

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN GEOELÉCTRICA DEL CEMENTERIO DE
LOS INGLESES EN AROA, ESTADO YARACUY**

**Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela por el
Br. Esteban Sesto Casals
para optar al título de Ingeniero Geofísico.**

Caracas, noviembre de 2008

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN GEOELÉCTRICA DEL CEMENTERIO DE
LOS INGLESES EN AROA, ESTADO YARACUY**

Tutora académica: Prof. Nuris Orihuela

Tutora institucional: Ing. Isiris Madrid

**Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela por el
Br. Esteban Sesto Casals
para optar al título de Ingeniero Geofísico.**

Caracas, noviembre de 2008

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado el Br. Esteban Sesto Casals, titulado:

“CARACTERIZACIÓN GEOELÉCTRICA DEL CEMENTERIO DE LOS INGLESES EN AROA, ESTADO YARACUY”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geofísico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. _____

Jurado

Prof. _____

Jurado

Prof. Nuris Orihuela

Tutor Académico

DEDICATORIA

A Luanda, Santiago y Samuel quienes me completan el alma, me llenan las ganas y me acompañan día a día en este camino de vivir. Para ellos este trabajo, para ellos todo el esfuerzo que representa, para ellos el resto de mi vida entera.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a la ilustre Universidad Central de Venezuela, su Facultad de Ingeniería y su Escuela de Geología, Minas y Geofísica, por los conocimientos que me proporcionaron durante mi formación académica como ingeniero.

A mi tutora, la profesora Nuris Orihuela quien, aparte de engancharme en la geofísica con aquella primera clase que nunca olvidaré, se ha convertido para mí en un ejemplo de lucha y en un estímulo por una de las aplicaciones de esta carrera como lo es la geo-arqueología.

Al Instituto de Patrimonio Cultural de la República Bolivariana de Venezuela, en las personas de su Presidente, Arq. José Manuel Rodríguez y de su Gerente general, Ing. Isiris Madrid. Gracia por su apoyo y su paciencia.

A mi esposa Luanda. Por estar conmigo en las buenas y malas. Por los impulsos que me dio cuando me sentía cansado. Es por eso que gran parte de este trabajo también es suyo. Soy porque estás.

A mis hijos Santiago y Samuel, por ser mi fuerza motriz. Por mirarme como me miran, por quererme incondicionalmente. Por hacerme tan feliz.

A mis padres, por los años de apoyo, paciencia. Por formarme año tras año como persona, como ser humano. Por llevarme de la mano desde que nací hasta convertirme en quien soy. A mi mamá por enseñarme sobre los estratos, fallas y plegamientos y a mi papá por llevarme a visitar todo y cuanto yacimiento arqueológico se puso en nuestro camino.

A mis hermanos, Daniel y Juan. Por su apoyo en cualquier situación de mi vida.

A mis profesores del Departamento de Geofísica. De cada uno me llevo experiencias y distintas visiones de la carrera.

Quisiera agradecer al profesor José Cavada por sus respuestas a mis preguntas sobre los métodos eléctricos que en muchas ocasiones me hicieron abrir los ojos y ver la realidad de otra forma distinta.

A la antropóloga Lilia Vierma. Todas sus enseñanzas en la Arqueología traté de asimilarlas y reflejarlas en este trabajo. Le agradezco también por reconocer la importancia de la Geofísica en los estudios arqueológicos.

A mis compañeros y amigos: Daniel Arraiz, por su ayuda en el levantamiento de los datos de campo. Clemente Pérez, por su ayuda durante el proceso de laboratorio. A todos mis compañeros de carrera, por el apoyo durante nuestros estudios.

Al Ing. Tobías Salazar, Presidente del Ateneo de Aroa. Por su ayuda, sus comentarios, su mano amiga.

“... Le habían explicado que normalmente se sepultaba a los muertos en terreno sagrado, pero los campos de enterramiento cambiaban al alcanzarse determinado número de tumbas. Demasiados espíritus congregados en un mismo sitio podían llegar a tener mucho poder...

Fuera cual fuese el lugar escogido, la zona de enterramiento se delimitaba mediante postes clavados en tierra alrededor de las tumbas a cortos intervalos y en la cabecera de cada tumba. Los postes llevaban grabados o pintados los abelanes de las personas ahí enterradas, símbolos que advertían del peligro de entrar al recinto..”

Los Refugios de Piedra (Los Hijos de la Tierra). Jean M. Auel (2002)



Sesto C., Esteban

**CARACTERIZACIÓN GEOELÉCTRICA DEL CEMENTERIO DE
LOS INGLESES EN AROA, ESTADO YARACUY**

Tutora Académica: Prof. Nuris Orihuela; Tutora Institucional: Isiris Madrid

Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y

Geofísica. Dpto. de Geofísica. 2008-10-12

Palabras Claves: Métodos de Resistividad, Minas de Aroa, Cementerio de Los Ingleses, geoarqueología, enterramientos

Resumen

Los estudios de prospección de Geofísica somera han colaborado en facilitar las labores de investigación interrelacionándose con otras áreas del conocimiento científico entre ellas la Arqueología. Basándose en los resultados de la prospección geofísica, los arqueólogos establecen las características y la distribución de objetos y construcciones en los yacimientos sin realizar intervenciones directas a los mismos.

El Cementerio de los Ingleses se encuentra ubicado, al pie de la Serranía de Aroa en las inmediaciones del poblado homónimo del Estado Yaracuy, sobre suelos arenosos de depósitos fluviales. En él se encuentran enterrados ingleses que explotaban las minas de cobre, propiedad del Libertador, desde la primera mitad del siglo XIX.

El principal objetivo del presenta trabajo fue el de caracterizar enterramientos en el cementerio que no poseyeran alguna clase de demarcación en la superficie del

terreno. Para ello se requirió realizar el levantamiento de datos en trece perfiles eléctricos por el método de resistividades, los cuales fueron procesados para generar mapas de iso-resistividades a diferentes profundidades, mapas de tipos de curvas y la interpretación de perfiles geoelectricos. Con la integración de los resultados del procesamiento se realizó un modelo en 3D que estableció la ubicación de estructuras enterradas en el suelo.

De los resultados obtenidos se concluyó que hay evidencias geofísicas de anomalías que, cumpliendo con las características de dimensiones, profundidades, resistividades, ubicaciones y direcciones, permitieron suponer la existencia enterramientos humanos no señalizados en superficie y otras estructuras no necesariamente asociadas al cementerio.

ÍNDICE GENERAL

| | Página |
|---|--------|
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTOS | v |
| ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS | xv |
| CAPÍTULO I..... | 18 |
| INTRODUCCIÓN | 18 |
| 1.1.- Introducción..... | 18 |
| 1.2.- Antecedentes de la Investigación..... | 19 |
| 1.3.- Objetivos..... | 22 |
| 1.3.1.- Objetivo General..... | 22 |
| 1.3.2.- Objetivos Específicos | 22 |
| 1.4.- Justificación | 23 |
| CAPÍTULO II | 24 |
| MARCO GEOLÓGICO, HISTÓRICO, GEOFÍSICO Y ARQUEOLÓGICO..... | 24 |
| 2.1.- Localización y Geología de la Región de Aroa y del Cementerio de Los Ingleses..... | 24 |
| 2.2.- Condiciones Climáticas y Edafológicas | 27 |

| | Página |
|---|--------|
| 2.3.- Geofísica Aplicada en la Prospección de Cementerios y Áreas de Enterramientos Humanos | 27 |
| 2.4.- Contexto Histórico de Aroa, las minas y el Cementerio de los Ingleses..... | 30 |
| 2.4.1.- Propiedad de las Minas de Aroa | 30 |
| 2.4.2.- Los Ingleses en Aroa..... | 30 |
| | |
| CAPÍTULO III..... | 33 |
| MARCO TEÓRICO..... | 33 |
| 3.1.- Geofísica Aplicada a la Arqueología | 33 |
| 3.2.- Métodos Eléctricos | 35 |
| 3.2.1.- Conductividad en los suelos | 35 |
| 3.2.2.- Métodos de Resistividades | 36 |
| 3.2.2.3.- Configuraciones de los Dispositivos Electrónicos | 38 |
| 3.2.2.4.- Resistividades de los Materiales..... | 38 |
| 3.2.2.5.- Modalidad de Calicatas Eléctricas..... | 40 |
| 3.2.2.5.1.- Tipos de Calicatas Eléctricas | 40 |
| 3.2.2.6.- Modalidad de Sondeos Eléctricos Verticales..... | 42 |
| | |
| CAPÍTULO IV..... | 44 |
| METODOLOGÍA DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 44 |
| 4.1.- Metodología de Adquisición de Datos..... | 44 |
| 4.1.1.- Trabajo de Campo..... | 44 |

| | Página |
|--|--------|
| 4.1.1.1.- Distribución Espacial de Perfiles de Medición..... | 45 |
| 4.1.1.2.- Equipo Utilizado para la Medición en Campo..... | 47 |
| 4.1.1.3.- Metodología de Medición en Campo..... | 49 |
| 4.1.1.4.- Recolección de Muestras | 52 |
| 4.1.2.- Trabajo de Laboratorio | 54 |
| 4.1.2.1.- Equipo Utilizado para la Medición de Muestras | 54 |
| 4.1.2.2.- Metodología de Medición de Núcleos | 55 |
| 4.2. - Metodología de Procesamiento De Datos..... | 57 |
| 4.2.1.- Procesamiento de Ensayos de Laboratorio | 57 |
| 4.2.2.- Procesamiento de Datos de Campo | 58 |
| 4.2.2.1.- Cálculo de Resistividades Aparentes y Perfiles..... | 58 |
| 4.2.2.2.- Mapa de Tipos de Curvas | 58 |
| 4.2.2.3.- Generación de Mapas de Isoresistividades Aparentes..... | 59 |
| 4.2.2.4.- Generación de Modelos de Respuestas de Resistividades Aparentes | 60 |
| 4.2.2.5.- Cálculo de Resistividades Verdaderas..... | 61 |
| 4.2.2.6.- Perfiles Eléctricos | 62 |
| CÁPITULO V | 63 |
| INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 63 |
| 5.1.- Resultados de Ensayos de Laboratorio | 63 |
| 5.2.- Mapa de Tipos de Curvas | 64 |

| | Página |
|---|--------|
| 5.3.- Mapas de Resistividades Aparentes..... | 66 |
| 5.3.1.- Mapa de Resistividades Aparentes para 0,75 m de AB/2..... | 66 |
| 5.3.2.- Mapa de Resistividades Aparentes para 1,25 m de AB/2..... | 67 |
| 5.3.3.- Mapa de Resistividades Aparentes para 1,75 m de AB/2..... | 68 |
| 5.3.4.- Mapa de Resistividades Aparentes para 2,25 m de AB/2..... | 69 |
| 5.3.5.- Grafica 3D de Resistividades Aparentes | 70 |
| 5.4.- Interpretación de los perfiles | 72 |
| 5.4.1.- Interpretación del Perfil N°1 | 73 |
| 5.4.2.- Interpretación del Perfil N°2..... | 74 |
| 5.4.3.- Interpretación del Perfil N° 4..... | 75 |
| 5.4.4.- Interpretación del Perfil N°5..... | 76 |
| 5.4.5.- Interpretación del Perfil N°6..... | 77 |
| 5.4.6.- Interpretación del Perfil N°7..... | 77 |
| 5.4.7.- Interpretación del Perfil N°8..... | 78 |
| 5.4.8.- Interpretación del Perfil N°9..... | 79 |
| 5.4.9.- Interpretación del Perfil N°10..... | 79 |
| 5.4.10.- Interpretación del Perfil N°11..... | 80 |
| 5.4.11.- Interpretación del Perfil N°12..... | 81 |
| 5.5.- Interpretación Integrada de Perfiles y Mapas | 81 |
| CAPÍTULO VI..... | 86 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 86 |

| | Página |
|---------------------------------|--------|
| 6.1.- Conclusiones..... | 86 |
| 6.2.- Recomendaciones | 87 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 89 |
| ANEXOS | 93 |

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| Figura 1: El Cementerio de los Ingleses, Aroa (Edo. Yaracuy)..... | 21 |
| Figura 2: Mapa de ubicación del Estado Yaracuy (fuente IVGSB)..... | 24 |
| Figura 3: Mapa geológico de la región (fuente: Bellizzia, 1985) | 25 |
| Figura 4: Mapa cartográfico de la región (fuente: IVGSB) | 26 |
| Figura 5: Medición de resistividades (fuente: Simpson y Peterson, 2004)..... | 34 |
| Figura 6: Parámetros de la Resistividad (fuente: Reyes, s/f)..... | 36 |
| Figura 7: Superficies equipotenciales (fuente: Reyes, s/f)..... | 37 |
| Figura 8: Límites de Resistividades de Rocas y Minerales..... | 39 |
| Figura 9: Calicata de Campo fijo | 41 |
| Figura 10: Calicata de Dispositivo Móvil..... | 41 |
| Figura 11: Arreglo de electrodos Schlumberger, técnica del sondeo (modificado de Alvarez, 2003)..... | 42 |
| Figura 12: Cementerio de los Ingleses..... | 44 |
| Figura 13: Levantamientos perpendiculares a las lápidas superficiales..... | 45 |
| Figura 14: Trazado de Línea Base | 46 |
| Figura 15: Ubicación espacial de los perfiles | 47 |
| Figura 16: Fuente de Corriente Directa..... | 48 |
| Figura 17: Ubicación de los equipos durante las mediciones | 50 |
| Figura 18: Esquema del primer nivel de mediciones | 51 |
| Figura 19: Esquema del segundo nivel de mediciones | 52 |

| | Página |
|--|--------|
| Figura 20: Esquema del tercer (a) y cuarto (b) nivel de mediciones | 52 |
| Figura 21: Corte del terreno y acequia donde se tomaron las muestras..... | 53 |
| Figura 22: Equipo usado durante la medición de resistividades en laboratorio..... | 55 |
| Figura 23: Dispositivo para medición en laboratorio..... | 56 |
| Figura 24: Medición de resistividades | 56 |
| Figura 25: Perfil de tipo de curvas. Perfil N°5..... | 59 |
| Tabla 1: Promedio de resistividades | 63 |
| Figura 26: Gráfico de resistividades vs profundidad | 64 |
| Figura 29: Mapa de tipo de curvas del área de estudio..... | 65 |
| Figura 30: Mapa de resistividades aparentes $AB/2 = 0,75$ m | 67 |
| Figura 31: Mapa total de resistividades $AB/2 = 1,25$ m | 68 |
| Figura 32: Mapa total de resistividades $AB/2 = 1,75$ m | 69 |
| Figura 33: Mapa total de resistividades $AB/2 = 2,25$ m | 70 |
| Figura 34: Gráfico 3D de resistividades..... | 72 |
| Figura 35: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°1 | 74 |
| Figura 36: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°2..... | 75 |
| Figura 37: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°4..... | 75 |
| Figura 38: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°5 | 76 |
| Figura 39: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°6..... | 77 |
| Figura 40: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°7..... | 78 |
| Figura 41: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°8..... | 78 |
| Figura 42: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°9..... | 79 |

| | Página |
|---|--------|
| Figura 43: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°10..... | 80 |
| Figura 44: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°11..... | 80 |
| Figura 45: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°12..... | 81 |
| Figura 46: Interpretación de la ubicación de los objetos enterrados..... | 83 |
| Figura 47: Acequia ubicada al oeste del Cementerio de los Ingleses..... | 84 |
| Figura 48: Raíces rectas de la flora local..... | 85 |
| Tabla 2: Ejemplo de Datos de Campo, Perfil 1..... | 94 |
| Figura 49: Mapa total de resistividades $AB/2 = 0,75$ m..... | 96 |
| Figura 50: Mapa total de resistividades $AB/2 = 1,25$ m..... | 97 |
| Figura 51: Mapa total de resistividades $AB/2 = 1,75$ m..... | 98 |
| Figura 52: Mapa total de resistividades $AB/2 = 2,25$ m..... | 99 |
| Figura 53: Gráfico 3D de resistividades..... | 100 |
| Figura 54: Modelo 3D resultado de la interpretación integrada del procesamiento..... | 101 |
| Figura 55: modelo de anomalía a 0,75 m de profundidad utilizando el programa Res2dMod (versión 3.01)..... | 102 |
| Figura 56: ejemplo de modelo de anomalía a 0,75 m de profundidad utilizando el programa Res3dMod (versión 2.11)..... | 103 |

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.- Introducción

Desde hace varias décadas, los estudios de Geofísica somera han colaborado en facilitar las labores de investigación interrelacionándose con otras áreas del conocimiento científico. Así pues, las prospecciones geofísicas se han usado en la localización de acuíferos, estudio del comportamiento del nivel freático, geotecnia y detección de cavidades, entre otras aplicaciones. Una de las disciplinas donde los estudios geofísicos han demostrado ser una herramienta de un enorme valor es en la Arqueología. Basados en los resultados geofísicos, los arqueólogos pueden detectar las características y la distribución de objetos y construcciones en los yacimientos arqueológicos sin necesidad de intervenciones (excavaciones) directas en los mismos.

En la actualidad, antes de realizar cualquier excavación arqueológica, se realizan estudios geofísicos que permiten optimizar el tiempo y los costos asociados a la intervención del yacimiento. De esta forma, se generan mapas y secciones que permiten tomar decisiones sobre las áreas que concentran las mejores condiciones para la evaluación arqueológica.

Así, se diferencian las áreas potencialmente adecuadas para ser excavadas de aquellas que no ameritan ser intervenidas. Así mismo, permiten a los arqueólogos detectar si requieren reforzar alguna estructura que va a ser intervenida antes que esto suceda. Por otra parte, los objetos arqueológicos comienzan a deteriorarse rápidamente al ser expuestos, el hecho de poder caracterizarlos sin necesidad de exponerlos es de gran utilidad para preservar el patrimonio mientras se establecen los planes para la intervención o se tramitan los recursos necesarios para la misma.

La realización del estudios geofísicos, previo a una posible intervención de un yacimiento, no son una práctica común en la exploración arqueológica en Venezuela. En el país se han realizado muy pocas experiencias de prospección geofísica aplicada a yacimientos arqueológicos. Se tiene, a manera de ejemplo, la detección por métodos gravimétricos de enterramientos y estructuras subterráneas en la Iglesia de San Rafael de Orituco (Herrera et al, 2002).

Existe una gran cantidad de yacimientos arqueológicos y patrimoniales venezolanos que podrían ser estudiados mediante técnicas de prospección geofísica. Estos sitios históricos, que se ubican temporalmente desde la época precolombina hasta el siglo XX, cada uno de ellos con sus características particulares que permitirían la aplicación de uno o varios métodos geofísicos en función de las propiedades físicas características y contrastantes.

1.2.- Antecedentes de la Investigación

El proyecto “Arqueología Bolivariana” ha sido desarrollado por el Instituto de Patrimonio Cultural de la República Bolivariana de Venezuela (IPC), en una primera fase, de febrero a octubre de 2006. En el mismo se pretende dar una interpretación de los fenómenos sociales, políticos, culturales y económicos en Venezuela mientras vivió el Libertador Simón Bolívar. Esta propuesta, que presenta una integración de la Arqueología y la Historia, con aportes desde el ámbito de la prospección Geofísica, se lleva a cabo en diversos lugares históricos entre los que se encuentran La Hacienda de Los Palacios, en Capaya (Estado Miranda), La Hacienda San Mateo (Estado Aragua), La Casa Balcón en Anzoátegui, La Casa San Isidro y el Palacio Arzobispal en Bolívar y las Minas de cobre en la localidad de Aroa), en el Estado Yaracuy.

Todos los lugares históricos en los que se implementó el proyecto fueron

visitados y documentados por un grupo de historiadores y arqueólogos. Así pues, en las incursiones preliminares se hallaron elementos históricos y arqueológicos pertenecientes a la época a ser estudiada. Por ejemplo, en el caso de la Hacienda San Mateo se hallaron restos de oliveras (vasijas para guardar aceite), porcelanas, casquillos de balas, entre otros. En la Casa Balcón se localizaron botellas, llaves, fragmentos de cerraduras, entre otros. Lo mismo sucedió en la Casa San Isidro, el Palacio Arzobispal y Hacienda Palacios.

Una comisión del IPC, conformada por arqueólogos, historiadores y estudiantes universitarios de carreras afines, realizó inspecciones oculares al pueblo de Aroa durante el año 2006 y sus minas, para observar todo el complejo industrial y social que representaba la existencia de estas minas activas durante más de trescientos años.

Las Minas de Aroa presentan una historia muy completa de la sociedad venezolana pues comienza su explotación a partir del año 1605 (Urbani, 1992) y la misma se extiende hasta el siglo XX. Esta propiedad minera ingresó, por herencia, al patrimonio de la familia Bolívar. La posesión de las minas por los Bolívar duró hasta el año de 1832, cuando después de fallecido El Libertador, sus hermanas, María Antonia y Juana Bolívar, firman el contrato de venta con la Bolívar Mining Association por la cantidad de 38.000 libras esterlinas (Prieto, 1971).

Se hallaron restos presumiblemente pertenecientes a un camino español en la serranía de Aroa. Además, se observaron estructuras relacionadas con las minas durante el periodo correspondiente a la propiedad inglesa de las mismas. De este periodo se pudieron distinguir claramente los restos de los edificios de oficinas, depósitos, polvorines. Estructuras pertenecientes al ferrocarril y a los molinos se encuentran expuestas. Sin embargo, no se pudo hallar evidencia física alguna que conectara la actividad minera. Con el periodo en estudio en el marco del proyecto

Concluidas la evaluación arqueológica e histórica realizada en Aroa, el Instituto de Patrimonio Cultural tomó la decisión de que la incorporación del sitio al proyecto de Arqueología Bolivariana se hiciera a través de la información documental y los hitos históricos, arquitectónicos y naturales presentes en el lugar. Así mismo, se decidió realizar una prospección geofísica en el Cementerio de los Ingleses por representar este una aproximación temporal al tiempo de posesión de las minas por la familia Bolívar.

El sitio denominado “Cementerio de los Ingleses” (figura 1), reviste un particular atractivo arqueológico, histórico.



Figura 1: El Cementerio de los Ingleses, Aroa (Edo. Yaracuy)

En el cementerio se observan una variedad de enterramientos fechados desde 1832 hasta las primeras décadas del siglo XX. Sin embargo, existen zonas del

cementerio que no poseen lápidas y que, según la tradición oral del pueblo de Aroa y referencias bibliográficas (Verna, 1976), se asegura que presentan enterramientos humanos no demarcados, que posiblemente correspondan a los años durante el arrendamiento a los Bolívar de las Minas de Aroa por parte de los ingleses a partir del año 1824.

Al no existir, lápidas que registren fechas de enterramientos, en el lapso establecido como periodo de propiedad de la familia Bolívar de estas minas, de forma visible, evidencia alguna que exprese el tiempo histórico de cuando las minas pertenecieron a la familia Bolívar, el IPC consideró la necesidad de estudiar el cementerio para detectar posibles, enterramientos o estructuras anteriores a 1832.

1.3.- Objetivos

1.3.1.- Objetivo General

Caracterizar enterramientos en la zona de El Cementerio de los Ingleses de la población de Aroa (Estado Yaracuy).

1.3.2.- Objetivos Específicos

- Estimar el comportamiento eléctrico del suelo mediante el análisis en laboratorio de las resistividades de muestras recolectadas en el Cementerio de los Ingleses.
- Realizar perfiles eléctricos de resistividades del suelo del área de estudio.
- Generar mapas de iso-resistividades a diferentes profundidades

- Generar un modelo 3D del subsuelo de la zona de estudio, basado en los datos de los perfiles eléctricos.

1.4.- Justificación

La aplicación de métodos de prospección geofísica somera, representan una herramienta indispensable en las etapas iniciales de las exploraciones arqueológicas modernas. Al realizar un levantamiento geofísico en yacimientos arqueológicos es posible delimitarlo y caracterizarlo antes de la intervención del mismo por parte de los arqueólogos. Esto, entre otros beneficios, permite su estudio sin necesidad de realizar la excavación del terreno con los riesgos patrimoniales que la misma implica. En ciertos casos, los métodos de prospección eléctrica presentan ventajas considerables por su fácil aplicabilidad, rapidez y bajo costo asociados.

En Venezuela, país con una gran cantidad de lugares patrimoniales, la realización de estudios de prospección geofísica previos a la intervención de los yacimientos arqueológicos no es una práctica difundida y común. Sin embargo, la larga historia de ocupación humana del norte del continente suramericano genera grandes oportunidades para utilizar diversos métodos de prospección. El trabajo realizado en el Cementerio de los Ingleses pretende sembrar un precedente para la realización consecuente de la práctica geofísica en la Arqueología venezolana.

Cada vez se utilizan más los estudios de prospección geofísica para la preservación patrimonial y estructural en diversos países del mundo. Con este trabajo se darán los primeros pasos venezolanos en una de las actividades donde la Geofísica actúa como ayuda de otras disciplinas tradicionalmente poco relacionadas con las geociencias como lo son la Arqueología y la Historia. Esto generará nuevos espacios académicos, laborales y de investigación a profesionales relacionados con la actividad geofísica en Venezuela.

CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO, HISTÓRICO, GEOFÍSICO Y ARQUEOLÓGICO

“...No poseo más bienes que las minas de Aroa..”

Simón Bolívar, 10 de Diciembre de 1830

2.1.- Localización y Geología de la Región de Aroa y del Cementerio de Los Ingleses

La superficie del Estado Yaracuy (figura 2) se enmarca entre dos sistemas montañosos (la Cordillera de la Costa y los Andes venezolanos) que producen una profunda y ancha fosa tectónica de unos 90 km de largo y una anchura que varía entre los 14 km y 24 km (Stebrin y Pérez, 1980). El encuentro de estos dos grandes sistemas montañosos ha originado que la zona presente una gran complejidad geológica y fisiográfica

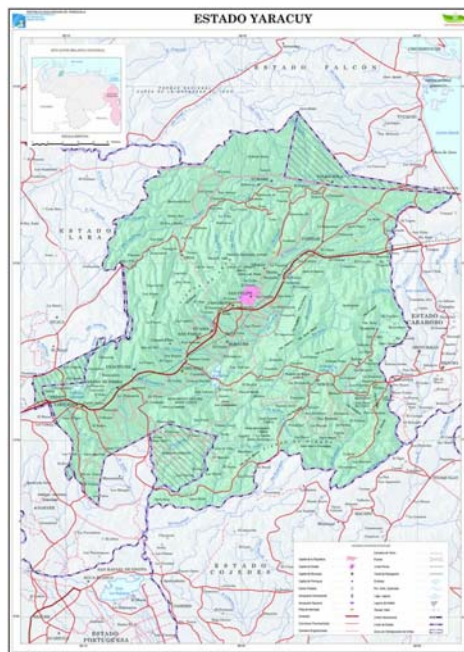


Figura 2: Mapa de ubicación del Estado Yaracuy (fuente IVGSB)

Entre los accidentes geológicos causados se encuentra la Sierra de Aroa que tiene una extensión aproximada de 67,5 km y un ancho promedio de 17,5 km, extendiéndose con dirección al noreste desde Sabana de Parra hasta la población de Palma Sola. Es una cadena montañosa joven, sin interrupciones y que alcanza su mayor altitud en el pico Tigre (1900 m.s.n.m)

La geología de la región (figura 3) corresponde, según Bellizzia et al (1969) a una espesa secuencia de rocas metamórficas del mesozoico, expuesta en la serranía de Aroa, estado Yaracuy con la que se asocia una mena de piritas cupríferas. Se extiende también en las sierras de Nirgua-Tucuragua (Estados Lara, Cojedes y Yaracuy).

Las litologías presentes en la formación son esquistos calcáreos grafitosos, filitas grafitosas, esquistos cuarzo-micáceo-grafitosos, calizas laminadas, calizas macizas y varios horizontes de esquistos verdes. Los esquistos calcáreo-grafitosos, micáceo-grafitosos y filitas grafitosas constituyen alrededor del 60% de la unidad.

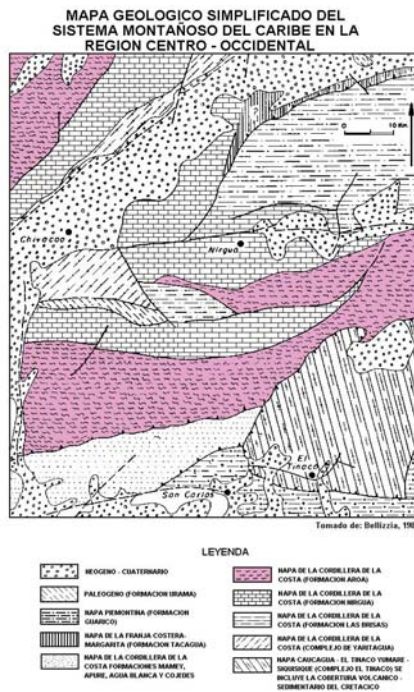


Figura 3: Mapa geológico de la región (fuente: Bellizzia, 1985)

También existe presencia de capas de esquistos verdes usadas como guías tanto en la superficie como en minería por su fácil reconocimiento y contraste con la secuencia calcáreo-grafitosa. Abundan hacia la parte media de la unidad, donde alcanzan 50 m de espesor. Las rocas verdes posiblemente representan rocas básicas metamorizadas en la subfacies de cuarzo-albita-muscovita-clorita de la facies de los esquistos verdes del metamorfismo regional, especialmente tobas y lavas (Bellizzia y Rodríguez, 1969). Las calizas laminadas generalmente se interstratifican con los esquistos calcáreo-grafitosos. Las calizas macizas alcanzan hasta 20 metros de espesor, generalmente son grafíticas, piríticas y lenticulares.

Es en una terraza al pie de la serranía de Aroa se enmarca el Cementerio de los Ingleses (figura 4). Se ubica en las coordenadas $10^{\circ} 25' 51.5''$ latitud norte y $68^{\circ} 53' 30.4''$ longitud oeste (datum WGS 84).

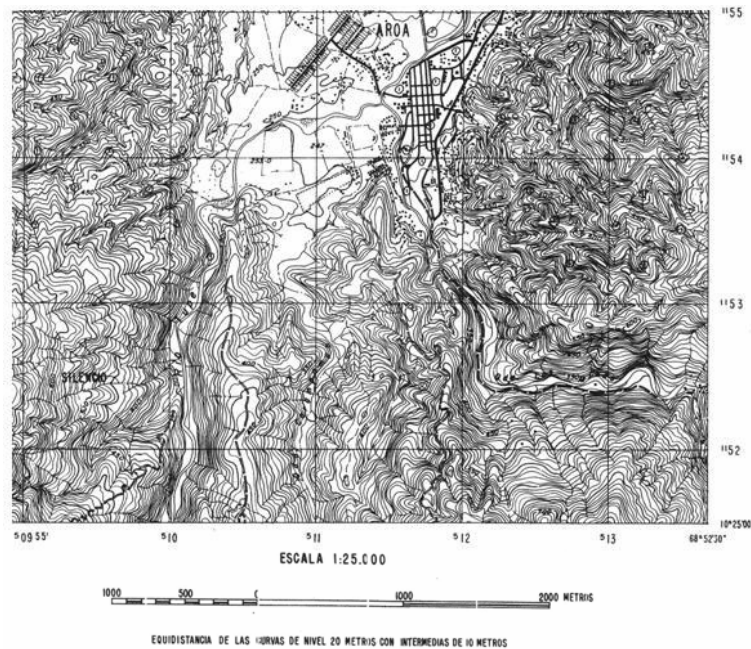


Figura 4: Mapa cartográfico de la región (fuente: IVGSB)

2.2.- Condiciones Climáticas y Edafológicas

Se presentan una diversidad de climas dentro del Estado Yaracuy debido a las diferentes cotas que se alcanzan y la proximidad al mar. En el caso de la población de Aroa, que se halla a 370 m.s.n.m, se producen precipitaciones promedio de 983 mm . Es importante resaltar que, en las zonas bajas, la precipitación se ve superada por los niveles de evaporación, sucediendo lo contrario en las cotas más altas (Stebrin et al, 1980).

Las condiciones de los drenajes internos y externos de las aguas varían considerablemente entre las zonas llanas y las partes altas de las cadenas montañosas. A medida que se acercan a la Sierra de Aroa y las pendientes se vuelven más pronunciadas, los drenajes se vuelven más rápidos.

En los valles de los ríos del estado se pueden observar tres niveles de terrazas que corresponden a los sucesivos levantamientos del nivel de dichos ríos. Las terrazas están compuestas principalmente de arcillas, limos, arenas y gravas. Asimismo, se encuentran, especialmente en zonas de las microcuencas suelos moderadamente profundos, de origen residual, con áreas apreciables de coluviones frecuentemente pedregosos.

2.3.- Geofísica Aplicada en la Prospección de Cementerios y Áreas de Enterramientos Humanos

Los cementerios, al igual que cualquier estructura destinada a cultos fúnebres, contemplan diferentes estilos, el uso de diversos materiales constructivos y dimensiones y volúmenes de acuerdo a las estructuras sociales de la comunidad donde se ven inmersos. Por ello han sido considerados de un valor incuestionable en la Arqueología y, por lo tanto, para cualquier disciplina afín en vista de que la

información que aportan puede resultar importante al momento de proponer hipótesis antropológicas (Gil, 2003), estilos arquitectónicos, modas estilísticas. Existe una gran cantidad de trabajos realizados por arqueólogos donde se demuestra la necesidad de estudiar las diferentes maneras de enterramientos humanos con la finalidad de obtener respuestas a interrogantes históricas (Pereira et al, 2004).

El análisis del “culto a la muerte”, sus diferentes manifestaciones, sus legados y características, han llevado a los arqueólogos también a dedicar una buena parte de su trabajo en esta dirección. Se han realizado intervenciones en una gran cantidad de cementerios que abarcan diferentes culturas, épocas y localidades. En Latinoamérica y el Caribe, estos estudios comprenden desde enterramientos precolombinos (Togo, 2000), hasta cementerios de los siglos diecinueve y veinte (Terrell, 1998)

De estas intervenciones se han podido determinar diferencias en cuanto a los ritos funerarios y lugares y formas de enterramiento. En Venezuela, ha existido diversidad y complejidad de los sistemas y creencias en torno a la muerte (Zucchi, 2000). Estas diferencias se pueden observar desde diversos puntos de vista: religiosos, legales, sanitarios, entre otros.

Pocos cementerios del siglo XIX han sido intervenidos arqueológicamente. Sin embargo, existen referencias (Zucchi, 2000) que indican que los enterramientos se realizaban, en algunos casos, mediante la excavación de la tumba y la colocación de un muro de ladrillos y techo a la misma. En otros casos y particularmente en las zonas rurales, el féretro (generalmente hecho de madera) era enterrado directamente en el terreno.

Los métodos de prospección geofísica (refracción sísmica, el radar, la magnetometría y los métodos eléctricos, entre otros) han sido comúnmente usados en la Arqueología para la localización y caracterización de enterramientos humanos no señalizados y estructuras relacionadas a los mismos (Simpson y Peterson, 2004). La

aplicación de dichos métodos optimiza los recursos en las campañas arqueológicas y es por ello que su uso se ha vuelto recurrente en muchos países, incluyendo naciones del Caribe, América Central y del Sur (Buscaglia, 2001).

En cuanto a la aplicación de métodos eléctricos para la determinación de tumbas no demarcadas en superficie, se tiene un antecedente en el trabajo realizado en Argentina por Togo (2000). En el mismo se recurrió a la utilización de la modalidad de calicatas eléctricas y, el resultado del trabajo pudo ser corroborado, pues se realizó la intervención arqueológica del yacimiento.

Son diversos los factores que se deben tener en cuenta a la hora de una prospección eléctrica con fines arqueológicos. La profundidad de los objetivos es muy somera y los factores climáticos (lluvia y evaporación) y antropogénicos (como el riego) pueden hacer que las respuestas varíen en diferentes prospecciones para la misma zona de estudio (Clark, 1996).

Existe un precedente en la realización de prospecciones eléctricas en cementerios históricos en el trabajo realizado por Terrell (1998) en el cementerio de Nevis (antilla del Caribe oriental). En esta investigación se obtuvo, mediante la realización de un mapa de resistividades, la disposición de las tumbas cuya presencia se suponía mas no poseían indicativos de su posición en el cementerio. Los enterramientos interpretados correspondían en este caso a los mayores valores de resistividades.

Otro de los factores que debe considerarse es la profundidad del objetivo. Para ello se deben obtener soportes arqueológicos e históricos basados, por lo menos, en una revisión bibliográfica, que permitan estimar la distancia del objeto de estudio a la superficie del terreno. En el caso de los cementerios, esta profundidad es variable (Zucchi, 2000). Sin embargo, existen limitantes que reducen el rango de profundidades donde podrían encontrarse enterramientos humanos. Estas limitaciones

pueden ser de carácter legal, social, religioso, sanitario, entre otras. Es así que se tiene referencia, en un trabajo desarrollado por Western y Kausmally (2005), que el reino de Inglaterra prohibió en 1847 los enterramientos menores a 30 pulgadas.

2.4.- Contexto Histórico de Aroa, las minas y el Cementerio de los Ingleses.

2.4.1.- Propiedad de las Minas de Aroa

La explotación de las minas de Aroa, por parte de los españoles, comienza a partir del año 1605 y su producción se realizó a diversos ritmos en los años posteriores (Cunill, 1987). El 21 de agosto de 1663 las minas y tierras de Aroa fueron concedidas a Francisco Marín de Narváez y las mismas fueron posteriormente heredadas por su hija Josefa Marín de Narváez (bisabuela de Simón Bolívar). En el año de 1824, las minas son arrendadas por Maria Antonia Bolívar (hermana del Libertador) a la compañía inglesa Bolívar Mining Association por un período de nueve años (Prieto, 1971). Al respecto, Simón Bolívar le escribiría a Don Fernando Peñalver en 1825:

“Aunque estoy muy satisfecho de la contrata que ha celebrado María Antonia, me ha parecido más útil para mi vender a los mismos arrendatarios, o a quienes me hagan propuestas más ventajosas, la posesión de Aroa toda entera”.

En el año 1832, posteriormente a la muerte de Bolívar, las minas pasan por fin a propiedad de los ingleses, con un contrato firmado por las hermanas del Libertador (Maria Antonia y Juana).

2.4.2.- Los Ingleses en Aroa

Desde el inicio de la producción de las minas por parte de los ingleses se

presentaron diversos inconvenientes. El primero referido a la escasez de mano de obra ya que el grado de despoblación local generaba el temor que no se consiguiera personal para el trabajo en las minas. Esta cuestión fue subsanada con relativa facilidad pues los altos salarios atrajeron muchos jornaleros de regiones cercanas (Cunill, 1987)

El segundo problema con el que se encontró la Bolivar Mining Association fue lo relativo a la insalubridad de la zona. Los cambios de temperatura, las aguas estancadas y la continua humedad, ayudaron a convertir a Aroa en un lugar peligroso donde se exponía a los ingleses al paludismo, la fiebre amarilla y el tifus (Verna, 1976) al atravesar las densas selvas existentes donde se encontraban árboles de gran altura y diámetro como la caoba y el cedro (Hawkshaw, 1975). Es así que a pocos meses de instalada en Aroa se producen varias muertes por fiebre amarilla (Cunill, 1987).

Verna (1976), citando al Cónsul inglés Ker Porter en 1833, indica sobre la llegada de 50 obreros de Liverpool que trabajarían en las minas: “Todos dejarán allí sus huesos porque el lugar es de lo más mortal”. El mismo cónsul refiere además en 1834 que “hubo un promedio de 60 a 80 ciudadanos ingleses que murieron anualmente en las Minas de Aroa”.

Aunado a la insalubridad y a la despoblación, la compañía minera, hubo de procurarse la infraestructura necesaria para la explotación de las minas (Cunill, 1987). Los ingleses trabajadores de Aroa, tuvieron que edificar desde sistemas de transporte de mineral, casas de oficinas, el hospital, entre otras construcciones. Uno de los edificios más importantes era “El Palacio de Aroa”. Una casona de una sola planta y forma cuadrangular que se encontraba a unas dos millas del las minas y en las cercanías del cementerio inglés.

Este cementerio ya albergaba, entre 1824 y 1832, los cuerpos de 400

empleados de la compañía minera (Cunill, 1987). Mientras en el año 1832 en la ciudad de Caracas ya se construía, bajo los auspicios del Cónsul Ker Porter, un cementerio para enterrar a los ingleses, en Aroa, sus compatriotas eran enterrados en un cementerio silvestre y anónimo (Verna, 1976)

Verna (1976) indica que la criminalidad, la insalubridad, problemas administrativos, tensiones laborales y otros temas de carácter social, hicieron que, para el año 1836, la Bolivar Mining Association fuera liquidada y sus trabajadores despedidos, comenzando una nueva etapa de despoblamiento local.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1.- Geofísica Aplicada a la Arqueología

Los estudios de geofísica somera han apoyado, desde hace varias décadas, a diversas disciplinas, entre ellas a la Arqueología. La aplicación de métodos de prospección geofísica en la Arqueología se desarrolló como consecuencia de investigaciones que, en principio, se realizaban con fines de civiles y geológicos (Schmidt, 1988). La prospección con métodos geofísicos previa a la intervención del yacimiento se ha convertido en una práctica común en las excavaciones arqueológicas modernas.

Métodos geofísicos no invasivos han sido probados en una gran cantidad de yacimientos demostrando su utilidad y ventajas al permitir a los arqueólogos caracterizar su objetivo, reducir costos y optimizar los recursos. Con el uso de las herramientas geofísicas, diversos sitios históricos han sido prospectados: viviendas, fortificaciones, naufragios, cementerios, entre otros (Gaffney y Gater, 2003).

Gaffney y Gater (2003) describen como en el año de 1893, el famoso arqueólogo Augustus Pitt-Rivers golpeaba el terreno con un martillo con el fin de detectar una zanja enterrada mediante la variación del sonido que se generaba. Este método, al que se le dio posteriormente el nombre de “bosing”, es usado todavía en la prospección de yacimientos arqueológicos y es similar, en principio, a las modernas técnicas de reflexión sónica (Clark, 1996).

Los métodos usados comúnmente en las campañas arqueológicas se pueden dividir en dos grupos:

Métodos Activos: en los que se aplica una señal al terreno (eléctrica, sísmica o electromagnética) y se recibe una respuesta la cual es medida.

Métodos Pasivos: se basan en la medición de los atributos intrínsecos del terreno que existen aun en ausencia de los equipos de medición (gravedad, magnetismo, potencial espontáneo, entre otros)

En particular, los métodos geoelectricos se han utilizado con excelentes resultados en la caracterización de lugares con interés arqueológico y específicamente en el estudio de cementerios históricos (figura 5). Un ejemplo es el estudio realizado por Duane Simpson y Ryan Peterson (2004)



Figura 5: Medición de resistividades (fuente: Simpson y Peterson, 2004)

Uno de los pioneros en la investigación del uso arqueológico de la prospección geoelectrica fue Richard Atkinson. En 1946, Atkinson escribió, en una posdata de la primera edición de su libro “Field Archaeology”, sobre la aplicación, en

la detección de estructuras arqueológicas (como pozos y zanjas) de los mismos métodos de resistividades usados para la ingeniería civil. Ya para la segunda edición del libro, Atkinson le dedicó un capítulo entero a la prospección con métodos de resistividad (Clark, 1996).

3.2.- Métodos Eléctricos

Todos los materiales permiten algún paso de carga eléctrica a través de ellos (Schollar et al, 1990). En la aplicación de métodos eléctricos para las prospecciones geofísicas, las propiedades de las rocas, los minerales y del suelo que estos componen, son de particular importancia. La conductividad eléctrica (o su inversa, la resistividad), los potenciales eléctricos naturales y la constante dieléctrica, son algunas de estas propiedades. De todas ellas, la más importante es la conductividad eléctrica (Telford et al, 1990).

3.2.1.- Conductividad en los suelos

Los suelos se componen principalmente de aire, agua y minerales. La conducción eléctrica en el suelo es de carácter electrolítico pues se debe a la disolución de sales y a las partículas metálicas contenidas en el agua. El agua se introduce en el espacio intersticial que generan los poros y su cantidad en los suelos y rocas varía dependiendo del volumen y arreglo de los mismos. (Telford et al, 1990).

Según Orellana (1982), las rocas y suelos se pueden considerar como medios aislantes que poseen conductos interconectados rellenos de electrolito que permiten la conductividad del conjunto.

Existen diversos métodos de prospección eléctrica de suelos y rocas. Los métodos que emplean fuentes naturales, como el de Potencial Espontáneo y el de Corrientes Telúricas y Magnetotelúricas. En muchos casos, la fuente generadora de la

señal es una fuente artificial. Existen tipos de prospección eléctrica que utilizan estas fuentes artificiales como por ejemplo el método de Polarización Inducida, métodos Electromagnéticos, los métodos de Resistividades, entre otros.

3.2.2.- Métodos de Resistividades

Los métodos de resistividades emplean una fuente artificial que introduce al terreno una corriente eléctrica mediante el uso de electrodos o largos cables de contacto (Telford et al, 1990). Como el valor de la corriente usada es un parámetro conocido y controlado, se realiza la medición (con otros electrodos dispuestos para ello) de las diferencias de voltaje que se generan en el subsuelo gracias al flujo de la corriente.

De acuerdo con la Ley de Ohm, al hacer circular una corriente eléctrica con intensidad conocida a través de un objeto se puede observar una diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera del mismo (figura 6).

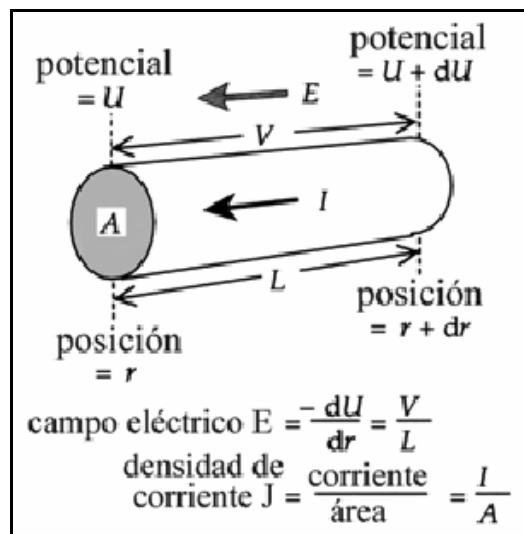


Figura 6: Parámetros de la Resistividad (fuente: Reyes, s/f)

Conocidos estos parámetros se puede definir la resistencia del material al paso

de la corriente, como:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Donde I es la intensidad de la corriente eléctrica aplicada y V es la diferencia de potencial medida.

Sin embargo, la resistencia de un material es proporcional al volumen sobre el que se coloque la configuración de electrodos para realizar la medición. Este parámetro se denomina resistividad eléctrica del material y se denota por la letra ρ .

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Donde K es la constante de proporcionalidad que depende de la geometría del circuito eléctrico

Cuando una corriente eléctrica es introducida a un terreno, homogéneo e isotrópico, utilizando un único electrodos ubicados en la superficie, se generan superficies hemisféricas de equipotenciales que fluyen a través del medio (figura 7).

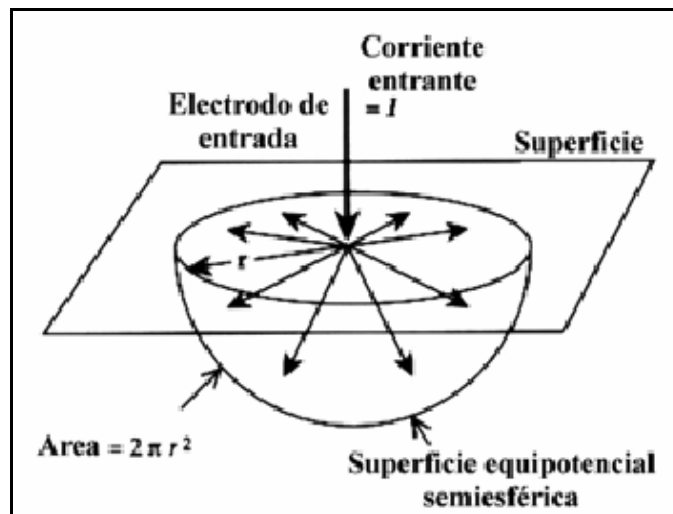


Figura 7: Superficies equipotenciales (fuente: Reyes, s/f)

3.2.2.3.- Configuraciones de los Dispositivos Electrónicos

Pueden ser diseñados diferentes arreglos de electrodos para introducir corrientes eléctricas en el subsuelo y de esta manera medir la diferencia de potencial para obtener el valor de la resistividad del mismo. Sin embargo, la utilización de geometrías de adquisición basadas en cuatro electrodos es una práctica muy difundida para los estudios de resistividades (Orellana, 1982). Dos electrodos que introducen la corriente eléctrica al terreno, llamados “electrodos de corriente” (denotados con las letras A y B para su reconocimiento) y dos electrodos para medir la diferencia de voltaje entre ellos, denominados “electrodos de potencial”, a los que se le asignan las letras M y N.

La fórmula general para el cálculo de la resistividad en dispositivo de adquisición con cuatro electrodos, es:

$$\rho = 2\pi \frac{\Delta V}{I} \left[\frac{1}{\left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{MB}} \right) - \left(\frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{r_{NB}} \right)} \right] \quad (3)$$

En el subsuelo la resistividad varía debido a la anisotropía y la heterogeneidad del material, por lo tanto la resistividad que expresa la ecuación anterior no puede considerarse como la verdadera, sino que se denomina “resistividad aparente (ρ_a)”. Esta resistividad aparente es una función que depende de la resistencia del terreno y la geometría de electrodos utilizada.

3.2.2.4.- Resistividades de los Materiales

Existen tablas de resistividades de diversas rocas y minerales que son generadas en los laboratorios (figura 8) y corresponden a gráficos de las variaciones

más comunes de dichas resistividades de las rocas y los minerales. Los límites de los rangos que se presentan para los diversos materiales pueden ser extendidos debido a características propias de las rocas como pueden ser la presencia las fisuras y la impregnación de agua con electrolitos, entre otros factores.

