



**UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DECANATO DE ESTUDIOS PROFESIONALES
COORDINACIÓN DE INGENIERIA GEOFISICA**

**INTERPRETACIÓN AVANZADA 3D DE DATOS DE RESISTIVIDAD Y
POLARIZACIÓN INDUCIDA PARA LA EXPLORACIÓN DE ORO EN LA
REPÚBLICA COOPERATIVA DE GUYANA.**

Por:
Jormary Josefina Jackson Perdomo

INFORME DE PASANTÍA

Presentado ante la Ilustre Universidad Simón Bolívar
Como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Geofísico

Sartenejas, Junio de 2011



**UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DECANATO DE ESTUDIOS PROFESIONALES
COORDINACIÓN DE INGENIERIA GEOFISICA**

**INTERPRETACIÓN AVANZADA 3D DE DATOS DE RESISTIVIDAD Y
POLARIZACIÓN INDUCIDA PARA LA EXPLORACIÓN DE ORO EN LA
REPÚBLICA COOPERATIVA DE GUYANA.**

Por:
Jormary Josefina Jackson Perdomo

Realizado con la asesoría de:
Tutor Académico: Prof. Milagrosa Aldana
Tutor Industrial: MSc. Aldo Cataldi

INFORME DE PASANTÍA

Presentado ante la Ilustre Universidad Simón Bolívar
Como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Geofísico

Sartenejas, Junio de 2011



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
D E : Caracas de Venezuela

Coordinación de Cooperación Técnica y Desarrollo Social

Fecha: 05/04/2011

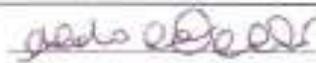
ACTA DE EVALUACIÓN DEL PERÍODO Julio – Diciembre 2010

TIPO DE PASANTÍA: LARGA INTERMEDIA

Título: "Interpretación Avanzada 3D de Datos de Resistividad y Polarización Inducida para la Exploración de Oro en la República Cooperativa de Guyana"

Apellidos y Nombre del Estudiante: Jackson Perdomo, Jormary Josefina

Carnet N°: 05-18354 Carrera: Ingeniería Geofísica

CALIFICACIÓN	APROBADO <input checked="" type="checkbox"/>	REPROBADO <input type="checkbox"/>
TUTOR ACADÉMICO	Firma:  Nombre: <u>Prof. Milagrosa Aldana</u> C.I.: <u>6.141.150</u>	    Validación de CCTDS (Firma y Sello)
TUTOR INDUSTRIAL	Firma:  Nombre: <u>MSc. Aldo Cataldi</u> C.I.: <u>88166897</u>	
JURADO	Firma:  Nombre: <u>Prof. Evert Dardín</u> C.I.: <u>16.871.973</u>	
Artículo 15 Parágrafo Único. Reglamentación de los Cursos en Cooperación: Cuando el Jurado examinador considere por unanimidad que el Trabajo realizado por el pasante es EXCEPCIONALMENTE BUENO, lo hará constar en forma razonada en el Acta _____ _____ _____ _____		

Puerta de Comunidad a Comunidad

INTERPRETACIÓN AVANZADA 3D DE DATOS DE RESISTIVIDAD Y POLARIZACIÓN INDUCIDA PARA LA EXPLORACIÓN DE ORO EN LA REPÚBLICA COOPERATIVA DE GUYANA.

Por:

Jormary Josefina Jackson Perdomo

RESUMEN

En la parte baja del Distrito Cuyuní-Mazaruni, Guyana, se realizó un estudio a dos prospectos con el fin de contribuir en la caracterización geológica de los mismos, determinando anomalías de polarización inducida y resistividad posiblemente compatibles con la presencia de sulfuro metálico asociado a la mineralización de oro.

Para la caracterización de los sitios, se utilizaron los datos adquiridos de Polarización Inducida (IP)/Resistividad por la compañía TRX Consulting C.A a través de métodos geoelectrónicos, donde se aplicó la técnica del perfilaje continuo con el arreglo Dipolo-Dipolo para el prospecto K y el arreglo Polo-Dipolo para el prospecto MM. Posteriormente se procesaron los datos utilizando el programa RES2DINV/RES3DINV y se compararon cualitativamente al generar mapas de contornos a profundidad constante con el programa Oasis Montaj.

Finalmente se generaron pseudo secciones en 3D con el programa Surfer 9 y modelos volumétricos con el programa Voxler 1, con el fin de realizar un estudio cualitativo en una perspectiva de 3 dimensiones para determinar la distribución de las anomalías de Cargabilidad asociadas a zonas conductoras, que indicaban la posible presencia de oro.

Como resultado se pudo obtener un patrón de anomalías que permiten concluir que el prospecto K, presenta una Cargabilidad que lo asocia a un área de mineralización de Au en venas de cuarzo tipo stockwork. El prospecto MM, presenta una anomalía clara que puede asociarse a una mineralización de Au de tipo diseminado y se relaciona a zonas de moderada a alta conductividad. En ambos prospectos las alteraciones hidrotermales contribuyen con la mineralización presente.

AGRADECIMIENTOS

Al Señor por ser mi Padre, mi guía, mi TODO!! Gracias por darme la oportunidad de existir y vivir momentos hermosos durante toda mi vida y darme el privilegio de experimentar este momento tan único de llegar a la cúspide de mi carrera profesional.

A mi hermosa madre, Maribel Perdomo, gracias a ella soy lo que soy! Ella es y siempre será mi modelo a seguir, es mi modelo de lucha, constancia, perseverancia, optimismo, fe, amor, tranquilidad. Mami después de Dios eres mi todo, mi razón de vivir y no dejaría de agradecerte nunca todo lo que has hecho y sacrificado por mí!! TE AMOO!! Eres la MEJOR madre el mundo!!

A mi hermana, Jenny Jackson, confidente, compañera de buenos y no tan buenos momentos! Gracias por estar conmigo siempre, por las peleas, por los abrazos, por escuchar todos los días mis quejas y alegrías. Aunque no lo sepas explícitamente, eres un modelo a seguir para mí! Te quiero mucho hermanita!!

A el resto de mi familia! Mis padres, tías, primos, primas, abuelas! Gracias por su apoyo y buenos deseos!

A mis mejores amigas y más que mejores amigas mis hermanas desde que comencé la universidad! Grecia García y Yarima Pérez!

Grecia, has sido una persona incondicional para mí! Vivimos experiencias inolvidables! Reímos, lloramos y estudiamos hasta el cansancio física y matemática! Gracias por brindarme tu hermosa amistad y por estar conmigo en los momentos difíciles.

Yari, siempre allí para mí incondicional cuando te he necesitado. Por ayudarme con matemática también! Si no fuera por tí créeme que hubiera sufrido muchísimo! Gracias por los bellos momentos que vivimos durante estos 5 años y por las comidas de tu mamá cuando estudiábamos!! También TE ADORO!!

A Sasha Barh, tantos momentos amiga! Gracias por escucharme SIEMPRE, por ser mi confidente y mi apoyo en los momentos no tan bueno de mi vida y por todos los días de arduo estudio juntas! eres una persona increíble!! Jamás podré olvidar los días en tu carro conversando sin parar de las materias, de la universidad y de las cosas que nos sucedían! Momentos inolvidables! Tu amistad vale ORO amiga!!

A Cesar Agüero, mi mejor amigo! Te agradezco por todo el apoyo brindado, por tus consejos, por ser un ejemplo a seguir para mí y porque por ti pude conocer a más compañeros, a la cohorte 06 de geofísicos!!. Cesii te quiero muchísimo!

A la cohorte 06, por acogerme y hacerme sentir desde el primer momento como parte de su grupo! Son mi familia! Isabella, Ketty, Pinto, Gocho, Marisa, Susy, Tesi, Melia, Alvaro, Ariadna, Brian, Jerson, Silvia, Pedro, María Esther, Argenis, Sandra, Carlos Villazán, Iván, Mariale, Fabiola, Francisco, Adriana, Liannaly, Youleisy, Marcos, Angel, Viky! TODOSS! Muchísimas gracias por los mejores momentos de mi vida! Las salidas de campo, los trasnochos, las rumbas y los geoplayazos. Las infinitas clases sin ustedes hubieran sido traumantes! La Cohorte 06 fue un grupo inolvidable! Gracias por hacer de FE2 mi segundo hogar.

A Ismael, Made, Andreina, Fred, Solange, Raúl Colmenares, Carolina Pimentel, Armando, Orian Hernández, Oriana Dos Ramos, Marina, Diego! Gracias a todos por su hermosa amistad y por ayudarme cada vez que los necesitaba!

Quiero agradecer también a mi tutora Milagrosa Aldana, por ayudarme con la redacción de este libro, por aclarar mis dudas y ser tan buena persona!!

También quiero agradecer a mi tutor Aldo Cataldi, por su inmensa dedicación, constante apoyo e inolvidables enseñanzas y consejos!

Al grupo de TRX Consulting C.A, a Dayana, el Señor Hector, Jorge y Liliana! Gracias por hacerme sentir parte de la familia TRX!

Gracias a todas las personas que aunque no pude nombrar, las tengo en mi corazón y dejaron en mí una linda huella durante los 5 años de pregrado.

Gracias Universidad Simón Bolívar!

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ixi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO.....	2
1.1 Métodos Geoeléctricos.....	3
1.1.2 Fundamentos básicos de Electricidad.....	3
1.2 Polarización Inducida (IP).....	7
1.2.1 Polarización de Membrana.....	8
1.2.2 Polarización Electródica.....	9
1.3 Prospección mediante IP.....	11
1.3.1 En el Dominio del Tiempo.....	12
1.3.2 En el dominio de la Frecuencia.....	13
1.4 Arreglos y Sensores para obtención de medidas IP.....	15
1.4.1 Arreglo Dipolo-Dipolo:.....	15
1.4.2 Arreglo Polo-Dipolo:.....	16
1.4.3 Arreglo Schlumberger:.....	16
1.4.4 Arreglo Wenner:.....	16
1.5 Alteración Hidrotermal.....	17
1.5.1 Factores que controlan a la alteración hidrotermal de las rocas.....	17
1.5.2 Reacciones de hidrólisis.....	18
1.5.3 Clasificación de Alteración Hidrotermal.....	19
1.5 Morfología General de los Yacimientos Minerales.....	21
CAPÍTULO 2: UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y MARCO GEOLÓGICO.....	23
2.2 Geología del Área de Estudio.....	24
2.2.1 Geología Regional.....	24
2.2.2 Geología Local.....	28
2.2.3 Geología Estructural.....	28
2.3 Estratigrafía del área de estudio.....	29
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO.....	33
3.1 Adquisición de los datos en las áreas de estudio.....	33
3.2 Áreas de Estudio.....	35
3.3 Procesamiento.....	37
3.3.1 Control de Calidad.....	37

3.3.2 Inversión de los datos adquiridos en Campo	40
3.3.3 Elaboración de Mapas de Contornos de Resistividad y Cargabilidad.....	42
3.3.4 <i>Pseudo</i> secciones en 3D de los Prospecto K y MM	44
3.3.5 <i>Pseudo Modelo</i> Volumétrico de los Prospectos K y MM	44
3.3.6 <i>Modelo</i> Volumétrico del Prospecto K	44
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS	45
4.1 Prospecto K	45
4.1.1 Inversión de valores de Cargabilidad y Resistividad Aparente	45
4.1.2 Mapas de Contornos de Cargabilidad y Resistividad.....	50
4.1.2.1 Mapas de Resistividad	50
4.1.2.2 Mapas de Cargabilidad	55
4.1.3 Pseudo-sección en 3D.....	62
4.1.4 Pseudo modelos Volumétricos	65
4.1.4.1 Pseudo Modelos Volumétricos de Cargabilidad	65
4.1.4.2 Pseudo Modelo Volumétrico de Resistividad	68
4.1.5 Modelo Volumétrico	71
4.1.5.1 Modelos Volumétricos de Cargabilidad	71
4.1.5.2 Modelos Volumétricos de Resistividad.....	73
4.2 Prospecto MM	75
4.2.1 Inversión de valores de Cargabilidad y Resistividad Aparente	75
4.2.2 Mapas de Contornos de Cargabilidad y Resistividad.....	80
4.2.2.1 Mapas de Resistividad	80
4.2.2.2 Mapas de Cargabilidad	87
4.2.3 Pseudo-sección en 3D.....	94
4.2.4 Pseudo Modelo Volumétrico	97
4.2.4.1 Pseudo modelo volumétrico de Cargabilidad.....	97
4.2.4.2 Pseudo Modelo Volumétrico de Resistividad	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
REFERENCIAS	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ley de Ohm (Auge, 2008)	3
Figura 1.2: Fenómeno de polarización de membrana de arcillas (Reynolds, 1997)	8
Figura 1.3: Membrana polarizada asociada a la constricción entre el grano del mineral (Reynolds, 1997)	9
Figura 1.4: Fenómeno de la polarización de electrodos en los contactos mineral-electrolito. (Reynolds, 1997)	10
Figura 1.5: Medida de la IP por medio del decaimiento del voltaje, usando la medida de Cargabilidad. (Reynolds, 1997).....	13
Figura 1.6: Arreglo Dipolo-Dipolo (Summer et al., 1972).....	16
Figura 1.7: Arreglo Polo-Dipolo (summer et al., 1972).....	16
Figura 1.8: Arreglo Schlumberger (Sumner et al., 1972).....	16
Figura 1.9: Arreglo Wenner (Sumner et al., 1972).....	17
Figura 1.10: Asociaciones de minerales de alteración comunes en sistemas hidrotermales (Tomado de Corbett y Leach, 1998).....	22
Figura 2.1: (a) Ubicación geográfica del área en estudio (Google Earth, 2010) (b) Imágenes Google	23
Figura 2.2: Ubicación Geográfica del área en estudio (TRX Consulting C.A, 2010).....	24
Figura 2.3: Mapa Geológico de Guyana (Advertisement Supplement to Mining Journal, 1996.).....	27
Figura 3.1: Equipo de Adquisición Eléctrica.....	32
Figura 3.2: Montaje de los Equipos de Adquisición Eléctrica	34
Figura 3.3: Mapa del prospecto K y diseño de las líneas de Adquisición	36
Figura 3.4: Mapa del Prospecto MM y diseño de las líneas de Adquisición	37
Figura 3.5: Control de Calidad: Pseudo sección filtrada de Resistividad y Cargabilidad Aparente. (TRX Consulting C.A, 2010)	38
Figura 3.6: Topografía de la zona en estudio (TRX Consulting C.A, 2010).....	39
Figura 3.7: Topografía de la zona en estudio (TRX Consulting C.A, 2010)	39
Figura 3.8: Zonas inundadas (TRX Consulting C.A, 2010)	40
Figura 3.9: Pseudo sección invertida en 2D (TRX Consulting C.A, 2010)	41
Figura 3.10: Pseudo sección invertida en 3D (TRX Consulting C.A, 2010).	41
Figura 3.11: Estadística de los datos de Resistividad (Histograma) (TRX Consulting C.A, 2010).	43
Figura 4.1: Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 18. Prospecto K (TRX Consulting C.A, 2010).....	46
Figura 4.2: Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 19. Prospecto K (TRX Consulting C.A, 2010).....	47
Figura 4.3: Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 24. Prospecto K. (TRX Consulting C.A, 2010).....	48
Figura 4.4: Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 25. Prospecto K. (TRX Consulting C.A, 2010).	49
Figura 4.5: Mapa de Resistividad del Prospecto K a 10 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010)	51
Figura 4.6: Mapa de Resistividad del Prospecto K a 31 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010)	52
Figura 4.7: Mapa de Resistividad del Prospecto K a 52 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010)	53
Figura 4.8: Mapa de Resistividad del Prospecto K a 73 m de profundidad.	

(TRX Consulting C.A, 2010)	54
Figura 4.9: Mapa de Resistividad del Prospecto K a 95 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010)	55
Figura 4.10: Mapa de Cargabilidad del Prospecto K a 10 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010).	57
Figura 4.11: Mapa de Cargabilidad del Prospecto K a 31 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010)	58
Figura 4.12: Mapa de Cargabilidad del Prospecto K a 52 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010)	59
Figura 4.13: Mapa de Cargabilidad del Prospecto K a 73 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010)	60
Figura 4.14 Mapa de Cargabilidad del Prospecto K a 95 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010)	61
Figura 4.15: Pseudo-sección de Resistividad en 3D del Prospecto K. (TRX Consulting C.A, 2010).	63
Figura 4.16 :Pseudo-sección de Cargabilidad en 3D del Prospecto K. (TRX Consulting C.A, 2010)	64
Figura 4.17: Pseudo Modelo volumétrico de la Cargabilidad del Prospecto K: slice 48. (TRX Consulting C.A, 2010)	66
Figura 4.18 Pseudo Modelo volumétrico de la Cargabilidad del Prospecto K: slice 25. (TRX Consulting C.A, 2010)	66
Figura 4.19: Pseudo Modelo volumétrico de la Cargabilidad del Prospecto K: slice 14. (TRX Consulting C.A, 2010)	67
Figura 4.20: Pseudo Modelo volumétrico de la Cargabilidad del Prospecto K: slice 1. (TRX Consulting C.A, 2010)	67
Figura 4.21: Pseudo Modelo volumétrico de la Resistividad del Prospecto K: slice 47. (TRX Consulting C.A, 2010)	68
Figura 4.22: Pseudo Modelo volumétrico de la Resistividad del Prospecto K: slice 26. (TRX Consulting C.A, 2010)	69
Figura 4.23: Pseudo Modelo volumétrico de la Resistividad del Prospecto K: slice 19. (TRX Consulting C.A, 2010)	69
Figura 4.24: Pseudo Modelo volumétrico de la Resistividad del Prospecto K: slice 1. (TRX Consulting C.A, 2010)	70
Figura 4.25: Modelo volumétrico de la Cargabilidad del Prospecto K (TRX Consulting C.A, 2010).	71
Figura 4.26: Modelo volumétrico de la Cargabilidad del Prospecto K (TRX Consulting C.A, 2010)	72
Figura 4.27: Modelo volumétrico de la Cargabilidad del Prospecto K (TRX Consulting C.A, 2010)	72
Figura 4.28: Modelo volumétrico de la Resistividad del Prospecto K (TRX Consulting C.A, 2010)	73
Figura 4.29: Modelo volumétrico de la Resistividad del Prospecto K (TRX Consulting C.A, 2010)	74
Figura 4.30: Modelo volumétrico de la Resistividad del Prospecto K (TRX Consulting C.A, 2010).	74
Figura 4.31: Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 14. Prospecto MM. (TRX Consulting C.A, 2010).....	76
Figura 4.32: Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 11. Prospecto MM. (TRX Consulting C.A, 2010).	77

Figura 4.33: Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 9. Prospecto MM. (TRX Consulting C.A, 2010).	78
Figura 4.34: Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 4. Prospecto MM. (TRX Consulting C.A, 2010)	79
Figura 4.35: Mapa de Resistividad del Prospecto MM a 13 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010)	81
Figura 4.36: Mapa de Resistividad del Prospecto MM a 39 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010)	82
Figura 4.37: Mapa de Resistividad del Prospecto MM a 65 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010)	83
Figura 4.38: Mapa de Resistividad del Prospecto MM a 92 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010)	84
Figura 4.39: Mapa de Resistividad del Prospecto MM a 119 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010).	85
Figura 4.40: Mapa de Resistividad del Prospecto MM a 146 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010)	86
Figura 4.41: Mapa de Cargabilidad del Prospecto MM a 13 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010).	88
Figura 4.42: Mapa de Cargabilidad del Prospecto MM a 39 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010)	89
Figura 4.43 Mapa de Cargabilidad del Prospecto MM a 65 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010).	90
Figura 4.44 Mapa de Cargabilidad del Prospecto MM a 92 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010).	91
Figura 4.45: Mapa de Cargabilidad del Prospecto MM a 119 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010).	92
Figura 4.46: Mapa de Cargabilidad del Prospecto MM a 146 m de profundidad. (TRX Consulting C.A, 2010)..	93
Figura 4.47: Pseudo-sección de Resistividad en 3D del Prospecto MM. (TRX Consulting C.A, 2010)	95
Figura 4.48: Pseudo-sección de Cargabilidad en 3D del Prospecto MM. (TRX Consulting C.A, 2010).	96
Figura 4.49: Pseudo Modelo Volumétrico de Cargabilidad del Prospecto MM: slice 46. (TRX Consulting C.A, 2010)	98
Figura 4.50: Pseudo Modelo Volumétrico de Cargabilidad del Prospecto MM: slice 27. (TRX Consulting C.A, 2010).	98
Figura 4.51: Pseudo Modelo Volumétrico de Cargabilidad del Prospecto MM: slice 6. (TRX Consulting C.A, 2010).	99
Figura 4.52 :Pseudo Modelo Volumétrico de Cargabilidad del Prospecto MM: slice 1. (TRX Consulting C.A, 2010).	99
Figura 4.53: Pseudo Modelo Volumétrico de Resistividad del Prospecto MM: slice 48. (TRX Consulting C.A, 2010).	100
Figura 4.54: Pseudo Modelo Volumétrico de Resistividad del Prospecto MM: slice 35. (TRX Consulting C.A, 2010).	101
Figura 4.55: Pseudo Modelo Volumétrico de Resistividad del Prospecto MM: slice 21. (TRX Consulting C.A, 2010).	101
Figura 4.56: Pseudo Modelo Volumétrico de Resistividad del Prospecto MM: slice 1. (TRX Consulting C.A, 2010).	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resistividades que caracterizan a los minerales, rocas y sedimentos. (Telford et al, 1990).....	5
Tabla 2. Resistividades en Ohm.m de diferentes rocas, minerales y químicos (ALH Geofísica).....	6
Tabla 3. Resistividad ρ (Ω m) de algunos materiales a temperatura ambiente (20 °C) (Sears et al, 1999).....	6
Tabla 4: Estadística de los datos de Resistividad (TRX Consulting, 2010).....	43

INTRODUCCIÓN

El Distrito Cuyuní-Mazaruni en Guyana, es considerado desde hace muchos años como una zona de gran interés para la exploración y explotación de depósitos de placer y residuales; tal es el caso del oro (Au), el cual es un mineral de suma importancia económica y por el que muchas compañías invierten para su extracción y comercialización en esta área. Es por ello, que el empleo de diversas técnicas exploratorias cumple una función fundamental para determinar la posible localización en el subsuelo de minerales metálicos económicamente rentables.

Este estudio desea contribuir en la caracterización geológica de las zonas de interés, determinando las anomalías de polarización y resistividad, que podrían ser el resultado de las características geológicas y la acumulación de minerales in situ y de la configuración geológica posiblemente compatible con la presencia de mineralización de oro.

Se consideran los resultados de un estudio geofísico a dos prospectos ubicados en la parte baja del Distrito Cuyuní-Mazaruni, Guyana; se procede a un procesamiento y análisis de los resultados, selección de ambientes geológicos-geofísicos representativos y zonas de anomalías, a través de la generación de una serie de mapas de contornos y modelos volumétricos con el fin de representar de forma espacial la posible distribución de sulfuro metálico asociado a Au.

Este proyecto fue realizado en la compañía TRX Consulting C.A. en el año 2010, una empresa de Consultoría y Servicios en la Ingeniería y Ciencias de la Tierra.

No se reporta la ubicación específica de las zonas descritas en este reporte, a raíz de la confidencialidad que ameritan estudios enfocados en áreas de gran interés económico.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

Las rocas del subsuelo, las estructuras, los fluidos, los minerales, la temperatura, la radioactividad y otras características geológicas pueden ser estudiadas mediante la determinación indirecta (en la superficie o en pozos) de propiedades físicas medidas con los instrumentos y sus resultados interpretados con procedimientos matemáticos adecuados. Los métodos geofísicos de investigación del subsuelo son un conjunto de técnicas instrumentales de operación de campo y de interpretación de resultados. El objetivo que se persigue con su empleo es el de predecir la estructura geológica del subsuelo, ya sea para la exploración de sustancias de importancia económica (minerales sólidos y fluidos) o para la definición de situaciones que interesan a los proyectos de ingeniería. (Arce, 2003).

Las propiedades físicas de las rocas que usualmente se miden en geofísica son: densidad, susceptibilidad magnética, propiedades eléctricas (actividad electroquímica/electrocinética, conductividad, capacidad dieléctrica), elasticidad, radioactividad, temperatura. Para cada una de ellas han sido desarrolladas técnicas de medición, procesamiento de datos e interpretación. (Arce, 2003).

En exploración minera se miden todas las propiedades físicas, en vista de que los yacimientos varían ampliamente en su constitución y situación espacial. En la exploración petrolera los objetivos típicos regionales determinan que sean más utilizados los métodos de gran cobertura (aéreos) y aquellos que dependen de la estructura del subsuelo. En estudios geotécnicos se aprovechan propiedades físicas relacionadas con estructuras someras y con las características mecánicas de las rocas. Para agua subterránea, la propiedad dominante es la resistividad dependiente de la cantidad, calidad y de la temperatura del agua en las formaciones. En investigaciones arqueológicas son analizados los contrastes de elasticidad, de propiedades eléctricas y magnéticas que pueden existir entre los restos buscados y los terrenos que los contienen. (Arce, 2003)

El objetivo primordial de este informe de pasantía, es el estudio de dos Prospectos ubicados en la República Cooperativa de Guyana por medio de Métodos Geoeléctricos, los cuales permiten medir propiedades físicas de las zonas en estudio, tales como la resistividad y polarización inducida, para posteriormente determinar la presencia en profundidad del mineral o metal que se desea extraer, en este caso, el oro.

Es por ello que es necesario explicar en qué consisten dichos métodos geoeléctricos:

1.1 Métodos Geoeléctricos

Los métodos de prospección utilizados en geofísica, también denominados geoeléctricos, estudian por medio de mediciones efectuadas en la superficie del terreno, la distribución en profundidad de alguna magnitud electromagnética (Orellana, 1982). Es importante destacar que aunque existen diversas magnitudes, lo usual es usar una distribución de la resistividad eléctrica aparente (ρ) para llevar a cabo este tipo de estudio. Entre estos métodos destacan los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), las Calicatas Eléctricas (CE) y las Tomografías (Perfilaje Continuo).

1.1.2 Fundamentos básicos de Electricidad

El flujo de una corriente eléctrica a través de las rocas o los sedimentos, puede explicarse mediante la **Ley de Ohm** que establece que la caída del potencial ΔV entre 2 puntos por los que circula una corriente eléctrica de intensidad I , es proporcional a ésta y a la resistencia R que ofrece el medio al paso de la corriente (Figura. 1.1) (Auge, 2008).

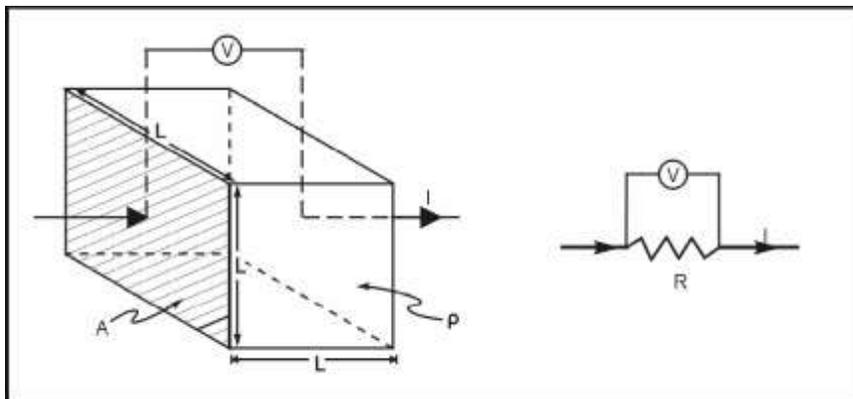


Figura 1.1: Ley de Ohm (Auge, 2008).

Esto se expresa por la siguiente ecuación:

$$\Delta V = I \cdot R \quad (1)$$

La resistencia es función de la naturaleza y la geometría del conductor; si dicho conductor se asemeja a un cilindro de longitud **L** y sección **S**, se obtiene lo siguiente:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad (2)$$

En la ecuación anterior, ρ representa la naturaleza del conductor y se denomina **resistividad**. En el caso de la prospección geoelectrica, es la resistividad de las rocas o sedimentos.

Remplazando **R** de la ecuación (1) por su equivalente de la ecuación (2) se tiene que:

$$\Delta V = I \cdot \rho \cdot \frac{L}{S} \quad (3)$$

La resistividad es una propiedad inversa a la conductividad eléctrica y generalmente se expresa en ohm por metro ($\Omega \cdot m$).

La resistividad de la mayoría de las rocas y sedimentos secos es elevada, por lo que actúan como semiconductores o conductores de baja capacidad. Este comportamiento cambia significativamente cuando las fisuras o los poros están ocupados por agua, lo que genera una disminución de la resistividad o lo que es lo mismo, un aumento en la capacidad de conducción de la corriente eléctrica. Además del grado de saturación, también incide en la resistividad del medio el contenido salino del agua; a mayor salinidad, menor resistividad y viceversa. Los contrastes en las resistividades son los que permiten aplicar exitosamente los métodos de prospección geoelectrica mediante la inyección de corrientes continuas. (Auge, 2008)

Son pocos los componentes geológicos subsaturados o secos, que presentan baja resistividad o alta conductividad. Entre estos pueden mencionarse minerales metálicos como calcopirita, pirita, magnetita, galena, pirrotina, etc. El grafito también presenta elevada conductividad eléctrica, pero la mayoría de los minerales no metálicos, al igual que las rocas,

tienen resistividades significativamente mayores, en general entre 2 y 6 órdenes de magnitud superiores. (Auge, 2008).

En las tablas 1, 2 y 3 se indican las resistividades que caracterizan a los minerales, a las rocas y a los sedimentos, y dentro de estos últimos también se aprecian diferencias notorias entre los de grano fino (margas, limos, arcillas), los de grano mediano (arenas) y grueso (gravas).

Tabla 1. Resistividades que caracterizan a los minerales, rocas y sedimentos.

(Telford et al, 1990)

Mineral/Sedimento	Rango de Resistividad ($\Omega.m$)
Cuarzo	$10^{10} - 10^{14}$
Calcita	10^{12}
Mica	$9 \times 10^2 - 10^{14}$
Biotita	$2 \times 10^2 - 10^6$
Galena	$3 \times 10^{-5} - 10^2$
Granito	4.5×10^3 (húmedo) - 1.3×10^6 (seco)
Pirita	$2.9 \times 10^{-5} - 1.5$
Agua subterránea	10 - 100
Agua Mineral Natural	0.5 - 150
Agua de Mar	0.2
Sulfato de Cobre	3×10^{-12}
Óxido de Hierro	0.1 - 300
Basalto	10 - 1.3×10^7 (seco)
Mármol	$10^2 - 2.5 \times 10^8$ (seco)
Arenisca	1 - 6.4×10^8
Limos	50 - 10^7
Arcilla	1 - 100
Gravas	100 (húmedo) - 1400 (seco)
Conglomerado	$2 \times 10^3 - 10^4$

Tabla 2. Resistividades en Ohm.m de diferentes rocas, minerales y químicos
(ALH Geofísica).

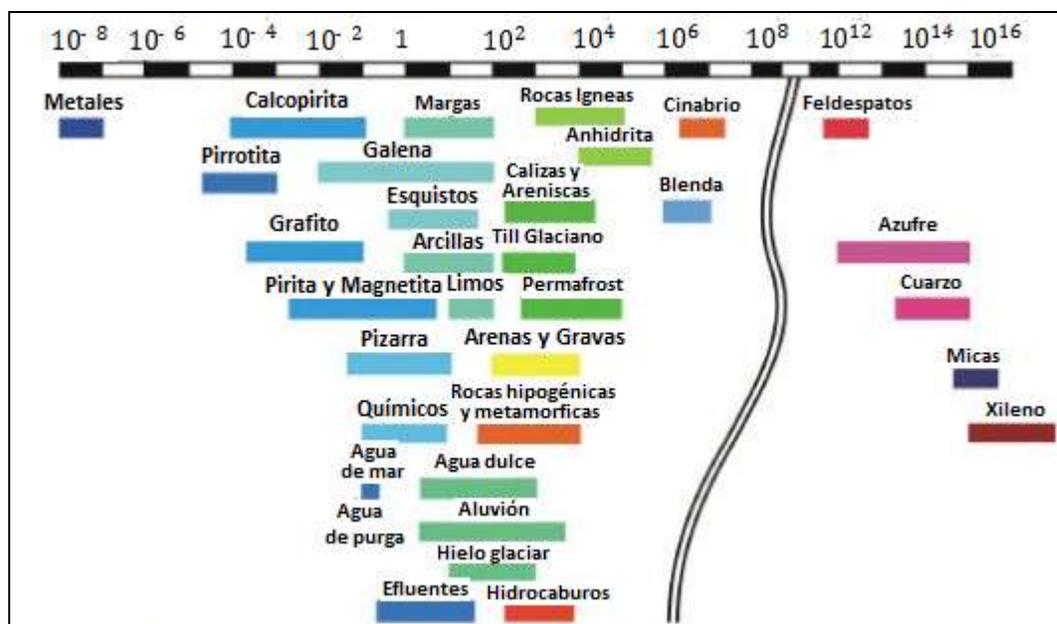


Tabla 3. Resistividad ρ (Ω m) de algunos materiales a temperatura ambiente (20°C)
(Sears et al, 1999).

Conductores		Semiconductores			
Metales	Plata	1.47×10^{-8}	grafito	3.5×10^{-5}	
	Cobre	1.72×10^{-8}	Germanio	0.60	
	Oro	2.44×10^{-8}	Silicio (puro)	2300	
	Aluminio	2.75×10^{-8}	Aislantes	Ámbar	5×10^{14}
	Tungteno	5.25×10^{-8}		Vidrio	$10^{10} - 10^{14}$
	Acero	20×10^{-8}		Lucita	$> \times 10^{13}$
	Plomo	22×10^{-8}		Mica	$10^{11} - 10^{15}$
	Mercurio	95×10^{-8}		Cuarzo (fundido)	75×10^{16}
Aleaciones	Manganina	44×10^{-8}		Azufre	10^{15}
	Constantán	49×10^{-8}		Teflón	$> \times 10^{13}$
	Nikelcromio	100×10^{-8}		Madera	$10^8 - 10^{11}$

1.2 Polarización Inducida (IP)

El método de polarización Inducida (IP) es una técnica relativamente nueva aplicada en Geofísica, y ha sido empleada principalmente en exploración de metales y en menor proporción en la búsqueda de aguas subterráneas.

Dicho fenómeno fue observado por los hermanos Schlumberger, grandes pioneros de exploraciones geofísicas, hacia el año 1920 y estudiado por Müller en 1937. (Telford et al, 1990).

El fenómeno de polarización inducida está íntimamente ligado a la presencia de soluciones acuosas en las cuales fluyen cargas eléctricas ante la presencia de un potencial eléctrico. A diferencia de la polarización asociada a una conducción puramente metálica (prácticamente instantánea), en la conducción electrolítica se establece un equilibrio de cargas que demora un tiempo finito en producirse, el cual es inherente a la velocidad de transporte de los iones en un medio acuoso. Este tiempo de polarización o relajación (al eliminar la diferencia de potencial) es medible instrumentalmente. La constante de tiempo asociada a este proceso permite entonces inferir la presencia de cuerpos mineralizados. (<https://www.u-cursos.cl>).

Dos tipos de polarización han sido identificados: Polarización de Membrana y Polarización Electrónica.

En ambos casos el fenómeno puede esquematizarse en el flujo de iones en dirección opuesta al electrodo que presenta carga del mismo signo. Una vez establecido este flujo de iones, la tortuosidad del medio acuoso induce la generación de barreras polarizadas con cargas de signo opuesto como producto de:

- a. estrechamiento del canal poroso;
- b. obstrucción por un grano metálico;
- c. obstrucción por acumulación de iones en torno a un núcleo de la roca de caja cargado eléctricamente.

Caracteriza entonces el fenómeno de polarización inducida el transporte de cargas en un tiempo finito y la acumulación de estas (o polarización) entorno a una barrera física. (<https://www.u-cursos.cl>).

1.2.1 Polarización de Membrana

Esta polarización corresponde al caso de una barrera conformada por la acumulación de iones en el entorno de una carga de signo opuesto en las paredes de la zona porosa. Es el caso por ejemplo de la presencia de arcillas que por lo general están cargadas negativamente, y en consecuencia atraen cationes que impiden el flujo expedito de cargas (Figura. 1.2). Cuando se hace pasar una corriente los iones positivos se desplazan, y al interrumpirse se redistribuyen generando una tensión decreciente entre los dos electrodos en contacto con la arcilla. (Telford et al., 1990).

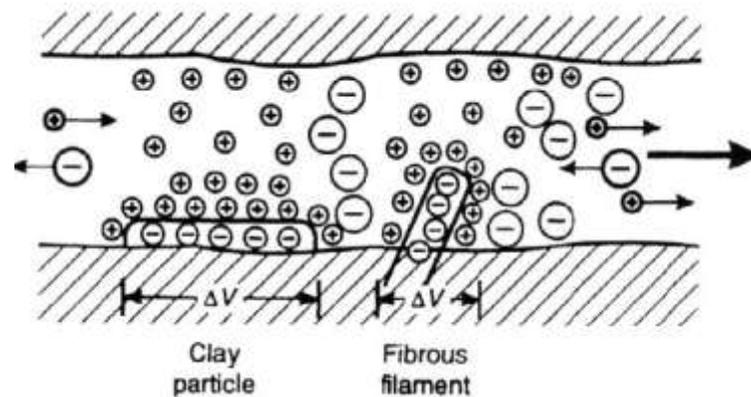


Figura 1.2: Fenómeno de polarización de membrana de arcillas (Reynolds, 1997)

Otro ejemplo que explica la polarización de membrana es la constricción dentro de la garganta del poro de un grano de mineral; la carga negativa se distribuye entre la interfaz del mineral y el fluido en los poros; a su vez la carga positiva en dicho fluido es atraída por la superficie de la roca y las cargas negativas son repelidas (Figura. 1.3). Se observa cómo el diámetro de la garganta del poro se reduce (constricción) cuando se aplica un voltaje. Los iones negativos se alejan de la zona obstruida y los iones positivos aumentan su concentración, produciéndose una diferencia de potencial a lo largo de dicha obstrucción. (Kiberu, J., 2002).

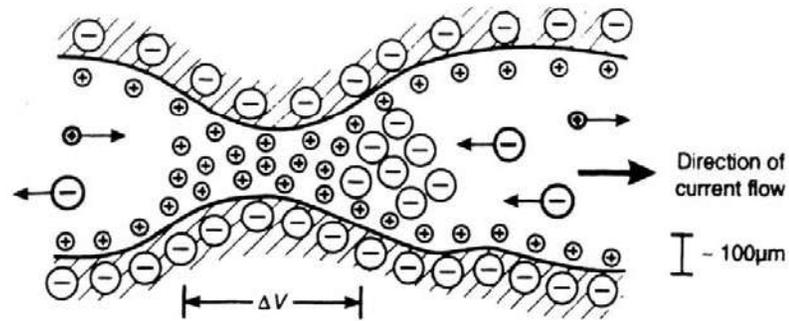


Figura 1.3: Membrana polarizada asociada a la constricción entre el grano del mineral
(Reynolds, 1997)

1.2.2 Polarización Electrónica

Este tipo de polarización está representada por la presencia de granos metálicos en los conductos porosos. Las cargas iónicas acumuladas en el límite electrolito-partícula metálica crean una tensión que se opone al flujo, por lo que, cuando la corriente se interrumpe, queda un potencial residual debido a las cargas iónicas allí retenidas (Figura. 1.4). Este potencial luego decrece continuamente al difundirse las cargas en los electrolitos de los poros. (Parasnis, 1996)

Un ejemplo clásico de este fenómeno se desarrolla en pórfidos cupríferos en donde los sulfuros diseminados se acumulan o depositan en zonas de circulación. Ante la aplicación de una diferencia de potencial estos granos metálicos se polarizan electrónicamente y actúan como barrera para la movilidad de los iones. (<https://www.u-cursos.cl>).

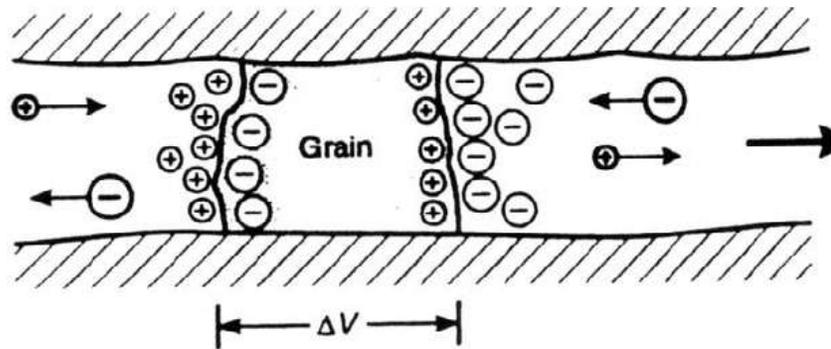


Figura 1.4: Fenómeno de la polarización de electrodos en los contactos mineral-electrolito.
(Reynolds, 1997).

Ambos efectos de polarización seguramente coexisten en ambientes en donde la conducción electrolítica es de primer orden; sin embargo no es posible distinguir uno de otro a partir de las observaciones. (<https://www.u-cursos.cl/>).

