



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR LIXIVIADOS EN ZONAS  
ALEDAÑAS AL BOTADERO DE ZÁMBIZA MEDIANTE  
MÉTODOS GEOFÍSICOS

Autora

Paola Daniela Infante Castillo

Año  
2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR LIXIVIADOS EN ZONAS  
ALEDAÑAS AL BOTADERO DE ZÁMBIZA MEDIANTE MÉTODOS  
GEOFÍSICOS

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y  
Remediación

Profesor Guía

Msc. Santiago Daniel Piedra Burgos

Autora

Paola Daniela Infante Castillo

Año

2018

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido el trabajo, Evaluación de la contaminación por lixiviados en zonas aledañas al botadero de Zámbriza mediante métodos geofísicos, a través de reuniones periódicas con la estudiante Paola Daniela Infante Castillo, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

Santiago Daniel Piedra Burgos

Master of Science in Hydro Science and Engineering

CI: 1715384150

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR**

Declaro haber revisado este trabajo, Evaluación de la contaminación por lixiviados en zonas aledañas al botadero de Zámbriza mediante métodos geofísicos, de la estudiante Paola Daniela Infante Castillo, en el semestre 2018-2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

---

Miguel Ángel Gualoto Oñate

Magister en Ciencias Biológicas

CI: 1707429351

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

---

Paola Daniela Infante Castillo

CI: 1723426753

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por todas las circunstancias y soluciones ante cualquier problema durante toda la carrera y en la realización de este trabajo.

A mis padres y a mi abuelita Paqui por su apoyo incondicional en toda mi etapa de formación académica para lograr culminar mis estudios universitarios.

A mi esposo Sebastián, por la motivación, ayuda y aliento para finalizar cualquier meta.

A todos los profesores que me han compartido su conocimiento a lo largo de mi formación académica especialmente a mi profesor guía, Santiago por orientar mi tema de estudio compartir sus conocimientos, guiarme y apoyarme en este proyecto.

A mi corrector Miguel por el tiempo dedicado en la revisión y mejora de este trabajo de titulación.

## **DEDICATORIA**

Para el motor de mi vida, mi hija Eliana, para que todo mi esfuerzo, estudios actuales y futuros sean un ejemplo en su vida para alcanzar cualquier sueño.

## RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la posible contaminación en las zonas aledañas al antiguo botadero de Zámbriza ubicado en la provincia de Pichincha mediante la utilización de métodos geofísicos.

El objetivo principal se determinó en base a la alta probabilidad de encontrar lixiviados en las zonas aledañas al antiguo botadero de Zámbriza debido a la falta de impermeabilización que se tuvo en el suelo durante los 25 años de funcionamiento del antiguo botadero de Zámbriza.

Por lo que, sabiendo por estudios anteriores que los lixiviados por su alta conductividad poseen una resistividad menor de 4 ohm m. Se determinaron los estratos contaminados de lixiviados utilizando sondeos eléctricos verticales en dirección este del antiguo botadero de Zámbriza

Estas mediciones se realizaron por medio de la inyección de corriente continua por medio de cuatro electrodos, dos de potencia y dos de corriente, mediante el método de Schlumberger con el resistivímetro de la marca PASI. Los datos levantados en campo con el resistivímetro fueron procesados en el programa V.E.S. 2000 obteniendo resistividades de 1 ohm m a 17.5 m de profundidad. Por lo que, debido a la historia del lugar se asume que puede deberse dicha resistividad a un medio poroso posiblemente saturado con lixiviados.

En base a las resistividades obtenidas se generó un modelo de simulación de la zona analizada con el programa "Processing ModFlow" para calcular el desplazamiento por advección de esta posible contaminación en un medio poroso saturado. Obteniendo como resultado el desplazamiento de dicho contaminante una distancia de 380 m en un periodo de 16 años aproximadamente en dirección Noreste.



## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the possible contamination in the zone surrounding of the old Zámbez dump, located in Pichincha province using geophysical methods.

The main objective to determine in base on the high probability to find leachate in the surrounding zones of the old Zámbez dump because it had received garbage from all the metropolitan district of Quito for 25 years old without any waterproofing in the soil.

Consequently, knowing that leachate have low resistivities which are below the 4 ohm m because of previous studies. The possible polluted stratigraphy with leachate was determined using electrical vertical soundings in the east direction, which is the low zone of the old Zámbez dump.

These measurements were made through the injection of continuous current by four electrodes, two power and two current electrodes, with the Schlumberger method trough the Italian resistivimeter from PASI brand. The data taken from the measurements in the field with the resistivimeter were processed through the software V.E.S. 2000 obtaining resistivities from 1-ohm m at 17.5 m depth. Consequently, because of the history of the area, this resistivity may be due to a porous medium saturated with leachates.

Based on the resistivities obtained, a simulation model of the analyzed zone was generated with the software "Processing ModFlow" to know how is the movement by advection of this possible contamination in a saturated porous medium and how long it takes to move.

Obtaining as a result the displacement about the 380 m of said pollutant in a period of approximately 16 years in the northeast direction.

# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Alcance.....	4
1.3	Objetivos.....	4
1.3.1	Objetivo General.....	4
1.3.2	Objetivos específicos.....	4
2.	MARCO TEÓRICO .....	5
2.1	Fase final de gestión de residuos sólidos .....	5
2.1.1	Rellenos sanitarios.....	5
2.1.2	Botaderos a cielo abierto.....	5
2.1.3	Problemas ambientales debido a los botaderos.....	5
2.2	Lixiviados .....	6
2.2.1	Los lixiviados en el suelo.....	6
2.2.2	Afectaciones de los lixiviados en la salud .....	7
2.3	Métodos geofísicos para la prospección de lixiviados .....	11
2.3.1	Clasificación de las técnicas de prospección eléctrica de corriente continua .....	11
2.4	Métodos Geoeléctricos utilizados en sondeos eléctricos verticales .....	14
2.4.1	Método Wenner.....	14
2.4.2	Método Schlumberger .....	14
2.4.3	Método Polo-Dipolo.....	15
2.4.4	Método Dipolo-Dipolo.....	15
2.4.5	Método Polo-Polo.....	16
2.5	Fundamentos de la resistividad.....	17
2.5.1	Conductividad Eléctrica.....	19
2.5.2	Concepto de resistividad aparente.....	19
2.5.3	Resistividad de ciertos materiales.....	20
2.6	Programa de simulación “Processing ModFlow 5.3” .....	22

3.	<b>METODOLOGÍA</b>	28
3.1	<b>Objetivo 1</b>	29
3.1.1	Levantamiento de información primaria	29
3.1.1.1	Evaluación de la zona de estudio	29
3.1.1.2	Ubicación de las coordenadas espaciales de los sondeos eléctricos verticales	31
3.1.1.3	Mediciones en campo	33
3.1.1.4	Generación de modelos de estratigrafía según las resistividades encontradas en la zona de estudio	36
3.1.2	Recopilación de información secundaria	37
3.2	<b>Objetivo 2</b>	39
3.2.1	Modelo Conceptual de la zona de estudio	39
3.2.1.1	Levantamiento de información primaria	40
3.2.1.2	Recopilación de información secundaria	41
3.2.2	Generación de condiciones de borde	43
3.2.3	Generación del modelo de simulación a través del software "Prossecing ModFlow"	44
4.	<b>RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS</b>	44
5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	57
5.1	Conclusiones	57
5.2	Recomendaciones	58
	<b>REFERENCIAS</b>	59
	<b>ANEXOS</b>	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de crecimiento demográfico. ....	2
Figura 2. Electrodo con Arreglo Schlumberger .....	12
Figura 3. Calicata Eléctrica.....	13
Figura 4. Esquema simplificado de un sondeo eléctrico vertical. ....	14
Figura 5. Método Wenner.....	14
Figura 6. Método Schlumberger .....	15
Figura 7. Método Polo-Dipolo.....	15
Figura 8. Método Dipolo-Dipolo.....	16
Figura 9. Método Polo-Polo.....	16
Figura 10. Ley de Ohm. Adaptado de (Schlumberger, Wenner, & Dipolares, 2008) .....	17
Figura 11. Resistividad aparente.....	19
Figura 12. Resistividades. ....	22
Figura 13. Valores de conductividad Hidráulica. ....	24
Figura 14. Velocidad de infiltración. ....	27
Figura 15. Proceso metodológico.....	28
Figura 16. Ubicación del Antiguo botadero de Zámboza.....	29
Figura 17. Ortofotografía de la ciudad de Quito. ....	30
Figura 18. Entrada a la zona de evaluación. ....	31
Figura 19. Zona de evaluación de la contaminación de lixiviados por métodos geofísicos. ....	32
Figura 20. Equipo Pasi y sus accesorios.....	33
Figura 21. Líneas de evaluación de los sondeos eléctricos verticales. ....	34
Figura 22. Abertura de electrodos por el método de Schlumberger en líneas horizontales. ....	35
Figura 23. Abertura de electrodos por el método de Schlumberger en líneas verticales. ....	36
Figura 24. Abertura de electrodos por el método de Schlumberger en líneas horizontales del blanco.....	36
Figura 25. Geología de la zona de estudio.....	38
Figura 26. Leyenda de la geología de la hoja geológica de Chaupicruz .....	38
Figura 27. Modelo Conceptual del área de estudio. ....	40
Figura 28. Curvas de nivel.....	41
Figura 29. Datos de entrada ingresados en el programa ModFlow.....	42
Figura 30. Definición de la capa en el programa de simulación ModFlow.....	42
Figura 31. Grilla generada en AutoCAD 2014 para el modelamiento de la posible contaminación.....	43
Figura 32. Primera línea de evaluación con todos los datos obtenidos.....	44
Figura 33. Datos promedio de la primera línea de evaluación. ....	45
Figura 34. Posible distribución de capas en la primera línea de evaluación. ...	46
Figura 35. Datos de la segunda línea de evaluación.....	47

Figura 36. Datos promedio de la segunda línea de evaluación.....	48
Figura 37. Posible distribución de capas en la segunda línea de evaluación...	48
Figura 38. Datos promedio de la tercera línea de evaluación. ....	49
Figura 39. Posible distribución de capas en la tercera línea de evaluación. ....	50
Figura 40. Datos promedio de la cuarta línea de evaluación. ....	50
Figura 41. Posible distribución de capas en la cuarta línea de evaluación. ....	51
Figura 42. Primera línea de evaluación del blanco.....	52
Figura 43. Segunda línea de evaluación con todos los datos obtenidos.....	53
Figura 44. Simulación del movimiento del posible contaminante en la segunda capa estratigráfica. ....	55
Figura 45. Desplazamiento del contaminante en tres puntos diferentes. ....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-Composición de Lixiviados (Giraldo, 2010) .....	6
Tabla 2- Compuestos peligrosos de residuos comunes (Greenpace, 2008). ....	7
Tabla 3- Efectos en la salud de diferentes compuestos en un relleno sanitario (Greenpace, 2008). ....	8
Tabla 4 - Tabla de resistividades, (Daniel Eduardo Arias, Oscar Echeverri Ramírez, 2012).....	20
Tabla 5 - Porosidad de diferentes materiales, (Pizarras, 2000).....	25
Tabla 6 - Coordenadas del blanco .....	32
Tabla 7 - Coordenadas de las líneas de resistividad muestreadas .....	35
Tabla 8 - Composición geológica de la zona analizada .....	37
Tabla 9 - Posible tipos de suelo según las resistividades encontradas.....	41
Tabla 10 - Datos ingresados en el software "Processing ModFlow" .....	42
Tabla 11 - Simulación de la contaminación en la segunda capa del modelo ...	54
Tabla 12 - Distancia recorrida del punto 2 en dirección Suroeste .....	55
Tabla 13 - Distancia recorrida del punto 3 en dirección Sureste .....	55

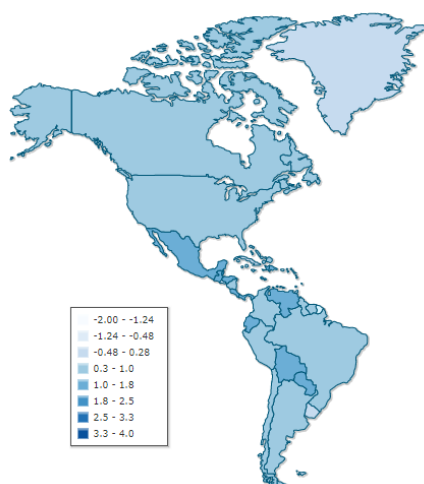
## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Desde la revolución industrial el alto volumen de basura producido por la humanidad ha crecido excesivamente generando la necesidad de gestionar residuos sólidos de manera más eficiente e inmediata. Alrededor del mundo existen rellenos sanitarios capaces de gestionar la producción diaria de residuos de la población para los cuales fueron construidos, estos cuentan con un diseño, construcción, operación y cierre eficiente de manera que el impacto ambiental es bajo, pero en América Latina y el Caribe no existen rellenos bien diseñados razón por la cual no se gestionan los residuos de una manera adecuada; a esto se suma los escasos sistemas de aprovechamiento de los residuos debido a que la tasa de generación por habitante/día aumenta continuamente y las municipalidades locales destinan pocos recursos financieros para el manejo de los residuos, (Saéz & Urdaneta, 2014).

Muchas ciudades cuentan con botaderos a cielo abierto, vertederos clandestinos, entre otras instalaciones inadecuadas y deficientes que contaminan el ambiente en vez de rellenos sanitarios, (Busquets & Casas, 2012).

En el siguiente gráfico se muestra el mapa comparativo de la tasa de crecimiento demográfico en América, en donde se observa que Ecuador cuenta con un índice de crecimiento poblacional entre 1-1.8 por año.



*Figura 1.* Mapa de crecimiento demográfico.

Adaptado de Mundi, 2017

En Ecuador se realizó en el año 2002 el “Análisis Sectorial de Residuos Sólidos del Ecuador”, auspiciado por la OPS/OMS con el cual se pretendió poner fin a los botaderos a cielo abierto existentes en el país, (MAE, 2010). La ministra del ambiente, Lorena Tapia, afirmó que para el 2017 no existirían en el país botaderos a cielo abierto debido a que en el 2015 se logró bajar a solo 20 botaderos para realizar el cierre técnico de los 221 cabildos en el Ecuador que contaban con botaderos a cielo abierto, (Andes, 2015).

La existencia por un periodo extendido en años de botaderos a cielo abierto constituye un problema ambiental debido a la contaminación de suelos, aguas superficiales y subterráneas. La contaminación proveniente a estos botaderos representa peligros a la salud humana, flora y fauna por la cantidad de lixiviados y gases generados en dichos lugares, (Organización Panamericana de la Salud, 2004).

Según la “Empresa Pública Metropolitana de Aseo –EMASEO EP”, durante más de 25 años se utilizó al “Botadero de Zámbriza” como sitio de disposición final de los desechos sin ningún previo tratamiento, salvo el vertido de cal para disminuir olores. Esto se realizaba a cielo abierto y con un funcionamiento deficiente,



(EMASEO, 2015). Las precipitaciones que hubo durante más de 25 años en la zona del vertedero de Zábiza sumadas a la producción natural de lixiviados de este botadero, se filtró a aguas freáticas. Las aguas de escorrentía ingresaban sin impedimento a las celdas del vertedero, incrementando el volumen de lixiviados. El vertedero de Zábiza actualmente, se encuentra cerrado y en su lugar se encuentra una estación de transferencia que funciona desde el año 2003 hasta la actualidad llamada “ET2 Poroto Huaico”, (Zambizá, 2012).

Los lixiviados formados por botaderos a cielo abierto o rellenos sanitarios mal administrados, pueden transferirse formando una pluma contaminante y llegar a los cursos de agua superficial y acuíferos, (Espinosa et al., 2007). La composición del lixiviado varía con la edad del relleno. Por lo que, el contenido de ácidos orgánicos, amonios y sólidos totales suspendidos en rellenos recientes son elevados, pero a mayor tiempo la biodegradación de la masa aumenta y la concentración de estos parámetros tiende a decrecer, (Pomposiello, Dapeña, Pamela, & Favetto, 2009). De esta forma si se conoce estos valores se puede estimar la edad del relleno sanitario y saber si existe contaminación por lixiviados.

Para determinar la concentración generada por los lixiviados, es factible el empleo de métodos geofísicos que generalmente son usados para estudios en minería, hidrocarburos, aguas subterráneas, etc., Los métodos geofísicos son métodos no destructivos, que mediante la variación de la resistividad a los sondeos eléctricos verticales aplicados permiten detectar los puntos y zonas que estarían posiblemente contaminadas, (Pous, Sugrañes, & Badiella, 1990). La variación de conductividad y resistividad abrupta del suelo reflejaría los focos de contaminación por medio de la aplicación de métodos geofísicos ya que la resistividad en el caso de haber lixiviados será muy baja.

## 1.2 Alcance

Este estudio pretende identificar la posible existencia de contaminación por lixiviado en zonas aledañas del relleno sanitario de Zámbriza (relleno maduro) después de su funcionamiento como botadero durante aproximadamente 25 años y el movimiento de la pluma de contaminación en las zonas aledañas al mismo mediante estudios geofísicos en base a sondeos eléctricos verticales aplicados sobre la zona de estudio.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General

Evaluar la contaminación por lixiviados en las zonas aledañas al relleno sanitario de Zámbriza mediante métodos Geofísicos.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar los estratos contaminados por lixiviados utilizando Sondeos Eléctricos Verticales.
- Simular el movimiento de la pluma de contaminación en un medio poroso saturado.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Fase final de gestión de residuos sólidos

#### 2.1.1 Rellenos sanitarios

Un relleno sanitario es aquel que confina la basura de una manera segura. Para esto debe contar con un sistema de impermeabilización de base y taludes, sistema de captación, conducción y tratamiento de lixiviados como también de gases, control del ingreso de agua lluvia por escurrimiento, programas de monitoreo ambiental y planes de contingencias en caso de haber fugas o un mal funcionamiento, (Noguera & Olivero, 2010).

#### 2.1.2 Botaderos a cielo abierto

Los botaderos a cielo abierto son sitios de almacenamiento de basura, los cuales no reciben ningún tratamiento, ni separación previa a su disposición final en el botadero y además no existe un acondicionamiento en el lugar de disposición que prevea la posible contaminación resultante de la degradación de la basura en dicho lugar, (Girón, Mateus, & Méndez, 2009).

#### 2.1.3 Problemas ambientales debido a los botaderos

Debido a que los botaderos no poseen ningún acondicionamiento físico en el terreno, suelen causar problemas ambientales como:

- Deterioro de la calidad del aire por diferentes tipos de gases no controlados como el metano ( $CH_4$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), amoníaco ( $NH_3$ ), ácido sulfúrico ( $H_2S$ ), entre otros .
- Contaminación de aguas subterráneas por lixiviación.

- Deterioro del paisaje.
- Malos olores.
- Constituyen alojamiento de plagas como vectores, insectos, que pueden ser medio de transmisión de diversas enfermedades.
- Problemas a la salud de la población aledaña.
- Contaminación del suelo.
- Cambios físicos, químicos y biológicos de la zona, (Greenpace, 2008).

