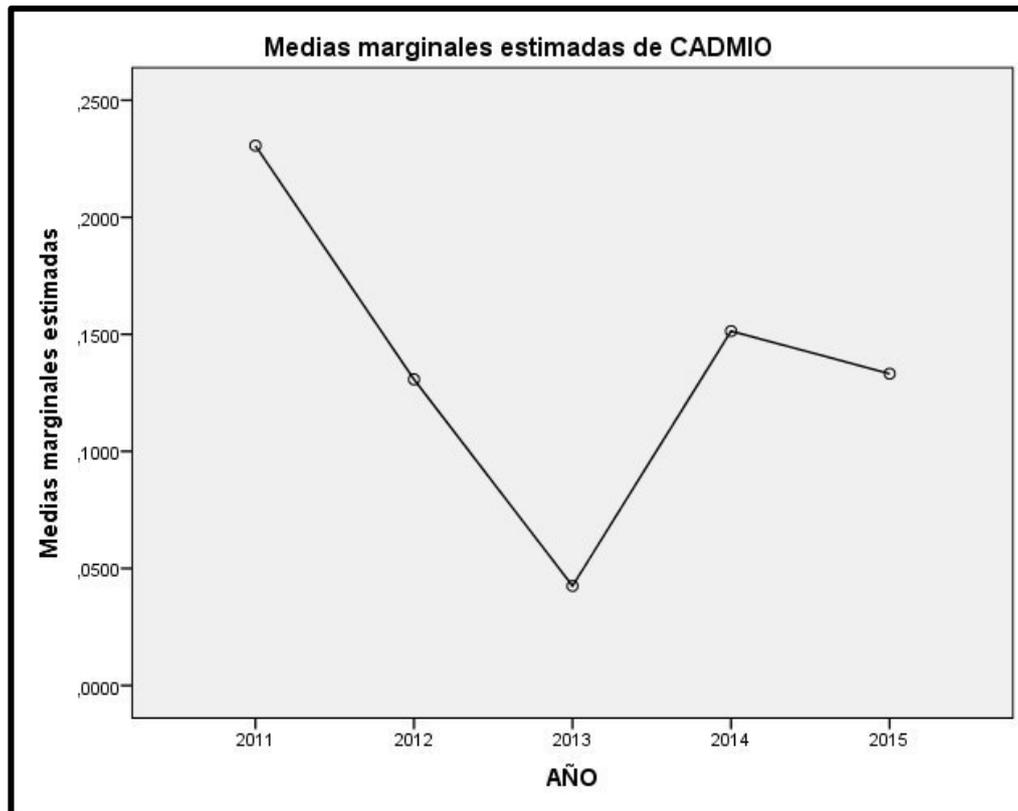


Figura. 27 Cadmio en el suelo

Explicación: En la figura anterior se registra en el eje de las abscisas el año de análisis, en el eje y, las medidas marginales correspondientes a la concentración del contaminante; los círculos permiten ubicar la coincidencia entre concentración y año; las líneas marcan una tendencia pero no relacionan linealmente a las medidas las cuales son puntuales.

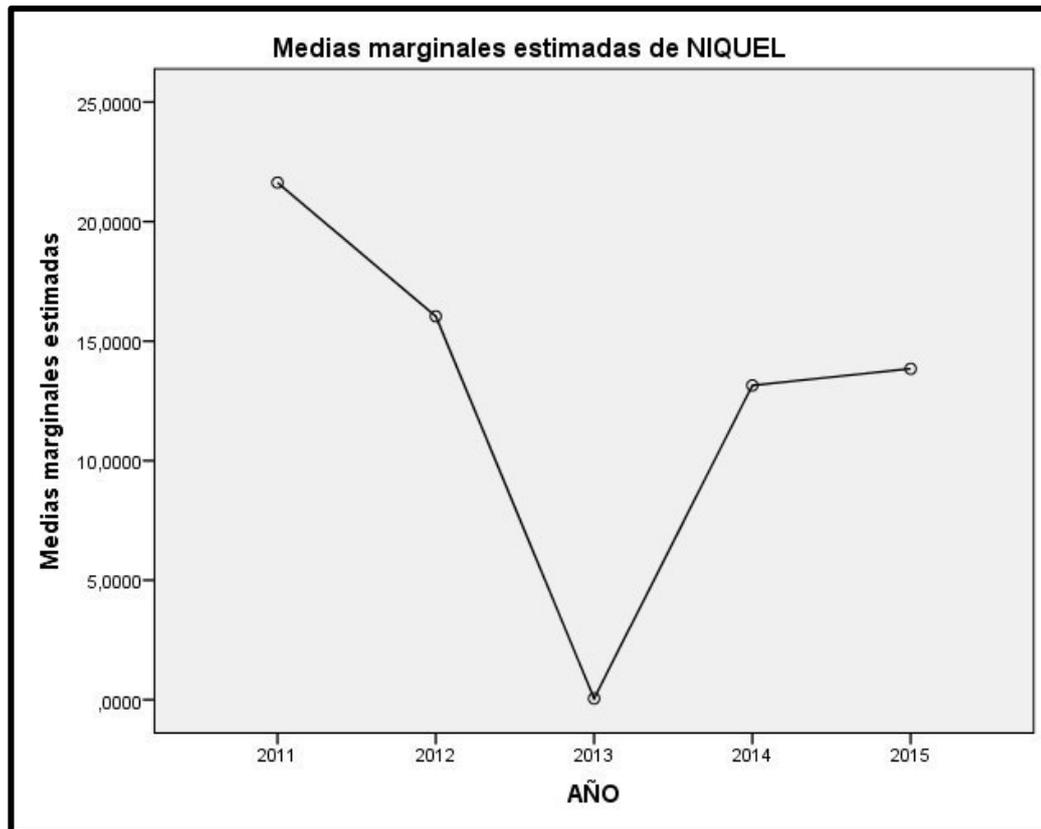
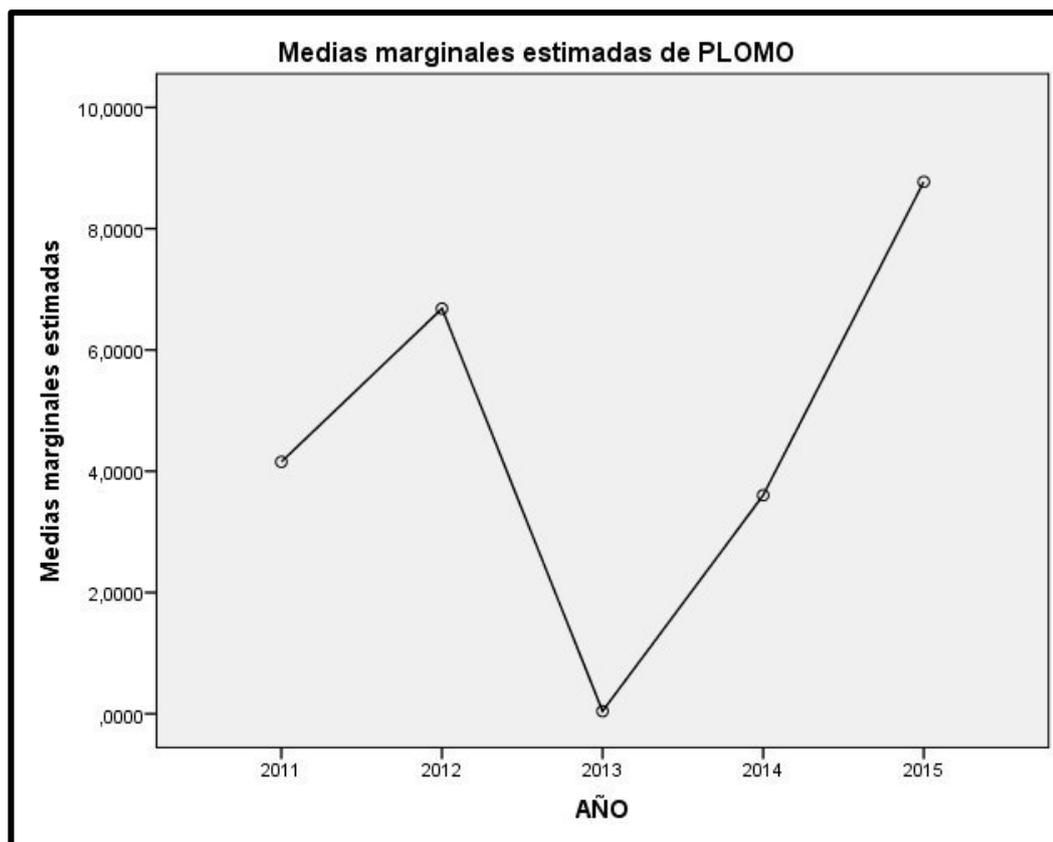


Figura. 28 Níquel en el suelo

Explicación: En la figura anterior se registra en el eje de las abscisas el año de análisis, en el eje y, las medidas marginales correspondientes a la concentración del contaminante; los círculos permiten ubicar la coincidencia entre concentración y año; las líneas marcan una tendencia pero no relacionan linealmente a las medidas las cuales son puntuales.



*Figura. 29 Plomo en el suelo*

Explicación: En la figura anterior se registra en el eje de las abscisas el año de análisis, en el eje y, las medidas marginales correspondientes a la concentración del contaminante; los círculos permiten ubicar la coincidencia entre concentración y año; las líneas marcan una tendencia pero no relacionan linealmente a las medidas las cuales son puntuales.

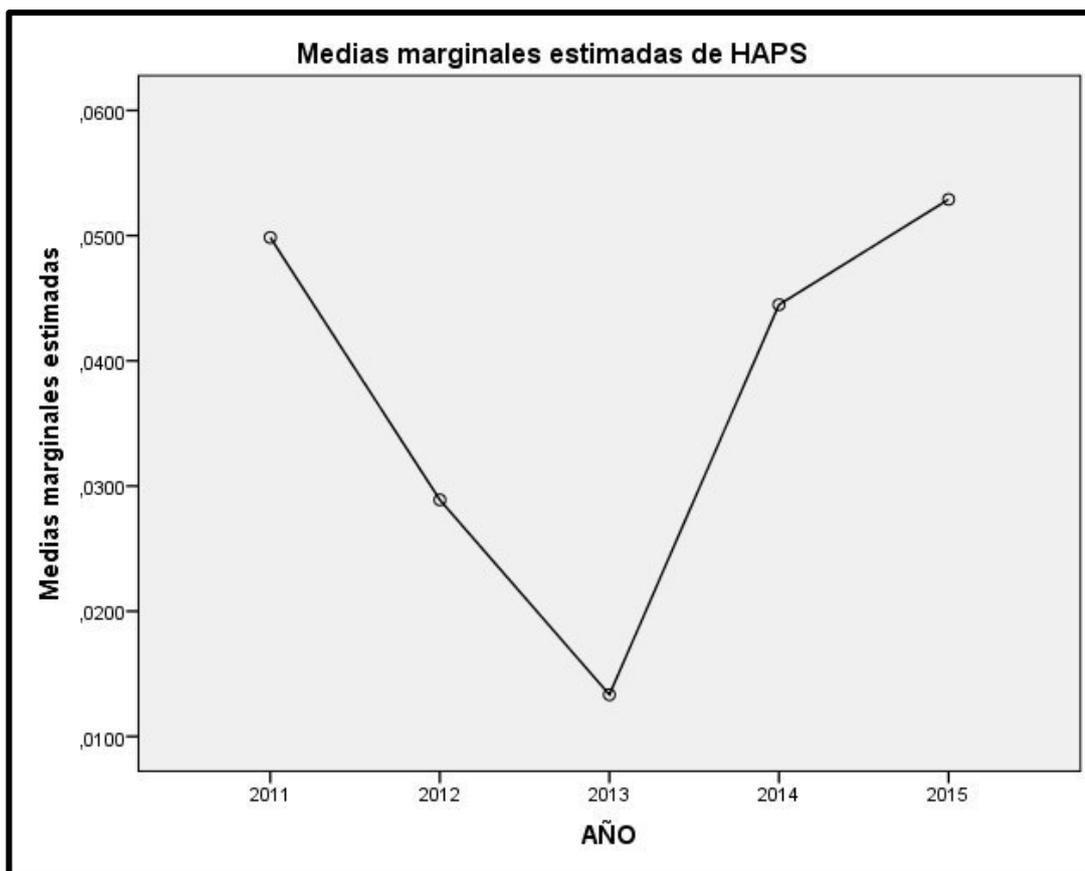


Figura. 30 Hap's en suelo

Explicación: En la figura anterior se registra en el eje de las abscisas el año de análisis, en el eje y, las medidas marginales correspondientes a la concentración del contaminante; los círculos permiten ubicar la coincidencia entre concentración y año; las líneas marcan una tendencia pero no relacionan linealmente a las medidas las cuales son puntuales.