La magnitud de este efecto de polarización depende de una serie de factores internos y externos al fenómeno mismo. Entre estos cabe mencionar la corriente I que es proporcional al voltaje aplicado y en consecuencia a mayor corriente es mayor el efecto de polarización. Dado que se trata de un fenómeno de superficie de contacto, el efecto es mayor en minerales diseminados que masivos (mayor superficie de contacto en los primeros). Se ha observado también que el efecto de polarización es sensible a cambios en la frecuencia de la fuente aplicada. A mayor frecuencia el efecto de polarización es menor, disminuyendo en consecuencia la resistividad media como producto de la mayor movilidad (entre barreras) de los iones en solución. Como se verá más adelante, esta propiedad es utilizada en el reconocimiento de terreno en la modalidad de frecuencia en la cual se determina la resistividad aparente en dos frecuencias. (<https://www.u-cursos.cl/>).

Otra propiedad del efecto de polarización proporciona una relación con la porosidad de la roca huésped, a mayor porosidad el efecto de polarización disminuye al existir mayor número de conductos para la migración de las partículas cargadas a través del fluido. Esta propiedad permite predecir que el efecto de polarización es mayor en cuerpos ígneos, más densos que las rocas estratificadas; sin embargo esta condición no es absoluta porque obviamente al disminuir la porosidad a un punto en el cual la movilidad tiende a cero la conducción electrolítica también se

reduce dramáticamente. La proporción de arcillas condiciona el efecto de polarización inducida y el tipo membrana al actuar como superficie acumuladora de iones positivos, dada su propiedad de distribuir cargas negativas en su superficie externa. Es decir a mayor proporción de arcillas aumenta el efecto de polarización; sin embargo una proporción muy alta de arcillas tiende a establecer barreras en forma continua, dificultando la movilidad de los iones y su acumulación posterior. (<https://www.u-cursos.cl/>).

La polarización inducida detecta propiedades eléctricas y de polarización; tiene pérdida de resolución con la profundidad, con penetraciones de 200-400 m en sistemas tradicionales y de 500-800 m en sistemas de última generación; además se podrían presentar problemas de inyección de corriente en ambientes muy resistivos. Sus costos son de US\$ 800-1000/Km. en sistemas convencionales, mientras que en sistemas de última generación los valores alcanzan más de US\$ 2,000/Km. (<https://www.u-cursos.cl/>).

1.3 Prospección mediante IP

La Polarización Inducida (IP) ha tenido muchas aplicaciones desde los años 50. Fue aplicada principalmente para la detección de sulfuros en exploraciones de pórfidos de cobre, pero actualmente es usada para el mapeo de sulfuros diseminados y alteraciones sobre metales preciosos. (Kenneth L. et al, 1990).

La exploración de metales preciosos se lleva a cabo con dispositivos tetraelectródicos dependiendo del objetivo de prospección. En el reconocimiento de objetivos pequeños el arreglo que proporciona una cobertura adecuada en relación con la profundidad es el arreglo Wenner. Sin embargo, las observaciones de las anomalías se encuentran limitadas por la profundidad de estudio que proporciona cada arreglo eléctrico. El arreglo dipolo-dipolo provee la mejor combinación de velocidad, cobertura lateral y vertical de la densidad de los datos para su posterior interpretación. Por lo tanto el arreglo dipolo-dipolo es probablemente el mejor arreglo usado hoy en día para la prospección mediante IP.

Las medidas de IP están dadas en función de resistividades aparentes y polarización aparente. La palabra “aparente” es usada para denotar el hecho de que el valor de la medida se obtiene en

función de los arreglos geométricos y no por el valor real del punto muestreado. (Zonge et al, 2005).

Normalmente se adquieren medidas de IP con calicatas en varias profundidades de interés, como en las tomografías eléctricas (TE), pero a partir del impulso dado a estos métodos hacia 1948 por la Newmont Exploration en los Estados Unidos, surgieron variantes prospectivas en dos dominios diferentes. (Chelotti et al., 2010).

A continuación se describen estos dominios:

1.3.1 En el Dominio del Tiempo

Se aplica al terreno una corriente continua y se registra el decaimiento del voltaje para un par de electrodos de potencial después de haber cortado la inyección de corriente. (Chelotti et al., 2010).

La medida de efecto de IP es la cargabilidad m (Telford et al., 1990), y se expresa usualmente como:

$$m = \frac{V_s}{V_p} \left(\frac{mV}{V} \right) \quad (4)$$

donde V_p , es la medida del voltaje normal mientras la corriente fluye y V_s es el voltaje residual en un instante determinado t después del corte de la corriente.

Instrumentalmente es difícil obtener la medida del decaimiento de V_s ; es por ello que se registra la curva de descenso durante un cierto lapso de tiempo y se determina el área comprendida entre dos límites de tiempo (t_1 , t_2) (Figura. 1.5) al dividir este resultado por el potencial normal V_p se obtiene la medida de la integral de tiempo de la IP, en algunos textos llamada Cargabilidad (m) con unidades de tiempo (milisegundos) (Telford et al., 1990). Se expresa como:

$$m = \frac{1}{V_p} \int_{t_1}^{t_2} V_s(t) dt \quad (5)$$

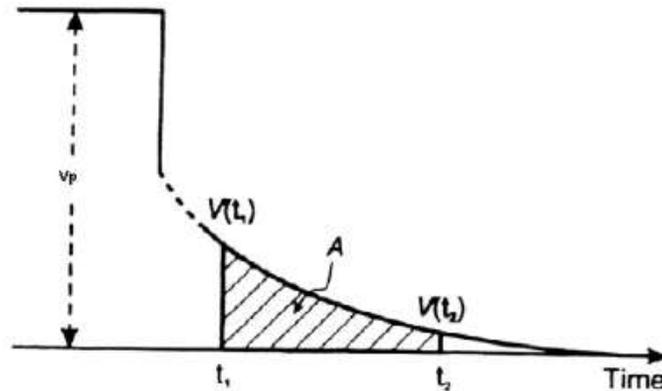


Figura 1.5: Medida de la IP por medio del decaimiento del voltaje, usando la medida de cargabilidad. (Reynolds, 1997).

1.3.2 En el dominio de la Frecuencia

Cuando se efectúan mediciones de IP en corriente alterna se dice que se trabaja en el *dominio de frecuencias*. La idea básica de esta modalidad del método es que los fenómenos de polarización, tanto "de electrodos" como "de membrana" requieren un cierto tiempo para producirse, por lo que si se aplica a un terreno polarizable una corriente sinusoidal, se observará un desfase en la tensión captada entre los electrodos *M* y *N* respecto a la intensidad que penetra a través de los *A* y *B*. Si se aplica un dispositivo tetraelectródico a un terreno polarizable, la resistividad aparente observada disminuirá al aumentar la frecuencia de la corriente de emisión. La variación de la resistividad con la frecuencia tiene lugar con mayor intensidad para valores de ésta inferior a 103 Hz. Tal variación se denomina *efecto de frecuencia* (FE). (Telford et al., 1990).

Este efecto se expresa por la siguiente ecuación:

$$FE = \frac{V_{lo} - V_{hi}}{V_{hi}} \quad (6)$$

donde V_{hi} y V_{lo} son las respuestas del estado de voltaje en el lugar de alta y baja de frecuencias filtrada respectivamente.

Una expresión alterativa es:

$$FE = \frac{\rho_{lo} - \rho_{hi}}{\rho_{hi}} \quad (7)$$

donde ρ_{hi} y ρ_{lo} son las magnitudes de resistividad aparente a frecuencias altas (h_i) y bajas (l_o). La resistividad aparente a baja frecuencia (ρ_{lo}) es mayor que la resistividad aparente a alta frecuencia (ρ_{hi}), porque las resistividades en las rocas disminuyen cuando las frecuencias de corrientes alternas aumentan. Las dos resistividades aparentes, por lo tanto, se utilizan para el cálculo del efecto de frecuencia (FE), el cual puede ser expresado en porcentaje (PFE). (Telford et al., 1990):

$$PFE = FE * 100\% \quad (8)$$

El Factor Metálico (M.F) es otro parámetro del método en el dominio de frecuencia que corrige la influencia de la resistividad de la roca caja. Se define como el FE dividido por la resistividad aparente a baja frecuencia (ρ_{lo}). (Telford et al., 1990).

Sin embargo el resultado que se obtiene de dicha división es muy pequeño, por lo que se multiplica por $2\pi * 10^5$. Como la resistividad se expresa en Ω m, la unidad del factor metálico es mhos por ft, preferiblemente en mhos por metro (Telford et al., 1990).

El Factor Metálico se expresa como:

$$MF = 2\pi \times 10^5 \frac{\rho_{a0} - \rho_{a1}}{\rho_{a0}\rho_{a1}} = 2\pi \times 10^5 \frac{FE}{\rho_{a0}} \quad (9)$$

donde ρ_{hi} y ρ_{lo} son las resistividades aparentes; $\rho_{lo} > \rho_{hi}$

1.4 Arreglos y Sensores para obtención de medidas IP

Para llevar a cabo estudios con IP se pueden utilizar diferentes arreglos, tales como dipolo-dipolo, polo-dipolo, Schlumberger y Wenner. En Norte América los arreglos dipolo-dipolo y gradiente son los más usados. En adición a estos arreglos tradicionales o “estándar”, se tiene el arreglo llamado sondeo IP o “reconnaissance IP” (RIP), que puede ser usado para obtener mayor cantidad de medidas en corto tiempo sobre áreas grandes. (Zonge et al, 2005).

A continuación se dará una breve explicación de los diferentes arreglos tetraelectródicos utilizados:

1.4.1 Arreglo Dipolo-Dipolo:

El arreglo dipolo-dipolo provee una razonable resolución lateral y vertical de la zona en estudio. La resolución lateral es controlada por la longitud del campo eléctrico del dipolo. La secuencia del dipolo fuente tiene una longitud “a” y el dipolo receptor tiene la misma longitud en el tendido. Variando “n” (espacio entre dipolos) y moviendo el arreglo lateralmente a lo largo del suelo, se puede construir una sección transversal. (Figura. 1.6).

Las medidas obtenidas con el arreglo dipolo-dipolo toman aproximadamente 20 a 40 minutos por diagonal, dependiendo del tipo de data que se desee adquirir. (Zonge et al, 2005).

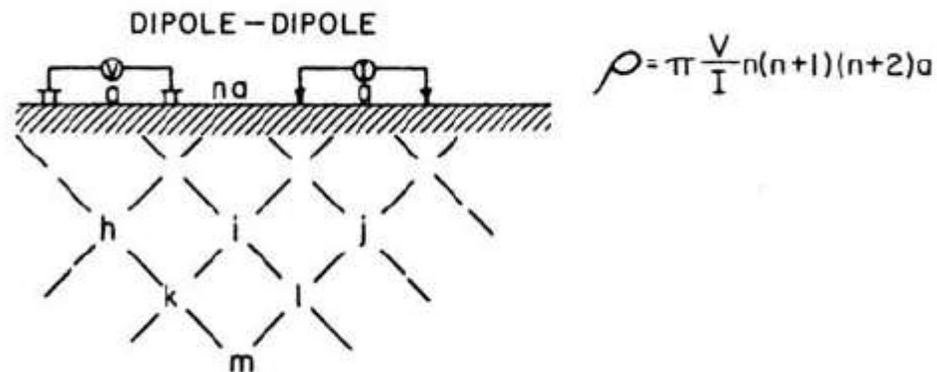


Figura 1.6: Arreglo Dipolo-Dipolo (Sumner et al., 1972)

1.4.2 Arreglo Polo-Dipolo:

Provee una mejor señal que el Arreglo Dipolo-Dipolo, pero hay más dificultad para el análisis de las pseudo secciones. (Zonge et al, 2005).

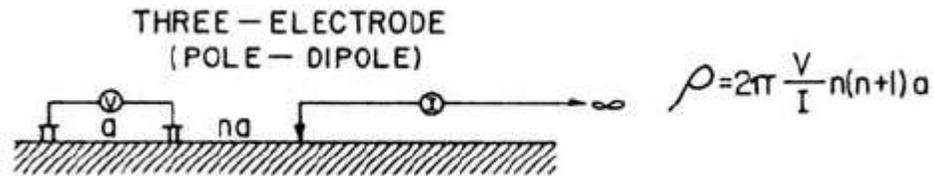


Figura 1.7: Arreglo Polo-Dipolo (Sumner et al., 1972)

1.4.3 Arreglo Schlumberger:

Arreglo utilizado para sondeos verticales. Es sensible a los efectos superficiales y puede aplicarse tanto en el dominio del tiempo como en el de frecuencias. (Zonge et al, 2005).

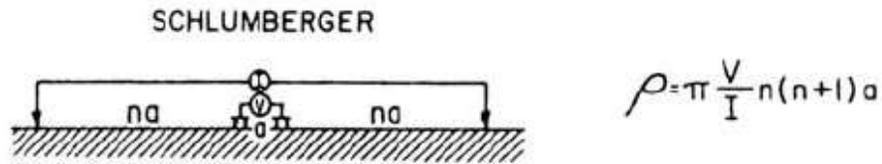


Figura 1.8: Arreglo Schlumberger (Sumner et al., 1972)

1.4.4 Arreglo Wenner:

Es una versión fija espaciada del arreglo Schlumberger y es usada principalmente en perfiles. (Zonge et al, 2005).

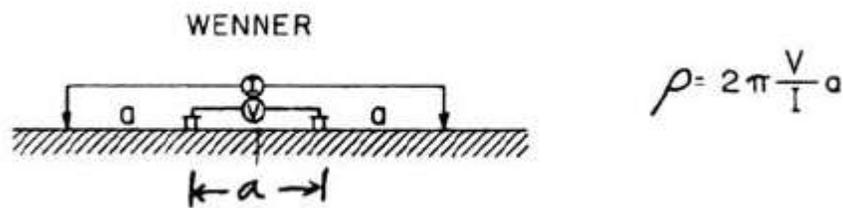


Figura 1.9: Arreglo Wenner (Sumner et al., 1972).

1.5 Alteración Hidrotermal

La alteración hidrotermal es un término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental, en térmicos químicos y termales, en la presencia de agua caliente, vapor o gas. La alteración hidrotermal ocurre a través de la transformación de fases minerales, con el crecimiento, disolución y/o precipitación de los mismos así como con reacciones de intercambio iónico entre los constituyentes de una roca y el fluido caliente que circuló por ella. Aunque la composición litológica inicial tiene una influencia en la mineralogía secundaria (hidrotermal), su efecto es menor debido a la permeabilidad, temperatura y composición del fluido.

La característica esencial de la alteración hidrotermal es la conversión de un conjunto mineral inicial en una nueva asociación de minerales más estable bajo las condiciones hidrotermales de temperatura, presión y sobre todo de composición de fluidos. La textura original de la roca puede ser modificada ligeramente o completamente por la alteración hidrotermal. La alteración hidrotermal involucra la circulación de volúmenes relativamente grandes de fluidos calientes atravesando las rocas permeables debido a la presencia de fisuras o poros interconectados. El fluido tiende a estar considerablemente fuera de equilibrio termodinámico con las rocas adyacentes y esto genera las modificaciones en la composición mineralógica original de las rocas, puesto que componentes en solución y de los minerales sólidos se intercambian para lograr un equilibrio termodinámico. (<http://www.cec.uchile.cl>)

1.5.1 Factores que controlan a la alteración hidrotermal de las rocas.

- a) **Temperatura** y la diferencia de temperatura (Δt°) entre la roca y el fluido que la invade: mientras más caliente el fluido mayor será el efecto sobre la mineralogía original.
- b) **Composición del fluido**; sobre todo el **pH** del fluido hidrotermal: mientras más bajo el pH (fluido más ácido) mayor será el efecto sobre los minerales originales.
- c) **Permeabilidad** de la roca: Una roca compacta y sin permeabilidad no podrá ser invadida por fluidos hidrotermales para causar efectos de alteración. Sin embargo, los fluidos pueden producir

fracturamiento hidráulico de las rocas o disolución de minerales generando permeabilidad secundaria en ellas.

d) **Duración de la interacción agua/roca** y variaciones de la razón agua/roca. Mientras mayor volumen de aguas calientes circule por las rocas y por mayor tiempo, las modificaciones mineralógicas serán más completas.

e) **Composición de la roca**; la proporción de minerales: es relevante para grados menos intensos de alteración, dado que los distintos minerales tienen distinta susceptibilidad a ser alterados, pero en alteraciones intensas la mineralogía resultante es esencialmente independiente del tipo de roca original.

f) **Presión**: este es un efecto indirecto, pero controla procesos secundarios como la profundidad de ebullición de fluidos, fracturamiento hidráulico (generación de brechas hidrotermales) y erupción o explosiones hidrotermales.

Los dos factores iniciales **temperatura** y **composición del fluido hidrotermal** los más importantes para la mineralogía hidrotermal resultante de un proceso de alteración.

Esto es relevante porque las asociaciones de minerales hidrotermales nos dan indicios de las condiciones en que se formaron depósitos minerales de origen hidrotermal. (<http://www.cec.uchile.cl>).

1.5.2 Reacciones de hidrólisis

La estabilidad de feldspatos, micas y arcillas en procesos de alteración hidrotermal es comúnmente controlada por **hidrólisis**, en la cual K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , y otros cationes se transfieren de minerales a la solución y el H^+ se incorpora en las fases sólidas remanentes. Esto ha sido denominado **metasomatismo de hidrógeno** (Hemley and Jones, 1964).

La **hidrólisis** es una reacción de descomposición que involucra la participación de agua.

En geología corresponde a la reacción entre minerales silicatados ya sea con agua pura o con una solución acuosa, en la cual los iones H^+ y OH^- son consumidos selectivamente.



Las **reacciones de hidrólisis son muy importantes en los procesos de alteración hidrotermal** y algunos tipos de alteraciones son el resultado de distinto grado de hidrólisis de los minerales constituyentes de las rocas. (<http://www.cec.uchile.cl>)

1.5.3 Clasificación de Alteración Hidrotermal

La alteración hidrotermal produce un amplio rango de mineralogía, abundancia mineral y texturas en distintas rocas. Esto hace que sea complicado tener un criterio uniforme para la clasificación de tipos de alteración. Los autores de mapeos y de estudios de alteración generalmente han simplificado sus observaciones clasificando las rocas alteradas en grupos.

Meyer y Hemley (1967) clasificaron la alteración hidrotermal en los tipos: Argílica intermedia, Argílica avanzada, Filítica y Propilítica:

- ✓ **Argílica Intermedia:** Importantes cantidades de caolinita, montmorillonita, esmectita o arcillas amorfas, principalmente reemplazando a plagioclasas; puede haber sericita acompañando a las arcillas; el feldespato potásico de las rocas puede estar fresco o también argilizado. Hay una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg de las rocas. Ocurre a una temperatura máxima de 150°C. Los nuevos minerales arcillosos recristalizados se caracterizan por ser conductivos, por lo que la resistividad de la formación disminuye drásticamente.
- ✓ **Argílica avanzada:** gran parte de los minerales de las rocas transformados a dickita, ataque hidrolítico extremo de las rocas en que incluso se rompen los fuertes enlaces del aluminio en los silicatos originando sulfato de Al (alunita) y óxidos de Al (diásporo). En casos extremos la roca puede ser transformada a una masa de sílice oquerosa residual (“vuggy silica” en inglés).
- ✓ **Filítica o cuarzo-sericítica:** Ambos feldespatos (plagioclasas y feldespato potásico) transformados a sericita y cuarzo, con cantidades menores de caolinita, illita, muscovita y clorita. Normalmente los minerales máficos también están completamente destruidos en este tipo de alteración. La temperatura máxima asociada a esta alteración es de 220 °C aproximadamente. En esta zona los niveles de resistividad también pueden reducirse drásticamente por este proceso hidrotermal.

- ✓ **Propilítica:** Presencia de epidota y/o clorita y ausencia de un apreciable metasomatismo catiónico o lixiviación de alcalis o tierras alcalinas; H₂O, CO₂ y S pueden agregarse a la roca y comúnmente se presentan también albita, calcita y pirita. Este tipo de alteración representa un grado bajo de hidrólisis de los minerales de las rocas y por lo tanto su posición en zonas alteradas tiende a ser marginal. Se asocia a rangos variables de temperatura, principalmente a 250°C. Los minerales que surgen de este proceso hidrotermal aportan propiedades resistivas a la formación que los rodea.

Surgen también otros tipos de alteraciones hidrotermales, que merecen ser mencionadas:

- ✓ **Potásica:** Alteración de plagioclasas y minerales máficos a feldespato potásico y/o biotita.

Esta alteración corresponde a un intercambio catiónico (cambio de base) con la adición de K a las rocas. A diferencia de las anteriores este tipo de alteración no implica hidrólisis y ocurre en condiciones de pH neutro o alcalino a altas temperaturas (principalmente en el rango 350°-550°C. Por esta razón, frecuentemente se refiere a la alteración potásica como tardimagmática y se presenta en la porción central o núcleo de zonas alteradas ligadas al emplazamiento de plutones intrusivos. (<http://www.cec.uchile.cl>)

Además, existe la alteración tipo **skarn**, la cual corresponde a la transformación de rocas carbonatadas (calizas, dolomitas) a minerales calcosilicatados en zonas adyacentes a intrusivos. Se caracteriza por la presencia de granates (andradita y grosularita), wollastonita, epidota, diópsido, idocrasa, clorita, actinolita. En los casos que los carbonatos son magnésicos (dolomitas) la asociación incluye: forsterita, serpentina, talco, tremolita, clorita. Skarn es un término de origen sueco para designar rocas calcáreas metamorfizadas, pero su uso se ha generalizado para depósitos minerales relacionados a fenómenos de metamorfismo de contacto y metasomatismo ligados a intrusiones que cortan secuencias de rocas carbonatadas. Es un tipo especial de alteración en la que la litología original es determinante en la asociación mineral resultante.

La alteración tipo **greissen** caracterizada por la asociación: muscovita, feldespato, cuarzo, topacio y/o turmalina. Se asocia a facies neumatolíticas de rocas graníticas y ocurre a temperaturas mayores de 250°C, generalmente en las porciones apicales o cúpulas de batolitos graníticos, donde se atribuye a la acumulación de volátiles provenientes del magma o por incorporación de fluidos provenientes de la deshidratación de las rocas íntidas. (<http://www.cec.uchile.cl>)

Corbett y Leach (1998) publicaron un diagrama de clasificación de tipo de alteración hidrotermal en que se incluyen los principales tipos clásicos de alteración ordenados en función del pH del fluido y de la temperatura (Figura 1.10).

1.6 Morfología general de los yacimientos minerales

La formación de depósitos minerales metálicos, no constituye un fenómeno especial o extraño aislado del resto del ciclo geológico-tectónico, sino que son un subproducto de este ciclo y los depósitos originados pueden ocurrir asociados a todo tipo de roca, marco tectónico o en cualquier época geológica. En general, los depósitos pueden ser masivos, tabulares o diseminados, existiendo varios subtipos de cada uno de ellos:

- **Depósitos Masivos:** Consiste de un cuerpo de mena de relativo gran espesor formado por un mínimo agregado de cristales de menas metálicas y ganga. Son masivos los cuerpos conocidos como Skarns.
- **Depósitos Tabulares:** Los depósitos tabulares pueden tener varios orígenes. Se consideran los de tipo estratiforme y los de tipo filoniano, o vetas. Los de tipo estratiforme generalmente tienen espesores del orden de unas decenas o centenares de metros, siendo cuerpos de gran valor económico. Los filones o vetas son cuerpos tabulares de muy poco espesor, a lo sumo unos metros, pero de gran longitud a lo largo de su rumbo y que alcanzan varios km de profundidad. En realidad los filones o vetas son fracturas, diaclasas o fallas rellenas por material depositado allí, por fluidos calientes que circularon a través de las estructuras.

Existen venas de muchos tipos y formas: *Venas simples* (formadas por una sola inyección de fluidos mineralizantes), *venas complejas* (formadas por varias inyecciones a lo largo de un mismo plano), *venas irregulares* (tienen espesor variable debido a ondulaciones o curvaturas en los planos de fallas), *venas stockwork* (cuerpo extenso formado por

CAPÍTULO 2

UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y MARCO GEOLÓGICO

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El área de estudio se ubica en la República Cooperativa de Guyana, en la región Cuyuní-Mazaruni (Figuras. 2.1 (a), 2.1(b) y 2.2).

Cuyuní-Mazaruni es una de las 10 regiones en las que se encuentra dividida administrativamente la república de Guyana. Esta región no es reconocida por Venezuela porque se ubica en la Zona en Reclamación. Debe su nombre a los ríos Cuyuní y Mazaruni, delimita al norte con Barima-Waini, las Islas Essequibo-Demerara Occidental y Pomeroon-Supenaam, al este con el Alto Demerara-Berbice, al sur con Potaro-Siparuni y Brasil y con Bolívar al oeste. Su extensión actual es de 47.213 Km². (TRX Consulting C.A, 2009).



(a)



(b)

Figura 2.1 (a) Ubicación geográfica del área en estudio (Google Earth, 2010)

(b) Imágenes Google



Figura 2.2 Ubicación Geográfica del área en estudio (TRX Consulting C.A, 2010)

2.2 Geología del Área de Estudio

A continuación se explicará la geología que caracteriza el área de estudio a nivel regional, local y estructural.

2.2.1 Geología Regional

Guyana está principalmente constituida por rocas de la era Proterozoica (Figura. 2.3). Además hay presencia granitos y rocas verdes del Escudo Guayanés, el cual es un antiguo cratón continental de edad precámbrica. El Escudo Guayanés se ubica en la parte norte del Cratón del Amazonas, una de las mayores áreas cratónicas en el mundo.

El Cratón del Amazonas formó la parte occidental del Cratón del África occidental hasta la apertura de la Cuenca del Atlántico hace 115 Ma. El cratón Amazónico está rodeado de cinturones orogénicos generalmente acompañados por las intrusiones de rocas graníticas.

Guyana está dividida en provincias geológicas norte y sur:

La Provincia del Norte se compone de rocas arcaicas Proterozoicas, aproximadamente entre 2,2 y 1,9 millones de años. Estas rocas se formaron en depresiones que constituyeron depósitos de rocas sedimentarias y volcánicas.

Los canales se comprimieron y metamorfizaron en cinturones verdes con eventos mineralizantes asociados, que resultó en una área aurífera con un potencial de yacimientos de clase mundial.

El Distrito Noroeste de Guyana, que incluye el área de estudio MM y K, se ubica dentro del supergrupo Barama-Mazaruni. El Supergrupo Barama-Mazaruni consta de rocas verdes del Proterozoico inferior, con metasedimentos y complejos graníticos y se asocia a la Formación Cuyuní. El emplazamiento de intrusiones en esta zona, se llevó a cabo durante la orogénesis Transamazónica entre 2,0 billones y 1,7 años. Una cuenca costera reciente se formó a lo largo del Atlántico y un conjunto menor de rocas intrusivas del Triásico fue el resultado de la deriva continental.

Super Grupo Barama-Mazaruni:

Las rocas meta-volcánicas y meta-sedimentarias del Súper Grupo Barama-Mazaruni, cubren una gran parte de la región nor-central del Territorio. Los afloramientos forman una serie de "cinturones verdes" separados entre sí por amplias zonas de rocas graníticas y gnéissicas asociadas, las cuales continúan hacia el oeste y hacia el este de Venezuela y Guyana.

El Grupo Barama-Mazaruni ha sido dividido en tres cinturones principales. De norte a sur son los siguientes: Barama, Cuyuní y Mazaruni, tomando el nombre de acuerdo a los principales ríos y la región donde aflora.

Complejos Gnéisicos y Graníticos:

Los cinturones verdes de Barama, Cuyuní y Mazaruni están separados entre sí por los extensos complejos gnéisico-graníticos de Amacura-Barima, Aranka-Barama, Devil's Hole y Bartica. El Complejo de Bartica es el que se ha estudiado mejor; aflora en los alrededores de la población de Bartica en la confluencia de los ríos Mazaruni y Cuyuní. Su asociación litológica consiste en anfibolitas, gneises hornablendico-biotíticos, gneises biotíticos, gneises hornablendico-, gneises pórfiro-clásticos y granitos. Las anfibolitas están constituidas por cristales alineados de hornablenda en una matriz grano-blástica de cuarzo y plagioclasas andesina. Las anfibolitas se presentan foliadas debido a la orientación de los cristales de hornablenda.

Los complejos Amakura-Barima, Aranka-Barama y Devil's Hole, están constituídos esencialmente por gneises porfibrásticos, anfibolitas y granitos; sin embargo, estos complejos no han sido estudiados con el mismo detalle que el de Bartica. Además de los grandes complejos gnéisicos mencionados, existen en el territorio otros cuerpos graníticos de características batolíticas en las áreas de afloramiento de los cinturones verdes de Barama, Cuyuní y Mazaruni. Estos batolitos incluyen: zonas gnéisicas en las áreas de contacto, facies típicamente intrusivas, pegmatitas y aplitas. Los tipos litológicos más abundantes son granodioritas y dioritas biotítica hornabléndicas; se observaron variedades de muscovita y también se presentan pequeños cuerpos graníticos esparcidos en los cinturones verdes; son típicamente de carácter porfírico, asociados con el vulcanismo félsico. Ésta asociación con flujos félsicos y tobas indica que esas áreas fueron centro de un vulcanismo félsico sub-volcánico; se presentan formas y tamaños diferentes de rocas y exhiben contornos irregulares, su composición es variable: incluye dioritas, granodioritas, granofiros y granitos porfírico-granofírico. (<http://esequibo.mppre.gob.ve>).

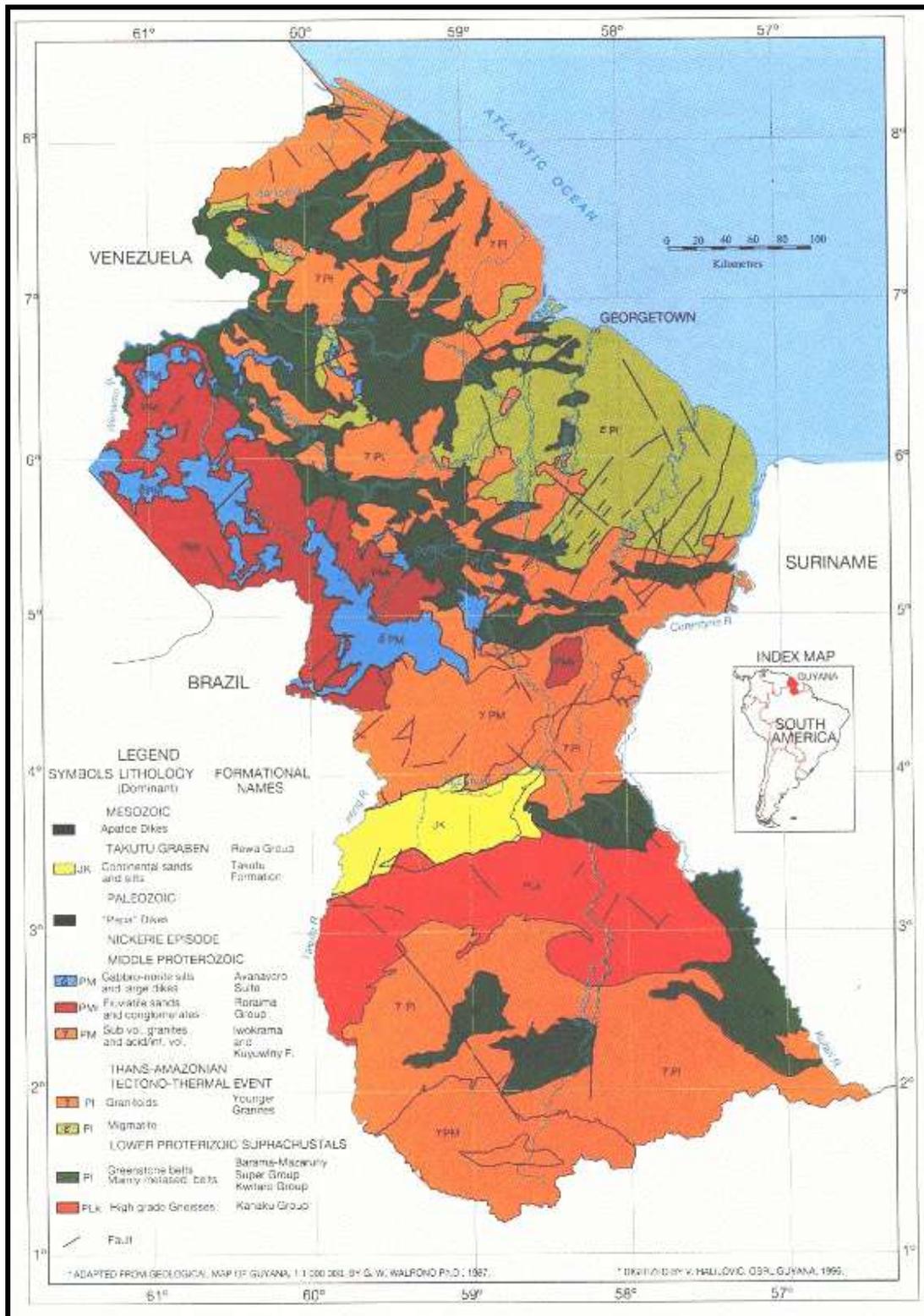


Figura 2.3 Mapa Geológico de Guyana (Advertisement Supplement to Mining Journal, 1996.)

2.2.2 Geología Local

Topográficamente el área se divide en 2 sectores: al este, geológicamente la zona está sustentada por los depósitos aluviales establecidos por el río Puruni y actualmente cubiertas por superficiales eluviales. Cerca de 4 a 6 metros por debajo de estos depósitos horizontales, la base es completamente de rocas graníticas saprolitizadas afectadas por un metamorfismo de baja temperatura. Topográficamente el oeste de los dos tercios de la zona en estudio, se componen de colinas bajas separadas por cuencas escarpadas excavadas por pequeños arroyos. La colina del norte, está sustentada in situ por la de las rocas del Quiebre de Million Mountain. En el sur de la zona de investigación se sitúan dos colinas, una oriental y una parte occidental, separadas por una estrecha quebrada. Las colinas están sustentadas en una roca granítica saprolitizada ubicada a una profundidad de 30-40 metros, con variabilidad de intrusiones de cuarzo aurífero y vetas stockwork.

Exploraciones previas demostraron la presencia de una zona de cizalla saprolitizada y degradada de tendencia NNO-SSE, con mineralización de oro de alto grado. La zona fue considerada inicialmente por contener mayores contenidos de sulfuro, pero los sulfuros se han oxidado y el desgaste originó oro enriquecido en la zona de cizalla

2.2.3 Geología Estructural

En la cresta de la zona en estudio, se ha identificado un estrecho o zona de cizalla rica en oro con un promedio de 25 metros de ancho, detectado por la primera barrena de perforación, con rumbos de NNW / SSE para 50-75 metros en el área del pozo. El corte rico en oro se ubica dentro de los esquistos cloríticos saprolitizados.

2.3 Estratigrafía del área de estudio

Basándonos en la descripción de Morales, 1999, se realiza una síntesis de las características de las unidades geológicas que afloran en la zona.

Una de las unidades litológicas del complejo ígneo-metamórfico está constituida por materiales de la provincia estructural de Guyana. Como se dijo anteriormente, la integran rocas de la asociación Barama-Mazaruni, granito post-Esequibo o Granito Joven, a lo cual es prudente agregar también las intrusiones del grupo Básico Intrusivo Joven. Esta área ocupada por el complejo ígneo-metamórfico, se encuentra aproximadamente entre 4° y 8° 30' Norte y aflora en más de 38 % del territorio. Se extiende desde la Depresión de Tucutú al Sur, hasta las acumulaciones aluvio-marinas ubicadas al Norte de la Zona en Reclamación.

El Grupo Barama:

Apenas ocupa una extensión del 2% del total de Guyana. Se compone de un miembro a base de cuarcita y otro con un variado contenido de rocas que integran lavas, piroclastos, esquistos manganesíferos, esquistos filáticos-sericíticos, metasedimentos e intrusivas básicas, gneises biolíticos, hornbléndicos y plagioclásico-anfibolíticos.

Los materiales de Barama aparecen expuestos en dos grandes áreas. Las cuarcitas, al menos afloran en las cuencas altas de los ríos Barama y Barima, en el límite con el estado Delta Amacuro, donde presentan alineaciones de 15-20 Km y están orientadas de Sureste a Noreste. Por su parte, el segundo miembro de Barama conformado por la variada gama litológica ya citada, aparece expuesto en el sitio antes mencionado alternando con las cuarcitas y en las cuencas medias de los ríos Barama Y Guaini. Todo el Grupo Barama fue afectado por metamorfismo regional de bajo grado, está profundamente fallado y, en general, sobre sus materiales se ha formado una topografía colinada, en cuyos topes se observa una laterita con potencial contenido de hematita.

El Grupo Mazaruni:

Se corresponde con rocas volcánicas y metavolcánicas, pero incluye también conglomerados de areniscas y guijarros. Los materiales de este grupo están ampliamente expuestos entre los 4° y 8° Norte, donde ocupan un área aproximadamente igual al 16% del total del territorio.

Dada la variedad litológica y debido a las facilidades para cartografiar sus afloramientos, este grupo fue subdividido en las formaciones Cuyuní, Haimaraka, Iwokrama-Maruya y un miembro litológico individualizado constituido por granofitita.

La formación Cuyuní representa cerca del 9% del total del área de Guyana y aflora con discontinuidad espacial entre los 5° y 8° Norte. Así, aparece expuesta en la cuenca alta del río Cuyuní, cuenca baja del río Potaro y cuencas medias de los ríos Mazaruni, Puruni, Barama y Barima. Esta formación se compone de cuarcitas, filitas, lavas porfíricas, areniscas, guijarros, capas de areniscas y conglomerados. Por su parte, la formación Haimaraka está constituida por arcillas bandeadas de gris, areniscas grauváquicas y limolíticas que meteorizan de rojo a marrón. Haimaraka ocupa aproximadamente el 1.2% del total del territorio de Guyana y aparece fragmentada en tres bloques, separados entre sí por inyecciones de Granito Joven y diabasas. El más extenso afloramiento de los materiales de Haimaraka ocurre en el tramo medio del río Mazaruni, y en menor proporción en dos lotes existentes al este de la confluencia de los ríos Venamo Y Cuyuní.

Luego de las formaciones Cuyuní y Haimaraka en la columna cronoestratigráfica (Fig. 2.4) aparece ubicada la formación Iwakrama-Maruya. Esta unidad puede alcanzar hasta 3200 m de espesor y se compone de areniscas limpias, esquistos, jaspes y efusivas ácidas. Los afloramientos de Iwakrama-Maruya alcanzan el 5.2% del total del espacio Esequibo, y se encuentran dispersos en dos lotes. El más extenso ocurre entre los 4° y 5° Norte en un área

ampliamente drenada por el río Burroburro, en tanto que el segundo aparece más o menos a los 5° Norte en la cuenca media del río Potaro. Esta formación está intrusionada por granofirita, un tipo de granito caracterizado por la presencia de cristales grandes atrapados dentro de una matriz granular, producida por el enfriamiento violento del magma. En particular, esta intrusión ocurre sobre el afloramiento más extenso de Iwokrama-Maruwa, en contacto con la Depresión de Takatu.

Para finalizar, en el tope de la asociación Barama-Mazaruni en posición de facies marginal aparecen diferenciados dos miembros; uno a base de anfibolitas, esquistos y cuarcitas y otro constituido también por anfibolitas pero con presencia de esquistos de anfibolita. Estas rocas verdes representan el 1.8% del total de la Guyana Inglesa, y afloran en especial al norte de la confluencia de los ríos Cuyuní-Mazaruni y en la cuenca alta del río Venamo.

Bartica ocupa aproximadamente el 6.1% del espacio de Guyana e incluye dos miembros litológicos diferenciados, uno constituido por anfibolita y el otro integrado por un complejo gnéisico y granítico con inclusiones de meta sedimentos, anfibolitas y esquistos de hornblenda. La anfibolita ocupa la base de la asociación y aflora en espacios discontinuos de la cuenca media y baja del río Mazaruni. Todas las rocas de las asociaciones Barama-Mazaruni y Bartica fueron instrusionadas por Granito Joven.

Este grupo de Granito Joven está constituido por un complejo de granito, granodiorita y adamelita, ocupa el 12.2% del Territorio en reclamación y está expuesto de manera discontinua entre los 4° y 8° Norte. El grupo de Granito Joven forma relieves de mayor a mediana elevación en comparación con otras unidades tal y como ocurre en los montes Iwokrama y en la Cordillera Matews, esta última en los límites con los estados Delta Amacuro y Bolívar.

