



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



EVALUACIÓN GEOFÍSICA DE POLARIZACIÓN INDUCIDA IP
RESISTIVIDAD Y REFRACCIÓN SÍSMICA DEL PROYECTO LAS
AGUILAS

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EDGAR DANIEL SALAZAR MIRANDA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

A ti mi Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, que, sobre todas las cosas, me iluminas y me permites con tu infinita bondad seguir cumpliendo objetivos.

A la memoria de mi padre Teodoro, que ya se encuentra en la presencia De nuestro creador (+).

A mi madre Elodia, por apoyarme y darme todo su amor.

A mis Hermanos: María, Mauro, Lucy, por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles.

EDGAR DANIEL



AGRADECIMIENTOS

Mi reconocimiento y gratitud, Universidad Nacional del Altiplano Puno, en cuyas aulas me forme como profesional, así también a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica por sus enseñanzas y conocimientos brindados durante mi formación profesional.

Agradezco a La Empresa CIEMSA, por darme la oportunidad de desempeñar mi labor como Geólogo

Así mismo al Ing. Ángel Cabello V, Ing. Salvador Tuncar A, Ing. Julver Álvarez R.

A mis compañeros de estudio, amigos y a mis compañeros de trabajo quienes me apoyaron en todo momento.

EDGAR DANIEL



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN14

ABSTRACT16

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 19

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA 20

1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN..... 20

1.4. JUSTIFICACION 20

1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN 21

1.5.1. Objetivo general..... 21

1.5.2. Objetivos específicos..... 22

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES 23

2.2. MARCO TEÓRICO 29



2.2.1.	Geofísica	30
2.2.2.	Prospección geofísica.....	31
2.2.3.	Método geoelectrico.....	32
2.2.4.	Ley de Ohn.....	33
2.2.5.	Propiedades eléctricas de las rocas	34
2.2.6.	Distribución de la corriente en el suelo	36
2.2.7.	Método de resistividad	41
2.2.8.	El método de resistividad eléctrica	44
2.2.9.	Método de polarización inducida	45
2.2.10.	Mecanismos de polarización inducida.....	47
2.2.11.	El método de resistividad eléctrica método sísmica	51
2.2.12.	Geología del cuadrángulo de Ocuwiri	54
2.2.13.	Aspectos geológicos.....	55
2.2.14.	Aspectos estructurales.....	56
2.2.15.	Aspectos Geoquímicos.....	57
2.2.16.	Metalogenia.....	58

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO	62
3.2.	PERIODO DE DURACIÓN DE ESTUDIO	63
3.2.1.	Método de trabajo	63
3.3.	PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO	65



3.3.1.	Materiales y equipo	65
3.3.2.	Personal de apoyo	66
3.3.3.	Confiabilidad	66
3.3.4.	Técnica de análisis de datos	67
3.3.5.	Limitaciones.....	68
3.3.6.	Control de calidad	68
3.3.7.	Especificaciones técnicas	69
3.3.8.	Enfoque de trabajo	69
3.3.9.	Instrumentos de obtención de datos	69
3.3.10.	Refracción sísmica	75
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	81
3.5.	DISEÑO ESTADÍSTICO	81
3.6.	PROCEDIMIENTO	81
3.7.	VARIABLES	81
3.8.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	81
3.8.1.	Geología regional	82
3.8.2.	Macizo de pucara.....	84
3.8.3.	Domo Ocuvi	85
3.8.4.	Geomorfología	86
3.8.5.	Estratigrafía.....	86
3.8.6.	Fisiografía	96
3.8.7.	Mesozoico	98
3.8.8.	Cenozoico	99
3.8.9.	Depósitos cuaternarios	103



3.8.10. Geología económica	104
3.8.11. Alteraciones hidrotermales	110
3.8.12. Mineralogía y guías mineralógicas.....	110
3.8.13. Control estructural	111

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CORRELACIÓN GEOLÓGICA - GEOFÍSICA.....	112
4.2. VALORES DE CARGABILIDAD EN ZONAS ANÓMALAS CON MAYOR PRESENCIA DE SULFUROS EN PROFUNDIDAD.	114
4.3. VALORES DE VELOCIDADES PARA DIFERENTES GRADOS DE COMPACTACIÓN DE LOS HORIZONTES QUE CONFORMAN EL SUBSUELO.	123
V. CONCLUSIONES.....	129
VI. RECOMENDACIONES.....	130
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
ANEXOS.....	135

Área: Es geología de mina.

Tema: Evaluación geofísica de polarización inducida IP resistividad y refracción sísmica.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 30 / abril / 2021



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Métodos de prospección geofísica fuente: Polania M, (Kearey, Brooks, & Ian Hill, 2002)	32
Cuadro 2 Coordenadas de Ubicación (Fuente: Elaboración Propia)	63
Cuadro 3 Recursos para el proceso de investigación, (elaboración propia).....	65
Cuadro 4 Personal de Geofísica	66
Cuadro 5 Métodos Eléctricos	67
Cuadro 6 Líneas de Polarización Inducida / Resistividad	70
Cuadro 7 Líneas de refracción Sísmica	79
Cuadro 8 Acceso y Distancias a zona de estudio (Fuente: Elaboración Propia).....	96
Cuadro 9 Grado de Ripabilidad de acuerdo a la velocidad de las Ondas “P”	113



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tetraedro de las Ciencias fuente Estrada. (2012).....	31
Figura 2. Resistividad del medio e equipotenciales, fuente Estrada. (2012).....	36
Figura 3. Resistividad del medio e equipotenciales fuente Estrada. (2012).....	37
Figura 4. Calicatas Eléctricas fuente Román. (2016).	41
Figura 5. Sondeo eléctrico vertical, fuente Estrada. (2012)	42
Figura 6. Gráfica de resistividad aparente fuente Román. (2016).	43
Figura 7. Gráfica de resistividad aparente fuente Román. (2016).	43
Figura 8. Resistividad-electrodos-Prospección, (Fuente www.geovirtual2.cl).....	45
Figura 9. El fenómeno de la polarización inducida, (Fuente www.geovirtual2.cl)	46
Figura 10. Mecanismos de polarización inducida: (a) polarización de membrana y (b) polarización de electrodo, (Fuente www.geovirtual2.cl)	48
Figura 11. Mecanismos de polarización inducida: (a) polarización de membrana y (b) polarización de electrodo, (Fuente www.geovirt.-ual2.cl).....	52
Figura 12. Mecanismos de polarización inducida: (a) polarización de membrana y (b) polarización de electrodo, (Fuente www.geovirtua.-l2.cl).....	53
Figura 13. Tipos de Onda sísmica, (Fuente www.geovirtual2.cl):	54
Figura 14. Vista panorámica de una sucesión de areniscas y conglomerados de la cuenca Tinjani.....	61
Figura 15. Vista panorámica de la mina Palca.	61
Figura 16. Vista Panorámica de la Mina el Cofre	61
Figura 17. Personal de geofísica en trabajos de campo	64
Figura 18. Líneas de Polarización Inducida / Resistividad	72
Figura 19. Tendido de cables y electrodos.	73
Figura 20. Equipos de adquisición y transmisión.	73