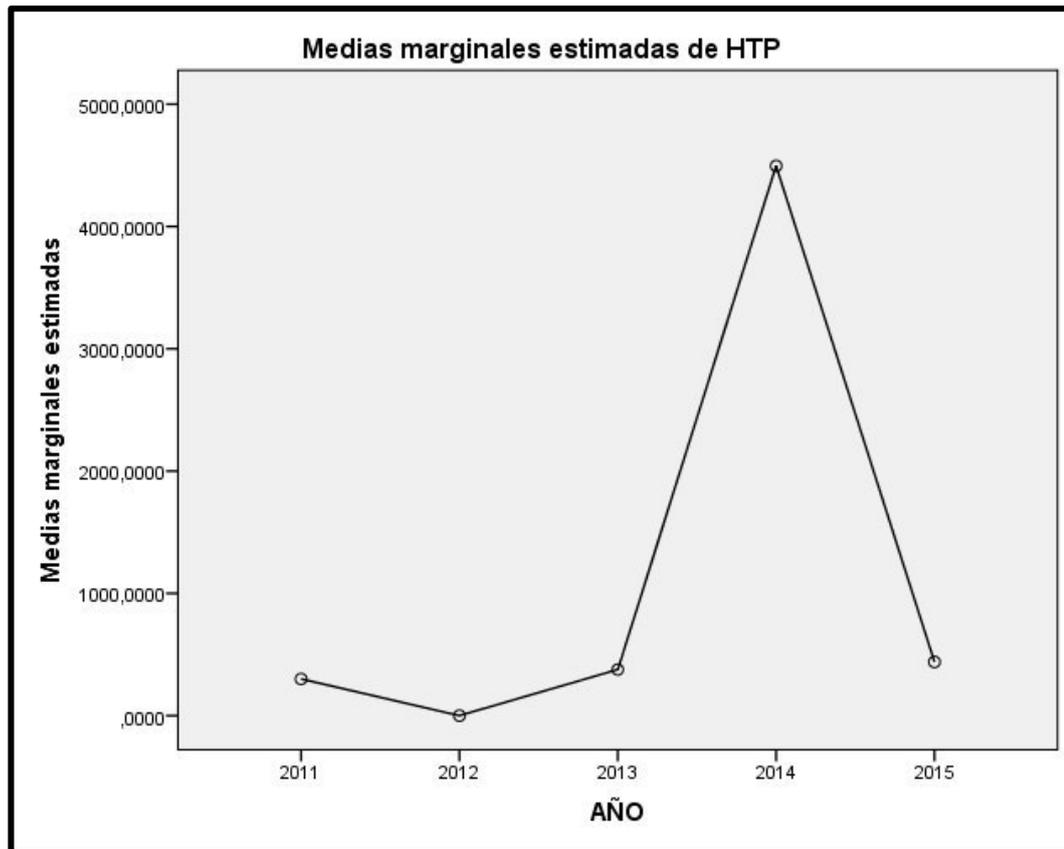


Figura. 31 HTP en suelo

Explicación: En la figura anterior se registra en el eje de las abscisas el año de análisis, en el eje y, las medidas marginales correspondientes a la concentración del contaminante; los círculos permiten ubicar la coincidencia entre concentración y año; las líneas marcan una tendencia pero no relacionan linealmente a las medidas las cuales son puntuales.

#### **4.1.3.4 Discusión suelo**

La emisión de metales pesados como cadmio y plomo en el suelo del área se traducen en contaminación que se transmite por la cadena trófica; en el caso del primero de los contaminantes, en amplio decrecimiento a partir del

derrame, tiene su mínimo en 2013 para subir abruptamente en 2014 y decaer brevemente en 2015 lo cual muestra una actividad irregular; en el caso del plomo, entre 2012 y 2013 tiende a desaparecer para repuntar entre 2014 y 2015 (según va alcanzando los niveles del subsuelo). El níquel, metal presente en el petróleo desciende drásticamente entre 2011 y 2013 pero según va alcanzando el subsuelo tiene un repunte entre 2014 y 2015, lo mismo sucede con los Hap's. El 2014 ve un gran repunte de HTP lo cual parece un caso aislado en cuanto al problema analizado pues excepto dicho año, en los demás no se evidencia una alta concentración.

Los estudios científicos referidos a la contaminación del suelo han determinado que existe una estrecha relación entre el cambio de características de dicho suelo en cuanto a la conductividad y por ende la resistividad, con el contaminante derramado, es por ello que la prospectiva geoeléctrica, mediante la cual el análisis del suelo no es enfocado solo superficialmente, constituyó un método acertado para el desarrollo de esta tesis.

El método de prospección geoeléctrica es preponderantemente importante para determinar la resistividad del suelo; está vinculada a la determinación de la contaminación por hidrocarburos (Okiwelu, 2018), (Murillo, s. f.), (Ruiz, Perdomo, Fuertes, Ainchil, & Villarreal, 2018).

#### 4.1.3.5 Modelo matemático de prospección geoelectrica

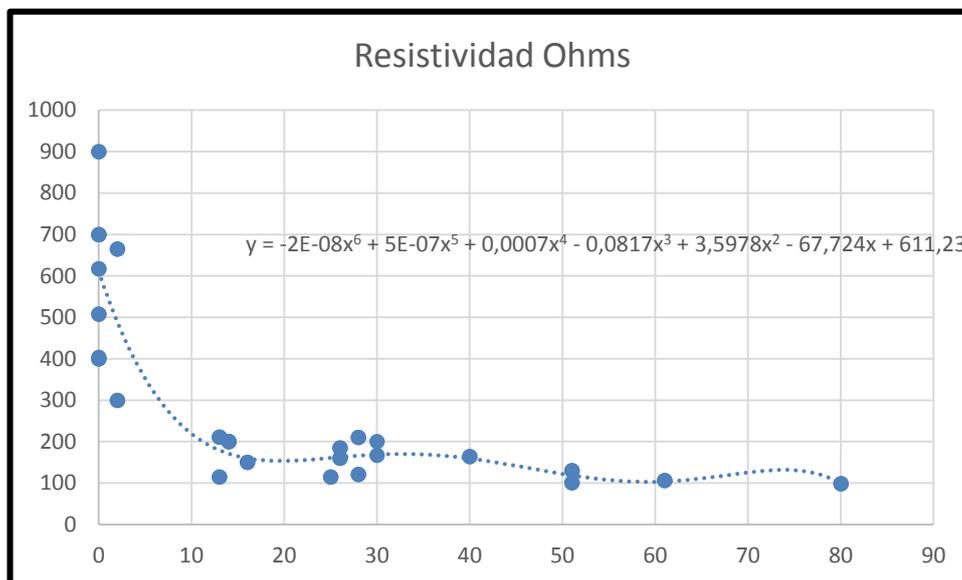


Figura. 32. Función Resistividad vs Profundidad del suelo

Explicación: En el eje X se presenta la profundidad del suelo medida en metros en tanto en el eje Y se registra la resistividad medida en Ohms.

Análisis de monotonía de la función

- Estrictamente decreciente
- Inyectiva demostrando causa efecto
- Suave, por tanto derivable y predecible
- Modelo:  $y = -2E-08x^6 + 5E-07x^5 + 0,0007x^4 - 0,0817x^3 + 3,5978x^2 - 67,724x + 611,23$

Los datos de donde se origina el modelo matemático se encuentran en el Anexo 7.

## 4.2 Modelo de riesgos

Se considera aspectos ambientales de los entornos humano, ecológico y socioeconómico; resultados de los rangos de los entornos determinados mediante encuestas, análisis de laboratorios y de geoelectrónica.

### 4.2.1 Ponderación indicador entorno humano

La escala se ubica en "muy alta" por la cantidad derramada equivalente a 13.000 barriles, la ponderación es de 4.

La extensión equivale a 4.6 hectáreas es una zona delimitada, la ponderación es de 1.

El indicador de peligrosidad es de Muy peligrosa, arrojando una ponderación de 4.

La población equivale a 560 personas, la ponderación es de 4.

<b>Gravedad sobre el entorno humano = cantidad + 2peligrosidad +</b>
--

$$\text{Gravedad del entorno humano} = 4 + 2 \cdot 4 + 1 + 4 = 17$$

Valoración de las consecuencias del entorno Ecológico.

En el entorno natural se evalúa por muy alta debido a la cantidad derramada de combustibles dando un valor de 4.

La extensión es de 4.6 hectáreas con un valor de 1

Su peligrosidad es de muy peligrosa con un valor de 4.

La calidad del medio es elevada con un valor de 3.

**Gravedad sobre el entorno socio económico = cantidad + 2peligrosidad + extensión + patrimonio y capital financiero.**

Gravedad sobre el entorno natural =  $4 + 2 \cdot 4 + 1 + 3 = 16$

La ponderación de 4 equivale al entorno socio económico

Las 4.6 hectáreas arrojan una ponderación de 1.

La ponderación de peligrosidad equivale a 4.

El capital productivo y patrimonio se ponderan con 1.

Respecto a los cuadros 37, 38, 39 y realizando un cálculo de gravedad de los entornos se utilizó la siguiente fórmula

**Gravedad sobre el entorno socio económico = cantidad + 2 peligrosidad + extensión + patrimonio y capital financiero.**

Gravedad sobre el entorno socioeconómico =  $4 + 2 \cdot 4 + 1 + 1$

Gravedad sobre el entorno socioeconómico = 14

Para cada escenario se asigna una ponderación de 1 a 5 (Ver cuadro 38).

*Cuadro. 38. Valoración de los escenarios identificados*

VALOR	VALORACIÓN	VALOR ASIGNADO
Crítico	20 – 18	5
Grave	17 – 15	4
Moderado	14 – 11	3
Leve	10 – 8	2
No relevante	7 – 5	1

#### **4.2.2 Valoración de los entornos**

Valoración para el entorno humano

Entorno humano: 17, hallándose en un rango de 17 a 25, y una ponderación de 4.

Valoración para el entorno natural

Entorno natural: 16, hallándose en un rango de 17 a 25 y una ponderación de 4.

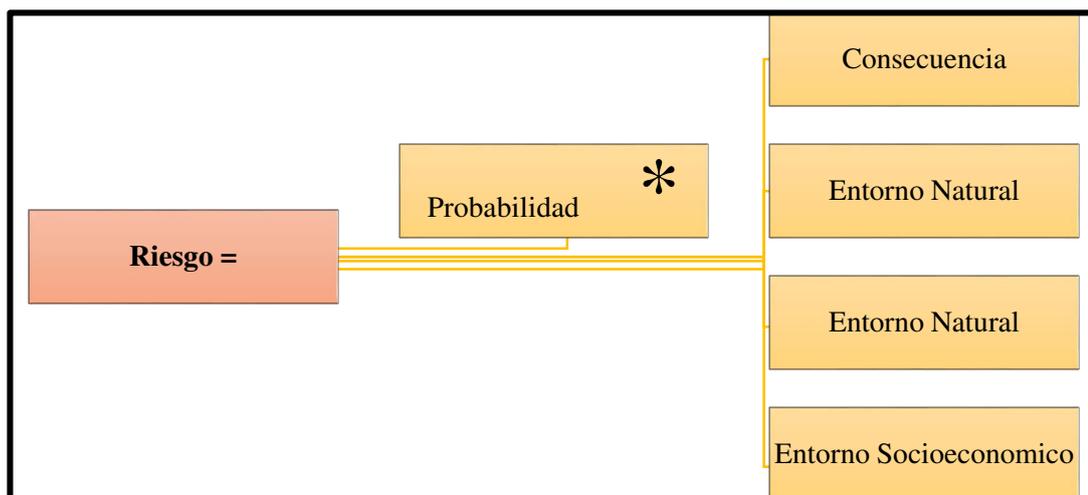
Valoración para el entorno socioeconómico

Entorno socioeconómico: 14 hallándose en un rango de 14 a 11, ponderación moderada de 3.

#### **4.2.3 Estimación del riesgo ambiental**

Para la ponderación del riesgo ambiental, véase el cuadro 39.

Cuadro. 39 Estimación del riesgo ambiental



Ponderación del riesgo ambiental en el entorno humano

Probabilidad = 2

Consecuencia = 4

Cuadro. 40. Estimación del riesgo ambiental entorno humano

		CONSECUENCIA				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
		RIESGO SIGNIFICATIVO			16 – 25	
		RIESGO MODERADO			6 – 15	
		RIESGO LEVE			1 – 5	

La ponderación en el caso del riesgo para el entorno humano es 8, moderado

Ponderación del riesgo ambiental orientado al entorno natural.

Probabilidad = 2

Consecuencia = 4

*Cuadro. 41. Escala de riesgo entorno natural*

		CONSECUENCIA				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
		RIESGO SIGNIFICATIVO			16 – 25	
		RIESGO MODERADO			6 – 15	
		RIESGO LEVE			1 – 5	

La ponderación del riesgo para el entorno natural es de 8, moderado.

Ponderación del riesgo ambiental para el entorno socioeconómico.

Probabilidad = 2

Consecuencias = 3

Cuadro. 42. Escala de riesgo entorno socioeconómico

		CONSECUENCIA				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
		RIESGO SIGNIFICATIVO			16 – 25	
		RIESGO MODERADO			6 – 15	
		RIESGO LEVE			1 – 5	

El riesgo acerca del entorno socioeconómico es de 6, moderado.

#### 4.2.4 Evaluación de riesgos ambientales

Se presenta en el cuadro 43 el riesgo moderado en la escala de ponderación de riesgo ambiental

Cuadro. 43. Escala de riesgo.