## 2.2 Lixiviados

Es el líquido generado por la percolación de agua procedente de la lluvia o escorrentía superficial y la que es producida por los materiales susceptibles de descomposición, los residuos de putrefacción rápida (residuos de comida), de descomposición tardía (papel, madera, cartón, textiles, hojas) y los materiales inertes (tierra, plásticos, caucho, vidrio y varios tipos de metales), (Collazos Peñaloza, 2008).

### 2.2.1 Los lixiviados en el suelo

La composición de los lixiviados en el suelo varía dependiendo de la edad del relleno sanitario por lo que se pueden encontrar las siguientes composiciones, según Eugenio Giraldo:

Tabla 1.

*Composición de Lixiviados.*

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIXIVIADO JÓVEN</b>	<b>LIXIVIADO VIEJO</b>
DBO	Muy Altos	Bajo
DQO	Muy Altos	Alto
Amoniaco	Muy Altos	Alto
Fósforo	Deficiente	Alto

PH	Muy Bajo	Bajo
Detergentes	Muy Altos	Bajo
Sales Disueltas	Muy Altos	Bajo (relativamente)
Agentes Incrustantes	Muy Altos	Bajo
Metales pesados	Muy Altos	Bajo

Adaptado de Giraldo, 2010.

La conductividad, la dureza y la alcalinidad, guardan una relación directamente proporcional, debido a que dependen de la presencia de iones en los lixiviados, (Giraldo, 2001). Así a medida que aumenta la edad del lixiviado, la dureza y alcalinidad tiende a disminuir. De igual forma, la existencia de iones de bicarbonato, calcio, magnesio y carbonato, incrementan esta tendencia en la conductividad.

El nitrógeno, tanto el total como el amoniacal en el lixiviado, se ven reducidos a medida que aumenta su edad, puesto que en los vertederos jóvenes ocurre la diseminación de los aminoácidos y la destrucción de compuestos orgánicos, (Torres-Lozada, Barba-Ho, Ojeda, Martínez, & Castaño, 2014).

### 2.2.2 Afectaciones de los lixiviados en la salud

La mayoría de los materiales usados con normalidad en cada hogar son depositados libremente en el relleno o botadero y estos pueden contener ciertos químicos peligrosos. En la tabla 2, se puede evidenciar los químicos en estos residuos comunes, según Green Peace:

Tabla 2.

*Compuestos peligrosos de residuos comunes.*

<b>Residuos Comunes</b>	<b>Compuestos peligrosos</b>
Esmalte de uñas	Xileno, dibutifalato y tolueno

Detergentes	Benceno, Tolueno, Tricloroetileno, Cloruro de metileno
Plástico	Polietileno, cloruro de Vinilo, formaldehido y tolueno
Antiguos artefactos electrónicos (TV, radio)	Plomo
Baterías	Níquel-Cadmio
Lámparas fluorescentes, termómetros, pigmentos de tintas	Mercurio
Naftalina	Diclorobenceno

*Adaptado de Greenpace, 2008.*

Existen muchos compuestos peligrosos que guardan relación con afectaciones a la salud. En la tabla 3, se muestra los efectos a la salud por algunos de los diferentes compuestos que se pueden encontrar en un botadero o relleno sanitario debido a la acumulación de residuos comunes.

Tabla 3.

*Efectos en la salud de diferentes compuestos en un relleno sanitario.*

<b>COMPUESTOS</b>		<b>EFFECTOS EN LA SALUD</b>
<b>COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>	<b>Benceno</b>	Cancerígeno, efectos sobre el sistema nervioso, inmunológico y gastrointestinal. Mutagénico.
	<b>Metilbenceno</b>	Daño a los riñones, el hígado, irritación en piel, ojos y sistema respiratorio.

	<b>Cloruro de Metileno</b>	Efectos sobre el sistema nervioso central, pulmones, sistema cardiovascular y respiratorio.
	<b>Tolueno</b>	Cancerígeno y mutagénico.
	<b>Cloruro de Vinilo</b>	Daño en el riñón, hígado. Cancerígeno y mutagénico.
	<b>Tricloroetileno</b>	Desorden en el sistema sanguíneo, alergias, irritaciones, cancerígeno, mutagénico.
<b>METALES PESADOS</b>	<b>Cromo</b>	Efectos en el sistema pulmonar, respiratorio, daño en el riñón, y alergias.
	<b>Cadmio</b>	Infertilidad, cancerígeno, mutagénico, embriotóxico.
	<b>Níquel</b>	Efectos en el sistema pulmonar, alergias, daño al hígado y riñón, irritaciones, y posible cancerígeno y teratogénico.
	<b>Plomo</b>	Anemia, cáncer, daño a los riñones, perturbación al sistema

		nervioso, infertilidad, abortos,
	<b>Mercurio</b>	Cansancio, dolor de cabeza, daño visual, teratogénico, irritación.

*Adaptado de (Greenpace, 2008).*

Varios estudios realizados en Estados Unidos, Canadá y Reino Unido demuestran que el vivir cerca de un sitio de disposición final de residuos sólidos con lleva afectaciones a la comunidad aledaña, (Vrijheid, 2000). Ejemplo de esto constituyen tres casos que detallamos a continuación:

- Estudio de Londres por parte de la unidad de epidemiología ambiental realizado en el año 2000, demuestran que la tasa de cáncer de vejiga, pulmón, estómago y leucemia incrementa en las zonas aledañas de un relleno sanitario. De igual manera el incremento de abortos y niños nacidos bajo de peso (Vrijheid, 2000).
- Estudio procedente de Gales – Inglaterra reveló que la probabilidad de que los bebés nazcan con mal formaciones era el doble para aquellos viviendo cerca de un relleno (Greenpace, 2008).
- Estudio realizado en Italia – Roma asocia la mortalidad por cáncer de pulmón y también la mortalidad y la morbilidad por enfermedades respiratorias a causa de la cercanía de un relleno sanitario (Mataloni et al., 2016).



## 2.3 Métodos geofísicos para la prospección de lixiviados

Los métodos geofísicos son aquellos que a través de diversas técnicas instrumentales como de auscultación, sondeos eléctricos, monitorización, entre otros. Permiten investigar zonas de difícil acceso, como es el interior de la tierra, o zonas en donde el acceso cause riesgo considerable a la vida humana. Por lo que, estos métodos pueden brindar resultados detallados y muy aproximados a la realidad sin hacer perforaciones que implicarían altos costos, es decir estas metodologías siempre dan resultados indirectos sujetos a un posterior análisis de los mismos, (Campano-Calvo, Del Río, Farfán, & Campano-Aguirre, 2013). Los principales métodos geofísicos que se desarrollan hasta el día de hoy son:

- Método sísmico.
- Métodos magnéticos y gravimétricos
- Refracción/reflexión
- Métodos geo eléctricos o de corriente continua
- Tomografías Eléctricas
- Electromagnetismo, entre otros.

### 2.3.1 Clasificación de las técnicas de prospección eléctrica de corriente continua

Estas metodologías se fundamentan en el campo eléctrico<sup>1</sup> estacionario, el cual establece que, el campo eléctrico es excitado únicamente por las cargas estacionarias que se realizan sobre él y no depende la intensidad de campo de la función de tiempo, (Ortega, 2002). Por lo que, sirven para evaluar los diferentes tipos de materiales en el suelo por medio de la resistencia que estos ejercen frente a la inyección de corriente mediante dispositivos electródicos.

---

<sup>1</sup> Un campo eléctrico es aquel que se genera por medio de cargas positivas o negativas, y atrae otras cargas de signo contrario y repele a las que tienen su mismo signo.

Estos dispositivos electródicos sirven para conducir la electricidad al hacer contacto con el suelo, generalmente se ocupan 4 electrodos con diferentes arreglos.

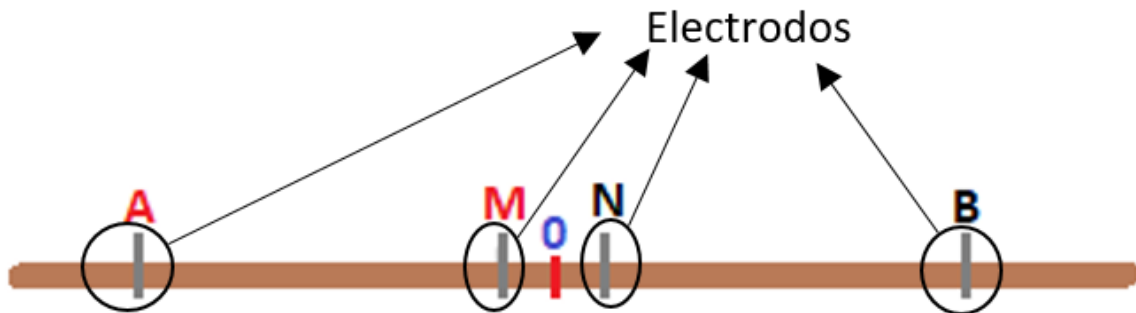


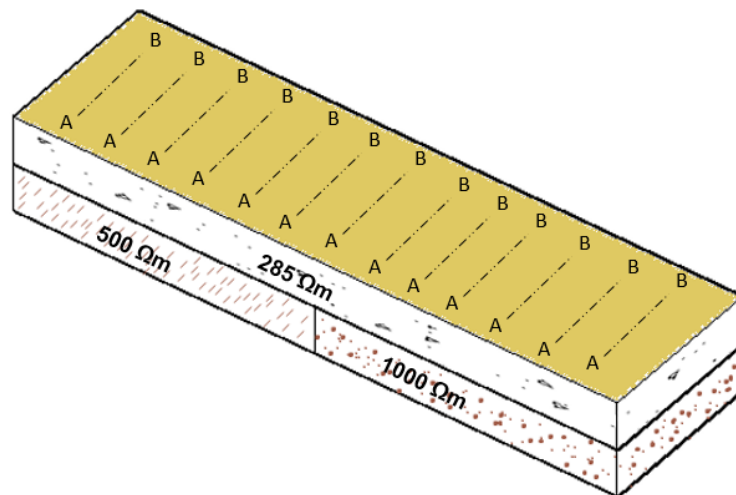
Figura 2. Electrodos con Arreglo Schlumberger

Como se puede observar en la Figura 2, existen diferentes electrodos. A y B son electrodos que sirven para transmitir la corriente que se subministra en el subsuelo, mientras que M y N, son electrodos que determinan la potencia de inyección de corriente.

A través de estos dispositivos electródicos y el flujo de corriente eléctrica, natural o inducida inyectado en el subsuelo, se pueden medir los efectos superficiales que se producen, (Drupaljda, 2015) . De estos métodos de prospección de corriente continua se pueden destacar la polarización inducida, calicatas eléctricas, sondeos eléctricos verticales, etc. Entre las más importantes están los siguientes:

#### 2.3.1.1 Calicata Eléctrica

Es aquel método en donde los electrodos de corriente A, B se abren en una misma distancia y se mide la resistividad, de esta manera se toman todos los datos en una línea y todo el dispositivo se desplaza con la misma apertura a la siguiente línea de muestreo, de manera que se conserva la profundidad de medición y se puede distinguir exactamente donde es la variación de resistividad en los laterales del terreno estudiado, (Sánchez, 2001).



*Figura 3. Calicata Eléctrica.*

Adaptado de Sánchez, 2001.

En la Figura 3, se puede observar como a medida que se avanzan las mediciones se pueden encontrar cambios en las capas de medición como es en el caso de la Figura representada de 500  $\Omega\text{m}$  a 1000  $\Omega\text{m}$ .

### 2.3.1.2 Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

El Sondeo eléctrico vertical a diferencia de las calicatas eléctricas la apertura de los electrodos de corriente AB, va variando conforme el análisis en profundidad que se desee evaluar. Por lo que, se genera una sola línea y se abren los electrodos hasta alcanzar la profundidad de medición deseada, (Sánchez, 2001).

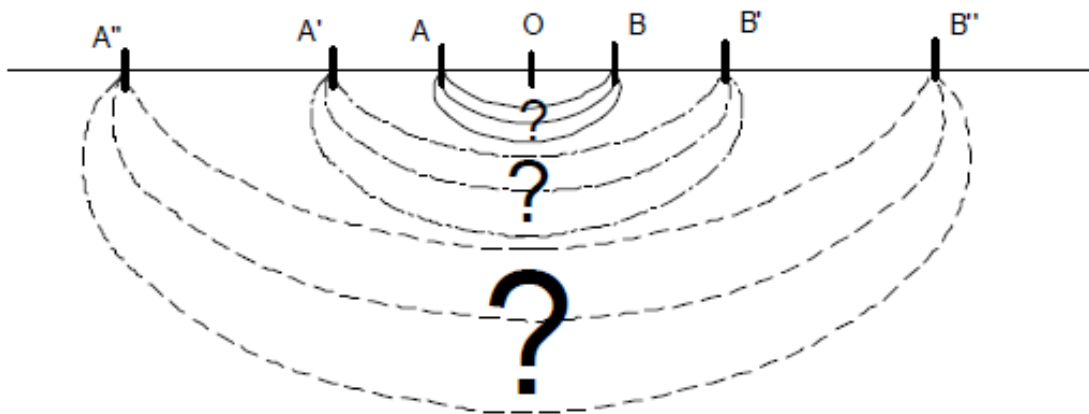


Figura 4. Esquema simplificado de un sondeo eléctrico vertical.

Adaptado de Sánchez, 2001 .

## 2.4 Métodos Geoeléctricos utilizados en sondeos eléctricos verticales

### 2.4.1 Método Wenner

Para realizar el método Wenner, en un sondeo eléctrico vertical, los arreglos de los electrodos de corriente y de potencia deben ser equidistantes entre sí, de modo que si se mueve AB también se debe mover MN. Por lo que siempre se debe cumplir que:  $AM=MN=NB$ , (Sánchez, 2001).

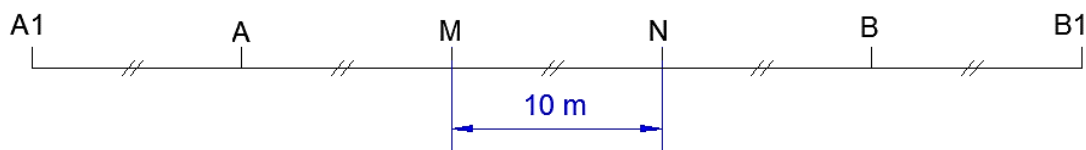


Figura 5. Método Wenner

### 2.4.2 Método Schlumberger

En el arreglo de Schlumberger, la distancia de los electrodos de potencia (MN) es menor a los electrodos de corriente (AB), por lo que a medida que se abren los electrodos para alcanzar mayor profundidad, se debe cumplir que:

$AB/5 > MN > AB/20$ , por lo que MN siempre va a ser considerablemente menor que AB, (Sánchez, 2001).

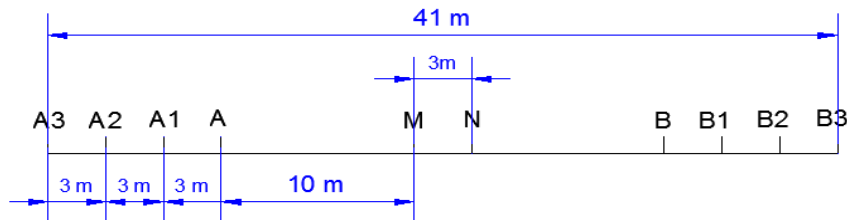


Figura 6. Método Schlumberger

#### 2.4.3 Método Polo-Dipolo

Para el arreglo polo-dipolo, los electrodos de corriente se colocan con una distancia muy grande entre sí, teniendo los electrodos de potencia más cerca del electrodo de corriente positivo A. Este arreglo es generalmente usado para la detección de agrietamientos, cavernas, zonas de debilidad o cualquier tipo de discontinuidad que se presente en el subsuelo, (Klee, 2016).

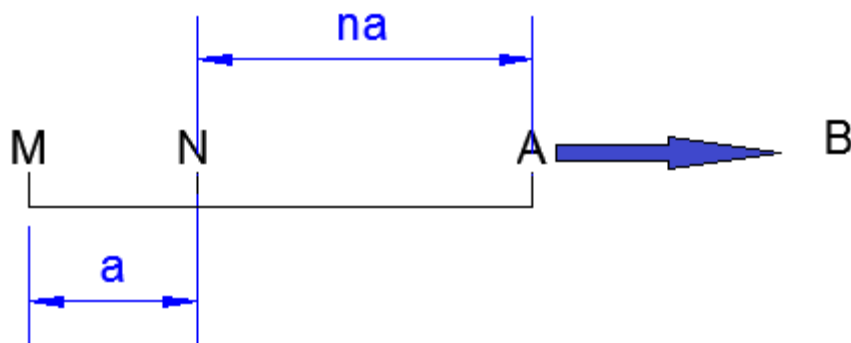


Figura 7. Método Polo-Dipolo

#### 2.4.4 Método Dipolo-Dipolo

En este arreglo, el espaciamiento entre los electrodos AB y MN siempre van a ser los mismos, pero se ampliará la distancia entre AB y MN paulatinamente conforme la profundidad que se desee evaluar de tal manera que AB se

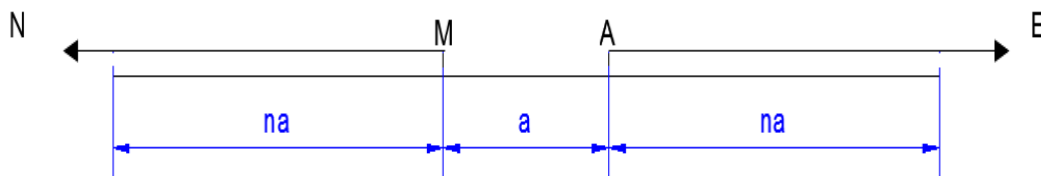
mantiene fijos y se utilizan varios electrodos MN dispuestos a lo largo de la línea de toma de datos para obtener diferentes niveles de investigación. Por lo que se puede incrementar la distancia entre los electrodos de corriente y los de potencia siguiendo que, el espaciamiento de los electrodos de corriente ( $a$ ) sea igual al espaciamiento de los electrodos de potencial  $b$  y la distancia entre los centros de los pares de los electrodos es  $(n + 1) \times a$ . Como se puede observar en la siguiente Figura, (Klee, 2016).



*Figura 8.* Método Dipolo-Dipolo.  
Adaptado de Klee, 2016.

#### 2.4.5 Método Polo-Polo

En la configuración del método polo-polo, los electrodos de corriente y de potencia poseen una distancia equidistante entre MA, mientras que se abren los electrodos N y B hasta un espaciamiento muy grande, (Klee, 2016).



*Figura 9.* Método Polo-Polo.

## 2.5 Fundamentos de la resistividad

La resistividad se define por la Ley de Ohm como la resistencia que opone un material al paso de corriente eléctrica a través del mismo. Las unidades de medida son ohmios por metro ( $\Omega \cdot m$ ) y generalmente se denomina con la letra griega ( $\rho$ ) (Fowler, 1994). En la siguiente imagen se representa como la resistencia del material al paso de corriente a través del mismo genera un determinado valor de resistividad.