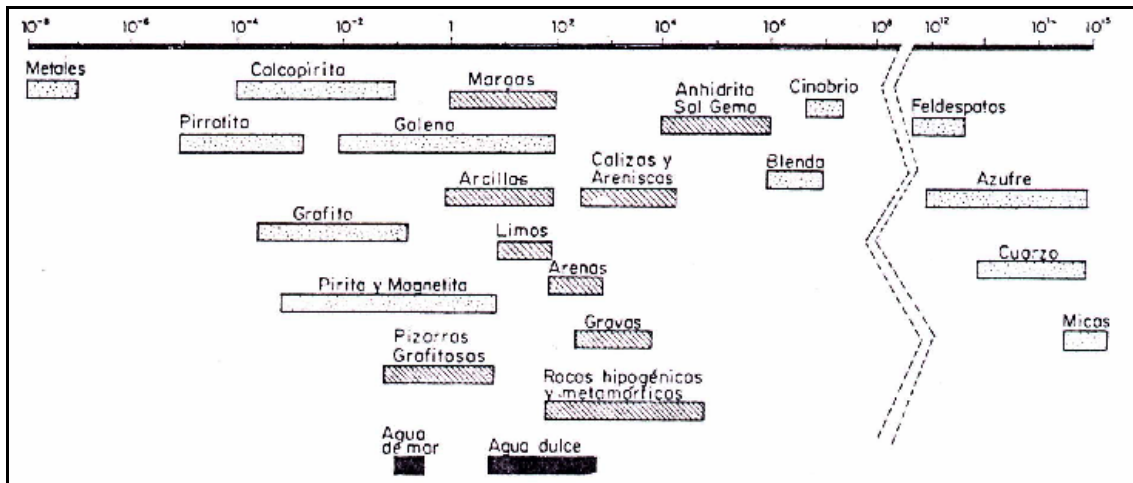


Figura 8: Límites de Resistividades de Rocas y Minerales

De igual forma, en laboratorios también se realizan investigaciones de las resistividades de materiales (concreto, madera, entre otros) con el fin de utilizar estos datos en diversas aplicaciones, como por ejemplo, en la construcción. En el caso de un enterramiento es importante conocer un dato importante en lo que se refiere a la resistividad eléctrica de los materiales, esto es el rango de resistividades de la madera.

Según el estudio realizado por la Corporación Chilena de la Madera (2003), la madera es un excelente aislador eléctrico. Sin embargo, esta relación se ve afectada por factores como el grado de saturación de agua de la madera así como el tipo de corte realizado según la dirección de la fibra de la madera. La resistividad para una madera seca puede variar 10^{14} hasta 10^{16} Ohm.m y para la madera con saturación en las fibras desde 10^3 hasta 10^4 Ohm.m (Simpson y TenWolde, 1999).

3.2.2.5.- Modalidad de Calicatas Eléctricas

Dentro de los métodos de resistividades se diferencian dos modalidades: el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) y la Calicata Eléctrica. Según Orellana (1982), los SEV tienen como finalidad la determinación de la distribución vertical de resistividades bajo el punto sondeado. Para ello se realizan una serie de mediciones de resistividades aparentes con una configuración lineal de electrodos, acrecentando las distancias entre los electrodos de corriente en cada medida para permitir la profundización de la corriente.

Con la modalidad de las calicatas eléctricas, también llamada modalidad de “perfiles eléctricos”, se busca estudiar las variaciones laterales de la resistividad del subsuelo. Esto se logra mediante el desplazamiento de uno o más electrodos con una abertura fija a lo largo de perfiles permitiendo realizar la investigación a una profundidad más o menos constante (Orellana, 1982).

Las calicatas eléctricas representan una modalidad efectiva si el objetivo de la prospección presenta un marcado contraste de resistividad respecto a la matriz donde se encuentra imbuido. Un ambiente modificado por los seres humanos, como el caso de un terreno arqueológico, es propicio para hallar este tipo de objetivos (Milson, 2003).

3.2.2.5.1.- Tipos de Calicatas Eléctricas

La diversidad de calicatas existente puede clasificarse, básicamente, en dos grupos (Orellana, 1982). En el primero de ellos, llamado Calicatas de Campo Fijo (figura 9), los electrodos que inyectan la corriente al terreno permanecen en el mismo sitio durante toda la medición. De esta manera se crea un campo eléctrico estacionario en el terreno y la exploración de resistividades se realiza mediante la

movilización de los electrodos de potencial. Este grupo lo conforman las calicatas del método de gradientes, del método Racom (de relaciones de diferencias de potencial), de las calicatas de bloques y las “Schlumberger”.

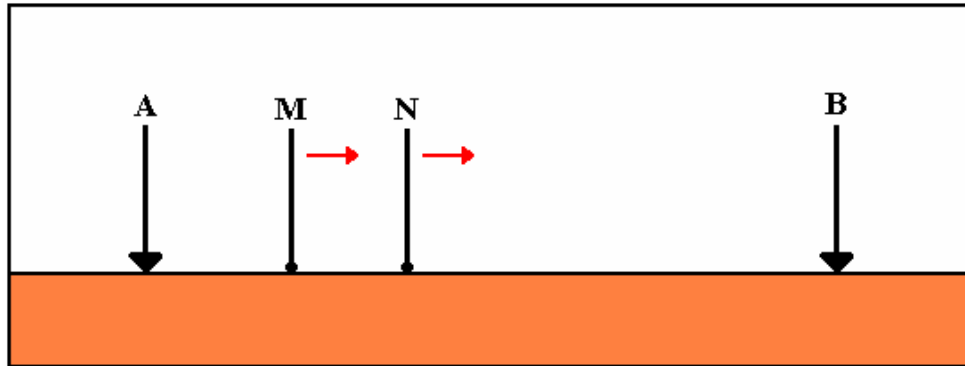


Figura 9: Calicata de Campo fijo

Las Calicatas de Dispositivo Móvil (figura 10), constituyen el segundo grupo. En estas, la configuración de cuatro electrodos se traslada sobre el perfil estudiado manteniendo sus distancias y posiciones relativas. El campo generado en el terreno es distinto para cada posición del dispositivo. Entre este tipo de calicatas se encuentran las bipolares (mono y bilaterales), las trielectródicas (simples y combinadas), las de dispositivo simétrico y las de dispositivos apantallados y de cero.

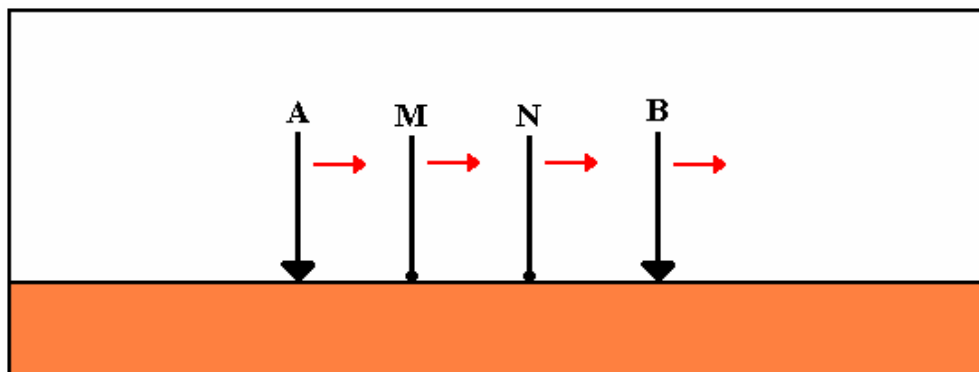


Figura 10: Calicata de Dispositivo Móvil

3.2.2.6.- Modalidad de Sondeos Eléctricos Verticales

Entre las configuraciones para la colocación de los cuatro electrodos se encuentra el arreglo de Schlumberger, denominado así en honor a Conrad Schlumberger uno de los pioneros en la utilización de métodos de resistividades. La configuración Schlumberger (figura 11) es muy utilizada tanto para la realización sondeos eléctricos verticales aunque también puede ser usada en la realización de calicatas.

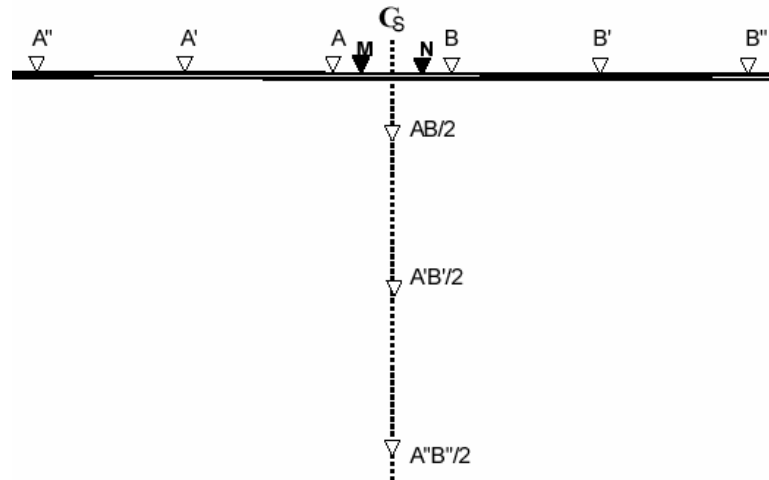


Figura 11: Arreglo de electrodos Schlumberger, técnica del sondeo (modificado de Alvarez, 2003)

En esta geometría, los cuatro electrodos se colocan de forma lineal: los dos electrodos de corriente en los extremos y los de potencial en el medio, manteniendo, ambos pares de electrodos, un centro en común. Los electrodos de potencial M y N permanecen fijos, mientras los de corriente A y B se mueven, incrementando exponencialmente la distancia al centro del arreglo y con ello la profundidad de exploración (Álvarez, 2003).

Para calcular el valor de la resistividad aparente en el arreglo Schulmberger es utilizada la fórmula siguiente:

$$\rho = \frac{\pi \Delta V}{4I} \left[\frac{AB^2 - MN^2}{MN} \right] \quad (4)$$

Un estudio experimental realizado por Aspinall y Gaffney (2001) indica que el arreglo Schlumberger es útil para la prospección con fines arqueológicos si la dirección de las estructuras es conocida.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

4.1.- Metodología de Adquisición de Datos

4.1.1.- Trabajo de Campo

El Cementerio de los Ingleses de la ciudad de Aroa en el Estado Yaracuy (figura 12), se encuentra ubicado en una terraza de génesis fluvial al pie de la Serranía de Aroa. Para el momento de la adquisición de los datos el cementerio presentaba una marcada intervención en sus condiciones ya que se habían realizado algunas modificaciones e intervenciones a las condiciones originales de este cementerio del siglo XIX. Entre estas intervenciones destacan un muro de piedra, un camino empedrado y un tanque de concreto que restringieron el perímetro del área donde se realizó la adquisición de los datos.



Figura 12: Cementerio de los Ingleses

La geometría del lugar, su área y los equipos disponibles para la prospección, determinaron en gran medida el tipo de configuración de electrodos a ser utilizada en el levantamiento de los datos. Se escogió el método Schlumberger por permitir más niveles de profundización con un espaciamiento uniforme de mediciones.

4.1.1.1.- Distribución Espacial de Perfiles de Medición

Para ubicar en el terreno la cantidad de perfiles fue necesario observar la dirección de las cabeceras y pies de las lápidas correspondientes a enterramientos de los siglos XIX y XX que aun se encuentran en el cementerio pues las secciones eléctricas se proyectaron perpendiculares a esta dirección (figura 13).



Figura 13: Levantamientos perpendiculares a las lápidas superficiales

La elección de los perfiles transversales a las tumbas se realizó de esta forma

debido a que se ha determinado que la respuesta obtenida con la configuración Schlumberger aplicada a la Arqueología se observa más definida si el arreglo de electrodos se establece perpendicular al eje mayor de la estructura en estudio (Aspinall y Gaffney, 2001).

Se consideró necesario colocar dos puntos fijos e inamovibles en el área que sirvieron como línea base a los perfiles a ser realizados perpendicularmente a ella (figura 14). A esta línea base se le midió el rumbo con una brújula. La línea fue demarcada utilizando dos estacas y una cuerda a fin de guiar la colocación de los perfiles.

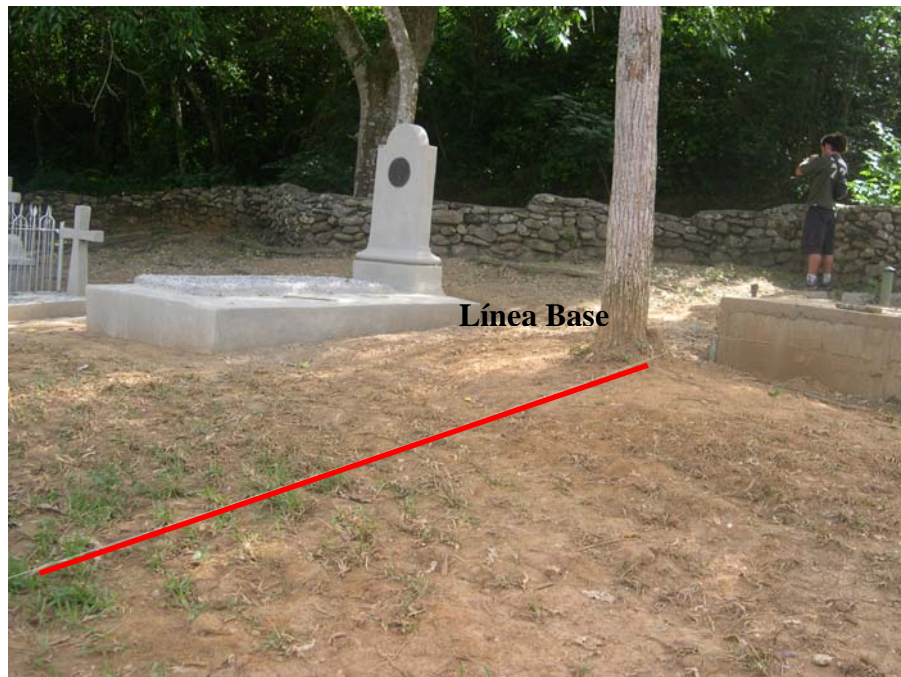


Figura 14: Trazado de Línea Base

La localización de los perfiles se realizó tomando en consideración que los mismos debían cubrir la mayor cantidad de área posible. Se establecieron los puntos de inicio en la línea guía utilizando un sistema de marcación de estacas colocadas a 1 metro de distancia.

Mediante la utilización de cuerdas, estacas y cinta métrica se colocaron las

líneas de los diferentes perfiles que fueron realizados (figura 15). Fue importante asegurar que las direcciones fueran perpendiculares a la línea base. Para confirmar la correcta perpendicularidad entre los perfiles y la línea base se realizaron mediciones con ayuda de una brújula y la cinta métrica. El primer electrodo del Perfil N°1 se colocó en la ubicación “C” (anexo 2)

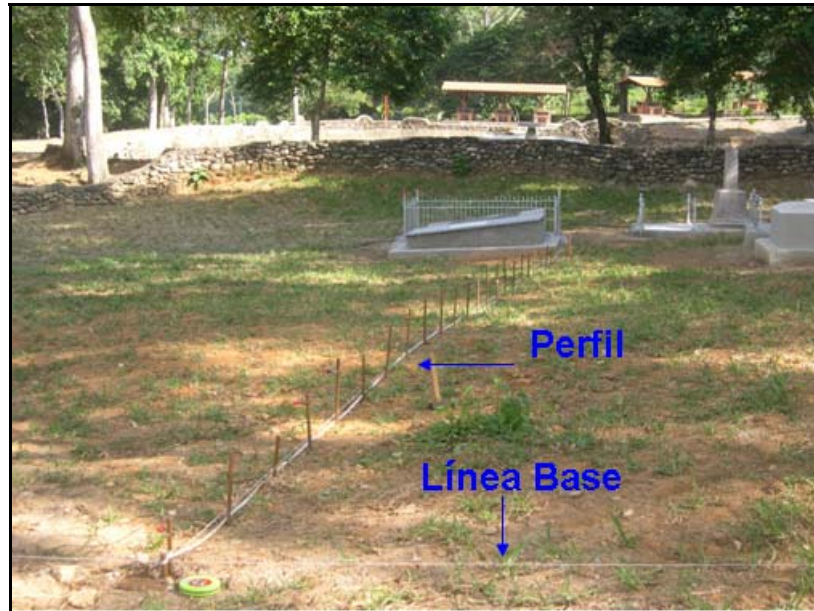


Figura 15: Ubicación espacial de los perfiles

Otra condición que se consideró para el establecimiento de los perfiles fue la característica del terreno. El Cementerio de los Ingleses se encuentra ubicado al pie de la serranía de Aroa, esto hace que el área de estudio presente una ligera pendiente. Fue necesario, por lo tanto, trazar los perfiles lo más ajustado posible a las horizontales del plano de pendiente que permitiese el hecho de no contar con un equipo de medición topográfica.

4.1.1.2.- Equipo Utilizado para la Medición en Campo

La selección del equipo usado en las mediciones de campo se realizó de forma tal que se asegurara la confiabilidad de los datos. Para ello se requirieron 2

multímetros digitales que aseguraran lecturas confiables de la intensidad de corriente y el voltaje. El generador eléctrico empleado proporcionaba estabilidad en la corriente de alimentación de la fuente.

La fuente que se utilizó en las mediciones contaba con una escala analógica de medición de la corriente de salida (figura 16). Sin embargo, la corriente generada mantenía un valor estable y, además, las mediciones fueron controladas por el amperímetro digital.

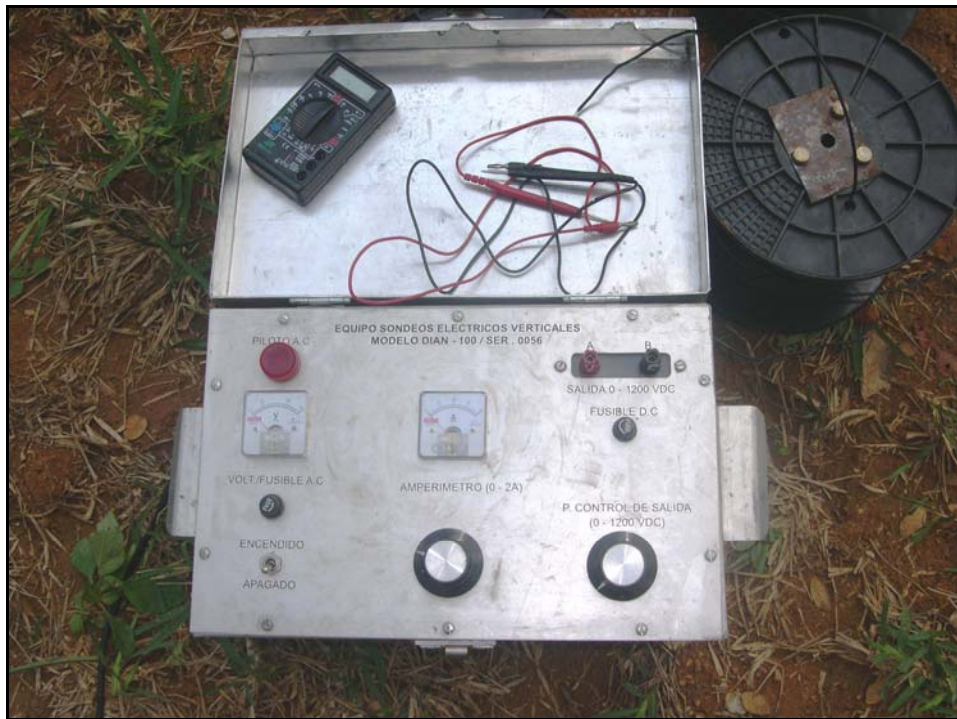


Figura 16: Fuente de Corriente Directa

En síntesis, el equipo utilizado para llevar a cabo la recolección de datos fue el siguiente:

- Fuente DIAN 0038: 2,5 amperios de salida máxima con resistencia mínima y 1800 voltios de salida máxima con resistencia mínima
- 4 cables

- Barras de aterramiento de acero recubierto de cobre de ½ pulgada
- 2 multímetros DT-830B
- Generador de electricidad alterna
- Estacas de madera
- Cuerdas
- Cinta métrica
- Libreta de campo y lápiz

4.1.1.3.- Metodología de Medición en Campo

Para la medición de los datos se ubicó el equipo instrumental en una zona que permitiera que los cables usados para la medición se movieran libremente para facilitar el cambio de los mismos en los diferentes electrodos.

El generador eléctrico fue ubicado en la zona exterior del cementerio y se extendió el cable hasta la fuente. Fue conectado un voltímetro en paralelo con los electrodos de voltaje para realizar las lecturas de las diferencias de potencial y un amperímetro en serie con la fuente para controlar la intensidad de corriente enviada por la misma.

Es importante señalar que se establecieron las condiciones requeridas para evitar las fugas de corriente del circuito hacia el terreno pues las mismas podrían influir en las mediciones realizadas. Para ello, la fuente y el generador fueron colocados sobre material aislante (maderas) con la finalidad de evitar su contacto con el terreno. Además, fue necesario realizar la revisión periódica de cables y contactos.

El primer electrodo de cada perfil se colocó a una distancia variable de la línea base. Esto debido a la existencia del camino empedrado que cruza el cementerio. Una vez colocado este primer electrodo del perfil se procedía, mediante la ayuda de la cinta métrica y la cuerda guía del perfil, a colocar los demás electrodos a una

distancia de 0,5 m entre ellos. Un ejemplo de ello se puede observar en la ilustración (figura 17)



Figura 17: Ubicación de los equipos durante las mediciones

Se tomó la decisión de medir como primer perfil el más cercano al tanque de agua. Este fue nombrado como Ph1. Los electrodos fueron colocados en cada línea de perfil a una distancia de 0,5 m entre ellos. Los electrodos fueron numerados para llevar un mejor control de la geometría de arreglo.

La adquisición se realizó por niveles de penetración y con la modalidad de calicata eléctrica. En el Nivel 1 de cada perfil, fueron conectados los electrodos 1, 2, 3 y 4 que correspondían a los electrodos A, M, N y B, respectivamente (figura 18). Se procedió a poner en funcionamiento el generador. En ese momento se tomó la medida del voltaje del suelo sin ingresarle corriente para calcular las llamadas “corrientes parásitas”.

Se encendió la fuente de corriente y se permitió una salida de 0,1 amperios leídos en el amperímetro conectado en serie a la misma. Se tomaron lecturas de las medidas del voltaje y la corriente. Estas fueron registradas en una tabla dispuesta para tal fin e inmediatamente se bajó el interruptor de corriente y se apagó la fuente. Es importante destacar que, entre cada medida y la siguiente, se esperó la descarga del suelo para evitar el efecto producido por la carga generada al introducir la corriente eléctrica.

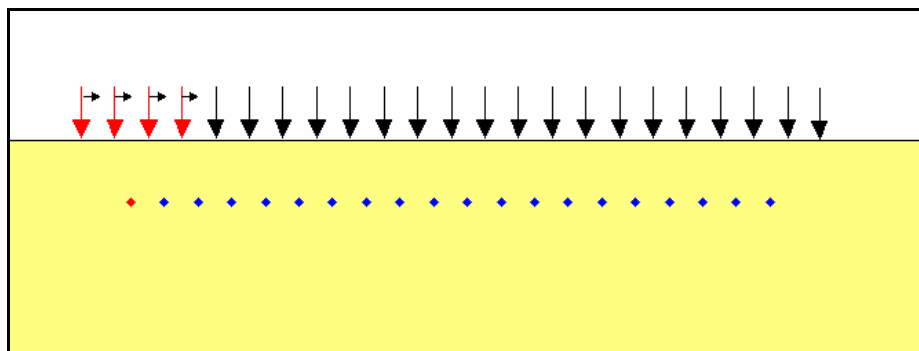


Figura 18: Esquema del primer nivel de mediciones

La siguiente medida en el nivel correspondió a los electrodos 2, 3, 4 y 5 y así sucesivamente. Los cables se desplazaron a lo largo del tendido hasta que el electrodo B correspondió a la última posición del perfil.

Para el siguiente nivel (Nivel 2) se extendía en 0,5 m las distancias entre los electrodos AM y NB quedando la primera medición en la configuración formada por los electrodos 1, 3, 4 y 6 (figura 19). Igualmente, esta configuración se desarrolló a lo largo del perfil hasta que el electrodo B coincidiera con el último.