		VALOR MATRICIAL	EQUIVALENCIA PORCENTUAL %	PROMEDIO %	
	RIESGO SIGNIFICATIVO	16 - 25	64 – 100	82	
	RIESGO MODERADO	6 - 15	24 – 60	42	← RIESGO MODERADO
	RIESGO LEVE	1 - 5	1 – 20	10,50	

#### **4.2.5 Caracterización del riesgo ambiental**

La etapa final de evaluación del riesgo ambiental en cuanto al tema estudiado en el presente apartado se caracteriza en base a los tres entornos: socioeconómico, natural y humano, determinándose previamente el promedio de cada uno de dichos entornos, expresados en porcentaje, y finalmente se obtiene la sumatoria, así como la media de los tres entornos, aquel equivale al resultado final buscado.

Entonces la media de los riesgos de los entornos humano, natural y socioeconómico es:

$$\mathbf{H.N.SE = 8+8+6=22}$$

$$\mathbf{22/3 = 7.33}$$
 equivale al 42%

El derrame ocurrido en la línea Pk-128+500 es un **RIESGO MODERADO**.

Como conclusión de la presente investigación se ha elaborado el Modelo de Prevención de riesgos ambientales ocasionados por el derrame de Petróleo en el cantón la Concordia pk-2 para su respectiva evaluación. Modelo de prevención y medidas correctivas de riesgos ambientales en el transcurso de 1 año.

Cuadro. 44. Modelo de prevención de riesgos ambientales

MODELO DE PREVENCIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES															
ACTIVIDAD	INDICADOR (ANUAL)	VERIFICACION DE PROCESOS	EJECUCIÓN												RESPONSABLES
			1 <sup>er</sup> T			2 <sup>do</sup> T			3 <sup>er</sup> T			4 <sup>to</sup> T			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Instrucción acerca de los riesgos ambientales sobre los peligros identificados	4 cursos realizados durante el año.	Registro de asistencia		X			X			X			X		EP PETROECUADOR, Dirigentes comunitarios
Señalización del área	Colocación y 2 mantenimientos al año para 70 señaletas	Registro fotográfico.			X		X					X		EP PETROECUADOR	
Mantenimiento debidamente programado del poliducto bajo estándares internacionales	12 al año	Registro de mantenimiento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	EP PETROECUADOR
Concienciación a los pobladores indicando que se encuentran en un área de influencia.	2 capacitaciones al año	Registro de asistencia		X								X		EP PETROECUADOR, Dirigentes comunitarios	
Diseño e implementación del modelo de prevención de riesgos ambientales	1 modelo de prevención de riesgos ambientales en el año	Registro de cumplimiento de los procedimientos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	EP PETROECUADOR

#### **4.2.6 Discusión**

Ninguno de los trabajos citados en los antecedentes del presente estudio presenta la prospección geoelectrica como un método para el desarrollo de gestión de riesgos ambientales; por otro lado, no existen modelos de riesgos ambientales que se valgan de la prospección geoelectrica; no es complicado encontrar investigaciones que incluyan modelos de gestión de riesgos, por ejemplo en ingeniería ambiental, pero se basan en análisis superficiales de suelos, sin tomar en cuenta plumas de contaminación ni dispersión de contaminantes.

Moises Ortega Gonzalez en su artículo Métodos de Prospección Geofísica Aplicados en la Zona Aurífera de Chega Tudo, Región del Gurupí, establece una relación directa entre las anomalías magnéticas y la producción mineral, así como la resistividad del suelo; en el caso de este estudio, la contaminación hidrocarburífera del suelo se relaciona directamente con la resistividad del suelo y la profundidad.

C.N. Ehirim, O.F. Adizua and I.P.C. Okorie en su artículo Geoelectrical Characterization of Matured Petroleum Hydrocarbon Impacted Soil in Port Harcourt, Nigeria publicado en la revista Asian Journal of Earth Sciences concluyen que en base a la aplicación de la prospección geoelectrica, la baja resistividad del suelo revela la contaminación del mismo, relacionado este fenómeno a la degradación microbiana. En el presente estudio y en base a los resultados encontrados, se confirma que la baja resistividad del suelo se vincula a la contaminación de las aguas subterráneas.

Son numerosos los artículos científicos que se enfocan en analizar la contaminación del medio ambiente por hidrocarburos, es frecuente el uso de la

prospección geoelectrica, pero no proponen el uso de esta para modelos de gestión de riesgos; sus conclusiones pueden ser sesgadas sin el análisis de la evolución temporal de los derrames; he allí la fortaleza de la presente investigación.

#### ***4.2.7. Limitaciones de la investigación***

Al ser el estudio de corte transversal, imposible de repetir el fenómeno asociado a la contaminación, no se posibilita la recolección de datos físico-químicos primarios, como sería el caso de una investigación de laboratorio en la cual las condiciones asociadas se controlan, permitiendo la construcción de modelos predictivos. Los fenómenos antropológicos y naturales pueden crear sesgos en las conclusiones.

Otra de las limitaciones vinculadas al presente estudio, tiene que ver con la confidencialidad de los datos extraídos de los monitoreos, haciendo muy complejo la validación interna del modelo ya que no existe la voluntad política de los responsables para facilitar datos posteriores a fin de ampliar los horizontes del estudio.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

En relación al agua, entre 2011 y 2015 aumentaron los compuestos BTEX volátiles, dicho crecimiento es irregular como efecto de la contaminación; el peligro de estos compuestos en los habitantes del sector expuestos a él es la afectación del sistema nervioso central. En el periodo detallado anteriormente la conductividad tiende a un franco crecimiento a partir de 2014, la conductividad es directamente proporcional a los sólidos disueltos que son adversos además a la calidad del agua y a la aparición del agua dura.

Los Hap's decaen entre 2011 a 2015, tal fenómeno se esperaba ya que el derrame en el sector no se ha vuelto a producir; el efecto de los Hap's sobre la salud humana son sumamente nocivos pudiendo causar incluso cáncer.

Entre 2011 y 2015 el pH se estabiliza en el nivel neutro; entre 2011 y 2012 éste parámetro física era más bien bajo, lo que muestra una interacción del agua con los gases contaminantes atmosféricos.

En el tema análisis de suelo: la emisión de metales pesados como cadmio y plomo en el suelo del área se traducen en contaminación que se transmite por la cadena trófica; en el caso del primero de los contaminantes, en amplio decrecimiento a partir del derrame, tiene su mínimo en 2013 para subir abruptamente en 2014 y decaer brevemente en 2015 lo cual muestra una

actividad irregular; en el caso del plomo, entre 2012 y 2013 tiende a desaparecer para repuntar entre 2014 y 2015 (según va alcanzando los niveles del subsuelo). El níquel, metal presente en el petróleo desciende drásticamente entre 2011 y 2013 pero según va alcanzando el subsuelo tiene un repunte entre 2014 y 2015, lo mismo sucede con los Hap's. El 2014 ve un gran repunte de HTP lo cual parece un caso aislado en cuanto al problema analizado pues excepto dicho año, en los demás no se evidencia una alta concentración.

A partir de la caracterización de los entornos ambientales se determinó que los parámetros de sensibilidad socioeconómica son altos.

Los entornos más impactados son el natural y el antropogénico el humano a diferencia del socioeconómico. La media de los riesgos de los entornos socioeconómico, humano, natural es del 42%, por lo que el derrame ocurrido corresponde a un riesgo moderado.

El modelo de resistividad real resultante para cada perfil y realizada la corrección de topografía se define los diferentes rangos de resistividades del subsuelo que representan las unidades geológicas y las estructuras que conforman el sustrato. La profundidad máxima alcanzada fue de 84 m en el perfil L1, mientras que la mínima profundidad de 37 se obtuvo en el perfil L4. Error Medio Porcentual (RMS) obtenido en los perfiles es menor del 5%, considerándose las interpretaciones de alta la confiabilidad.

Los rangos de resistividades altos no corresponden a anomalías por hidrocarburo, este hecho es justificado por la no presencia del producto en partes superficiales en cotas de mayor altura. Estas resistividades altas se asocian a partes densas y/o secas dentro de la secuencia sedimentaria de cobertura cuyos espesores se encuentran entre 7 a 10m.

En el estudio de prospección geofísica se planteó como hipótesis que las resistividades entre 130 a 200 Ohm-m, podrían representar las anomalías producidas por hidrocarburo. De acuerdo al Modelo Conceptual de la Pluma de Contaminación y la trayectoria de flujo del hidrocarburo el rango de resistividades propuesto no representa la anomalía producida por el hidrocarburo ya que estas resistividades están presentes en otros perfiles en las cuales las perforaciones no detectaron presencia de contaminante. Por lo tanto, no debe tomarse estos valores de resistividad como anomalías.

Se instalaron 19 pozos de monitoreo denominados PM-1 a PM-19, con el fin de medir los niveles de agua subterránea y poder obtener muestras para su análisis químico.

Con base en los muestreos de campo (COVs, producto libre, y análisis organoléptico) y de laboratorio, los suelos en los puntos investigados que no cumplen la normatividad ecuatoriana (cuadro 6 del RAOH 1215; y el cuadro 3 del libro 6 anexo 2 del TULAS) están ubicados en los pozos de monitoreo PM-3, PM-4, PM-5, PM-7, PM-8, PM-9, PM-10, PM-12, PM-13, PM-14 y PM-18, y las perforaciones exploratorias PEC-3, PEC-7, PEC-9, PEC-10, PEC-20, PEC-26, PEC-28, PEC-33 y PEC-35.

Algunos puntos que están dentro de la pluma delimitada, mostraron valores muy bajos (dentro de la regulación ecuatoriana), en donde organolépticamente y la medición de COVs dieron positivo, como el caso de las perforaciones PEC-11, PEC-19 y PEC-20, muy cerca al afloramiento o Fuga 6; es probable que solamente existan trazas no detectadas por el laboratorio.

En general, el suelo afectado corresponde a limos arenosos con una superficie aproximada de 4.6 ha. De acuerdo a las perforaciones este espesor afectado varía entre 5 a 7 m., y dan como resultado un volumen de suelo contaminado de entre 231 260 m<sup>3</sup> y 323 764 m<sup>3</sup>. Mientras que el volumen del acuífero

contaminado se lo ha estimado en 7 455 m<sup>3</sup>, con un volumen aproximado de producto en fase libre de 1 491 m<sup>3</sup>.

Se realizó el modelo *per se* de gestión de riesgos basado en los datos obtenidos mediante las diversas metodologías presentadas en el presente documento como son la prospección geoeléctrica de baja frecuencia, el diseño de componentes principales que mostró una prevalencia superficial de metales pesados entre los contaminantes, así como los Hap's y TPH en los primeros años, finalmente los árboles de decisión que mostraron la preponderancia de la conductividad en la descrita prevalencia de contaminantes.

## 5.2 Recomendaciones

En cuanto al presente estudio de modelación de riesgos ambientales por derrame de crudo en Santo Domingo de los Tsáchilas, esto, con fines de profundización, es importante realizar varios sondeos sobre la línea de prospección L5 para entender la trayectoria actual de la pluma de contaminación.

Se recomienda establecer políticas relacionadas con la gestión ambiental, a fin de que los investigadores tengan la opción de acceder a datos e información referente a los episodios de contaminación del medio ambiente provocados por derrame de combustibles en los cuales, elementos del estado estén involucrados y no se propenda a un hermetismo oficial.

En cuanto a la validación interna del modelo de gestión de riesgos ambientales, se requiere mantener una base de datos que esté constantemente actualizada, a fin de refrescar permanentemente la información primordial de los parámetros asociados a la aplicación del citado modelo.

Se recomienda aplicar diferentes escenarios para analizar la prospectiva de la resistividad del suelo con respecto a la medida de profundidad del suelo, a fin de realizar la validación interna del modelo matemático regresional polinómico asociado y así aplicarlo en situaciones problemáticas de derrames de hidrocarburos con propósitos de prevención y remediación.

De acuerdo a los modelos preliminares de flujo, la zona activa de contaminación, a más del derrame ocurrido en el mes de diciembre del 2010, posiblemente debe haber recibido impacto de eventos anteriores. Según el modelo de migración y dispersión de las partículas a través del tiempo se estima que estos eventos son

mayores a un (1) año, se recomienda para estudios posteriores, tomar en cuenta esta información como una variable interviniente.

Es importante realizar una validación externa del modelo de gestión de riesgos ambientales para ver los alcances de la propuesta; es posible que el presente modelo sea aplicable solo a estudios relacionados cuyos factores sean similares al analizado, puede ser que sea generalizable a otros casos; tesis que se basen en la presente deben enfocarse en la validación externa como objetivo general sugerido.

Se recomienda la publicación de artículos académicos y científicos en la educación superior, así como la linealidad de las investigaciones de grado y posgrado vinculadas a la prospección geoeléctrica, articulada a la determinación de la contaminación por derrames de combustible proponiendo modelos de gestión de riesgos ambientales y no destinados solo a establecer marcos teóricos de aplicación.

## BIBLIOGRAFÍA

AENOR (2008), Norma Española, Análisis y evaluación del Riesgo Ambiental, Madrid España.

Asamblea. (2008). Registro Oficial . Quito-Ecuador

Carretero, A (2008), *Análisis y Evaluación del Riesgo Ambiental* (Exposición NORMA UNE 150008 – 2008), Asociación Española de Normalización y Certificación – AENOR, España.