Figura 21. Equipos de adquisición y transmisión empleados (transmisor GDD y Receptor Iris ELRec Pro)	75
Figura 22. Transmisor GDD y Receptor Iris ELRec Pro.....	76
Figura 23. Voladura con explosivos de emulnor (Famesa)	77
Figura 24. Personal de apoyo en los trabajos de Refracción sísmica.	77
Figura 25. Equipos de Adquisición de datos Sísmicos, ES – 3000 Geométricas	79
Figura 26. Líneas de Refracción Sísmica.	80
Figura 27. Se observa característica Fotomicrografía del Domo Ocuvirí.	84
Figura 28. Se observa en la Fotomicrografía la Ignimbrita de Ocuvirí	85
Figura 29. Afloramiento de lava andesítica con textura porfirítica.	100
Figura 30. Bocaminas de los niveles 4369 y 4330 de la mina Águilas marcadas con flechas, Flujos de Lavas andesíticas del Tacaza	101
Figura 31. Flujos de lavas andesíticas Tacaza con notable estratificación en ambiente subaéreo, Al fondo a la derecha el poblado de Caycho. 7 Km. antes de Águilas.....	101
Figura 32. Afloramientos rocosos de los Grupos Palca y Sillapaca al Sur de la mina Las Águilas, Nótese el ligero plegamiento de las rocas del Palca.....	103
Figura 33. Emplazamiento de mineral de Pb y Zn de la veta Úrsula en una autobrecha andesítica, Nótese la abundante especularita y hematita.....	105
Figura 34. Bloque brechado de la veta Úrsula con mineralización de galena, blenda rubia, calcita y vetillas de cuarzo y abundante especularita.....	105
Figura 35. Veta Úrsula 1 interceptada por la Gal. 977 NE.....	107
Figura 36. Corona de la Chimenea 428, veta Úrsula 1 con mineral de galena, blenda, oro péptico en puntos, vetillas de calcita y franjas de hematita.....	108



Figura 37. Mineralización de la Veta Úrsula 1. Tope de la Gal 430 SW. limonita. Nótese el redondeamiento de clastos producto, del tectonismo de la veta-falla.	109
Figura 38. Gal. 430 SW, veta Úrsula 1 donde no se notan cajas, definidas porque la veta es más potente que la galería.....	109
Figura 39. Línea 1 de Refracción Sísmica.....	114
Figura 40. Línea 5 de Refracción Sísmica.....	117
Figura 41. Línea IP-A	119
Figura 42. Línea IP-A	120
Figura 43. Línea IP-C.....	122
Figura 44. Rango de valores y tendencias anómalas resistividad	124
Figura 45. Mapa de Resistividades – Nivel 50 metros	125
Figura 46. Valores altos y bajos de resistividad.	126
Figura 47. Mapa de cargabilidades – Nivel 50 Metros.....	127
Figura 48. Mapa de Interpretación de Polarización Inducida.....	128



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

A	: Corriente eléctrica (Amperio)
Bn	: Bornita
Ca	: Calcita
Cl	: Clorita
Cpy	: Calcopirita
Cu	: Cobre
E	: Este
Epd	: Epidota
Gal	: Galería
Gn	: Galena
Hm	: Hematita
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero Metalúrgico
IP	: Inducción Polarizada
IPRES	: Inducción Polarizada resistividad.
K-Ay	: Calizas con Lutitas Yesíferas, (Cretácico “fm Ayavacas”)
Km	: Kilómetros
Km/s	: Kilómetros por segundo
m	: Metros
mlq	: malaquita
Mm\s	: milímetros por segundo
Mr	: Marmatita
mV/V	: mili voltios por voltio
N	: Norte
NE-SW	: Noreste – Suroeste
Nv	: Nivel
ohmio	: Resistencia Eléctrica (ohm)
ohm-m	: ohmio por metro
Ondas P	: Ondas Longitudinales u ondas de compresión
OxMn	: Oxido de Manganeseo



Pa	: Resistividad (Ohm-m)
Py	: piritita
Q	: Calidad de roca, criterio de Barton
Q-al	: Depósitos Aluviales y Fluvioglaciares, (Cuaternario)
Q-m	: Depósitos Morrenicos, (Cuaternario)
Qp-al	: Depósito aluvial
S	: Sur
SE	: Sur – Este
Ser	: Serecita
Sil	: Silece
SN	: Subnivel
TPa	: Ignimbritas, (Terciario “Grupo Palca”)
TPu	: Areniscas Arcosicas Conglomeradicas, (Terciario “Grupo puno”)
TSi	: Andesitas y Tobas Intercaladas, (Terciario “Grupo Sillapaca”)
TTa	: Andesitas Augiticas y Sedimentos Tobaceas, (Terciario “Grupo Tacaza”)
UTM	: Universal Transversal Mercator
UTM	: Universal Transversal Mercator
Vp	: Velocidad de Ondas P (Km/s)
W	: Oeste
WGS – 84	: World Geodetic System 1984
WGS84	: Sistema Geodésico de coordenadas geográficas (World Geodetic System 1984)



RESUMEN

El proyecto se ubica en el distrito de Ocuvi, Provincia de Lampa, Departamento de Puno; corresponde a la zona 19, del cuadrángulo de Ocuvi hoja 31-U. la geología del Proyecto Las Águilas, es de gran interés, por su ubicación dentro del corredor estructural del Altiplano, y de alto impacto económico para la región. la complejidad del yacimiento y las condiciones geológicas/estructurales del yacimiento son cambiantes, por estas razones se programó la aplicación de los métodos de prospección geofísica, el objetivo es evaluar las características geológicas del área de interés y su comportamiento en profundidad, la presencia de anomalías asociadas a sulfuros y determinar la conformación del subsuelo, en función de métodos geofísicos, Obtener datos de resistividad y cargabilidad y Generar un perfil de profundidad en base al procesamiento de información obtenida, previo reconocimiento geológico y topográfico para elaborar un esquema de trabajo apropiado de acuerdo a los objetivos Planteados, la metodología a ser aplicada; en cada uno de los métodos propuestos; y con el fin de obtener una mejor y mayor calidad en la información obtenida del subsuelo sobre las propiedades físicas medidas (resistividades y Velocidades de ondas "P"), factores como: Amplitud de las anomalías, Relación señal/ruido, Posible Acoplamiento Electromagnético, Profundidad de Investigación, Resolución vertical y horizontal, Sensibilidad al ruido geológico, Posibles coberturas conductivas, y de acuerdo a los resultados, los datos obtenidos de resistividad y cargabilidad a partir de la manipulación del equipo transmisor y receptor; son resistividades moderadas-altas en la mayoría de las secciones se han relacionado; según la geología proporcionada; a depósitos de morrenas las cuales coinciden con valores de velocidad entre 1.5 y 2.5Km/s y tiene un espesor aproximado entre los 10 y 80 metros, que podrían tratarse de materiales de compactación media y Las velocidades menores a 1km/s son materiales, coluviales de Ripabilidad Excavable sin embargo las velocidades



entre 1 a 2km/s presentan materiales moderadamente compactos Ripable. Las velocidades entre 2 a 3km/s son materiales que presentan alteración, fracturamiento de Ripabilidad marginal, sin embargo, las velocidades mayores a 3km/s son materiales con un grado de compactación dura, posiblemente roca y de Ripabilidad volable.

Palabras claves: Cargabilidad, Geofísica, Polaridad, Resistividad, Sísmica.