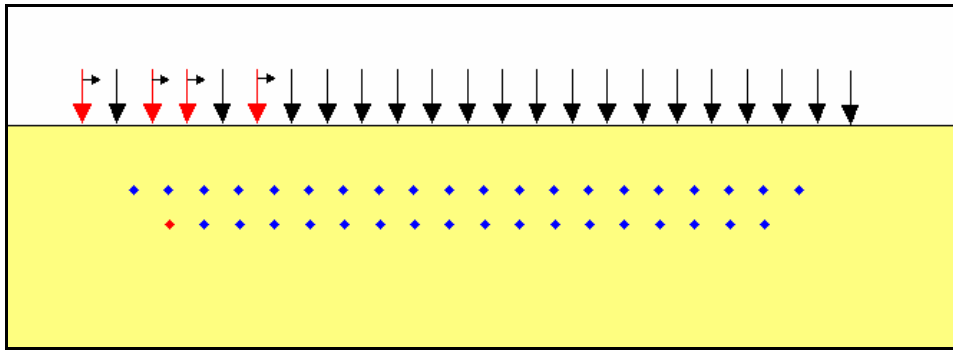


Figura 19: Esquema del segundo nivel de mediciones

En los niveles 3 y 4 se volvieron a extender las distancias AM y NB en 0,5 metros por vez. El Nivel 4 quedó configurado, para la primera medida, por los electrodos 1, 4, 5 y 8 (figura 20) y el Nivel 5 por los electrodos 1, 5, 6 y 10.

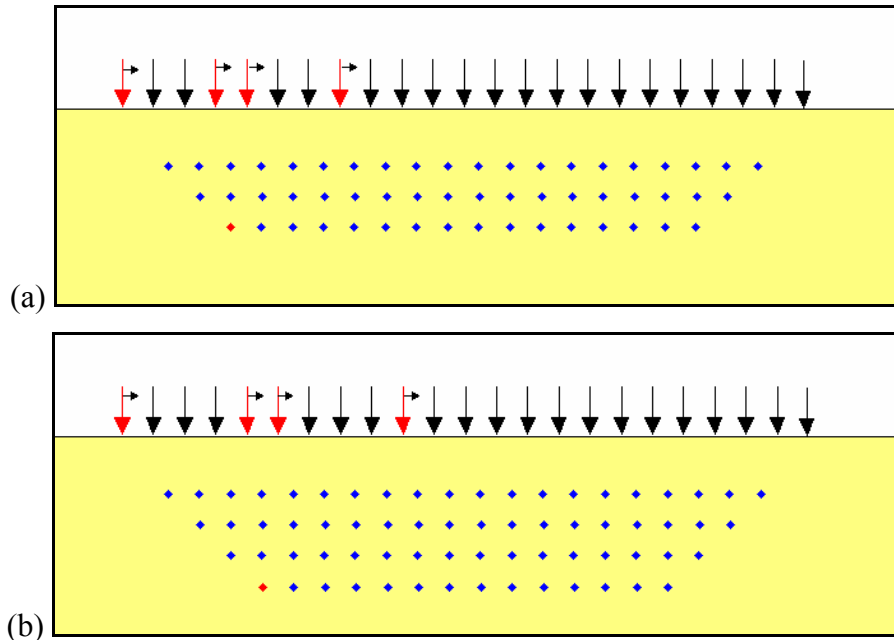


Figura 20: Esquema del tercer (a) y cuarto (b) nivel de mediciones

4.1.1.4.- Recolección de Muestras

Para realizar un modelado de las condiciones de resistividad del suelo del cementerio, se consideró necesario realizar la recolección de algunas muestras de

tierra a diferentes profundidades. La finalidad de ello era la medición en laboratorio de las muestras tomadas y el estudio del comportamiento de las resistividades.

En las adyacencias del área de estudio, fue posible realizar dicha recolección de muestras pues existe un corte del terreno donde existe una acequia (figura 21) en uno de los lados de la terraza donde se halla el cementerio.



Figura 21: Corte del terreno y acequia donde se tomaron las muestras

Para la toma de las muestras se procedió a eliminar alrededor de 20 cm de la tierra expuesta en el corte para evitar que las mismas se encontraran contaminadas. Posteriormente, mediante la ayuda de una cinta métrica se establecieron los puntos de recolección a 0,1 m, 0,5 m, 1 m y 1,5 m de profundidad (máxima profundidad de recolección permitida por el corte).

Las muestras fueron tomadas con el uso del portanúcleo, una paleta y colocadas en bolsas plásticas perfectamente selladas. Cada muestra fue identificada claramente con el valor de profundidad correspondiente.

4.1.2.- Trabajo de Laboratorio

4.1.2.1.- Equipo Utilizado para la Medición de Muestras

La medición de las resistividades en los núcleos, conformados en moldes a partir de muestras de suelo, fue llevado a cabo en el Laboratorio del Departamento de Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, en Caracas. El mismo cuenta con todos los equipos y facilidades requeridas para realizar este tipo de análisis de muestras.

El equipo empleado para la medición de las resistividades de las muestras de suelo del cementerio fue el siguiente (figura 22).

- Fuente de corriente
- Muestras de suelo
- Multímetros
- Portanúcleos
- Cables y conectores
- Tubos de PVC
- Cautín
- Cables de electrodos
- Regla graduada
- Solución saturada de sulfato de cobre
- Libreta de campo y lápiz



Figura 22: Equipo usado durante la medición de resistividades en laboratorio

4.1.2.2.- Metodología de Medición de Núcleos

Para poder realizar las mediciones de las muestras fue necesario preparar los tubos de PVC, de 0,0225 m de radio, que las contendrían. Para ello se cortaron los tubos con una longitud de 0,14 m (mayor a 3 veces el diámetro de cada tubo) y se procedió a marcar las líneas divisorias del tubo en tercios. Posteriormente, sobre estas líneas y con ayuda de un cauterizador se produjeron perforaciones en los tubos con la finalidad de colocar los alambres que fungieron como electrodos en la medición de la diferencia de potencial (figura 23).

Luego, se introdujeron los cables por los agujeros de forma que se amoldaron a las circunferencias internas de los tubos y se impregnaron con una solución saturada de sulfato de cobre. Posteriormente, fue introducida la muestra recolectada del terreno

y de esta forma quedaron completamente armados los núcleos.

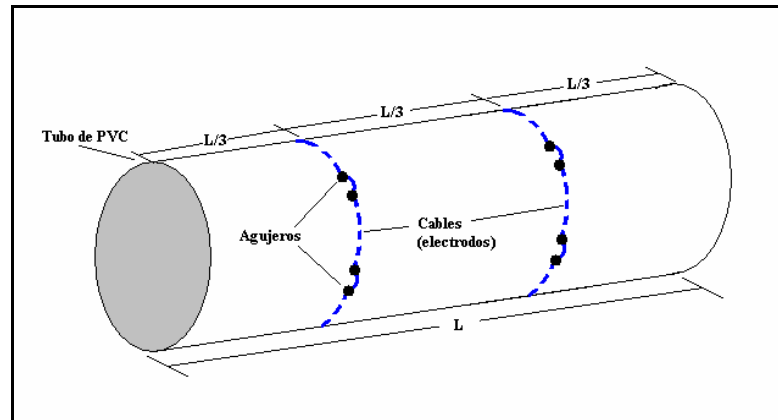


Figura 23: Dispositivo para medición en laboratorio

Para el ensamblaje del circuito se procedió a colocar el portanúcleo con sus dos electrodos conectados a la fuente de corriente. En paralelo con este circuito se colocó un amperímetro. Se colocaron los núcleos en el portanúcleos asegurando el contacto correcto con los electrodos de corriente. Fue utilizado un voltímetro conectado a los electrodos de voltaje en paralelo con el núcleo. (figura 24).



Figura 24: Medición de resistividades

Una vez colocado el núcleo en el circuito de medición, se procedió a encender

la fuente y realizar la lectura correspondiente. Para cada muestra se realizaron diez mediciones de la corriente empleada y el voltaje. Esto con la finalidad de obtener un promedio de las mismas que sería utilizado como resistividad del suelo a esa profundidad.

4.2. - Metodología de Procesamiento De Datos

Para realizar el procesamiento de los datos fue necesario tener un modelo del comportamiento del suelo en el cementerio. Para ello se procedió, a estudiar el comportamiento de las resistividades en los núcleos asociados a las diferentes profundidades.

4.2.1.- Procesamiento de Ensayos de Laboratorio

Los datos de las mediciones de voltaje al inyectar una corriente a cada núcleo fueron llevados a una hoja de cálculo donde se procedió a calcular la resistividad de cada medida, mediante la fórmula:

$$\rho = \frac{A}{L} \frac{\Delta V}{I} \quad (14)$$

En donde, (I) es la corriente inyectada, (ΔV) es el voltaje medido, (L) es la distancia entre electrodos de potencial y (A) corresponde al área de la sección transversal.

Posteriormente se calculó la media aritmética para los estos valores calculados para cada núcleo y se generó una grafica de resistividades versus profundidad de recolección de la muestra.

4.2.2.- Procesamiento de Datos de Campo

4.2.2.1.- Cálculo de Resistividades Aparentes y Perfiles

Con los datos obtenidos del trabajo de campo (corriente inyectada al terreno, voltaje parásito y voltaje de la lectura con corriente) se realizó una hoja de cálculo con el programa Microsoft Excel 2003, que permitió calcular las resistividades aparentes para cada medida (en un archivo .xls). Para ello se usó la fórmula (8) que corresponde a la configuración Schlumberger.

$$\rho = \frac{V\pi}{4I} \left(\frac{AB^2 - MN^2}{MN} \right) \quad (15)$$

Posteriormente se llevaron los datos de los 13 perfiles con la misma hoja de cálculo a una gráfica de distancias versus resistividades aparentes con la finalidad de observar el comportamiento de dichas resistividades a lo largo de cada perfil.

4.2.2.2.- Mapa de Tipos de Curvas

Para el análisis inicial de los datos, se llevaron los valores de cada sondeo de los diferentes perfiles a una hoja de cálculo Microsoft Excel (versión 2003) para calcular los valores de resistividades aparentes calculados para cada AB/2. Utilizando la opción de gráficos de dicho programa, se agruparon las resistividades y aperturas de AB/2 generadas en cada perfil y se realizó un modelo de los tipos de curvas presentes en el mismo. Como ejemplo se observa el caso del Perfil N° 5 (figura 25)

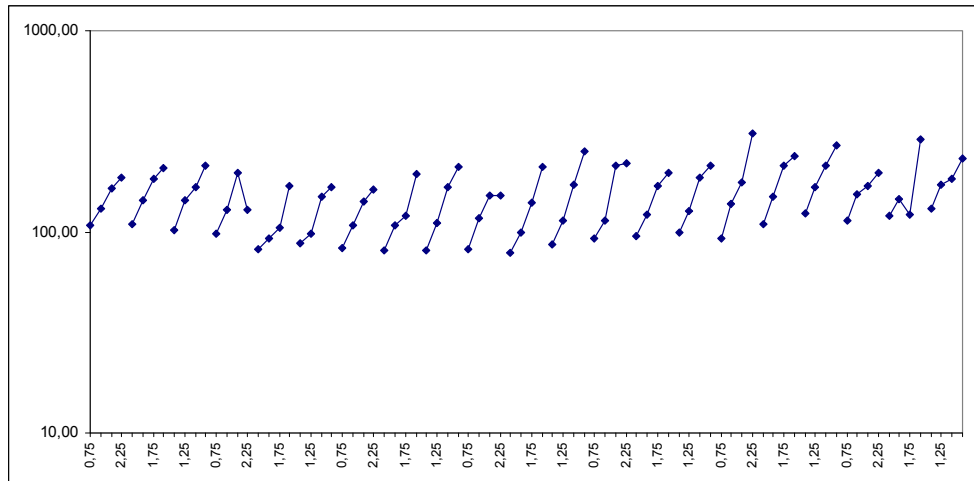


Figura 25: Perfil de tipo de curvas. Perfil N°5

Posteriormente y utilizando la herramienta computacional Surfer (versión 8.0) se ubicaron las imágenes de los diferentes perfiles a las posiciones relativas que presentaron en el área de estudio. De este modelo se pretendió realizar un análisis cualitativo del comportamiento de los diferentes tipos de curvas en el Cementerio de los Ingleses.

4.2.2.3.- Generación de Mapas de Isoresistividades Apparentes

Se establecieron cuatro niveles de profundidad basados en la distancia $AB/2$ de cada perfil. Estos datos se recopilaban en los diferentes perfiles de resistividad y se establecieron 4 hojas de cálculo (con formato .xls) nuevas para poder separar un nivel del siguiente. El arreglo de datos fue de 3 columnas con valores que correspondían a la distancia del punto sondeado respecto a la línea base (valor X), la distancia entre el punto A de la línea base y el perfil del punto sondeado en cuestión (valor Y) y el valor de la resistividad aparente medida en dicho punto (ρ).

Utilizando el programa para gráficos Surfer 8, Se convirtieron los archivos .xls a formato .dat (que utiliza dicho programa) y se generaron 4 mallados usando para ello la opción presente de interpolación lineal por el método de interpolación de

la vecindad cercana (en inglés, “Nearest Neighbor”) con una geometría que establecía una separación de 0.5 entre las líneas tanto en la dirección del eje X y 1 m en la dirección del eje Y. Los valores de separación entre líneas corresponden a las distancias entre las filas y las columnas adyacentes. Con este procedimiento se crearon 4 archivos .grd que fueron la base de los mapas de resistividades.

Con cada uno de los archivos .grd se graficó, usando la opción de mapas de contorno, un mapa donde se observaron las curvas de iso-resistividades aparentes, generadas por las mediciones realizadas, para cada nivel de $AB/2$. A cada mapa de iso-resistividades se superpuso uno generado con el mismo archivo .grd pero usando la opción de mapas de ubicación. Esto se hizo con la finalidad de poder ubicar el conjunto de perfiles y puntos de sondeo que generó cada anomalía presente en el mapa de iso-resistividades.

4.2.2.4.- Generación de Modelos de Respuestas de Resistividades Aparentes

Llegado a este punto del procesamiento se realizaron modelos, con el uso de algunos programas existentes, de las formas de resistividades aparentes que se pudieran generar al realizar un perfil de calicata Schlumberger sobre un objeto de sección transversal cuadrada de 0.8 metros de lado. Para ello se utilizó el programa Res2DMod en su versión 3.01.

El programa se basa en el modelado del objeto en estudio en un mallado que simula el subsuelo. En él se establece el contraste entre las diferentes resistividades reales (del objeto y de la matriz donde se encuentra inmerso). Posteriormente a la ejecución de un algoritmo matemático se genera la respuesta dada de resistividades aparentes según una geometría de adquisición (Wenner, Schlumberger, Dipolo-Dipolo, entre otras).

Con este modelado se compararon las respuestas generadas en las herramientas computacionales con las obtenidas durante el trabajo de campo. Sin embargo, los programas fueron diseñados en términos de estudio de modelos geológicos y que no se adaptan a escalas tan pequeñas como un levantamiento con fines arqueológicos.

También se utilizó el programa Res3DMod (versión 2.0) para la comprobar las respuestas generadas por un objeto de una sección longitudinal de 2 metros de largo por 0.8 de ancho. Este procedimiento se realizó para poder observar el comportamiento horizontal de las resistividades aparentes que serían medidas en las condiciones anteriormente indicadas.

4.2.2.5.- Cálculo de Resistividades Verdaderas

Como el diseño de las mediciones de los diferentes perfiles se realizó de tal forma que el punto medio de cada tétrada de electrodos se ubicara en el mismo punto sobre el terreno para cada nivel de $AB/2$, se pudo considerar cada uno de estos centros como un SEV individual.

Esto permitió, tomando en consideración la ubicación en los mapas de resistividades aparentes, crear mapas de tipos de curvas y perfiles geoelectricos y ubicar las zonas donde se observaran cambios laterales de resistividades evidenciados por cierres y cambios en el gradiente. En cada perfil se desecharon los tres primeros y tres últimos puntos de sondeo pues en ellos no poseían la cantidad de 4 distancias de $AB/2$.

Para el modelado se utilizó una hoja de cálculo, diseñada en Microsoft Excel por el Ing. José Cavada, profesor del Departamento de Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, y que, según consta en la descripción realizada por el autor “calcula valores de resistividad aparente para

dispositivo Schlumberger usando un filtro optimizado de 19 coeficientes, obtenido por D. Guptasarma (1982). Como dato se suministran los espesores, las resistividades verdaderas del perfil geoelectrico y las distancias AB/2 donde se desea conocer la resistividad aparente. La subrutina calcula las resistividades aparentes con un error relativo del orden 10^{-5} .

El cálculo del error generado en cada modelo de SEV fue establecido utilizando el programa IPI2Win en su versión 3.0 diseñado para la interpretación de curvas 1D con la posibilidad de relacionar estas en un perfil geoelectrico. Se estableció un límite del 10% de error para cada SEV. Los datos usados fueron los valores de espesores y resistividades reales establecidos en la hoja de cálculo del Ing. Cavada. Es importante resaltar que se estableció un máximo de 3 capas en la interpretación debido a que solo se contó con cuatro valores de resistividades y de AB/2 por sondeo eléctrico vertical.

4.2.2.6.- Perfiles Eléctricos

Los resultados de las interpretaciones realizadas en los SEV fueron agrupados en la misma herramienta computacional IPI2Win y se generaron los diferentes perfiles geoelectricos. Estos perfiles fueron establecidos usando un máximo de 10 SEV debido a que el programa no permite relacionar un mayor número de sondeos.

A cada uno de los perfiles se le estableció el mismo rango de valores en la sección de resistividades y un máximo nivel de profundidad de 1,7 m .

CÁPITULO V

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1.- Resultados de Ensayos de Laboratorio

Con los valores de corrientes y voltajes obtenidos en el laboratorio, se efectuó el cálculo de las resistividades de las 4 muestras. En el siguiente cuadro (tabla 1) se muestran las resistividades calculadas en las mediciones para cada uno de los núcleos procesados.

Tabla 1: Promedio de resistividades

| | Corriente (a) | Voltaje (v) | Resistividad (ohm.m) | Resistividad Promedio (ohm.m) |
|-------------------|---------------|-------------|----------------------|-------------------------------|
| Núcleo #1 (0.1 m) | 0.05 | 398.00 | 311.21 | 334.19 |
| | 0.04 | 392.00 | 311.34 | |
| | 0.05 | 426.00 | 313.02 | |
| | 0.04 | 391.00 | 326.69 | |
| | 0.05 | 430.00 | 328.95 | |
| | 0.05 | 451.00 | 347.27 | |
| | 0.04 | 430.00 | 348.57 | |
| | 0.05 | 459.00 | 348.87 | |
| | 0.04 | 440.00 | 351.83 | |
| Núcleo #2 (0.5 m) | 0.03 | 270.00 | 306.84 | 316.14 |
| | 0.03 | 266.00 | 307.23 | |
| | 0.03 | 251.00 | 311.27 | |
| | 0.03 | 258.00 | 312.28 | |
| | 0.03 | 253.00 | 315.96 | |
| | 0.03 | 257.00 | 316.49 | |
| | 0.03 | 265.00 | 319.65 | |
| | 0.03 | 267.00 | 322.07 | |
| | 0.03 | 271.00 | 323.58 | |
| Núcleo #3 (1 m) | 0.04 | 267.00 | 254.35 | 258.76 |
| | 0.04 | 259.00 | 256.41 | |
| | 0.04 | 270.00 | 257.21 | |
| | 0.04 | 257.00 | 257.31 | |
| | 0.03 | 254.00 | 258.71 | |
| | 0.04 | 260.00 | 258.85 | |
| | 0.04 | 268.00 | 260.22 | |
| | 0.04 | 273.00 | 260.77 | |
| | 0.03 | 257.00 | 261.76 | |
| Núcleo #4 (1.5 m) | 0.03 | 258.00 | 262.03 | 98.30 |
| | 0.08 | 207.00 | 90.32 | |
| | 0.08 | 207.00 | 92.26 | |
| | 0.08 | 219.00 | 92.70 | |
| | 0.08 | 198.00 | 92.81 | |
| | 0.07 | 192.00 | 94.64 | |
| | 0.07 | 198.00 | 98.15 | |
| | 0.07 | 207.00 | 102.75 | |
| | 0.07 | 205.00 | 104.85 | |
| 0.07 | 212.00 | 106.89 | | |
| 0.07 | 221.00 | 107.59 | | |

Si se grafican estos valores (figura 26), se puede observar que la resistividad disminuye con la profundidad. Este comportamiento en medios permeables se considera normal pues las aguas se infiltran por los intersticios mediante la gravedad. En los niveles superiores, las resistividades tienden a ser mayores debido a la evaporación producida por el sol.

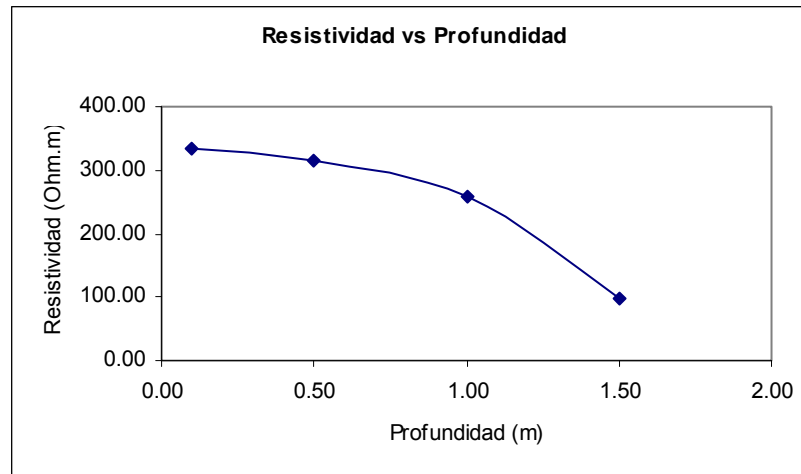


Figura 26: Gráfico de resistividades vs profundidad

5.2.- Mapa de Tipos de Curvas

Al realizar un mapa de los tipos de curva en cada punto de sondeo donde se alcanzaron las cuatro mediciones para los diferentes $AB/2$, se pueden observar algunos patrones y variaciones de dichas curvas respecto a las presentadas en las adyacencias.

Realizando el análisis de los trece perfiles que integran este trabajo, se obtuvo un mapa donde se indica las anomalías más resaltantes según sus tipos de curvas y valores límites de las mismas (figura 29).

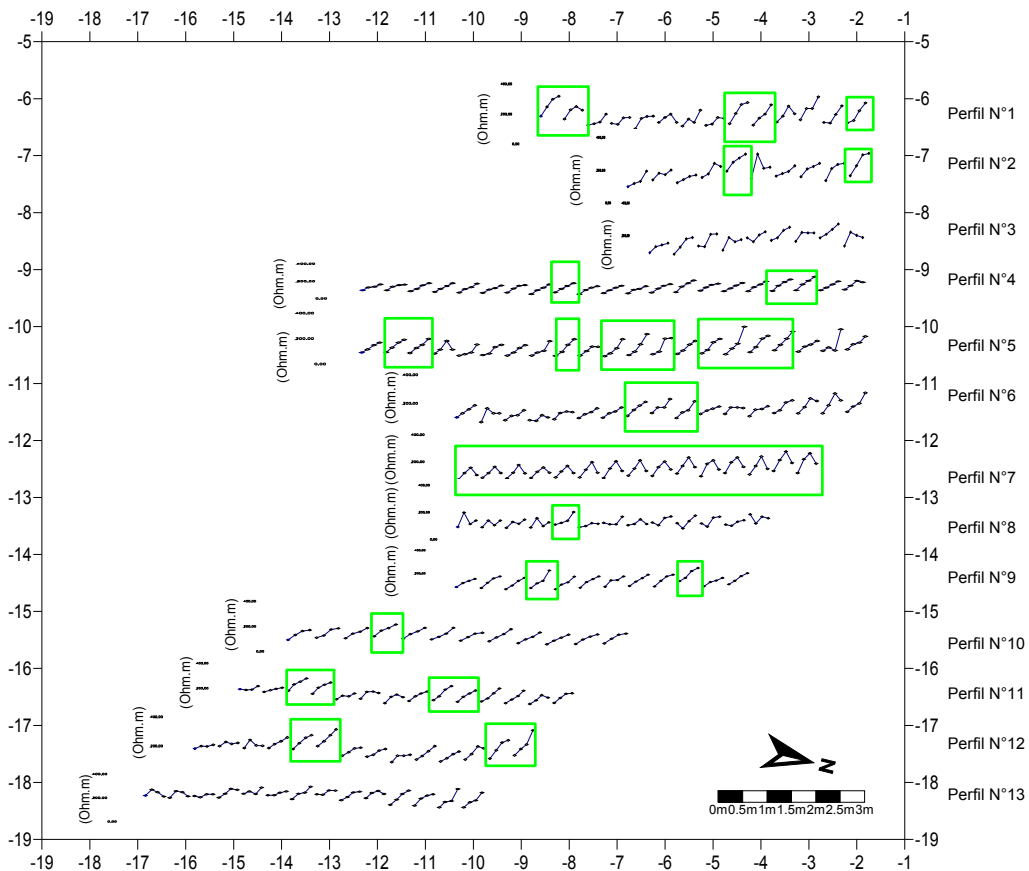


Figura 29: Mapa de tipo de curvas del área de estudio

En la figura anterior (figura 29) se observa que el Perfil N°7 presenta la particularidad de que para cada $AB/2$ igual a 1,75 m la curva del sondeo alcanza su máximo y luego desciende en $AB/2 = 2,25$ m . Esto sucede en todas las curvas a lo largo de dicho perfil y, aunque en casos aislados se observa en algunos puntos de otros perfiles, este patrón no se repite de manera consistente en aquellos.