Crawford GTS - Environmental Risk Defined. (2019). Recuperado 16 de agosto de 2019, de <https://crawfordgts.com/services/environmental-risk/environmental-risk-defined.aspx>

Cap8\_se\_el\_inga.pdf. (s. f.). Recuperado de [https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners\\_home/EIA/cap8\\_se\\_el\\_inga.pdf](https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/EIA/cap8_se_el_inga.pdf)

Diaz, Fernando (1999), *Metodología de Identificación y Evaluación de Riesgos para la Salud en Sitios Contaminados*, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Oficina Sanitaria Panamericana – Oficina Regional de la, Organización Mundial de la Salud, Agencia Alemana de Cooperación Técnica, Lima Perú.

EP Petroecuador (2011). Informe técnico Gerencia Salud y Seguridad ambiental. Quito-Ecuador.

Figuroa, L., & Luis, J. (2019). Caracterización geólogo – mineralógica de la veta Santa Martha, Asociación Comunitaria Minera “El Mirador”, Distrito Minero Ponce Enriquez, Provincia del Azuay. Caracterización geólogo – mineralógica de la veta Santa Martha, Asociación Comunitaria Minera “El Mirador”, Distrito Minero Ponce Enriquez, Provincia del Azuay. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39833>

Geoelectrical Characterization of Matured Petroleum Hydrocarbon Impacted Soil in Port Harcourt, Nigeria—SciAlert Responsive Version. (2016). <https://doi.org/10.3923/ajes.2016.9.15>

Gonzalez, M. O. (2018). Métodos de Prospección Geofísica Aplicados en la Zona Aurífera de Chega Tudo, Region del Gurupi, Maranhão. *Revista Brasileira de Geociências*, 15(1), 66-73.

Giraldo Sánchez, H. F., & Sendoya Losada, D. F. (2016). Diseño y construcción de equipo para realizar prospección geofísica aplicando el método vde tomografía eléctrica.

Gómez, S. &. (2016). Corrección en la medición de resistividad tomado con Logging While Drilling (LWD), para tres pozos donde se presentan ambientes de alta resistividad. Fundación Universidad de América.

Heenan, J. W., Ntarlagiannis, D., Slater, L. D., Beaver, C. L., Rossbach, S., Revil, A., ... & Bekins, B. (2017). Field-scale observations of a transient geobattery resulting from natural attenuation of a crude oil spill. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 122(4), 918-929.

Hidrogeocol, Cía. Ltda. (2011), Informe Técnico, Estudio de la Pluma de Contaminación y área de Influencia del Derrame PK-128+500 Sector la Concordia. Fase III Perforaciones Exploratorias. Quito Ecuador.

Hidrogeocol, Cía. Ltda. (2011), Informe Técnico, Estudio para la Determinación de la Pluma de Contaminación en el PK-128+500 del poliducto Esmeraldas-Quito. Fase II Geofísica. Quito Ecuador.

INDECI (2006), Manual Básico para la Estimación del Riesgo, DINAPRE – Dirección Nacional de Prevención / UUER – Unidad de Estudios y Evaluación de Riesgos, *Lima Perú*.

Luna de Anda, C. M. (2015). Métodos de prospección eléctrica aplicados a la detección de discontinuidades estructurales.

M2ud2.pdf. (s. f.). Recuperado de <http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/2EFDBE3F-EA49-4BDE-9CFB-7EEF169F4ECA/0/m2ud2.pdf>

Murillo, L. A. A. ( 2015). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa—UNSA. 166.

MINSA (2001). Evaluación de Riesgo Ambiental - Plaguicidas en la Actividad Agrícola, Documento Técnico Perú/Minsa/OGE – 01/011 & serie de herramientas metodológicas en epidemiología y salud pública, Lima – Perú.

Miller, J., Tischer, M., Voseler, C. Bark, K. (2004). Guía para la Gestión de Sustancias Químicas Cómo optimizar la gestión de sustancias químicas a fin de minimizar costos, reducir riesgos y mejorar la seguridad, GTZ, Alemania.

Morin, E. (2016). Renacimiento latinoamericano pensamiento complejo y pensamiento meridional. *Cronos* 1(2), 141-146.

Petroecuador. (1 de Abril de 2017). Petroecuador. Obtenido de <http://www.eppetroecuador.ec/>

NIELSEN, D. M., *Practical Handbook Ground-Water Monitoring*. Lewis Publ., Chelsea, MI. 1991.

Nuñez Y., Garcia N., Nieto M., (2005), la norma UNE 150008 EX: Análisis y Evaluación del Riesgo Medioambiental en el Régimen Comunitario de Responsabilidad Medioambiental (Presentación para el Seminario organizado por la Red Española y Catala), División de Medio Ambiente - Área de Gestión Medioambiental, Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente, Universidad de Valladolid, España.

Okiwelu, A. (2018). *Geophysics*. BoD – Books on Demand.

OMS (2000), Métodos de Evaluación de Riesgos para la Salud generados por la Exposición a Sustancias Peligrosas liberadas por Rellenos Sanitarios, Informe de una Reunión de la OMS, Lodz, Polonia.

OMS (2000), Métodos de Evaluación de Riesgos para la Salud generados por la Exposición a Sustancias Peligrosas liberadas por Rellenos Sanitarios, Informe de una Reunión de la OMS, Lodz, Polonia.

Rodriguez, J. J. A. (2018). Caracterización Geofísica (Método Geoeléctrico Sev) de Los Acuíferos en el Sector Noroeste del Municipio de Agustín Codazzi. Cesar. 61.

Rossello, E. A. (2018). Influencia del Soterramiento en la Calidad de los Reservorios de Hidrocarburos: Fundamentos, Metodologías Prácticas de

Reconocimiento e Interpretación. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 75(2), 282-295-295.

Ruiz, M. S., Perdomo, S., Fuertes, P. C., Ainchil, J., & Villarreal, J. (2018). Caracterización geoelectrica, hidrodinámica e hidroquímica del acuífero pampeano y su relación con el Arroyo Pergamino, provincia de Buenos Aires. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 0(37), 77-87.

Ruano, J. (2016). Epistemología del Sur: una visión descolonial a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. . *Sankofa* , 137-158.

Peña, C., Canter, D., Ayala Fierro, F. (2001), Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental, Southwest Hazardous Waste Program, A Superfund Basic Research and Training Program, At the College of Pharmacy, EEUU.

PNUMA/IPCS (1999), Módulo de Capacitación No. 3 - Evaluación de Riesgos Químicos, preparado por Centro de Toxicología de Edimburgo.

Produce (2001), Guía de Matriz de Riesgo, Guías y Formatos, Aprobado por Resolución Ministerial N° 133-2001-ITINCI-DM, Lima, Perú.

SEMARNAP (1999), Promoción de la Prevención y Reducción de Riesgos Químicos Ambientales, México.

SIISE. (2010). Sistema integrado de indicadores sociales del Ecuador 2010

*Noboa, G.* (2001). Decreto Ejecutivo 1215 RAOHE Reglamento ambiental de operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador 2001.

Shevnin, V. A., Sanchez, J. L., & Sanchez, A. (2016, September). Investigation of Some Case of Oil Contamination in Mexico. In *Near Surface Geoscience 2016-22nd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*.

Sonkamble, S. (2014). Electrical resistivity and hydrochemical indicators distinguishing chemical characteristics of subsurface pollution at Cuddalore coast, Tamil Nadu. *Journal of the Geological Society of India*, 83(5), 535-548.

Veloso, D. I. K., Moreira, C. A., & Côrtes, A. R. P. (2016). Integration of Geoelectrical Methods in the Diagnostic of a Diesel Contaminated Site in Santa Ernestina (SP). *Revista Brasileira de Geofísica*, 33(4).

What is Flora and Fauna. (2019) tomado de [flora.huh.harvard.edu](http://flora.huh.harvard.edu)

## **ANEXO 1**

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA ACTIVIDADES DESARROLLADAS  
DURANTE EL LEVANTAMIENTO DE LA GEOELÉCTRICA CONTINUA



**FOTO No. 1.** Inicio de emplazamiento del perfil geoelectrico L2



**FOTO No. 2.** Visita al sitio de posible bombeo para remediación.



**FOTO No. 3.** Desarrollo de actividades para el despliegue del eje L4



**FOTO No. 4.** Desarrollo de eje L1



**FOTO No. 5.** Desarrollo del eje exploratorio L3



**FOTO No. 6.** Desarrollo del eje L4



**FOTO No. 7.** Desarrollo de actividades para el eje L5



**FOTO No. 8.** Desarrollo de actividades alrededor del pozo artesanal contaminado, eje L5



**FOTO No. 9.** Desarrollo de actividades para el despliegue del eje L4



**FOTO No. 10.** Cierre de vía por 75 minutos para la medición de eje L8



**FOTO No. 11.** Personal de Hidrogeocol luego de actividades en el PK 128+500



**FOTO No. 12.** Modulo del equipo SuperSting R8 de 8 canales y 200 watt de potencia empleado para el levantamiento de la Prospección Geoeléctrica Continua.



**FOTO No. 13.** Cableado del Equipo SuperSting R8 conformado por 8 secciones de 162.0 m de longitud con 7 sensores (electrodos de corriente) por sección, distanciados uno de otro 20.25 m.



**FOTO No.1 4.** Origen de derrame ya contenido.



**FOTO No. 15.** Lugar de la fuga 01 y contención en sitio.



*FOTO No. 16. Lugar de la fuga 01 y contención en sitio.*



**FOTO No. 17.** Línea para prospección geoelectrica L7, Eje pasa sobre cauce de Río Cucaracha.



**FOTO No. 18.** Línea para prospección geoelectrica L7, Preparativos sobre área pantanosa.

## ANEXO 2

### UBICACIONES DE ELECTRODOS EN PERFILES L1, L2, L3,L4, L5, L6, L7 Y L8

PERFIL L1 - L1'			
ELECTRODO	ESTE	NORTE	COTA
1	684618.68	9992266.62	256.6
2	684624.65	9992272.37	258.4
3	684630.53	9992278.07	260.7
4	684636.42	9992283.74	263.1
5	684642.40	9992289.51	264.8
6	684648.23	9992295.06	267.6
7	684654.04	9992300.63	270.3
8	684659.85	9992306.20	273.0
9	684665.90	9992312.01	274.5
10	684671.99	9992317.93	274.3
11	684677.96	9992323.66	272.4
12	684683.91	9992329.39	270.3
13	684689.87	9992335.12	268.4
14	684695.96	9992340.98	267.4
15	684702.04	9992346.84	266.5
16	684708.14	9992352.70	267.3
17	684714.18	9992358.52	268.6
18	684720.11	9992364.23	270.8
19	684725.97	9992369.86	273.3
20	684731.81	9992375.49	275.8
21	684737.79	9992381.24	277.6
22	684743.76	9992386.99	279.5
23	684749.84	9992392.85	280.5
24	684755.96	9992398.74	280.8
25	684762.08	9992404.63	281.1
26	684768.17	9992410.49	282.0
27	684774.25	9992416.34	283.1
28	684780.34	9992422.20	283.9
29	684786.43	9992428.07	284.8
30	684792.51	9992433.92	285.8
31	684798.63	9992439.81	286.1
32	684804.75	9992445.70	286.2
33	684810.87	9992451.59	285.7
34	684816.98	9992457.48	285.2
35	684823.11	9992463.37	285.2
36	684829.23	9992469.27	285.3
37	684835.35	9992475.15	284.9
38	684841.47	9992481.04	284.5
39	684847.59	9992486.94	284.4
40	684853.70	9992492.81	285.0
41	684859.82	9992498.71	285.1
42	684865.94	9992504.60	285.1
43	684872.07	9992510.50	285.2
44	684878.17	9992516.39	284.4
45	684884.26	9992522.25	283.5
46	684890.32	9992528.12	284.7
47	684896.44	9992534.01	285.0
48	684902.56	9992539.84	285.0
49	684908.68	9992545.73	285.4
50	684914.80	9992551.62	285.8
51	684920.92	9992557.51	285.8
52	684927.04	9992563.41	285.8
53	684933.17	9992569.30	285.7
54	684939.26	9992575.17	284.8
55	684945.35	9992581.03	284.0

PERFIL L2 - L2'			
ELECTRODO	ESTE	NORTE	COTA
1	685091.97	9992375.20	283.0
2	685088.15	9992379.16	282.9
3	685084.35	9992383.11	282.4
4	685080.56	9992387.06	281.9
5	685076.74	9992391.02	281.9
6	685072.93	9992394.99	282.0
7	685069.12	9992398.94	282.2
8	685065.32	9992402.90	282.5
9	685061.53	9992406.84	283.2
10	685057.75	9992410.77	283.9
11	685053.95	9992414.71	284.4
12	685050.15	9992418.67	284.7
13	685046.34	9992422.63	285.1
14	685042.52	9992426.59	285.2
15	685038.71	9992430.54	285.3
16	685034.89	9992434.51	285.4
17	685031.08	9992438.47	285.4
18	685027.26	9992442.43	285.3
19	685023.45	9992446.40	285.3
20	685019.64	9992450.36	285.3
21	685015.82	9992454.32	285.4
22	685012.01	9992458.28	285.6
23	685008.19	9992462.24	285.7
24	685004.38	9992466.20	285.8
25	685000.57	9992470.16	285.8
26	684996.75	9992474.13	285.9
27	684992.94	9992478.09	285.8
28	684989.13	9992482.06	285.8
29	684985.31	9992486.02	285.8
30	684981.50	9992489.98	285.7
31	684977.68	9992493.94	285.8
32	684973.87	9992497.90	285.7
33	684970.06	9992501.87	285.7
34	684966.24	9992505.82	285.6
35	684962.42	9992509.78	285.5
36	684958.62	9992513.74	285.2
37	684954.81	9992517.70	285.0
38	684951.00	9992521.66	284.6
39	684947.20	9992525.62	284.3
40	684943.38	9992529.58	284.2
41	684939.57	9992533.54	284.1
42	684935.75	9992537.50	284.2
43	684931.95	9992541.46	284.5
44	684928.14	9992545.42	284.8
45	684924.34	9992549.38	285.0
46	684920.53	9992553.35	285.2
47	684916.71	9992557.30	285.3
48	684912.89	9992561.26	285.3
49	684909.08	9992565.23	285.3
50	684905.27	9992569.19	285.2
51	684901.46	9992573.15	284.9
52	684897.66	9992577.10	284.5
53	684893.85	9992581.05	284.1
54	684897.65	9992577.10	284.5
55	684901.46	9992573.14	284.9
56	684897.64	9992577.10	284.6