ABSTRACT

The project is located in the district of Ocuvi, Province of Lampa, Department of Puno; corresponds to zone 19, of the quadrangle of Ocuvi sheet 31-U. The geology of the Las Águilas Project is of great interest, due to its location within the structural corridor of the Altiplano, and of high economic impact for the region. The complexity of the reservoir and the geological / structural conditions of the reservoir are changing, for these reasons the application of geophysical prospecting methods was programmed, the objective is to evaluate the geological characteristics of the area of interest and its behavior in depth, the presence of anomalies associated with sulfides and determine the conformation of the subsoil, based on geophysical methods, Obtain resistivity and chargeability data and Generate a depth profile based on the processing of information obtained, prior geological and topographic reconnaissance to develop an appropriate work scheme according to the stated objectives, the methodology to be applied; in each of the proposed methods; and in order to obtain a better and higher quality in the information obtained from the subsoil on the measured physical properties (resistivities and "P" wave velocities), factors such as: Amplitude of the anomalies, Signal / noise ratio, Possible Electromagnetic Coupling, Research depth, vertical and horizontal resolution, sensitivity to geological noise, possible conductive coverage, and according to the results, the data obtained on resistivity and chargeability from the handling of the transmitter and receiver equipment; are moderate-high resistivities in most of the sections have been related; according to the geology provided; to moraine deposits which coincide with velocity values between 1.5 and 2.5Km / s and have an approximate thickness between 10 and 80 meters, which could be medium compaction materials and Velocities less than 1km / s are material, colluvial of Ripability Excavable however speeds between 1 to 2km / s present moderately compact materials Ripable. Speeds between 2 to 3km / s are



materials that present alteration, fracturing of marginal Ripability, however, speeds greater than 3km / s are materials with a degree of hard compaction, possibly rock, and volatile Ripability.

Keywords: Chargeability, Geophysics, Polarity, Resistivity, Seismic.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La complejidad del proyecto las águilas y sus condiciones geológicas/estructurales del yacimiento son cambiantes en la zona de los niveles 4369, 4330 y 4280 el afloramiento de las vetas Úrsula, Úrsula 1, Úrsula 2, Úrsula ramal 1 Úrsula 3 Úrsula 4 está cubierto por morrena material glaciar depositado posterior a la mineralización, esta material glaciar ha sido reconocido en las niveles 4369 en la veta Úrsula y en el nivel 4330 en la veta Úrsula 1, es por esto recomendó realizar este método de sísmica de refracción la cual nos permitirá delinear el contacto de la morrena con rocas del volcánico tacaza, así mismo este contacto podría dar lugar a poder proyectar una labor desde superficie (rampa, galería) para explotar y seguir explorando las vetas reconocidas en el nivel 4280 y por debajo de este, de igual modo en la zona de sísmica de refracción se está proyecto líneas de polarización inducida para determinar la cargabilidad-resistividad de las vetas que se están explorando en el nivel 4280, al norte para determinar la cargabilidad – resistividad de la veta Úrsula y otros ramales en la zona de la quebrada sequeña.

Consideraciones geológicas, las vetas Úrsula, Úrsula 1, Úrsula 3 y Úrsula 4 en el nivel 4280 están presentando potencias mayores a las obtenidas en el nivel 4330, pero con leyes de plomo, plata, oro, zinc más bajas en relación al nivel 4330, pero los valores de cobre tienden a incrementarse en profundidad, estructuralmente en el nivel 4280 las vetas se presentan más fracturadas, falladas que en el nivel 4330, esto probablemente se debe a que estamos cerca o acercándonos al extremo sur de la estructura circular – domica, (que estaría indicando en profundidad probablemente el emplazamiento de un intrusivo) en el nivel 4330 la veta Úrsula 3 tiene una dirección de N 58° W y buzamiento



al este que debe mantenerse en el nivel 4280 con tendencia a unirse a la veta Úrsula 1, y la veta Úrsula tiende a infleccionar al oeste con dirección de S 50° - 60° W y buzamiento al SE, estas observaciones probablemente están comprobando la presencia de la estructura circular – domica, la mineralización de galena, blenda, cuarzo, calcita, especularita y el incremento de calcopirita en profundidad en el nivel 4280, está indicando probablemente que las águilas es un depósito hidrotermal de alcance mesotermal a epitermal.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para la apertura de nuevos proyectos de minería con una visión de explotación a corto plazo es imperativo continuar con la exploración de futuros yacimiento y/o prospectos en el mismo alineamiento del proyecto las águilas y hacer extensiva la exploración, es necesario realizar campañas de exploración con metodología indirecta como métodos geofísicos por encontrarse en una zona cubierta de material morrenico.

El uso de métodos de prospección geofísica es contribuir en las características geológicas del área de interés, determinando la presencia de anomalías geofísicas asociadas a concentraciones de minerales, definir el contacto entre suelo y roca, y establecer la posición donde deben concentrarse los trabajos exploratorios.

Con la resistividad establecer la correlación geológica - geofísica para definir contactos geoelectricos asociados a cambios litológicos, lineamientos geoelectricos que pueden estar relacionados a la presencia de fallas y definir zonas de posible alteración presentes relacionadas a la variación en sus resistividades.



1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

Para determinar la presencia de anomalías geofísicas asociadas a concentraciones de minerales, definir el contacto entre suelo y roca. Para tal efecto nos planteamos la siguiente interrogante:

- ¿Cuáles serán los valores de resistividad asociados a cambios litológicos?
- ¿Cuáles serán las zonas Anómalas de cargabilidad alta?
- ¿Cuáles serán las velocidades y diferentes grados de compactación?

1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La relación existente entre el método de polarización inducida, resistividad y refracción sísmica contribuirá a definir las mejores zonas favorables de mineralización y establecer posición donde deben concentrarse los trabajos exploratorios.

1.4. JUSTIFICACION

En el proyecto las Águilas, la complejidad del yacimiento y las condiciones geológicas/estructurales del yacimiento son cambiantes, al igual que las condiciones geomecánicas y la calidad de roca de mala a muy mala, por estas razones se programara la aplicación de los métodos de prospección geofísica, por medio de la polarización inducida IP – resistividad, establecer la correlación geológica asociada a cambios litológicos, que pueden estar relacionados a la presencia de fallas y definir zonas de posible alteración presentes relacionadas a la variación en sus resistividades y través de los valores de cargabilidad poder determinar zonas con presencia de anomalías con mayor presencia de sulfuros en profundidad.

Realizadas las consideraciones anteriores, con el presente se pretende detectar y analizar las anomalías debidas a la mineralización del proyecto Las Águilas, utilizando la combinación de los métodos geofísicos geoelectricos de polarización inducida y



resistividad, ya que su fusión ha demostrado gran éxito para obtener el máximo de información sobre el subsuelo y sus anomalías geofísicas. Los métodos geoelectricos serán adquiridos a partir de sondeos eléctricos verticales, los cuales, bajo una adecuación matricial, permiten obtener tomografías geoelectricas más profundas y sin pérdida de datos por niveles de profundidad. Posteriormente, se realizará un modelo pseudo 3D que revele la verdadera situación del subsuelo contaminado, con relación a la estructura geológica que lo compone.