EDADES		UNIDAD GEOLÓGICA		CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS	% ÁREA	
MILL. DE AÑOS	ERA	PERÍODO				
1	CENOZOICA	RECIENTE		TURBAS PANTANOSAS Y DIQUES ARENOSOS	5,0	
		HOLOCENO	F. DEMERARA	CAPAS DE ARCILLAS MARINAS Y DEPÓSITOS ALUVIALES	1,8	
		PLEISTOCENO	F. BERBICE	ARENAS, ARCILLAS-ARENOSAS, LIGNITOS Y CONGLOMERADOS EN BASE, CONTINENTAL DELTAICO Y LITORAL DELTAICO	3,4	
				INTENSA EROSION		
199 400	MESOZOICA	CRETÁCICO	F. TAKUTU	CAPAS DE ARCILLAS Y ARENISCAS GRIS Y ROJAS	4,7	
			GRUPO BÁSICO INTRUSIVO	DIQUES Y SILLS DE DIABASA Y CUARZO-DIABASA	9,9	
1.800			PROVINCIA CAYANA	ARENISCA CUARCÍTICA, CUARCITAS, CONGLOMERADOS, LUTITA, JASPE. COLOR DOMINANTE ROSADO, GRIS Y ROJO CLARO	11,4	
			GRUPO DE GRANITO JOVEN	COMPLEJO DE GRANITO, GRANODIORITA Y ADAMELITA	12,2	
2.100		PROTEROZOICO	ASOCIACIÓN BARTICA	COMPLEJO DE GNEIS Y ANFIBOLITA	5,4 y 0,7	
				FACIE MARGINAL	ANFIBOLITAS Y ESQUISTOS DE ANFIBOL Y CUARCITAS	1,8
					GRANODIORITA	1,1
				F. IWOKRAMA MARUWA	ARENISCAS LIMPIAS, ESQUISTOS, JASPES Y EFUSIVAS ÁCIDAS	5,2
				F. HAIMARAKA	ARCILLITAS, ARENISCAS GRAUVÁQUICAS Y LIMOLÍTICAS	1,2
				F. CUYUNI	ARENISCAS METASEDIMENTARIAS Y VOLCÁNICAS BÁSICAS	8,8
				GRUPO BARAMA	CUARCITAS, FILITAS, ESQUISTOS MANGANESÍFEROS	2,0
				GRUPO KUYUWINI	FILITAS, CUARCITAS, METACUARCITAS, VOLCÁNICAS ÁCIDAS (RIOLITAS, ANDESITAS) Y METAVOLCÁNICAS	1,1
				GRUPO SOUTH SAVANNA	GRANITO, GNEIS BIÓTICO - MIGMATÍTICO BANDEADO Y GRANILITOS HIPERTHENA	9,9
				GRUPO MARUDI	METACUARCITAS, METASEDIMENTOS ARENOSOS, ESQUISTOS BIÓTICOS Y GNEIS BIÓTICO BANDEADO	4,7
		ARQUEANO	PROV. BOLIVAR	BIOTITA BANDEADA, GRANULITAS, GNEIS GRANULÍFERO Y CHERINOSQUÍTICO Y GRANITO HIPERTHENA	8,8	
				NO CORRELACIONADO	BIOTITAS, GRANITOS Y GRANODIORITAS DEL SUR DE RUPUNJINI	0,5
				INCLUYE UNIDADES DIFERENCIADAS FORMADAS DE GNEIS Y ESQUISTOS BIÓTICOS, GNEIS Y GRANITOS	1,4	

FUENTE: McConnell, R.B. "Provisional Geological map. of British Guiana"; 1963.

Dibujo Gerardo Gonnella. I.G.D.R.- F.H.E. U.C.V.

Figura 2.4 Columna Cronoestratigráfica de Guyana.
(McConnell. R.B. "Mapa Geológico Provicional de Guyana Inglesa, 1963)

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Adquisición de los datos en las áreas de estudio

En el período comprendido entre el 08/08/2010 y 06/09/2010, TRX Consulting C.A. realizó un estudio geofísico a dos prospectos ubicados en la parte baja del distrito Cuyuní-Mazaruni, Guyana.

Dichos estudios consistieron en la adquisición de datos de Polarización Inducida (IP)/ Resistividad con el fin de contribuir en la caracterización geológica de la zona en estudio, determinando las anomalías de polarización y resistividad que podrían ser el resultado de las características geológicas y la acumulación de minerales in situ y de la configuración geológica posiblemente compatible con la presencia de mineralización de oro.

Ambos estudios se realizaron utilizando el equipo de adquisición eléctrica con un receptor en el Dominio del Tiempo Iris ELREC 6, con 6 dipolos de multi ventana (20 ventanas IP) y diseñado para la Polarización Inducida en exploración eléctrica con corriente continua y un transmisor GDD TXIII con una potencia aproximada de 4 kw a 4000 V y 10 A como máximo. El transmisor se alimentó con un generador de potencia de 7 kw; y el sistema generador de potencia es de fácil transporte, garantizando un rango de inyección entre 2000-7000 mA. (Figuras. 3.1 y 3.2) (TRX Consulting C.A, 2010)



Figura 3.1 Equipo de Adquisición Eléctrica



Figura 3.2 Montaje de los Equipos de Adquisición Eléctrica

Para cada punto de medición se realizaron al menos 20 “stacks”, con el fin de mejorar la relación señal / ruido. Esto permitió una buena adquisición de los datos en estudio; sin embargo en algunas ocasiones fue necesario tomar en cuenta la desviación estándar anómala u observar el valor de m (Cargabilidad) en campo y repetir la medición hasta que ésta tuviera una exactitud adecuada para tener una confiabilidad en la adquisición de los datos. Además se tuvo cuidado para ejecutar el estudio en la misma dirección en cada línea y repetir el mismo procedimiento de adquisición a fin de asegurar la coherencia de las mediciones entre las líneas. (TRX Consulting C.A, 2010).

Ruidos leves se observaron durante la adquisición, especialmente en los datos de IP. Esto se le puede atribuir a:

- Las mediciones de Cargabilidad implican señales dinámicas que son a menudo de 10 a 100 veces más pequeñas que las señales necesarias para obtener la resistencia. Además, la limitación local para inyectar corriente debido a la gruesa cobertura laterítica puede limitar una buena relación señal a ruido.
- En ocasiones se registraron valores negativos de Cargabilidad aparente, que podría deberse a:

- Las medidas de IP (Polarización Inducida) negativas puede estar relacionadas con el acoplamiento EM en los flancos de los objetivos en 3-D y sobre las estructuras de la tierra por capas de tipo K ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$) y Q ($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$).
- El Dominio del Tiempo de los voltajes secundarios (off-time voltages) se considera usualmente como la misma señal primaria (on-time). Esto implica que el flujo de corriente en equilibrio después de la carga está en la misma dirección que durante la carga. Si el flujo neto actual visto por los electrodos de potencial se encuentra en la dirección opuesta, la curva de caída fuera de tiempo se verá al revés. El resultado es un decaimiento negativo evidente; por ende, la Cargabilidad aparente negativa es también posible en los datos de fase.
- Los cuerpos cargados, especialmente los pequeños, como el enriquecimiento local de hierro laterítico, puede causar efectos negativos a causa de la geometría combinada de las corrientes de descarga y conjuntos de electrodos.
- Topografía:
 - Un alto topográfico hará que diverja la corriente y un bajo topográfico causará que ésta converja, de modo que los potenciales de medida serán demasiado pequeños o demasiado grandes, respectivamente. Esto resulta en resistividades aparentes que son demasiado pequeñas o demasiado grandes, respectivamente. Sin embargo, la cargabilidad implica una relación de voltajes secundarios y primarios, por lo tanto la topografía debe afectar tanto a los modelos de cargabilidad como a los de resistividad.
 - El nivel de ruido, incluyendo aquellos de origen telúrico, esféricos (tormentas magnéticas, rayos, relámpagos y truenos) y el acoplamiento EM se observó como un problema, especialmente para el conjunto de datos actuales adquiridos en el dominio del tiempo durante la temporada de lluvias tropicales, ya que se interpreta que éstos aportan contribuciones erróneas en el área bajo la curva o el decaimiento. (TRX Consulting, 2010)

3.2 Áreas de Estudio

➤ Prospecto K:

Los datos de Polarización Inducida/Resistividad fueron adquiridos con un arreglo de 19 líneas espaciadas aprox. 100 m, con orientación NS perpendiculares al objetivo en estudio, abarcando un total de 13.4 l/Km., utilizando a su vez coordenadas UTM (WGS84 Zona 20) y

una configuración Dipolo-Dipolo que provee una razonable resolución lateral y vertical de la zona en estudio. (Figura 3.3)

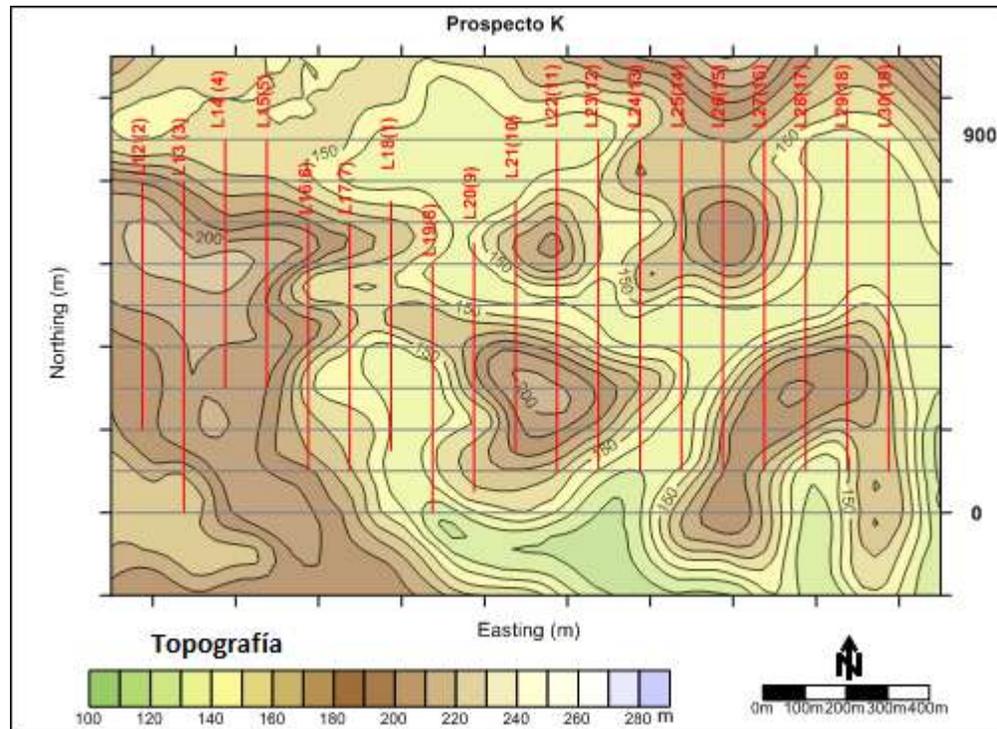


Figura 3.3 Mapa del prospecto K y diseño de las líneas de Adquisición

➤ Prospecto MM:

- Los datos de Polarización Inducida/ Resistividad fueron adquiridos con un arreglo de 14 líneas espaciadas aprox. 50-100 m, con orientación NW-SE también perpendiculares al objetivo en estudio
- Abarcando un total de 13.4 l/Km, utilizando también coordenadas UTM (WGS84 Zona 20) y una configuración Polo-Dipolo. (Figura 3.4)

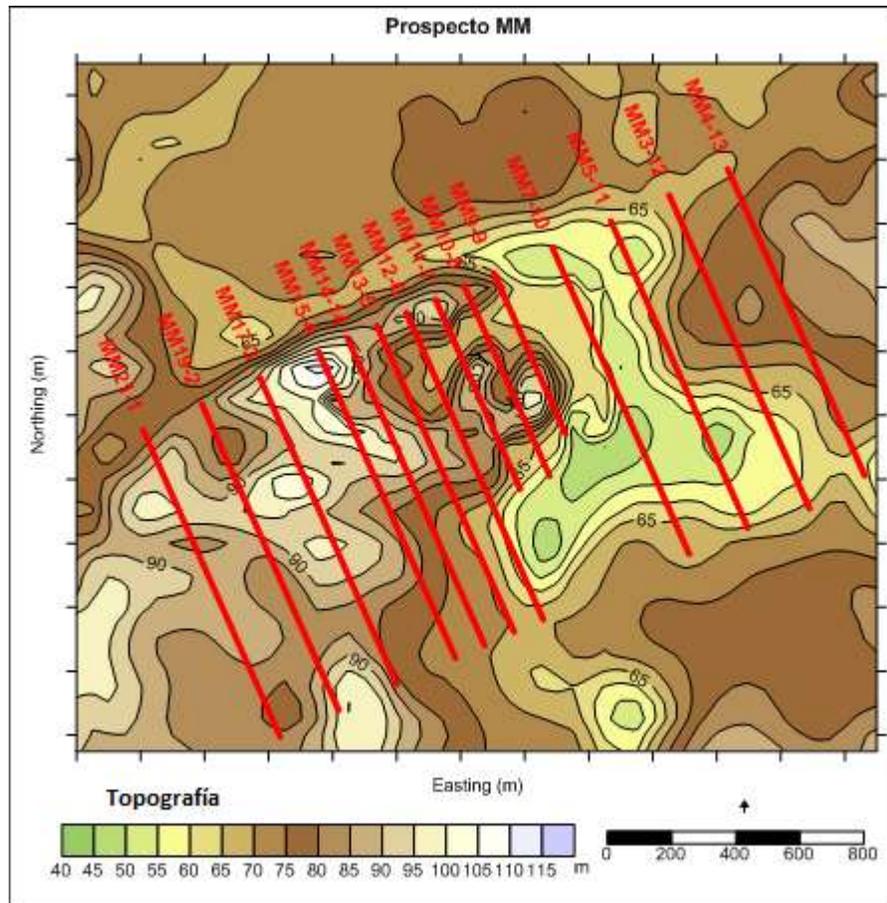


Figura 3.4 Mapa del Prospecto MM y diseño de las líneas de Adquisición

3.3 Procesamiento

3.3.1 Control de Calidad

Como se ha mencionado, la constante verificación de la calidad de los datos se realizó en campo y en las instalaciones de TRX Consulting garantizando datos confiables para el procesamiento, donde se buscaba mejorar las imágenes con el uso de filtros que disminuyeran los efectos de borde, medidas negativas de IP y el nivel de ruido (Figura. 3.5). A su vez, la adquisición se llevó a cabo tomando en cuenta la topografía de la localidad y para ello se utilizaron electrodos adicionales de potencial y técnicas específicas para mejorar la relación señal-ruido y la calidad de la señal.

Sin embargo, algunas zonas representaron un desafío en la adquisición, debido a las condiciones del suelo y a la geología de la superficie inundada (Figuras. 3.6, 3.7 y 3.8). Además,

la variabilidad de las condiciones climáticas limitaba la continuidad de adquisición y a menudo las súbitas tormentas magnéticas (esféricas), relacionadas con las lluvias en la región, crearon un fuerte ruido y llevaron a interrumpir la adquisición.

Cada imagen filtrada (ver figura 3.5) refleja la distribución de Resistividad y Cargabilidad del terreno de acuerdo a la ubicación del tendido. Sin embargo éstas son medidas *aparentes* del suelo que no determinan valores reales de Resistividad y Cargabilidad, por lo que no es correcto afirmar a partir de ellas cuáles son las zonas con presencia de sulfuro metálico, las cuales se caracterizan por tener alta Cargabilidad, es decir, zonas conductivas. Es importante resaltar que las zonas de alta Cargabilidad no necesariamente se asocian a bajas Resistividades.

En la figura 3.5, el eje “y” representa la elevación de la topografía y el eje “x”, representa las progresivas o las distancias en las que fueron desplazados los arreglos utilizados para cada prospecto.

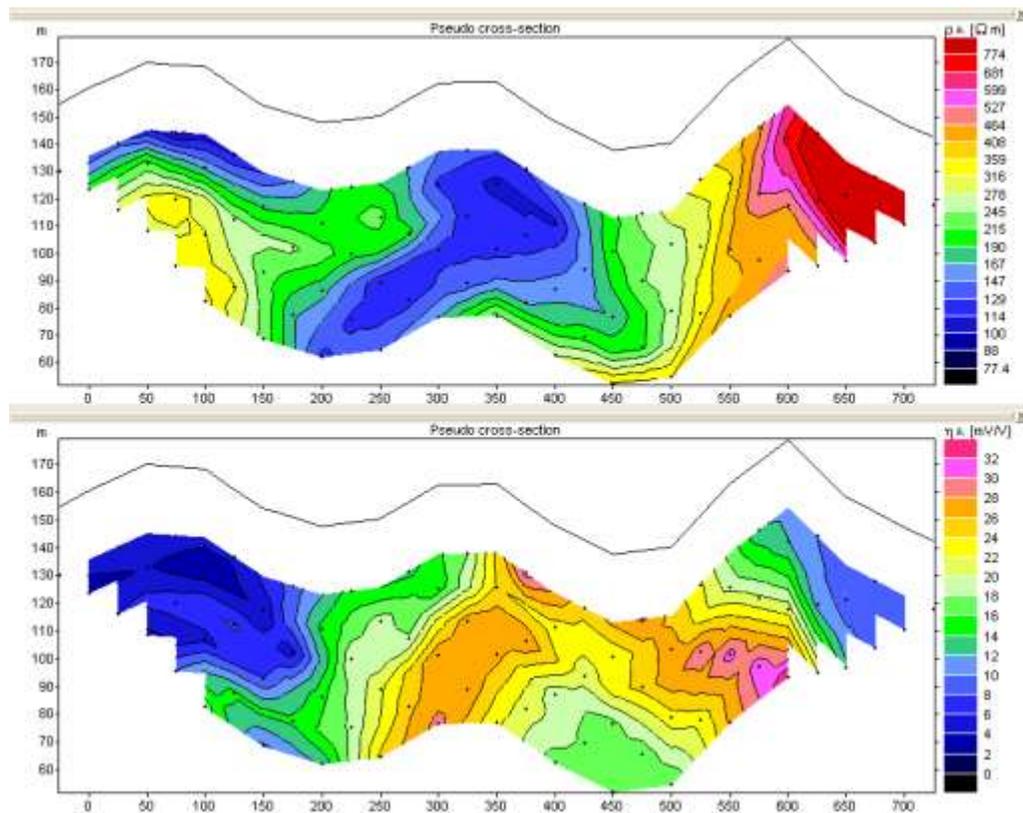


Figura 3.5 Control de Calidad: Pseudo sección filtrada de Resistividad y Cargabilidad Aparente. (TRX Consulting C.A, 2010)



Figura 3.6 Topografía de la zona en estudio
(TRX Consulting C.A, 2010)



Figura 3.7 Topografía de la zona en estudio
(TRX Consulting C.A, 2010)



Figura 3.8 Zonas inundadas
(TRX Consulting C.A, 2010)

3.3.2 Inversión de los datos adquiridos en Campo

La siguiente fase del procesamiento consistió en la inversión de los datos de Resistividades Aparentes y Cargabilidad para generar secciones de Resistividad y Cargabilidad *verdaderas*. El modelado numérico se realizó mediante el programa Geotomo RES2DINV/RES3DINV y durante la inversión se tuvo particular cuidado en la selección de los algoritmos de inversión y la repetibilidad de los resultados del proceso. Las medidas y las pseudo secciones invertidas de Resistividad Aparente y Cargabilidad del conjunto de datos recopilados de los dos prospectos, se presentan en el *Capítulo 4 de Análisis y Resultados* para las líneas más representativas; sin embargo, a continuación se puede visualizar un ejemplo de una pseudo sección invertida en 2D (Figura 3.9) y en 3D (Figura 3.10).

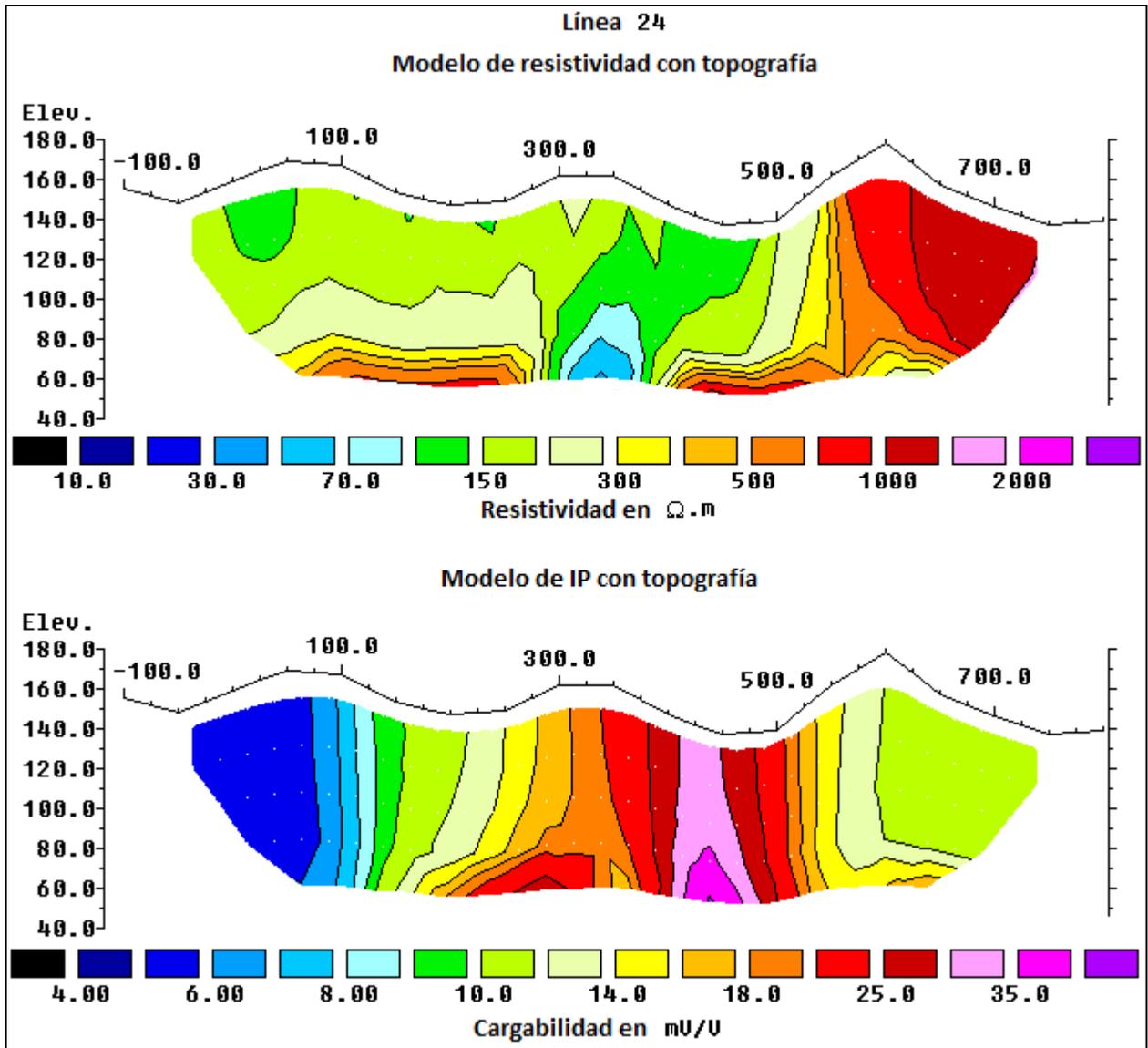


Figura 3.9 Pseudo sección invertida en 2D (TRX Consulting C.A, 2010).

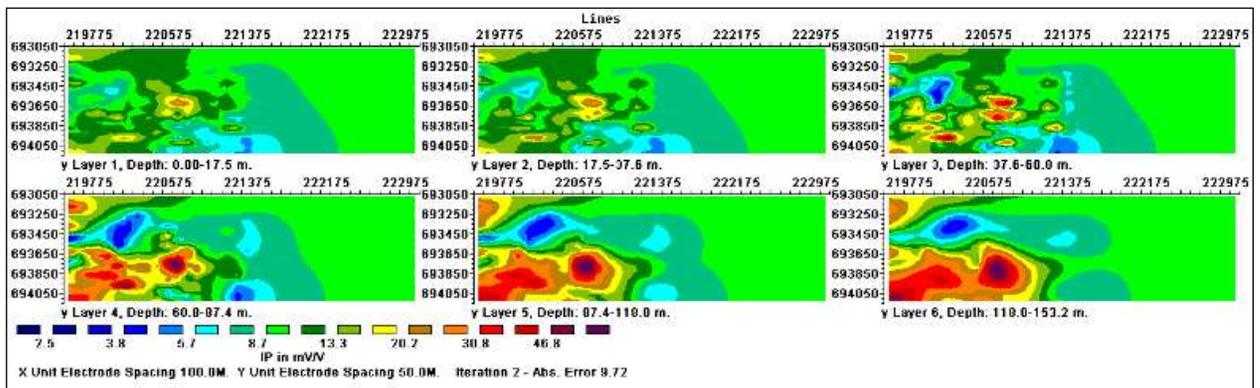


Figura 3.10 Pseudo sección invertida en 3D (TRX Consulting C.A, 2010).

3.3.3 Obtención de Mapas de Contornos de Resistividad y Cargabilidad

Posteriormente se generaron los mapas de los valores invertidos (verdaderos) de Resistividad y Cargabilidad (IP) con sus respectivos contornos a una profundidad constante, a fin de mostrar una correspondencia espacial en dos dimensiones de los parámetros de IP / Resistividad con la geología local. Estos mapas fueron generados a las siguientes profundidades 10 m, 31 m, 52 m, 73 m y 95 m para el Prospecto K y 13 m, 39 m, 65 m, 92 m, 119 m y 146 m para el Prospecto MM. Estas profundidades corresponden a los nodos principales que ofrece el programa de inversión RES2DINV en función de los dos órdenes de adquisición utilizados en ambos Prospectos en estudio.

Para el ajuste de una escala de colores adecuada para los mapas con sus contornos, se procedió a realizar una estadística para los datos de Resistividad y Cargabilidad (IP), calculando la media y la desviación estándar de los mismos (figura 3.11).

Desde el punto de vista estadístico, los valores anómalos observados en el Prospecto K y MM se consideran a partir de a la primera desviación estándar, para los datos de Resistividad y Cargabilidad (IP). En la tabla 4 se muestra un ejemplo de la estadística realizada.

Tabla 4: Estadística de los datos de Cargabilidad
(TRX Consulting C.A, 2010)

K IP	
Univariate Statistics	
Univariate Statistics:	
Population	2258
Minimum Value	1.05
Maximum Value	34.82
Range	33.77
Mean	11.253366
Standard Deviation	5.052093
Standard Error	0.106319
Median	10.28
Sum	25,410.1
Sum of Squares	343,556.0036
Variance	25.523639
Skewness	1.514247
Kurtosis	3.356376
Coefficient of Variation	0.448941
Mean + 1 Standard Deviations	16.305458
Mean + 2 Standard Deviations	21.357551
Mean + 3 Standard Deviations	26.409643
Mean + 4 Standard Deviations	31.461736
Background Population	1734
Slightly Anomalous Population	425
Moderately Anomalous Population	53
Strongly Anomalous Population	27
Extremely Anomalous Population	19

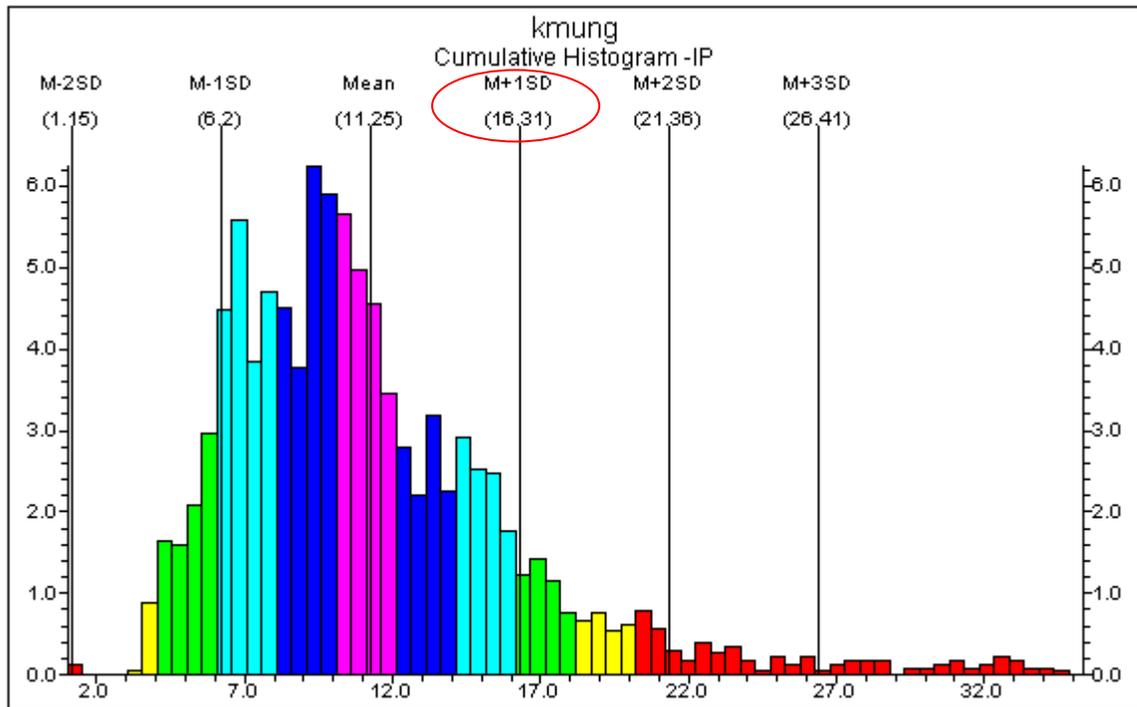


Figura 3.11 Estadística de los datos de Cargabilidad (Histograma).
(TRX Consulting C.A, 2010)

3.3.4 Pseudo secciones en 3D de los Prospecto K y MM

Además de los mapas de Resistividad e IP con sus contornos, se generaron con el programa SURFER 9, Pseudo secciones en 3D incluyendo la topografía de cada uno de los Prospectos en estudio (K y MM). En ésta representación se tomaron en cuenta también las profundidades 10 m, 31 m, 52 m, 73 m y 95 m para el Prospecto K y 13 m, 39 m, 65 m, 92 m, 119 m y 146 m para el Prospecto MM.

3.3.5 Pseudo Modelo Volumétrico de los Prospectos K y MM

Para una mejor observación de la distribución de los datos de Resistividad y Cargabilidad de ambos Prospectos, se procedió a elaborar con los datos 2D invertidos, Pseudo modelos volumétricos sin incluir la topografía, utilizando el programa VOXLER 1. Se les denomina a estas representaciones pseudo modelos volumétricos, porque se generaron a partir de datos en 2D.

3.3.6 Modelo Volumétrico del Prospecto K

Por último, se pudo generar para el Prospecto K a partir de datos 3D invertidos de Resistividad y Cargabilidad con el programa de inversión RES3DINV, una representación en 3D con el programa VOXLER 1.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Prospecto K

A continuación se presentan las Pseudo secciones *Invertidas* de los valores de Cargabilidad y Resistividad de las líneas más representativas de la etapa de procesamiento de los datos del Prospecto K. Además se muestran los Mapas de Contornos generados a profundidades de 10 m, 31 m, 52 m, 73 m y 95 m, con la escala de colores ajustada a los valores anómalos observados, incluyendo también la Pseudo sección en 3D con topografía elaborada con Surfer 9, un Pseudo Modelo Volumétrico y un Modelo Volumétrico de esta zona en estudio elaborados con Voxler 1.

4.1.1 Inversión de valores de Cargabilidad y Resistividad Aparente

Se presentan las Pseudo secciones invertidas con valores de Cargabilidad y Resistividad de las líneas 18, 19, 24 y 25 del Prospecto K (Figuras. 4.1 a la 4.4), las cuales sí representan valores asociados directamente a los materiales en el subsuelo, que permiten visualizar y comparar la distribución de Cargabilidad y Resistividad para realizar una caracterización del suelo.

La línea 18 (figura 4.1) muestra en la dirección oeste del modelo IP valores de Cargabilidad que disminuyen a menor elevación entre 17-40 mV/V aproximadamente, que justamente coinciden con valores bajos de resistividad que oscilan entre 10-80 ohm-m. En dirección este de dicho modelo ocurre lo inverso, se observan valores altos de resistividad entre 200-3000 ohm-m a menor elevación, coincidiendo con valores bajos de Cargabilidad que van desde 4-10 mV/V; pudiendo atribuir estos valores a un posibles contactos tectónicos con fallas secundarias.

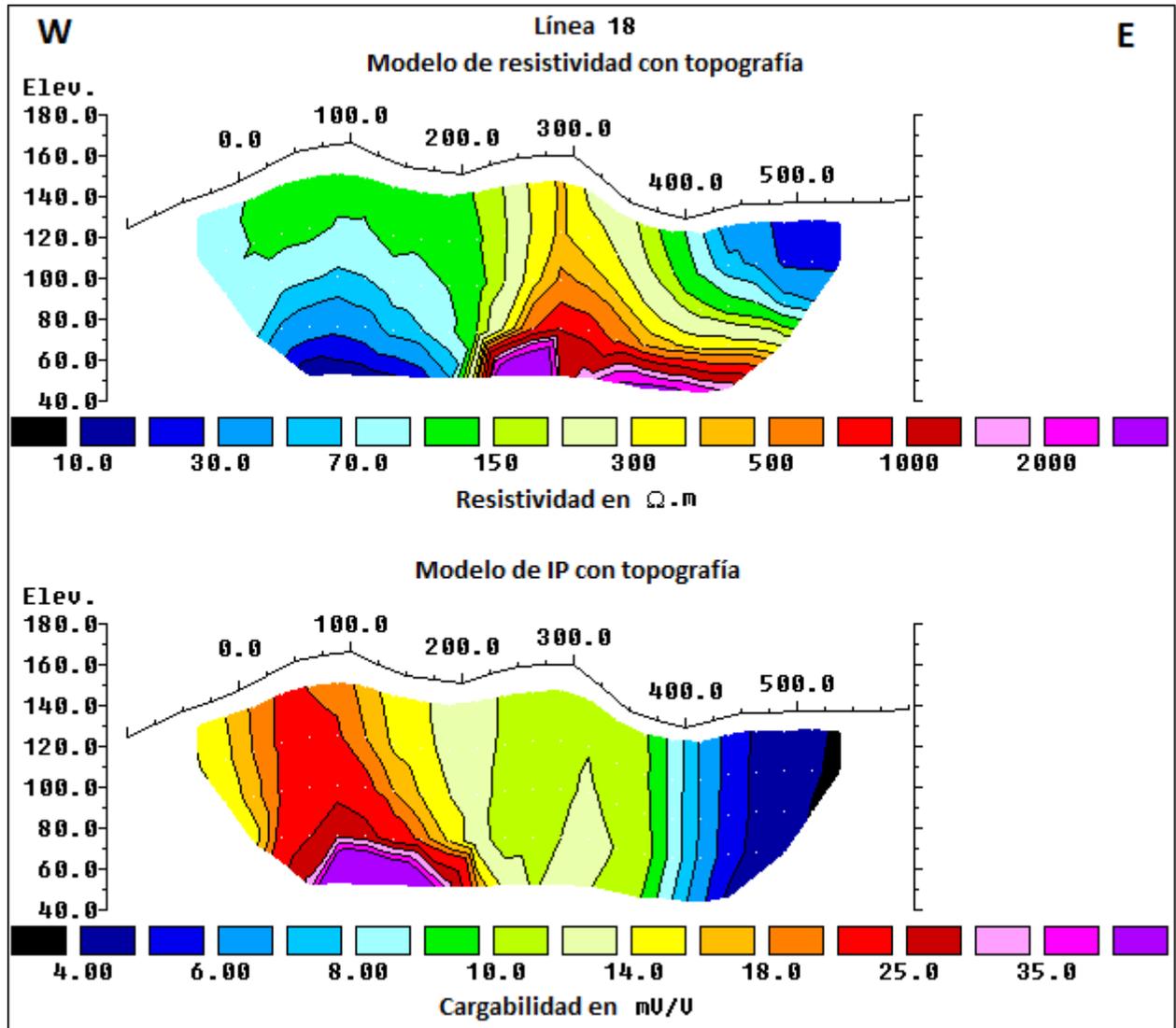


Figura 4.1 Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 18. Prospecto K
(TRX Consulting C.A, 2010)

La línea 19 (figura 4.2) muestra casi todo el modelo IP con valores bajos de Cargabilidad que varían entre 4-9 mV/V y valores de resistividad que aumentan entre 300-3000 ohm-m. Sin embargo, una zona de Cargabilidad moderadamente elevada se logra observar en la dirección oeste de dicho modelo IP con valores que oscilan entre 13-25 mV/V aproximadamente.

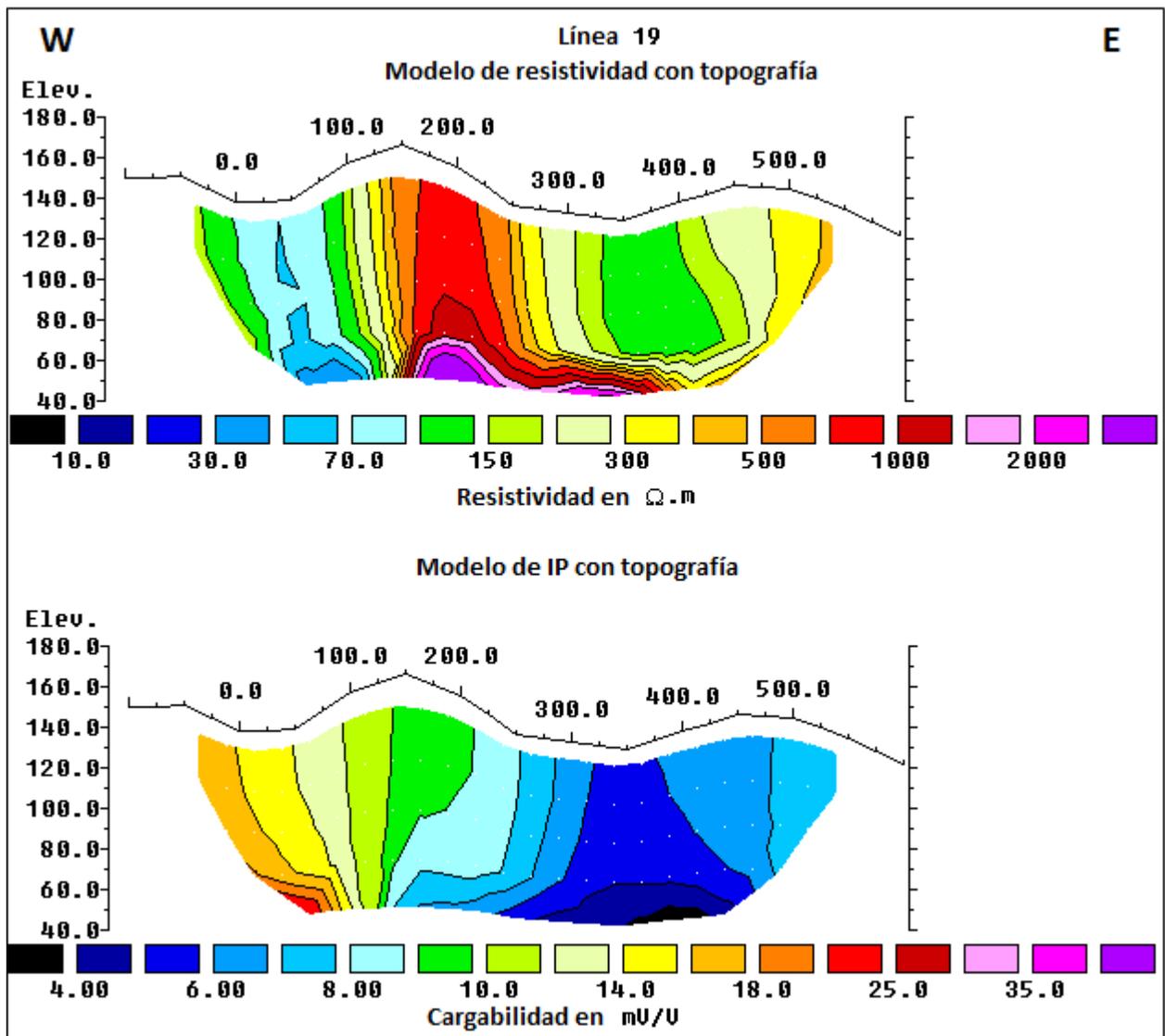


Figura 4.2 Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 19. Prospecto K (TRX Consulting C.A, 2010).

En la línea 24 (figura 4.3) se observa en la parte central del modelo IP valores muy altos de Cargabilidad que oscilan entre 13-40 mV/V aproximadamente, coincidiendo con una zona de baja resistividad con valores comprendidos entre 30-150 ohm-m.