PERFIL L3 - L3'			
ELECTRODO	ESTE	NORTE	COTA (msnm)
1	684934.38	9992307.97	286.1
2	684930.57	9992311.93	285.9
3	684926.75	9992315.88	286.0
4	684922.92	9992319.83	286.2
5	684919.12	9992323.80	286.4
6	684915.32	9992327.77	286.7
7	684911.50	9992331.73	286.8
8	684907.69	9992335.69	286.9
9	684903.88	9992339.65	286.9
10	684900.06	9992343.62	286.9
11	684896.25	9992347.58	286.8
12	684892.44	9992351.54	286.7
13	684888.62	9992355.50	286.6
14	684884.81	9992359.43	286.1
15	684881.00	9992363.35	285.5
16	684877.30	9992367.23	284.3
17	684873.60	9992371.11	283.0
18	684870.02	9992374.83	281.1
19	684866.44	9992378.55	279.2
20	684862.89	9992382.24	277.2
21	684859.34	9992385.93	275.2
22	684855.53	9992389.89	275.5
23	684851.99	9992393.57	277.6
24	684848.44	9992397.25	279.6
25	684844.92	9992400.91	281.7
26	684841.39	9992404.57	283.8
27	684837.63	9992408.48	284.7
28	684833.87	9992412.38	285.7
29	684830.07	9992416.34	286.0
30	684826.26	9992420.30	286.3
31	684822.44	9992424.26	286.4
32	684818.63	9992428.22	286.4
33	684814.82	9992432.19	286.4
34	684811.01	9992436.15	286.3
35	684807.19	9992440.11	286.3
36	684803.38	9992444.07	286.1
37	684799.57	9992448.03	285.9
38	684795.77	9992451.98	285.4
39	684791.97	9992455.93	284.9
40	684788.18	9992459.87	284.4
41	684784.39	9992463.81	283.8
42	684780.63	9992467.72	282.9
43	684776.86	9992471.63	282.0
44	684773.09	9992475.55	281.2
45	684769.34	9992479.41	280.0
46	684765.60	9992483.28	278.9
47	684761.81	9992487.23	278.4
48	684758.02	9992491.18	277.9
49	684754.21	9992495.14	277.6
50	684750.40	9992499.10	277.4
51	684746.59	9992503.06	277.3
52	684742.77	9992507.02	277.2
53	684739.00	9992510.94	278.0
54	684735.20	9992514.89	278.5
55	684731.40	9992518.84	278.9
56	684727.58	9992522.80	279.0

PERFIL L4 - L4'			
ELECTRODO	ESTE	NORTE	COTA (msnm)
1	684656.77	9992282.05	264.5
2	684654.71	9992284.18	265.0
3	684652.66	9992286.31	265.5
4	684650.61	9992288.44	266.0
5	684648.53	9992290.60	265.9
6	684646.45	9992292.76	265.8
7	684644.37	9992294.92	265.8
8	684642.29	9992297.08	265.6
9	684640.22	9992299.24	265.4
10	684638.14	9992301.40	265.3
11	684636.06	9992303.55	265.1
12	684633.98	9992305.71	264.9
13	684631.91	9992307.87	264.8
14	684629.83	9992310.03	264.6
15	684627.76	9992312.18	264.4
16	684625.68	9992314.34	264.1
17	684623.61	9992316.49	263.8
18	684621.54	9992318.64	263.5
19	684619.47	9992320.79	263.2
20	684617.40	9992322.94	262.9
21	684615.33	9992325.09	262.6
22	684613.30	9992327.20	261.9
23	684611.27	9992329.31	261.3
24	684609.24	9992331.42	260.6
25	684607.21	9992333.53	260.0
26	684605.17	9992335.64	259.4
27	684603.14	9992337.75	258.7
28	684601.07	9992339.90	258.4
29	684599.00	9992342.05	258.1
30	684596.93	9992344.20	257.8
31	684594.86	9992346.35	257.5
32	684592.79	9992348.51	257.7
33	684590.71	9992350.67	257.9
34	684588.63	9992352.82	258.1
35	684586.57	9992354.97	258.4
36	684584.50	9992357.11	258.8
37	684582.44	9992359.26	259.2
38	684580.36	9992361.41	259.4
39	684578.29	9992363.57	259.6
40	684576.21	9992365.72	259.8
41	684574.14	9992367.88	260.0
42	684572.06	9992370.03	259.8
43	684569.99	9992372.19	259.6
44	684567.91	9992374.34	259.4
45	684565.87	9992376.46	258.8
46	684563.83	9992378.58	258.2
47	684561.80	9992380.70	257.6
48	684559.75	9992382.83	257.1
49	684557.70	9992384.96	256.6
50	684555.65	9992387.09	256.0
51	684553.60	9992389.22	255.5
52	684551.53	9992391.36	255.1
53	684549.47	9992393.50	254.7
54	684547.41	9992395.65	254.4
55	684545.33	9992397.81	254.3
56	684543.25	9992399.97	254.2

PERFIL L5 - L5'			
ELECTRODO	ESTE	NORTE	COTA
1	684630.44	9992349.10	259.1
2	684636.22	9992349.81	262.0
3	684642.12	9992350.53	264.6
4	684648.01	9992351.25	267.2
5	684654.05	9992351.99	269.5
6	684660.32	9992352.76	271.1
7	684666.58	9992353.53	272.6
8	684673.03	9992354.32	272.7
9	684679.42	9992355.10	271.8
10	684685.80	9992355.88	270.8
11	684692.10	9992356.65	269.4
12	684698.52	9992357.44	268.8
13	684704.94	9992358.22	268.2
14	684711.38	9992359.01	267.8
15	684717.84	9992359.80	267.7
16	684724.29	9992360.59	267.6
17	684730.73	9992361.38	268.0
18	684737.17	9992362.17	268.4
19	684743.61	9992362.96	268.7
20	684750.05	9992363.74	269.2
21	684756.49	9992364.53	268.9
22	684762.94	9992365.32	268.7
23	684769.38	9992366.11	269.1
24	684775.82	9992366.90	269.6
25	684782.26	9992367.69	269.8
26	684788.70	9992368.48	270.2
27	684795.14	9992369.27	270.6
28	684801.54	9992370.05	271.5
29	684807.96	9992370.96	272.0
30	684814.37	9992371.88	272.5
31	684820.82	9992372.67	272.6
32	684827.26	9992373.39	273.1
33	684833.70	9992374.12	273.6
34	684840.11	9992374.79	274.5
35	684846.45	9992375.46	275.7
36	684852.80	9992376.13	277.0
37	684859.02	9992376.73	278.8
38	684865.41	9992377.82	279.2
39	684871.80	9992378.91	279.7
40	684878.24	9992379.64	279.3
41	684884.61	9992380.49	278.4
42	684890.98	9992381.33	277.4
43	684897.38	9992382.12	276.6
44	684903.78	9992382.90	275.7
45	684910.23	9992383.69	276.0
46	684916.67	9992384.47	276.4
47	684923.10	9992385.26	276.8
48	684929.54	9992386.05	277.4
49	684935.97	9992386.84	277.8
50	684942.41	9992387.63	278.3
51	684948.84	9992388.42	278.7
52	684955.22	9992389.20	279.7
53	684961.59	9992389.98	280.7
54	684968.04	9992390.77	281.0
55	684974.48	9992391.56	281.3
56	684980.92	9992392.34	281.7

PERFIL L6 - L6'			
ELECTRODO	ESTE	NORTE	COTA
1	684656.90	9992472.68	256.0
2	684659.76	9992471.80	255.9
3	684662.63	9992470.91	255.8
4	684665.49	9992470.03	255.7
5	684668.35	9992469.14	255.5
6	684671.22	9992468.26	255.4
7	684674.08	9992467.38	255.2
8	684676.95	9992466.49	255.2
9	684679.81	9992465.60	255.2
10	684682.68	9992464.72	255.2
11	684685.53	9992463.84	254.9
12	684688.38	9992462.96	254.6
13	684691.24	9992462.07	254.3
14	684694.09	9992461.19	254.0
15	684696.95	9992460.31	254.2
16	684699.81	9992459.43	254.4
17	684702.67	9992458.54	254.6
18	684705.53	9992457.66	254.7
19	684708.40	9992456.77	254.8
20	684711.26	9992455.89	255.0
21	684714.09	9992455.01	255.5
22	684716.91	9992454.14	256.0
23	684719.74	9992453.27	256.5
24	684722.56	9992452.39	257.0
25	684725.39	9992451.52	257.5
26	684728.22	9992450.64	257.9
27	684731.05	9992449.77	258.4
28	684733.89	9992448.89	258.9
29	684736.72	9992448.02	259.3
30	684739.56	9992447.14	259.7
31	684742.30	9992446.32	260.6
32	684745.05	9992445.50	261.5
33	684747.79	9992444.68	262.4
34	684750.53	9992443.85	263.3
35	684752.94	9992443.09	264.9
36	684755.35	9992442.32	266.5
37	684757.76	9992441.55	268.2
38	684760.04	9992440.84	270.0
39	684762.33	9992440.12	271.8
40	684764.61	9992439.40	273.6
41	684767.03	9992438.65	275.2
42	684769.45	9992437.89	276.8
43	684771.87	9992437.14	278.4
44	684774.29	9992436.39	280.0
45	684776.96	9992435.52	281.1
46	684779.63	9992434.66	282.1
47	684782.29	9992433.79	283.2
48	684785.10	9992432.94	283.8
49	684787.90	9992432.09	284.5
50	684790.71	9992431.24	285.1
51	684793.57	9992430.36	285.2
52	684796.44	9992429.47	285.3
53	684799.30	9992428.59	285.5
54	684802.17	9992427.70	285.6
55	684805.03	9992426.82	285.7
56	684807.90	9992425.93	285.8

PERFIL L7 - L7'			
ELECTRODO	ESTE	NORTE	COTA
1	684811.49	9992183.17	257.5
2	684811.21	9992185.85	257.4
3	684810.93	9992188.54	257.2
4	684810.66	9992191.22	257.1
5	684810.38	9992193.90	256.9
6	684810.11	9992196.58	256.7
7	684809.83	9992199.25	256.5
8	684809.56	9992201.93	256.3
9	684809.28	9992204.61	256.1
10	684809.01	9992207.29	255.9
11	684808.73	9992209.97	255.8
12	684808.45	9992212.65	255.6
13	684808.18	9992215.32	255.3
14	684807.91	9992217.99	255.0
15	684807.63	9992220.67	254.8
16	684807.35	9992223.35	254.9
17	684807.08	9992226.03	255.0
18	684806.80	9992228.71	255.2
19	684806.53	9992231.40	255.3
20	684806.25	9992234.08	255.5
21	684805.97	9992236.76	255.6
22	684805.70	9992239.44	255.7
23	684805.42	9992242.12	255.9
24	684805.15	9992244.81	255.9
25	684804.87	9992247.50	256.0
26	684804.59	9992250.18	256.0
27	684804.32	9992252.86	256.2
28	684804.04	9992255.54	256.4
29	684803.77	9992258.22	256.6
30	684803.49	9992260.90	256.8
31	684803.21	9992263.58	256.6
32	684802.94	9992266.26	256.5
33	684802.66	9992268.95	256.4
34	684802.39	9992271.63	256.2
35	684802.11	9992274.31	256.3
36	684801.83	9992277.00	256.4
37	684801.56	9992279.68	256.5
38	684801.28	9992282.37	256.6
39	684801.01	9992285.05	256.7
40	684800.73	9992287.73	256.9
41	684800.45	9992290.41	257.1
42	684800.19	9992292.95	258.0
43	684799.93	9992295.49	258.9
44	684799.67	9992298.03	259.7
45	684799.41	9992300.57	260.6
46	684799.14	9992303.20	261.2
47	684798.87	9992305.82	261.8
48	684798.60	9992308.44	262.4
49	684798.33	9992311.06	263.0
50	684798.09	9992313.42	264.2
51	684797.84	9992315.78	265.5
52	684797.60	9992318.15	266.8
53	684797.38	9992320.31	268.4
54	684797.16	9992322.48	270.0
55	684796.94	9992324.65	271.6
56	684796.73	9992326.82	273.2