El desarrollo de este estudio procura incentivar el uso de la geofísica en temas de yacimientos ciegos es decir que no afloran como es el caso del Proyecto Las Águilas el cual no aflora por estar cubierto por materiales morrénicos y volcánicos en superficie, ya que los contrastes de las distintas propiedades físicas de los materiales pueden dar un lineamiento interesante y muy acertado sobre la mineralización del subsuelo en general. Sin embargo, los métodos geofísicos *per se*, no son suficientes para examinar a fondo problemas relacionados con el subsuelo de las mineralizaciones, pero si son necesarios para obtener una evaluación que sirva como base para las fases siguientes de estudio y exploración.

1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Evaluar las características geológicas del área de interés, determinando la presencia de anomalías geofísicas asociadas a concentraciones de minerales, definir el contacto entre suelo y roca, y establecer la posición donde deben concentrarse los trabajos de exploración.



1.5.2. Objetivos específicos

- A través de la resistividad establecer la correlación geológica - geofísica para definir contactos geoelectricos asociados a cambios litológicos, lineamientos geoelectricos que pueden estar relacionados a la presencia de fallas y definir zonas de posible alteración presentes relacionadas a la variación en sus resistividades.
- A través de los valores de cargabilidad, definir zonas anómalas con mayor presencia de sulfuros en profundidad.
- A través de sus valores de velocidades, determinar los diferentes grados de compactación de los horizontes que conforman el subsuelo.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Sebastian (2012), "Proyecto de grado, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago de Chile, en su trabajo concluye que, De los sulfuros identificados, las variaciones en las concentraciones de pirita Son las que mejor explican, de forma proporcional, las variaciones en el efecto de polarización.

Jose (2017), Reconocimiento de la Mineralización Profunda de Carácter Polimetálico Mediante Métodos de Exploración Gamma Ray y Polarización Inducida en el Proyecto Ichuña – Moquegua (Tesis de Pregrado). Universidad San Agustín de Arequipa, Perú. En su trabajo La campaña de IP/RES, han podido identificar un cuerpo altamente mineralizado a profundidad con un contraste de resistividad alto, esto debido a que el ensamble de este tipo de yacimiento es necesariamente un pórfido de constitución diorítica, propio del Mioceno, la mineralización llega a superficie producto de una brecha, que según la mineralogía cumple el modelo Gossan – Capa de Hierro – Zona Lixiviada – Zona de Oxidación y finalmente una zona mineralizada por sulfuros.

Diego (2017), "Estudio Geológico y Aplicación del Método de IP en la Exploración del Yacimiento Jesica" Universidad San Agustín de Arequipa – Perú. Mediante el estudio Geológico y la aplicación del método IP en el yacimiento Jésica, se determinó su comportamiento a profundidad, relacionando el aspecto litológico, estructural y mineralógico con los valores de resistividad y cargabilidad resultantes del estudio.



Ray (2011), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú. En su trabajo indica la utilidad del método IP, Los métodos geofísicos (resistividad y polarización inducida) ayudan a definir zonas de interés exploratorio, lo que verifica que su utilización es importante en la exploración minera.

Nestor (2016), Clasificación de los Métodos Prospectivos y sus Aplicaciones, Universidad Nacional de Salta – Argentina. La finalidad de las prospecciones geofísicas es detectar y localizar cuerpos y estructuras geológicas del subsuelo y, si es posible, determinar sus dimensiones y con frecuencia alguna de sus propiedades físicas. En trabajos de ingeniería la información acerca de la estructura interesa normalmente en función de su relación con el problema construcción propuesto, pero también puede resultar interesante la determinación de las propiedades mecánicas del subsuelo. Por ejemplo, si una zona va a tener que soportar cargas importantes, será de gran utilidad el conocimiento de las propiedades físicas (elásticas y Plásticas de los materiales del subsuelo).

Teofilo (2017), Justamente como el autor indica en sus conclusiones en exploración superficial de métodos Indirectos es una de las opciones que ayuda a determinar los aspectos Geológicos de una respectiva zona de estudio, así como Las imágenes satelitales ASTER, aplicados a la detección de alteraciones hidrotermales según el procesamiento de la imagen, constituyen una herramienta útil para localizar en primera instancia zonas anómalas de alteraciones hidrotermales.

Ogundo (2018), Sondeo eléctrico vertical azimutal panorámico de Schlumberger para la orientación de fracturas y cuantificación de anisotropía, una metodología para interpretar datos de sondeo eléctrico vertical azimutal panorámico mediante la configuración de Schlumberger para detectar fracturas, su orientación y el coeficiente de anisotropía. Siguiendo un procedimiento de campo similar para adquirir datos de



Schlumberger en un solo azimut, la configuración simplemente se gira alrededor del punto de sondeo en un paso de 15° desde 0° hasta 360° . Se utilizaron dos puntos de datos para el experimento. La inversión de mínimos cuadrados no lineal mediante el método de descomposición de valor singular.

Flores (2020), Conocimiento del acuífero de la cuenca Katari-Lago Menor, lago Titicaca-Bolivia, inferido a partir de datos geofísicos, hidrogeológicos y geoquímicos. Revista de Ciencias de la Tierra de América del Sur, Este artículo presenta un estudio multidisciplinario utilizando geología, geofísica, geoquímica y mediciones del nivel del agua subterránea para la evaluación de un acuífero a gran escala dentro de la Cuenca Katari y Lago Menor, ubicado en el Altiplano semiárido, entre la Cordillera Oriental y el al sureste del lago Titicaca. Este estudio ofrece una primera visión de la geometría 3D y el funcionamiento geoquímico e hidrogeológico del acuífero de la cuenca Katari-Lago Menor. Parte de la información necesaria para una mayor gestión sostenible de este acuífero, como la geometría y la extensión del dominio, los parámetros físicos y las condiciones de los límites, están ahora disponibles.

De la torre (2010), definición de zonas de fractura miento empleando tomografía de resistividad aparente 3D. Tesis de licenciatura. facultad de ingeniería, UNAM, la diferencia entre la interpretación y visualización del fenómeno de interés dista mucho de un modelo a otro, en la interpretación tridimensional a partir de los modelos bidimensionales no se percibe el fenómeno de mayor interés que es la discontinuidad 3, que puede ser apreciada en el modelo generado a partir de la inversión tridimensional de los mismos datos, esta discrepancia entre ambos modelos es ocasionada por el tipo de inversión que se hace con ellos; la inversión bidimensional supone que las variaciones de resistividad se dan en un plano, a diferencia de la inversión tridimensional que trabaja con



una vecindad en un volumen, lo que implica la variación de la resistividad aparente medida en tres direcciones.

INGEMMET (2015), Informe de adquisición, procesamiento e interpretación de datos de resistividad en el sector Jarpaña campo geotérmico Pinaya – puno, Este informe describe los procedimientos, parámetros, resultados de la adquisición de datos y la presentación de los estudios de prospección geofísica por el método de resistividad 3D realizado en el Campo Geotérmico Jarpaña en el año 2015.

Geofísica (2015), Reporte Geofísico de los sectores de San Apolonio, Independencia y Ullapcham del ANAP Pampa Grande, Este informe describe los procedimientos, parámetros, resultados de la adquisición de datos de los estudios de Polarización Inducida/Resistividad 3D y prospección Magnética realizados en el ANAP Pampa Grande que abarcaron los sectores de San Apolonio y Ullapcham, Fuente: INGEMMET.