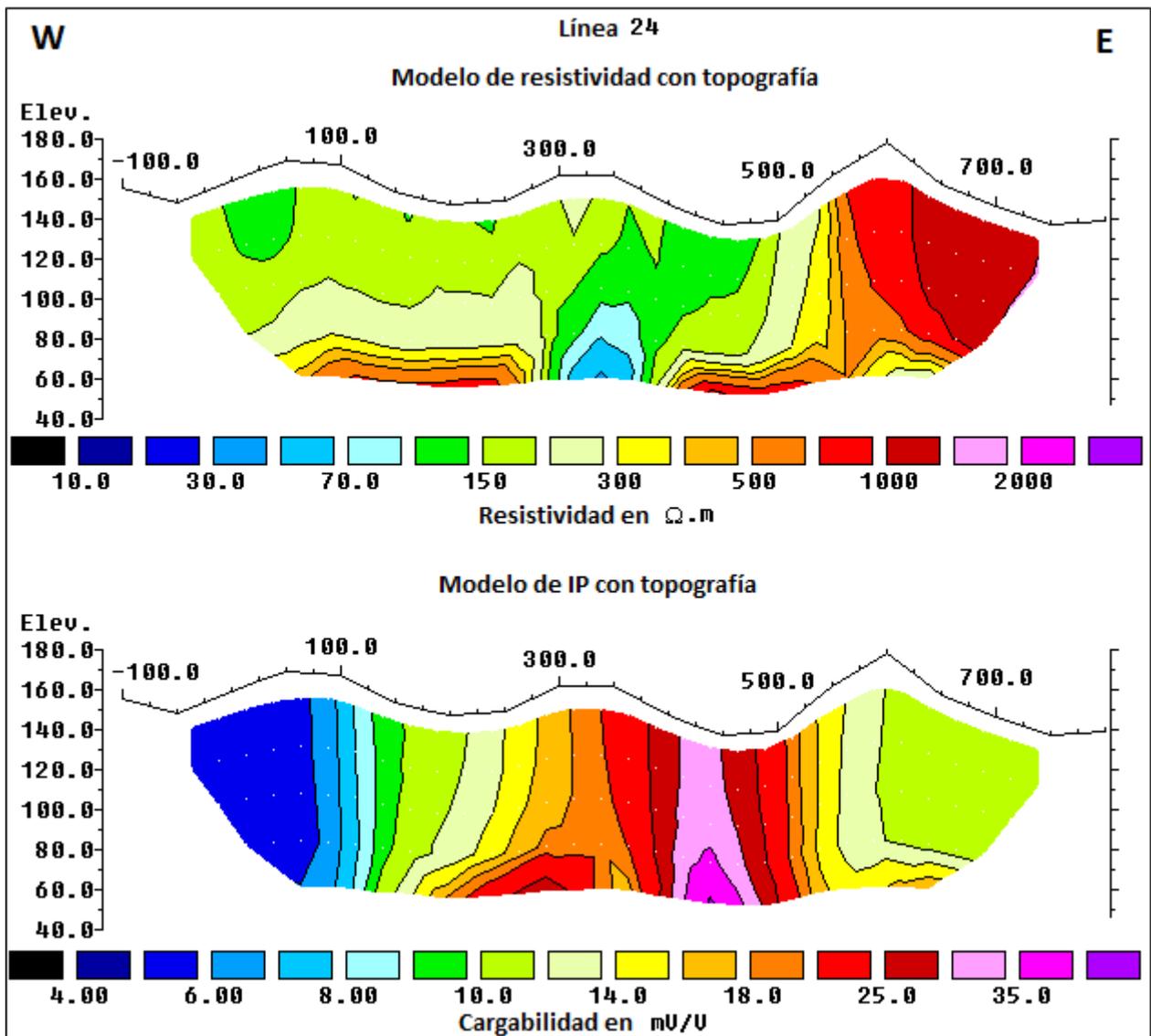


Figura 4.3 Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 24. Prospecto K.
(TRX Consulting C.A, 2010).

Por último, la línea 25 (figura 4.4) indica valores altos de Cargabilidad en la parte central del modelo IP, que oscilan entre 17-30 mV/V coincidiendo con valores altos de resistividad a menor elevación de 400-3000 ohm-m; a su vez se observan valores de resistividad relativamente bajos en la parte central del modelo a medida que aumenta la elevación, con valores entre 100-150 ohm-m.

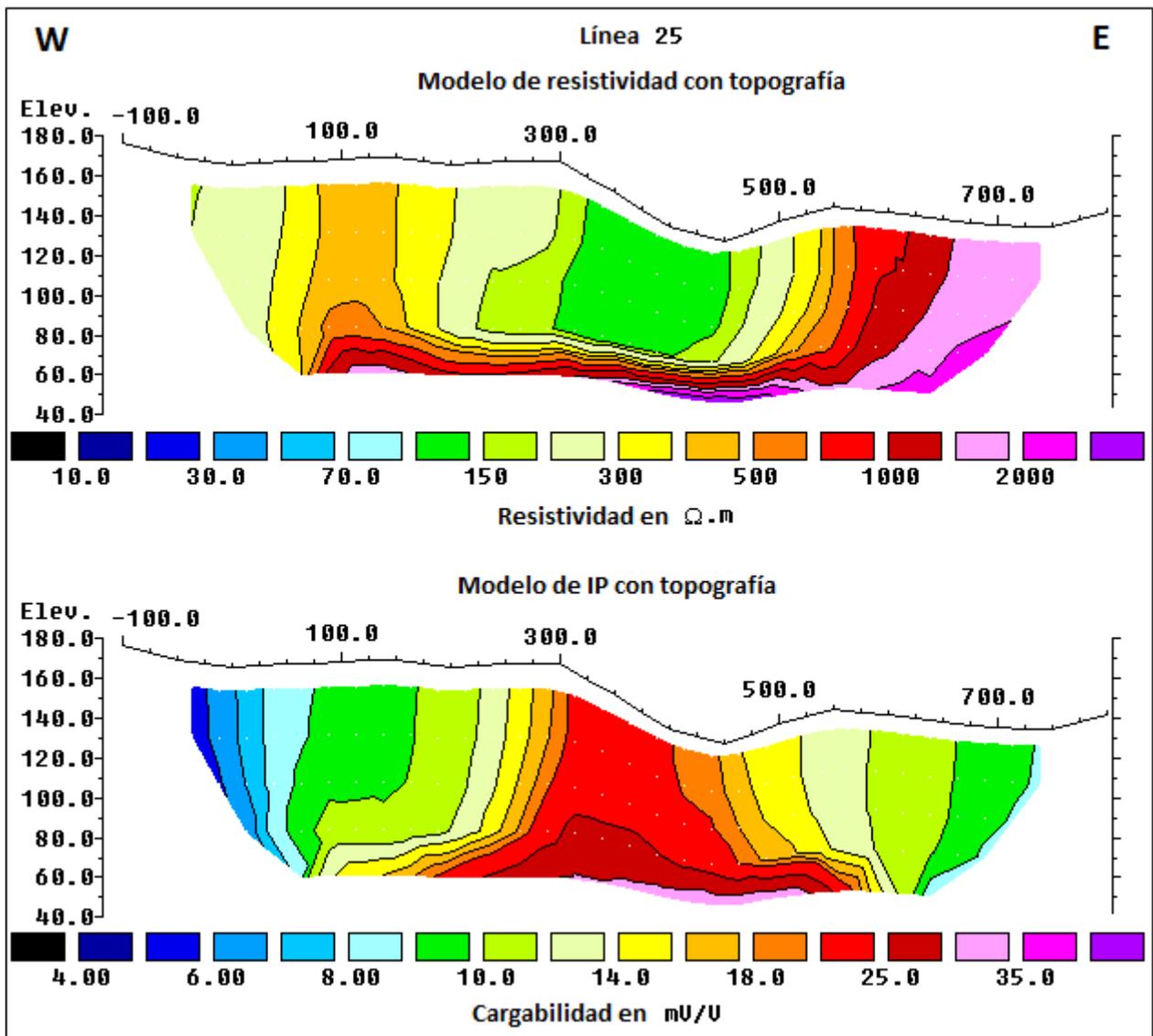


Figura 4.4 Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 25. Prospecto K.
(TRX Consulting C.A, 2010).

De forma general, las imágenes indican zonas de alta Cargabilidad que permiten suponer la ubicación de estructuras anómalas intrusionadas a profundidad, posiblemente asociadas a sulfuro metálico (Au). Sin embargo, es importante visualizar los mapas de contornos a diferentes profundidades para llegar a una conclusión.

4.1.2 Mapas de Contornos de Cargabilidad y Resistividad

A continuación se presentan los Mapas de Contornos generados a partir de los valores invertidos de Cargabilidad y Resistividad a una profundidad constante (Figuras. 4.5 a la 4.14), a fin de mostrar como ya se mencionó, una correspondencia espacial en dos dimensiones de los parámetros de IP / Resistividad con la geología local. Estos mapas fueron contorneados a las profundidades de 10 m, 31 m, 52 m, 73 m y 95 m para el Prospecto K con el programa Oasis Montaj.

Como observación preliminar, las resistividades aparentes medidas en el área de estudio van de valores relativamente bajos relacionados con una capa saprolítica (Capa superficial de material rocoso profundamente meteorizado y lixiviado que se encuentra en una matriz de arcilla ubicada por encima de una capa de roca parental) hasta unos pocos miles de ohm.m, en posible asociación con las condiciones de roca firme. El rango de valores de Cargabilidad comprenden de unos pocos mV / V hasta máximos locales de hasta 34 mV / V en la parte más profunda de las secciones.

La barra de color de IP en la escala de los mapas de contornos a profundidad ha sido elegida para señalar que un 16 mV / V es el umbral más bajo de una anomalía (mean+1STD). Por lo tanto los valores por debajo de ~ 16 mV / V están representados en escala de tonos verdes y azules.

4.1.2.1 Mapas de Resistividad

Los mapas de Resistividad (Figuras 4.5 a la 4.8) hasta aproximadamente 75 m de profundidad, muestran una zona de resistividad ENE-WSW anómala en la parte lateral derecha del Prospecto K. Esto podría estar asociado a silicificación local, caracterizada por la destrucción total de la mineralogía original, donde la roca queda como una masa silícea, o una alteración

propilítica, caracterizada por la presencia de minerales resistivos como clorita, epidota, calcita y plagioclasa albitizada (ver tablas 1 y 2), generados por soluciones casi neutras en un rango variable de temperatura (180 °C aprox) en correspondencia con estructuras de fallas por cizalla. De la línea 24-25 al Este, aumentan considerablemente los valores de resistividad indicando una transición geológica posiblemente a un entorno más competente. La sección más profunda (figura 4.9) muestra una situación más compleja, donde se observa un cuerpo de resistividad E-W en la zona centro-sur del Prospecto, donde se encuentra el paso lateral a una unidad muy resistiva. Estos mapas permiten ver el aumento de los valores de la resistividad a medida que incrementa la profundidad.

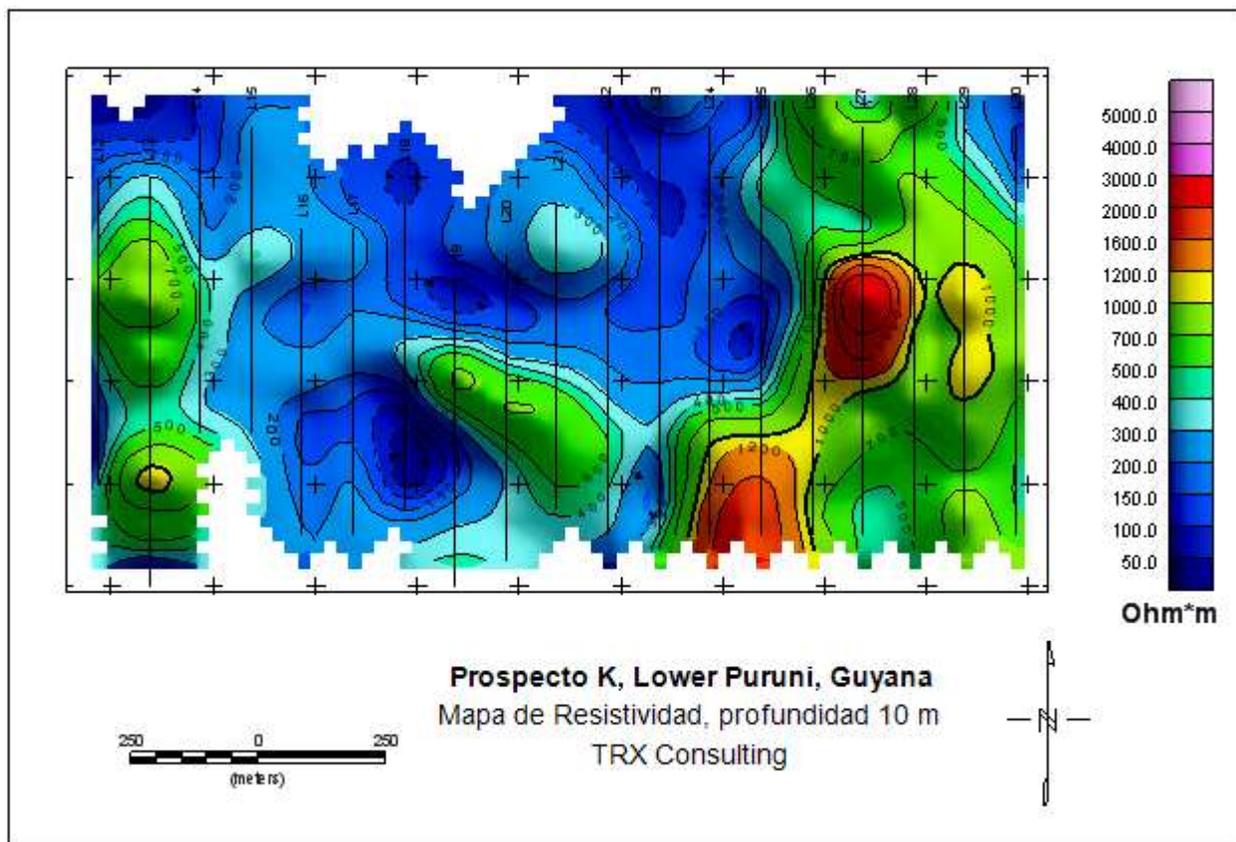


Figura 4.5 Mapa de Resistividad del Prospecto K a 10 m de profundidad.

(TRX Consulting C.A, 2010)

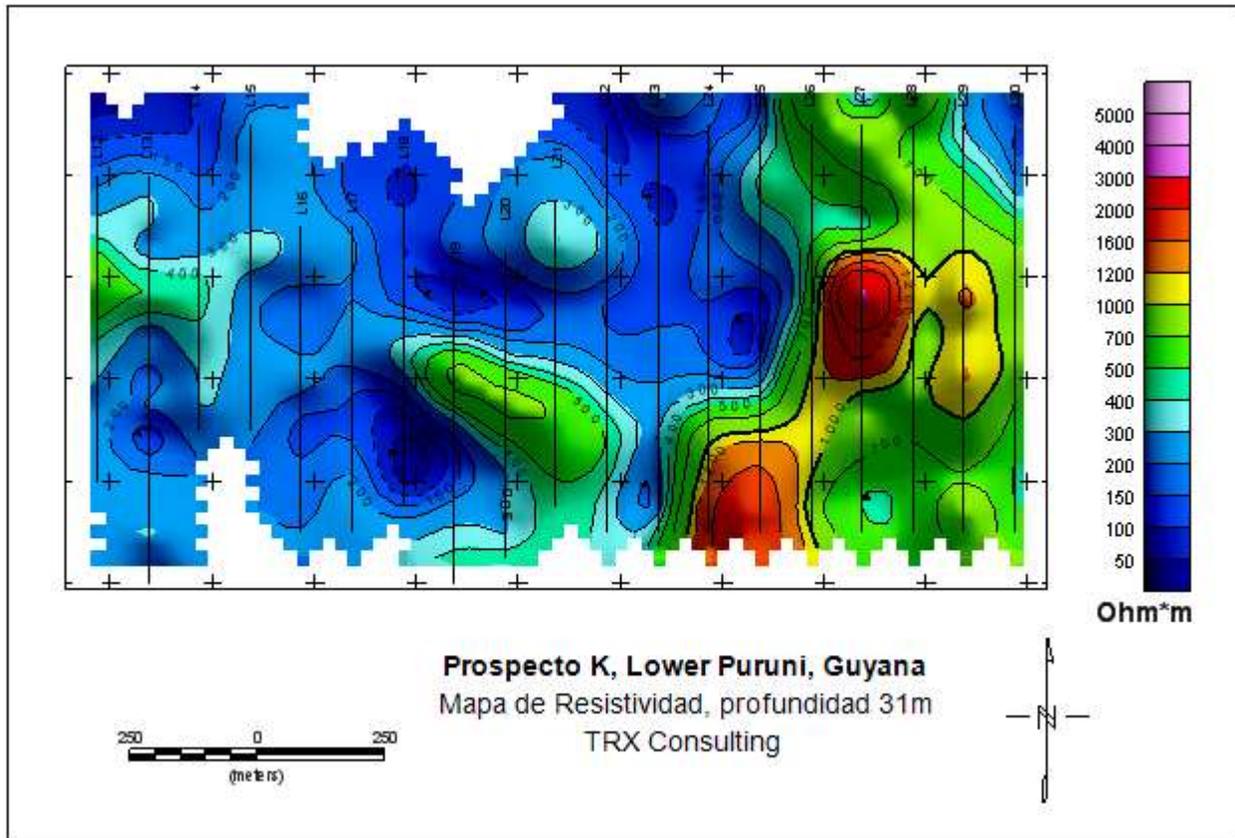


Figura 4.6 Mapa de Resistividad del Prospecto K a 31 m de profundidad.

(TRX Consulting C.A, 2010)

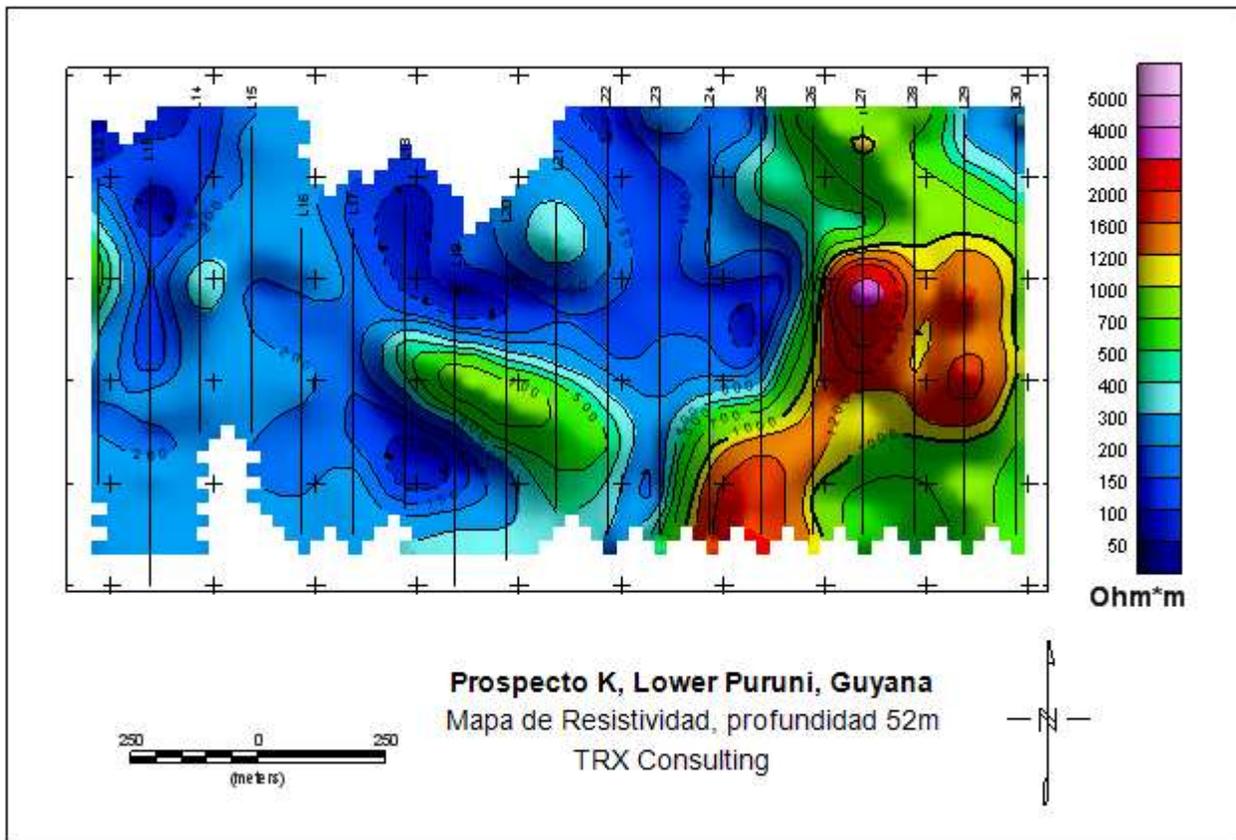


Figura 4.7 Mapa de Resistividad del Prospecto K a 52 m de profundidad.
(TRX Consulting C.A, 2010)

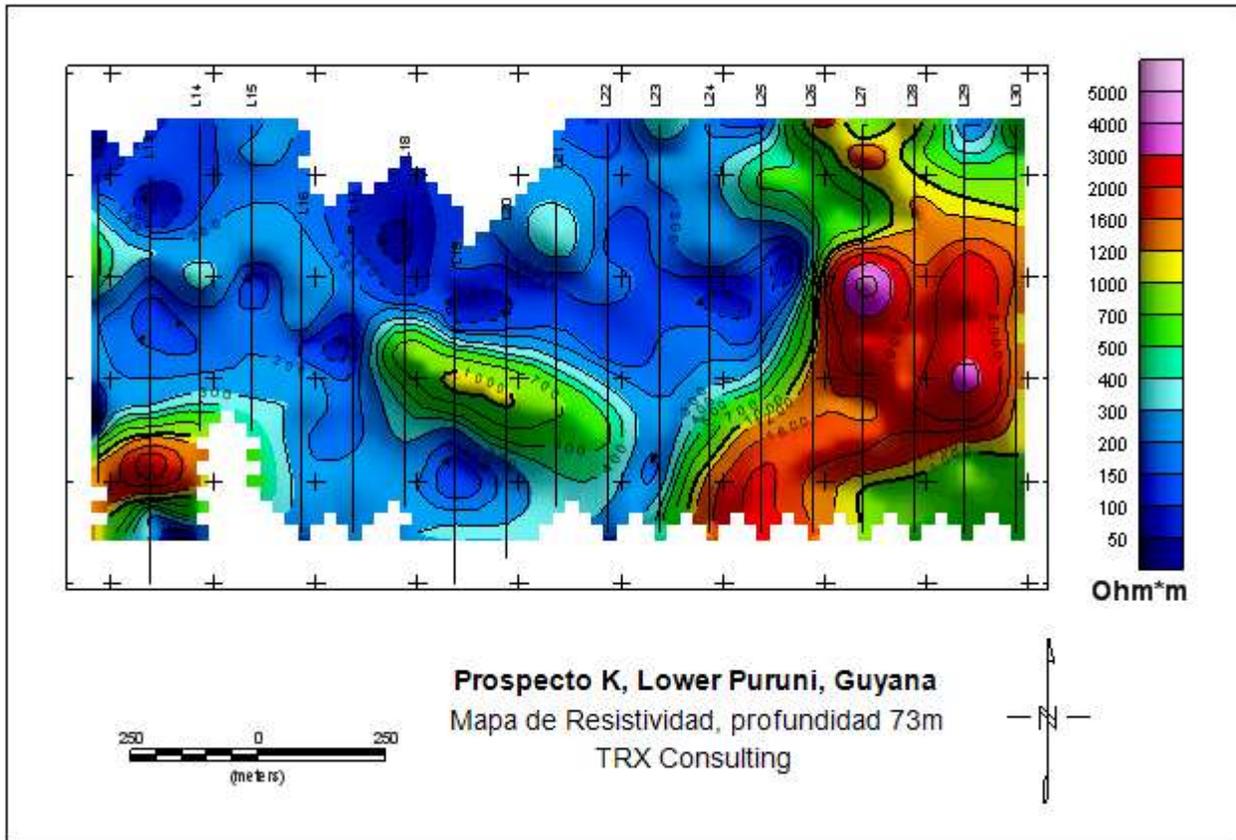


Figura 4.8 Mapa de Resistividad del Prospecto K a 73 m de profundidad.

(TRX Consulting C.A, 2010)

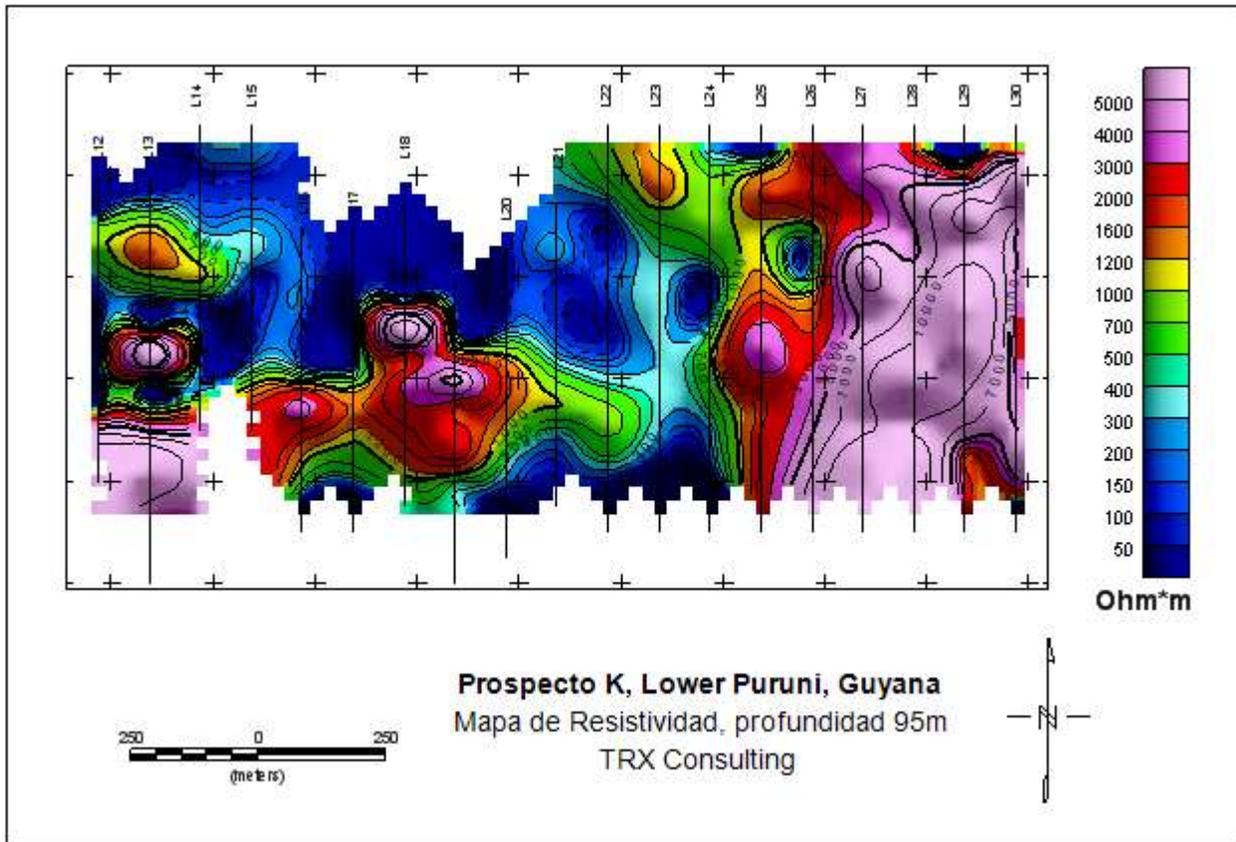


Figura 4.9 Mapa de Resistividad del Prospecto K a 95 m de profundidad.

(TRX Consulting C.A, 2010)

4.1.2.2 Mapas de Cargabilidad

Superficies de Cargabilidad relativamente altas se observan en la zona central de la parte oriental del Prospecto (Figuras. 4.10 a la 4.13), justamente al norte de la anomalía resistiva vista en los mapas de resistividad. La sección más profunda (figura 4.14) muestra una visión clara de dos lineamientos casi perpendiculares.

El primer lineamiento tiene dirección ENE-WSW en la zona anómala hasta las líneas 26-27 en correspondencia con la transición al cuerpo resistivo observado en el oeste. Los valores de Cargabilidad superior, corresponden a las condiciones de resistividad más bajas, tal es el caso de una posible alteración filítica, también denominada cuarzo-sericítica o simplemente sericítica, caracterizada por el desarrollo de sericita (micas) y cuarzo secundario. Esta estructura puede ser el resultado de una hidrólisis moderada a fuerte de los feldespatos como se mencionó en la sección 1.5.3, en un rango de temperatura de 300-400 °C. La alteración argilítica también podría

ser factible, caracterizada por presencia de arcillas amorfas, esmectita, caolinita y/o montmorillonita, generada en un rango de temperaturas menores a 100 °C aproximadamente.

La hipótesis de alteración hidrotermal filítica o argilítica puede sustentarse con lo explicado en la sección 2.2.1, ya que la geología local del área en estudio, indica que hay zonas saprolitizadas asociadas a baja resistividad y la presencia de minerales conductivos, tales como montmorillonita, caolinita y muscovita (micas). Al observar en las tablas 1 y 2 presentadas en el capítulo 1, se pueden verificar los rangos bajos de resistividad de los minerales nombrados anteriormente asociados a las zonas mineralizadas.

Por otra parte, los valores altos de Cargabilidad se deben principalmente a la variabilidad de intrusiones de cuarzo aurífero en vetas tipo stockwork. El Au es un mineral metálico muy conductivo (ver tabla 3) y su presencia puede sustentarse también con la geología local de la zona y con los reportes realizados por el gobierno de Guyana y empresas dedicadas a la exploración mineras citadas en el Capítulo 1.

El segundo lineamiento tiene la transición NNW-SSE, el cual posiblemente sea una estructura de contacto tectónico, delimitando al Oeste continuamente con valores altos de Cargabilidad y las condiciones anómalas señalan un objetivo de exploración adicional.

La Cargabilidad es la cuantificación del efecto de polarización, producida por sulfuros diseminados o efectos geológicos asociados a las arcillas u horizontes de grafito. Por los datos de perforación se observa en el área una **mineralización de Au tipo vena** asociados a la presencia de sulfuros metálicos, este parámetro se puede asociar a los posibles ambientes mineralizados. El entorno estructural complejo ofrece, especialmente en los mapas de Cargabilidad resultados dispersos asociados al hecho de que la respuesta de IP parece más fuerte en correspondencia con las intersecciones de las estructuras. Del mismo modo las anomalías de Cargabilidad parecen más fuertes con la profundidad. (Cataldi et. al., 2010).

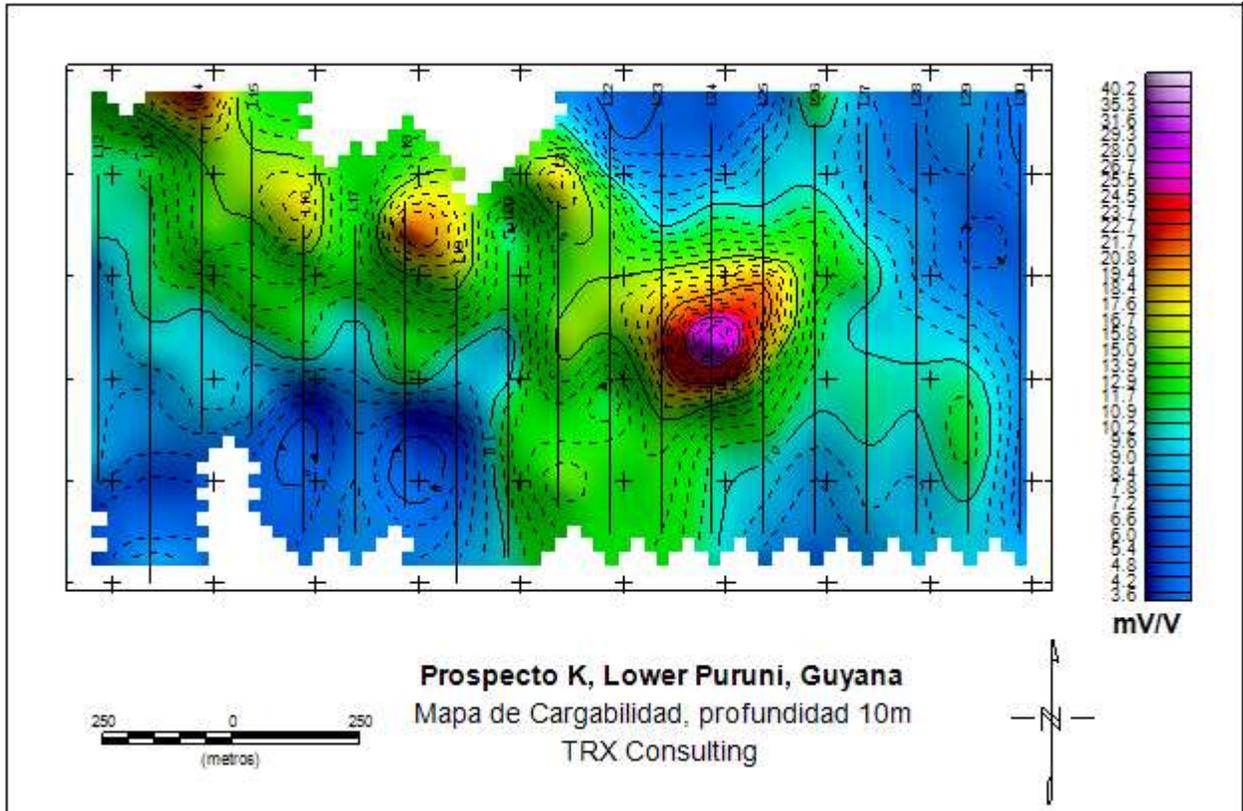


Figura 4.10 Mapa de Cargabilidad del Prospecto K a 10 m de profundidad.
(TRX Consulting C.A, 2010)

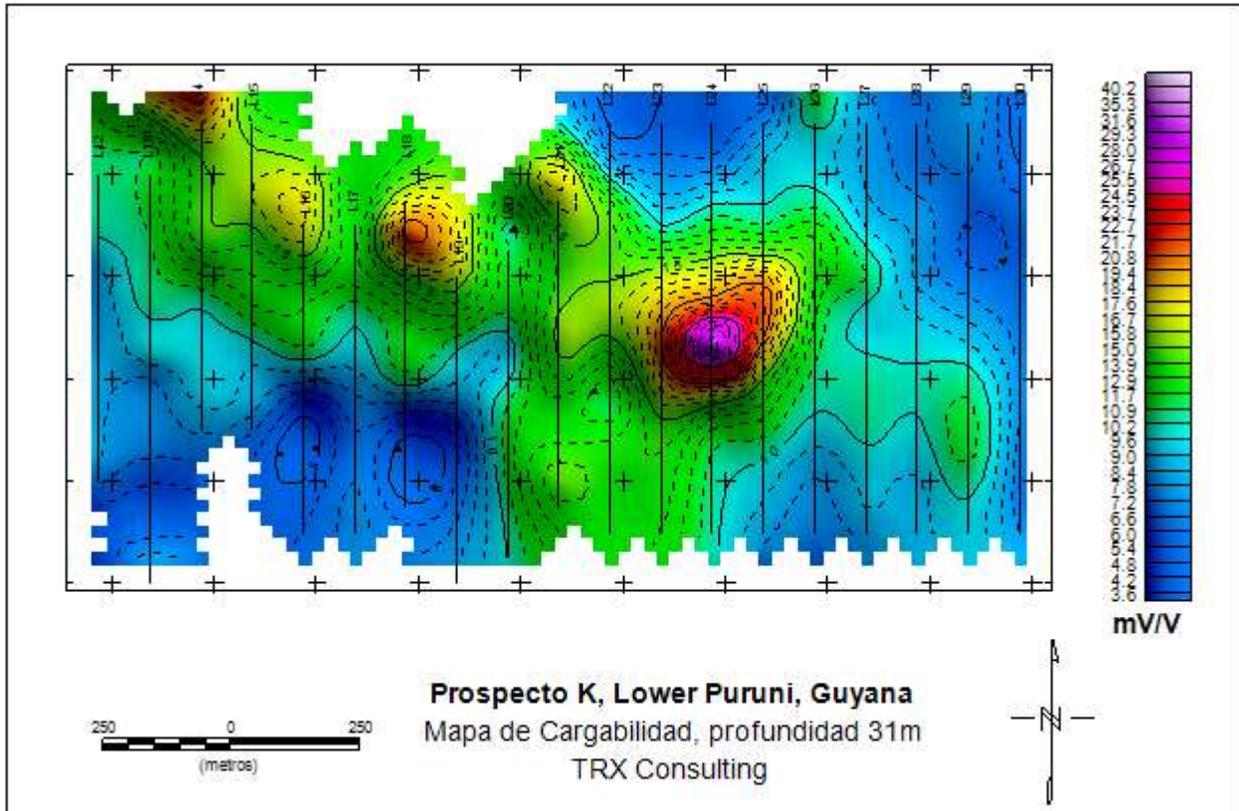


Figura 4.11 Mapa de Cargabilidad del Prospecto K a 31 m de profundidad.
 (TRX Consulting C.A, 2010)

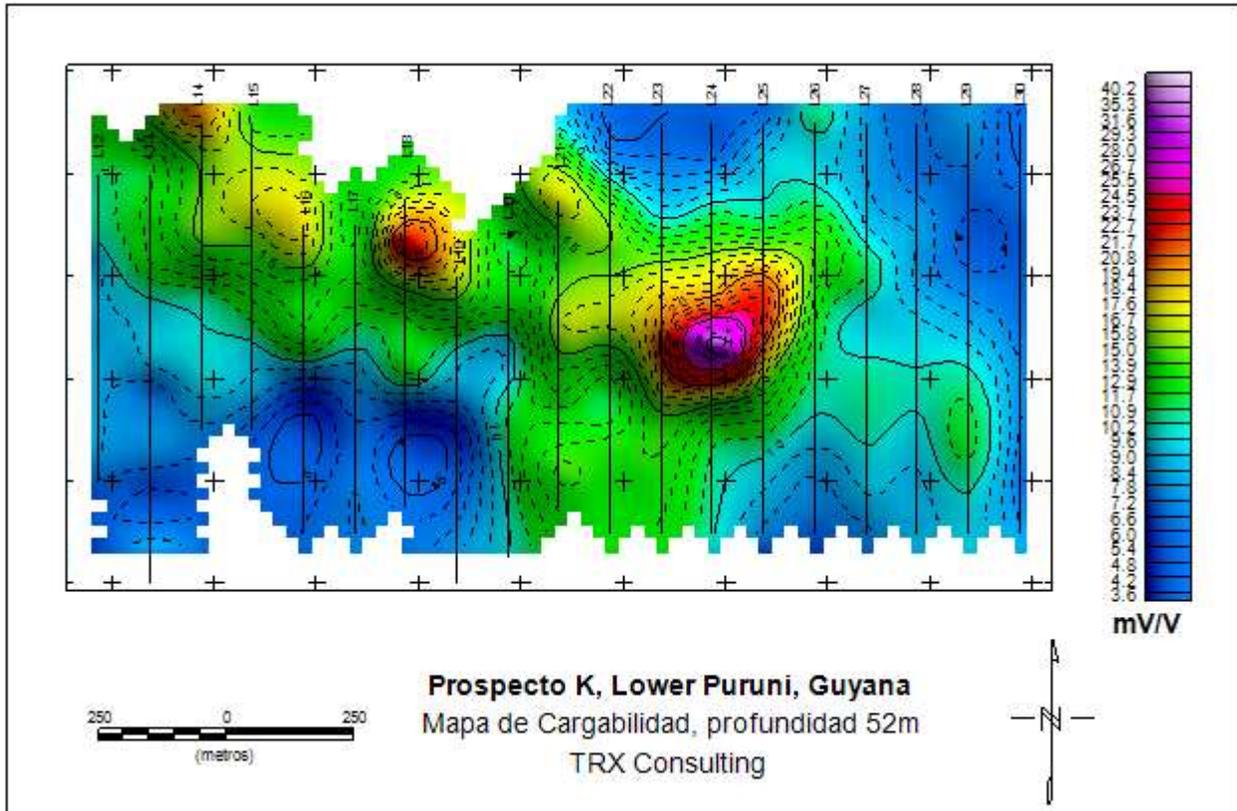


Figura 4.12 Mapa de Cargabilidad del Prospecto K a 52 m de profundidad.
 (TRX Consulting C.A, 2010)

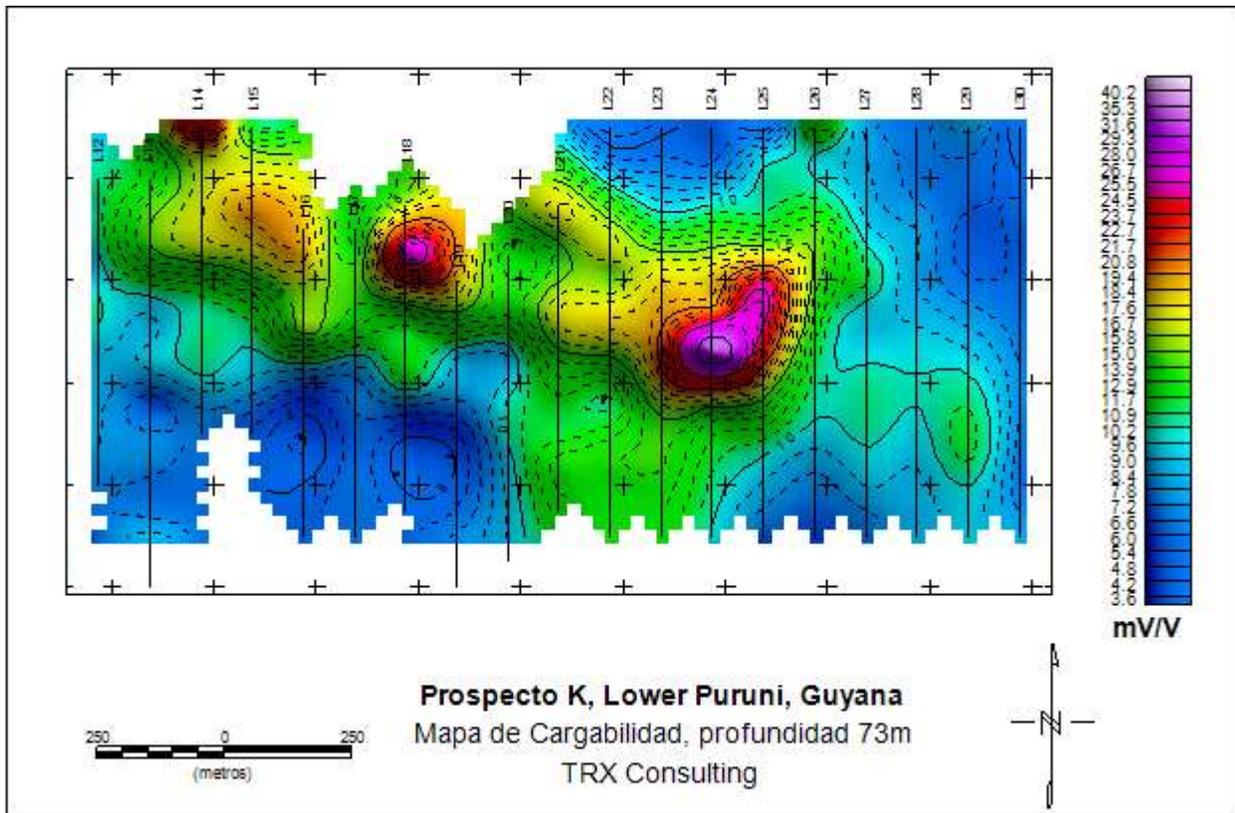


Figura 4.13 Mapa de Cargabilidad del Prospecto K a 73 m de profundidad.
(TRX Consulting C.A, 2010)

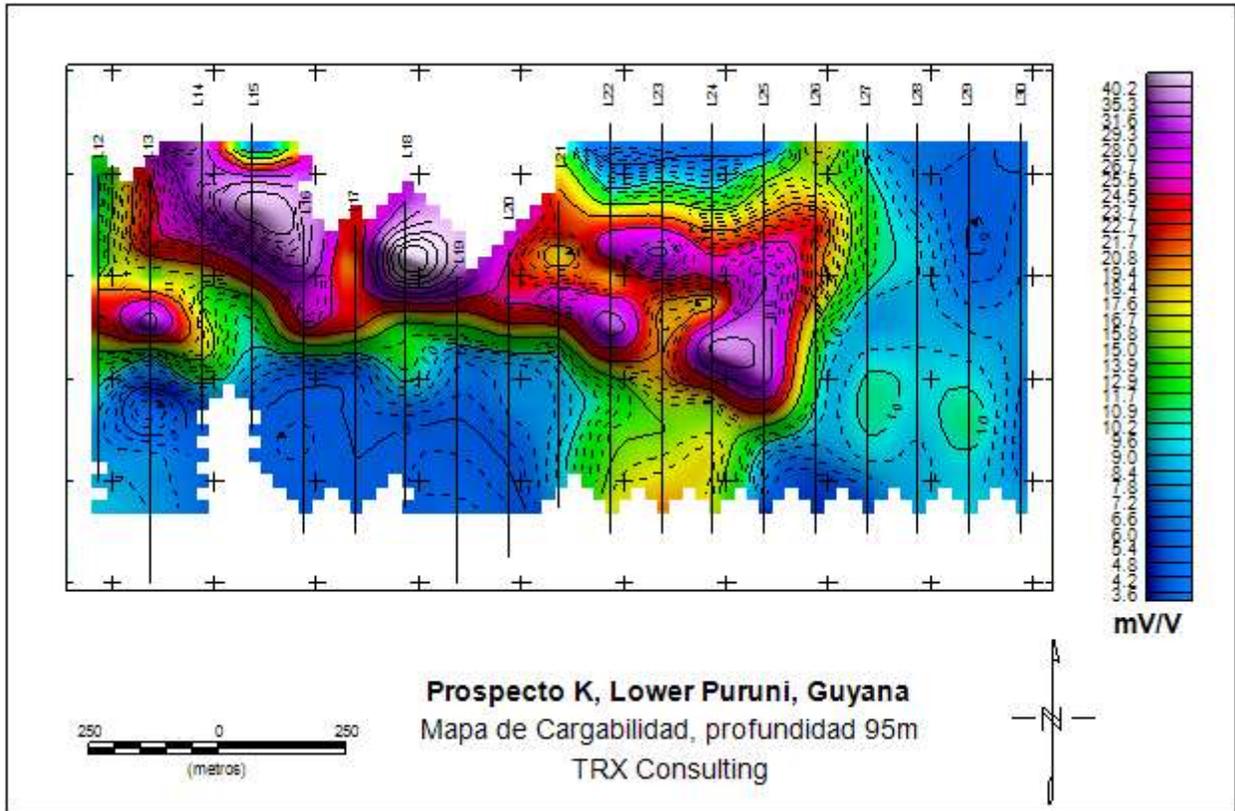


Figura 4.14 Mapa de Cargabilidad del Prospecto K a 95 m de profundidad.
(TRX Consulting C.A, 2010)

4.1.3 Pseudo-sección en 3D

A continuación se presentan las pseudo-secciones de Cargabilidad y Resistividad en 3D junto con la topografía para el Prospecto K (figuras 4.15 y 4.16), integrando los mapas a profundidades de 10 m, 31 m, 52 m, 73 m y 95 m.