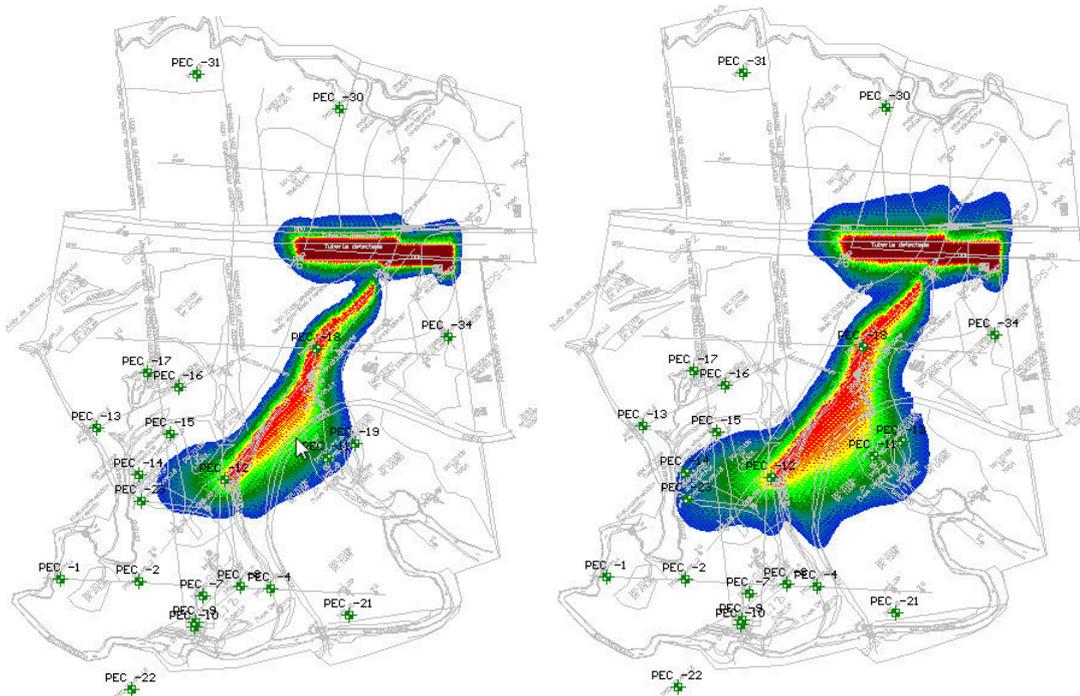
PERFIL L8 - L8'			
ELECTRODO	ESTE	NORTE	COTA
1	684750.78	9992184.37	263.3
2	684748.81	9992186.42	264.3
3	684746.85	9992188.46	265.3
4	684744.88	9992190.50	266.3
5	684742.87	9992192.59	267.1
6	684740.87	9992194.67	267.9
7	684738.87	9992196.75	268.7
8	684736.81	9992198.88	269.2
9	684734.76	9992201.02	269.6
10	684732.70	9992203.15	270.1
11	684730.62	9992205.31	270.3
12	684728.55	9992207.46	270.4
13	684726.47	9992209.62	270.6
14	684724.39	9992211.78	270.8
15	684722.32	9992213.94	270.5
16	684720.25	9992216.10	270.3
17	684718.17	9992218.26	270.1
18	684716.17	9992220.34	269.3
19	684714.16	9992222.42	268.5
20	684712.16	9992224.51	267.7
21	684710.23	9992226.51	266.6
22	684708.30	9992228.51	265.5
23	684706.38	9992230.51	264.3
24	684704.45	9992232.52	263.2
25	684702.56	9992234.48	262.0
26	684700.67	9992236.44	260.7
27	684698.78	9992238.41	259.5
28	684696.72	9992240.55	259.1
29	684694.65	9992242.69	258.7
30	684692.59	9992244.83	258.3
31	684690.55	9992246.95	257.7
32	684688.52	9992249.06	257.0
33	684686.48	9992251.18	256.4
34	684684.45	9992253.29	255.8
35	684682.40	9992255.42	256.3
36	684680.35	9992257.54	256.9
37	684678.31	9992259.67	257.4
38	684676.24	9992261.82	257.7
39	684674.17	9992263.97	258.0
40	684672.10	9992266.12	258.4
41	684670.05	9992268.25	258.9
42	684668.00	9992270.38	259.4
43	684665.94	9992272.51	259.9
44	684663.89	9992274.64	260.4
45	684661.93	9992276.68	261.4
46	684659.98	9992278.71	262.4
47	684658.02	9992280.75	263.4
48	684655.96	9992282.88	263.9
49	684653.91	9992285.01	264.4
50	684651.86	9992287.14	264.9
51	684649.78	9992289.30	264.8
52	684647.70	9992291.46	264.7
53	684645.62	9992293.62	264.6
54	684643.54	9992295.78	264.6
55	684641.47	9992297.94	264.4
56	684639.39	9992300.10	264.2

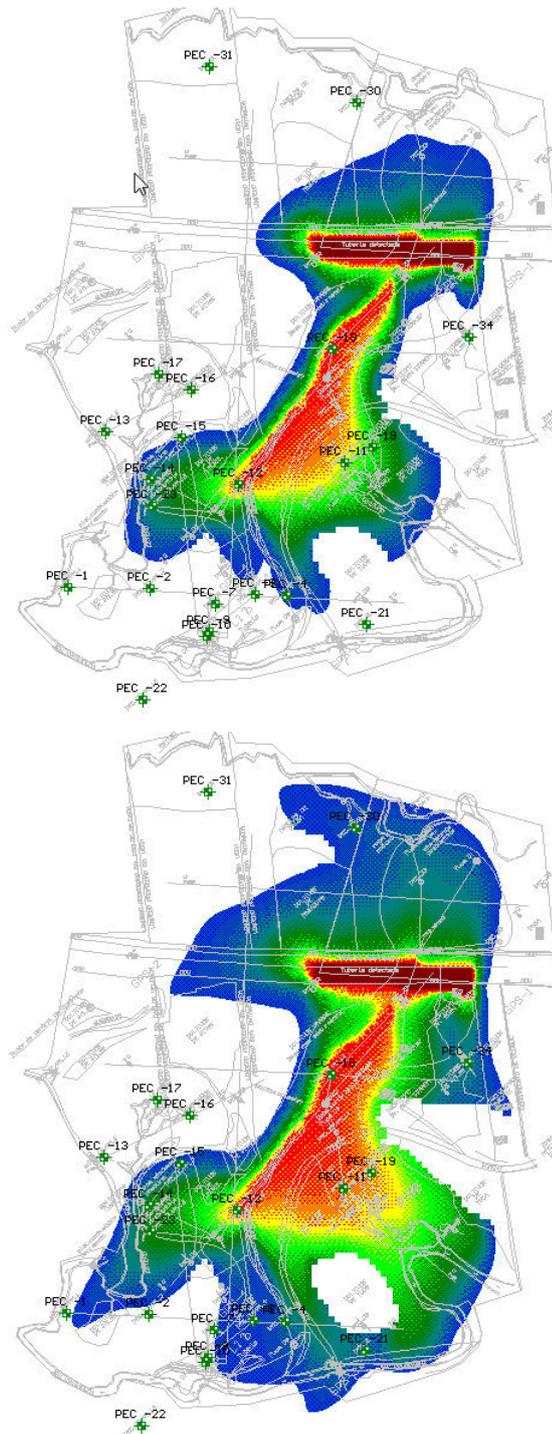
### ANEXO 3

#### Pluma de contaminación

Con base en el modelo de flujo conceptual se realizó una simulación de la contaminación, teniendo la migración y dispersión a través del tiempo (Anexo Atlas Temático, Mapa de Pluma de Contaminación), utilizando el software EarthImager 2D v.2.0.(2009) . En la Figura , se presenta la expansión de la pluma para 3 meses, 6 meses 1 año y 5 años.

Figura. 33 Pluma de contaminación para 0.25, 0.5, 1 y 5 años





Los resultados conducen a la formulación de un modelo de prevención de riesgos ambientales que implique la capacitación sobre los peligros identificados, la señalización del área, el mantenimiento programado del poliducto y la estabilización de zonas geológicamente inestables aledañas al poliducto.

## ANEXO 4

Cuadros de datos de los análisis físico químicos de agua y suelo de los puntos de monitoreo seleccionados

*CUADRO DE DATOS AGUA 2011*

AÑO	BTEX	CONDUCTIVIDAD	DQO	HAP'S AGUA	pH	TPH
2011	0,02	122	10	0,05	6,9	0,06
2011	0	135	0,02	0,07	7,3	0,01
2011	0	157	0,07	0,07	6,8	0,08
2011	0,02	157	0,02	0,06	6,7	0,06
2011	0	85	0,03	0,06	6,4	0,07
2011	0,01	108	0,07	0,04	7,8	0,07
2011	0,01	19	0	0,05	5,8	0,02
2011	0	162	0,06	0,07	6,8	0,06
2011	0,01	433	0,03	0,04	5,8	0,06

*CUADRO DE DATOS AGUA 2012*

AÑO	BTEX	CONDUCTIVIDAD	DQO	HAP'S AGUA	pH	TPH
2012	0,02	61,9	0,05	0,01	5,78	0,03
2012	0	131,3	0,05	0,02	5,89	0,06
2012	0	236,3	50	0,01	6,17	0,07
2012	0,02	230,2	90	0,02	6,15	0,05
2012	0	130	0	0,05	6,32	0,05
2012	0,01	53	0,05	0	6,35	0,04
2012	0,01	132,9	0,04	0,07	6,64	0
2012	0	34,6	0	0	6,06	0,06
2012	0,01	30,8	0,05	0	5,95	0,02
2012	0,01	48,9	0	0,06	5,98	0,08
2012	0,02	36,9	0,07	0,03	5,92	0,02
2012	0	65,9	24	0,02	5,79	0,06
2012	0,01	22,4	0,07	0,01	5,61	0,05
2012	0,01	36,3	0,07	0,05	5,79	0,07
2012	0,02	104,5	0,03	0,06	6,26	0,08
2012	0	57	0,1	0,1	5,92	0,02

2012	0	34,8	0,09	0,08	5,66	0,07
2012	0,02	31,1	0,03	0,04	5,7	0,06
2012	0,03	34,8	0,05	0,06	5,66	0
2012	0,02	218,5	72	0,06	6,02	0,03
2012	0,03	102,6	0,02	0	6,14	0,04
2012	0,1	98,4	900	0	6,64	0

*CUADRO DE DATOS AGUA 2013*

AÑO	BTEX	CONDUCTIVIDAD	DQO	HAP'S AGUA	pH	TPH
2013	0,07	443	0,05	0,02	6,9	0,07
2013	0,01	156,4	27	0,04	6,92	0
2013	0,03	45,6	0,02	0,01	6,63	0,03
2013	0,07	60	0,1	0,09	6,73	0,01
2013	0,05	33,6	0,02	0,01	6,67	0,01
2013	0,02	199,4	0,08	0,1	6,34	0,06
2013	0	157,5	0,06	0,08	6,93	0,06
2013	0,07	107,8	30	0,07	6,69	0,1
2013	0,07	39,4	0	0,01	6,81	0,01
2013	0,06	141	0,08	0,03	6,3	0
2013	0,04	57,4	0,07	0,1	6,74	0,09
2013	0,04	94,8	33	0	6,95	0,08
2013	0,04	163,3	0,03	0,1	7,12	0,04

*CUADRO DE DATOS AGUA 2014*

AÑO	BTEX	CONDUCTIVIDAD	DQO	HAP'S AGUA	pH	TPH
2014	0,02	178	6	0,04	6,4	0
2014	0	41	5	0,01	5,5	0,03
2014	0	96	10	0,01	6	0,03
2014	0,02	115	9	0,03	5,9	0,02
2014	0	24	0,03	0,02	5,7	0,04
2014	0,01	194	0,04	0,01	6,5	0,06
2014	0,01	110	85	0,01	6,4	0,01
2014	0	33	9	0,03	5,5	0,04
2014	0,01	177	52	0,04	6,2	1
2014	0,01	43	0,03	0,01	5,7	0,04

2014	0,02	47	22	0,03	5,8	0,02
2014	0	27	16	0,03	5,3	0,04
2014	0,01	91	25	0,03	5,9	1,6
2014	0,01	38	25	0,04	5,6	1,6
2014	0,02	439	61	0,02	6,8	13611
2014	0	87	14	0,04	7,2	0,07
2014	0	483	10	0,01	8,1	0,05
2014	0,02	503	6	0	8,2	0,05
2014	0,03	497	6	0,03	8,2	0,06
2014	0,02	483	10	0,01	8,1	0,05
2014	0,03	503	6	0,05	8,2	0,06
2014	0,1	497	5	0,05	8,2	0,06
2014	0,07	503	6	0,05	8,2	0,07
2014	0,01	483	10	0,02	8,1	0,03
2014	0,03	503	6	0,03	8,2	0,06
2014	0,07	497	6	0,03	8,2	0,02
2014	0,05	503	6	0,05	8,2	0
2014	0,02	45	39	0,01	5,9	0,07
2014	0	372	47	0,04	6,8	3,9
2014	0,07	36	12	0,05	5,9	0,01
2014	0,07	142	22	0,05	6,1	0,6
2014	0,06	32		0,04	6	0,05
2014	0,04	44	32	0,03	6	0,02
2014	0,04	33	14	0,03	6	0,06
2014	0,04	350	48	0,04	6,7	7,1
2014	0,05	42	13	0	6,1	0,4
2014	0,02	37	7	0,03	6	0,04
2014	0	30	24	0	5,8	0,02
2014	0,07	116	32	0,02	6,4	2,1
2014	0,07	32	16	0,01	6	0,3
2014	0,06	111	32	0	7,1	0,3
2014	0,04	108	37	0,01	6,4	0,04