Urquiza (2020), Estudio Geofísico por el Método de Refracción Sísmica, masw 1d, masw 2d y mam para el diseño estructural del puente cantuta – Región de Junín, donde recomienda que en los ensayos de refracción sísmica, existen controles de calidad que usualmente no se aplican, uno de ellos sería la verificación de que la señal del shot llegue a todos los geófonos, haciendo un procesamiento rápido de la traza generada y observando el sismograma si todos los geófonos recibieron la señal.

Gananpa (2020), Optimización del Cálculo de la Ripabilidad de un Macizo Rocoso mediante el Método Geofísico de Refracción Sísmica del Proyecto “Amalfi – Habilitación Urbana, DPI – Surco”, Lima, Concluye que A partir de las velocidades de onda P obtenidas en la zona de estudio se ha generado una clasificación del grado de ripabilidad para el macizo rocoso siendo: a) velocidad baja ($V_p > 1000\text{m/s}$), se clasifica como Ripado fácil (fácil excavación), Corresponde a roca muy fracturada y material



suelto y cobertura reciente; b) velocidad moderada, a su vez se subdivide en moderada baja ($1000\text{m/s} < V_p < 1500\text{m/s}$) y moderada alta ($1500\text{m/s} < V_p < 2500\text{m/s}$), se clasifica como Ripado normal (excavación dificultosa) y Ripado Duro (Voladura de Expansión) respectivamente, Corresponde a roca fracturada a medianamente fracturada y poco fracturada; c) velocidad alta ($V_p > 2500\text{m/s}$), se clasifica como No ripable (voladura), Representaría a roca poco fracturada a roca sana.

Acahuana (2019), Estudio Geofísico de Resistividad Eléctrica Aplicando la Configuración Dipolo – Dipolo para Localización de Cavidades en el Municipio de Solidaridad, Playa del Carmen, Estado de Quintana, Roo, México “proyecto predio 3.04 has” Concluye que la tonalidad azul rey corresponde a resistividades de 0 a 100 Ohm-m, correlacionadas a la presencia del nivel freático o bien caliza con grado de saturación. Estas tonalidades están presentes en cuerpos conformados por materiales finos (limos-arcillas) ya que generan anomalías de baja resistividad.

Las tonalidades verdes y amarillas fueron interpretadas como caliza de calidad media con un rango de resistividad de 100 a 1200 Ohm-m. Este rango de resistividades en la caliza se debe a la presencia o ausencia de diversas minerales y elementos que la conforman, pero siendo en esta ocasión para fines de riesgo geológico, este tipo de características no afectan de manera significativa las propiedades mecánicas y resistencia de la roca.

Las tonalidades naranjas (resistividades de 1200 a 2200Ohm-m) fueron interpretadas como la transición de la caliza media a caliza karstificada, también se le puede asignar como alteración zonas rodadas y escombros (área superficial) debido a materiales sueltos que suelen tener altos rangos de resistividad.

Las tonalidades rojizas (resistividades de 2200 a 4000Ohm-m) fueron interpretadas a zonas más propensas a cavidades y/o zonas altamente karstificadas.



Por último, con resistividades mayores a los 4000Ohm-m, se encuentran las tonalidades púrpura asociadas pueden deberse a bloques de caliza masiva, o cavidades bien definidas, como es el caso de la línea 5.

Villilli (2018), “Caracterización Geotécnica de los Suelos del Volcánico Sencca, Mediante Refracción Sísmica y Análisis de Ondas Superficiales (masw), en el A.A.H.H. Villa Florida del Distrito de Yura – Arequipa” La velocidad de propagación de la onda S para los suelos formados por las tobas del volcánico Sencca son de 246.50 A 393.27m/s hasta los 30m de profundidad, tratándose de un suelo medianamente rígido. Con una clasificación sísmica S2, propia de suelos arenosos como lo indica la E.030. “Diseño Sismorresistente”.

Montoya (2019), Caracterización del Suelo e Identificación de Discontinuidades Estructurales de Deslizamientos Mediante Tomografía Eléctrica 2D. El Alto, Pampas de Majes, Concluye que El éxito de la tomografía eléctrica depende no solo del trabajo de campo durante la adquisición de datos, sino de toda una metodología que empieza con la preparación del área prospectada y se extiende hasta el procesamiento e interpretación de los datos geofísicos. Nuestro estudio es objetivo y se logró conseguir los resultados esperados y recomienda que se debe siempre recordar que la resistividad del terreno dependerá del contenido de humedad y contenido arcilloso. Por lo que se recomienda que al no recibir medición de la resistividad se humedezca siempre el terreno usando agua con sal. Lo que provocara que la resistividad eléctrica sea más baja que la zona de interés. Permitiendo así mejorar la detección y mejorar las lecturas.

Huamán (2001), Implementacion del Equipo de Adquisicion de Datos de Prospeccion Sismica, El ensayo de prospección sísmica que se emplea con mayor frecuencia en el Perú es el ensayo de refracción sísmica, pues éste tiene la ventaja de permitir la exploración del subsuelo en extensiones considerables a relativamente bajo



costo; el ensayo sísmico de reflexión ha sido poco difundido en la ingeniería civil, donde los estratos de interés son relativamente superficiales, a diferencia de su uso extensivo en la ingeniería de petróleo, por ejemplo, donde se procura explorar formaciones geológicas muy profundas; los ensayos uphole, downhole y crosshole, por otro lado, implican la ejecución de perforaciones o sondajes verticales, lo cual incrementa su costo, además de que su uso es más localizado.

Ali (2016), “Métodos de Prospección Geofísica Aplicados a la Investigación Geotécnica para Estudio del Recrecimiento de una Presa de Relaves en el Distrito de Oyolo”, Siguiendo esta premisa, es como en las operaciones de prospección, se han desarrollado, a un nivel avanzado, técnicas de mucha precisión, incorporando elementos de alta tecnología, tales como sismógrafos magnéticos altamente sensibles (geófonos) y e instrumentos digitales, permitiendo que los planes teóricos de trabajo se puedan cumplir con una mayor eficiencia, maximizando así los recursos y centrar más las atenciones en la geología de la investigación.

Lopez (2008), “Aplicación del Método de Refracción Sísmica para la Determinación de Velocidades de Ondas p”, El método de refracción sísmica presenta limitantes en la identificación de capas de estratos en el subsuelo que presentan espesores delgados, que no permiten al sismógrafo identificar la interfaz entre materiales diferentes e impiden obtener registros de ondas refractadas y establecer cambios de pendientes en las domocronicas en la etapa de procesamiento de datos; interpretando los resultados como un solo material.

2.2. MARCO TEÓRICO

Todos los fenómenos presentes en el universo, son expresiones de las interacciones que existen entre las partículas que componen los átomos. Su influencia en



la naturaleza hace que sean consideradas como fuerzas o interacciones fundamentales. Tal como lo expresa: (Roman, En la naturaleza hay cuatros fuerzas que son responsables de todos los fenomenos en el Universo, 1997) “En la naturaleza hay cuatro fuerzas, que son responsables de todos los fenómenos en el Universo”. Las cuatro interacciones fundamentales existentes, en orden ascendente respecto a la magnitud de su fuerza, son: la interacción gravitacional, la nuclear débil, la electromagnética y la nuclear fuerte.