Las pseudo secciones muestran las variaciones de los valores de Cargabilidad y Resistividad a diferentes profundidades. La figura 4.16 permite distinguir los dos lineamientos casi perpendiculares mencionados en la sección anterior, asociados a valores altos de Cargabilidad a mayor profundidad, los cuales coinciden con zonas de baja Resistividad y se asocian a cuerpos estructurales complejos como contactos tectónicos y zonas de cizalla, con la presencia de Au en vetas de cuarzo tipo stockwork, como consecuencia de la oxidación y desgaste del sulfuro metálico presente en dichas estructuras.

Además, es importante resaltar la presencia de otros minerales conductivos como consecuencia de una posible alteración hidrotermal de carácter filítico o argilítico, que coinciden con la geología local de la zona y con la información suministrada por datos de perforaciones e investigaciones previas citadas en la sección 2.2.1.

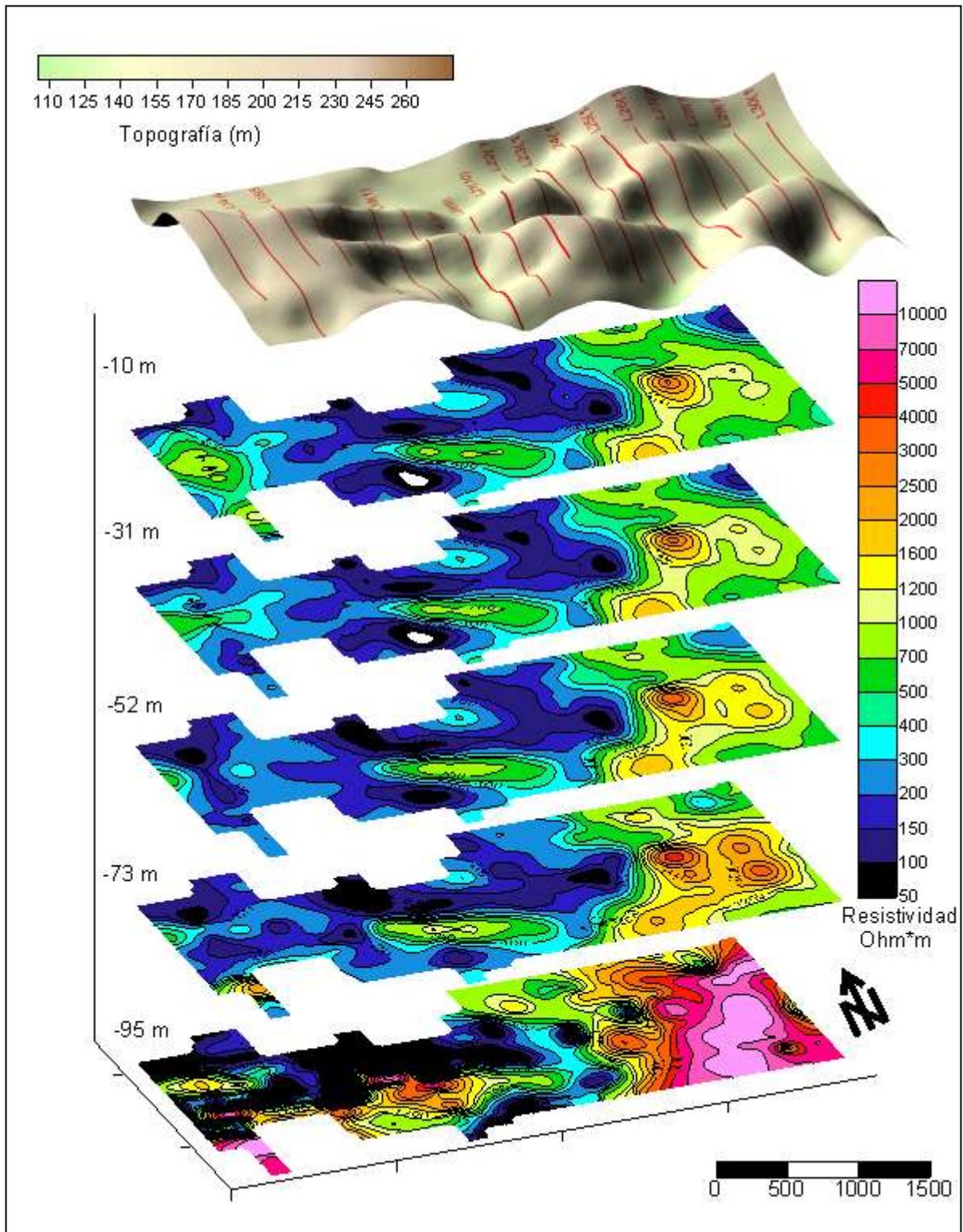


Figura 4.15 Pseudo-sección de Resistividad en 3D del Prospecto K.

(TRX Consulting C.A, 2010)

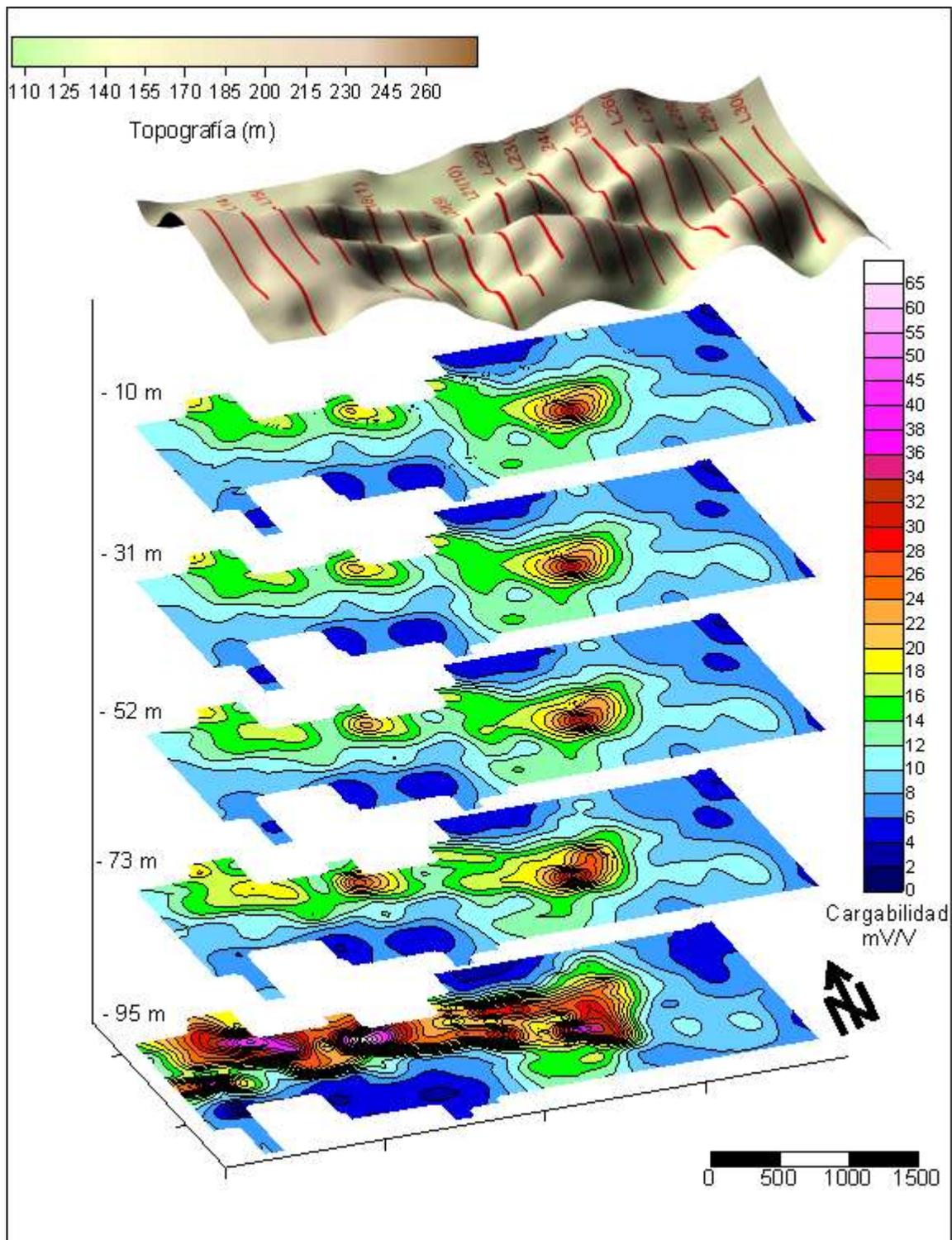


Figura 4.16 Pseudo-sección de Cargabilidad en 3D del Prospecto K.

(TRX Consulting C.A, 2010)

4.1.4 Pseudo modelos Volumétricos

En las figuras de la 4.17 a la 4.20 se presentan los Pseudo modelos volumétricos de Cargabilidad y en las figuras de la 4.21 a la 4.24 los Pseudo modelos de Resistividad del Prospecto K a diferentes iso profundidades, generados con el programa VOXLER 1. Se les asigna el nombre de *Pseudo modelos volumétricos*, porque éstos se modelaron a partir de datos en 2D generados por el programa RES2DINV.

4.1.4.1 Pseudo Modelos Volumétricos de Cargabilidad

En las imágenes de Cargabilidad se puede apreciar la distribución de los valores en 3 dimensiones, permitiendo ubicar de forma espacial, la posible distribución del sulfuro metálico y vetas de Au asociado, en el área de estudio. Como se explica en la geología local, la zona fue considerada inicialmente por contener mayores contenidos de sulfuro, pero los sulfuros se han oxidado y el desgaste originó oro enriquecido en la zona de cizalla.

La distribución de Au asociado a vetas de cuarzo en posibles zonas estructuralmente complejas y la presencia de minerales conductivos producto de alteración hidrotermal, se muestra en las zonas de mayor anomalía de Cargabilidad, delimitadas entre los valores de 16 mV/V hasta unos máximos locales de 34 mV/V aproximadamente.

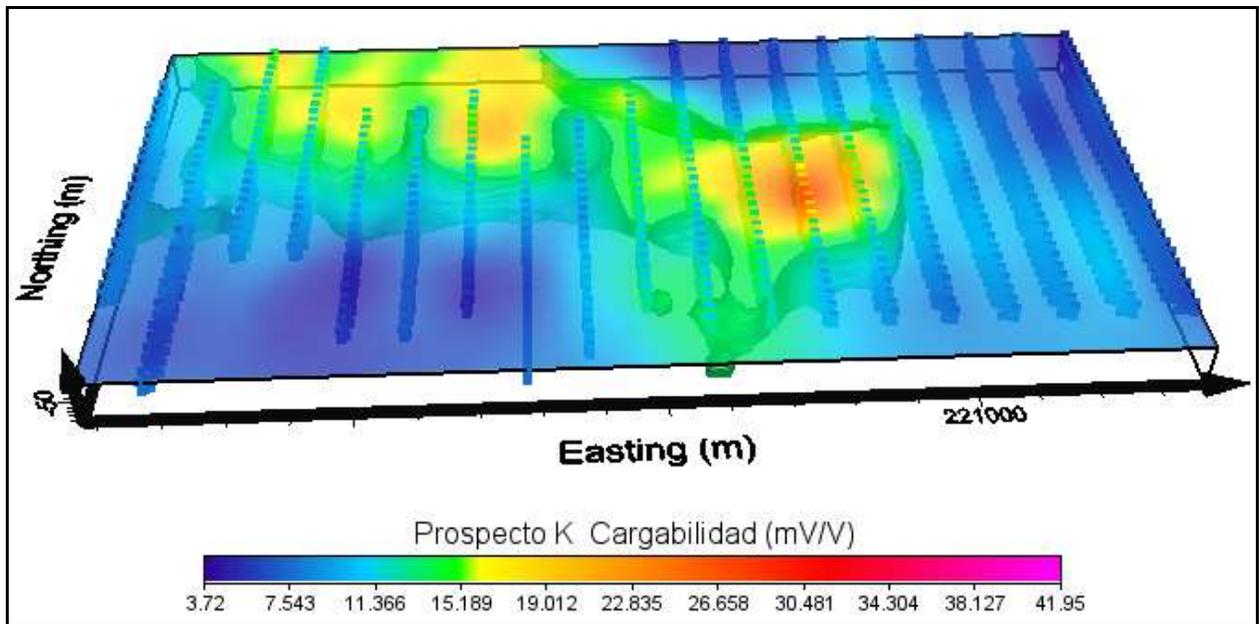


Figura 4.17 Pseudo Modelo volumétrico de la Cargabilidad del Prospecto K: slice 48.
(TRX Consulting C.A, 2010)

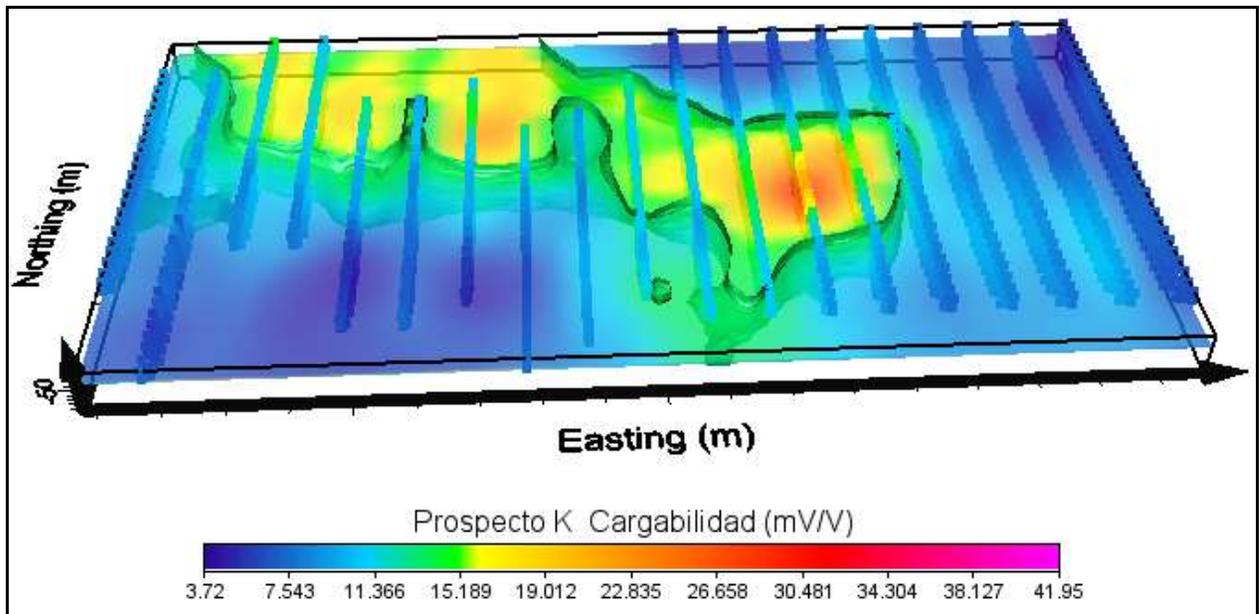


Figura 4.18 Pseudo Modelo volumétrico de la Cargabilidad del Prospecto K: slice 25.
(TRX Consulting C.A, 2010)

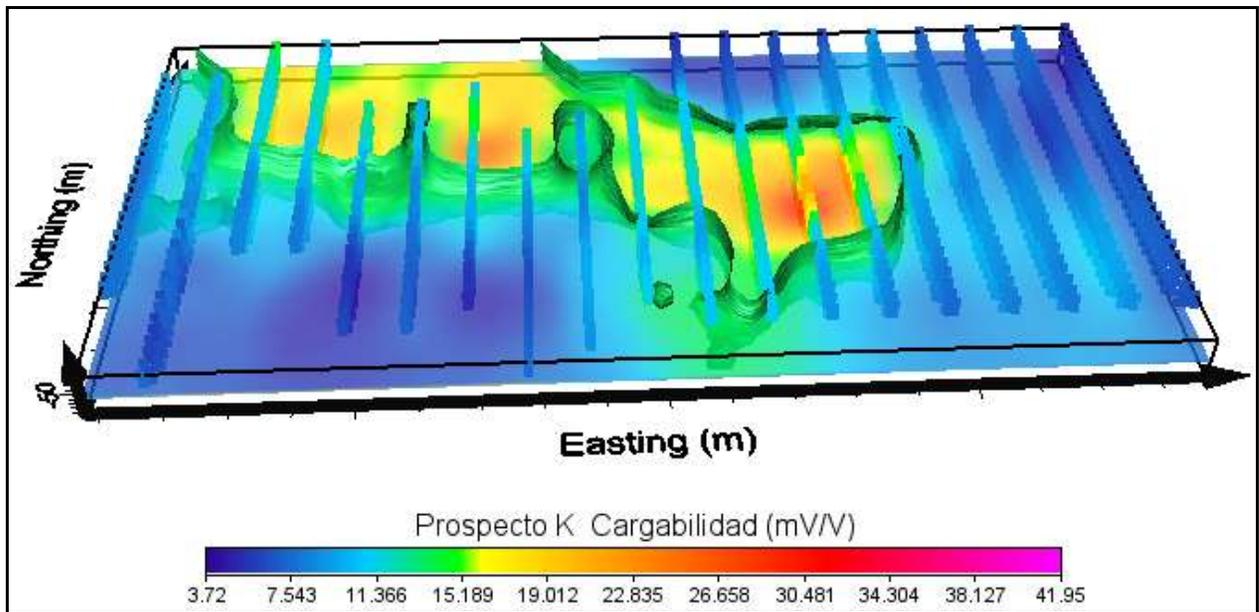


Figura 4.19 Pseudo Modelo volumétrico de la Cargabilidad del Prospecto K: slice 14.
(TRX Consulting C.A, 2010)

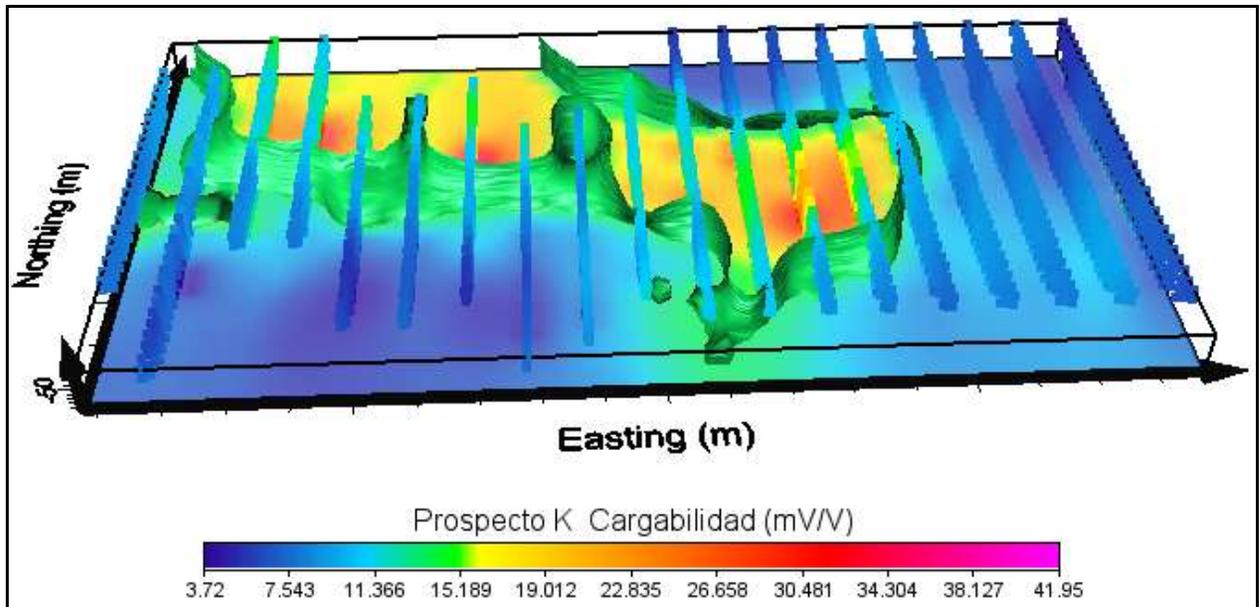


Figura 4.20 Pseudo Modelo volumétrico de la Cargabilidad del Prospecto K: slice 1.
(TRX Consulting C.A, 2010)

4.1.4.2 Pseudo Modelo Volumétrico de Resistividad

En estas imágenes se observa la ubicación de las anomalías de Resistividad, las cuales coinciden con zonas de baja Cargabilidad si se comparan con las imágenes presentadas en la sección anterior, lo cual apoya la presencia de sulfuros metálicos asociados a Au y a una posible mineralización hidrotermal.

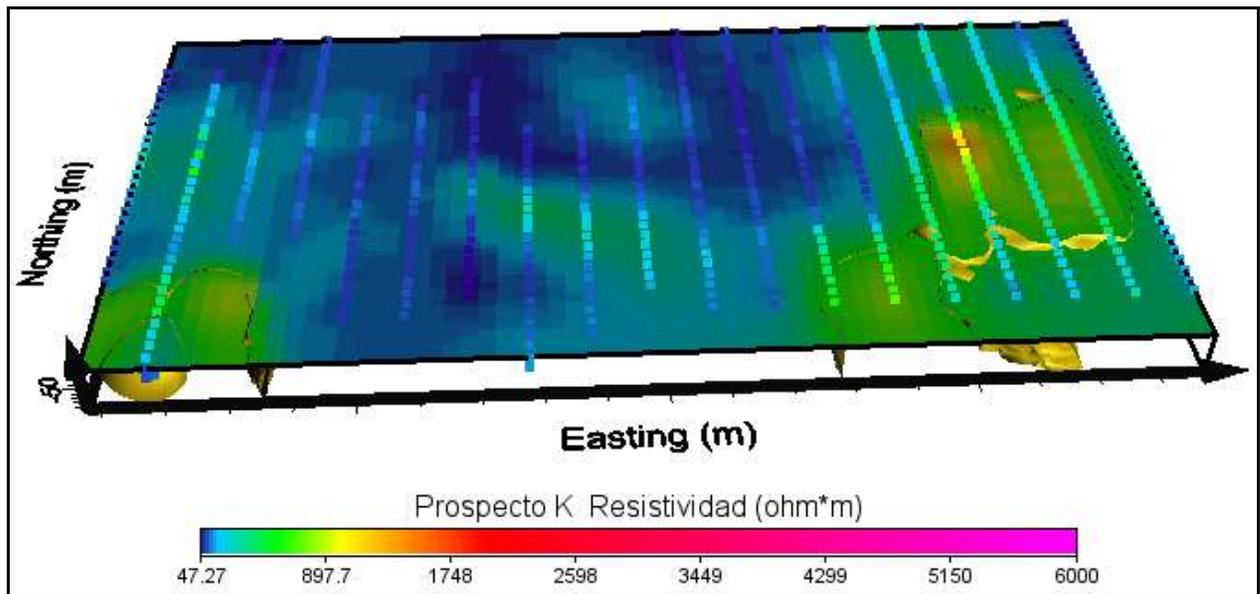


Figura 4.21 Pseudo Modelo volumétrico de la Resistividad del Prospecto K: slice 47.
(TRX Consulting C.A, 2010)

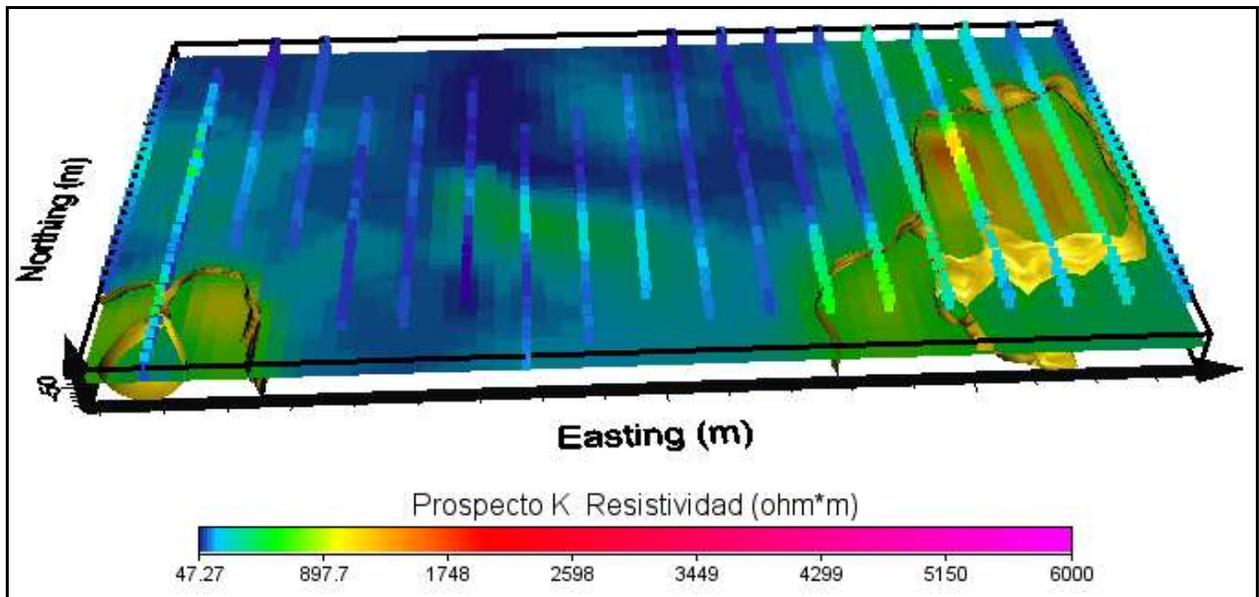


Figura 4.22 Pseudo Modelo volumétrico de la Resistividad del Prospecto K: slice 26.
(TRX Consulting C.A, 2010)

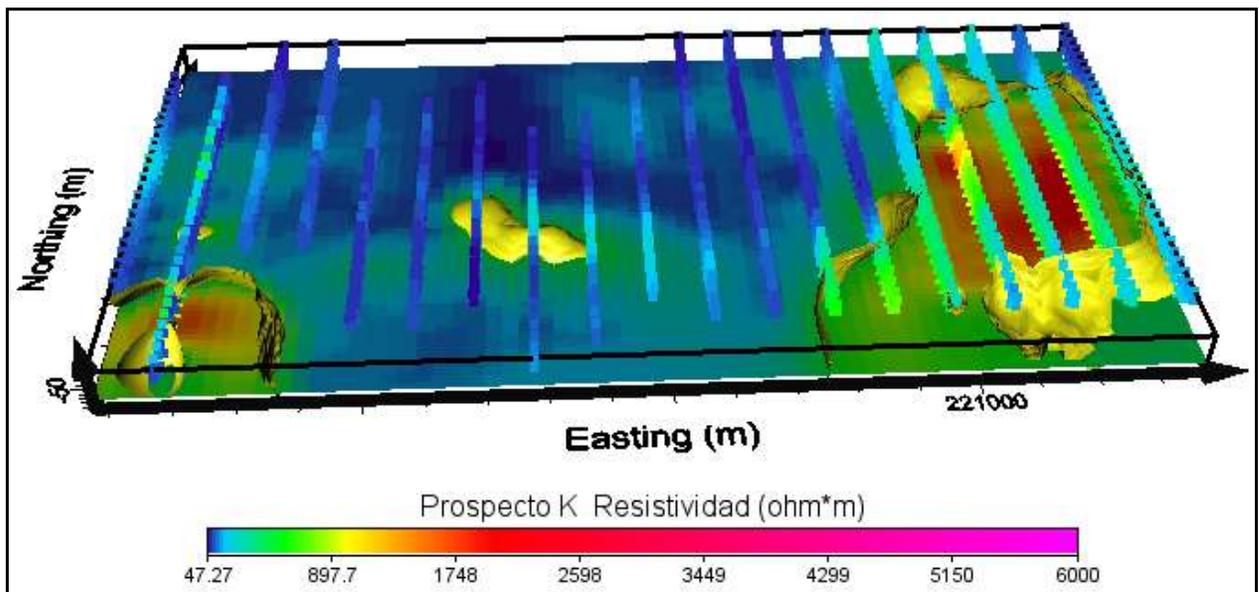


Figura 4.23 Pseudo Modelo volumétrico de la Resistividad del Prospecto K: slice 19.
(TRX Consulting C.A, 2010)

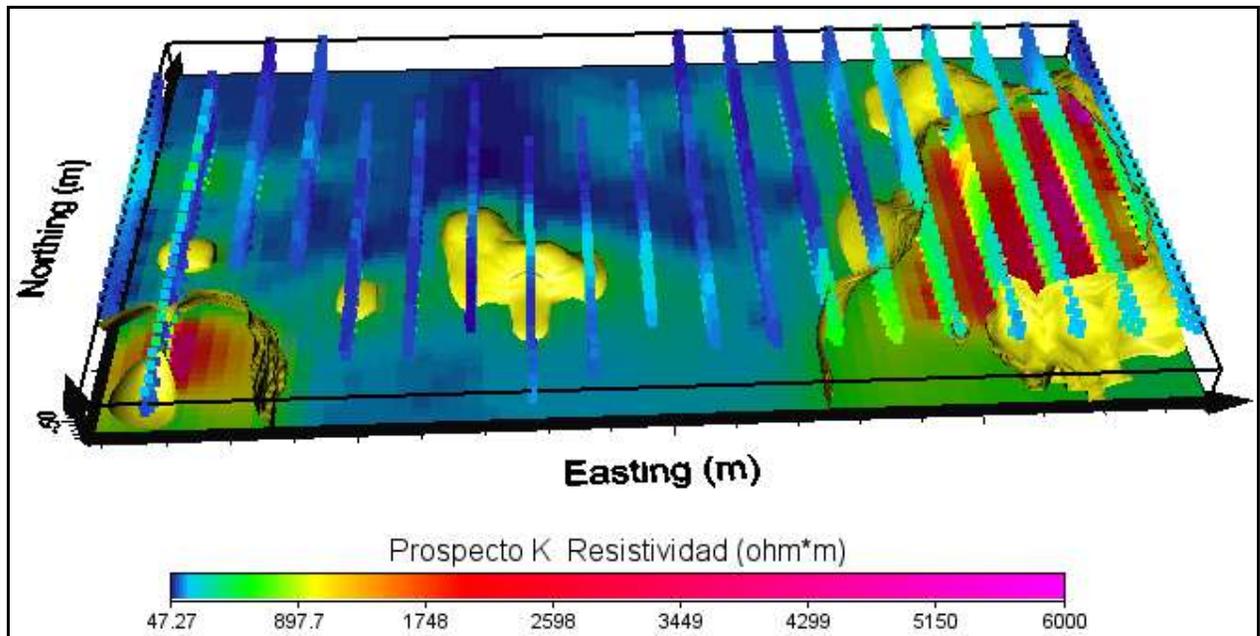


Figura 4.24 Pseudo Modelo volumétrico de la Resistividad del Prospecto K: slice 1.

(TRX Consulting C.A, 2010)

4.1.5 Modelo Volumétrico

Por último en las figuras de la 4.25 a la 4.27 se presentan los modelos volumétricos de Cargabilidad y de la figuras 4.28 a la 4.30 los de Resistividad del Prospecto K a diferentes profundidades, generados también con el programa VOXLER 1. Se les asigna el nombre de *modelos volumétricos*, porque éstos se modelaron a partir de datos en 3D generados por el programa RES3DINV.

4.1.5.1 Modelos Volumétricos de Cargabilidad

Los modelos volumétricos presentados a continuación, generan una adecuada distribución en 3D de los valores altos de Cargabilidad asociados a sulfuro metálico, vetas de cuarzo aurífero y minerales conductivos asociados al área de estudio.

A diferencia de los Pseudo modelos volumétricos, estas imágenes muestran las zonas conductivas desde otra perspectiva, lo cual proporciona una idea espacial de la ubicación del oro a profundidad y la zona a explotar.

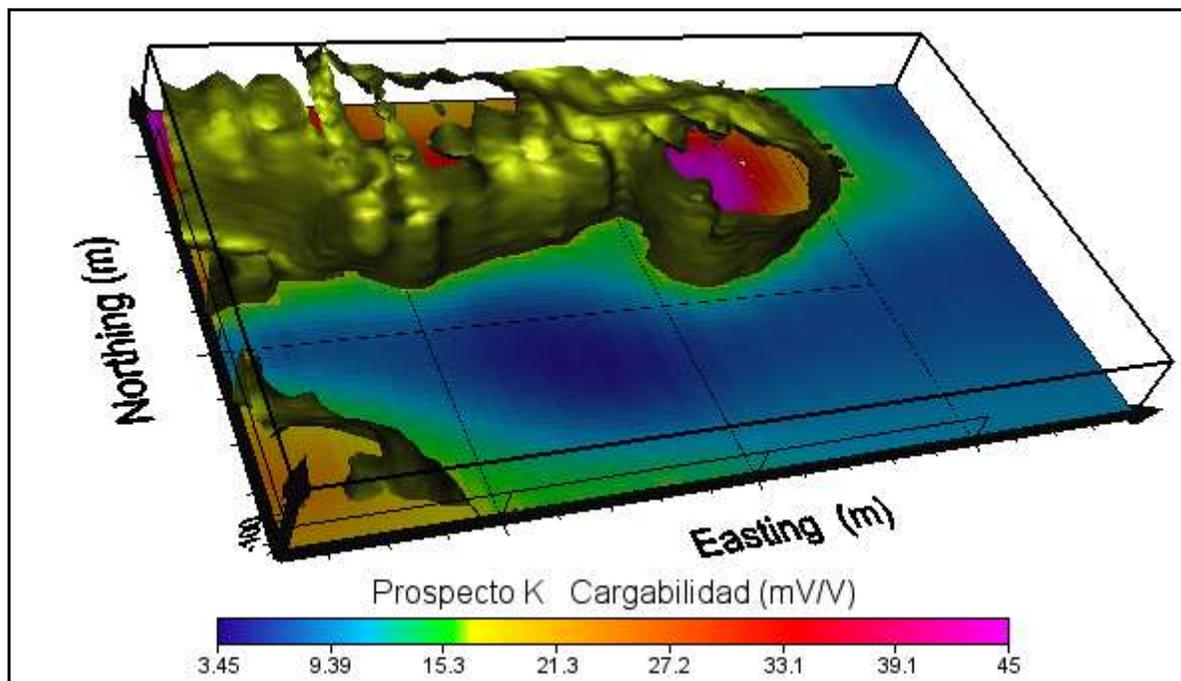


Figura 4.25 Modelo volumétrico de la Cargabilidad del Prospecto K
(TRX Consulting C.A, 2010)

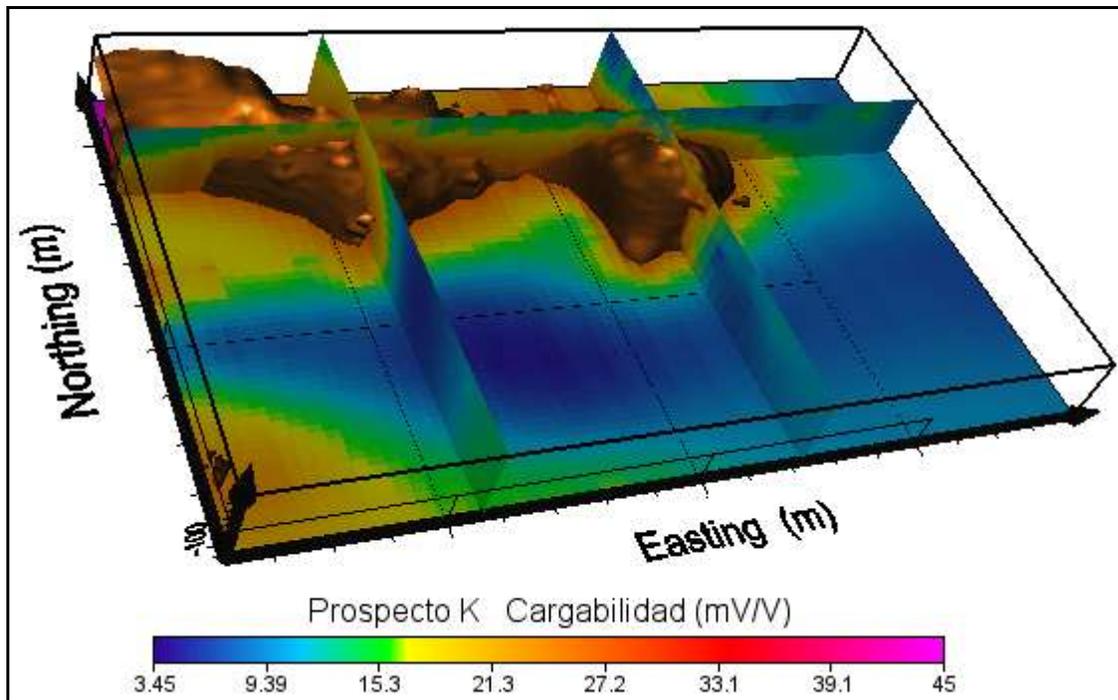


Figura 4.26 Modelo volumétrico de la Cargabilidad del Prospecto K
(TRX Consulting C.A, 2010)

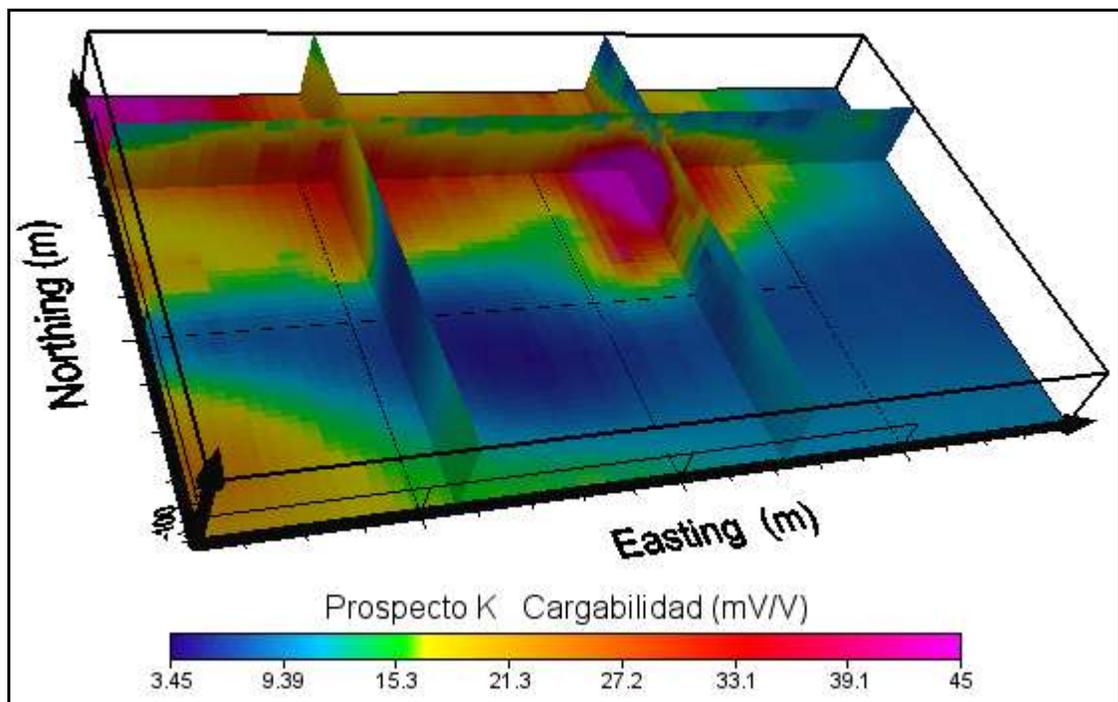


Figura 4.27 Modelo volumétrico de la Cargabilidad del Prospecto K
(TRX Consulting C.A, 2010)

4.1.5.2 Modelos Volumétricos de Resistividad

En estas imágenes se observa la ubicación de las anomalías de Resistividad, las cuales coinciden con zonas de baja Cargabilidad si se comparan con las imágenes presentadas en la sección anterior, lo cual también apoya la presencia de sulfuros metálicos asociados a Au, que con investigaciones y reportes realizados, datos de perforaciones y la geología tanto regional como local, se podría catalogar al Prospecto K como una posible zona de explotación aurífera rentable.