## Cuadro de datos agua 2015

AÑO	BTEX	CONDUCTIVIDAD	DQO	HAP'S AGUA	pH	TPH
2015	0	503	6	0,04	8,2	0,04
2015	0,07	497	5	0	8,2	0,04
2015	0,07	216	10	0	7,4	0,04
2015	0,06	111	9	0,03	7,8	0,01
2015	0,04	83	0,03	0	7	0,05
2015	0,04	83	0,04	0,01	7	0,04
2015	0,04	216	85	0,01	7,4	0,01
2015	0,05	111	9	0,03	7,8	0,06
2015	0,02	177	52	0	7	0,05
2015	0	83	0,03	0,01	7	0
2015	0,07	164	22	0	6,6	0
2015	0,07	89	16	0,05	7,8	0
2015	0,06	84	25	0,02	7,5	0,8
2015	0,04	99	25	0,05	7,6	0,8
2015	0,07	836	61	0,05	7,1	0,03
2015	0,06	115	14	0,01	7,1	0,02

*Fuente: Petroecuador*

*Elaborado por: Fausto Yaulema*

Cuadro de datos suelo 2011

MUESTRA	Cadmio (mg/kg)	Niquel (mg/kg)	Plomo C (mg/kg)	HAPs (mg/kg)	Peso seco TPH (mg/kg)
2011	0,4	32	5,1	<0,1	<50
2011	0,4	25	4,3	<0,1	<50
2011	0,3	33	5,2	<0,1	<50
2011	0,3	28	4,6	<0,1	<50
2011	0,3	26	4,3	<0,1	<50
2011	0,3	32	5,6	<0,1	259
2011	0,5	33	5,8	<0,1	842
2011	0,3	33	5,2	<0,1	293
2011	0,4	38	5,5	<0,1	<50
2011	0,2	32	5,1	<0,1	<50
2011	0,4	32	5,1	<0,1	<50
2011	0,4	25	4,3	<0,1	<50
2011	0,3	33	5,2	<0,1	<50
2011	0,3	28	4,6	<0,1	<50
2011	0,3	26	4,3	<0,1	<50
2011	0,3	32	5,6	<0,1	259
2011	0,5	33	5,8	<0,1	842
2011	0,3	33	5,2	<0,1	293
2011	0,4	38	5,5	<0,1	<50
2011	0,2	32	5,1	<0,1	<50
2011	0,4	32	5,1	<0,1	<50
2011	0,4	25	4,3	<0,1	<50
2011	0,3	33	5,2	<0,1	<50
2011	0,3	28	4,6	<0,1	<50
2011	0,3	26	4,3	<0,1	<50
2011	0,3	32	5,6	<0,1	259
2011	0,5	33	5,8	<0,1	842
2011	0,3	33	5,2	<0,1	293
2011	0,4	38	5,5	<0,1	<50
2011	0,2	32	5,1	<0,1	<50
2011	0,4	32	5,1	<0,1	<50
2011	0,4	25	4,3	<0,1	<50
2011	0,3	33	5,2	<0,1	<50
2011	0,3	28	4,6	<0,1	<50
2011	0,3	26	4,3	<0,1	<50
2011	0,3	32	5,6	<0,1	259
2011	0,5	33	5,8	<0,1	842
2011	0,3	33	5,2	<0,1	293
2011	0,4	38	5,5	<0,1	<50
2011	0,2	32	5,1	<0,1	<50
2011	0,4	32	5,1	<0,1	<50
2011	0,4	25	4,3	<0,1	<50
2011	0,3	33	5,2	<0,1	<50

2011	0,3	28	4,6	<0,1	<50
2011	0,3	26	4,3	<0,1	<50
2011	0,3	32	5,6	<0,1	259
2011	0,5	33	5,8	<0,1	842
2011	0,3	33	5,2	<0,1	293
2011	0,4	38	5,5	<0,1	<50
2011	0,2	32	5,1	<0,1	
2011	0,4	32	5,1	<0,1	<50
2011	0,4	25	4,3	<0,1	<50
2011	<0,1	1	1,1	<0,5	<50
2011	<0,1	4	0,7	<0,1	1490
2011	<0,1	1	0,4	<0,1	<50
2011	<0,1	2	0,8	<0,1	553
2011	<0,1	6	0,7	<0,1	291
2011	<0,1	4	3	<0,1	242
2011	<0,1	4	3	<0,1	242
2011	0,1	10	6,1	<0,1	175
2011	0,1	13	5,6	<0,1	220
2011	<0,1	21	2,5	<0,1	735
2011	<0,1	2	1,7	<0,1	538
2011	<0,1	1	1,2	<0,1	1594
2011	<0,1	3	1,5	<0,1	1972
2011	<0,1	1	1,1	<0,1	<50
2011	<0,1	4	0,7	<0,1	1490
2011	<0,1	1	0,4	<0,1	<50
2011	<0,1	2	0,8	<0,1	553
2011	<0,1	6	0,7	<0,1	291
2011	0,1	14	8,9	<0,1	368
2011	0,1	16	8,3	<0,1	315
2011	0,1	10	6,1	<0,1	175
2011	0,1	13	5,6	<0,1	220
2011	<0,1	21	2,5	<0,1	735
2011	<0,1	2	2,7	<0,1	536
2011	<0,1	1	2,7	<0,1	1594
	<0,1	3	1,5	<0,1	1972

Cuadro de datos suelo 2012

MUESTRA	Cadmio (mg/kg)	Niquel (mg/kg)	Plomo (mg/kg))	HAPs (mg/kg)	Peso seco TPH (mg/kg)
2012	<0,1	5	5,2	<0,1	<50
2012	<0,1	7	3,5	<0,1	<50
2012	<0,1	6	3,2	<0,1	<50
2012	<0,1	5	4,2	<0,1	<50
2012	<0,1	8	4,6	<0,1	<50
2012	<0,1	7	4,7	<0,1	<50
2012	<0,1	15	15	<0,1	<50
2012	<0,1	20	4,8	<0,1	<50
2012	<0,1	26	5,8	<0,1	<50
2012	<0,1	33	5,9	<0,1	<50
2012	<0,1	32	4,5	<0,1	<50
2012	<0,1	26	4,9	<0,1	<50
2012	<0,1	25	4,6	<0,1	<50
2012	<0,1	28	3,5	<0,1	<50
2012	0,3	15	3,6	<0,1	<50
2012	0,3	8	2,3	<0,1	<50
2012	0,2	8	2,8	<0,1	<50
2012	0,3	7	2,6	<0,1	<50
2012	0,3	8	9,8	<0,1	<50
2012	0,3	15	7,6	<0,1	<50
2012	0,3	20	5,6	<0,1	<50
2012	<0,1	15	8,2	<0,1	<50
2012	0,2	30	25	<0,1	<50
2012	0,1	32	6,5	<0,1	<50
2012	<0,1	7	7,5	<0,1	<50
2012	0,2	8	6,5	<0,1	<50
2012	<0,2	12	8,2	<0,1	<50
2012	0,3	10	15	<0,1	<50

Cuadro de datos suelos 2013

MUESTRA	CADMIO	HAPs (mg/kg)	NIQUEL	PLOMO	Peso seco TPH (mg/kg)
2013	<1	<0,027	<8	<17	499
2013	<1	<0,027	<8	<17	300
2013	<1	<0,027	<8	<17	14591 A
2013	<1	<0,027	<8	<17	2398 A
2013	<1	<0,027	<8	<17	299
2013	<1	<0,027	<8	<17	896
2013	<1	<0,027	<8	<17	3796 A
2013	<1	<0,027	<8	<17	349
2013	<1	<0,027	<8	<17	319
2013	<1	<0,027	<8	<17	339
2013	<1	<0,027	<8	<17	699
2013	<1	<0,027	<8	<17	3796 A
2013	<1	<0,027	<8	<17	179
2013	<1	<0,027	<8	<17	346
2013	<1	<0,027	<8	<17	80
2013	<1	<0,027	<8	<17	220

Cuadro de datos suelos 2014

MUESTRA	Cadmio (mg/kg)	Niquel (mg/kg)	Plomo (mg/kg))	HAPs (mg/kg)	Peso seco TPH (mg/kg)
2014	0,2	32	5,1	<0,1	<50
2014	0,4	32	5,1	<0,1	<50
2014	0,4	25	4,3	<0,1	<50
2014	0,3	33	5,2	<0,1	<50
2014	0,3	28	4,6	<0,1	<50
2014	0,3	26	4,3	<0,1	<50
2014	0,3	32	5,6	<0,1	259
2014	0,5	33	5,8	<0,1	842
2014	0,3	33	5,2	<0,1	293
2014	0,4	38	5,5	<0,1	<50
2014	<0,1	<1	2,5	<0,1	1881
2014	<0,1	<1	2,4	<0,1	7904
2014	<0,1	<1	0,5	<0,1	13283
2014	<0,1	<1	0,6	<0,1	12149
2014	<0,1	<1	2,1	<0,1	5939
2014	<0,1	3	2,5	<0,1	6109
2014	<0,1	4	1,5	<0,1	3789
2014	<0,1	2	0,5	<0,1	8584
2014	<0,1	4	8,5	<0,1	14235
2014	<0,1	4	3,4	<0,1	9887
2014	<0,1	1	0,4	<0,1	6109
2014	<0,1	1	1,1	<0,1	3789
2014	<0,1	4	0,7	<0,1	8584
2014	<0,1	2	0,8	<0,1	14235
2014	<0,1	6	0,7	<0,1	9887
2014	<0,1	4	5,4	<0,1	1669
2014	<0,1	4	3	<0,1	242
2014	0,1	14	8,9	<0,1	368
2014	0,1	16	8,3	<0,1	315

Cuadro de datos suelo 2015

MUESTRA	Cadmio (mg/kg)	Niquel (mg/kg)	Plomo (mg/kg))	HAPs (mg/kg)	Peso seco TPH (mg/kg)
2015	<0,1	7	4,9	<0,1	<50
2015	<0,1	5	3,3	<0,1	<50
2015	<0,1	5	2,6	<0,1	<50
2015	<0,1	8	4,6	<0,1	<50
2015	<0,1	7	4,1	<0,1	<50
2015	<0,1	7	9,2	<0,1	<50
2015	<0,1	26	22	<0,1	<50
2015	<0,2	10	28	<0,1	<50
2015	0,2	32	5,1	<0,1	<50
2015	0,4	32	5,1	<0,1	<50
2015	0,4	25	4,3	<0,1	<50
2015	0,3	33	5,2	<0,1	<50
2015	0,3	28	4,6	<0,1	<50
2015	0,3	26	4,3	<0,1	<50
2015	0,3	32	5,6	<0,1	<50
2015	<0,1	7	4,9	<0,1	<50
2015	<0,1	5	3,3	<0,1	<50
2015	<0,1	5	2,6	<0,1	<50
2015	<0,1	8	4,6	<0,1	<50
2015	<0,1	7	4,1	<0,1	<50
2015	<0,1	7	9,2	<0,1	<50
2015	<0,1	26	22	<0,1	<50
2015	0,2	10	28	<0,1	<50
2015	0,1	4	4,4	<0,1	<50
2015	<0,1	13	8,7	<0,1	1737
2015	<0,1	9	5,5	<0,1	2212
2015	<0,2	14	32	<0,1	2684
2015	0,2	17	13	<0,1	520
2015	0,3	13	13	<0,1	<50
2015	0,3	16	20	<0,1	685
2015	0,3	16	18	<0,1	<50
2015	<0,1	18	10	<0,1	2749
2015	<0,1	23	7	<0,1	4220
2015	<0,1	15	10	<0,1	2801
2015	<1	<8	<17	<0,027	179
2015	<1	10	<17	<0,027	346
2015	<1	<8	<17	<0,027	80
2015	<1	<8	<17	<0,027	220

Fuente: Petroecuador

## ANEXO 5

### MODELO MATEMÁTICO ASOCIADO CONTAMINACIÓN-RESISTIVIDAD DEL SUELO.

*Cuadro A.5. 1 Prueba KMO*

KMO y prueba de Bartlett

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		,572
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	102,855
	gl	10
	Sig.	,000

La prueba KMO 0,572 muestra una correcta adecuación muestral media, relaciona las variables.

Planteamiento de la hipótesis

Ho: Es factible realizar la reducción de dimensiones  $p < 0,05$

Hi: No es factible realizar la reducción de dimensiones  $p \geq 0,05$

Decisión

Como  $p < 0,05$  no existen argumentos para rechazar Ho; se factibiliza realizar el análisis factorial de reducción dimensional.

*Cuadro A.5. 2 Comunalidades*

Comunalidades

	Inicial	Extracción
Plomo	1,000	,578
Haps	1,000	,392
Resistividad	1,000	,608
Cadmio	1,000	,745
Nlquel	1,000	,833

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

Todas las comunalidades están cercanas o sobrepasan el 0,4 como lo muestra el cuadro A.5.2.