En el mapa de curvas se observa que las curvas son ascendentes en casi su totalidad. Sin embargo, los resultados de laboratorio indican que la resistividad desciende a mayor profundidad. Esta situación puede deberse a las condiciones climáticas (evaporación de la lluvia) y de drenaje subsuperficial en las que se encontraba el área de estudio al momento del levantamiento de los datos. El muestreo de los SEV es el resultado del volumen de suelo bañado por la corriente eléctrica

mientras que los valores obtenidos en laboratorio reflejan el muestreo de la corriente que se inyecta a una pequeña cantidad de tierra. Así que los resultados de laboratorio sirven para orientar la asignación de las resistividades al momento de realizar el modelo.

5.3.- Mapas de Resistividades Aparentes

Al realizar el procesamiento de los datos de campo se obtuvieron 4 mapas de iso-resistividades para cada una de las distancias $AB/2$ (0,75 m, 1,25 m, 1,75 m y 2,25 m). La geometría de adquisición tiene forma regular y el espaciado entre los puntos es de 0,5 m lo que hizo que el procesamiento de las resistividades no ameritara ningún tipo de filtrado para resaltar las anomalías producidas por elementos enterrados.

5.3.1.- Mapa de Resistividades Aparentes para 0,75 m de $AB/2$

En la siguiente imagen (figura 30) se observa el Mapa de Iso-resistividades para $AB/2 = 0,75$ m. Los valores varían, aproximadamente, entre 70 y 300 Ohm.m . En la zona central del mapa se observa una zona de bajas resistividades con dos mínimos que presentan valores de 80 Ohm.m . Al occidente y noroccidente del mapa se observan dos máximos locales de 190 y 200 Ohm.m ubicados a 9 m y 5 m de la línea base respectivamente. El primer máximo presenta un gradiente de 120 Ohm.m/m mientras que el gradiente de la segunda anomalía es de 50 Ohm.m/m

Hacia el norte del cementerio, se observa una anomalía que presenta tres altos resistivos del orden de 170 Ohm.m . En esta región se observa una tendencia noreste-suroeste de las líneas de iso-resistividad. El máximo gradiente que se observa en esta región corresponde a 80 Ohm.m/m.

Al sureste, se observa una zona anómala presenta valores de resistividades alrededor de los 240 Ohm.m .

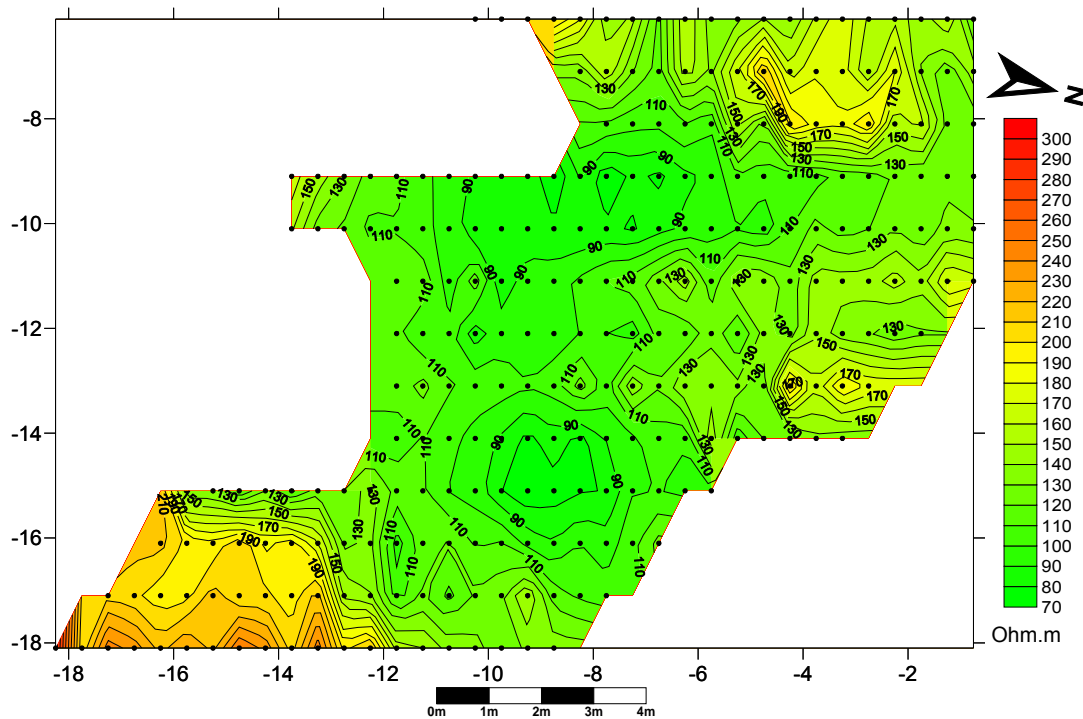


Figura 30: Mapa de resistividades aparentes $AB/2 = 0,75 \text{ m}$

5.3.2.- Mapa de Resistividades Aparentes para 1,25 m de $AB/2$

El mapa Total (figura 31) muestra la distribución de isoresistividades para el $AB/2$ de 1,25 m . Las anomalías de altas resistividades del primer nivel presentan continuidad en este segundo mapa de profundidad. Se nota una mayor definición de en las zonas anómalas pues las respuestas se comienzan a diferenciar de forma individual.

La anomalía oeste incrementa su gradiente a 110 Ohm.m/m . La del noroeste se separa en dos máximos, teniendo el mayor un valor de 300 Ohm.m y un gradiente 100 Ohm.m/m . Su longitud es de aproximadamente 1,5 m y su anchura 2 m .

La anomalía de la región centro-norte ahora presenta una anchura de un metro y dos máximos locales: uno de 200 Ohm.m y otro de 230 Ohm.m . La región anómala

del sureste ahora se define mejor presentando dos zonas de gradientes casi perpendiculares entre si de 140 Ohm.m/m

En este mapa, aparecen nuevas anomalías representativas. Las primeras de ellas ubicadas al sur con valores de 170 Ohm.m y 200 Ohm.m y al oriente con un máximo de 190 Ohm.m .

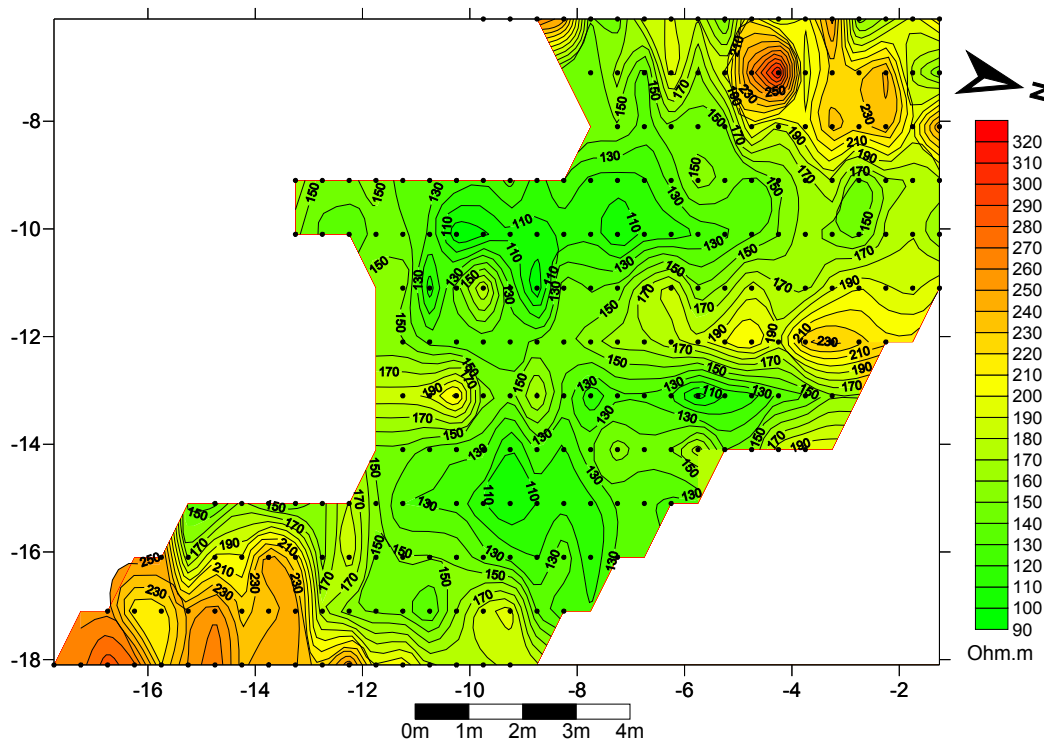


Figura 31: Mapa total de resistividades $AB/2 = 1,25$ m

5.3.3.- Mapa de Resistividades Aparentes para 1,75 m de $AB/2$

En el mapa de resistividades totales para este nivel (figura 32), se puede observar que las anomalías presentes en los niveles precedentes se mantienen. Además presentan una mayor definición de sus bordes y la dirección de sus ejes mayores se observan cercanas al rumbo este-oeste.

A una distancia de 12 m sobre la línea base, se define una anomalía alargada casi con rumbo norte-sur. La misma presenta una longitud de aproximadamente 7 metros y su máximo se encuentra al norte con un valor en el orden de los 280 Ohm.m

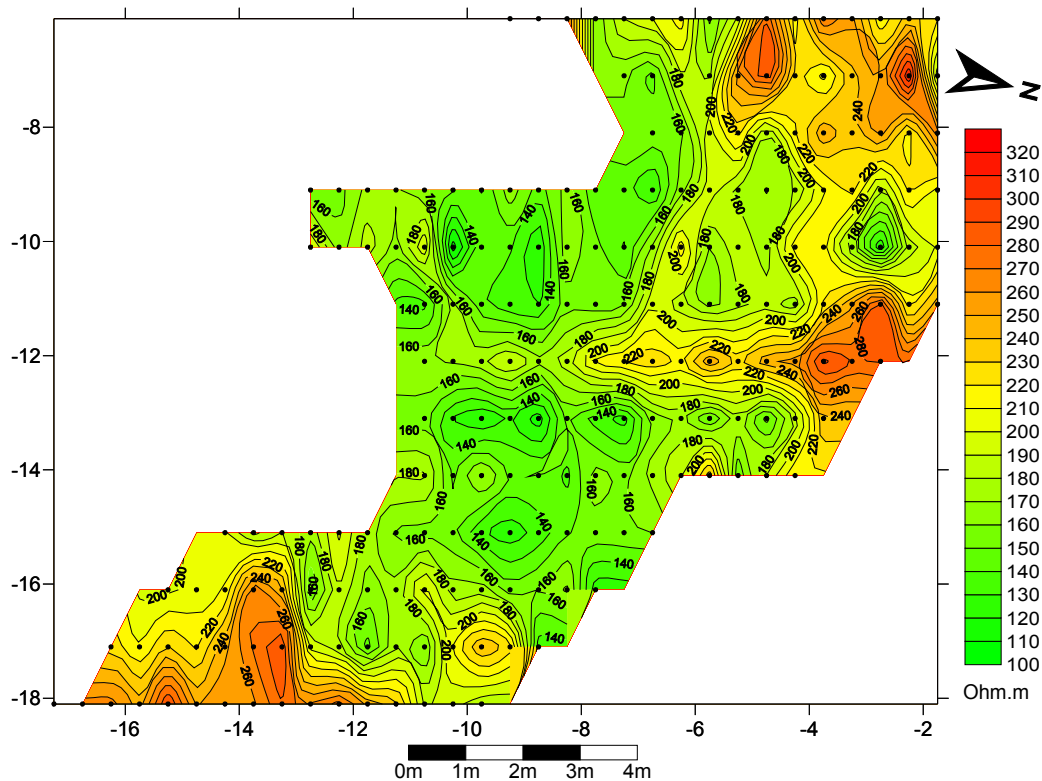


Figura 32: Mapa total de resistividades $AB/2 = 1,75$ m

5.3.4.- Mapa de Resistividades Aparentes para 2,25 m de $AB/2$

Al observar el mapa de este nivel (figura 33) con los anteriores, se observa continuidad de las anomalías de los niveles anteriores. Sin embargo, existen algunas diferencias. La alargada anomalía que se presentaba en dirección norte-sur a 12 m sobre la línea base ya no se observa. A oeste de este lugar (entre los perfiles a 9 m y 11 m tendidos perpendiculares a la línea base) se encuentran algunos máximos que presentan forma de cierres circulares o alargados en dirección aproximada este-oeste.

A una distancia de 14 metros medida sobre la línea base y a una distancia de 9 m de esta, se presenta una anomalía también con dirección preferencial este-oeste

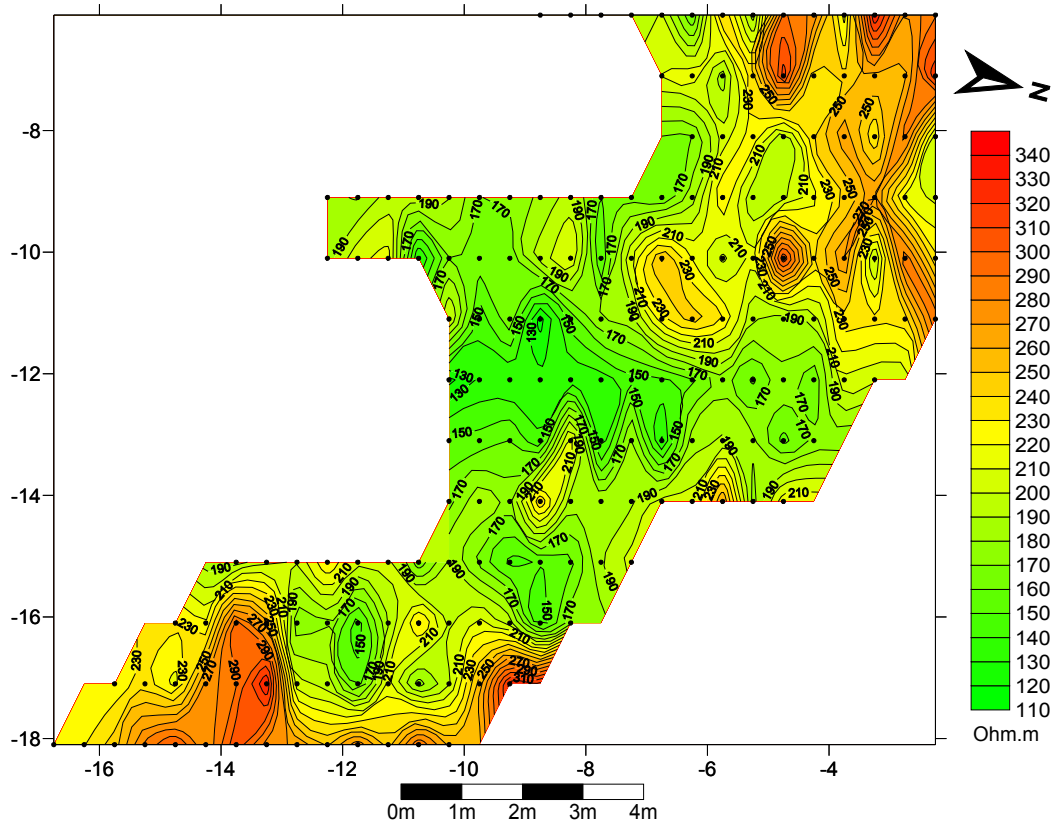


Figura 33: Mapa total de resistividades $AB/2 = 2,25$ m

5.3.5.- Grafica 3D de Resistividades Aparentes

El modelado 3D (figura 34) realizado en el programa Surfer (versión 8.0), se presenta como una forma de relacionar las anomalías, su forma, su dirección y su intensidad en los cuatro mapas de isoresistividades aparentes. En el mismo se observa que para la primera apertura de $AB/2$ las anomalías no se encuentran claramente definidas y más bien se observan como zonas de altos de resistividades que se observan como una superposición de respuestas de los diferentes objetos enterrados en el ámbito del cementerio.

A partir del segundo nivel de profundidad ($AB/2 = 1,25$ m) y en los niveles inferiores ($AB/2 = 1,75$ m y $AB/2 = 2,25$ m) estas zonas anómalas comienzan a definirse, lo que permite diferenciar sus dimensiones y los rumbos preferentes que presentan.

Es importante recalcar que en las cercanías a cada anomalía, los gradientes se incrementan presentando de esta manera los contrastes laterales de resistividades buscados. Este aumento en los gradientes puede variar dependiendo del contraste de resistividades entre el cuerpo anómalo y la matriz donde se halla inmerso (suelo del cementerio) así como también de las condiciones del entorno donde se realizó la medición.

La profundidad del enterramiento es otro factor que influye directamente en la medición de la respuesta de resistividades. Todas estas condiciones se tomaron en cuenta al momento de realizar la interpretación de las resistividades en el cementerio.

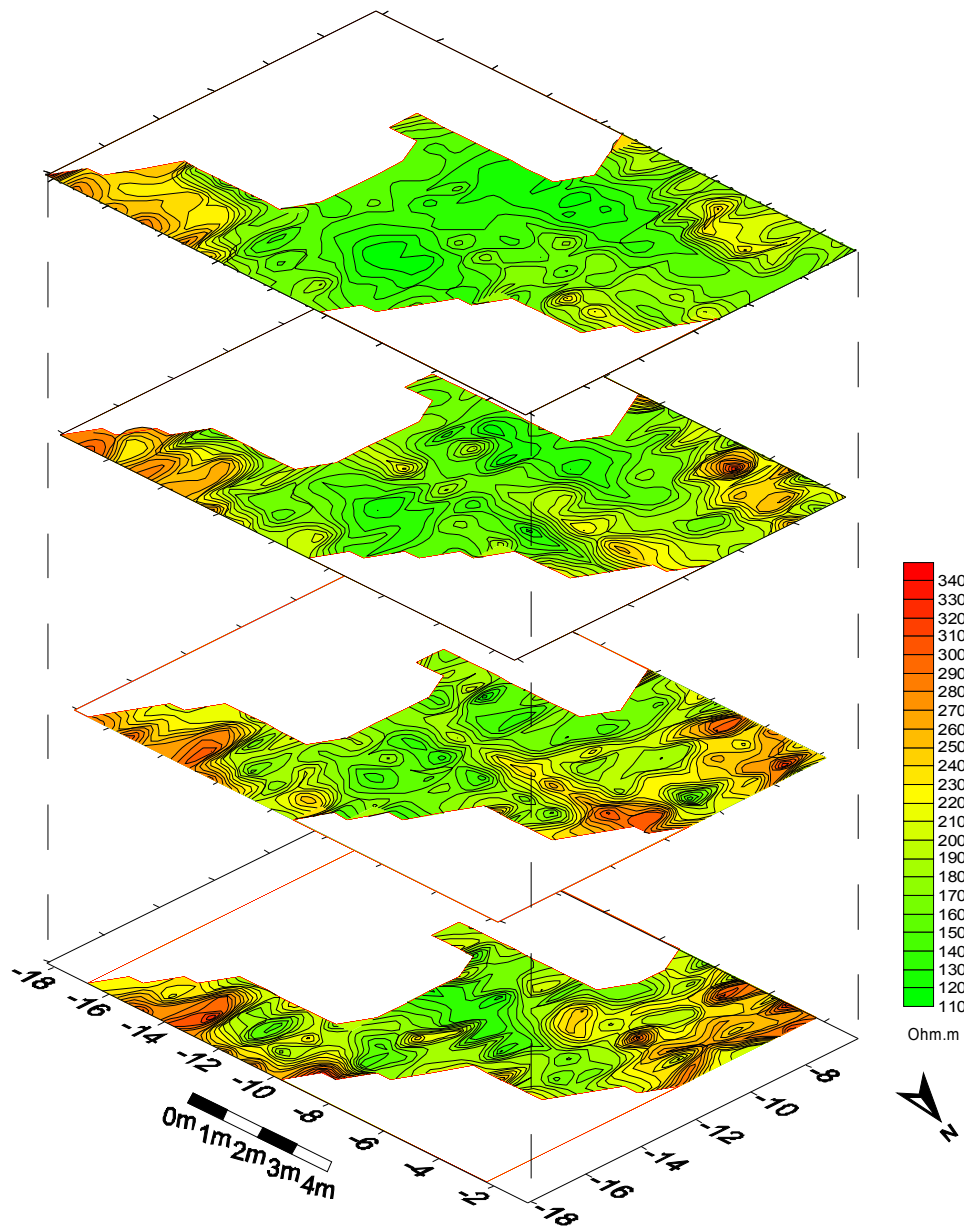


Figura 34: Gráfico 3D de resistividades

5.4.- Interpretación de los perfiles

Los perfiles fueron interpretados utilizando la hoja de cálculo para SEV con geometría Schlumberger, diseñada por el Ingeniero Cavada (Dpto de Geofísica, UCV). El diseño de la hoja de cálculo está basado en un algoritmo que utiliza un

filtro de diecinueve coeficientes generado por D. Guptasarma (1982). En este algoritmo se requieren, como datos iniciales, las resistividades verdaderas del perfil geoelectrico, las distancias $AB/2$ y los espesores. La rutina calcula de esta manera las resistividades aparentes con un error relativo $(Resistividad\ Aparentes / Resistividad\ Verdadera - 1)$ del orden de 10^{-5} .

Como apoyo en esta interpretaci3n se cont3 con las tendencias encontradas en el mapa de tipos de curva, los mapas de isoresistividades totales y residuales y las pseudosecciones que genera el programa Ipi2Win de los datos de campo.

En general, los valores de la matriz que rodean a las anomalías interpretadas, se corresponden con una matriz arenosa y se encuentran, aproximadamente entre los 60 y 500 Ohm.m . Esto guarda coherencia con los valores de las muestras calculados en laboratorio. si bien en estos la resistividad disminuye a medida que se profundiza, la evaporaci3n y el drenaje subsuperficial (además de la presencia de cuerpos an3malos) puede hacer que el área de estudio, los valores de campo se manifiesten como ascendentes en los primeros metros.

5.4.1.- Interpretaci3n del Perfil N°1

El perfil N°1 (figura 35) posee una longitud de 6,5 m y se compone de 14 SEV. En el se puede observar que presenta resistividades calculadas entre los 100 y 180 Ohm.m para una primera capa de 0.8 m de espesor máxímo. En este trabajo, se pretende hallar las variaciones laterales de resistividades y observando la secci3n de resistividades aparentes de este perfil, se presentan 3 anomalías enmarcadas la primera entre los puntos 4 y 5, la segunda entre los puntos 12 y 13 y la tercera en el SEV 15.

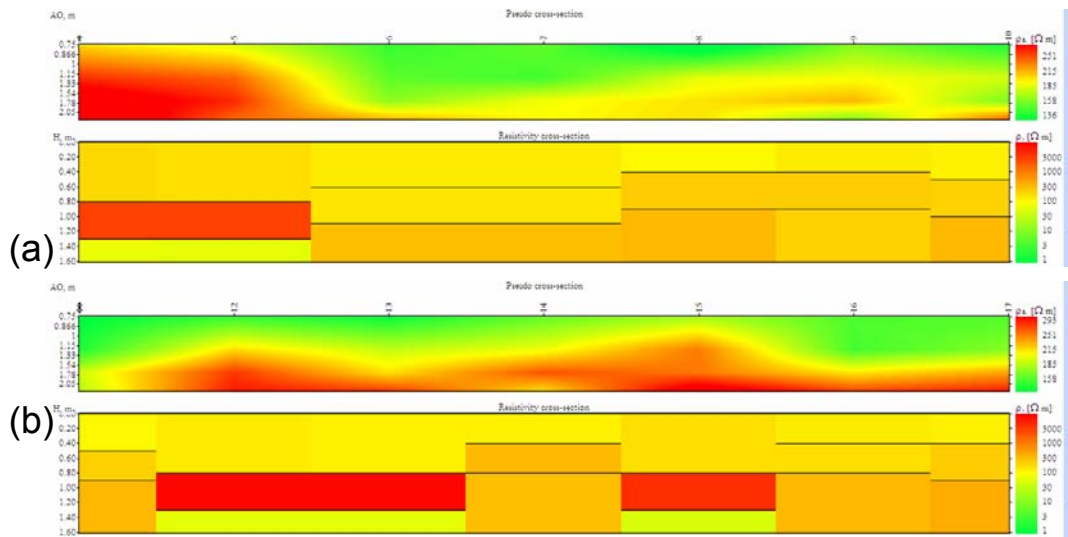


Figura 35: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°1

La primera anomalía se interpretó como un alto de resistividad de 3000 Ohm.m, a una profundidad de 0,8 m y con un espesor de 0,5 m. La segunda, ubicada también a una profundidad de 0,8 m, tiene un espesor de 0,5 m y un valor de 8000 Ohm.m y la última anomalía, de 4000 Ohm.m también se encuentra a la misma distancia de la superficie.

5.4.2.- Interpretación del Perfil N°2

Este está conformado por un total de 10 SEV y tiene una longitud de 4,5 m . En él se observa una anomalía en el punto de sondeo 8. La misma se encuentra a una profundidad de 0,9 m de la superficie del terreno. Posee un espesor de 0,5 m y un valor de 8000 Ohm.m (figura 36).