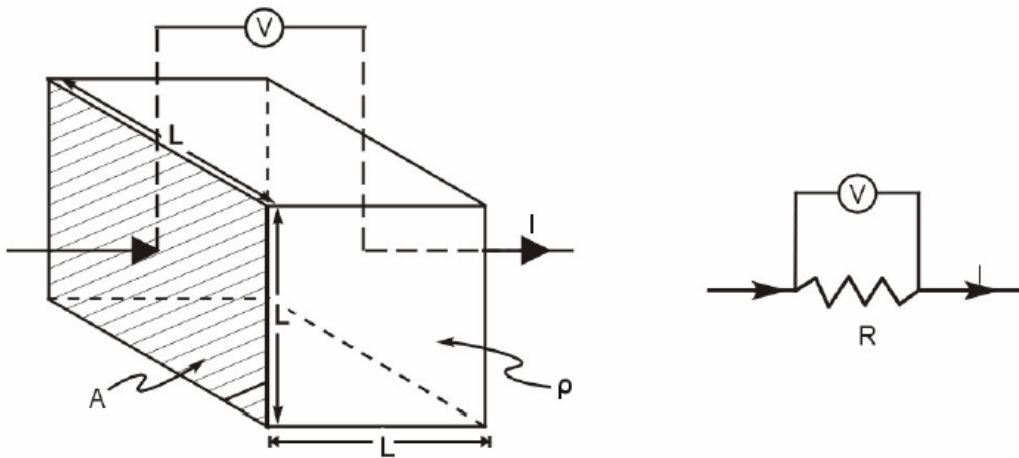


Figura 10. Ley de Ohm. Adaptado de Schlumberger, Wenner, & Dipolares, 2008

Estas magnitudes se pueden determinar por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Intensidad} = C * \text{Área} * \frac{\Delta V}{\Delta l} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En donde:

C = Es la conductividad del material.

Además, la resistencia que opone un cuerpo frente el paso de corriente (R) es directamente proporcional a la longitud e inversamente proporcional a la sección, (Sánchez, 2001). La resistividad ( $\rho$ ), es una magnitud característica de cada material.

$$R = \rho \left( \frac{L}{A} \right) \quad \text{(Ecuación 2)}$$

En donde:

R= Resistencia eléctrica (ohm)

A= Área transversal del material ( $m^2$ )

L= Longitud del material (m)

Como la conductividad (C) es el inverso de la resistividad ( $\rho$ ):

$$R = \frac{1}{C} * \frac{\Delta L}{A} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Despejando C en (3) y sustituyendo el valor en (1), obtenemos:

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

En donde:

R= Resistencia en ohmios ( $\Omega$ )

V= Diferencia de potencial en Voltios (v)

I = Intensidad de corriente (A)

La resistividad depende de varios parámetros geológicos como el contenido de minerales y de fluidos, la porosidad, concentración de sales disueltas en el agua y grado de saturación del material, temperatura, entre otros, (INGEOTECNIA, 2015).



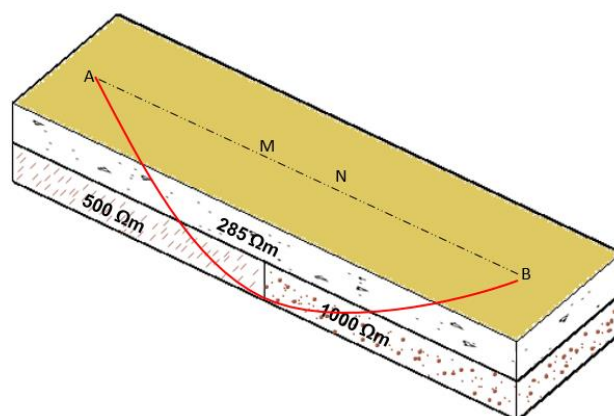
### 2.5.1 Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica por el contrario de la resistividad se define como la capacidad de una sustancia para conducir electricidad por medio de la concentración de sólidos disueltos presentes en dicha sustancia, es decir por medio del transporte de electrones.

Una resistividad baja indica un material con alta conductividad por lo que permite fácilmente el movimiento de carga eléctrica a través del cuerpo del material, (Ruiz, 2014).

### 2.5.2 Concepto de resistividad aparente

Al realizar prospecciones geo eléctricas in-situ, se miden materiales heterogéneos. Por lo que, la resistividad obtenida bajo el esquema del método de cuatro electrodos, solo es representativo para un punto del suelo estratigráfico. Es decir, que dependiendo de las diferentes estratigrafías se puede obtener una resistividad promedio de las prospecciones eléctricas realizadas debido a que se puede estar evaluando diferentes capas al mismo tiempo, (Carballo Otero , 2004).



*Figura 11.* Resistividad aparente.

En la Figura 11, se puede observar como por el método de sondeo eléctrico vertical, los resultados obtenidos de resistividad en las capas internas del terreno van a ser un promedio de las capas que el método está midiendo debido a que cruzan dos capas con resistividades diferentes.

### 2.5.3 Resistividad de ciertos materiales

La resistividad en los diversos materiales depende de varios factores como la conducción electrónica, que es aquella en la cual el flujo de corriente es gracias a los electrones libres que posee el material como en los metales., la conducción electrolítica por la cual el flujo de corriente depende de los electrones presentes en el agua, la porosidad del material, fracturas, etc., (Daza Hernández, 2012).

Existen varias fuentes bibliográficas que establecen la relación de resistividades con el tipo de material, se detalla una de estas tablas a continuación.

Tabla 4.

*Tabla de resistividades.*

<b>TIPO DE MATERIAL</b>	<b>RESISTIVIDAD (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>
Basamento roca sana con diaclasas espaciadas	>10000
Rocas Ígneas	1000 – 7000
Basamento roca fracturada	1500-5000
Basamento roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000
Basamento roca fracturada saturada con agua salada	1-100
Gruss no saturado	500-1000
Gruss saturado	40-50
Saprolito no saturado	200-500

Saprolito saturado	40-50
Gravas no saturadas	500-2000
Gravas saturadas	300-500
Arenas no saturadas	400-700
Arenas saturadas	100-200
Limos no saturados	100-200
Limos saturados	20-100
Limos saturados con agua salada	5-15
Arcillas no saturadas	20-40
Arcillas saturadas con agua salada	5-20
Andosoles secos	1-10
Andosoles no saturados	1000-2500
Andosoles saturados	300-1000
Agua de origen meteórico	30-1000
Agua superficial en rocas ígneas	30-500
Agua superficial en rocas sedimentarias	10-100
Agua de mar	=0.2

*Adaptado de Daniel Eduardo Arias, Oscar Echeverri Ramírez, 2012.*

Las diferentes resistividades que los diferentes materiales puedan presentar se encuentran ilustrados, en la Figura 12, en donde se pueden distinguir de mejor manera los materiales con mayor y menor resistividad.

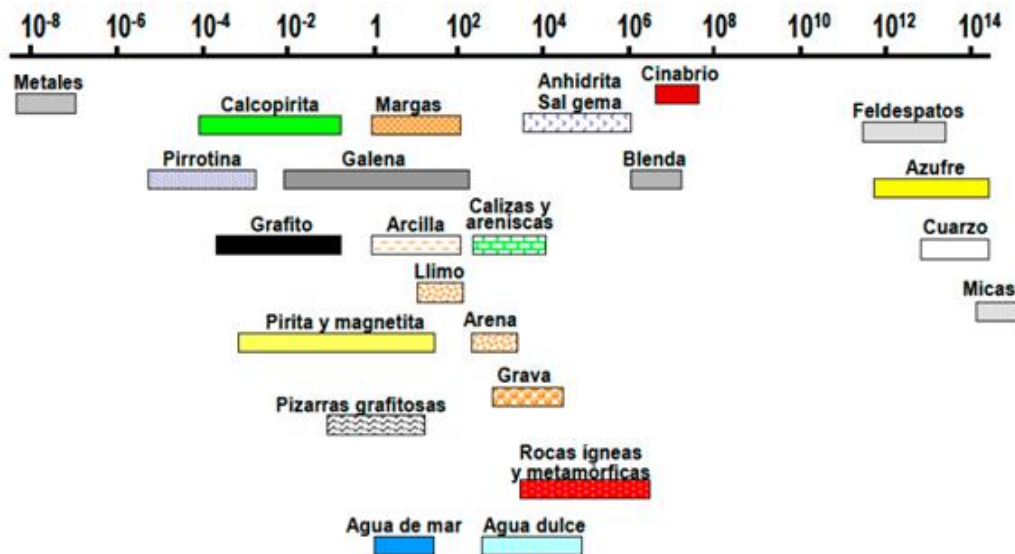


Figura 12. Resistividades.

Adaptado de Cartomex, 2015.

## 2.6 Programa de simulación "Processing ModFlow 5.3"

Es un programa de modelamiento creado previamente por los Estados Unidos para simular diferentes escenarios hidrológicos, de manera que se pueda predecir y simular diferentes condiciones del agua subterránea, acuíferos, derrames, entre otros, (Software & Processes, 2011).

Este programa a través de un modelamiento en imagen raster se puede representar un sistema vectorial cualquiera que sea del interés del usuario. Este programa posee diferentes comandos que son: SEAWAT, PHT3D, RT3D, MT3D99, MT3DMS, MT3D, MOC3D, PMPATH, MODPATH y PEST. Cada uno de ellos ayuda a simular y a generar los complementos del modelo para lograr la correcta interpretación, codificación, ingreso de los parámetros básicos para que el modelo pueda funcionar, (Chiang & Kinzelbach, 1998).

Uno de los principales comandos es PMPATH, el cual ayuda a generar tiempos de contaminación de cualquier agente externo en el área de estudio analizada solamente presionando un par de clics con el mouse por medio de un sistema semianalítico de las partículas, (Software & Processes, 2011).

Para que este programa de simulación pueda funcionar se necesitan ingresar algunos parámetros básicos como es la generación de la grilla, la definición de la resolución horizontal y vertical, las capas de suelo que se van a analizar, la porosidad, conductividad hidráulica horizontal y vertical, etc, (Software & Processes, 2011).

#### 2.6.1 Datos de entrada en el programa "Processing ModFlow"

- Conductividad hidráulica horizontal y vertical

La conductividad hidráulica horizontal y vertical, dependen de las propiedades del fluido y del medio. La conductividad tiene unidades [L T<sup>-1</sup>], la cual es equivalente a la movilidad que es definida como la relación entre la permeabilidad,  $k$  y la viscosidad cinemática, (Suelos, 2004).

La relación entre conductividad horizontal y conductividad vertical está definida como:

$$\frac{K_x}{K_y} = 10$$

En la Figura 13, se puede observar las respectivas conductividades horizontales en base al tipo de material.

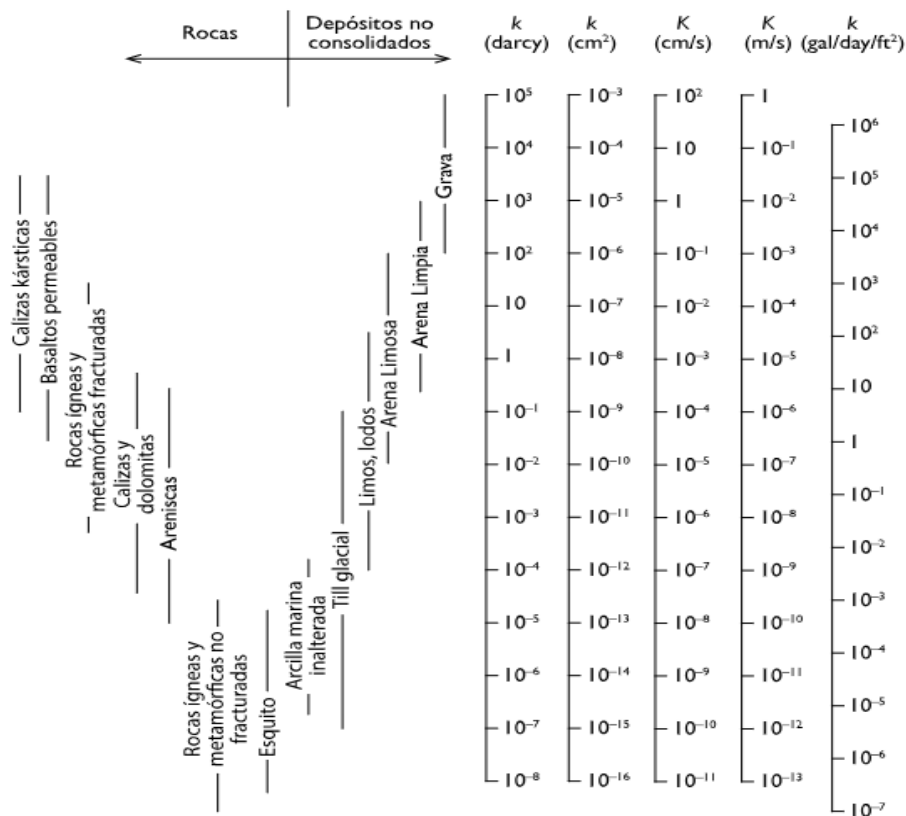


Figura 13. Valores de conductividad Hidráulica.

Adaptado de Freeze & Cherry, 1979 .

- Medio poroso saturado

En el suelo se controla el movimiento del agua mediante dos factores: la resistencia que posee la matriz del suelo para hacer fluir el agua a través de él y las fuerzas que actúa en cada elemento o unidad de agua del suelo. De esta manera se relaciona la proporción de flujo. El flujo saturado ocurre cuando la presión de agua es positiva en los poros de los distintos materiales, es decir, cuando el potencial del suelo tiende a cero. Esta situación tiene lugar en suelos altamente saturados con agua alrededor del 95% y el 5% restante contiene aire atrapado, (Darcy & Darcy, 1856)

- Porosidad efectiva

La porosidad está definida entre el volumen de huecos y el volumen total de una roca. La porosidad está definida por la letra  $n$  y es un parámetro adimensional y depende de la constitución de suelo o roca, es decir, de su textura. En este parámetro no interviene la geométrica ni la potencia de la formación, (Ziatkova & Manteca, 2009).

En la tabla 5, se puede relacionar la porosidad con los distintos materiales que se pueden encontrar en un perfil estratigráfico. Siendo el material con mayor porosidad las arcillas y el material que posee menor las rocas ígneas y metamórficas sin fracturaciones.

Tabla 5.

*Porosidad de diferentes materiales.*

MATERIAL	POROSIDAD TOTAL	POROSIDAD EFICAZ
<b>Arcillas</b>	40 a 60	0 a 5
<b>Limos</b>	35 a 50	3 a 19
<b>Arenas finas, arenas limosas</b>	20 a 50	10 a 28
<b>Arenas gruesas o bien clasificadas</b>	21 a 50	22 a 35
<b>Grava</b>	25 a 40	13 a 26
<b>Esquisto intacto</b>	1 a 10	0.5 a 5
<b>Esquisto fracturado o alterado</b>	30 a 50	
<b>Arenisca</b>	5 a 35	0.5 a 10
<b>Calizas, dolomías no cartificadas</b>	0.1 a 25	0.1 a 5
<b>Calizas, dolomías cartificadas</b>	5 a 50	5 a 40
<b>Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar</b>	0.01 a 1	0.0005

<b>Rocas Ígneas y metamórficas fracturadas</b>	1 a 10	0.00005 a 0.01
--	--------	-------------------

*Adaptado de Pizarras, 2000.*

### 2.6.2 Ley de Darcy

La velocidad de infiltración del agua en el interior de un suelo depende principalmente de la porosidad que este posee de manera que a través de sus vacíos puede circular el agua y también depende de los gradientes de carga hidráulica, (SAEZ, 2010). La relación entre la velocidad de infiltración y la carga hidráulica fue determinada por Darcy empíricamente a partir de ensayos sobre un tubo lleno de arena. Dicha relación se escribe:

$$v = K * i \quad (1)$$

En donde:

V= velocidad de trasmisión del flujo

i = gradiente hidráulico

k = conductividad hidráulica

- El gradiente hidráulico, está definido por la variación de carga hidráulica en una distancia determinada, (SAEZ, 2010).

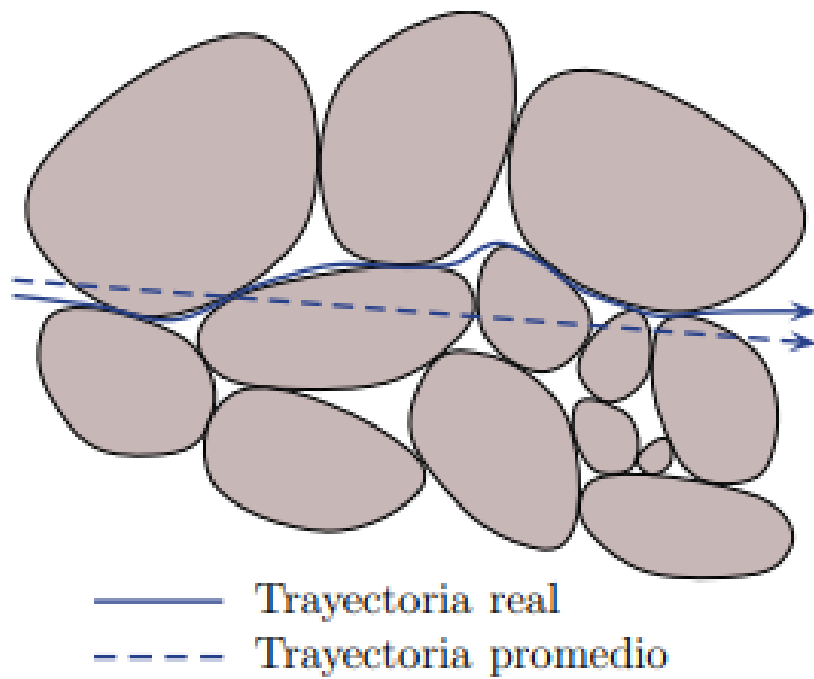
$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad (2)$$

- Velocidad de infiltración, es la velocidad por la que el agua puede trasladarse a través de la porosidad presente en el material que está atravesando, (SAEZ, 2010)



$$v = \frac{1}{n} (3)$$

En la Figura 14, se puede observar de mejor manera la velocidad de infiltración mediante la trayectoria real entre la porosidad de las rocas.



*Figura 14.* Velocidad de infiltración.

Adaptado de Darcy & Darcy, 1856 .

### 3. METODOLOGÍA

La metodología que se empleó acabo en el presente estudio se resume en el diagrama de procesos, el cual se muestra en la Figura 15.



Figura 15. Proceso metodológico.

### 3.1 Objetivo 1

Para lograr cumplir el primer objetivo “Determinar los estratos contaminados por lixiviados utilizando Sondeos Eléctricos Verticales”, se realizó la correlación de la información levantada en campo mediante la información secundaria que fue recopilada acerca de la geología de la zona de estudio, las resistividades de los materiales, etc. Esto se lo realizo de la siguiente manera.

#### 3.1.1 Levantamiento de información primaria

Con el fin de levantar información valedera y confiable se tomaron los datos en días soleados con ausencia de lluvia de manera que no exista divergencia en los resultados obtenidos por el aumento de conductividad que se provoca en el suelo al saturarse por precipitaciones.