Por consiguiente, es responsable de la estructura y estabilidad de los cuerpos celestes. Para profundizar el tema ver: (Cromer, 1996)

La interacción nuclear débil actúa sobre partículas subatómicas, denominadas leptones y quarks, dando origen a la desintegración beta.

La interacción electromagnética da origen a la mayoría de los fenómenos observables en la naturaleza, dado que actúa sobre las partículas con carga eléctrica y por tanto, no solo es la principal determinante de la estructura atómica, sino que, también es la responsable de todas las reacciones químicas, “por consiguiente, de todos los fenómenos biológicos”.

La interacción nuclear fuerte, también conocida como fuerza nuclear, es la que mantiene la estabilidad en el núcleo atómico. El núcleo atómico se compone de protones y neutrones, los primeros generan una fuerza electromagnética repulsiva, que daría origen a inestabilidad, de no ser por la fuerza nuclear, por consiguiente, es gracias a ella que existe estabilidad en la materia, es la interacción fundamental más fuerte de todas.

2.2.1. Geofísica

La filosofía, madre de las ciencias, nace para satisfacer la necesidad humana, de explicar los fenómenos que son observables en su medio. De ella se desprenden las

“especializaciones”, que en principio, fueron cuatro ciencias, con el objetivo de estudiar las características de la materia: la química, para identificar su composición; la física, que estudia las fuerzas que actúan sobre ella; la geología, para entender su presencia y comportamiento en el planeta; y la biología, que busca explicar su comportamiento en organismos vivos, (Estrada, La filosofía, madre de las ciencias, nace para satisfacer la necesidad humana, de explicar los fenómenos que son observables en su medio, 2012)

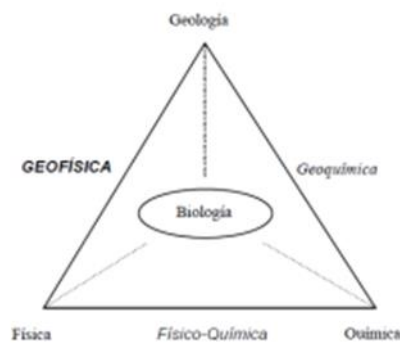


Figura 1. Tetraedro de las Ciencias fuente Estrada. (2012).

La geofísica se entiende como la relación entre la física y la geología. Según Tarbuck & Lutgens (2005), “la geología física estudia los materiales que componen la tierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo y encima de la superficie terrestre”. Afirmación que es correcta, pero vale agregar que este es un objetivo común de la geología y la geofísica, pero su diferencia radica en que la geofísica busca justificar los fenómenos observados por la geología a través de mediciones indirectas.

2.2.2. Prospección geofísica

La prospección geofísica es la exploración del subsuelo. Consiste en medir las variaciones en un campo de fuerza terrestre (originado de forma natural o creado artificialmente) y relacionándolo con las propiedades físicas de los materiales, descubrir recursos y minerales aprovechables.

Cuadro 1

Métodos de prospección geofísica fuente: Polania M, (Kearey, Brooks, & Ian Hill, 2002)

Métodos de Prospección Geofísica	Propiedad física de materiales	Campo de fuerza Terrestre	Origen
Método Gravimétrico	Densidad	Gravedad Terrestre	Natural
Método Magnetométrico	Susceptibilidad magnética	Campo Magnético Terrestre	Natural
Método Sismológico	Elasticidad	Propagación sísmica	Artificial
Método Geoeléctrico	Conductividad Eléctrica	Campo Eléctrico Terrestre	Natural y Artificial
Método Geotérmico	Variación de temperatura	Gradiente Térmico	Natural
Método Magnetométrico	Variación de Radioactividad	Radioactividad Terrestre	Natural

En el cuadro 1 se resume claramente los métodos de prospección geofísica, especificando la propiedad física y el campo de fuerza que mide, además de la naturaleza de su origen.

2.2.3. Método geoeléctrico

El método de prospección geoeléctrico tiene como fin identificar las formaciones geológicas y los materiales presentes en el subsuelo, a partir de la observación y análisis de las variaciones en las mediciones de las propiedades eléctricas de las rocas, dadas por el paso de corriente. Este método de prospección se clasifica en dos categorías dependiendo de la naturaleza de la fuente. Cuando la corriente es generada y aplicada al suelo la fuente de origen es artificial, por lo tanto, se habla de los métodos de corrientes



artificiales. Por otro lado, si la corriente proviene de fuentes existentes, se trata de métodos de corrientes naturales. Así mismo, estas categorías se subdividen en los de corriente continua y los de corriente alterna, dependiendo del tipo de corriente circundante. Estrada, (2012).

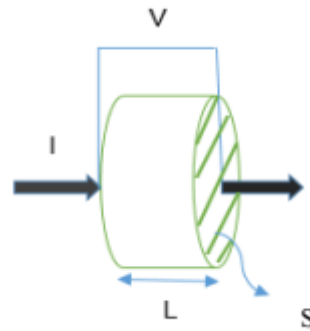
Las corrientes artificiales se generan de dos formas, una usando acumuladores (baterías), y otra, usando motores a combustión que convierten la rotación en corriente, que bien puede ser continua o alterna. Mientras que las corrientes naturales que son continuas, se generan debido al fenómeno de oxidación-reducción, y las corrientes naturales que son alternas provienen de la oscilación del campo magnético terrestre.

2.2.4. Ley de Ohm

La Ley de Ohm es la base teórica fundamental de la geoeletrica, y en ella se plantea que la variación de la tensión en una corriente eléctrica (ΔV), que circula entre dos puntos de un medio determinado es proporcional a la intensidad de dicha corriente (I) y a la resistencia que el medio presenta al paso de la misma.

$$\Delta V = I * R \quad (3.1)$$

La resistencia se mide en ohmios (Ω) y depende de la naturaleza del medio conductor y su geometría, tal como se observa en la ilustración 3, en donde se tiene un medio cilíndrico con longitud (L) y área (S).



Por otro lado, cada material presenta una resistencia diferente al paso de la corriente, por lo que se define un factor de resistencia unitaria del material denominado (ρ).

$$R = \rho * \frac{L}{S} \quad (3.2)$$

Relacionando las ecuaciones (3.1) y (3.2) se obtiene que:

$$\Delta V = I * \rho * \frac{L}{S} \quad (3.3)$$

2.2.5. Propiedades eléctricas de las rocas

2.2.5.1. Resistividad

La resistividad es considerada la propiedad más importante de las rocas, ya que las variaciones o contrastes que presenta al aplicar corriente al medio, son las que permiten el funcionamiento exitoso del método geoelectrico. (Auge, 2008) afirma “Los contrastes en las resistividades son los que permiten aplicar exitosamente los métodos de prospección geoelectrica mediante la inyección de corrientes continuas”. Esta propiedad se define como la resistencia que presenta un medio de dimensiones unitarias al paso de la corriente (Estrada, 2012).