Cuadro A.5. 3 Cuadro de varianza

Varianza total explicada

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	2,048	40,956	40,956	2,048	40,956	40,956	1,963	39,251	39,251
2	1,108	22,167	63,124	1,108	22,167	63,124	1,194	23,873	63,124
3	,905	18,099	81,223						
4	,695	13,898	95,121						
5	,244	4,879	100,000						

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

La varianza explica el 63.12% como lo muestra el cuadro A.5.3; la primera componente analiza un 39,25% de la varianza mientras la segunda un 23,87%.

La figura A.5.1 muestra la potencia de los Autovalores de las componentes siendo la primera la que explica de mejor manera las características de los datos ingresados, la segunda, aunque importante, no explica como la primera.

El cuadro siguiente determina las componentes principales: El primero: Cadmio, Plomo y Niquel muestran contaminación del suelo por metales pesados; la segunda agrupa resistividad y Hap's, lo esperado teóricamente. La figura grafica la rotación de los componentes que caracterizan la problemática de contaminación del suelo donde se ha derramado el combustible.

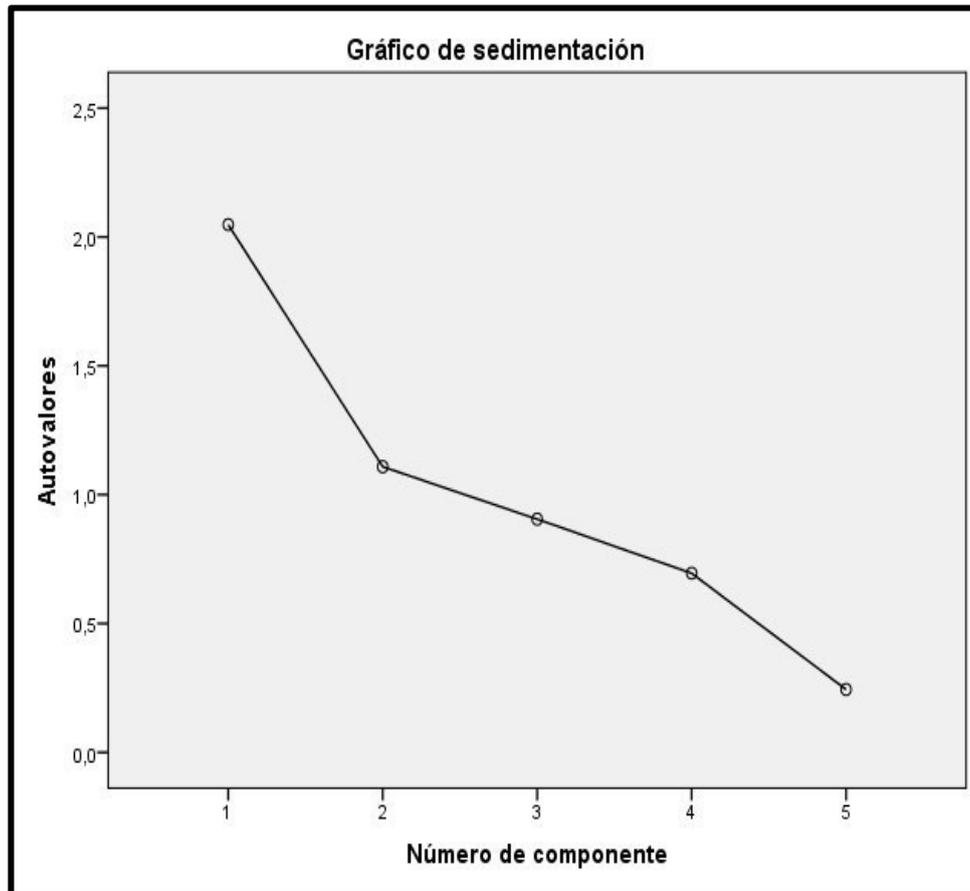
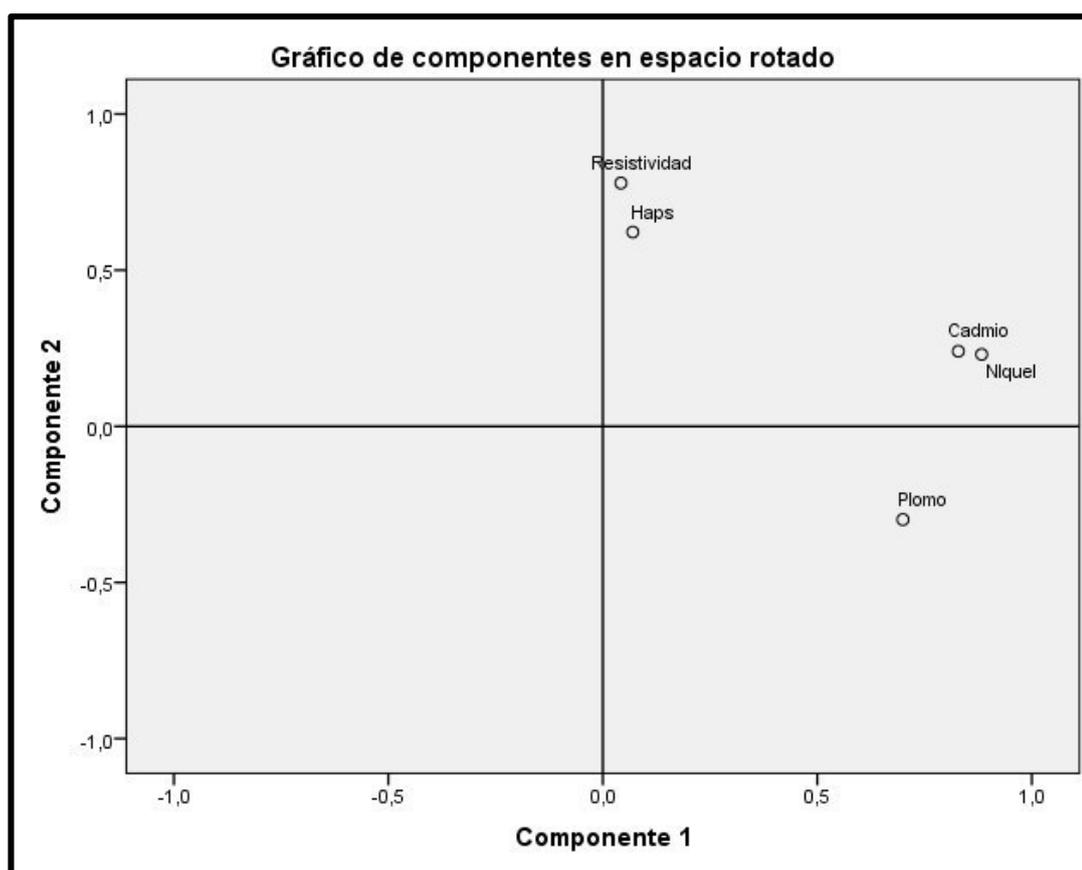


Figura A.5. 1 Gráfico de sedimentación

Cuadro A.5. 4 Componentes rotados

Matriz de componentes rotados<sup>a</sup>

	Componente	
	1	2
Niquel	,883	
Cadmio	,829	
Plomo	,700	
Resistividad		,779
Haps		,622



*Figura A.5. 2 Componentes rotados*

*Cuadro A.5. 5 Ponderación de componentes*

Matriz de coeficientes para el cálculo de las puntuaciones en las componentes

	Componente	
	1	2
Plomo	,403	-,341
Haps	-,037	,530
Resistividad	-,071	,668
Cadmio	,407	,109
Niquel	,437	,094

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

Puntuaciones de componentes.

Los modelos matemáticos de caracterización de contaminación del suelo son:  
y1 (Contaminación de metales pesados)=  $0,403 x_1 \text{ Pb} - 0,037 x_2 \text{ Hap's} - 0,071 x_3 \rho + 0,407 x_4 \text{ Cd} + 0,437 x_5 \text{ Ni}$ .

y2 (Contaminación por Hap's)=  $-0,341 x_1 \text{ Pb} + 0,530 x_2 \text{ Hap's} + 0,668 x_3 \rho + 0,109 x_4 \text{ Cd} + 0,094 x_5 \text{ Ni}$ .

Los valores de futuros monitoreos de los parámetros se representan con x1, x2, x3, x4 y x5.

## ANEXO 6

Desarrollo del Plan de prevención y mitigación de riesgos

**Tabla 1-3:** Plan de reparación de impactos ambientales

PLAN DE REPARACIÓN AMBIENTAL DE IMPACTOS CAUSADOS POR EL DERRAME DE COMBUSTIBLE	
Objetivos	<p>Proponer medidas preventivas para controlar el riesgo ambiental endógeno del área contaminada.</p> <p>Plantear medidas para controlar el riesgo ambiental exógeno del área contaminada.</p> <p>Reducir el nivel de los riesgos ambientales identificados para cada escenario.</p>
Introducción	<p>El presente plan consiste en la elaboración de un plan de reparación del impacto por derrame de combustible en el PK 18 Sector Concordia, mediante el análisis de la información recopilada y la Evaluación de Riesgos Ambientales en el área.</p> <p>Las medidas propuestas en el plan contribuirán en la reducción de los impactos ambientales además de la prevención de posibles riesgos que puedan darse en un futuro.</p>
Lugar de aplicación:	PPK 18 La Concordia
Responsable:	EPPetroecuador

*Realizado por: Fausto Yaulema, 2019*

**Tabla 2-4: Plan de reparación de impactos ambientales**

Aspecto ambiental	Escenario de Riesgo	Medidas de prevención y mitigación	Indicadores	Medio de Verificación	Recurrencia	Periodicidad
Calidad del agua	Pluma de contaminación	Delimitar el área de la pluma de contaminación	Indicador = No. medidas implementadas No. medidas planteadas	Registros de monitoreo. Registros fotográficos	Semestral	Permanente
		La implementación de corredores ribereños, que son franjas de vegetación natural que se dejan crecer a ambos lados de las quebradas, con ello se busca cercar los ambientes acuáticos y evitar el ingreso directo a la flora y fauna prescindir de la producción agrícola en las proximidades de los nacimientos y cursos de agua, para que de esta manera se promueva la restauración del ecosistema acuático.		Registros de monitoreo. Registros fotográficos	Semestral	Permanente
	Estado del agua de grifo (consumo humano y animal).	Realizar análisis de la calidad del agua que se suministra a los trabajadores y al ganado.		Registros de monitoreo. Registros fotográficos.	Trimestral	Permanente

**Realizado por:** Fausto Yaulema, 2019

**Tabla 3-4: Plan de reparación de impactos ambientales**

Aspecto ambiental	Escenario de Riesgo	Medidas de prevención y mitigación	Indicadores	Medio de Verificación	Recurrencia	Periodicidad
Calidad del agua	Estado del agua de los pozos y del río.	Revisar posibles fugas de agua en toda la extensión del terreno en donde se suministra el agua.	Indicador = No. medidas implementadas No. medidas planteadas	Registros de monitoreo. Registros fotográficos.	Trimestral	Permanente
Calidad de suelo	Contaminación de suelo.	Siembra de colonias de bacterias resistentes a la acción de hidrocarburos con fines de remediación.	Indicador = No. medidas implementadas No. medidas planteadas	Registros de mediciones. Registros fotográficos.	Semestral	Permanente

**Realizado por:** Fausto Yaulema y Lorena Zavala

**Tabla 4-4: Plan de reparación de impactos ambientales**

Calidad de suelo	Contaminación de suelo	Realizar muestreos de suelo en el área afectada para controlar que no exista contaminación.	Indicador = No. medidas implementadas No. medidas planteadas	Registros de mediciones. Registros fotográficos.	Trimestral	Permanente
	Siembra de árboles	Aplicar sistemas silvopastoriles pues son amigables con el ambiente, porque incrementan la captura de carbono del ambiente, mejoran la fertilidad del suelo al incorporar materia orgánica y en algunos casos nitrógeno.		Registros fotográficos.	2 mes después de iniciado del plan.	Permanente

**Realizado por:** Fausto Yulema, 2019

**Tabla 5-4:** Plan de reparación de impactos ambientales

Vida Silvestre	Pérdida de vegetación nativa.	Realizar observaciones de especies vegetales nativas.	Indicador = No. medidas implementadas No. medidas planteadas	Registros de observaciones. Registros fotográficos.	Anual	Permanente
	Desplazamiento de especies animales nativas.	Realizar observaciones de especies animales nativas y llevar registros detallados para así poder llevar un registro del aumento o disminución de especies nativas del lugar y comprobar la eficacia de las medidas aplicadas.		Registros fotográficos.	2 meses después de iniciado del plan.	Permanente
				Registros de observaciones. Registros fotográficos.	Anual	Permanente

**Realizado por:** Fausto Yaulema, 2019

Tabla 6. Datos Profundidad vs Resistividad del suelo monitoreado

L	Profundidad	Resistividad Ohms
L1	0	400
L1	40	164
L1	80	99
L1	0	400
L1	40	164
L1	80	99
L2	0	508
L2	26	160
L2	51	130
L2	0	508
L2	26	160
L2	51	130
L3	0	617
L3	26	185
L3	51	101
L3	0	617
L3	26	185
L3	51	101
L4	0	900
L4	13	211
L4	16	150
L4	0	900
L4	13	211
L4	16	150
L5	2	665
L5	30	167
L5	61	106
L5	2	665
L5	30	200
L5	61	106
L6	0	404
L6	14	200
L6	28	210
L6	0	700
L6	14	200

Elaborado por: Fausto Yaulema