##### 3.1.1.1 Evaluación de la zona de estudio

El antiguo botadero de Zámbriza se encuentra ubicado al sur de la Av. De las palmeras, ver en la figura No 16.



*Figura 16.* Ubicación del Antigua botadero de Zámbriza.

Adaptado del Geoportal de SIGTIERRAS, 2018.

Los barrios que se encuentran aledaños al antiguo botadero de Zámiza (actual estación de transferencia) son:

Al Norte:

- Buenos Aires
- José Félix Borrero

Al Sur:

- Monteserrín
- Campo Alegre

A fin de obtener una percepción más clara de la zona de estudio se analizó las depresiones en el sector del antiguo botadero de Zámiza por medio de ortofotos de la zona. En la Figura 17, se muestra la relación de elevación topográfica que poseen los barrios aledaños al antiguo botadero de Zámiza y la inclinación del terreno en dirección Occidente a Oriente. Debido a estas laderas y a la dirección de pendiente se decidió muestrear en el lado Oriental del antiguo botadero de Zámiza.



Figura 17. Ortofoto de la ciudad de Quito.

Adaptado de Google Earth, S.f.

### 3.1.1.2 Ubicación de las coordenadas espaciales de los sondeos eléctricos verticales

- Determinación de la zona de estudio

A fin de obtener la mejor zona para realizar el levantamiento de información mediante sondeos eléctricos verticales, se realizó un estudio de accesibilidad en toda la zona frente al antiguo botadero de Zámbriza, pasando la Av. Simón Bolívar. A pesar de que se encontró una formación vegetal en la zona de estudio propia de un espinar seco montano alto, debido a la dominancia de plantas armadas con espinos, se pudo encontrar también una zona herbácea con facilidad de acceso para realizar las mediciones correspondientes.



*Figura 18.* Entrada a la zona de evaluación.

Como se puede evidenciar en la Figura 18, existe un reducido espacio de accesibilidad en el terreno debido a la formación vegetal presente en la zona. Por lo que, la expansión en el terreno se vio reducida para el desplazamiento y medición con los electrodos del resistivímetro tanto horizontal como verticalmente.



Figura 19. Zona de evaluación de la contaminación de lixiviados por métodos geofísicos.

Adaptado de Geoportal de SIGTIERRAS, 2018.

- Determinación de la zona exenta de contaminación aledaña (el blanco)

Para determinar una zona exenta de contaminación por lixiviados se emplearon ortofotos en las zonas de estudio, considerando la presencia de fallas geológicas, quebradas o topografía de la zona. A raíz de este análisis se determinó que el estadio de Zámiza era el sitio propicio considerado como blanco, debido a que esta zona tiene un espacio amplio para la apertura de electrodos en el terreno, está en un radio de 1.3 km del antiguo botadero de Zámiza y es una zona que solo sufrió desbroce para su construcción mas no ha sido alterado. Las coordenadas del estadio de Zámiza son las siguientes:

Tabla 6.

*Coordenadas del blanco*

<b>Coordenadas del Estadio de Zámiza</b>	
<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>
785421 E	9983401 m S
785401 m E	9983307 m S

785474 m E	9983300 m S
785493 m E	9983381 m S

### 3.1.1.3 Mediciones en campo

Los sondeos eléctricos verticales se realizaron mediante el uso del resistivímetro de la marca PASI y su software (V.E.S. 2000) mediante el método de Schlumberger, para el cual se utilizaron 4 electrodos dos de corriente (de aluminio) y dos de potencia (de cobre), 2 cables de potencia (A-B), dos cables de corriente (M-N), 4 pinzas de conexión de cables de potencia y corriente a electrodos, 1 batería adicional, y 2 cables de conexión de equipo a la batería. En la Figura 20, se puede observar el equipo de con el que se realizaron las mediciones y sus accesorios.

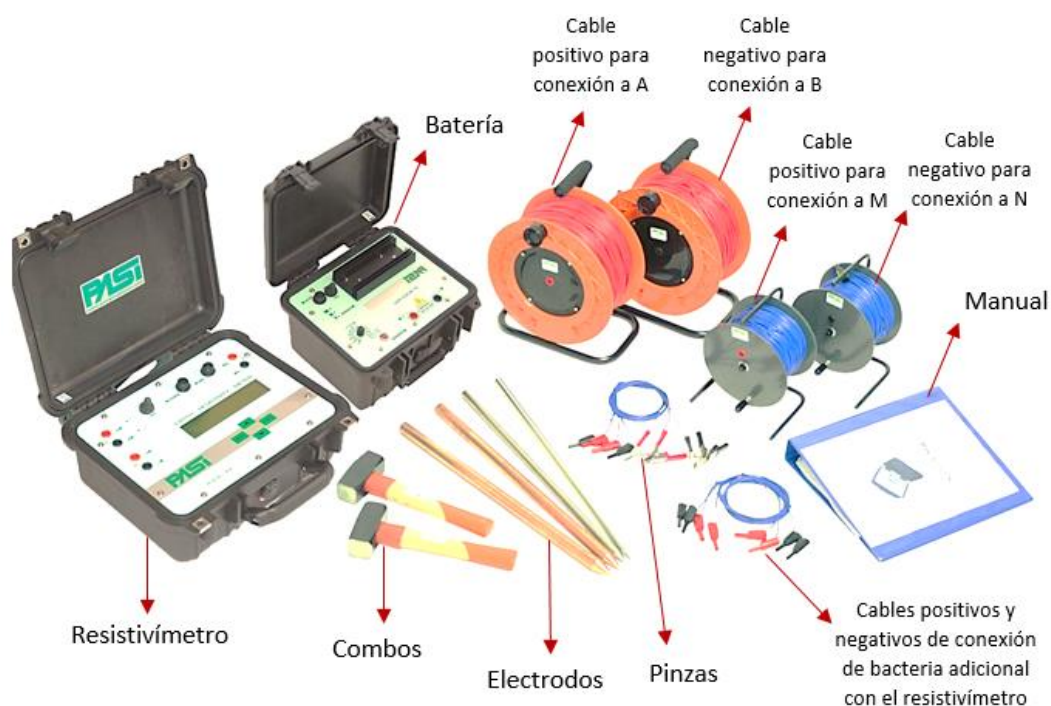


Figura 20. Equipo Pasi y sus accesorios.

Adaptado de PASI, s.f



Mediante la aplicación del método de Schlumberger, todas las líneas horizontales y verticales se realizaron de manera que los electrodos de potencia siempre tengan una abertura menor que los electrodos de corriente. Por lo que, se cumplió la relación de  $AB/5 > MN > AB/20$ . Llegando así a profundidades de 42.5 m horizontalmente y de 20.5 m en líneas verticales. La abertura de MN en líneas horizontales fue igual a 5 m, mientras que en líneas verticales fueron igual a 3 m debido a la poca posibilidad de expansión de electrodos en el terreno. De manera que la apertura de electrodos se realizó de la siguiente manera:

- En la zona de evaluación de lixiviados:

#### 1. Líneas Horizontales

Se realizaron 4 líneas de resistividad con una separación de 15m cada una entre sí. Estas líneas de medición se las puede observar en la Figura 21.



*Figura 21.* Líneas de evaluación de los sondeos eléctricos verticales.

Las coordenadas de las líneas muestreadas son las siguientes:



Tabla 7.

Coordenadas de las líneas de resistividad muestreadas

Coordenadas de las líneas de resistividad muestreadas				
Líneas de evaluación	Punto extremo de A		Punto extremo de B	
	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud
Horizontal 1	783705 m E	9983210 m S	783650 m E	9983287 m S
Horizontal 2	783713 m E	9983217 m S	783657 m E	9983294 m S
Horizontal 3	783721 m E	9983226 m S	783668 m E	9983303 m S
Horizontal 4	783733 m E	9983236 m S	783681 m E	9983312 m S

Las líneas de evaluación en base de sondeos eléctricos verticales se realizaron mediante la apertura de los electrodos de la siguiente manera:

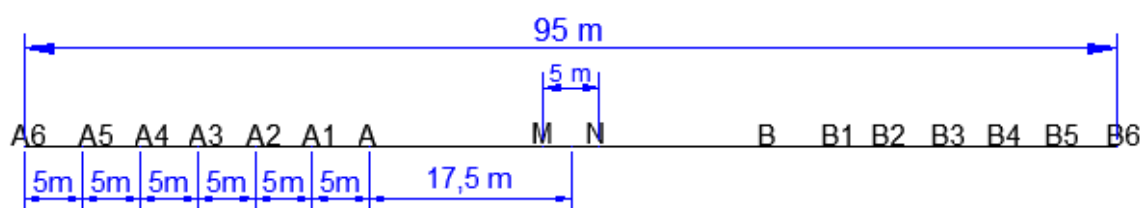


Figura 22. Apertura de electrodos por el método de Schlumberger en líneas horizontales.

La primera separación de los electrodos de corriente AB con respecto al punto de origen fue de 17.5 m y posterior a ese se continuó abriendo los electrodos de corriente con 5 m adicionales a cada lado, para poder cumplir con la relación del método de Schlumberger de  $AB/5 > MN > AB/20$ .

## 2. Líneas Verticales

Se realizaron 3 líneas verticales de resistividad con una separación de 45 m entre sí. La primera separación de los electrodos de corriente AB con respecto al punto de origen fue de 11.5 m y posterior a ese se continuó abriendo los electrodos de

corriente con 3 m adicionales a cada lado, para poder cumplir con la relación del método de Schlumberger de  $AB/5 > MN > AB/20$ .

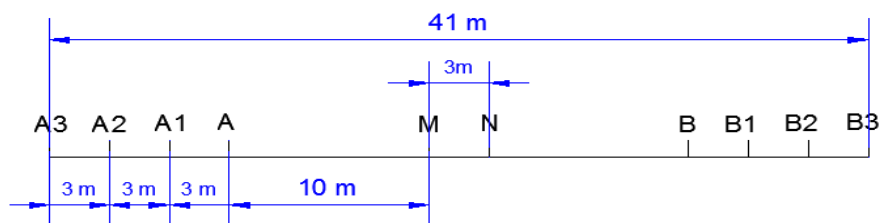


Figura 23. Abertura de electrodos por el método de Schlumberger en líneas verticales.

- En la zona del Estadio de Zámbriza:

Se realizaron dos líneas de resistividad, las cuales eran paralelas entre sí con 20 m de separación. En cada línea, la primera separación de los electrodos de corriente AB con respecto al punto de origen fue de 17.5 m y posterior a ese se continuó abriendo los electrodos de corriente con 5 m adicionales a cada lado, para poder cumplir con la relación del método de Schlumberger de  $AB/5 > MN > AB/20$ .

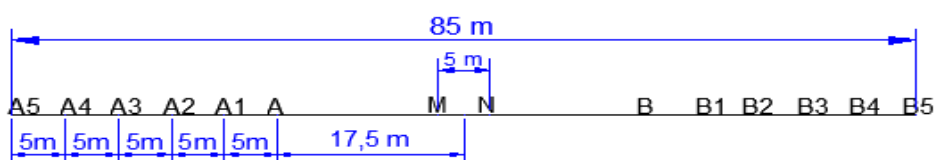


Figura 24. Abertura de electrodos por el método de Schlumberger en líneas horizontales del blanco.

#### 3.1.1.4 Generación de modelos de estratigrafía según las resistividades encontradas en la zona de estudio

Para generar prospecciones de la posible estratigrafía de la zona de estudio. Se analizaron las capas generadas del procesamiento de datos tomados en campo mediante el resistivímetro PASI en el software V.E.S 2000 y se comparó la

resistividad de cada capa mediante tablas de resistividades de diversos materiales para poder relacionar la composición de las capas estratigráficas con las resistividades encontradas en los sondeos eléctricos verticales y poder divisar la profundidad a la que los sondeos eléctricos verticales pudieron definir las capas propuestas por el software (V.E.S. 2000).

### 3.1.2 Recopilación de información secundaria

#### 3.1.2.1 Análisis de mapas geofísicos de la zona de estudio analizada

Para determinar la estratigrafía propia de la zona de estudio, antes de la intervención antrópica, se generó un mapa con la sobre proyección la hoja geológica de Chaupicruz, escala 1:25000, sacada de los mapas temáticos del instituto nacional de investigación geológico minero metalúrgico. Seguido a esto, se procedió a verificar los estratos procedentes de la zona de estudio. En donde se pudo evidenciar que la zona está representada por las siglas Qc, perteneciente a la formación geológica volcánicos de Pichincha y Pm, perteneciente a los volcánicos del Machangara. Los cuales están compuestos por los siguientes componentes:

Tabla 8.

*Composición geológica de la zona analizada*

<b>Qc</b>	<b>Pm</b>
Ceniza, Toba, Lapilli de Pómez Cangagua inferior.	Piroclásticos, sedimentos estratificados.

En la Figura 25, se puede comparar al lado izquierdo la zona de estudio representada por la geología propia de ese lugar haciendo referencia a la

presencia de ceniza, toba, lapilli de pómez y cangagua inferior. Mientras que al lado derecho se muestra la zona de estudio superficialmente.

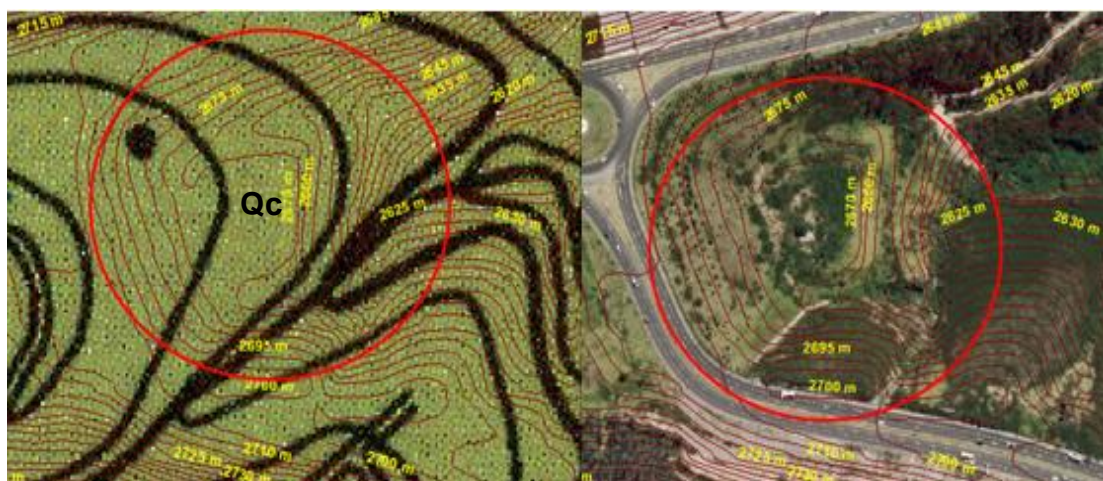


Figura 25. Geología de la zona de estudio.

Adaptado de INIGEMM, 2018.

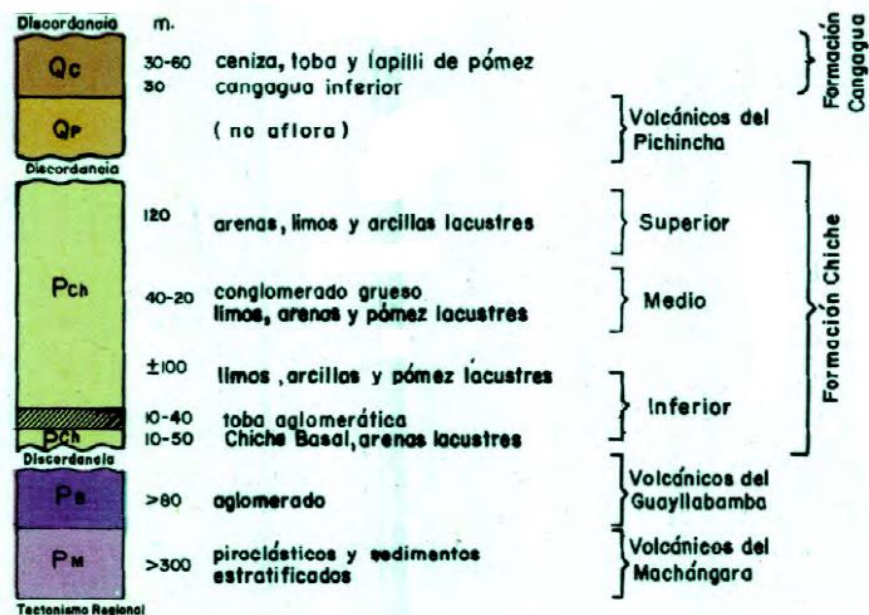


Figura 26. Leyenda de la geología de la hoja geológica de Chaupicruz

Tomado de INIGEMM, s.f.

### 3.2 Objetivo 2

Para lograr cumplir el segundo objetivo “Simular el movimiento de la pluma de contaminación en un medio poroso saturado.”, se realizó la simulación de contaminación en el programa “Processing ModFlow”, siguiendo los pasos descritos a continuación.

#### 3.2.1 Modelo Conceptual de la zona de estudio

Se generó un modelo conceptual del terreno con el propósito de analizar las condiciones de borde que serían ingresadas en el programa de simulación “Processing ModFlow”. En este modelo se pueden apreciar la topografía del área del antiguo botadero de Zámiza y el direccionamiento de la escorrentía. Por lo que es observable que, la zona de evaluación está expuesta en dirección norte, oeste y sur a la recolección de la escorrentía superficial provenientes de las laderas y de la pendiente que precede esta zona en dirección Oeste. Además, por los sondeos eléctricos verticales realizados, se determinó que el modelo de simulación deberá estar conformado por tres capas, las mismas que fueron caracterizadas por su resistividad para determinar la porosidad efectiva, conductividad hidráulica vertical y horizontal.

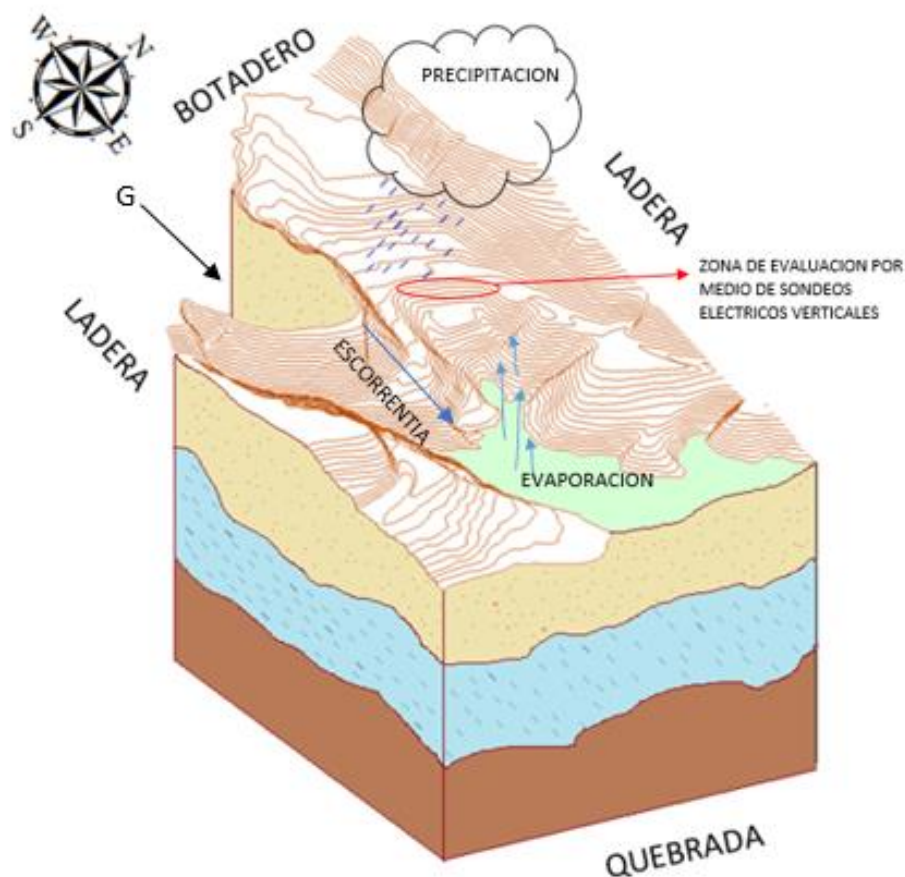


Figura 27. Modelo Conceptual del área de estudio.