Volviendo a la ecuación (3.2) se despeja la resistividad, y se determina su unidad de medida como ohmio*metro.

$$\rho = R * \frac{S}{L} \quad (3.4)$$

2.2.5.2. Conductividad

La conductividad es la propiedad inversa a la resistividad, por lo tanto, se considera como la capacidad que tiene un medio de permitir el paso de corriente. Cuando un material transporta electrones se habla de conductividad metálica o En los minerales y rocas es poco común encontrar esta característica, pero existen casos, como el de la pirita, calcopirita, magnetita, grafito, etc. Ya que en la mayoría de los casos la roca o sedimento es aislante, por su alta resistividad, la corriente se conduce por el agua de impregnación que se encuentra en los poros. Este tipo de conductividad es llamada conductividad electrolítica, se da por la circulación de iones. Y es proporcional a la cantidad de agua y sales ionizadas que se encuentran en los poros. En consecuencia, depende del factor de porosidad, factor de formación, factor de saturación y la cantidad de sales disueltas.

2.2.5.3. Isotropía y anisotropía

“La isotropía es la propiedad de los cuerpos de que alguna magnitud física, por ejemplo, la conductividad, sea la misma en todas las direcciones. La anisotropía es lo opuesto, es decir que las propiedades varían según la dirección”. En geofísica se habla de macroisotropía y macroanisotropía, cuando un suelo isotrópico presenta también anisotropía o viceversa, en consecuencia, de la formación geológica en capas.

2.2.6. Distribución de la corriente en el suelo

El teorema de muestreo de Nyquist expresa que, para que una onda pueda ser reconstruida, la frecuencia muestreada debe ser superior al doble de la frecuencia a muestrear. En geoeletrica esto determina que, la información útil en profundidad será aproximadamente la mitad de la distancia total del muestreo en la superficie del terreno.

En un suelo homogéneo e isótropo, la corriente inyecta desde un electrodo puntual (A), se distribuirá formando media esfera de radio r , debido a que el aire sobre la superficie del suelo actúa como aislante. El circuito se cierra por medio de un electrodo de corriente en el punto (B), por el que sale la corriente del material.

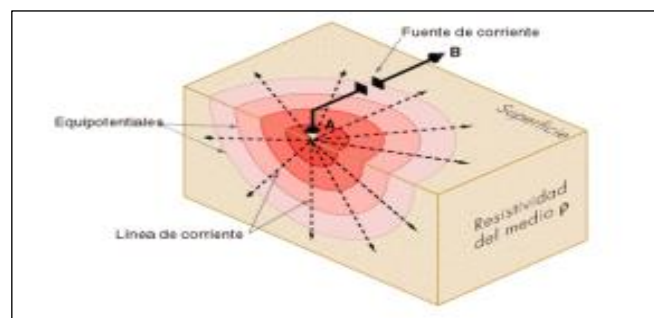


Figura 2. Resistividad del medio e equipotenciales, fuente Estrada. (2012).

Entonces volviendo a la Ley de Ohm, la longitud del medio (L) corresponde al radio de la esfera (r), y el área de la media esfera se define por la ecuación (3.5)

$$S = 2\pi * r^2 \quad (3.5)$$

Relacionando las ecuaciones (3.3) y (3.5) se obtiene la ecuación para determinar la variación de tensión en una corriente que se propaga en el suelo (3.6)

$$\Delta V = \frac{I * \rho}{2\pi * r} \quad (3.6)$$

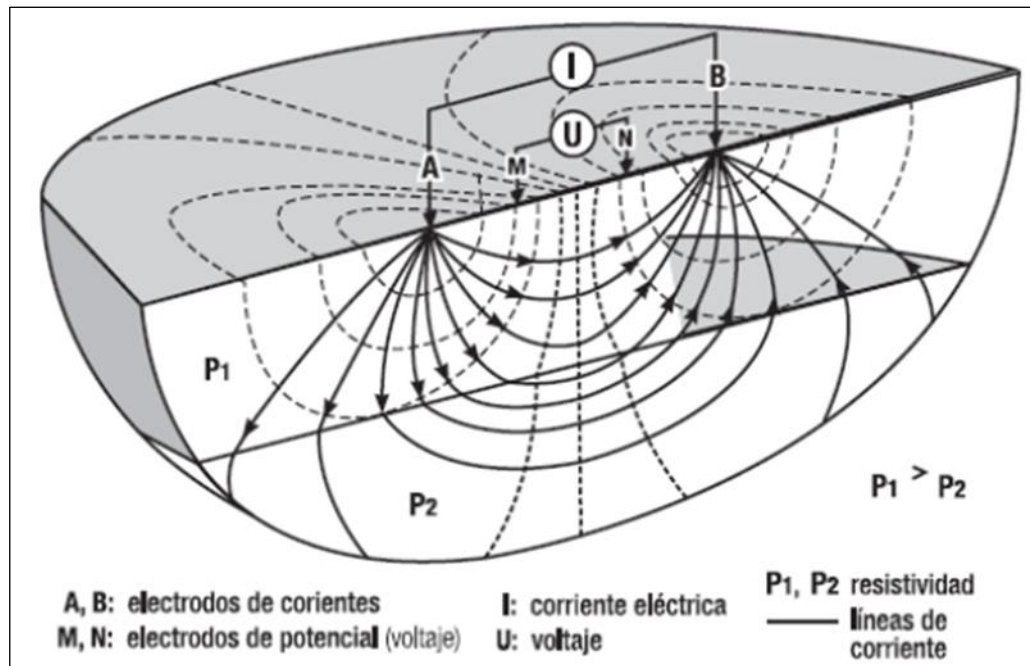


Figura 3. Resistividad del medio e equipotenciales fuente Estrada. (2012).

La variación de la tensión bajo el subsuelo es medida por los electrodos de potencial (M y N), tal como se observa en la ilustración. aplicando la ecuación (3.6) a la relación entre cada uno de los electrodos de potencial y los de corriente, se obtiene la variación de la tensión parcial:

$$\Delta VM^A = \frac{I * \rho}{2\pi * AM} ; \Delta VM^B = \frac{I * \rho}{2\pi * BM}$$

$$\Delta VN^A = \frac{I * \rho}{2\pi * AN} ; \Delta VN^B = \frac{I * \rho}{2\pi * NB} \quad (3.7)$$

Entonces, la variación de potencial medida desde cada electrodo M y N, será la diferencia entre la tensión medida en dicho electrodo a cada uno de los electrodos de corriente A y B.

$$\Delta VM = \frac{I * \rho}{2\pi * (1/AM - 1/BM)} \quad (3.8)$$

$$\Delta VN = \frac{I * \rho}{2\pi * (1/AN - 1/BN)} \quad (3.9)$$

Y finalmente la variación de potencial total será:

$$\Delta V = \Delta VM - \Delta VN$$
$$\Delta V = \frac{I * \rho}{2\pi} * \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right] \quad (3.10)$$

Ya que en la práctica los valores medidos son ΔV y I , y las posiciones de los electrodos son conocidas, es posible definir la resistividad como:

$$\rho = k * \frac{\Delta V}{I} \quad (3.11)$$

En donde k es el coeficiente geométrico del dispositivo, que depende de la distribución de los electrodos:

$$k = \frac{2\pi}{\left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right]} \quad (3.12)$$

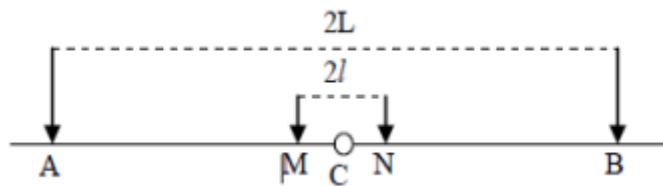
2.2.6.1. Dispositivos electródicos

La ecuación (3.12) aplica para una distribución aleatoria de electrodos, pero en la práctica se utilizan estructuras definidas para su disposición, esto se conoce como “arreglo de electrodos” o “dispositivo electródico” (Roman, 2016). El coeficiente geométrico (k) se simplifica para cada uno de ellos.