La anomalía ubicada en este perfil se corresponde con la hallada en el perfil 1 en cuanto a su espesor y resistividad. Si bien difiere en 0,1 m en la profundidad esto podría deberse a varios factores entre los que se encuentran una excavación irregular de la fosa del enterramiento o el ligero desnivel del terreno.

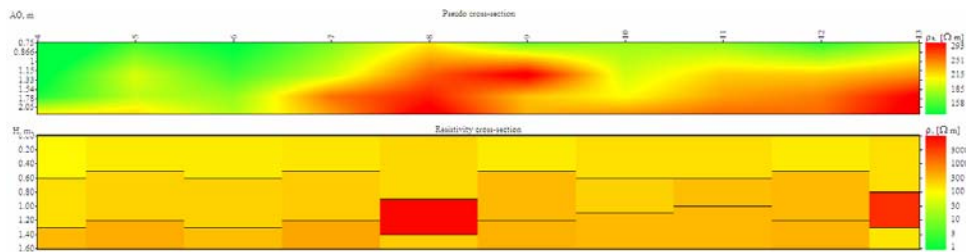


Figura 36: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°2

5.4.3.- Interpretación del Perfil N° 4

En este perfil se aprecian dos anomalías en los SEV 12 y en los puntos 21 y 22. Estas alzas de los valores de resistividades, si bien no se observan claramente en el mapa de curvas (figura 29), aparecen ligeramente en la sección de resistividades aparentes que muestra el programa Ipi2Win. Además, se corresponden con las anomalía expuestas en el mapa de resistividades residuales para un AB/2 de 2,25 m (figura 37).

La zonas anómalas, de 8000 Ohm.m, se encuentran aproximadamente a 1,3 m de profundidad. En este caso el espesor no pudo ser determinado pues corresponden a la tercera capa de interpretación de cada SEV, que es el semiespacio homogéneo.

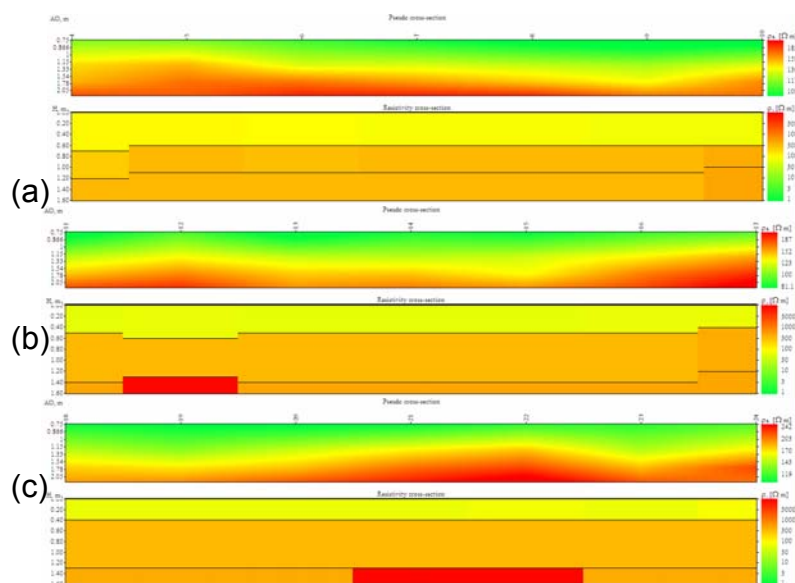


Figura 37: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°4

5.4.4.- Interpretación del Perfil N°5

Posee la misma cantidad de SEV que el Perfil N°4 y por lo tanto su longitud es igual. En este, el mapa de tipo de curvas presentó variaciones representativas en por lo menos cuatro regiones. Las mismas fueron corroboradas en los mapas de resistividades aparentes para los AB/2 de longitudes 1,75 m y 2,25 m (figura 38).

La primera anomalía se interpreta en los puntos 5 y 6 teniendo un valor de 10000 Ohm.m para una profundidad de 1,3 m . Existe otra de 8000 Ohm.m en el punto 12 con igual profundidad (1,3 m). En los SEV numerados como 14, 15 y 16, se presenta un nuevo incremento en las resistividades al orden de los 10000 Ohm.m a una profundidad aproximada de 1,3 m .

Un poco más al norte, en los puntos de sondeo 18, 19 y 20, una nueva zona anómala se presenta a 1,3 m de profundidad con valores también de 10000 Ohm.m . La anomalía de los puntos 11 y 12 parece tener correspondencia con la del SEV 12 del perfil N°4.

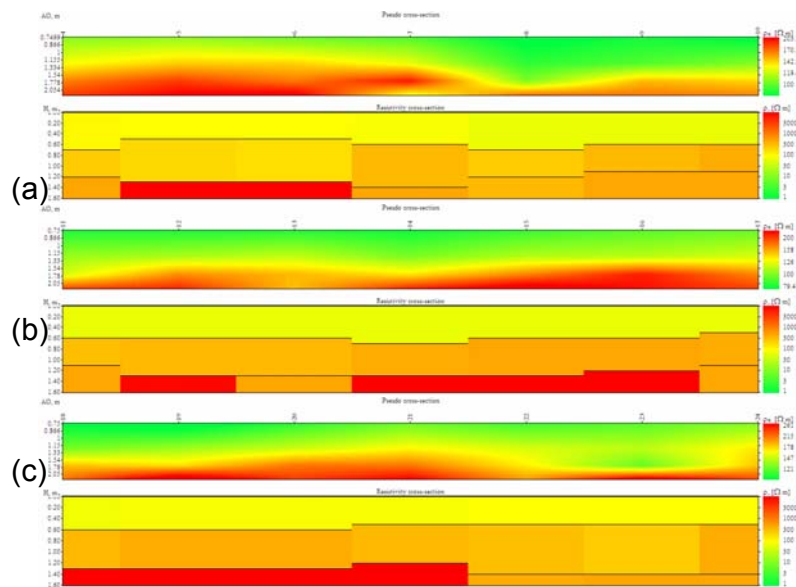


Figura 38: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°5

5.4.5.- Interpretación del Perfil N°6

En este perfil de 17 SEV y de 8 m de longitud, se presenta una variación lateral de resistividades en los puntos 11, 12 y 13 que podría presentar correlación con la hallada en los puntos 14, 15 y 16 del perfil anterior (Perfil N°5). Esta se encuentra a una profundidad de 1,2 m con valores de 10000 Ohm.m (figura 39)

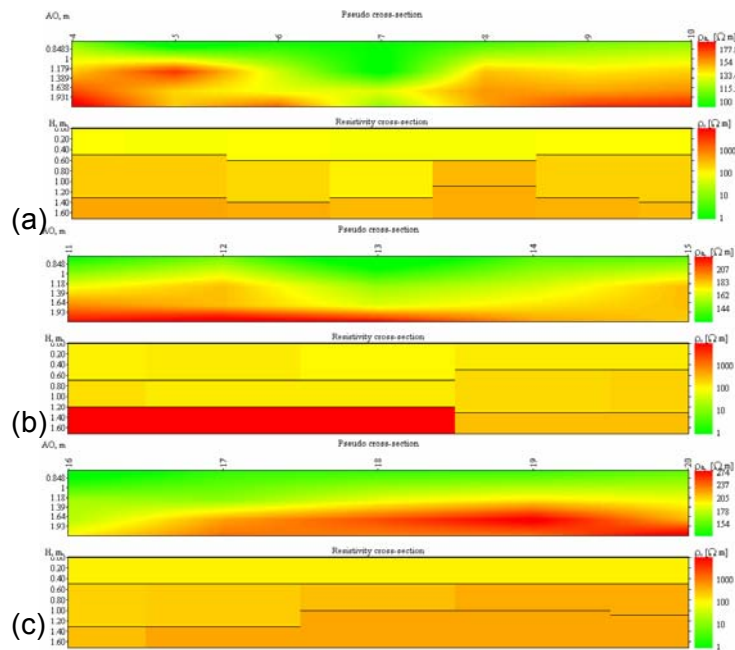


Figura 39: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°6

5.4.6.- Interpretación del Perfil N°7

Este perfil presenta una particularidad pues no se distinguen variaciones laterales significativas de resistividades. Tiene una longitud de 7 m y se conformó con 15 puntos de SEV.

Las variaciones en este caso son verticales y se interpreta como una zona de alta resistividad (entre los 1450 y 1650 Ohm.m) con capas menos resistivas arriba y abajo con valores próximos a los 60 Ohm.m . Esta anomalía se corresponde con la

observada en el mapa de residuales para $AB/2 = 1,75 \text{ m}$. La profundidad de esta anomalía disminuye hacia el norte del perfil y mantiene un espesor casi constante de aproximadamente $0,3 \text{ m}$ (figura 40)

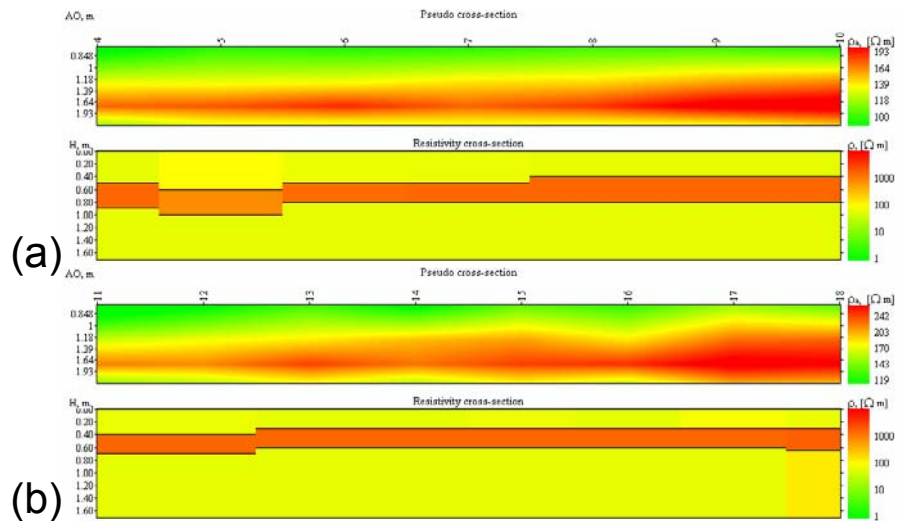


Figura 40: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°7

5.4.7.- Interpretación del Perfil N°8

Este perfil tiene una longitud de 6 m y se realizó con 13 puntos de sondeo. Este perfil presenta una zona de anomalía en el punto 8 que se encuentra a una profundidad estimada de $1,4 \text{ m}$ con un valor de 10000 Ohm.m (figura 41).

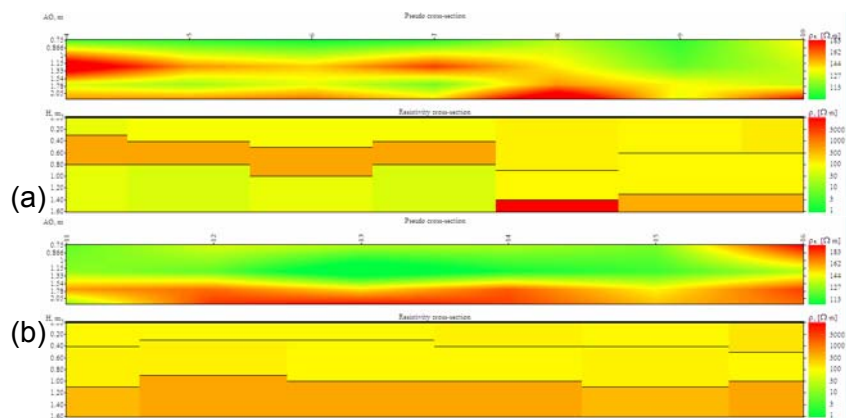


Figura 41: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°8

5.4.8.- Interpretación del Perfil N°9

La longitud del perfil N°9 (figura 42) es de 5,5 m y se conformó por 12 SEV. Presenta también 2 anomalías de altos de resistividades. La zona anómala al sur del perfil tiene un valor de 10000 Ohm.m , se encuentra a 1,5 m de la superficie del terreno y corresponde al punto de sondeo 7. La anomalía norte, se interpreta en el punto 13 con la misma resistividad y una profundidad de 1,05 m .

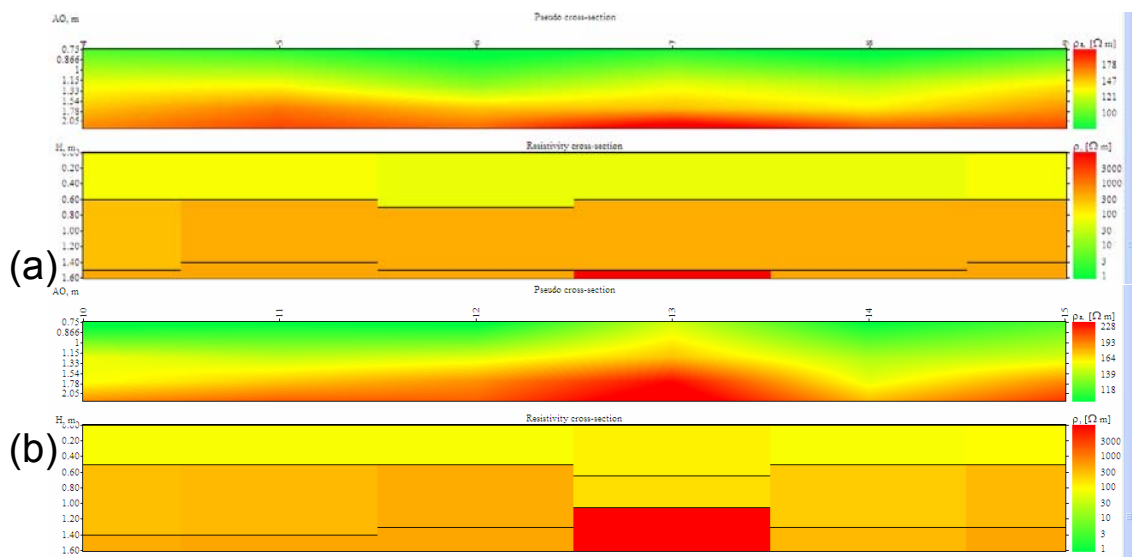


Figura 42: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°9

5.4.9.- Interpretación del Perfil N°10

Este perfil tiene una longitud de 6,5 m y se realizó con 14 puntos de sondeo. Este perfil presenta una zona de anomalía en el punto 7 que se encuentra a una profundidad estimada de 1,4 m con un valor de 10000 Ohm.m (figura 43).

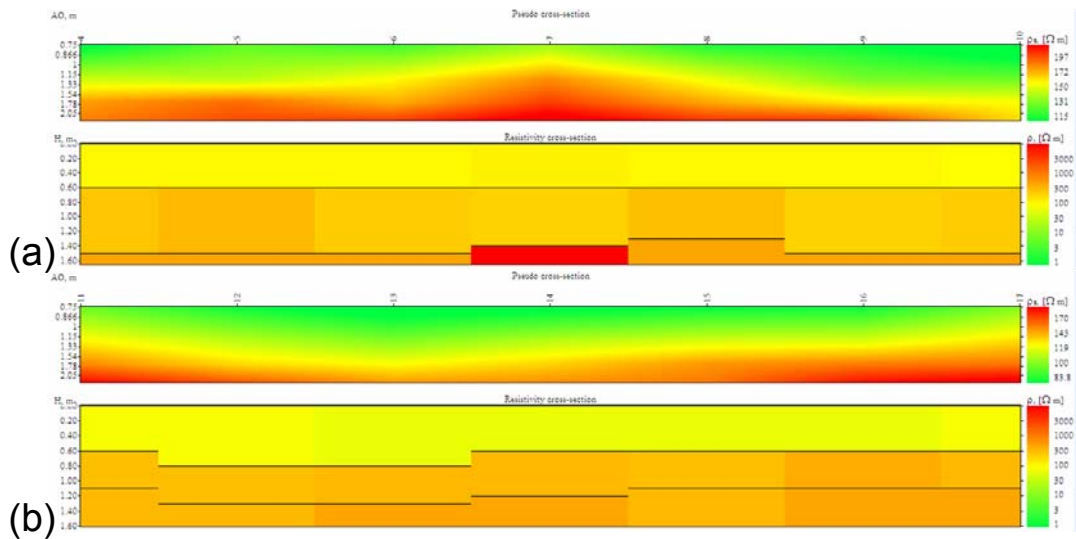


Figura 43: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°10

5.4.10.- Interpretación del Perfil N°11

Con una longitud de 6,5 m y 14 SEV, este perfil presenta 2 zonas de contrastes laterales de resistividad (figura 44).

En los puntos 6 y 7 aparecen valores de 10000 Ohm.m a 1,3 m de profundidad. De forma similar sucede en los puntos 12 y 13, apareciendo los mismos valores a una profundidad aproximada de 1,4 m .

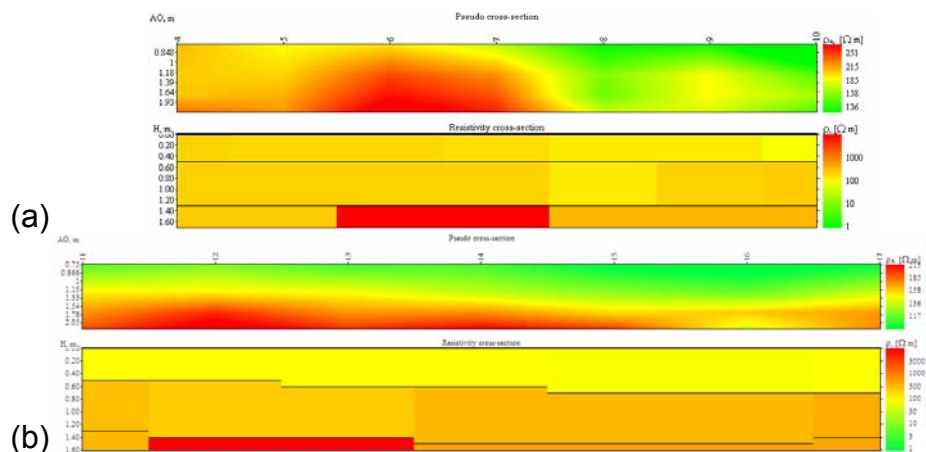


Figura 44: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°11

5.4.11.- Interpretación del Perfil N°12

Tiene las mismas dimensiones del perfil N°11, con 6,5 m de longitud y 14 puntos de sondeo. Presenta de igual forma una zona anómala a 1,3 m de profundidad y de 10000 Ohm.m en los SEV 8 y 9. También posee una segunda anomalía con profundidad de 1,4 m e igual resistividad en los puntos 16 y 17 (figura 45).

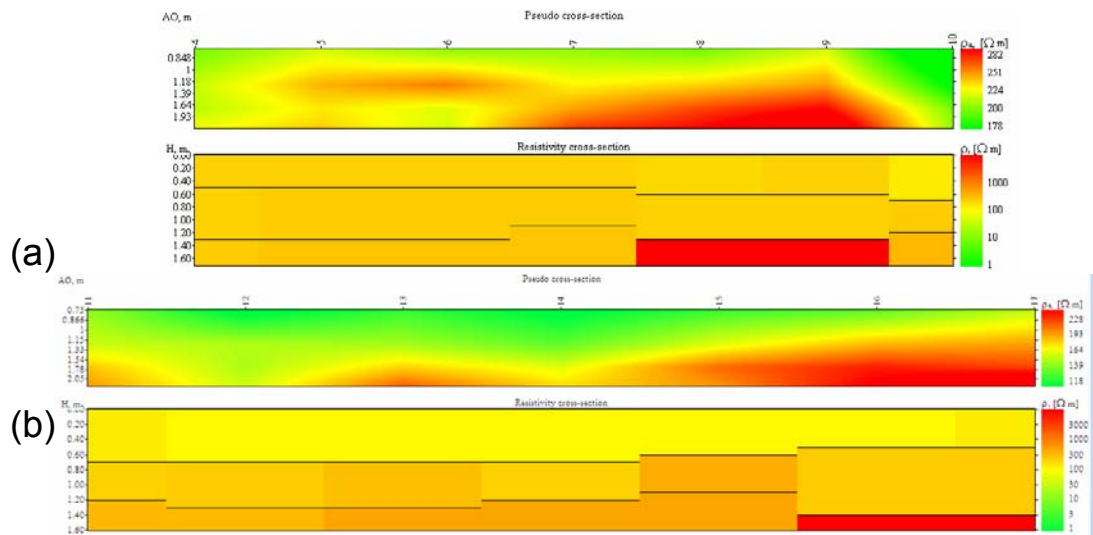


Figura 45: Sección de resistividades aparentes e interpretación del perfil N°12

5.5.- Interpretación Integrada de Perfiles y Mapas

Observando el objetivo del estudio en el Cementerio de los Ingleses en Aroa, se interpretaron trece posibles áreas anómalas de altos de resistividad que cumplen con las características necesarias para poder ser consideradas como enterramientos no demarcados en superficie (figura 46). Presentan ejes mayores en dirección aproximada este-oeste con longitudes iguales o menores a 2 m y los ejes menores con longitudes cercanas al metro. De igual forma se realizó la interpretación de una anomalía que presenta un comportamiento que difiere del anteriormente descrito.

Es importante la dirección observada de los ejes principales, pues en

conversación sostenida con la antropóloga Lilia Vierma, explicó que culturalmente, la dirección preferencial de los enterramientos se ubica con este rumbo este-oeste (Vierma, 2008)

Es así que se puede observar en el Perfil N°1 se presentan tres de estos enterramientos. Dos de estos únicamente se pueden observar en este perfil, sin embargo existe uno que presenta continuidad en el Perfil N°2. La profundidad estimada para los mismos es de 0,8 m . Observando el Perfil N°2 se verifica la continuación del enterramiento del perfil anterior y se presenta un nuevo enterramiento más hacia el norte.

Es importante resaltar que cuando el objeto está ubicado de tal forma que un solo perfil lo cruce, los cierres de la anomalía generada por la interpolación de los datos tienden a ser más redondeados. En caso contrario, cuando en dos o más perfiles aparece la anomalía, esta tiende a ser alargada.

Entre los perfiles N°4, N°5 y N°6 se interpretan cuatro posibles enterramientos a profundidades aproximadas de 1,3 m . Los enterramientos interpretados en estos perfiles se ubican con direcciones preferenciales de los ejes mayores de N65E.

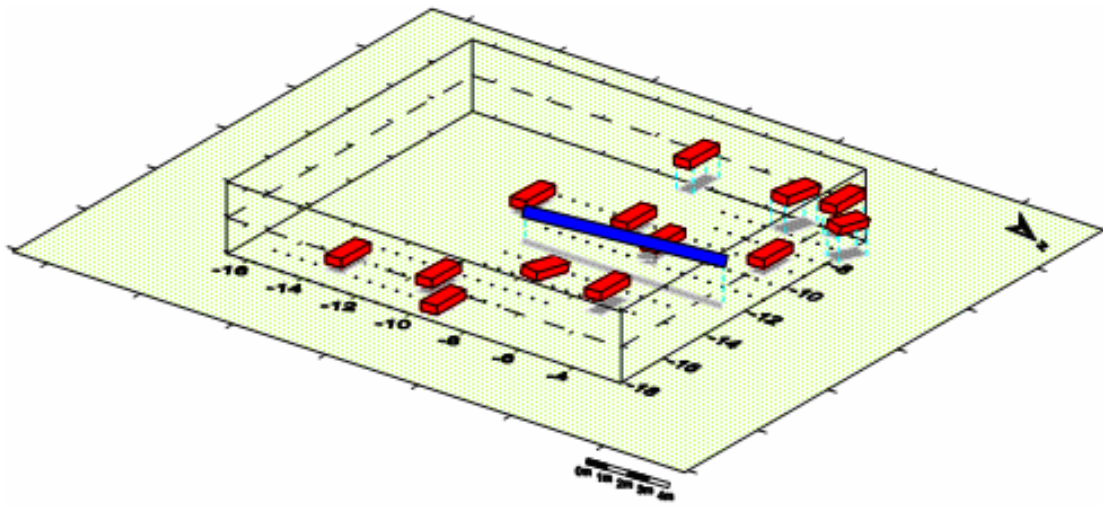


Figura 46: Interpretación de la ubicación de los objetos enterrados

En los perfiles N°8 y N°9 se encuentran dos enterramientos interpretados también con dirección este-oeste. Estos tienen profundidades estimadas superiores al metro de profundidad: aproximadamente 1,4 m para el que se encuentra al sur y 1,05 m para el del norte.

Las tres últimas anomalías, que parecen corresponder a enterramientos humanos en el cementerio, se ubican entre los perfiles N°10, N°11 y N°12 a una profundidad de 1,4 m y con direcciones aproximadas a lo esperado (rumbo de enterramiento este-oeste)

Es importante indicar que en la interpretación del perfil N°7, la anomalía resultante rompe con los patrones de dirección de los enterramientos. La misma posee un rumbo de su eje mayor de aproximadamente N25O. Su longitud estimada es de, por lo menos, 7 metros y la profundidad a la que se encuentra así como su espesor, no parece sugerir un enterramiento humano. En la conversación con la antropóloga Vierma (2008) surgió la posibilidad que la misma tenga dos probables interpretaciones.