### 3.2.1.1 Levantamiento de información primaria

- Generación de curvas de nivel a partir de imágenes DEM y ortofotos

Las imágenes satelitales fueron provistas a escala 1:10000, por lo que debido a la alta resolución de estas imágenes se procedió a realizar el pre-procesamiento de las imágenes satelitales mediante el uso del programa ArcGis, en este se generó las curvas de nivel mediante el comando "contour". Seleccionando la separación entre cotas de 5m. La georreferenciación fue WGS84-17S.





Figura 28. Curvas de nivel.

### 3.2.1.2 Recopilación de información secundaria

#### - Entrada de datos ModFlow

##### 1. Estratigrafía del suelo

Se obtuvo de las resistividades obtenidas con el resistímetro PASI y el software (V.E.S 2000), en donde se excluyeron las capas que presentaban resistividades de 1-3 ohm m, debido a que se quería evidenciar cual era la resistividad del suelo si no estuviera ninguna clase de alteración presente en él. De esta manera se pudo determinar tres posibles capas en el suelo las cuales poseían resistividades >700 ohm m, >200 ohm m, y >5000 ohm m.

Tabla 9.

*Posibles tipos de suelo según las resistividades encontradas*

POSIBLE TIPO DE SUELO	RESISTIVIDAD (ohm m)
Grava (saturada y no saturada)	300 – 2000
Arena (saturada a seca)	200 – 1000
Roca ígnea	> 1000

## 2. Datos de entrada

Se trabajó con un cuadrante de 40x40, utilizando tres capas. El espesor del modelo fue de 16 y la elevación tope del modelo fue 0.

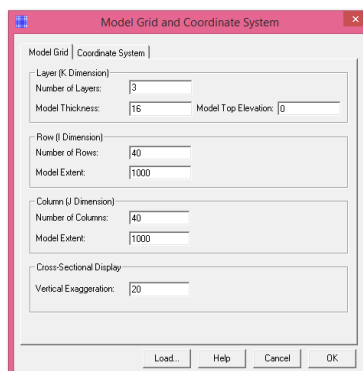


Figura 29. Datos de entrada ingresados en el programa ModFlow.

La definición de cada capa fue la siguiente:

Layer	Type	Horizontal Anisotropy	Vertical Anisotropy	Transmissivity	Leakage	Storage Coefficient	Interbed Storage
1	3 Confined/Unconfined (Transmissivity varies)	1	VK	Calculated	Calculated	Calculated	<input type="checkbox"/>
2	3 Confined/Unconfined (Transmissivity varies)	1	VK	Calculated	Calculated	Calculated	<input type="checkbox"/>
3	3 Confined/Unconfined (Transmissivity varies)	1	V	Calculated	Calculated	Calculated	<input type="checkbox"/>

Figura 30. Definición de la capa en el programa de simulación ModFlow.

## 3. Conductividad y porosidad

Los datos como porosidad efectiva, conductividad hidráulica vertical y horizontal, fueron sacados de la tabla 5 e Figura 13, obteniendo los siguientes valores por cada capa, los cuales fueron ingresados al modelo de simulación.

Tabla 10.

*Datos ingresados en el software "Processing ModFlow"*



Capa	Conductividad Hidráulica Horizontal	Conductividad Hidráulica Vertical	Porosidad Efectiva
1. Grava	0.000289	0.0000289	0.325
2. Arena	0.00000115	0.000000115	0.36
3. Roca Ígnea	1E-14	1E-15	0.05

### 3.2.2 Generación de condiciones de borde

La generación de las condiciones de borde se realizó a través de la información obtenida a partir de las cotas de nivel, estas fueron generadas previamente en el software AutoCAD632. Por lo que a través de estas curvas de nivel se pudieron determinar las cargas hidráulicas para la grilla de 40x40 generada en el ModFlow. Siendo la cota más alta de 2700 msnm y la más baja considerada 2620, es decir 80 metros de diferencia para partir de 0 msnm.



Figura 31. Grilla generada en AutoCAD 2014 para el modelamiento de la posible contaminación.

### 3.2.3 Generación del modelo de simulación a través del software “Prossecing ModFlow”

Por medio de la información secundaria detallada anteriormente y los análisis de cota de la contaminación que se realizaron en campo con el resistímetro PASI, fue posible realizar el modelamiento para el cual se determinaron 3 capas para efectuar la simulación.

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Resultados de los sondeos eléctricos verticales en la zona de estudio

#### 4.1.1 Primera línea de evaluación

Procesando los datos obtenidos en el software V.E.S 2000, se pudo denotar las diferentes resistividades obtenidas en la primera línea de muestreo como se puede evidenciar en la Figura 32.

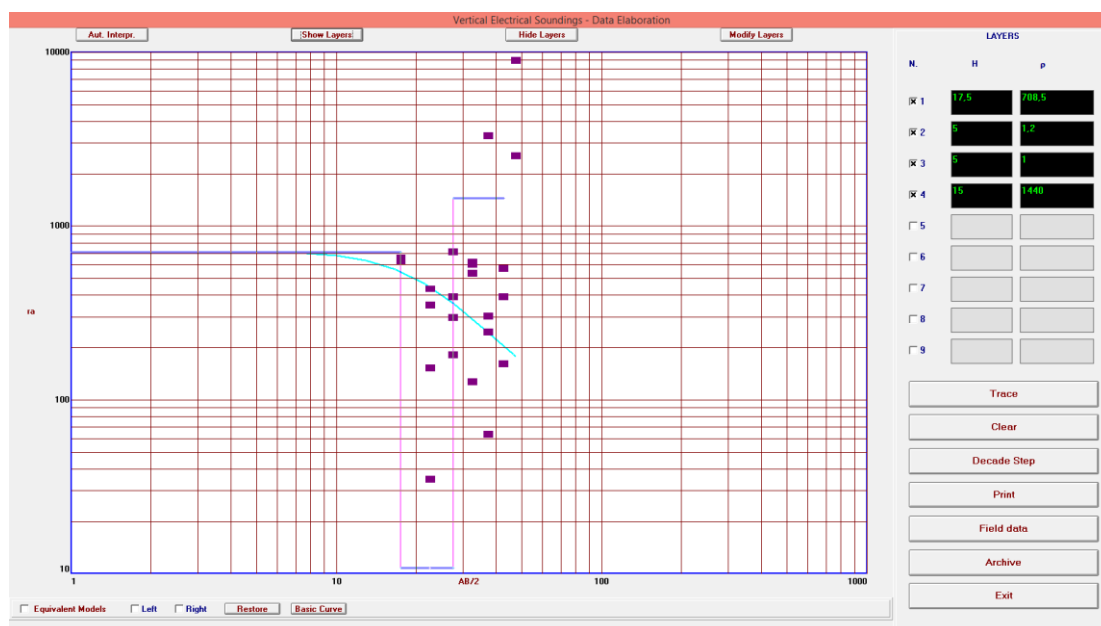
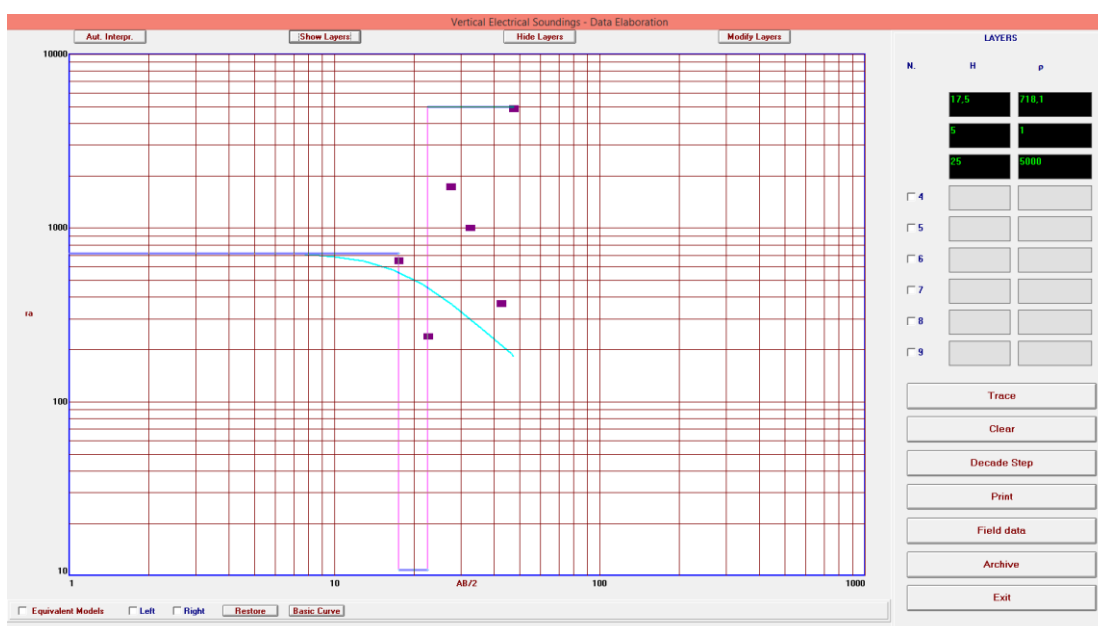


Figura 32. Primera línea de evaluación con todos los datos obtenidos.

En la Figura 32, se muestran las diferentes capas que se pudieron medir, la primera capa comprende un espesor a partir de los 0 m hasta los 17.5 m de

profundidad con una resistividad de 708.5 ohm m, seguido de una segunda capa con resistividad de 1- 1.2 ohm m que está comprendida desde los 17.5 m hasta los 27.5 m. La última capa parte de los 27.5 hasta los 42.5 m de profundidad con resistividad mayor a 1000 ohm m.

Para la toma de datos en cada punto después de abrir los electrodos en la posición deseada, se generaron más de tres repeticiones de medición en el mismo punto. Por lo que, para comprender de mejor manera la distribución de las capas internas, se promediaron los datos obtenidos de la misma medición en un mismo punto para la primera línea. De manera que se obtuvieron de igual manera tres capas la primera con un espesor de 17.5 m y una resistividad de 718.1 ohm m, la segunda con espesor de 5 m que están comprendidos desde los 17.5 m hasta los 22.5 m con una resistividad de 1 ohm m y la última capa con un espesor de 25 m comprendida entre los 22.5 m hasta los 47.5 m con una resistividad de 5000 ohm m. En la figura 33, se puede observar lo descrito anteriormente.



*Figura 33.* Datos promedio de la primera línea de evaluación.

Según diferentes fuentes bibliográficas, las resistividades comprendidas entre 100 a 1000 ohm m pueden deberse a arenas, mayores a 1000 ohm m pueden

ser rocas ígneas, entre 100 a más de 1000 ohm m pueden ser calizas o areniscas, arcillas entre 5 a 20 ohm m, entre otros materiales, (Sánchez, 2001).

Resistividades comprendidas entre 0 – 5 ohm m indican una fuerte presencia de sales que conducen la electricidad, esto puede deberse a la presencia de un suelo saturado de agua salina que puede provenir de la lixiviación de basura, (Pomposiello, Dapeña, Boujon, & Favetto, 2009).

En base a las tablas de resistividades se puede deducir que en la primera línea de sondeo eléctrico vertical, que se realizó entre las cotas 2695 – 2700 msnm, tiene posiblemente tres capas en donde la tercera es muy posiblemente una roca ígnea con alta resistividad mientras que la primera y segunda capa podrían ser capas de arenas, gravas o areniscas.

En la Figura 34, se puede observar la separación de capas en profundidad según las resistividades encontradas.

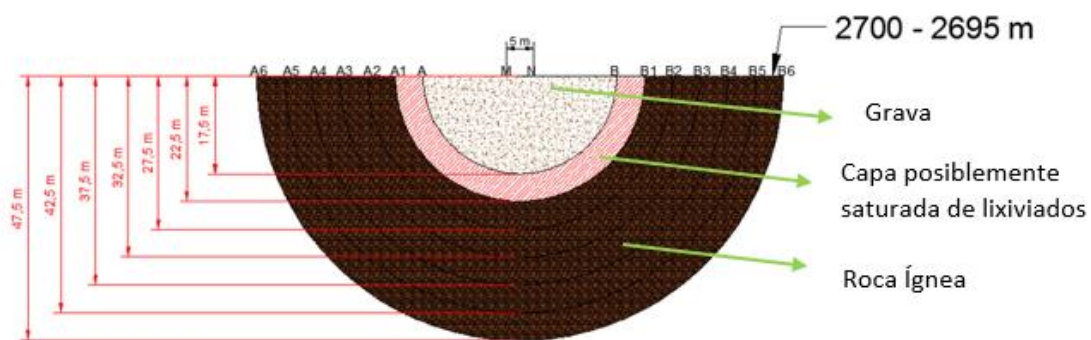


Figura 34. Posible distribución de capas en la primera línea de evaluación.

#### 4.1.2 Segunda línea de Evaluación

Procesando los datos de la segunda línea del sondeo eléctrico vertical en el software V.E.S 2000, se pudieron denotar diferencias en los resultados obtenidos con todos los datos de muestreo y con los promediados.

En la siguiente Figura 35, se representan todos los datos obtenidos en campo, se pueden evidenciar la presencia de tres capas, la primera con un espesor de 17.5 m (de 0m a 17.5 m de profundidad) con resistividad de 38.1 ohm m, la segunda con un espesor de 5 m comprendidos desde los 17.5 m a los 22.5 m de profundidad y la última capa con un espesor de 25 m comprendidos entre los 22.5 y 47.5 m de profundidad.

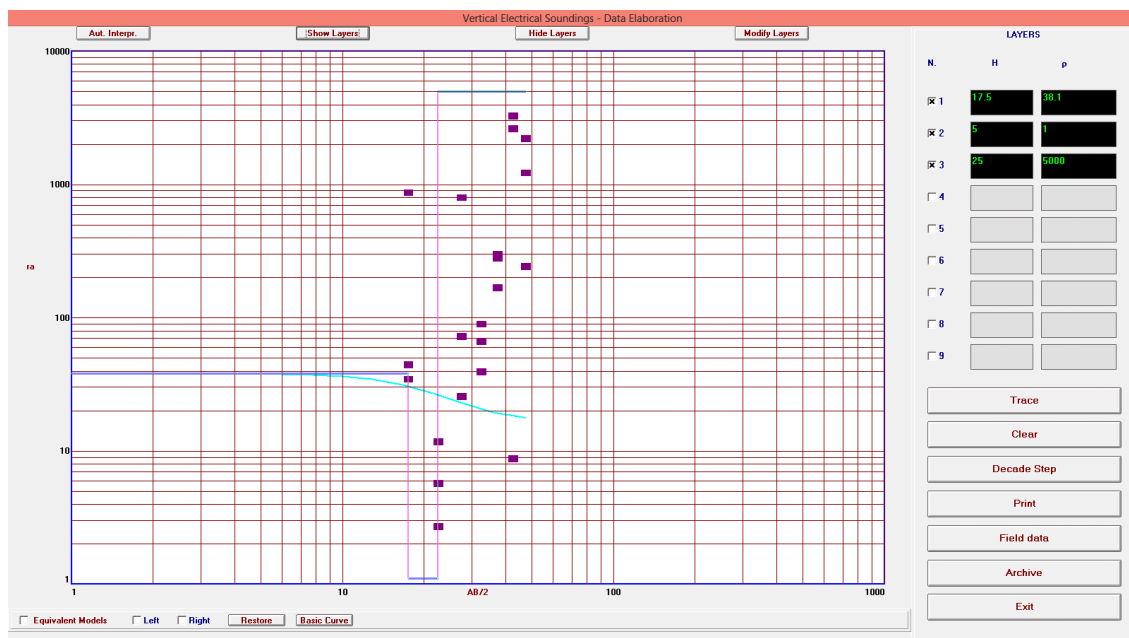


Figura 35. Datos de la segunda línea de evaluación.

Por el contrario de los resultados de todos los datos analizados en la segunda línea, los datos promedio que se procesaron en el software V.E.S. 2000, obtuvieron tres capas con diferentes espesores. Véase la figura 36.

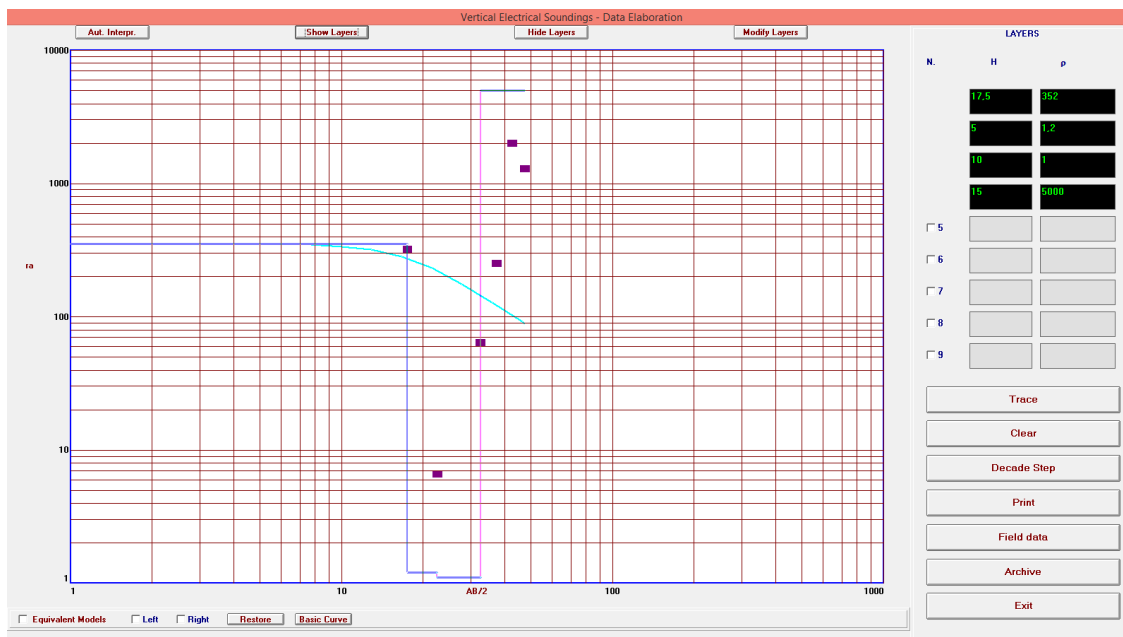


Figura 36. Datos promedio de la segunda línea de evaluación.