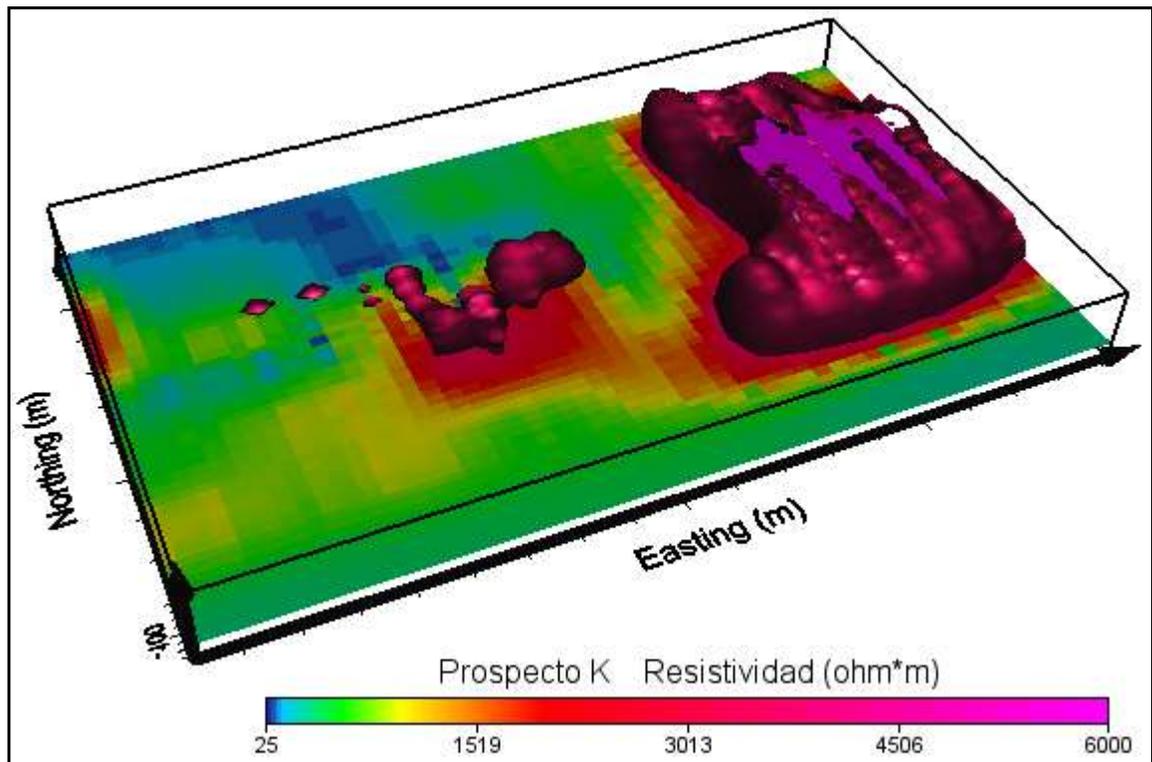


Figura 4.28 Modelo volumétrico de la Resistividad del Prospecto K
(TRX Consulting C.A, 2010)

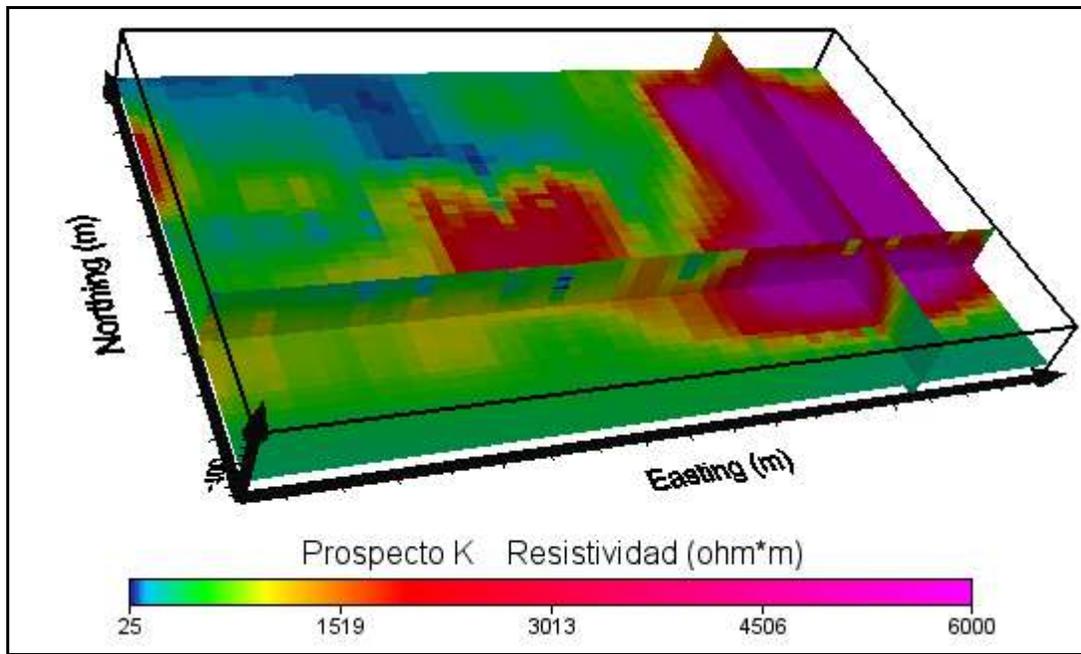


Figura 4.29 Modelo volumétrico de la Resistividad del Prospecto K
(TRX Consulting C.A, 2010)

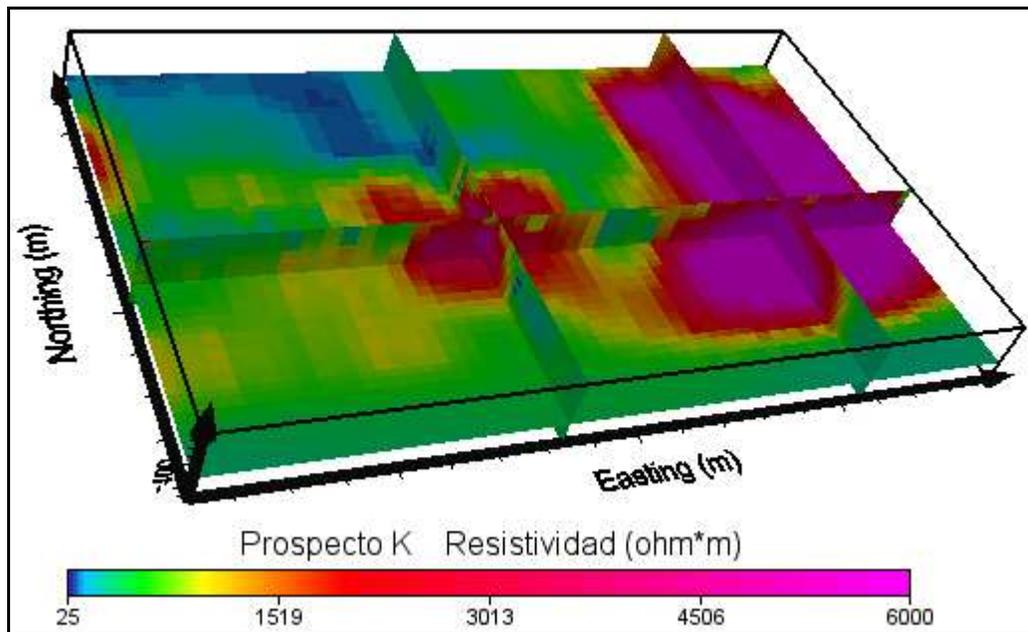


Figura 4.30 Modelo volumétrico de la Resistividad del Prospecto K
(TRX Consulting C.A, 2010)

4.2 Prospecto MM

A continuación se presentan las Pseudo secciones *invertidas* de los valores de Cargabilidad y Resistividad de las líneas más representativas de la etapa de procesamiento de los datos del Prospecto MM. Además se muestran los Mapas de Contornos generados a profundidades de 13 m, 39 m, 65 m, 92 m, 119 m y 146 m, con la escala de colores ajustada a los valores anómalos observados, incluyendo también la Pseudo sección en 3D con topografía elaborada con Surfer 9 y un Pseudo Modelo Volumétrico de esta zona en estudio elaborados con Voxler 1.

4.2.1 Inversión de valores de Cargabilidad y Resistividad Aparente

En las figuras de la 4.31 a la 4.34 se presentan las Pseudo secciones invertidas con valores de Cargabilidad y Resistividad de las líneas 14, 11, 9 y 4 del Prospecto MM, respectivamente, las cuales sí representan valores asociados directamente a los materiales en el subsuelo que permiten visualizar y comparar la distribución de Cargabilidad y Resistividad para la caracterización del suelo.

La línea 14 (figura 4.31), muestra al oeste del modelo IP valores de Cargabilidad que aumentan a mayor elevación entre 9-12.5 mV/V aproximadamente, mientras que los valores altos de resistividad se observan a menores elevaciones oscilando entre 1000-5000 ohm-m.

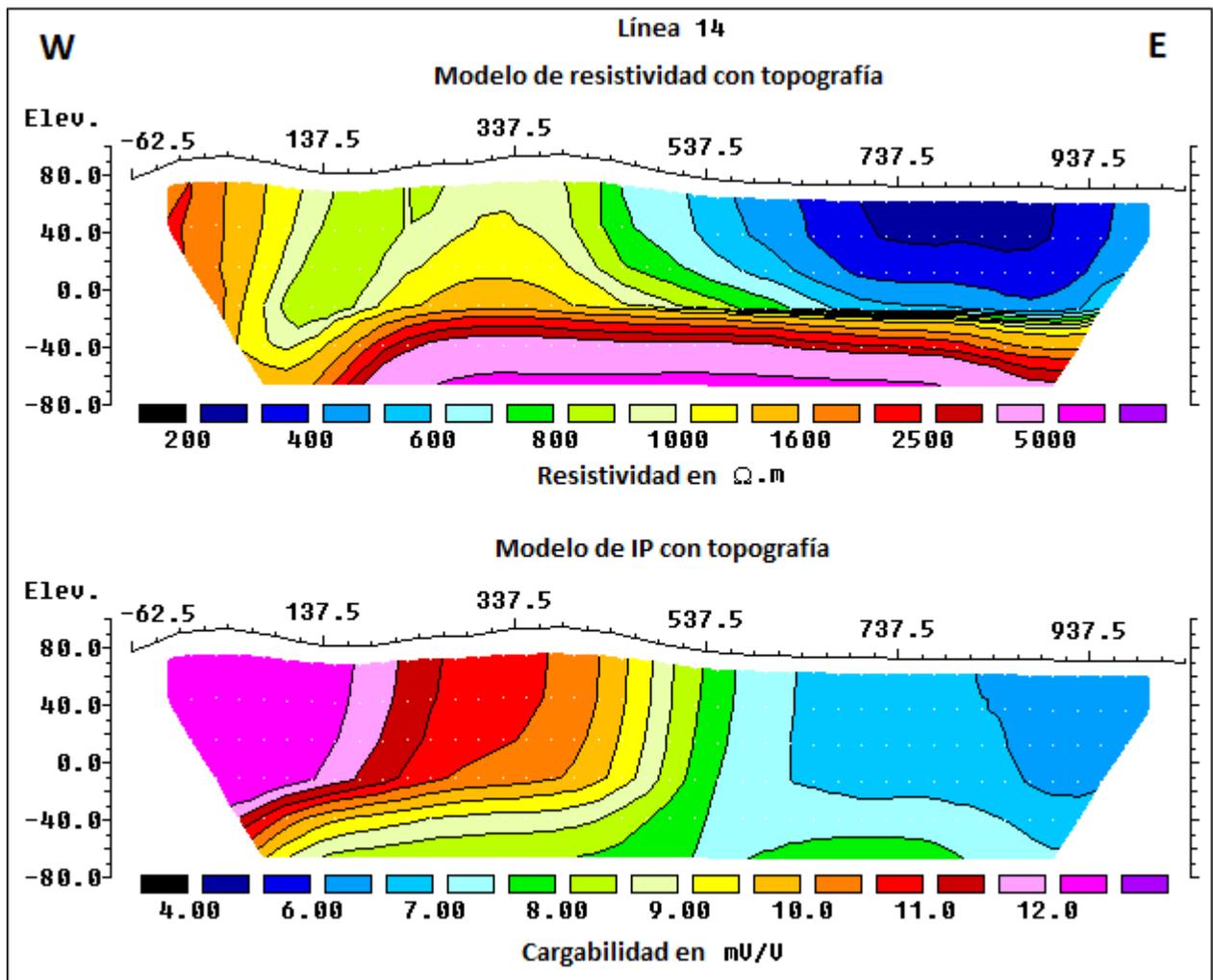


Figura 4.31 Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 14. Prospecto MM.
(TRX Consulting C.A, 2010).

La línea 11 (figura 4.32) muestra en la parte central del modelo IP valores relativamente bajos de Cargabilidad que van desde 7.5-8.5 mV/V y coincide con una zona de alta resistividad con valores entre 1600-5000 ohm-m aproximadamente.

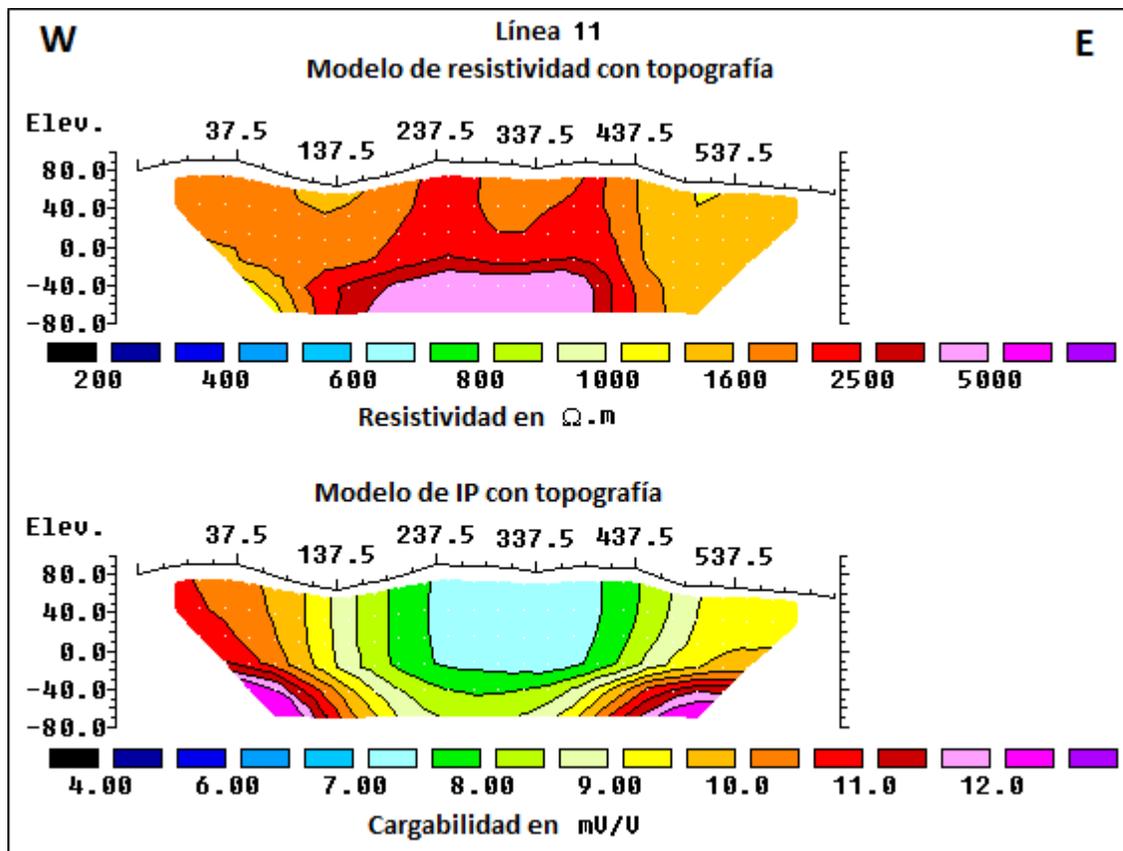


Figura 4.32 Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 11. Prospecto MM.
 (TRX Consulting C.A, 2010).

En la línea 9 (figura 4 .33) se observan en el modelo IP valores de Cargabilidad que aumentan a medida que disminuye la elevación entre 8-12.5 mV/V coincidiendo con valores altos de resistividad que varían entre 1000-5500 ohm-m.

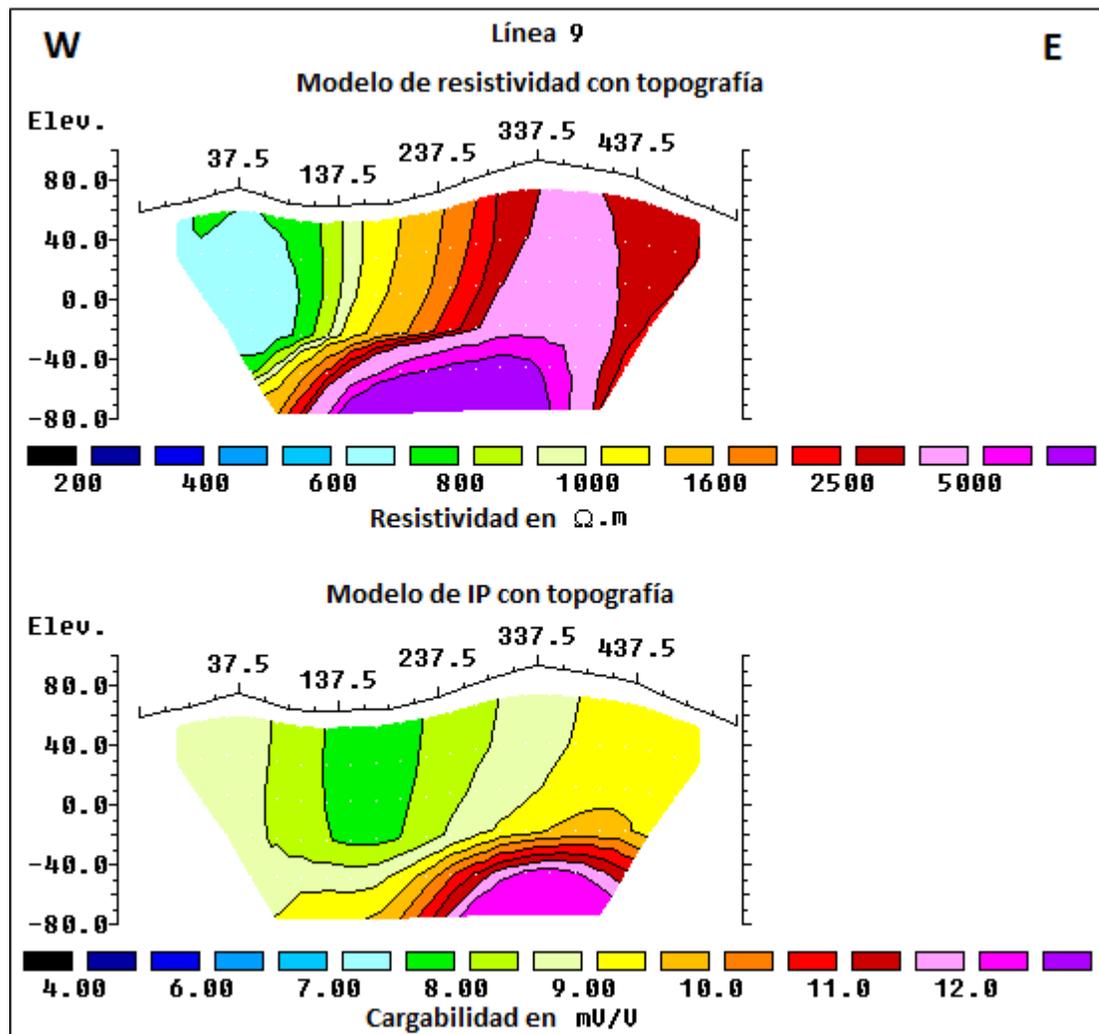


Figura 4.33 Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 9. Prospecto MM.
 (TRX Consulting C.A, 2010).

La línea 4 (figura 4.34) indica valores bajos de Cargabilidad en la parte central y profunda del modelo IP que varían entre 5-7.5 mV/V aproximadamente. En dirección este, se presentan valores relativamente altos que oscilan entre 9-11 mV/V; lo contrario ocurre con la resistividad, la cual presenta valores altos en la parte central del modelo de Resistividad entre 1600-5500 ohm-m y al este se observan valores bajos entre 2-6 ohm-m.

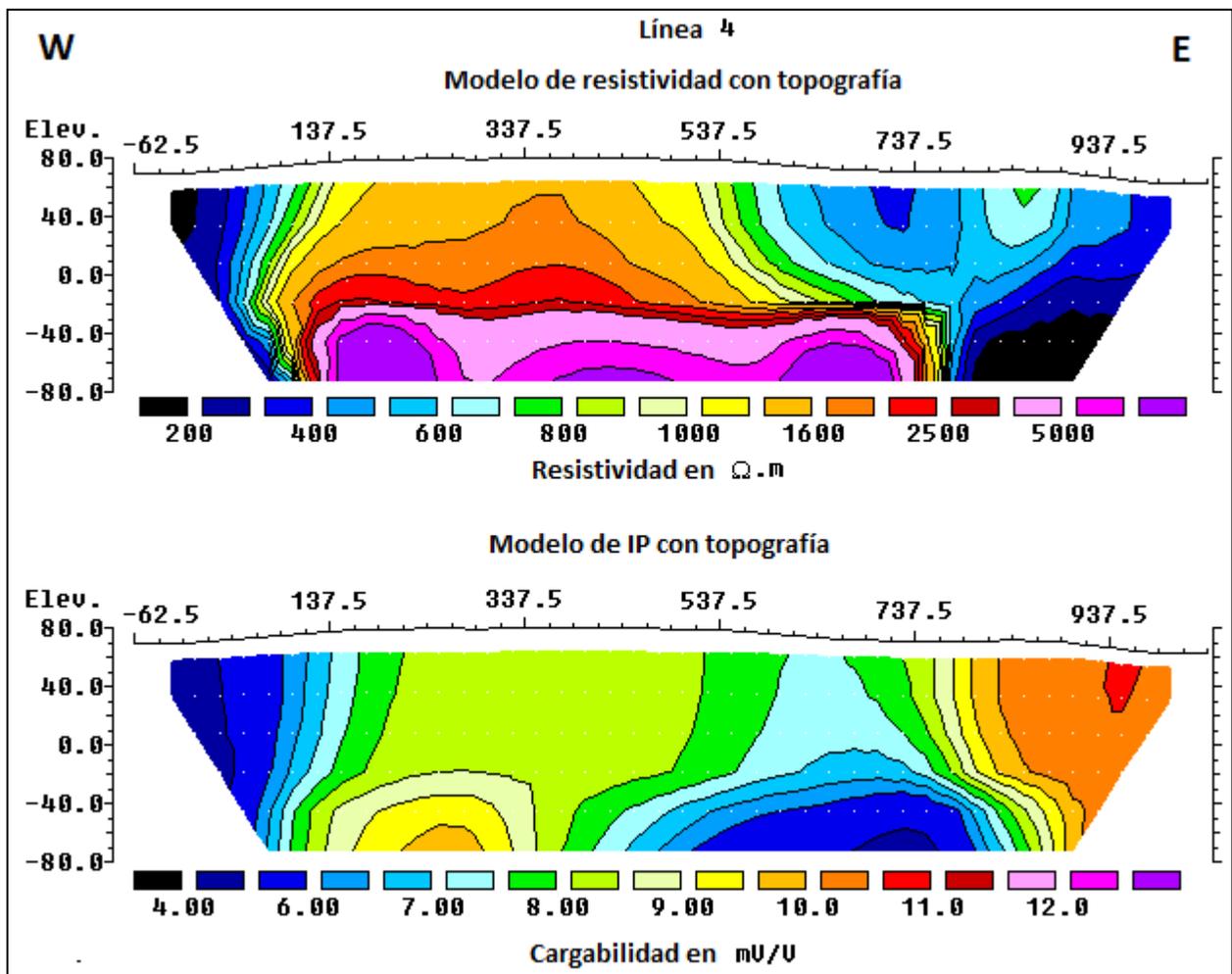


Figura 4.34 Pseudo sección invertida de Resistividad y Cargabilidad. Línea 4. Prospecto MM.
(TRX Consulting C.A, 2010).

De forma general, las imágenes presentadas anteriormente no muestran mucha información acerca de la Cargabilidad, a simple vista no se logra ubicar la zona de mayor anomalía, ya que los modelos de IP indican valores de Cargabilidad generalmente bajos y los valores altos se ubican en los extremos de dicho modelo, pudiendo atribuírsele a posibles efectos de borde. Por ende, aún no se puede presentar una hipótesis que explique la presencia de sulfuro asociado a Au en la zona en estudio. Es necesario remitirnos a los mapas de contornos para poder plantear una idea concreta.

4.2.2 Mapas de Contornos de Cargabilidad y Resistividad

En las figuras de la 4.35 a la 4.46 se presentan los Mapas de Contornos generados a partir de los valores invertidos de Cargabilidad y Resistividad a una profundidad constante, a fin de mostrar como ya se mencionó, una correspondencia espacial en dos dimensiones de los parámetros de IP / Resistividad con la geología local. Estos mapas fueron contorneados a las profundidades de 13 m, 39 m, 65 m, 92 m, 119 m y 146 m para el Prospecto MM con el programa Oasis Montaj.

Como observación preliminar, las resistividades aparentes medidas en el área de estudio varían de unos cientos ohm-m hasta alrededor de 10.000 ohm-m, que es indicativo de un ambiente geológico muy complejo. El ambiente parece ser más resistivo que el del Prospecto K y el rango de valores de Cargabilidad es de unos pocos mV / V hasta máximos locales de 15 mV / V en la parte más profunda de la sección de investigación. En este ámbito los valores máximos de Cargabilidad son considerablemente menores que los picos observados en el Prospecto K.

La barra color de IP en la escala de los mapas de contornos a profundidad ha sido elegida para señalar que un 10.9 mV / V es el umbral de una anomalía. Por lo tanto los valores por debajo de ~ 9 mV / V están representados en escala de tonos verde y azules.

4.2.2.1 Mapas de Resistividad

Los mapas de Resistividad (figuras 4.35 a la 4.40) hasta aproximadamente 90 m de profundidad, muestran un patrón de resistividades lineales que convergen hacia la parte norte de las líneas 14-12. En esta área de estudio los valores relativamente más bajos de resistividad que se observan, corresponden a la anomalía de Cargabilidad que se mencionará más adelante. Secciones más profundas (figuras 4.39 a la 4.40), muestran condiciones más resistivas en toda la zona, asociada a unidades más competentes (roca inalterada).

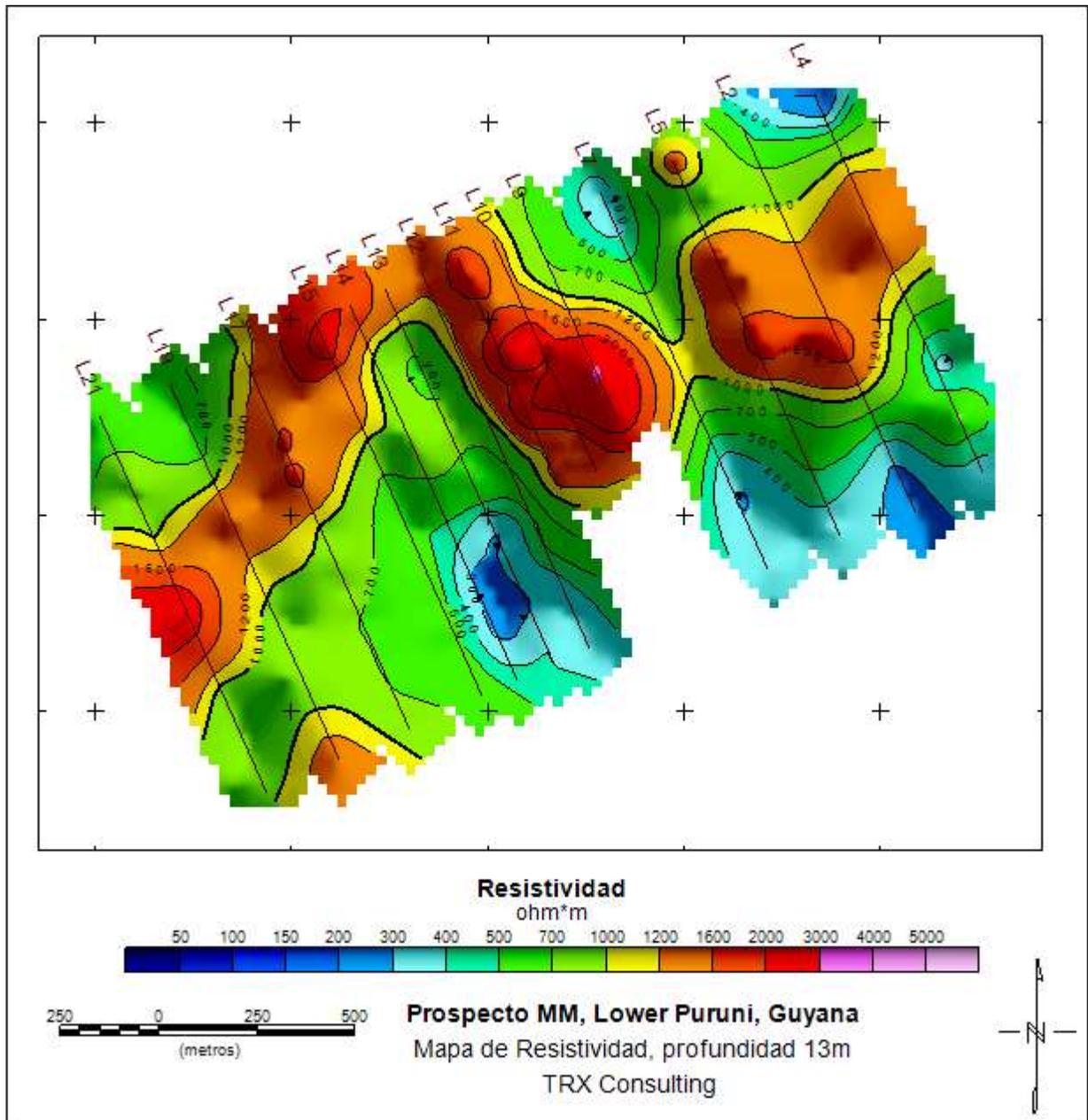


Figura 4.35 Mapa de Resistividad del Prospecto MM a 13 m de profundidad.

(TRX Consulting C.A, 2010)

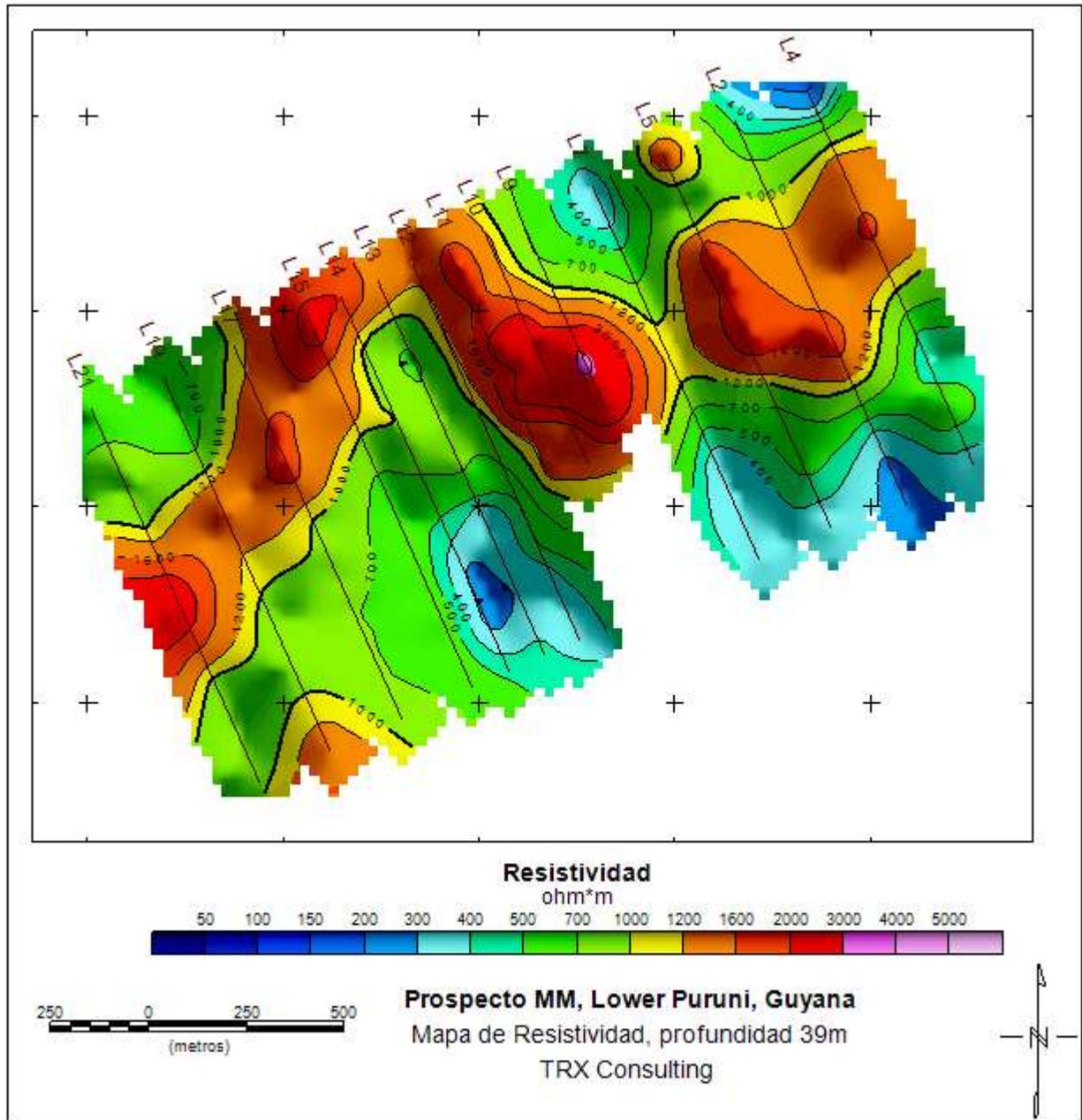


Figura 4.36 Mapa de Resistividad del Prospecto MM a 39 m de profundidad.

(TRX Consulting C.A, 2010)

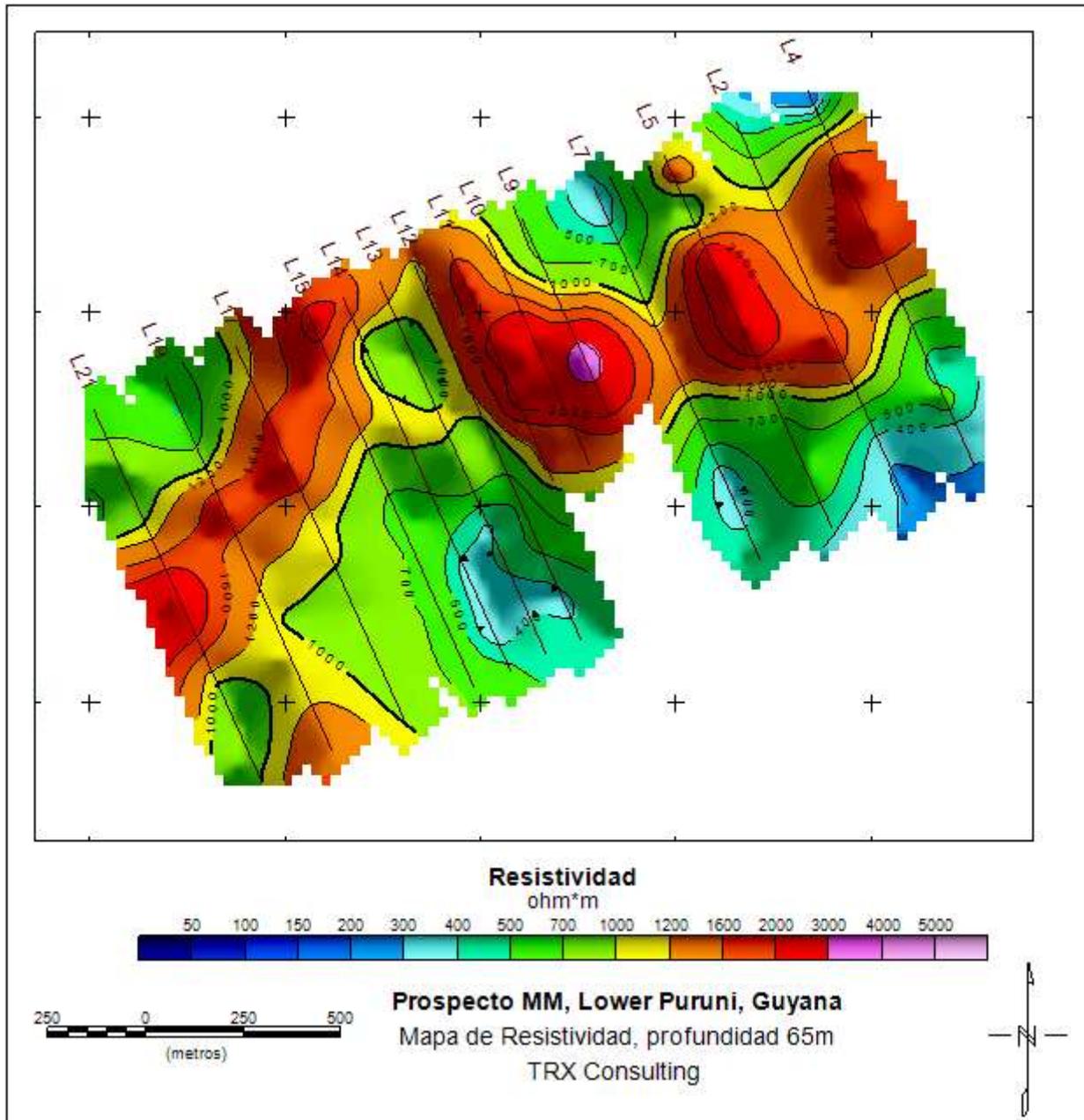


Figura 4.37 Mapa de Resistividad del Prospecto MM a 65 m de profundidad.