Al oeste del cementerio y paralelo al muro actual del mismo, se encuentra una acequia que presenta un rumbo similar a la anomalía en cuestión (figura 47). Dicho canal desemboca en un estanque que se encuentra al sur del cementerio y que alimentaba la fundición ubicada a varias centenas de metros del mismo. Es una posibilidad que no se puede descartar que la anomalía corresponda a una antigua acequia que fue trasladada para poder ampliar el cementerio.



Figura 47: Acequia ubicada al oeste del Cementerio de los Ingleses

La segunda interpretación es que, conociendo la flora autóctona de las

montañas de Aroa, se trate de una raíz de algún antiguo y ya inexistente árbol de raíces rectas similar a los que se encuentran en los alrededores del cementerio (figura 48).



Figura 48: Raíces rectas de la flora local

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.- Conclusiones

1. A partir de la interpretación de los datos geoelectricos obtenidos en el Cementerio de los Ingleses en Aroa, Estado Yaracuy, se puede concluir que existen evidencias geofísicas de que por lo menos trece anomalías cumplen con las características de dimensiones, profundidades, resistividades, ubicaciones y direcciones que permiten suponer que se trata de enterramientos humanos no señalizados en superficie.
2. La dirección preferencial de las anomalías interpretadas como enterramientos es la este-oeste (o cercana a ese rumbo) lo que concuerda con los rasgos culturales de enterramientos humanos en cementerios para la dirección de colocación cabeceras y pies de las tumbas.
3. Los enterramientos se encuentran ubicados manteniendo ciertos patrones de paralelismo con las demarcaciones de tumbas que se encuentran visibles en superficie. Sin embargo, al igual que ocurre con las señalizaciones de enterramientos existentes, las tumbas no se hallan completamente alineadas.
4. La profundidad de los enterramientos interpretados en el presente trabajo varía desde los 0,8 m de profundidad hasta los 1,5 m de profundidad medida desde la superficie hasta el techo del enterramiento. El espesor de cada enterramiento que pudo ser determinado fue de 0,5 m .

5. Existe una anomalía en el centro del área de estudio, ubicada a 12,1 m del distancia sobre la línea base a partir del punto A, que no es coherente en dirección, tamaño y magnitudes de resistividad con el resto de las anomalías. Por su forma alargada, poca profundidad y espesor, esta se puede interpretar como una antigua acequia en desuso o como la raíz de un antiguo árbol ya inexistente.

6.2.- Recomendaciones

En el desarrollo del presente trabajo, se detectaron algunos aspectos que pudieran ser tomados en cuenta para futuros trabajos similares:

1. Los métodos de resistividades se encuentran íntimamente ligados a los factores climáticos que pueden influir directamente en las mediciones de campo. Es así que una anomalía que se observa como un alto de resistividades durante el periodo de sequía, pudiera observarse como un bajo durante la época lluviosa. Es por ello que se debe tomar en cuenta las condiciones climatológicas, edafológicas y los posibles efectos que estas pueden causar en el tipo de objetivo que se está prospectando.
2. En el caso de querer interpretar las profundidades de los objetivos es importante contar con datos a los que sea posible correlacionar con las mediciones de resistividades. Estos pudieran ser registros de pozos o algún otro método de prospección que permita el cálculo de las profundidades. En caso de no contar con esta posibilidad, se debería recurrir a utilizar un método adicional al eléctrico (por ejemplo, el magnético) para realizar interpretaciones cualitativas de los resultados.

3. Es recomendable adquirir datos para mayores aberturas de AB/2 que generen nuevos niveles para obtener una mejor definición del objeto de estudio en profundidad.

4. Los trabajos de prospección geofísica aplicados a la Arqueología deben contar desde el inicio con la asesoría de arqueólogos e historiadores para facilitar la toma de decisiones al momento de diseñar el levantamiento y para establecer interpretaciones coherentes de los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alfonso, L. (2001). Estudio de Prospección Geofísica y Geotécnica para el emplazamiento del Embalse de San Esteban de Andagoya (Álava). Trabajo Especial de Grado de la Universidad Politécnica de Madrid. Inédito

Alvarez, A. (2003). Geofísica Aplicada en los Proyectos de Ingeniería Civil. Ediciones del Instituto Mexicano de Transporte.

Arlandi, M (s/f). Geofísica Aplicada a la Obra Civil, Método Eléctrico y Sísmica de Refracción. Casos Prácticos. Manual. Inédito

Aspinall y Gaffney (2001). The Schlumberger Array- Potential and Pitfalls in Archeological Prospection. Archeological Prospection. 8 , 199-209

Bellizzia, A., (1985). Sistema montañosos del Caribe-Una Cordillera alóctona en la parte norte de América del Sur. VI Cong. Geol. Vzla.. Mem. Caracas, 1986. 10: 6657-6836.

Bellizzia, A. y D. Rodríguez (1969). Geología del estado Yaracuy. IV Cong. Geol. Venez., Caracas, 1976, Mem., 6: 3317-3413.

Buscaglia, S. (2001). Métodos Geofísicos y Propiedades del Registro Arqueológico. Arqueología no Intrusiva en el Sitio de Floridablanca (Puerto de San Julian, Provincia de Santa Cruz). Tesis de Grado. Inédito. Argentina.

Corporación Chilena de la Madera (2003). Centro de Transferencia Tecnológica Pino Radiata. Chile.

Clark, A. (1996). Seeing Beneath the Soil. USA. Antony Rowe Ltd.

Cunill, P. (1987). Geografía del Poblamiento Venezolano en el siglo XIX. Ediciones de la Presidencia de la República. Imprenta Nacional. Venezuela

Gaffney, C y J. Gater (2003). Revealing the Buried Past: Geophysics for Archaeologists. Great Britain. Tempus Publishing

Gil, A. (2003). Aspectos funerarios del centrooccidente venezolano: caso región larense. Servicio Autónomo Imprenta Oficial del Estado Lara.

Guptasarma, D. (1982) Optimization of Short Digital Linear Filters for Increased Accuracy, Geophysical Prospecting 30(4):501-514

Hawshaw, J. (1975). Reminiscencias de Sudamérica, Dos años y medio de Residencia en Venezuela. Ediciones de la Presidencia de la República. Imprenta Nacional. Venezuela

Herrera, M. , N. Orihuela, J. Sanchez y L. Vierma (2002). Memorias del XI Congreso Venezolano de Geofísica.

Milson, J. (2003). Field Geophysics. University College London. Wiley.

Orellana, E. (1982). Prospección Geoeléctrica en corriente continua. Paraninfo. España.

Pereira, K. , D. Valenzuela y J. Guerra (2004). ¿Enterrar = Olvidar? Arqueología Histórica En El Cuadrante "Los Cerritos" Del Cementerio General Guatemala. XVII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, pp.728-735.

Prieto, F. (1971). El Libertador y las Minas de Aroa. Revista Minas Hoy, Nro. 2

Reyes, J. (s/f). Guías de Estudio para la Cátedra de Instrumentación. UCV. Inédito

Schmidt, A. (2002). Geophysical Data in Archaeology: A Guide to Good Practice. Great Britain. The Information Press

Scollar, Tabbagh, Hesse y Hergoz (1990). Archaeological Prospecting and Remote Sensing. Cambridge University Press. Cambridge

Simpson D. y R. Peterson (2004). Non-Invasive Burial Determination Using Near-Surface Geophysical survey and soil chemical testing at Fort Hood, Texas and Camp Lejeune, North Carolina. Research Report N° 55. United State Army Fort Hood. Archaeological Resource Management Series.

Simpson, W. y A. TenWolde (1999). Physical Properties and Moisture Relations of Wood. In: Forest Products Lab. Wood Handbook- Wood as an engineering material. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Lab: 463.

Strebin, S y Pérez, J. (1980). Capacidad de Uso de las Tierras del Estado Yaracuy. Serie de Informes Técnicos Zona 2/IT/1102. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales.

Telford, W; L. Geldart; R. Sheriff (1990). Applied Geophysics. 2da ed. Cambridge. Cambridge University Press. 770 p.

Terrell M. (1998). 'What are you doing?': Examining a colonial period Jewish cemetery in the Caribbean". Annual Meetings of the Society for Historical Archaeology

Togo, José (2000). Prospeccion Geofísica Mediante Calicatas Eléctricas En Un Sitio Arqueológico; Provincia De Santiago Del Estero. Cuadernos Fac. De Humanidades Y Ciencias Sociales Unju. , 14 (1): 53 - 53

Urbani, F. (1992). Las minas de Cobre de Aroa a la luz de la relación de Manuel Gaytán de Torres, 1621. Boletín Geológico Minero, España, Memoria. Conmemorativo al V centenario, 103(2): 156-185

U.S. Army Corps of Engineers. (1995) Geophysical Explorations for Engineering and Enviromental Investigations. Washington. Inédito.

Verna, Paul (1976). Las Minas del Libertador. Ediciones de la Presidencia de la República. Imprenta Nacional. Venezuela

Western, A. G. y T. Kausmally (2005). A Field Guide to the Excavation of Inhumated Human Remains. BAJR.

Zucchi A. (2000). Polvo eres y en polvo te convertirás: la muerte y su entorno en Venezuela hasta 1940. Antropológica / Instituto Caribe de Antropología y Sociología, No. 93-94. Caracas : Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Instituto Caribe de Antropología y Sociología

ANEXOS

ANEXO 1

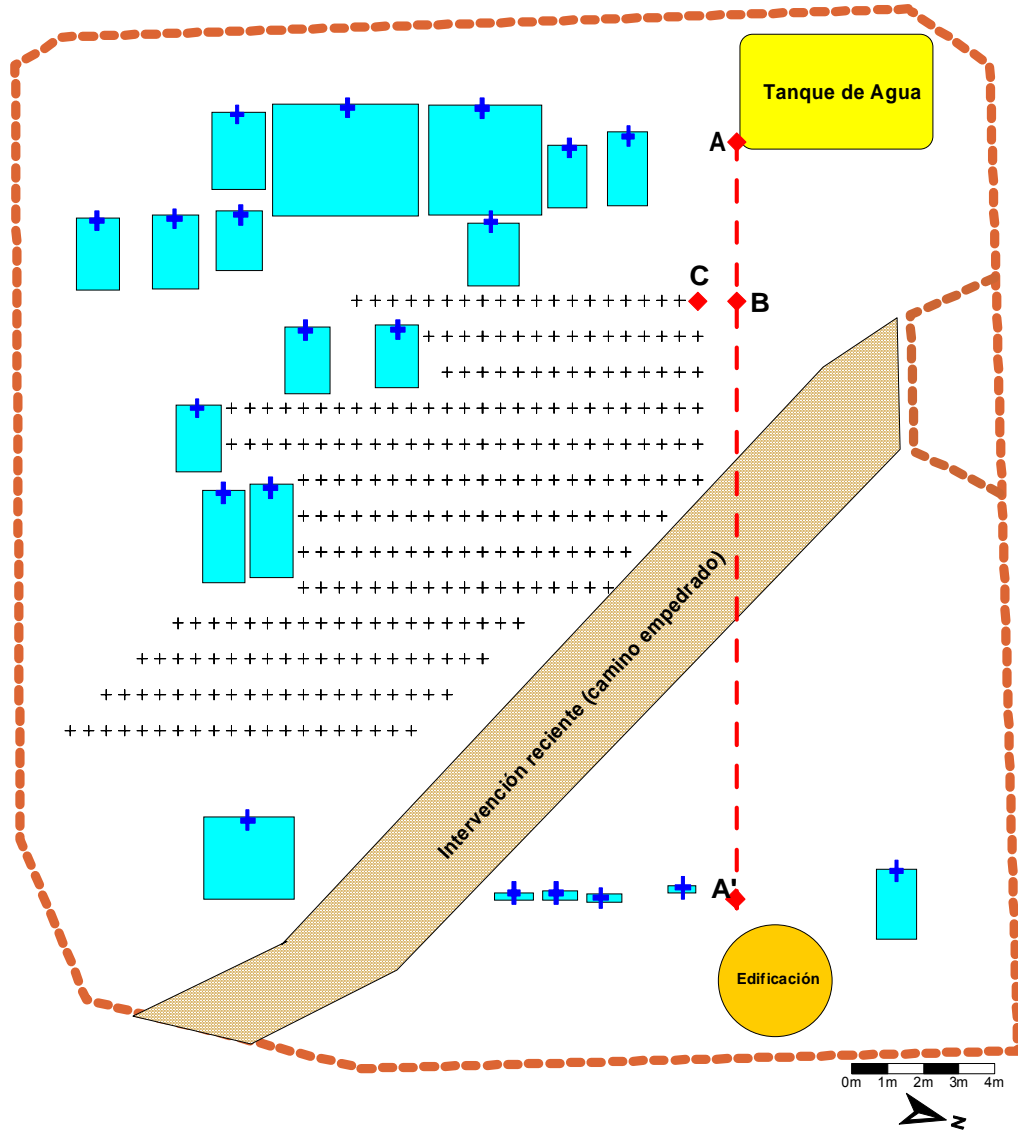
TABLA DE DATOS DE CAMPO

Tabla 2: Ejemplo de Datos de Campo, Perfil 1

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | |
|----|-------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|--|
| | Distancia desde A | Distancia desde Línea Base (m) | Voltaje Parásito Nivel 1 (V) | Voltaje Parásito Nivel 1 (V) | Voltaje Total Nivel 1 (V) | Resistencia Nivel 1 (ohmm) | Voltaje Nivel 2 (V) | Voltaje Parásito Nivel 2 (V) | Voltaje Total Nivel 2 (V) | Resistencia Nivel 2 (ohmm) | Voltaje Nivel 3 (V) | Voltaje Parásito Nivel 3 (V) | Voltaje Total Nivel 3 (V) | Resistencia Nivel 3 (ohmm) | Voltaje Nivel 4 (V) | Voltaje Parásito Nivel 4 (V) | Voltaje Total Nivel 4 (V) | Resistencia Nivel 4 (ohmm) | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 6.10 | 0.75 | 3.80 | 0.01 | 3.79 | 119.07 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 6.10 | 1.25 | 5.15 | 0.03 | 5.12 | 160.85 | 2.32 | 0.02 | 2.30 | 216.77 | | | | | | | | | |
| 4 | 6.10 | 1.75 | 4.56 | 0.02 | 4.54 | 142.63 | 2.04 | -0.02 | 2.06 | 194.15 | 1.18 | 0.01 | 1.17 | 230.54 | | | | | |
| 5 | 6.10 | 2.25 | 4.98 | -0.04 | 5.02 | 157.71 | 1.84 | 0.01 | 1.83 | 172.47 | 1.23 | -0.02 | 1.25 | 235.62 | 0.89 | -0.03 | 0.92 | 289.03 | |
| 6 | 6.10 | 2.75 | 5.00 | -0.04 | 5.04 | 158.34 | 1.66 | 0.01 | 1.65 | 155.51 | 1.15 | 0.02 | 1.13 | 213.00 | 0.88 | 0.02 | 0.86 | 270.18 | |
| 7 | 6.10 | 3.25 | 5.62 | -0.04 | 5.66 | 177.81 | 2.73 | 0.05 | 2.68 | 232.58 | 1.37 | 0.03 | 1.34 | 232.58 | 1.08 | 0.03 | 1.05 | 329.87 | |
| 8 | 6.10 | 3.75 | 5.20 | 0.03 | 5.17 | 162.42 | 2.18 | 0.04 | 2.14 | 201.69 | 1.45 | 0.03 | 1.42 | 267.66 | 0.80 | 0.11 | 0.69 | 216.77 | |
| 9 | 6.10 | 4.25 | 4.51 | 0.03 | 4.48 | 140.74 | 2.02 | 0.02 | 2.00 | 188.50 | 1.15 | 0.01 | 1.14 | 214.88 | 0.74 | -0.14 | 0.88 | 276.48 | |
| 10 | 6.10 | 4.75 | 4.80 | 0.01 | 4.79 | 150.48 | 2.32 | 0.01 | 2.31 | 217.71 | 1.46 | -0.02 | 1.48 | 278.97 | 1.03 | 0.10 | 0.93 | 292.17 | |
| 11 | 6.10 | 5.25 | 4.40 | -0.01 | 4.41 | 138.54 | 1.56 | 0.00 | 1.56 | 147.03 | 1.03 | 0.01 | 1.02 | 192.27 | 0.63 | 0.04 | 0.59 | 185.35 | |
| 12 | 6.10 | 5.75 | 4.33 | 0.03 | 4.30 | 135.09 | 1.93 | 0.01 | 1.92 | 180.96 | 0.83 | -0.01 | 0.84 | 158.34 | 0.71 | -0.06 | 0.77 | 241.90 | |
| 13 | 6.10 | 6.25 | 5.11 | 0.05 | 5.06 | 153.96 | 2.02 | -0.01 | 2.03 | 191.52 | 1.14 | 0.00 | 1.14 | 214.88 | 0.53 | 0.02 | 0.51 | 160.22 | |
| 14 | 6.10 | 6.75 | 3.76 | 0.03 | 3.73 | 117.18 | 1.97 | 0.00 | 1.97 | 185.67 | 1.06 | 0.00 | 1.06 | 199.81 | 0.67 | 0.03 | 0.64 | 201.06 | |
| 15 | 6.10 | 7.25 | 4.86 | 0.01 | 4.85 | 152.37 | 1.64 | 0.10 | 1.54 | 145.14 | 1.01 | 0.00 | 1.01 | 190.38 | 0.62 | 0.01 | 0.61 | 191.64 | |
| 16 | 6.10 | 7.75 | 4.53 | 0.00 | 4.53 | 142.31 | 1.62 | 0.03 | 1.60 | 150.80 | 0.85 | -0.01 | 0.86 | 163.11 | 0.68 | 0.00 | 0.68 | 213.63 | |
| 17 | 6.10 | 8.25 | 3.86 | 0.10 | 3.76 | 180.96 | 2.61 | 0.03 | 2.58 | 243.16 | 1.42 | 0.01 | 1.41 | 265.78 | 0.77 | 0.00 | 0.77 | 241.90 | |
| 18 | 6.10 | 8.75 | 6.45 | 0.03 | 6.40 | 201.06 | 2.86 | 0.06 | 2.80 | 263.89 | 1.67 | 0.00 | 1.67 | 314.79 | 1.07 | 0.01 | 1.06 | 333.01 | |
| 19 | 6.10 | 9.25 | 5.03 | 0.03 | 5.00 | 157.08 | 1.91 | 0.20 | 1.71 | 161.16 | 1.12 | 0.02 | 1.10 | 207.35 | | | | | |
| 20 | 6.10 | 9.75 | 5.35 | -0.04 | 5.39 | 169.33 | 2.15 | 0.01 | 2.14 | 201.69 | | | | | | | | | |
| 21 | 6.10 | 10.25 | 5.78 | 0.01 | 5.77 | 181.27 | | | | | | | | | | | | | |

Todas las tablas de datos se encuentran disponibles en el anexo digital (CD)