La primera capa de 17.5 m de espesor que comprende a la profundidad de 0 m a 17.5 m con una resistividad de 352 ohm m, la segunda capa con una resistividad de 1 – 1.2 ohm m con un espesor de 15 m comprendidos entre 17.5 a 32.5 m de profundidad y la tercera capa con un espesor de 15 m comprendidos entre 32.5 m a 47.5 m de profundidad.

En los dos procesamientos de datos se pueden evidenciar la presencia de tres capas en el terreno, las cuales en base a su profundidad pueden verse comprendidas en la Figura 37.

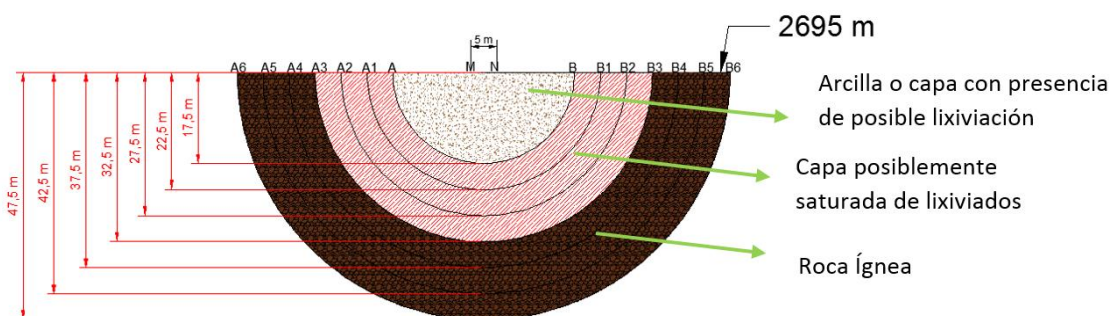


Figura 37. Posible distribución de capas en la segunda línea de evaluación.

### 4.1.3 Tercera línea de evaluación

Procesando los datos de la tercera línea de sondeo eléctrico vertical mediante el Software V.E.S 2000 se obtuvieron de igual manera que en las dos líneas anteriores, tres capas de resistividad, la primera con un espesor de 17.5 m comprendidos entre 0 m y 17.5 m, la segunda con un espesor de 10 m comprendidos entre 17.5 m y 27.5m de profundidad con resistividades que van de 1 – 1.2 ohm m, la última capa con un espesor de 20 m comprendidos entre los 27.5 m a 47.5 m de profundidad y con resistividad de 5000 ohm m. Lo mencionado anteriormente se puede observar en la figura 38.

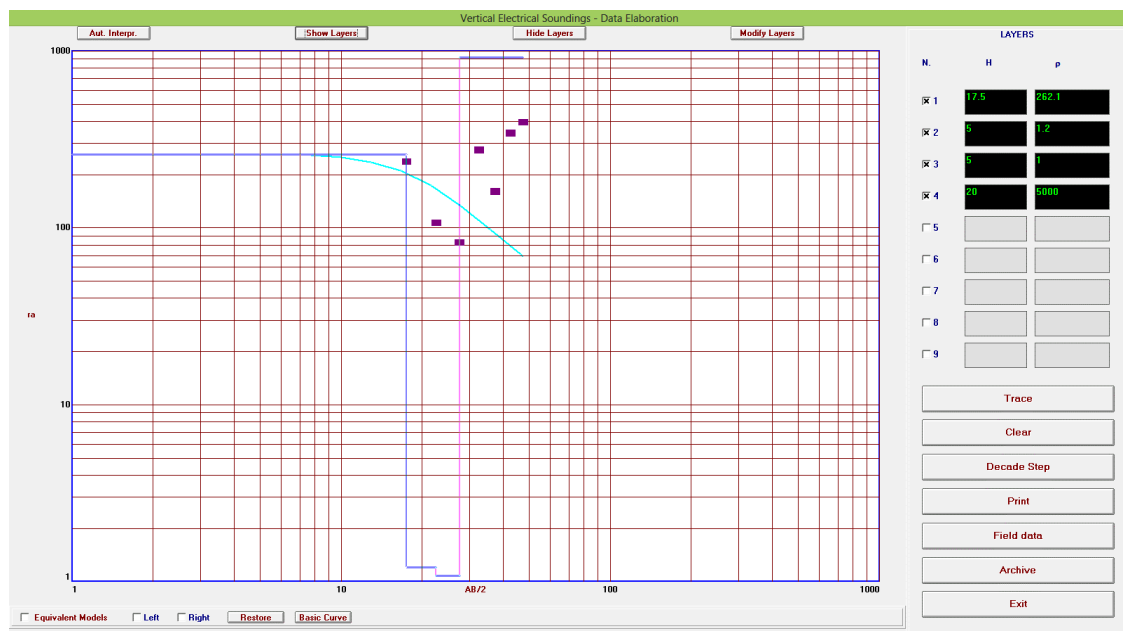


Figura 38. Datos promedio de la tercera línea de evaluación.

Las capas obtenidas en este sondeo vertical se lo pueden denotar mejor en la siguiente figura.



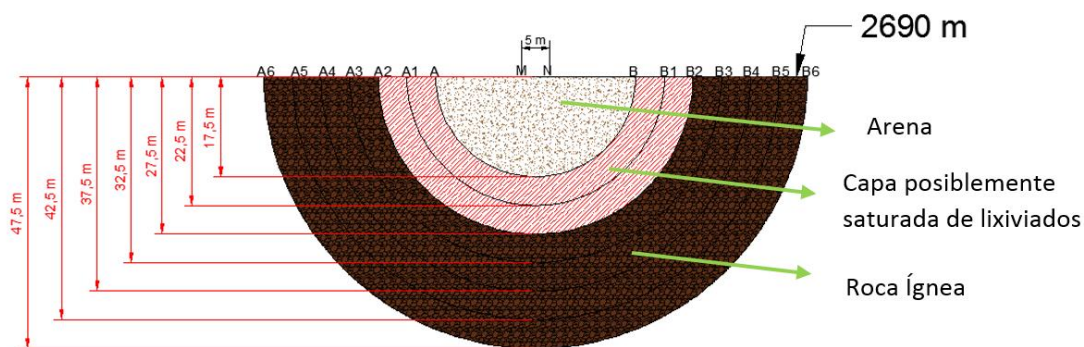


Figura 39. Posible distribución de capas en la tercera línea de evaluación.

#### 4.1.4 Cuarta línea de evaluación

A diferencia de las anteriores líneas de sondeos eléctricos verticales en la última línea de muestreo, en el procesamiento de datos mediante el software V.E.S. 2000 solo se generaron dos capas las cuales poseen resistividades de 1 ohm m y 5000 ohm m, las cuales están comprendidas entre 2.5 m de profundidad y a partir de 2.5 a 37.5 m de profundidad.

Esta última línea, figura 40, tiene una diferencia de distancia sobre el plano de medición inicial de 45 m y 15 m de profundidad debido a la variación de metros sobre el nivel del mar.

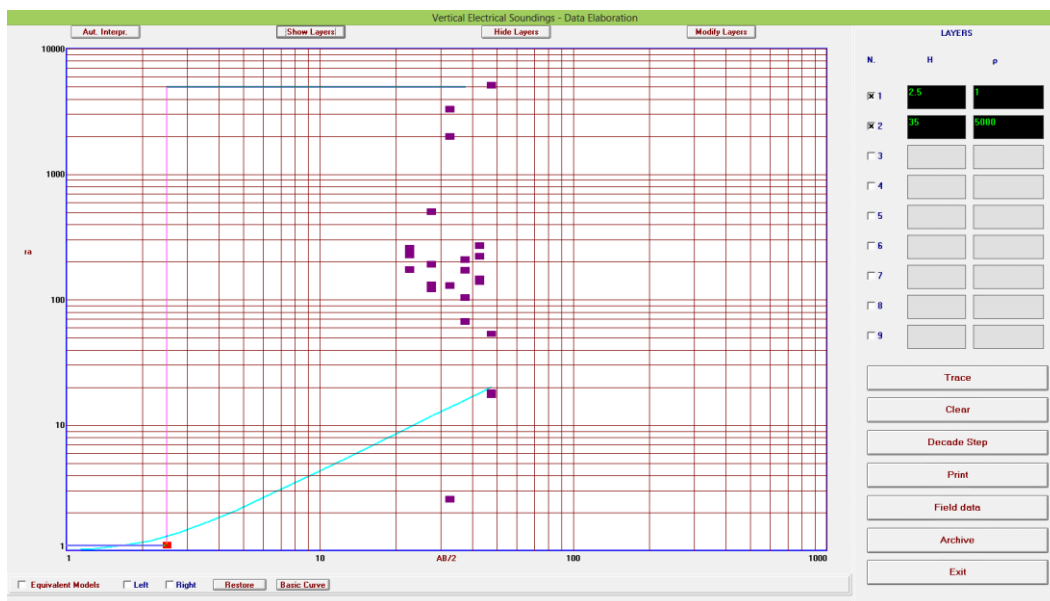


Figura 40. Datos promedio de la cuarta línea de evaluación.



En la Figura 41, se puede ver la posible distribución de capas estratigráficas en la cuarta línea de evaluación.

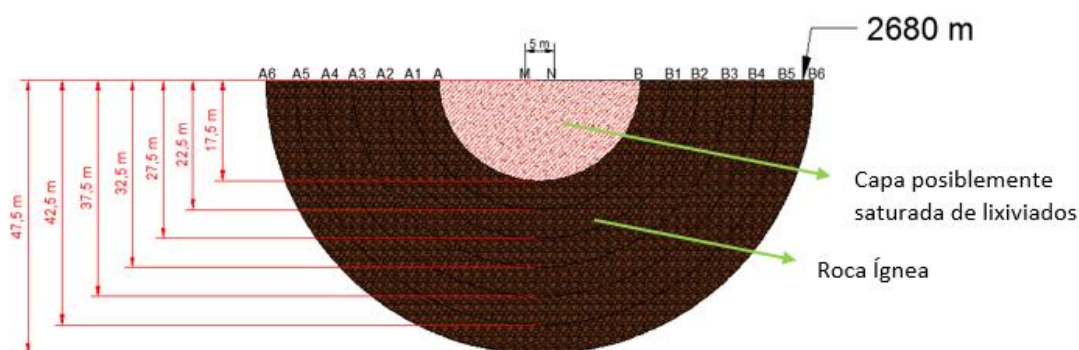


Figura 41. Posible distribución de capas en la cuarta línea de evaluación.

- En todas las líneas de sondeo eléctrico vertical se pudieron denotar 3 capas de diferentes resistividades las cuales poseen similitud en dos de sus capas, la segunda y tercera capa tienden a poseer resistividades de 1 y 5000 ohm m respectivamente. La segunda en todos los casos está comprendida entre espesores de 2.5 m hasta 15 m, la cual está presente después de los 17.5 m de profundidad exceptuando en la última capa que está presente en la cota superior hasta los 2.5 m de profundidad. Esta resistividad indica la alta conductividad que se posee, la cual puede deberse a la presencia de un líquido con abundantes sales, (Pomposiello et al., 2009), este líquido o suelo altamente saturado puede deberse al producto de lixiviados que se generaron en el antiguo botadero de Zámbriza durante los 25 años que operaron sin acondicionamiento previo del terreno pendiente arriba. Por otro lado, la tercera capa que posee resistividad de 5000 ohm m en todos los sondeos eléctricos verticales realizados puede deberse a la estratigrafía propia de la zona, esta resistividad está relacionada a un material poco poroso con baja conductividad muy posiblemente es una roca ígnea. Finalmente, la primera capa posee en las cuatro líneas de sondeos eléctricos resistividades diferentes en los primeros 17.5 m, las cuales están comprendidas entre los 200 – 725 ohm m, exceptuando en la segunda

línea la cual poseen una primera capa de 38.1 ohm m. Las resistividades entre 100 a 1000 ohm m pueden ser arenas, areniscas o calizas, gravas, entre otras capas, (Sánchez, 2001). Mientras que la resistividad de 38.1 ohm m puede deberse a una capa con presencia de saturación de líquido salino, posiblemente lixiviado o arcilla.

#### 4.2.1 Resultados de los sondeos eléctricos verticales del lugar de análisis exento de contaminación

#### 4.2.2 Primera línea de medición

En la figura 42, se muestra el análisis de datos obtenidos en campo mediante el software V.E.S. 2000, el cual generó como resultado dos capas de diferentes resistividades, la primera está comprendida entre los 0 m y 17.5 m de profundidad con una resistividad de 303.4 ohm m mientras que la segunda está comprendida entre los 17.5 m a 25 m con un espesor de 42.5 m y 5000 ohm m de resistividad.

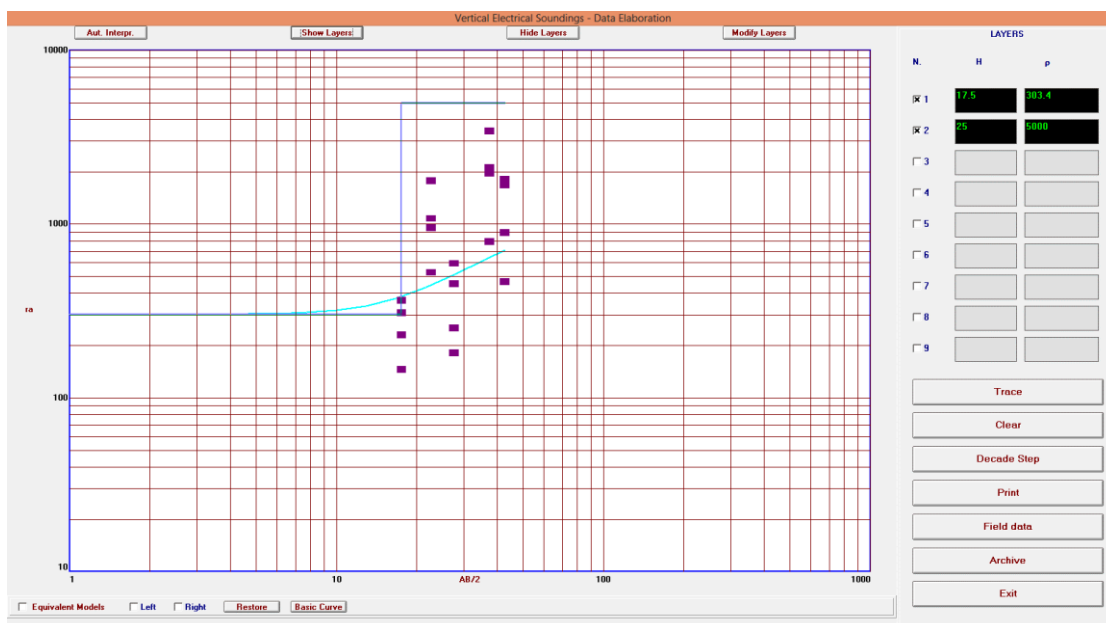


Figura 42. Primera línea de evaluación del blanco.

#### 4.2.1 Segunda línea de medición

En la figura 43, se detalla el procesamiento de datos en el software V.E.S. 2000, el cual genero dos capas las cuales están comprendidas de igual manera que la primera línea de medición en el blanco. La primera capa con un espesor de 17.5 m comprendidos entre 0 m y 17.5 m de profundidad con una resistividad de 341.3 ohm m y la segunda capa comprendida entre 17.5 y 42.5 m con una resistividad de 5000 ohm m.

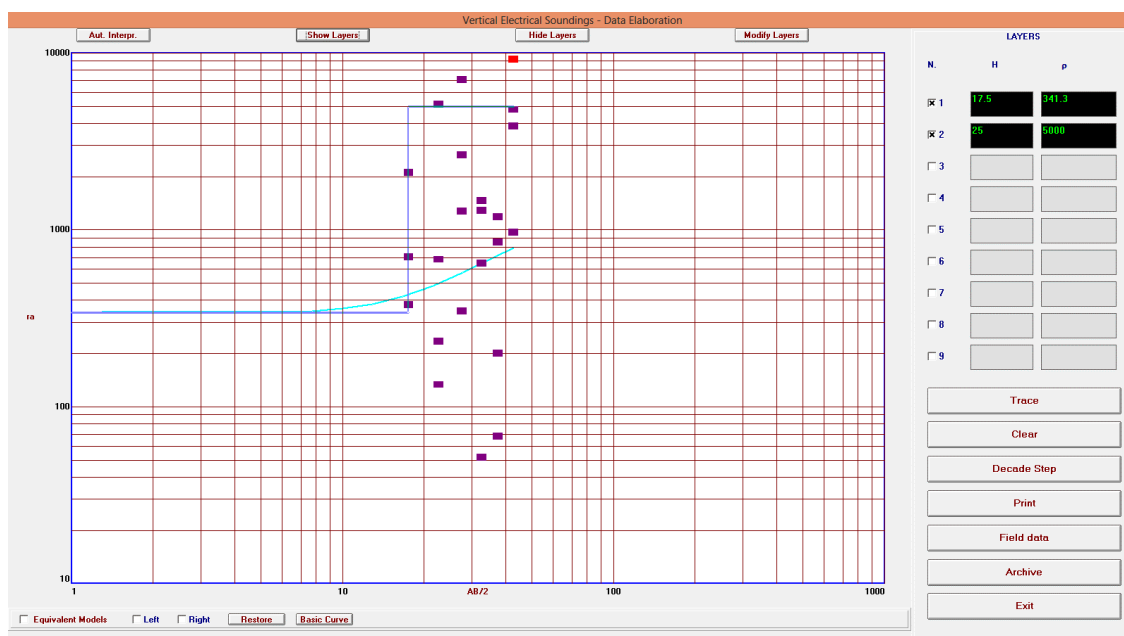


Figura 43. Segunda línea de evaluación con todos los datos obtenidos.

- Las mediciones realizadas en el estadio de Zámbriza evidenciaron que no existe probabilidad de tener ningún tipo de contaminación por lixiviados a una profundidad de 42.5 m. Esta zona del estadio de Zámbriza está comprendida entre dos capas la primera con una resistividad de 300 ohm m puede deberse a gravas, arenas, o calizas areniscas. Y la segunda de igual manera que la zona de evaluación con resistividades de 5000 ohm m que pueden deberse a rocas ígneas metamórficas.

#### 4.2 Análisis del modelo de simulación en el programa "Processing Modflow"

En la tabla 11, se calculó el tiempo de desplazamiento del contaminante a través del suelo de la segunda capa del modelo, en donde considerando que posiblemente se deba a un suelo arenoso con conductividad horizontal de 0.00000115 m/s y porosidad efectiva de 0.36. El movimiento del posible contaminante por advección de aproximadamente 16 años en los cuales recorrería una distancia hacia la cota de 2620 msnm, 380 m.