(TRX Consulting C.A, 2010)

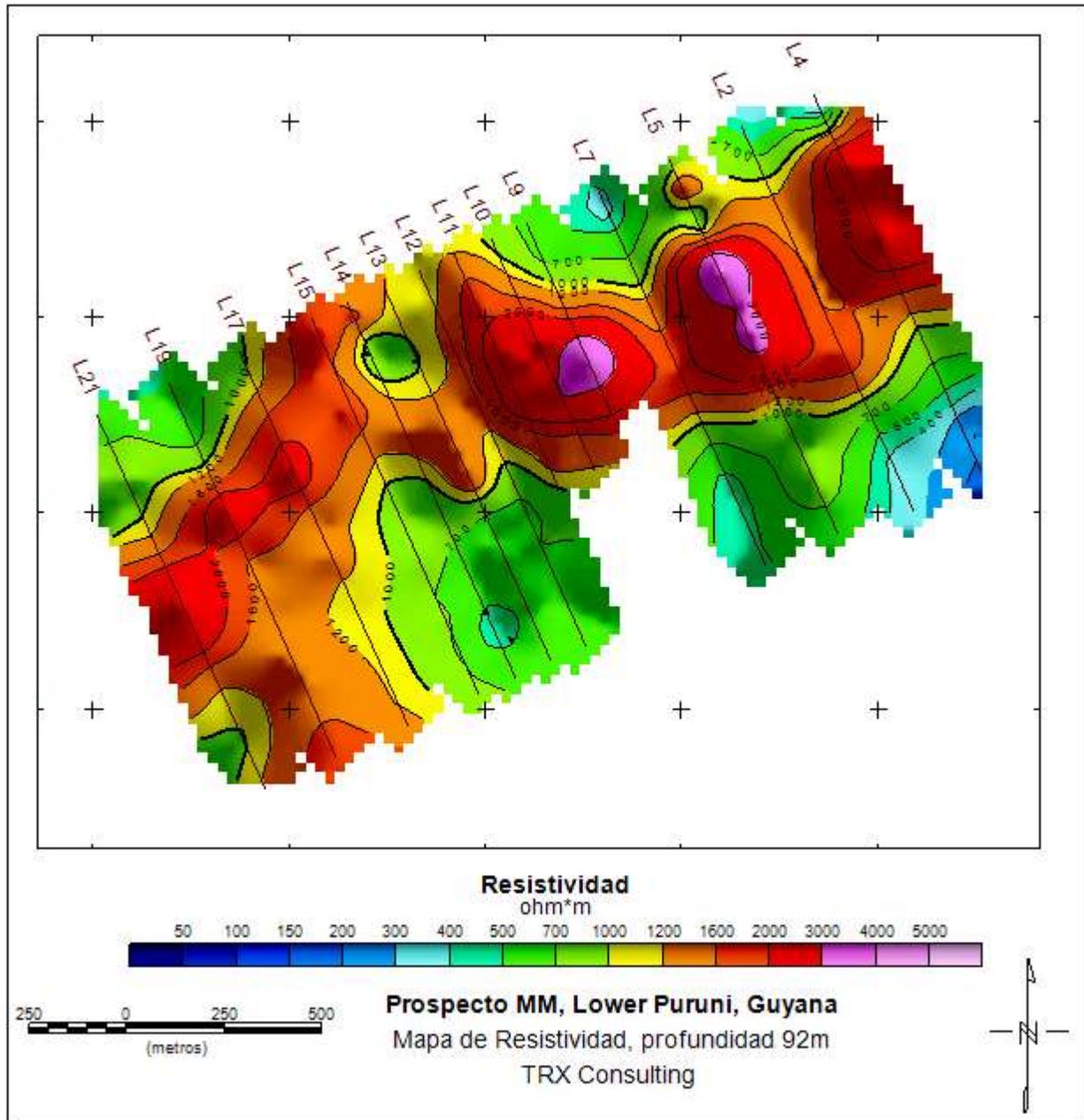


Figura 4.38 Mapa de Resistividad del Prospecto MM a 92 m de profundidad.

(TRX Consulting C.A, 2010)

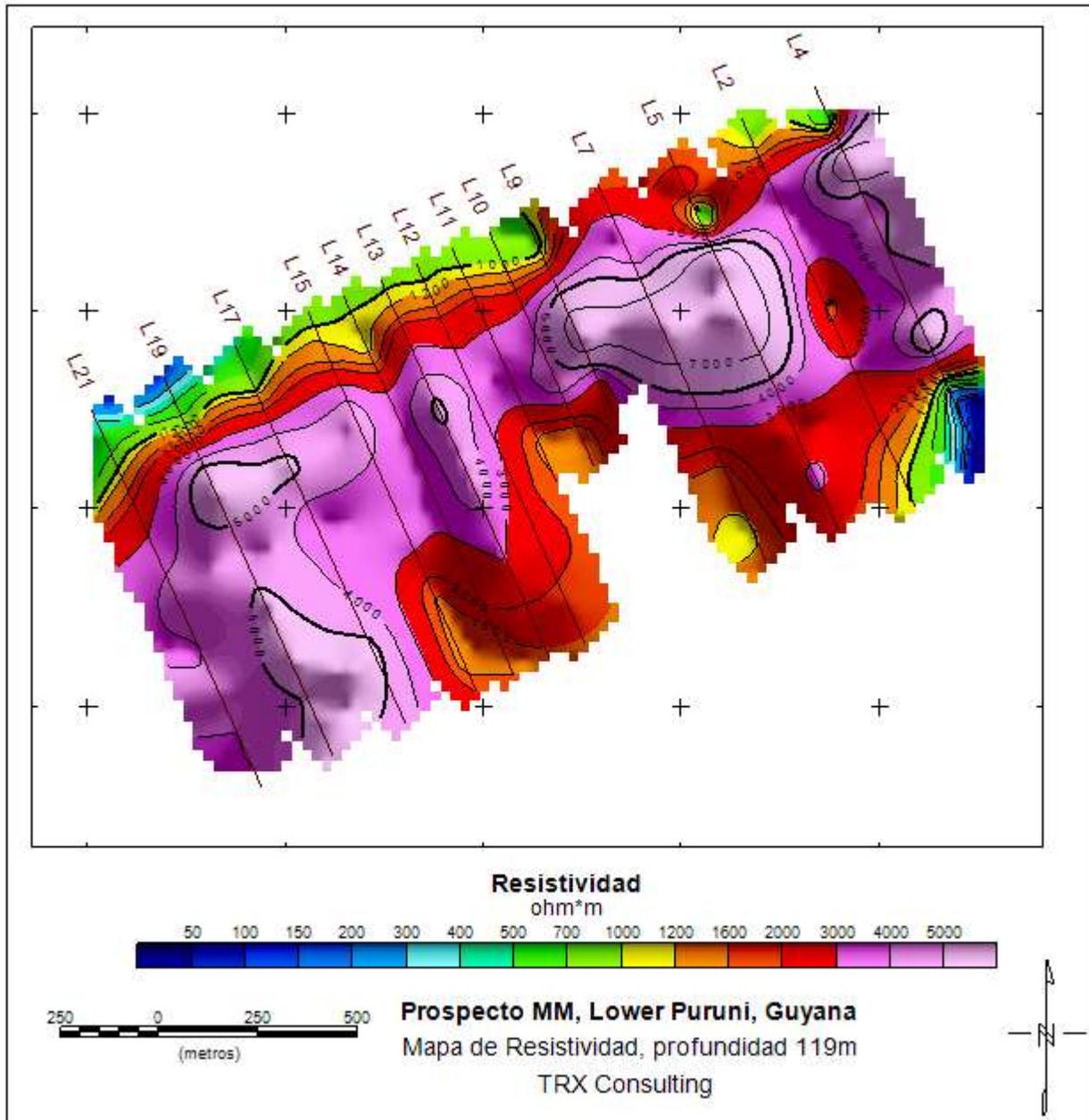


Figura 4.39 Mapa de Resistividad del Prospecto MM a 119 m de profundidad.
(TRX Consulting C.A, 2010)

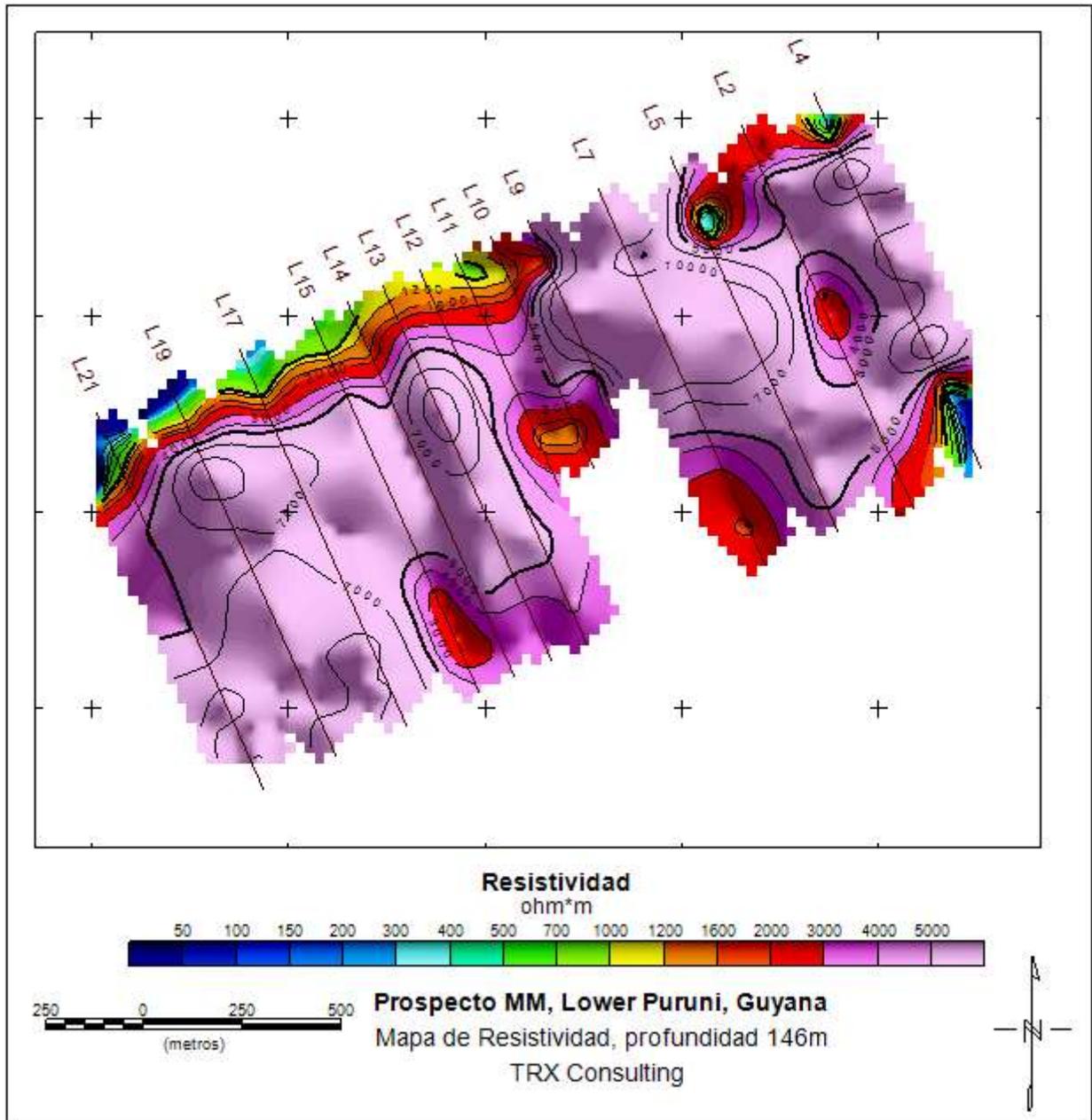


Figura 4.40 Mapa de Resistividad del Prospecto MM a 146 m de profundidad.
(TRX Consulting C.A, 2010)

4.2.2.2 Mapas de Cargabilidad

En las figuras 4.41 a la 4.46, se muestran los mapas de contornos con superficies de Cargabilidad relativamente altas, las cuales se observan en la parte norte entre las líneas 17 y 10. En secciones más profundas (figuras 4.45 y 4.46), además de la reducción de la mencionada anomalía, señalan la definición de otra anomalía en la parte central del prospecto entre las líneas 11 y 7, que justamente coincide con valores relativamente bajos de resistividad que podrían asociarse con una posible alteración filítica o argilítica.

La hipótesis de alteración hidrotermal filítica o argilítica en la parte norte y central del prospecto puede sustentarse también con lo explicado en la sección 2.2.1, ya que la geología local de la zona en estudio indica la presencia de zonas saprolitizadas asociadas a baja resistividad debido y a la presencia de minerales conductivos, tales como montmorillonita, caolinita, muscovita (micas), entre otros. (Ver tablas 1 y 2).

De forma general, el prospecto MM presenta un rango de valores de Cargabilidad con máximos locales de 15 mV/V que los hacen considerablemente menores que los picos del Prospecto K, permitiendo cuantificar por los datos de perforación suministrados un efecto producido por sulfuros metálicos asociados a una **mineralización de Au de tipo diseminado**, que se asocian a zonas de moderada a alta conductividad y a las alteraciones hidrotermales mencionadas.

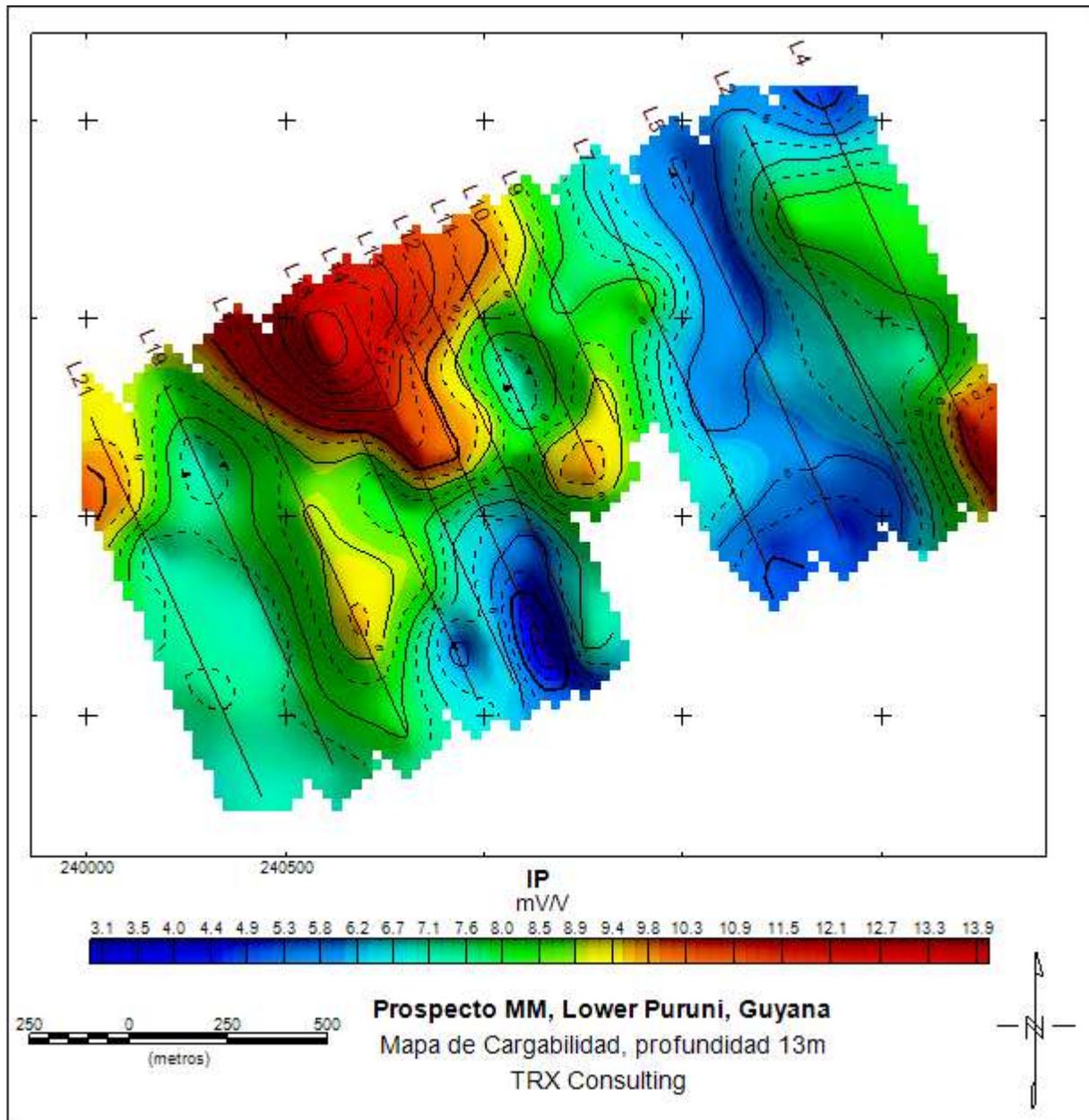


Figura 4.41 Mapa de Cargabilidad del Prospecto MM a 13 m de profundidad.
(TRX Consulting C.A, 2010).

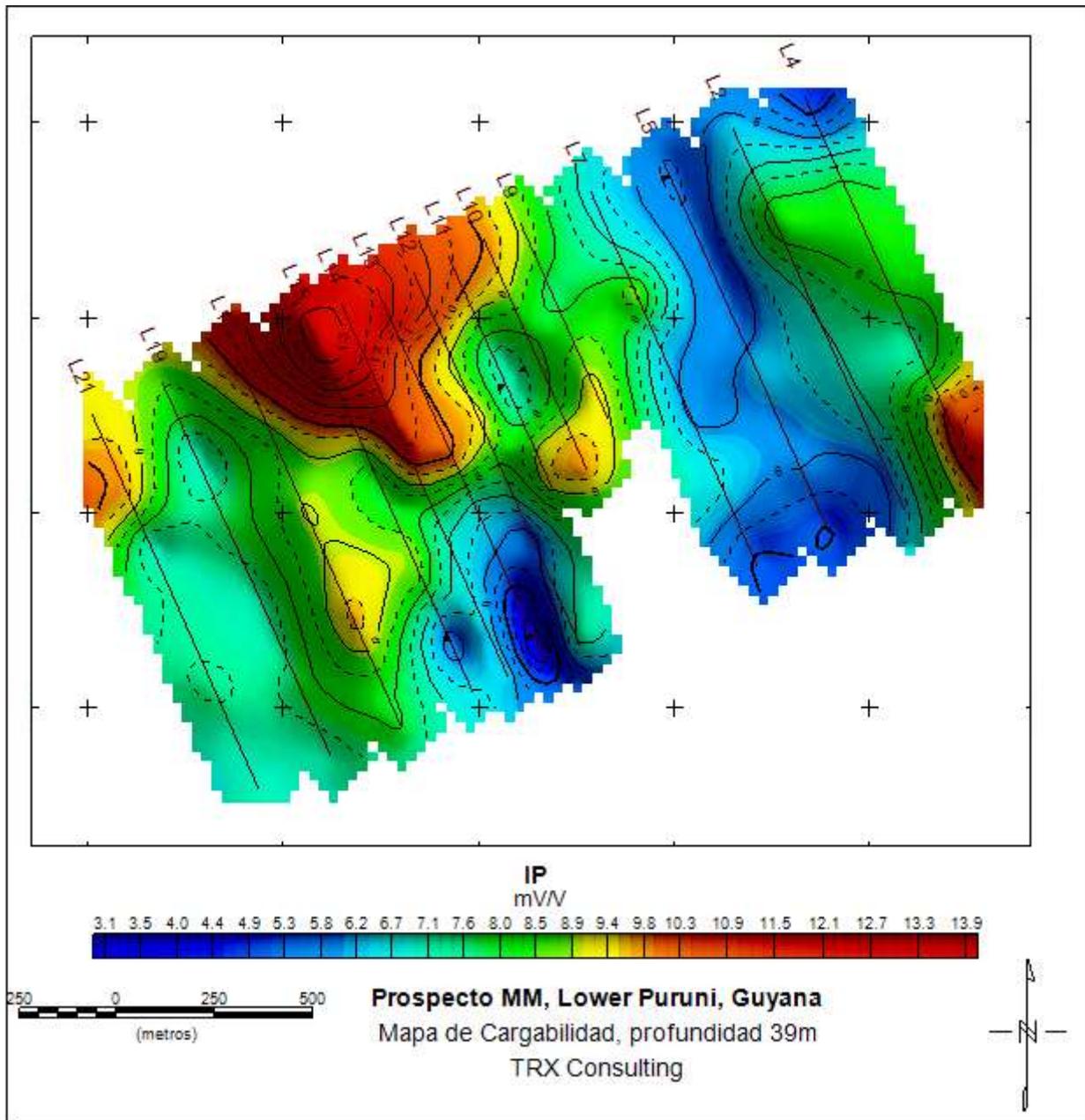


Figura 4.42 Mapa de Cargabilidad del Prospecto MM a 39 m de profundidad.
(TRX Consulting C.A, 2010)

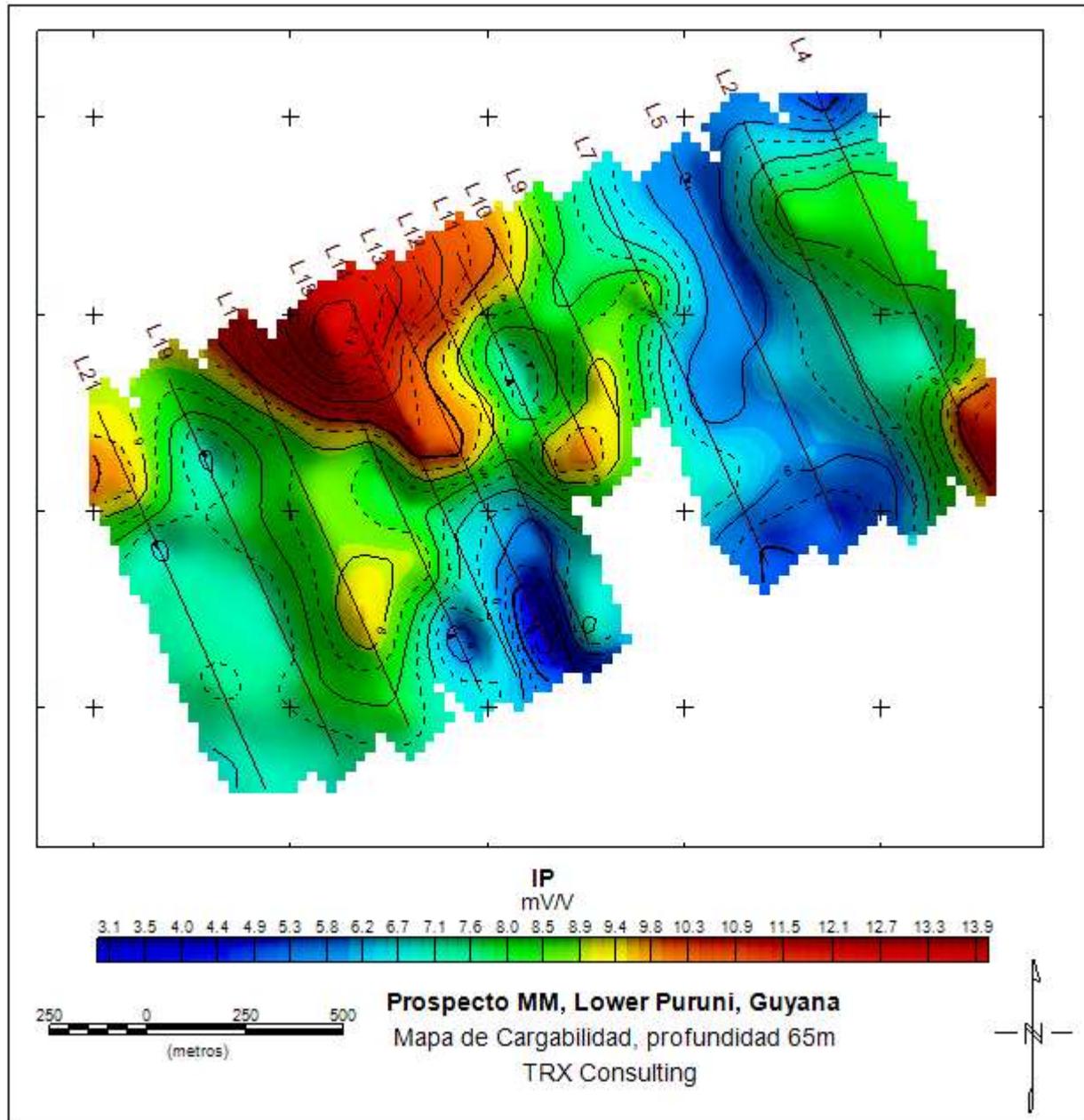


Figura 4.43 Mapa de Cargabilidad del Prospecto MM a 65 m de profundidad.
(TRX Consulting C.A, 2010).

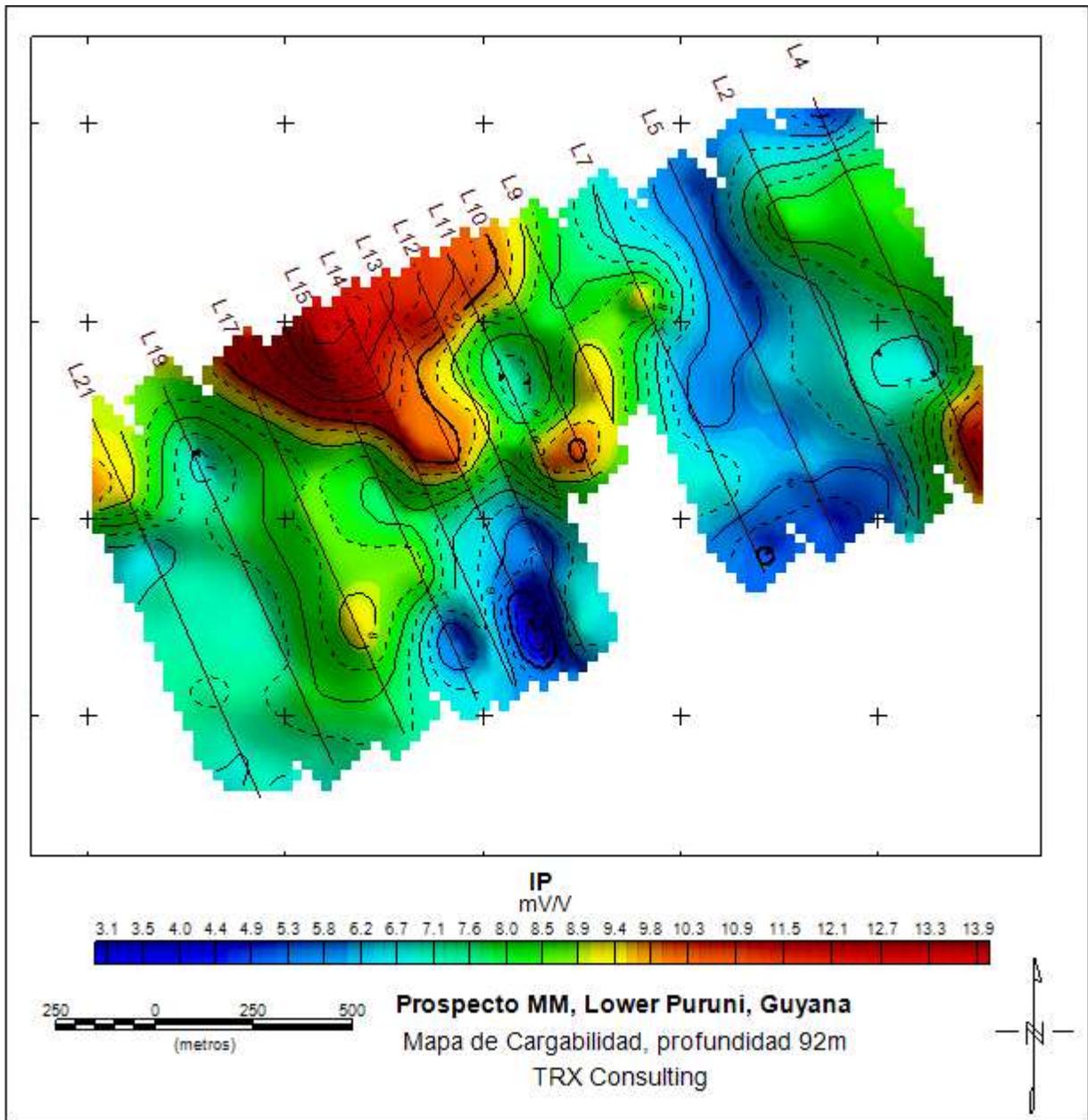


Figura 4.44 Mapa de Cargabilidad del Prospecto MM a 92 m de profundidad.
(TRX Consulting C.A, 2010).

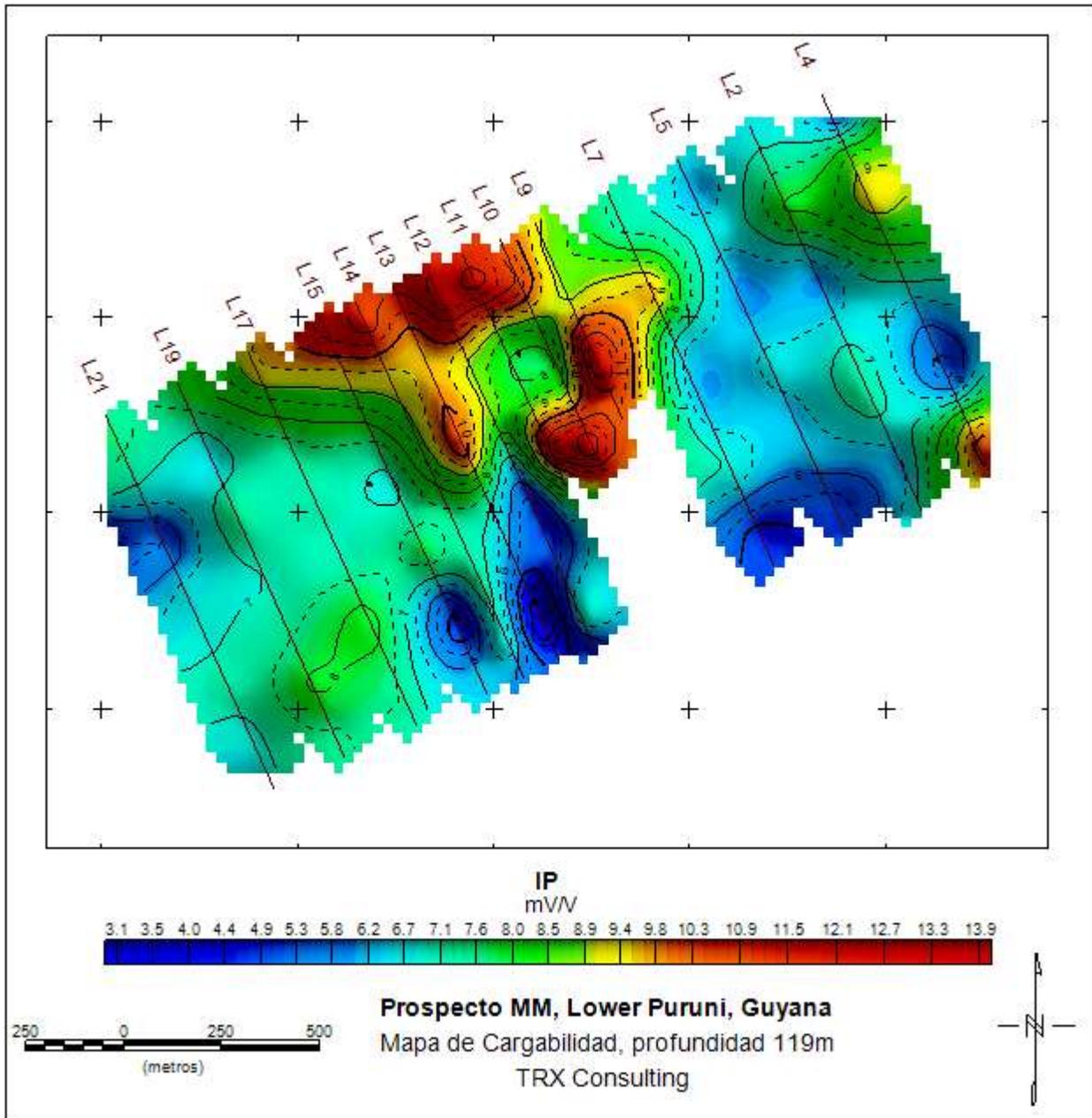


Figura 4.45 Mapa de Cargabilidad del Prospecto MM a 119 m de profundidad.
(TRX Consulting C.A, 2010).

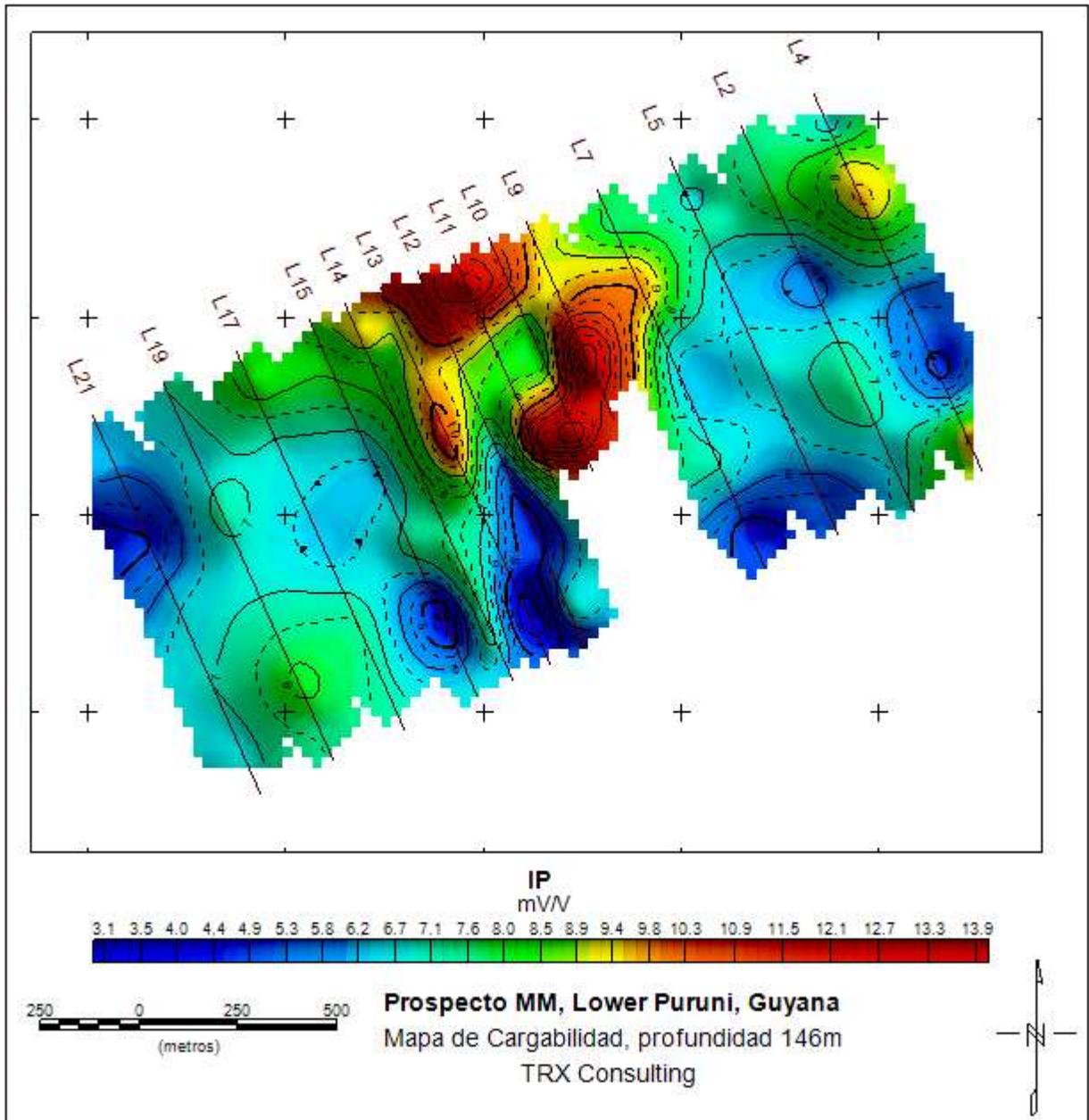


Figura 4.46 Mapa de Cargabilidad del Prospecto MM a 146 m de profundidad.
(TRX Consulting C.A, 2010).

4.2.3 Pseudo-sección en 3D

A continuación se presentan pseudo-secciones en 3D de Cargabilidad y Resistividad junto con la topografía para el Prospecto MM (figuras 4.47 y 4.48), integrando los mapas a las profundidades de 13 m, 39 m, 65 m, 92 m, 119 m y 146 m.

En estas pseudo-secciones se evidencia que el entorno estructural complejo ofrece especialmente en los mapas de Cargabilidad resultados dispersos asociados al hecho de que la respuesta de IP parece más fuerte en correspondencia con las intersecciones de las estructuras, por lo cual es posible ubicar dos zonas principales de alta Cargabilidad asociada a la presencia de sulfuro metálico y por ende de oro. La primera zona se observa en la parte norte de los “slices” hasta 90 m de profundidad, la cual coincide con valores relativamente bajos de resistividad como se mencionó anteriormente, entre las líneas 14-12 y la otra zona de posible exploración podría ser la que se observa en la parte central entre 119 m y 146 m de profundidad.

Sin embargo, en estas imágenes se observa también que los valores de resistividad parecen aumentar con la profundidad a diferencia de la Cargabilidad la cual disminuye; es por ello que los valores altos de resistividad son los que predominan en comparación con los de Cargabilidad, ya sea por una posible silisificación total, alteración propilítica o bien por la presencia de zonas más competentes que coinciden con la geología regional y local del área en estudio; evidentemente es una zona bastante compleja.

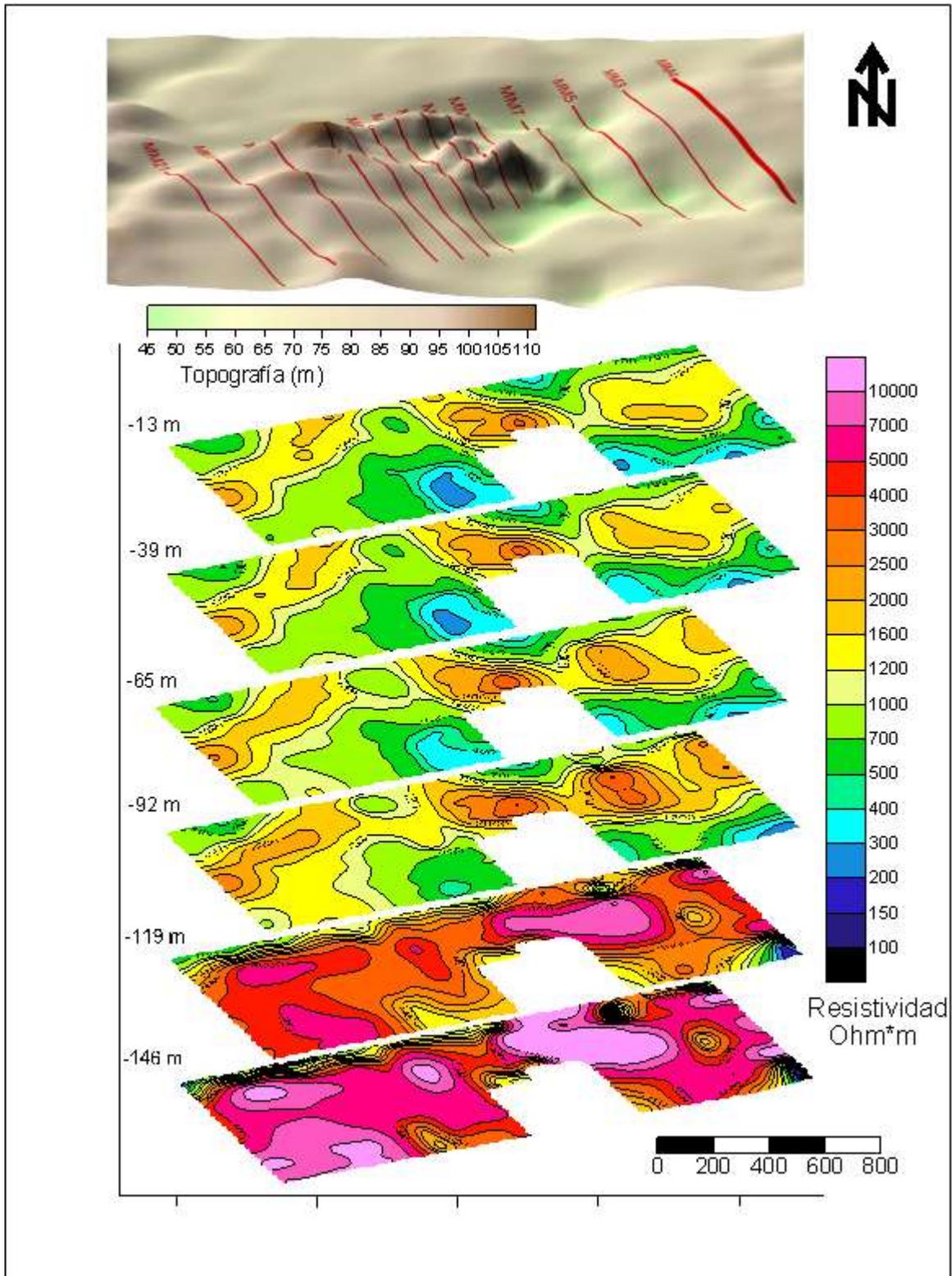


Figura 4.47 Pseudo-sección de Resistividad en 3D del Prospecto MM.