ANEXO 2
CROQUIS DEL LEVANTAMIENTO



ANEXO 3

MAPAS DE RESISTIVIDADES APARENTES

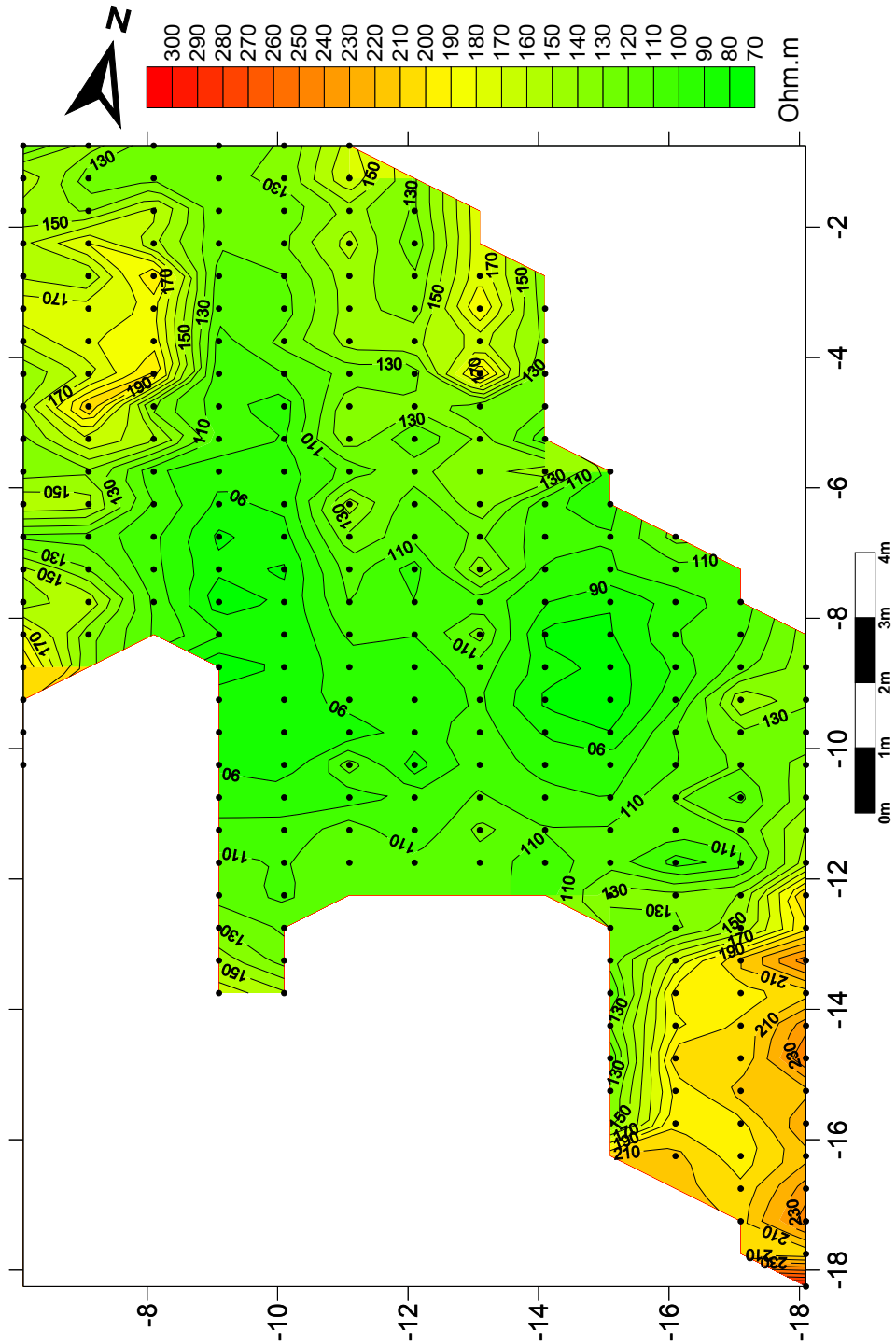


Figura 49: Mapa total de resistividades $AB/2 = 0,75$ m

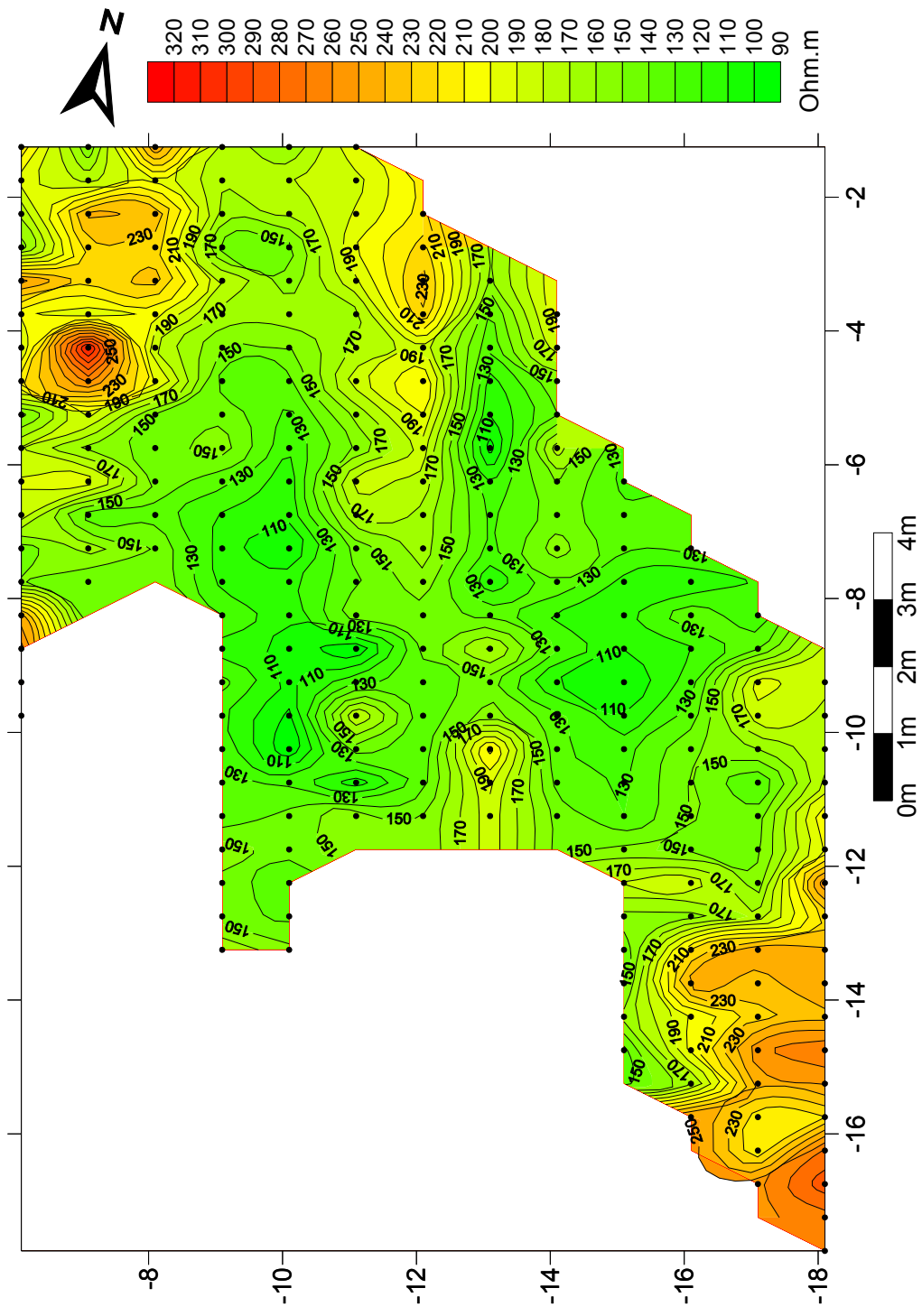


Figura 50: Mapa total de resistividades $AB/2 = 1,25\text{ m}$

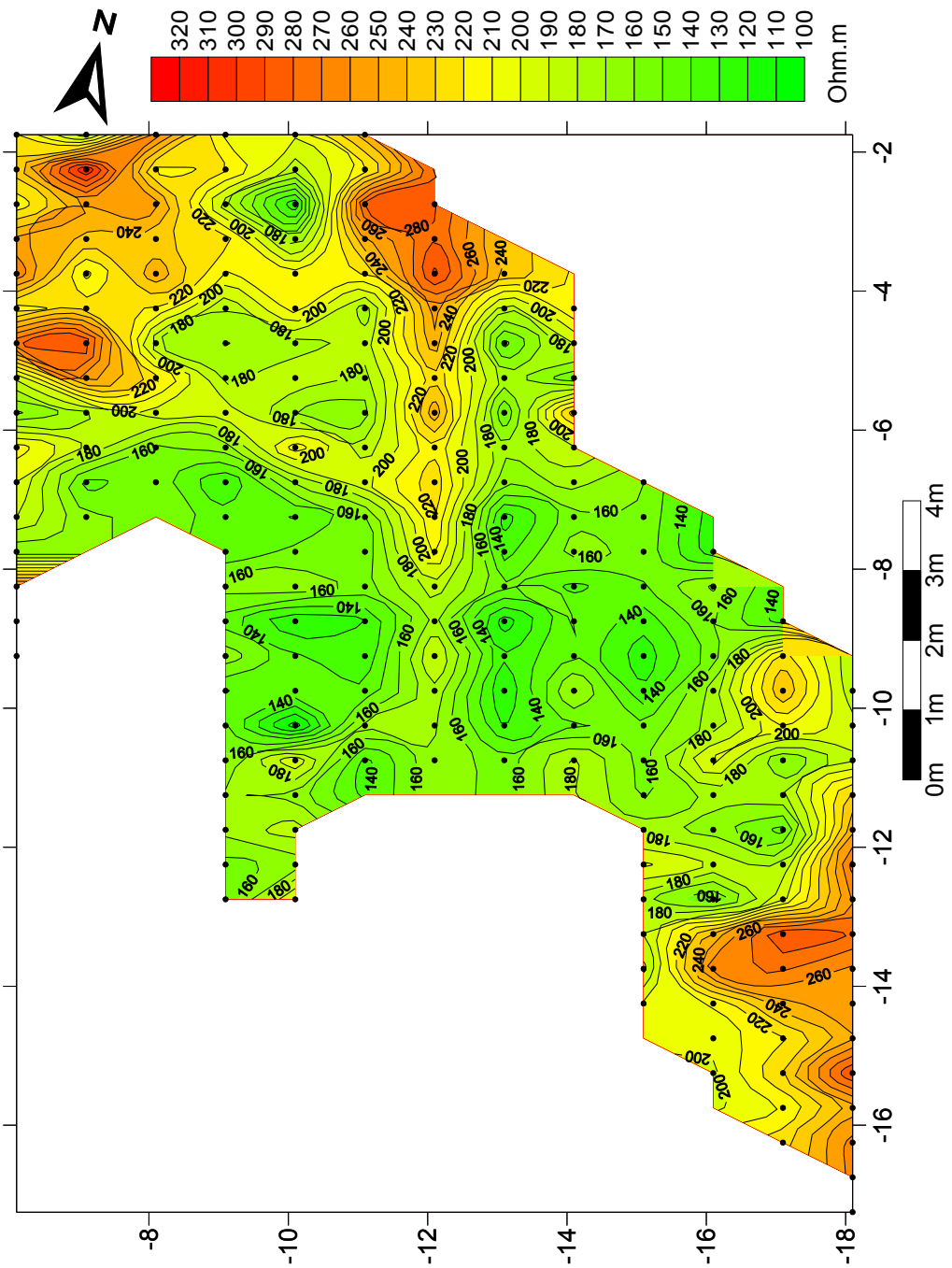


Figura 51: Mapa total de resistividades $AB/2 = 1,75$ m

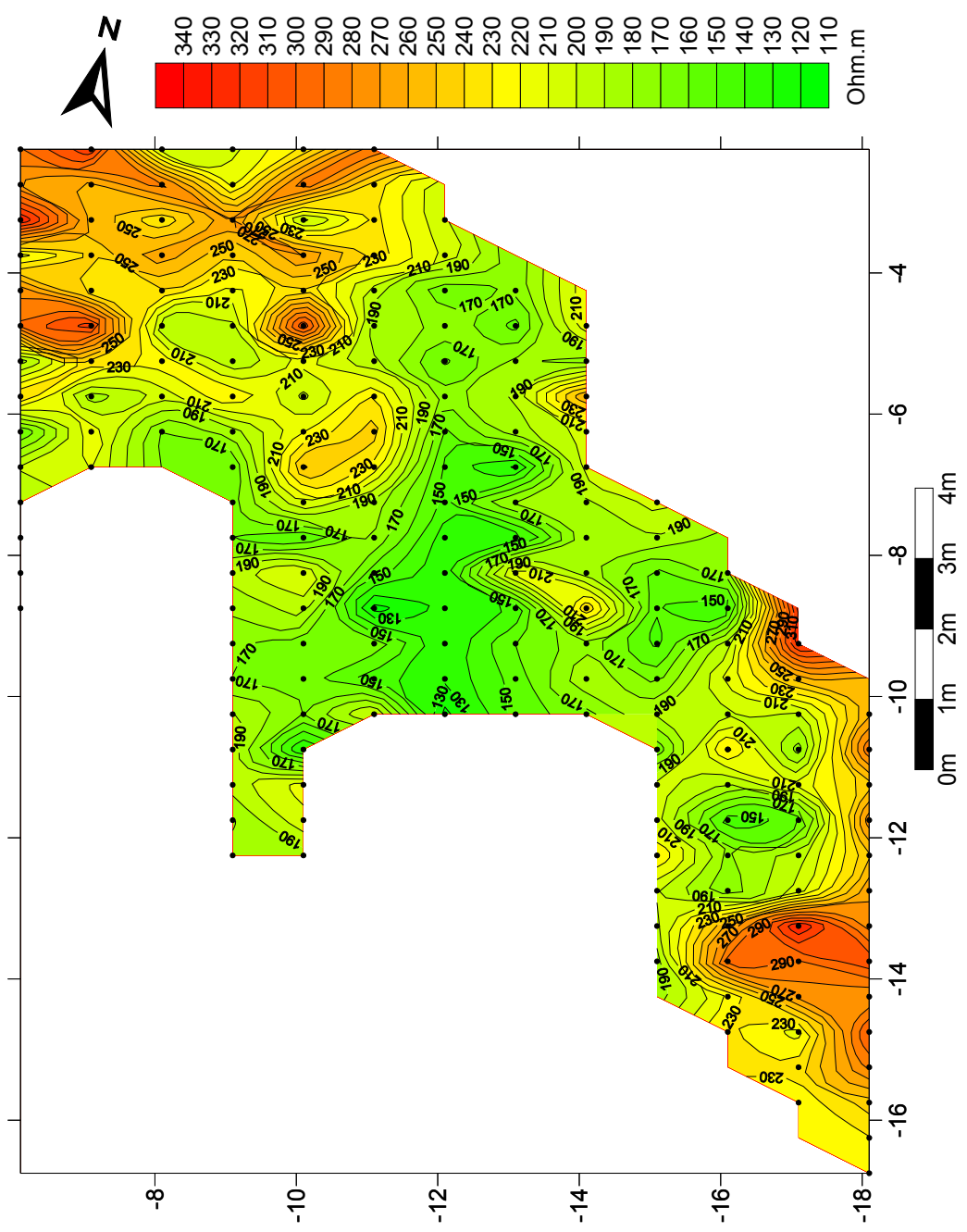


Figura 52: Mapa total de resistividades $AB/2 = 2,25 \text{ m}$

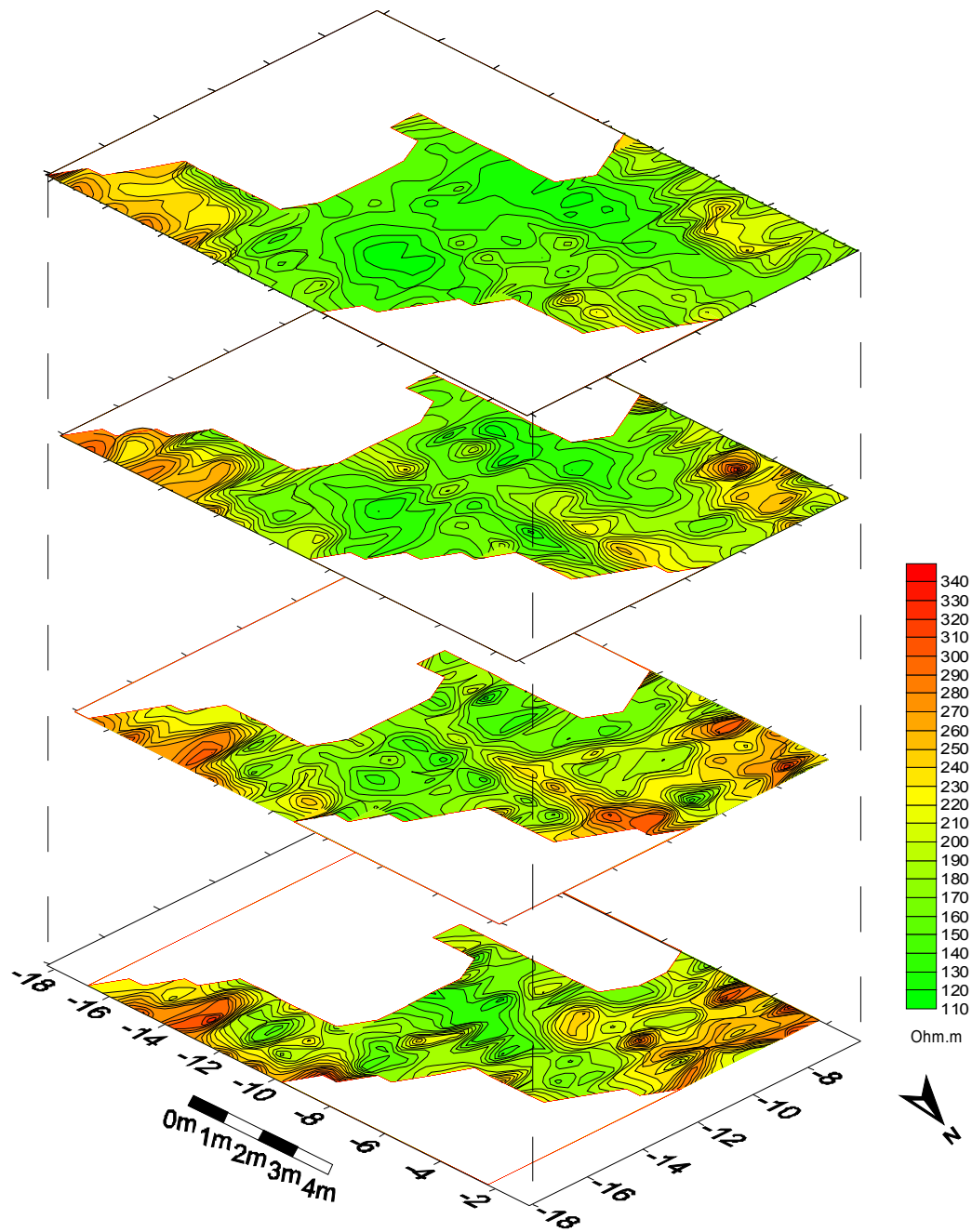


Figura 53: Gráfico 3D de resistividades

ANEXO 4
MODELO 3D DE INTERPRETACIÓN INTEGRADA

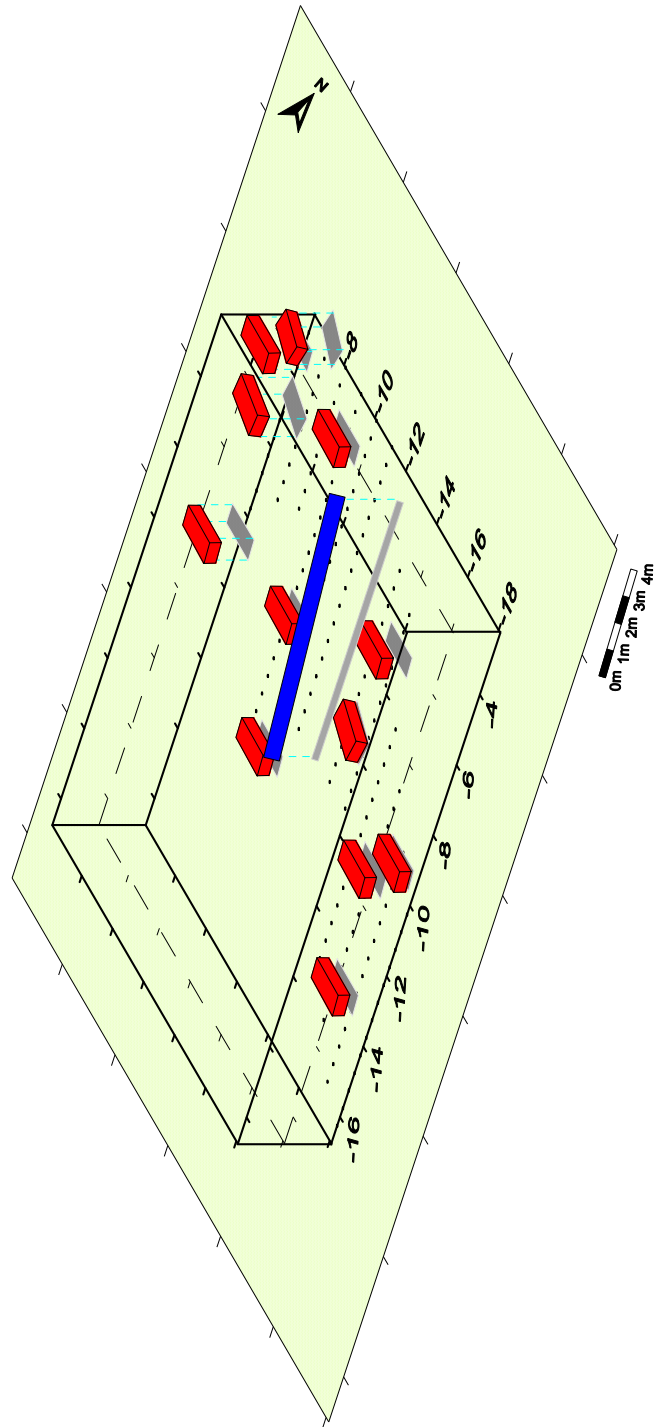


Figura 54: Modelo 3D resultado de la interpretación integrada del procesamiento

ANEXO 5

MODELADO UTILIZANDO EL PROGRAMA RES2DMOD

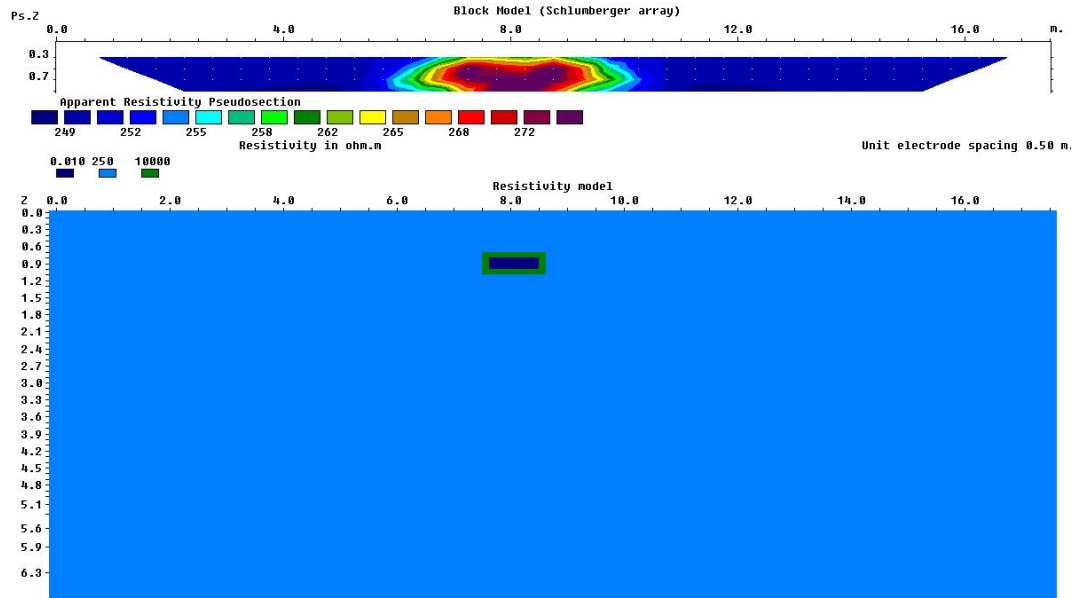


Figura 55: modelo de anomalía a 0,75 m de profundidad utilizando el programa Res2dMod (versión 3.01)

En la figura anterior (figura 55), se aprecia la respuesta que genera el modelado de un objeto de sección transversal de las dimensiones de un ataúd. En este modelado se observa que la respuesta generada por el programa no se corresponde con las obtenidas en campo ni en amplitud ni en intensidad de la anomalía. Esto podría deberse a que el algoritmo del programa no fue diseñado para objetos de dimensiones semejantes a las que se pretenden con el presente trabajo.

MODELADO UTILIZANDO EL PROGRAMA RES3DMOD

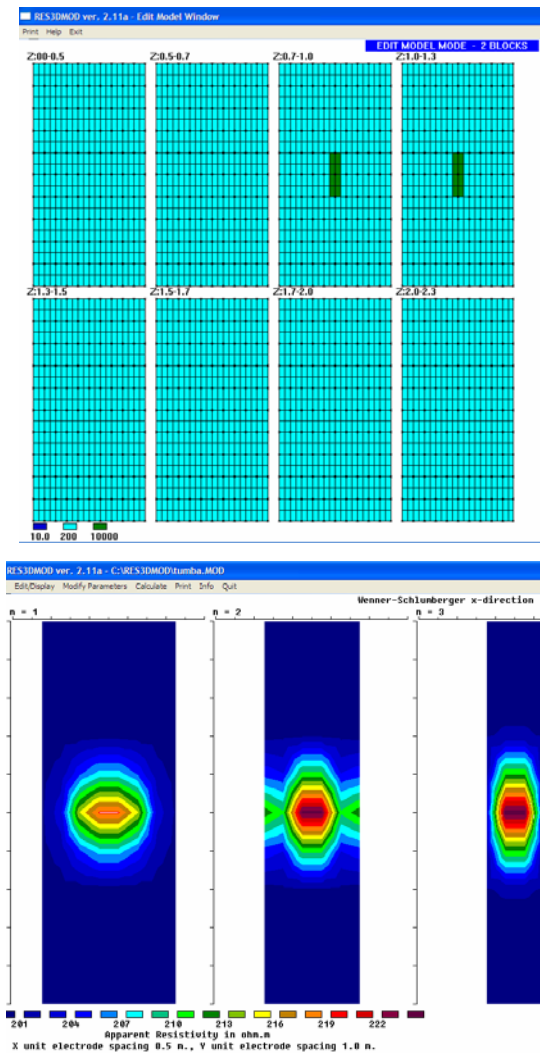


Figura 56: ejemplo de modelo de anomalía a 0,75 m de profundidad utilizando el programa Res3dMod (versión 2.11)

En el caso del modelado con el Res3dMod, las respuestas generadas por el modelo no se corresponden con las esperadas de las mediciones de campo. Sin embargo, con estos modelos se observó que las respuestas difieren de forma según el número de perfiles que las atraviesen, siendo más redondeadas aquellas que son tocadas por un solo perfil.

ANEXO 6

DEDUCCIÓN DE LA FÓRMULA DE RESISTIVIDAD APARENTE PARA LA CONFIGURACIÓN SCHLUMBERGER

La Ley de Ohm indica que al hacer circular una corriente eléctrica a través de un conductor se observa una diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera del mismo. El resultado del cociente se define como la resistencia del material al paso de la corriente:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (5)$$

Donde I es la intensidad de la corriente eléctrica aplicada y ΔV es la diferencia de potencial.

Asimismo, la resistencia de dicho objeto se puede definir también por la siguiente expresión:

$$R = \frac{\rho}{K} \quad (6)$$

En esta relación, ρ es la resistividad eléctrica del objeto conductor y K es una constante que depende de la geometría del circuito eléctrico.

Si se igualan las ecuaciones (5) y (6) se obtiene la ecuación (7) que representa la expresión fundamental de los métodos geoelectricos que se basan en el estudio de las resistividades:

$$R = K \frac{\Delta V}{I} \quad (7)$$

La Ley de Ohm puede definirse para un conductor recto, de longitud (L) y sección transversal conocidas (A), similar al que se presenta (figura 6).

En este caso, la fórmula que permite el cálculo de la resistencia del material queda de la siguiente forma:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Si la corriente eléctrica es introducida a un terreno, homogéneo e isotrópico, utilizando un único electrodo ubicado en la superficie (para ello se asume un segundo electrodo que se ubica teóricamente en el infinito), se generan superficies hemisféricas de equipotenciales que fluyen a través del medio.

En este caso, el voltaje medido en un punto de observación sería:

$$\Delta V = \rho \frac{I}{2\pi r} \quad (8)$$

Siendo r el radio de la semiesfera considerada. Si se despeja la resistividad de esta ecuación se obtiene:

$$\rho = 2\pi r \frac{\Delta V}{I} \quad (9)$$

Al comparar las ecuaciones (6) y (9) se observa que el valor de la constante geométrica K es igual a 2π .

Cuando, entre los dos electrodos que permiten el ingreso de la corriente al medio, existe una distancia finita, el potencial en cualquier punto se encuentra afectado por los dos electrodos (Telford et al, 1990).

Para los dispositivos de adquisición basados en cuatro electrodos (dos de corriente y dos de potencial), el potencial del electrodo M debido al electrodo A es $\rho I / (2\pi r_{AM})$ donde r_{AM} es la distancia entre los electrodos A y M . De igual forma, el

potencial debido al electrodo B en el electrodo M es $-\rho I/(2\pi r_{BM})$. Realizando la combinación de los voltajes se tiene que:

$$\Delta V_M = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} \right] \quad (10)$$

Análogamente, sobre el electrodo N el potencial viene dado por:

$$\Delta V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{r_{BN}} \right] \quad (11)$$

Cuando se realiza la medición sobre los electrodos M y N se obtiene que

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} \right) - \left(\frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{r_{BN}} \right) \right] \quad (12)$$

La fórmula general para el cálculo de la resistividad en dispositivo de adquisición con cuatro electrodos, es:

$$\rho = 2\pi \frac{\Delta V}{I} \left[\frac{1}{\left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} \right) - \left(\frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{r_{BN}} \right)} \right] \quad (13)$$

Para calcular el valor de la resistividad aparente en el arreglo chulmberger, se obtienen las distancias entre cada uno de los electrodos de corriente y los de potencial, teniendo de esta forma que:

$$r_{AM} = r_{NB} = \frac{(AB - MN)}{2} \quad (14)$$

y

$$r_{AN} = r_{MB} = \frac{(AB + MN)}{2} \quad (15)$$

Si se insertan estos valores dados en las ecuaciones (14) y (15) en la ecuación

(13) y simplificando, se tiene la fórmula que calcula la resistividad para la configuración Schlumberger:

$$\rho = \frac{\pi \Delta V}{4I} \left[\frac{AB^2 - MN^2}{MN} \right]$$

ANEXO 7
CD DE DATOS, PROCESAMIENTO Y MAPA