Tabla 11.  
*Simulación de la contaminación en la segunda capa del modelo*

CAPA DOS												
Diferencia de Carga		Carga Hidráulica	Distancia		DT	i	k	n	V=k <i>i</i>	v/n	t	Años
72,1	64,1	8	4	9,5	38	0,210526	1,15E-05	0,36	2,42E-06	6,73E-06	5650435	0,179174
64,1	56,2	7,9	4	9,5	38	0,207895	1,15E-06	0,36	2,39E-07	6,64E-07	57219593	1,814421
56,2	48,2	8	4	9,5	38	0,210526	1,15E-06	0,36	2,42E-07	6,73E-07	56504348	1,791741
48,2	40,3	7,9	5	9,5	47,5	0,166316	1,15E-06	0,36	1,91E-07	5,31E-07	89405614	2,835033
40,3	32,3	8	5	11,13	55,65	0,143756	1,15E-06	0,36	1,65E-07	4,59E-07	1,21E+08	3,842717
32,3	24,4	7,9	4	11,13	44,52	0,177448	1,15E-06	0,36	2,04E-07	5,67E-07	78539454	2,49047
24,4	15,4	9	4	9,5	38	0,236842	1,15E-06	0,36	2,72E-07	7,57E-07	50226087	1,592659
15,4	7,5	7,9	3	9,5	28,5	0,277193	1,15E-06	0,36	3,19E-07	8,85E-07	32186021	1,020612
<b>Total de años</b>											<b>15,57</b>	

En la figura 44, se muestra la velocidad de transición sobre las cargas hidráulicas que tendría el contaminante durante un periodo de 16 años. En donde se puede evidenciar que las cargas hidráulicas están en dirección Norte y Sur debido a que las velocidades de transición son mayores a estas direcciones mientras que la velocidad de transición en dirección Este es menor.

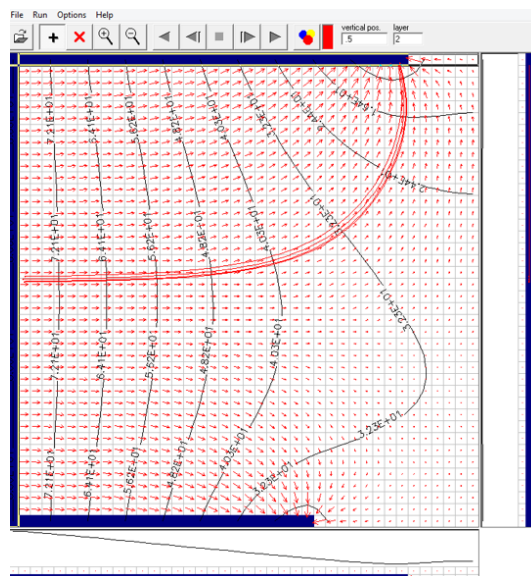


Figura 44. Simulación del movimiento del posible contaminante en la segunda capa estratigráfica.

En las siguientes tablas se muestra el resultado de la evaluación del tiempo que recorre el contaminante en dirección Sureste.

Tabla 12.

*Distancia recorrida del punto 2 en dirección Suroeste*

CAPA DOS SEGUNDO PUNTO												
Diferencia de Carga	Carga Hidráulica		Distancia	DT	i	k	n	$V=k^*i$	$v/n$	t	Años	
72,1	64,1	8	3	9,5	28,5	0,280702	0,00000115	0,36	3,23E-07	8,97E-07	31783696	1,007854
64,1	56,2	7,9	4	9,5	38	0,207895	0,00000115	0,36	2,39E-07	6,64E-07	57219593	1,814421
56,2	48,2	8	4	9,5	38	0,210526	0,00000115	0,36	2,42E-07	6,73E-07	56504348	1,791741
48,2	40,3	7,9	5	11,13	55,65	0,141959	0,00000115	0,36	1,63E-07	4,53E-07	1,23E+08	3,891359
40,3	32,3	8	5	11,13	55,65	0,143756	0,00000115	0,36	1,65E-07	4,59E-07	1,21E+08	3,842717
32,3	24,4	7,9	8	11,13	89,04	0,088724	0,00000115	0,36	1,02E-07	2,83E-07	3,14E+08	9,961879
24,4	15,4	9	8	11,13	89,04	0,101078	0,00000115	0,36	1,16E-07	3,23E-07	2,76E+08	8,744316
<b>Total de años</b>											<b>31,05</b>	

Tabla 13.

*Distancia recorrida del punto 3 en dirección Sureste*

CAPA DOS TERCER PUNTO												
Diferencia de Carga	Carga Hidráulica		Distancia	DT	i	k	n	$V=k^*i$	$v/n$	t	Años	
72,1	64,1	8	4	9,5	38	0,210526	0,00000115	0,36	2,42E-07	6,73E-07	56504348	1,791741
64,1	56,2	7,9	4	9,5	38	0,207895	0,00000115	0,36	2,39E-07	6,64E-07	57219593	1,814421
56,2	48,2	8	4	9,5	38	0,210526	0,00000115	0,36	2,42E-07	6,73E-07	56504348	1,791741
48,2	40,3	7,9	4	9,5	38	0,207895	0,00000115	0,36	2,39E-07	6,64E-07	57219593	1,814421
40,3	32,3	8	4	9,5	38	0,210526	0,00000115	0,36	2,42E-07	6,73E-07	56504348	1,791741
32,3	24,4	7,9	4	11,13	44,52	0,177448	0,00000115	0,36	2,04E-07	5,67E-07	78539454	2,49047
24,4	15,4	9	2	11,13	22,26	0,404313	0,00000115	0,36	4,65E-07	1,29E-06	17235047	0,54652
<b>Total de años</b>											<b>12,04</b>	

En la tabla 12 y 13, se puede comparar que en el punto 2 el tiempo de desplazamiento de la contaminación es mayor esto se debe a que la velocidad de infiltración por esa carga hidráulica es menor, por lo que la presencia en la zona de posibles lixiviados se va a encontrar de hacerse futuros estudios lixiviación en el recorrido del punto 2.

En la figura 45, se muestra los tres puntos en los cuales se analizó el desplazamiento de la contaminación.

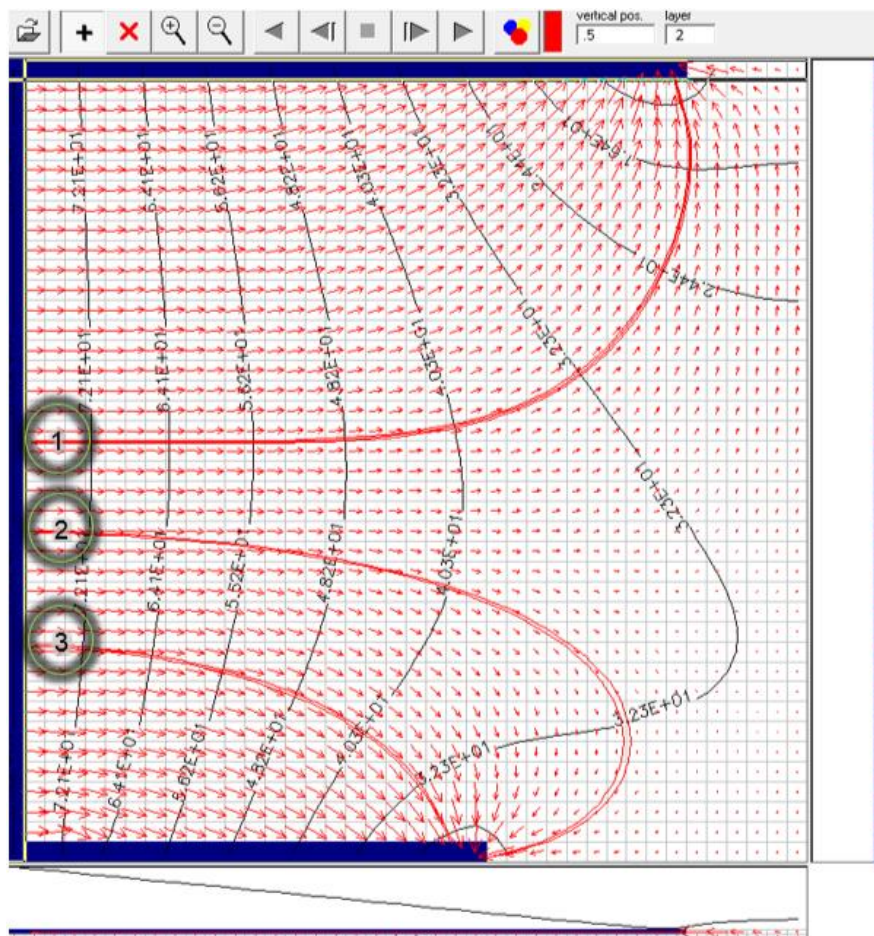


Figura 45. Desplazamiento del contaminante en tres puntos diferentes.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Partiendo de las resistividades encontradas en el estadio de Zámbriza, considerado como blanco de medición, se pudo verificar que la estratigrafía presente no posee resistividades equivalentes a 1 ohm m, más si resistividades de 5000 ohm m a partir de aproximadamente los 30 m de profundidad.

El estudio evidenció la posible contaminación por lixiviados en la zona del antiguo botadero de Zámbriza debido a las resistividades encontradas, las cuales fueron menores a 2 ohm m a partir de los 17.5 m de profundidad en 2700 a 1685 msnm.

La segunda capa que presentan los líquidos contaminantes por los valores de resistividad mencionados anteriormente, se confirma con los estudios de lixiviación en rellenos sanitarios pos cierre realizados en México y Argentina que muestran valores de resistividad de 1 a 4 ohm m mediante la utilización de métodos geo eléctricos, (Pomposiello et al., 2009). La tercera capa presenta 5000 ohm m, la cual evita la infiltración de los lixiviados hacia las capas más profundas.

Por medio del software de simulación "Processing ModFlow" se determinó que, si la segunda capa estratigráfica del suelo posee la presencia de lixiviados, estos están desplazando por advección en un medio poroso saturado a velocidades alrededor de  $3.18E-7$  m/s, teniendo como resultado que los presuntos lixiviados encontrados con el resistivímetro PASI poseen un desplazamiento en dirección Noreste de 380 m cada 15 años. El desplazamiento en dirección Sureste es de 280 m en 12 años. También, se encontró que, por las cargas hidráulicas, la velocidad de infiltración en dirección Este del terreno suelen ser más bajas lo que implicaría un mayor tiempo de retención de lixiviados para poder evaluarlos de mejor manera.

## 5.2 Recomendaciones

En base a los estudios realizados se recomienda validar la información recopilada en este estudio debido a que los métodos implicados para el levantamiento de información son indirectos, es decir, se asume por bibliografía las posibles causas de los resultados más se debería recurrir a la realización de dos pozos laterales a la zona de estudio con profundidades mayores a 20 m de para poder captar una muestra de suelo y analizar la conductividad de las muestras captadas directamente.

Para la continuación de este tema de estudio se deberían realizar más mediciones en dirección Este al antiguo botadero de Zámbez para determinar hasta donde ha llegado la contaminación y proponer planes de contingencia para la gestión integral y segura de estos lixiviados.

Además, se recomienda realizar la medición de este terreno con equipos más avanzados para poder generar tomografías eléctricas de manera más exacta. Y llegar a conocer por medio de softwares avanzados, el tamaño de la burbuja de lixiviados que se sigue generando en el antiguo botadero para poder generar mecanismos de control y eliminación de una manera segura.

Por otro lado, se debería informar a las personas que se encuentran poblando en dirección Este del antiguo botadero de Zámbez, las implicaciones a la salud que esto puede repercutir cuando la lixiviación baje hasta las zonas donde hay asentamientos.

En cuanto a la ejecución de botaderos como sitio de recolección de basura para disposición final, es imprescindible que no se ejecuten más debido a que la contaminación que se genera en los mismos repercute muchos años después del cierre de estas operaciones no técnicas afectando la flora, fauna y a los pobladores que residen en zonas aledañas de los botaderos.



## REFERENCIAS

- Andes. (2015). *Ecuador espera eliminar hasta 2017 los botaderos de desechos a cielo abierto*. Recuperado el 3 de Marzo del 2018 de <https://www.andes.info.ec/es/noticias/sociedad/1/36474/ecuador-espera-eliminar-hasta-2017-botaderos-desechos-cielo-abierto>
- Busquets, E., & Casas, A. (2012). *Caracterización de vertederos y detección de penachos contaminantes mediante la utilización de métodos geofísicos*. Recuperado el 18 de Abril del 2018 de <http://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/viewFile/FITE9595110207A/12316>.
- Campano-Calvo, J. L., Del Río, M., Farfán, A., & Campano-Aguirre, J. L. (2013). Los métodos geofísicos en los estudios previos del terreno para la rehabilitación de edificios. La iglesia del Monasterio de Santa María de Moreruela (Zamora). *Informes de La Construcción*, 65(529), 17–26. Recuperado el 22 de Abril del 2018 de <https://doi.org/10.3989/ic.11.135>
- Carballo Otero , O. (2004). *RESISTIVIDAD ELECTRICA APARENTE: UNA NUEVA DEFINICION*. Recuperado el 1 de Mayo del 2018 [http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2007\\_Geofisica.pdf](http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2007_Geofisica.pdf)
- Cartomex. (2015). Sondeo eléctrico vertical. Recuperado el 22 de Diciembre del 2017 de <https://www.cartomex.com/sondeo-electrico-vertical-sev.html>
- Chiang, W. H., & Kinzelbach, W. (1998). Processing Modflow. *A Simulation Program for Modelling Groundwater Flow and Pollution. User Manual*, (December). Recuperado el 18 de Diciembre del 2017 de <http://www.pmwin.net/programs/prevpm/pm4/doc/pmwin41.pdf>
- Collazos Peñaloza, H. (2008). *Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería. Recuperado el 18 de Febrero del 2017 de <https://www.ircwash.org/sites/default/files/343-93RE-12702.pdf>
- Daniel Eduardo Arias, Oscar Echeverri Ramírez, F. H. P. (2012). *Relaciones Geoelectricas En La Exploracion Geotecnica the Geoelectrical*

Relations on the Geotechnical Exploration. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, Recuperado el 30 de Mayo del 2018 de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/rt/prINTERfriendly/31252/43363>

Darcy, L. De, & Darcy, E. De. (1856). Ley de Darcy. Conductividad hidráulica, 1–9. Recuperado el 11 de Junio del 2018 de [http://www.docentes.unal.edu.co/lddonadog/docs/Grade\\_Docs/Donado\\_\(2004\).pdf](http://www.docentes.unal.edu.co/lddonadog/docs/Grade_Docs/Donado_(2004).pdf)

Daza Hernández, F. (2012). *MÉTODOS GEOELÉCTRICOS APLICADOS A LA EXPLORACIÓN*. Recuperado el 17 de Febrero del 2018 de [http://www.dgeo.udec.cl/wpcontent/uploads/2012/09/felipe\\_daza\\_tesis.pdf](http://www.dgeo.udec.cl/wpcontent/uploads/2012/09/felipe_daza_tesis.pdf)

Drupaljda. (2015). *PROSPECCIÓN ELÉCTRICA EN CORRIENTE*. Recuperado el 25 de Mayo del 2018 de [http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/20130924\\_Prospeccion\\_electrica.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/20130924_Prospeccion_electrica.pdf)

EMASEO, E. (2015). *Tecnológica, Gerencia de Planificación e Innovación-Plan Estratégico 2015-2018*. Recuperado el 12 de Noviembre del 2018 de [www.emaseo.gob.ec](http://www.emaseo.gob.ec)

Espinosa, M. del C., López, M., Pellón, A., Fernández, L., Hernández, C., & Bataller, M. (2007). Lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos. Recuperado el 12 de Mayo del 2018 de [https://www.researchgate.net/profile/Maria\\_Espinosa\\_Llorens/publication/303677305\\_Lixiviados\\_de\\_Vertederos\\_de\\_Residuos\\_Solidos\\_Urbanos\\_Monografia/links/574c862208aec98852696909/Lixiviados-de-Vertederos-de-Residuos-Solidos-Urbanos-Monografia.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Maria_Espinosa_Llorens/publication/303677305_Lixiviados_de_Vertederos_de_Residuos_Solidos_Urbanos_Monografia/links/574c862208aec98852696909/Lixiviados-de-Vertederos-de-Residuos-Solidos-Urbanos-Monografia.pdf)

Fowler, R. (1994). *Electricidad: principios y aplicaciones*. España: Reverte S.A. Recuperado el 17 de Febrero del 2018 de <https://www.casadellibro.com/libro-electricidad-principios-y-aplicaciones/9788429130287/377394>.

Freeze, R., & Cherry, J. (1979). *Groundwater*. NJ: Englewood Cliffs.