(TRX Consulting C.A, 2010)

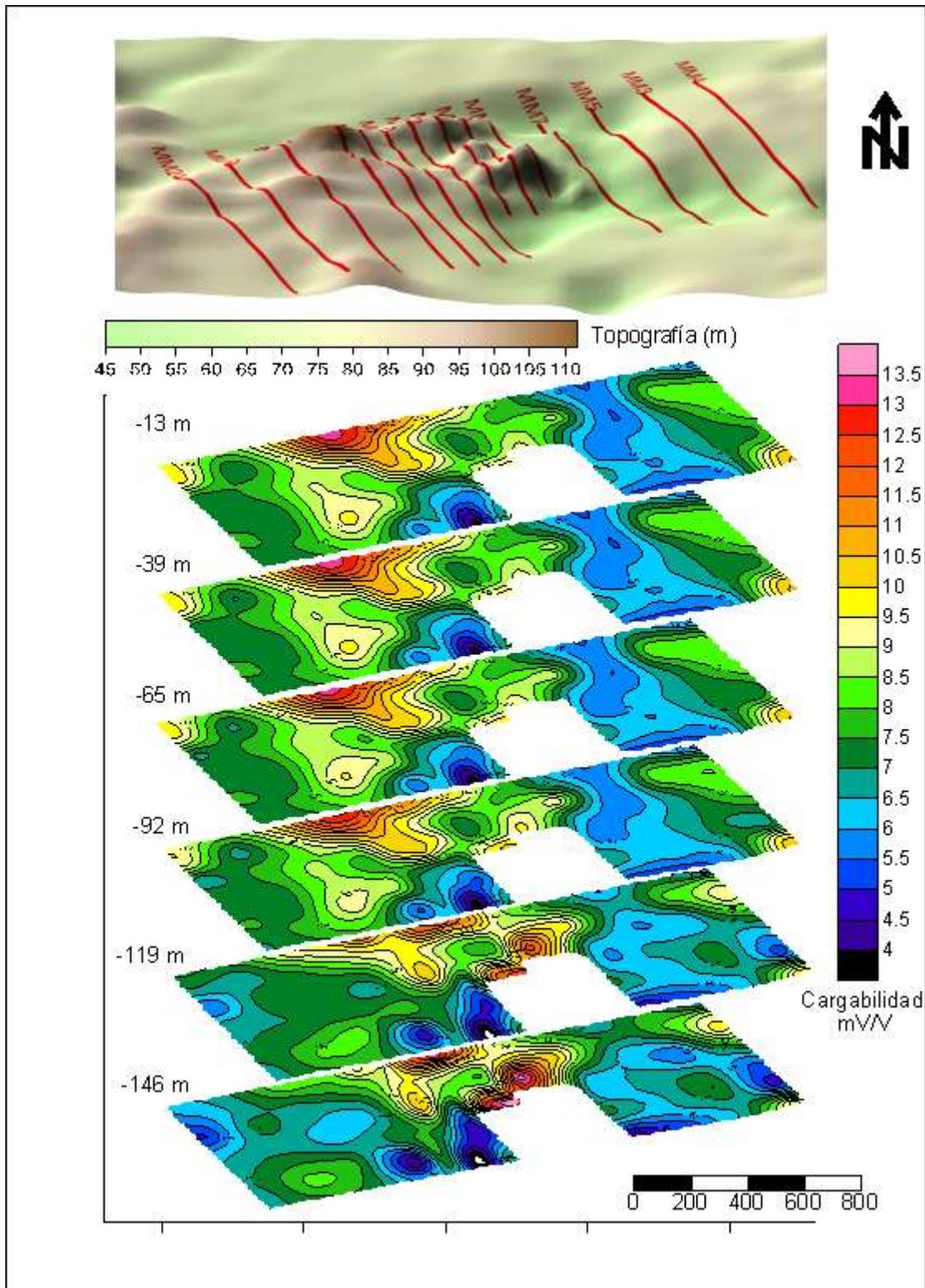


Figura 4.48 Pseudo-sección de Cargabilidad en 3D del Prospecto MM
 . (TRX Consulting C.A, 2010)

4.2.4 Pseudo Modelo Volumétrico

Por último también se presentan los pseudo modelos volumétricos de Cargabilidad (Figuras. 4.49 a la 4.52) y Resistividad (Figuras. 4.53 a la 4.56) del Prospecto MM, generados con el programa VOXLER 1.

4.2.4.1 Pseudo modelo volumétrico de Cargabilidad

En las imágenes de Cargabilidad se puede apreciar la distribución de los valores en 3 dimensiones, permitiendo ubicar de forma espacial la posible distribución del sulfuro metálico y Au diseminado en dos zonas principales asociadas al área de estudio. Como se explica en la geología local, la zona fue considerada inicialmente por contener mayores contenidos de sulfuro, pero los sulfuros se han oxidado y el desgaste originó oro enriquecido en las zonas de cizalla.

La distribución de Au diseminado en posibles zonas estructuralmente complejas y la presencia de minerales conductivos producto de alteración hidrotermal, se muestra en las zonas de mayor anomalía de Cargabilidad, delimitadas entre los valores de 10 mV/V hasta unos máximos locales de 15 mV/V aproximadamente.

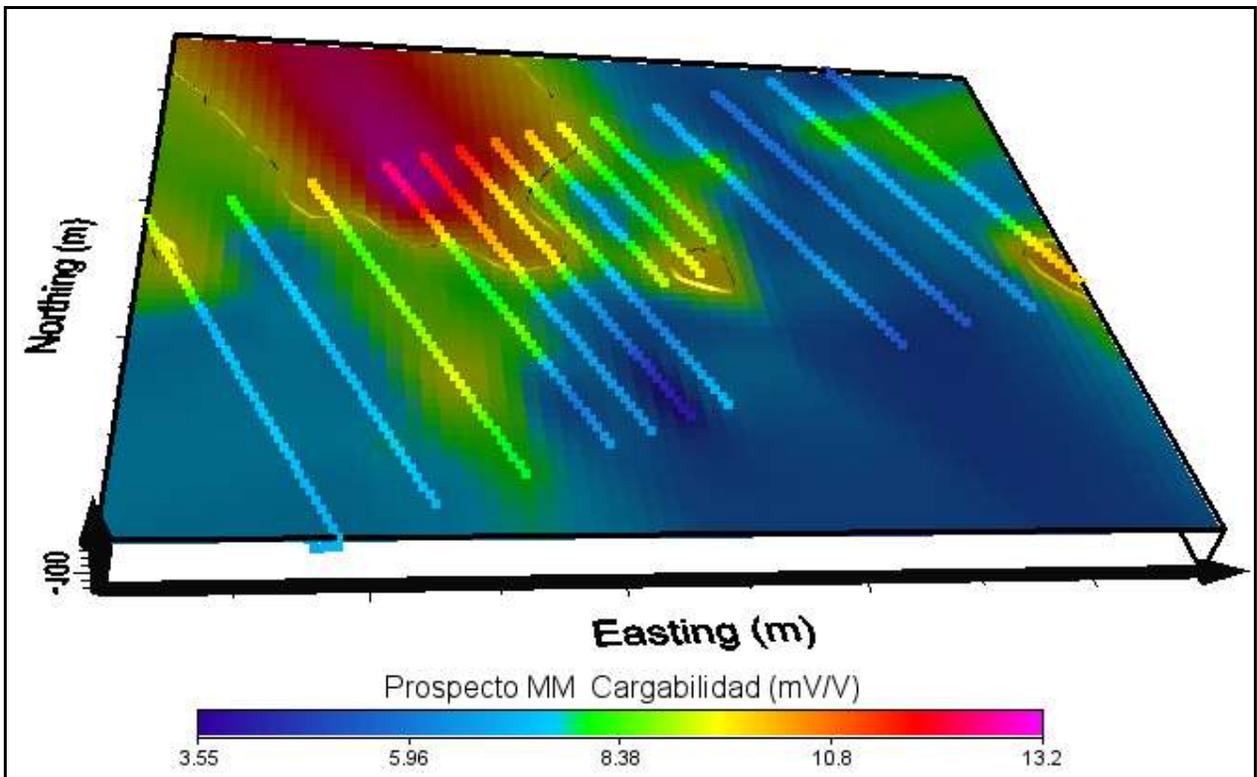


Figura 4.49 Pseudo Modelo Volumétrico de Cargabilidad del Prospecto MM: slice 46.
(TRX Consulting C.A, 2010)

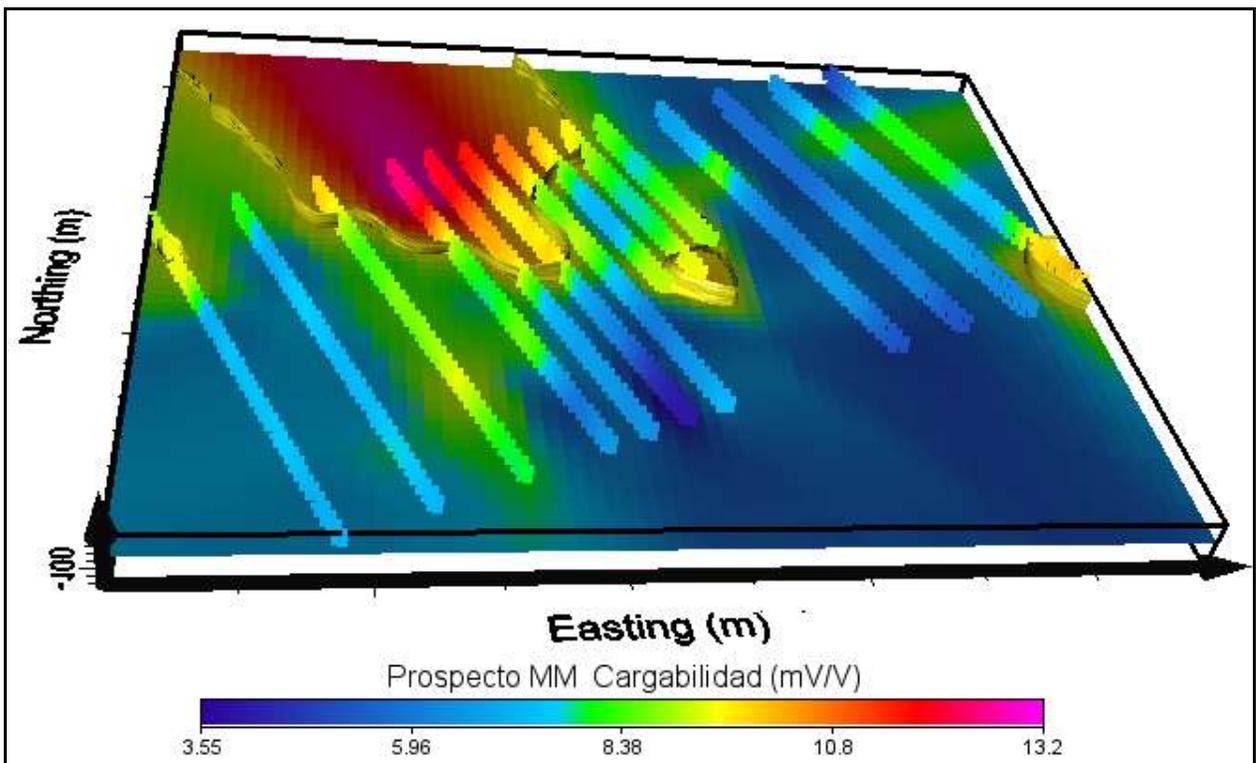


Figura 4.50 Pseudo Modelo Volumétrico de Cargabilidad del Prospecto MM: slice 27.
(TRX Consulting C.A, 2010).

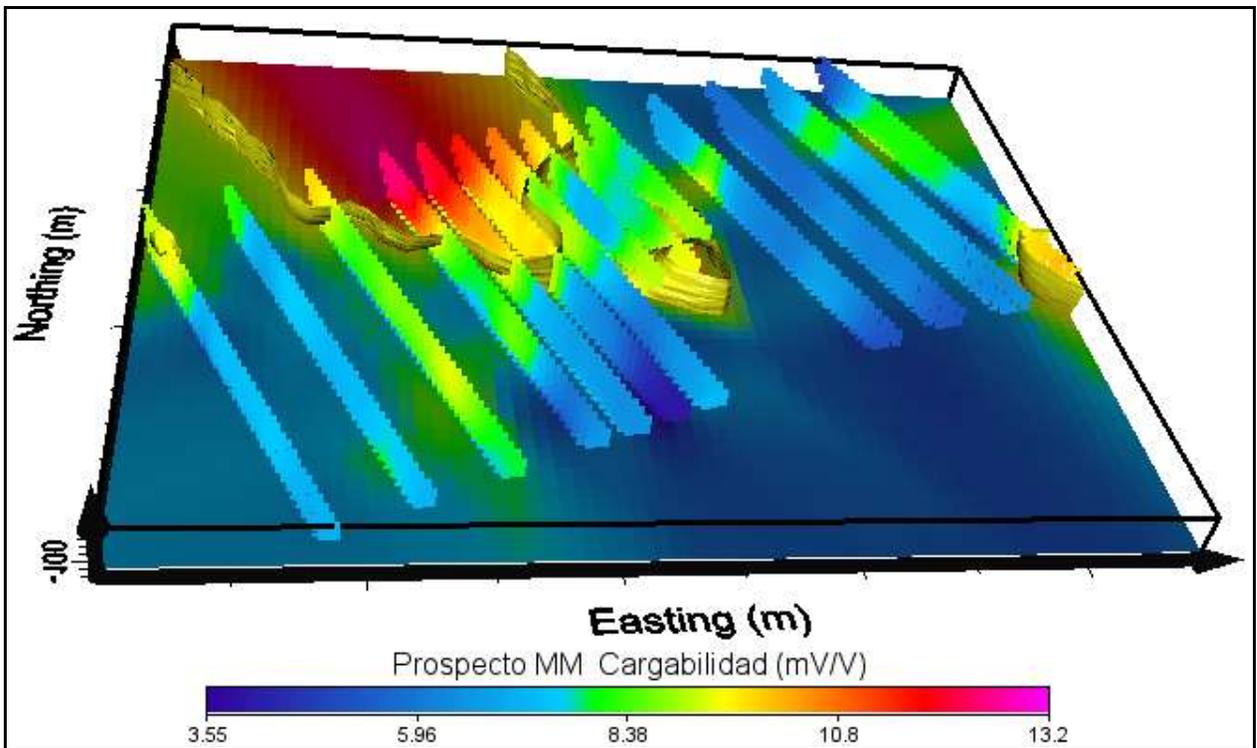


Figura 4.51 Pseudo Modelo Volumétrico de Cargabilidad del Prospecto MM: slice 6.
(TRX Consulting C.A, 2010).

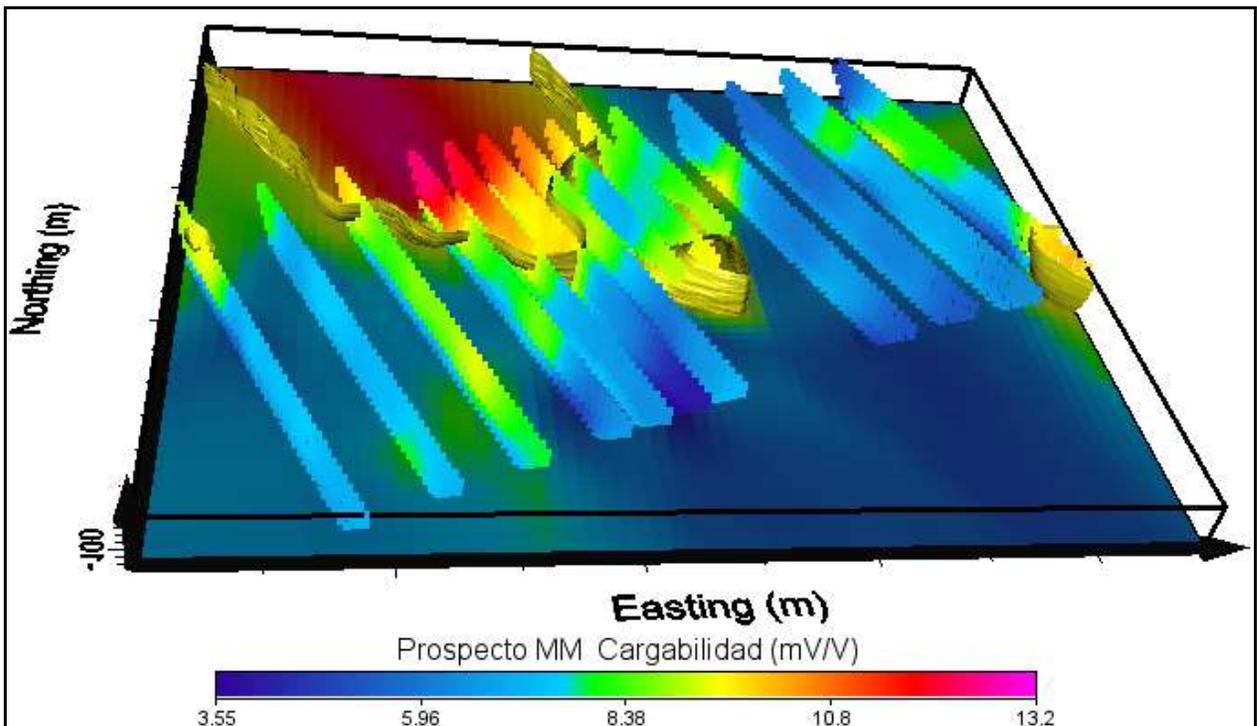


Figura 4.52 Pseudo Modelo Volumétrico de Cargabilidad del Prospecto MM: slice 1.
(TRX Consulting C.A, 2010).

4.2.4.2 Pseudo Modelo Volumétrico de Resistividad

En estas imágenes se observa también que los valores de resistividad parecen aumentar con la profundidad a diferencia de la Cargabilidad la cual disminuye; es por ello que los valores altos de resistividad son los que predominan en comparación con los de Cargabilidad.

Sin embargo, en esta área de estudio los valores relativamente más bajos de resistividad que se observan, corresponden a la anomalía de Cargabilidad y las secciones más profundas, muestran condiciones más resistivas en toda la zona, asociada a unidades más competentes (roca inalterada).

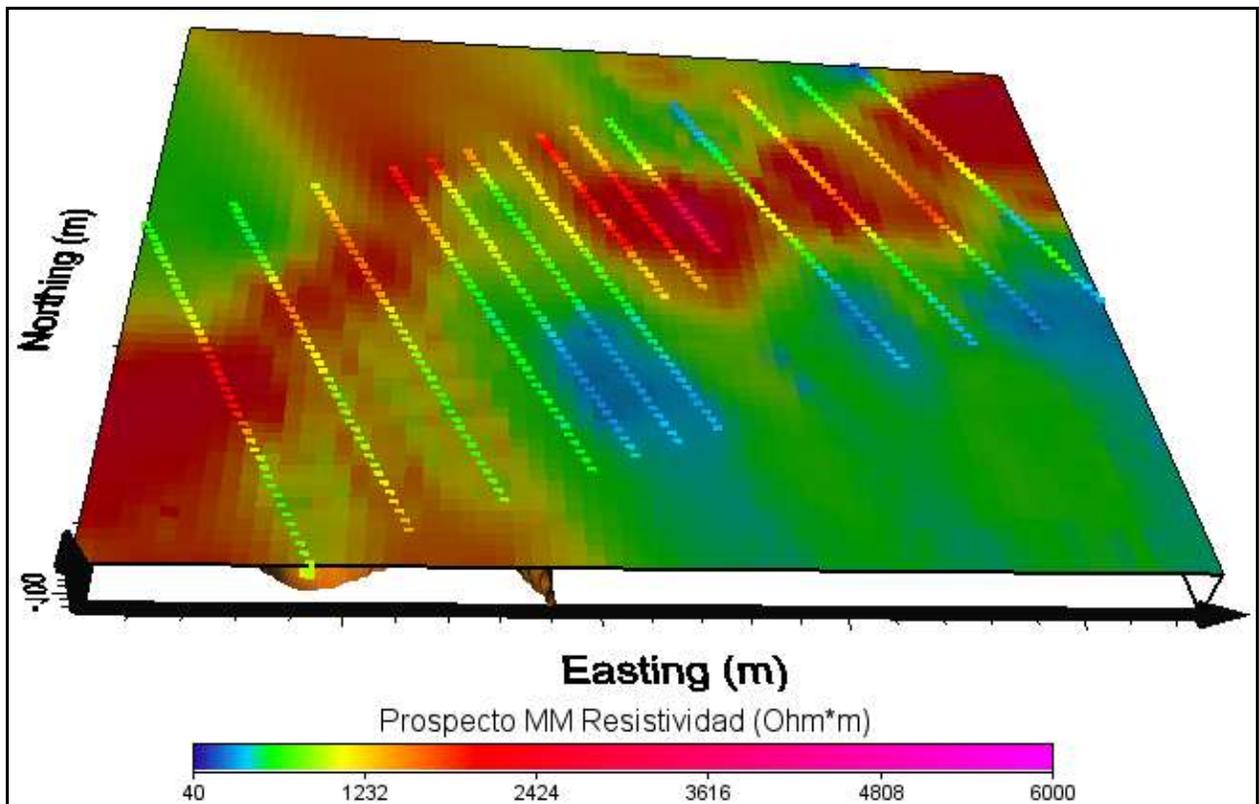


Figura 4.53 Pseudo Modelo Volumétrico de Resistividad del Prospecto MM: slice 48.

(TRX Consulting C.A, 2010).

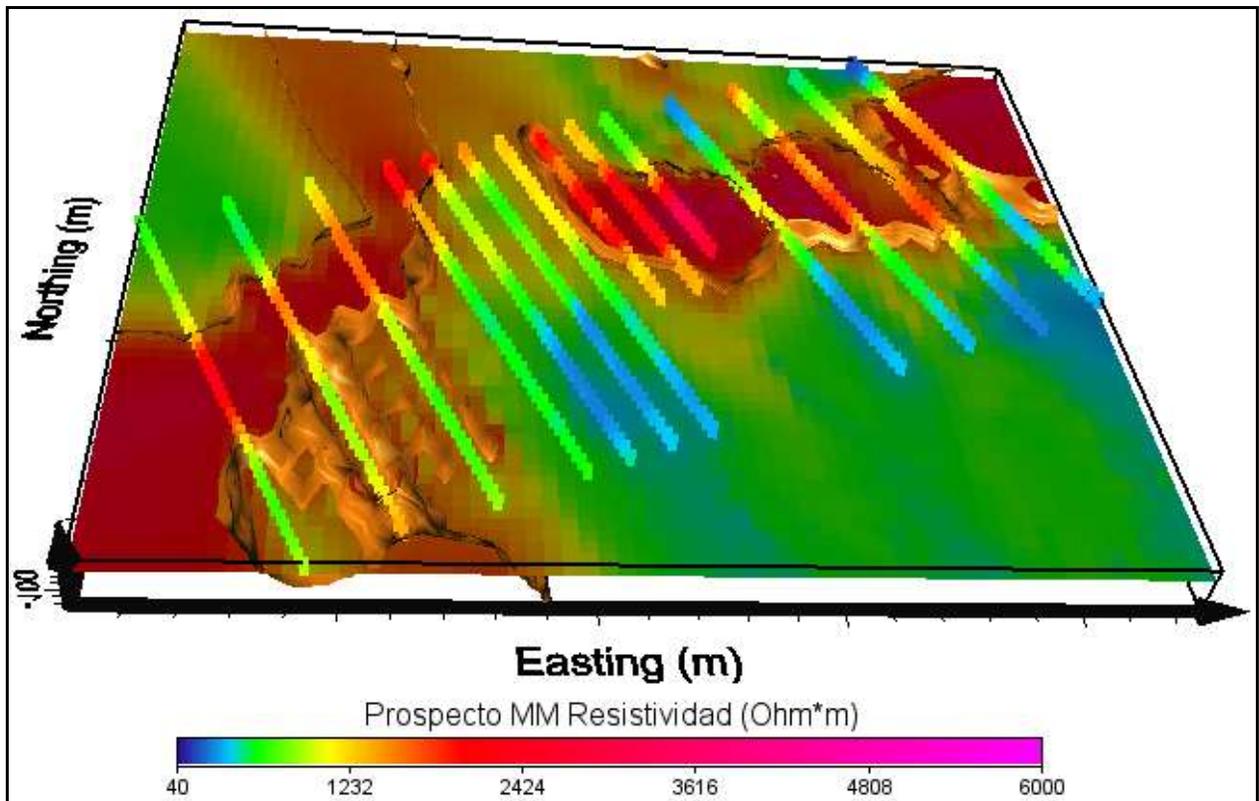


Figura 4.54 Pseudo Modelo Volumétrico de Resistividad del Prospecto MM: slice 35.
(TRX Consulting C.A, 2010).

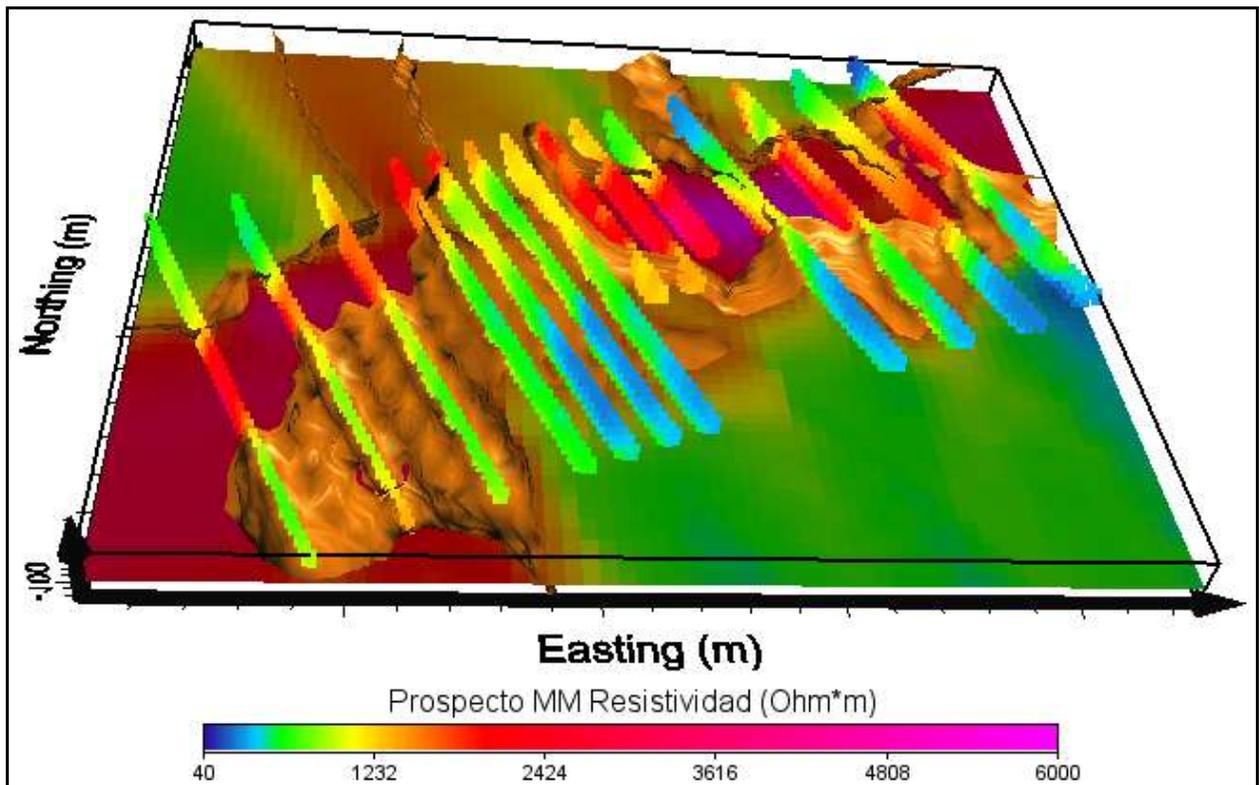


Figura 4.55 Pseudo Modelo Volumétrico de Resistividad del Prospecto MM: slice 21.
(TRX Consulting C.A, 2010).

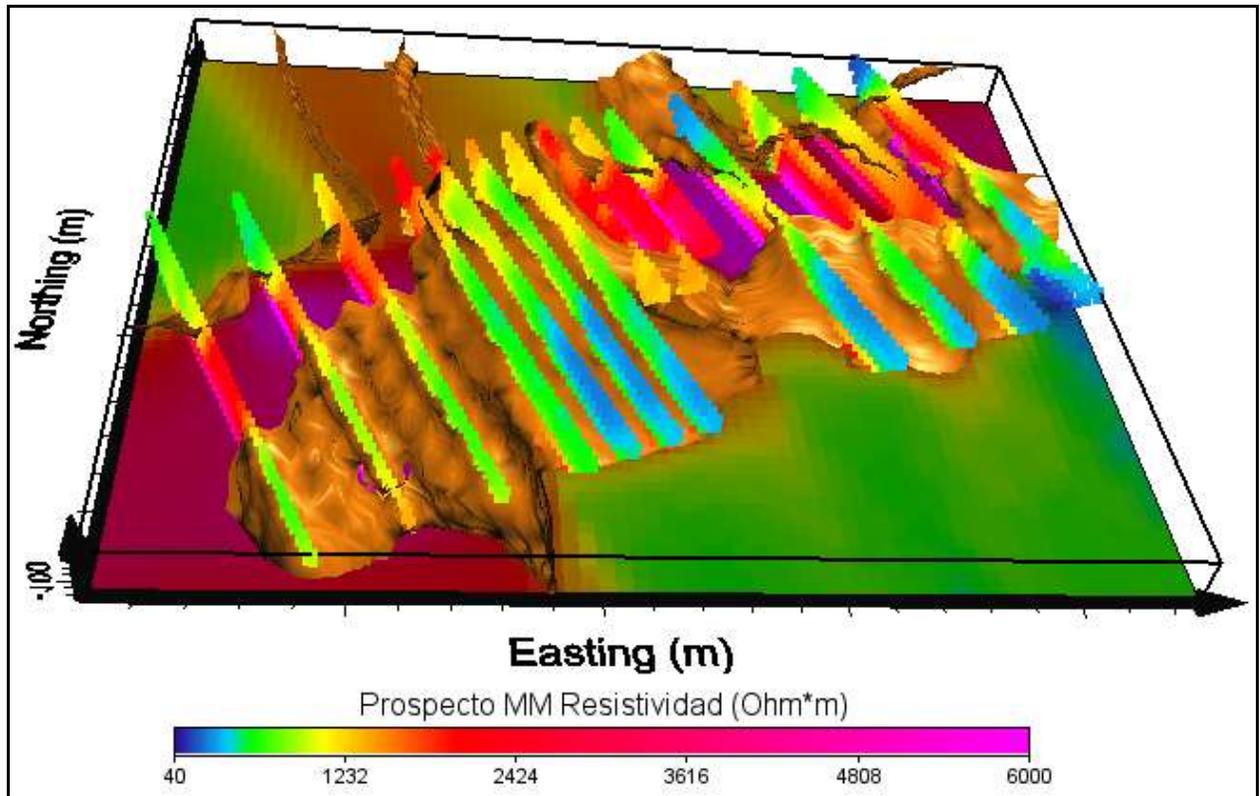


Figura 4.56 Pseudo Modelo Volumétrico de Resistividad del Prospecto MM: slice 1.
(TRX Consulting C.A, 2010).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La integración de los resultados obtenidos con la obtención de mapas de contornos a profundidades constantes y de modelos en 3D de valores de Cargabilidad y Resistividad, permitieron determinar las siguientes conclusiones:

Prospecto K

- El prospecto K, presenta una Cargabilidad clara, profunda, lineal y estructuralmente controlada que permite asociarlo a un área de mineralización de Au en venas de cuarzo tipo stockwork.
- En el mapa de Cargabilidad de mayor profundidad, se observaron estructuras casi perpendiculares en la parte central del Prospecto:
 - El primer lineamiento se ubicó en la parte central y noreste del Prospecto con una tendencia ENE-WSW, en correspondencia con un cuerpo resistivo observado al oeste. Los valores de Cargabilidad superior corresponden a las condiciones de resistividad más bajas, pudiendo atribuirse a una posible alteración hidrotermal filítica o argilítica, que involucran la recristalización de la roca a nuevos minerales más estables bajo las condiciones hidrotermales, tales como sericita, caolinita y/o montmorillonita, caracterizados conductivos. Además, la variabilidad de intrusiones de cuarzo aurífero en vetas tipo stockwork representa zonas de alta conductividad por la presencia del oro, el cual es un mineral metálico.
 - Y la segunda anomalía tiene una transición NNW-SSE, la cual posiblemente sea una estructura de contacto tectónico como zonas de cizallas, donde podría estar acumulado el oro como consecuencia de la oxidación y desgaste del sulfuro metálico presente en dichas estructuras.

- En la intersección entre las dos tendencias estructurales se presentan condiciones favorables de mineralización hidrotermal.
- Las zonas con valores de resistividad elevada, podría asociarse a unidades más competentes, a silificación local o alteración propilítica, que genera minerales resistivos como epidota, plagioclasa albitizada y clorita.

Prospecto MM

- El prospecto MM, presenta una anomalía clara que puede asociarse a una **mineralización de Au de tipo diseminado**, que se relaciona a zonas de moderada a alta conductividad y a alteraciones hidrotermales.
- La anomalía principal está claramente indicada en la parte norte y central del prospecto en la correspondencia con tendencia NS, NW-SE y las estructuras de dirección NNE-SSW; la cual se asocia con valores relativamente bajos de resistividad.
- En la parte más profunda del prospecto hay una anomalía de Cargabilidad clara que se define en la parte central de los mapas generados.
- La hipótesis de alteraciones hidrotermales filítica y argilítica también aplica para este prospecto, ya que se ubica en la misma zona de estudio del prospecto K. Sin embargo, los máximos locales correspondientes a las anomalías de Cargabilidad son más bajos que el prospecto K, generando resultados dispersos asociados a la respuesta de IP, los cuales podrían explicarse con la presencia de zonas más competentes e inalteradas o bien, por efecto de una silificación local o alteración propilítica, que permite la recristalización de minerales resistivos.

De forma general, el estudio realizado en ambos prospectos coincide con la geología local de la zona. Además, la presencia de Au se sustenta con datos de perforaciones y reportes realizados en el área por otras compañías mineras.

Ambos prospectos representan áreas de exploración rentable, sin embargo, el oro asociado a altos valores de Cargabilidad se localiza a grandes profundidades, lo que implica una mayor inversión en maquinarias e implementación de novedosos métodos de extracción del mineral en cuestión.

A partir del estudio realizado, se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Llevar a cabo una correlación de los resultados obtenidos con datos geoquímicos, geológicos y magnéticos que permitan optimizar las interpretaciones realizadas.
- La adquisición de los datos es importante llevarla a cabo en la temporada de verano, ya que las lluvias causan un nivel de ruido importante, que aportan contribuciones erróneas en el área bajo la curva o en el decaimiento del voltaje, que permiten la obtención de los valores de Cargabilidad.
- Se recomienda tener en cuenta que la topografía afecta tanto a los modelos de Cargabilidad como a los de Resistividad y su a vez se pueden generar medidas negativas de IP que pueden estar relacionadas con el acoplamiento en los flancos de los objetivos en 3D y sobre las estructuras de la tierra por capas de tipo K y Q.
- Se sugiere tomar en cuenta la geología del área donde se adquirirán los datos, ya que podrían limitar una buena relación señal ruido; tal como ocurrió en el proceso de adquisición de esta investigación, en la que una gruesa cobertura laterítica limitaba localmente la inyección de corriente.

REFERENCIAS

Advertisement Supplement to Mining Journal., 1996. Mapa Geológico de Guyana. Volumen 327, No. 8394.

Alteración Hidrotermal (2010). Disponible en Internet: <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/ALTERACION.pdf>. Consultado el 29 de Octubre de 2010.

Arce Geofísicos., 2010. “Polarización inducida-resistividad-potencial espontáneo-magnetometría-gravimetría-radiometría-electromagnéticos-sísmica-diagrafías”. Disponible en Internet: www.geofisicos.com.pe, consultado el 19 de Agosto 2010.

Auge M., 2008. “Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Agua Subterránea” pp. 2-3.

Cataldi et. Al., 2010. Polarización Inducida. Disponible en Internet: <http://www.trxconsulting.com/polarizacion.html>. Consultado el 1 de Agosto 2010

Chelotti, L., Acosta, N., Foster, M., 2010.”Métodos Electromagnéticos y de Polarización Inducida”. Cátedra de Geofísica Aplicada, U.N.P.S.J.B., Chubut, Argentina.

Corbett, G.J. y Leach, T.M. (1998). Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems : Structure, Alteration, and Mineralization. Society of Economic Geologist, Special. Publication Number 6, 237 pp.

D.F Bleil., 1953. Induced Polarization: A Method of Geophysical Prospecting

Fuentes, María del Carmen. “El método de la Polarización Inducida”. Minería y geología: Volúmenes 13-14 .Disponible en Internet: Monografias.com, consultado el 1 de Agosto 2010.

Google Maps, 2010.

IRIS (1998). ELREC-6 IRIS Receiver. User Manual. Disponible en Internet: <http://www.iris-instruments.com>

Kenneth L. Zonge and Larry J. Hughes, 1990. Applications of Electrical Geophysics to Precious Metals Exploration. *Zonge Engineering and Research Organization, Inc.*

Kiberu, J., 2002. “Induced polarization and Resistivity measurements on a suite of near surface soil samples and their empirical relationship to selected measured engineering parameters”. pp, 19-31.

López Hidalgo, Andrés A., Loke, Meng Heng., Fanton Gerardo O., Rubí Enrique C. "Técnicas Prácticas para Investigación de Resistividad en dos y tres dimensiones (Tomografía Eléctrica 2D Y 3D)". Disponible en Internet: <http://www.geoelectrical.com/Articulo.pdf> , consultado el 1 de Agosto de 2010.

Loke M.H., 2010. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys.

Macdonald J.R., 1986. "A Guide to Mineral Exploration in Guyana". Geological Survey of Guyana, Ministry of Agriculture & Natural Resources. Bulletin 38, pp 1-7.

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Exteriores. Disponible en Internet: http://esequibo.mppre.gob.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=24:geologia&catid=11:aspectos-fisicos-naturales&Itemid=16. Consultado el 4 de Septiembre 2010

Morales, F., 1999. "Geografía física Del Territorio en Reclamación: Guyana Esequiba".

Moscow University – Iris. Michel Ritz, Henri Robain (Iris Instruments), Evgeni Pervago, Yves Albouy, Christian Camerlynck, Marc Descloitres and Adama Mariko. "Improvement to resistivity pseudosection modeling by removal of near-surface inhomogeneity effects: application to a soil system in south Cameroon". Geophysical Prospecting, 1999, 47, pp. 85-101.

Orellana, E., 1982. "Prospección Geoeléctrica en corriente continua". Madrid.

Parasnis, D. S. (1973). Mining Geophysics. Elsevier Publishing Company, Amsterdam London New York.

Peter A. Christopher. 2005. "Technical Report on the Million Mountain Gold".

Polarización Inducida (2010) Disponible en Internet: <https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/1/GL54A/1/.../323>. Consultado el 1 de Agosto de 2010.

Quantec Geoscience (2010) Induced Polarization. Disponible en Internet: <http://www.quantecgeoscience.com/Tech/InducedPolarization.php>. Consultado el 1 de Agosto de 2010.

Reynolds, J. M. (1997). An introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley and Sons.

Sears Zemansky et al., (1999). Física Universitaria. Volumen 2

Sumner, J, 1972. "A Comparison of Electrode Arrays in IP Surveying". San Francisco, California.

Sumner, J. S. and Zonge, K. L. (1980). Induced polarization for exploration geophysics—short course. South African Geophysical Association, The University Of Witwatersrand, Johannesburg, South Africa.

Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., and Keys, D. S. (1990). Applied Geophysics. Second Edition

TRX Consulting C.A. 2010. Adquisición Geofísica de Data IP en el Distrito Cuyuní- Mazaruni, realizado para SCM, LTD. Caracas, Venezuela.

Udías, A. y Mezcuca R, J., 1997. “Fundamentos de Geofísica”. Editorial Alianza, S.A. pp 374-378.

Williams et al., 1967, Comisión de Geología y Minas de Guyana, 1987. Disponible en Internet: <http://www.ggmc.gov.gy/>, consultado el 22 de Agosto 2010.

Yacimientos Hidrotermales, una guía on-line. Disponible en Internet: <http://www.uclm.es/users/higuera/yymm/YM12.html#Silicif>. Consultado el 29 de Octubre 2010.

Zonge, K.L. Zonge Engineering and Research Organization, Inc., 2005 “Introduction to IP”.

Zonge, K.L. Zonge Engineering and Research Organization, Inc. “State of the Art in IP and Complex Resistivity”. Paper 67. Electrical and Electromagnetic Methods