Giraldo, E. (2001). Tratamiento De Lixiviados De Rellenos Sanitarios: Avances Recientes. *Revista de Ingeniería*, (14), 44–55. Recuperado el 30 de

Mayo del 2018 de <https://doi.org/10.16924/riua.v0i14.538>

- Giraldo, E. (2010). T Ratamiento De L Ixiviados S Anitarios : *Revista Ingenieria Uniandes*, 44–55. Recuperado el 12 de Abril del 2018 de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-21262010000200006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-21262010000200006)
- Girón, S., Mateus, J., & Méndez, F. (2009). Impacto de un botadero a cielo abierto en el desarrollo de síntomas respiratorios y en costos familiares de atención en salud de niños entre 1 y 5 años en Cali, Colombia. *Biomédica*, (29), 392–402. Recupero el 1 de Abril del 2018 de <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v29i3.11>
- Greenpace. (2008). Resumen De Los Impactos Ambientales Y Sobre La Salud De Los Rellenos Sanitarios. Recuperado el 3 de Mayo del 2018 de <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2008/10/resumen-de-los-impactos-ambien.pdf>.
- INGEOTECNIA. (2015). *Geofísica*. Recuperado el 6 de Febrero del 2018 de <http://www.ingetecnia.net/geofisica>
- INIGEMM. (s.f.). *Mapas Temáticos 1: 25.000*. Recuperado el 14 de Abril del 2018 de [http://www.geoinvestigacion.gob.ec/mapas/25K\\_r/HOJAS\\_GEOLOGICAS\\_1982/CHAUPICRUZ/PDF\\_JPG\\_IMPRESION/CHAUPICRUZ\\_reducido.pdf](http://www.geoinvestigacion.gob.ec/mapas/25K_r/HOJAS_GEOLOGICAS_1982/CHAUPICRUZ/PDF_JPG_IMPRESION/CHAUPICRUZ_reducido.pdf)
- Klee, S. (2016). *Configuraciones de electrodos y procedimientos en terreno*. Recuperado el 13 de Mayo del 2018 de <https://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC/TEXT/070-electrico-resistividad-configuracion-electrodos.htm>
- MAE. (2010). *Programa 'PNGIDS' Ecuador*. Recuperado el 2 de Junio del 2018 de <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>
- Mataloni, F., Badaloni, C., Golini, M. N., Bolignano, A., Bucci, S., Sozzi, R., ... Ancona, C. (2016). Morbidity and mortality of people who live close to municipal waste landfills: A multisite cohort study. *International Journal of Epidemiology*, 45(3), 1–10. Recuperado el 19 de Abril del 2018 de <https://doi.org/10.1093/ije/dyw052>

- Mundi, I. (2017). *Ecuador Tasa de crecimiento*. Recuperado el 9 de Julio del 2017 de [https://www.indexmundi.com/es/ecuador/tasa\\_de\\_crecimiento.html](https://www.indexmundi.com/es/ecuador/tasa_de_crecimiento.html)
- Muñoz, M. (2006). *Gestión Ambiental Relleno de Zambiza*. Recuperado el 19 de Noviembre del 2017 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/AEISA2006/gestionambiental.pdf>.
- Noguera, K. M., & Olivero, J. T. (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: Caso Colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 34(132), 347–356. Recuperado el 12 de Diciembre del 2017 de <https://doi.org/0370-3908>
- Organización Panamericana de la Salud. (2004). Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos, 1–92. Recuperado el 28 de Octubre del 2017 de [file:///E:/Respaldo 2018/Desktop/udla/décimo/Tesis/sondeo eléctrico vertical/botadero vs relleno.pdf](file:///E:/Respaldo%202018/Desktop/udla/décimo/Tesis/sondeo%20electrico%20vertical/botadero%20vs%20relleno.pdf)
- Ortega, M. (2002). *Problemas de ingeniería de puesta a tierra*. Recuperado el 29 de Febrero del 2018 de <https://books.google.com.ec/books?id=hHDSpCIE7-IC&pg=PA79&lpg=PA79&dq=campo+electrico+no+estacionario&source=bl&ots=oqj8PBAAgj&sig=2eVcqgl5yTBBQ09gELyfB6lTiJ4&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiOI7Wx8LDbAhXHx1kKHc5JAH4Q6AEIXTAG#v=onepage&q=campo%20electrico%20no%20> PASI. (s.f.). *Measuring instruments, geophysical instruments*. Recuperado de <http://www.pasisrl.it/index.php?ln=en>
- PASI. (s.f.). *Measuring instruments, geophysical instruments*. Recuperado el 16 de Mayo del 2018 de <http://www.pasisrl.it/index.php?ln=en>
- Pizarras, S. (2000). Conductividades hidráulicas. Recuperado el 15 de Mayo del 2018 de [http://hidrologia.usal.es/Complementos/Valores\\_perm\\_porosidad.pdf](http://hidrologia.usal.es/Complementos/Valores_perm_porosidad.pdf)
- Pomposiello, C., Dapeña, C., Boujon, P., & Favetto, A. (2009). Tomografías eléctricas en el basurero municipal ciudad de Gualeguychú, Provincia de Entre Ríos: Evidencias de contaminación. *Revista de*

- La Asociacion Geologica Argentina*, 64(4), 603–614. Recuperado el 19 de Enero del 2018 de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0004-48222009000400005](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0004-48222009000400005)
- Pous, J., Sugrañes, L. L. S., & Badiella, P. (1990). Estudio geoelectrico de la depresion de La Selva ( Girona ), 25. Recuperado el 16 de Mayo del 2018 de <http://revistes.ub.edu/index.php/ActaGeologica/article/download/4481/5652>.
- Ruiz, J. S. (2014). CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Aspectos teóricos. *Quimica*, 1–3. Recuperado el 8 de Junio del 2018 de [www.reitec.es/Pdf/agua01.pdf](http://www.reitec.es/Pdf/agua01.pdf)
- SAEZ, E. (2010). Fundamentos de Geotecnia. Recuperado el 2 de Junio del 2018 de [https://www.u-cursos.cl/usuario/7c1c0bd54f14c0722cefc0fa25ea186d/mi\\_blog/r/FUNDAMENTOS\\_DE\\_GEOTECNIA\\_SAEZ\\_\(1\).pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/7c1c0bd54f14c0722cefc0fa25ea186d/mi_blog/r/FUNDAMENTOS_DE_GEOTECNIA_SAEZ_(1).pdf)
- Sánchez, J. (2001). Prospección geofísica : Sondeos Eléctricos Verticales. *Departamento de Geologia Universidad de Salamanca*, 1–12. Recuperado el 21 de Febrero del 2018 de <http://web.usal.es/javisan/hidro>
- Schlumberger, D., Wenner, D., & Dipolares, D. (2008). Métodos Geoelectricos para la Prospección de Agua Subterránea. Recuperado el 1 de Febrero del 2018 de <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/ProspeccGoelec.pdf>
- Software, S., & Processes, R. (2011). Processing Modflow Manual. *Simulation*, 433. Recuperado el 5 de Mayo del 2018 de <http://www.pmwin.net/programs/prevpm/pm4/doc/pmwin41.pdf>
- Suelos, E. N. (2004). Modelo de conductividad hidráulica en suelos. Recuperado el 22 de Mayo del 2018 de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/771/1/ti897.pdf>

- Torres-Lozada, P., Barba-Ho, L., Ojeda, C., Martínez, J., & Castaño, Y. (2014). Influencia De La Edad De Lixiviados Sobre Su Composición Físico-Química Y Su Potencial De Toxicidad. & *Div. Cient*, 17(1), 245–255. Recuperado el 18 de Febrero del 2018 de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n1/v17n1a27.pdf>
- Vrijheid, M. (2000). Health Effects of Residence Near Hazardous Waste Landfill Sites : A Review of Epidemiologic Literature Epidemiologic Studies on Health Effects of Landfill Sites, 108(March), 101–112. Recuperado el 15 de Marzo del 2018 de <https://doi.org/10.1289/ehp.00108s1101>
- Zambizá, G. d. (2012). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Zámiza*. Recuperado el 28 de Diciembre del 2017 de [http://www.pichincha.gob.ec/phocadownload/leytransparencia/literal\\_k/ppot/dmq/ppdot\\_zambiza.pdf](http://www.pichincha.gob.ec/phocadownload/leytransparencia/literal_k/ppot/dmq/ppdot_zambiza.pdf).
- Ziatkova, E., & Sampaio, E. (2009). Estudio de las Prácticas Culturales, Porosidad del Suelo y Gestión Hídrica en el Combate contra la Desertificación. Recuperado el 4 de Febrero del 2018 de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642009000300012](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642009000300012)

## **ANEXOS**

LÍNEA UNO						
AB=		35				
AB/2		17,5				
MN/2		2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0918	0,0691	0,053	0,0536	0,066875
Ps	mV	31	26	24,2	22,7	25,975
I	mA	0,0147	0,0153	0,0158	0,0154	0,0153
AB=		45				
AB/2		22,5				
MN/2		2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0197	0,0179	0,0018	0,0077	0,011775
Ps	mV	10	9,2	8,7	8,4	9,075
I	mA	0,0142	0,016	0,0161	0,0158	0,015525
AB=		55				
AB/2		27,5				
MN/2		2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0122	0,0106	0,0063	0,0249	0,0135
Ps	mV	6,3	6	5,7	5,7	5,925
I	mA	0,0146	0,0167	0,0163	0,0165	0,016025
AB=		65				
AB/2		32,5				
MN/2		2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0127	0,003	0,015	0,015	0,011425
Ps	mV	3,2	3	2,8	2,6	2,9
I	mA	0,0156	0,0155	0,016	0,0164	0,015875
AB=		75				
AB/2		37,5				
MN/2		2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0612	0,0046	0,0012	0,0061	0,018275
Ps	mV	1,4	1,3	1,1	1	1,2
I	mA	0,0162	0,0164	0,0166	0,0177	0,016725
AB=		85				
AB/2		42,5				
MN/2		2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0079	0,0057	0,0025		0,005366667
Ps	mV	0,1724	0,0489	0,0263		0,082533333
I	mA	0,0156	0,0164	0,0175		0,0165
AB=		95				
AB/2		47,5				
MN/2		2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,1049	0,0298	0,0346		0,056433333
Ps	mV	34,7	28,7	27		30,1333333
I	mA	0,0164	0,0165	0,0162		0,016366667

Figura 44. Datos de medición de la primera línea de Sondeos eléctricos verticales.



LÍNEA DOS					
AB=	35				
AB/2	17,5				
MN/2	2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	PROMEDIO
V	mV	0,0784	0,0039	0,0031	0,02846667
Ps	mV	5,9	3,5	3,3	4,23333333
I	mA	0,0169	0,0166	0,0168	0,01676667
AB=	45				
AB/2	22,5				
MN/2	2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	PROMEDIO
V	mV	0,000149	0,000596	0,000289	0,00034467
Ps	mV	2,9	2,9	2,9	2,9
I	mA	0,017	0,016	0,0158	0,01626667
AB=	55				
AB/2	27,5				
MN/2	2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	PROMEDIO
V	mV	0,0285	0,000894	0,0025	0,01063133
Ps	mV	2,9	2,9	2,9	2,9
I	mA	0,0168	0,0163	0,0162	0,01643333
AB=	65				
AB/2	32,5				
MN/2	2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	PROMEDIO
V	mV	0,001	0,0016	0,0022	0,0016
Ps	mV	3	3	3	3
I	mA	0,0168	0,0159	0,0161	0,01626667
AB=	75				
AB/2	37,5				
MN/2	2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	PROMEDIO
V	mV	0,0054	0,0058	0,003	0,00473333
Ps	mV	3,2	3,3	3,3	3,26666667
I	mA	0,017	0,0172	0,0156	0,0166
AB=	85				
AB/2	42,5				
MN/2	2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	PROMEDIO
V	mV	0,0013	0,0381	0,0492	0,02953333
Ps	mV	3,3	3,3	3,3	3,3
I	mA	0,0166	0,0165	0,017	0,0167
AB=	95				
AB/2	47,5				
MN/2	2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	PROMEDIO
V	mV	0,01681	0,0028	0,0319	0,01717
Ps	mV	3,5	3,3	3,4	3,4
I	mA	0,0194	0,0162	0,0205	0,0187

Figura 45. Datos de medición de la segunda línea de Sondeos eléctricos verticales.

LÍNEA TRES						
AB=	35					
AB/2	17,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0131	0,0209	0,0268	0,0143	0,018775
Ps	mV	23,8	22,7	22,5	21,7	22,675
I	mA	0,0145	0,0152	0,0151	0,0146	0,01485
AB=	45					
AB/2	22,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0036	0,0048	0,0072	0,0054	0,00525
Ps	mV	17,2	16,9	16,7	16,5	16,825
I	mA	0,0151	0,0153	0,0159	0,0154	0,015425
AB=	55					
AB/2	27,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0024	0,0036	0,0018	0,003	0,0027
Ps	mV	13,8	13,7	13,7	13,6	13,7
I	mA	0,015	0,0154	0,0159	0,0152	0,015375
AB=	65					
AB/2	32,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0101	0,0042	0,0054	0,0066	0,006575
Ps	mV	10,9	11,3	11,2	11,1	11,125
I	mA	0,0158	0,0157	0,0156	0,0158	0,015725
AB=	75					
AB/2	37,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,000594	0,0048	0,0048	0,0012	0,0028485
Ps	mV	9,2	9,1	9	8,9	9,05
I	mA	0,0146	0,0155	0,016	0,016	0,015525
AB=	85					
AB/2	42,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0033	0,0022	0,0064	0,007	0,004725
Ps	mV	7,8	7,7	7,6	7,6	7,675
I	mA	0,0157	0,0155	0,0153	0,0156	0,015525
AB=	95					
AB/2	47,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0027	0,0039	0,0024	0,0083	0,004325
Ps	mV	6,1	6	5,9	5,8	5,95
I	mA	0,0143	0,0156	0,016	0,0155	0,01535

Figura 46. Datos de medición de la tercera línea de Sondeos eléctricos verticales.

LÍNEA CUATRO						
AB=	35					
AB/2	17,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0774	0,0774	0,0775	0,0776	0,077475
Ps	mV	27,5	24,2	22,7	22	24,1
I	mA	361,5	361,5	361,7	362,2	361,725
AB=	45					
AB/2	22,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,006	0,0131	0,0113	0,0089	0,009825
Ps	mV	17,7	17,5	17,3	17,1	17,4
I	mA	0,0151	0,0159	0,0155	0,0161	0,01565
AB=	55					
AB/2	27,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0042	0,0042	0,0167	0,0066	0,007925
Ps	mV	15,6	15,5	15,4	15,3	15,45
I	mA	0,0149	0,0161	0,0157	0,0161	0,0157
AB=	65					
AB/2	32,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,000596	0,003	0,0077	0,048	0,014824
Ps	mV	14,4	14,3	14,3	14,2	14,3
I	mA	0,147	0,0152	0,0153	0,0158	0,048325
AB=	75					
AB/2	37,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0036	0,003	0,0018	0,0012	0,0024
Ps	mV	13,5	13,5	13,4	13,4	13,45
I	mA	0,0151	0,0153	0,0151	0,0156	0,015275
AB=	85					
AB/2	42,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0018	0,0036	0,003	0,0002	0,00215
Ps	mV	13,11	13	13	13	13,0275
I	mA	0,0146	0,015	0,0152	0,0154	0,01505
AB=	95					
AB/2	47,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,054	0,0002	0,000596	0,0002	0,013749
Ps	mV	12,7	12,6	12,6	12,6	12,625
I	mA	0,0148	0,0154	0,0157	0,016	0,015475

Figura 47. Datos de medición de la cuarta línea de Sondeos eléctricos verticales.

LÍNEA UNO DEL BLANCO						
AB=	35					
AB/2	17,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0125	0,0197	0,0262	0,0328	0,0228
Ps	mV	14,5	14,6	14,8	14,9	14,7
I	mA	0,0161	0,0161	0,016	0,0169	0,016275
AB=	45					
AB/2	22,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0292	0,0399	0,0942	0,0566	0,054975
Ps	mV	13	13,2	13,1	13,1	13,1
I	mA	0,0173	0,01155	0,0167	0,0185	0,0160125
AB=	55					
AB/2	27,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,1466	0,0042	0,0304	0,0167	0,049475
Ps	mV	12,5	12,4	12,3	12,3	12,375
I	mA	0,017	0,0155	0,0167	0,0185	0,016925
AB=	65					
AB/2	32,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0167	0,0095	0,0232	0,0072	0,01415
Ps	mV	11,7	11,6	11,5	11,4	11,55
I	mA	0,0173	0,0177	0,0183	0,0187	0,018
AB=	75					
AB/2	37,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0346	0,0143	0,0685	0,0435	0,040225
Ps	mV	11,1	11	11	11,1	11,05
I	mA	0,0155	0,0158	0,0176	0,018	0,016725
AB=	85					
AB/2	42,5					
MN/2	2,5					
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0256	0,0232	0,0131	0,0072	0,017275
Ps	mV	11,1	11,1	11,1	11	11,075
I	mA	0,0159	0,0156	0,0165	0,0174	0,01635

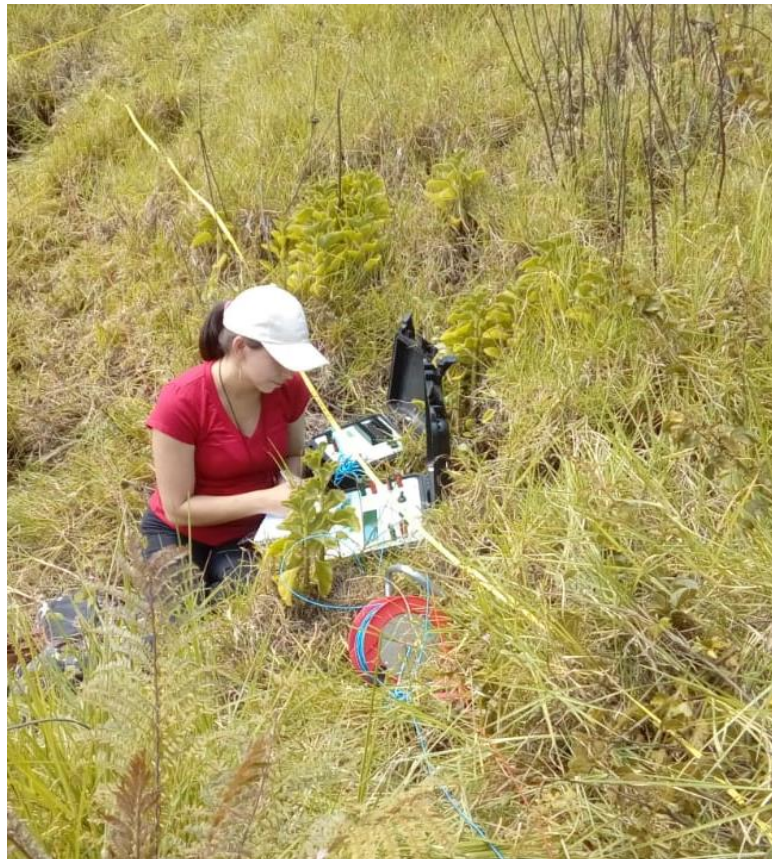
Figura 48. Datos de medición de la primera línea de Sondeos eléctricos verticales en el Estadio de Zámbriza.

LÍNEA DOS DEL BLANCO						
AB=		35				
AB/2		17,5				
MN/2		2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,186	0,0574	0,0313	0,0325	0,0768
Ps	mV	8,8	5,8	4,5	2,9	5,5
I	mA	0,0165	0,0153	0,0156	0,0161	0,015875
AB=		45				
AB/2		22,5				
MN/2		2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0069	0,0118	0,2562	0,0343	0,0773
Ps	mV	0,4152	0,091	6,7	1,8	2,25155
I	mA	0,0162	0,0158	0,0157	0,0158	0,015875
AB=		55				
AB/2		27,5				
MN/2		2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,2515	0,1121	0,0888	0,0429	0,123825
Ps	mV	16,6	11,7	9,5	8	11,45
I	mA	0,0168	0,152	0,0158	0,0158	0,0501
AB=		65				
AB/2		32,5				
MN/2		2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0013	0,0347	0,0155	0,0308	0,020575
Ps	mV	4,3	3,8	3,4	3,1	3,65
I	mA	0,0165	0,0156	0,0157	0,0158	0,0159
AB=		75				
AB/2		37,5				
MN/2		2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0171	0,0213	0,0012	0,0036	0,0108
Ps	mV	1,6	1,4	1,2	1	1,3
I	mA	0,0175	0,0158	0,0155	0,0157	0,016125
AB=		85				
AB/2		42,5				
MN/2		2,5				
	Unidades	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
V	mV	0,0142	0,2152	0,0668	0,0536	0,08745
Ps	mV	0,0463	17,1	13,3	11,5	10,486575
I	mA	0,0165	0,017	0,0157	0,0156	0,0162

Figura 49. Datos de medición de la segunda línea de Sondeos eléctricos verticales en el Estadio de Zámbriza.



*Figura 50.* Clavado de electrodo M en el suelo.



*Figura 51.* Toma de datos en la primera línea de muestreo.





*Figura 52.* Medición en el terreno mediante las cintas de medición.



*Figura 53.* Toma de datos en la cuarta línea de muestreo.





Figura 54. Resistivimetro Pasi



Figura 55. Estacas clavadas en cada punto de muestreo.