Los dispositivos utilizados de manera más común son: Schlumberger, Wenner y Dipolo-Dipolo.

2.2.6.2. Dispositivo Schlumberger

En el dispositivo Schlumberger la distancia MN es pequeña en relación a la abertura AB, aproximadamente $AB/5 > MN > AB/20$, la distancia MN se mantiene constante, en tanto, las lecturas de voltaje sean coherentes, mientras que los electrodos de corriente A y B se van separando gradualmente. Entre más se mantenga constante la distancia MN en el arreglo menor será la probabilidad de incurrir en errores o distorsiones en los datos adquiridos. (Román, 2016).



El coeficiente geométrico para el dispositivo Schlumberger se define como:

$$k = \frac{\pi L^2}{2l} \quad (3.13)$$

Y volviendo a la ecuación (3.11), se define la ecuación de resistividad para el dispositivo Wenner como:

$$\rho = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (3.16)$$

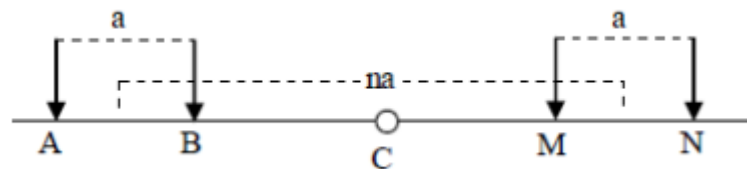
El dispositivo Lee es una variación de Wenner en la que se introduce un tercer electrodo (O) en el centro del arreglo ©, y desde este se mide la diferencia de potencial

entre los electrodos MO y NO, ya que $MO=NO=a/2$. (Estrada, 2012). El coeficiente geométrico para este arreglo se define como:

$$k = 6\pi * a \quad (3.17)$$

2.2.6.3. Dispositivo Dipolo-Dipolo

En el dispositivo dipolo-dipolo la distancia entre los electrodos de potencial MN y los electrodos de corriente AB son iguales y se denomina (a). para este caso los electrodos de corriente y de potencial se encuentran dispuestos a extremos opuestos, con respecto al centro del arreglo, tal como se observa en la ilustración. la separación de los electrodos se hace gradualmente, todos los electrodos se mueven, manteniendo el centro del arreglo constante. La variación de la distancia entre el centro de los electrodos AB y MN se determina como un factor (n) de (a).



El coeficiente geométrico para el dispositivo dipolo-dipolo se define como:

$$k = \pi a n(n + 1)(n + 2) \quad (3.18)$$

Y volviendo a la ecuación (3.11), se define la ecuación de resistividad para el dispositivo dipolo-dipolo como:

$$\rho = \pi a n(n + 1)(n + 2) \frac{\Delta V}{I} \quad (3.19)$$

2.2.7. Método de resistividad

El procedimiento desarrollado para obtener las mediciones de resistividad del subsuelo depende del propósito geológico que se tenga, ya que existen dos procedimientos, las calicatas eléctricas (CE) y los sondeos eléctricos verticales (SEV), utilizados para diferentes fines de estudios geológicos.

Las calicatas eléctricas consisten en realizar un recorrido lateral del área de estudio con un dispositivo electródico fijo y de esta manera determinar un valor de resistividad en diferentes puntos a una profundidad constante, conociendo así las variaciones laterales del terreno, para obtener curvas de igual valor de resistividad, conocidas como curvas isorresistivas y determinar la forma de las estructuras geológicas a esa profundidad (Román, 2016).

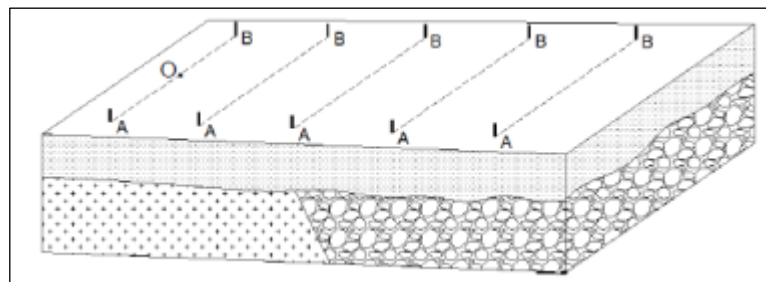


Figura 4. Calicatas Eléctricas fuente Román. (2016).

En un sondeo eléctrico vertical (SEV) se obtiene una variación de la resistividad en relación a la profundidad. Los electrodos se ubican de tal manera que se mida la resistividad en un punto (O), que corresponde al centro del arreglo, y que se van separando gradualmente para realizar mediciones a diferentes profundidades, cada vez más grandes, hasta llegar a tener una separación igual o preferiblemente mayor, entre los electrodos de corriente AB, al doble a la profundidad que se desea para el estudio geológico, (Estrada, Prospección geoelectrica para ingenieros, 2012). Debido a que la profundidad siempre

estará referida al punto centro a partir de este estudio es posible determinar los espesores de diferentes capas presentes en el subsuelo, en dicho punto.

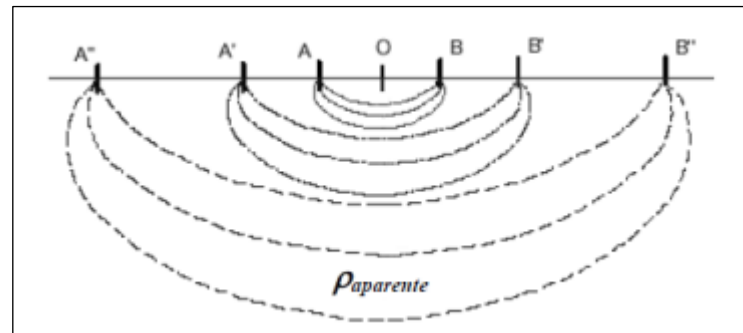


Figura 5. Sondeo eléctrico vertical, fuente Estrada. (2012)

La resistividad resultante de los datos tomados para un SEV es denominada resistividad aparente (ρ_a), debido a que es el resultado de la resistividad media de las capas por las que circula la corriente, de manera que para la primera capa del subsuelo el valor de resistividad aparente es igual a la resistividad real de dicha capa (ρ_1), y cuando la profundidad aumenta (ρ_a) tiende a la resistividad real de la última capa (ρ_n). (Estrada).

Los datos tomados del SEV se grafican en escala logarítmica, relacionando la distancia $AB/2$ con los datos de resistividad aparente obtenidos, tal como se observa en la ilustración, este gráfico se denomina *gráfica de resistividad aparente* y permite deducir la cantidad de estratos presentes, ya que los puntos de cambio de concavidad representan variaciones de los estratos. Al ser interpretada esta curva, permite determinar los espesores y resistividades reales de las formaciones geológicas de la zona en estudio. (Román, 2016).

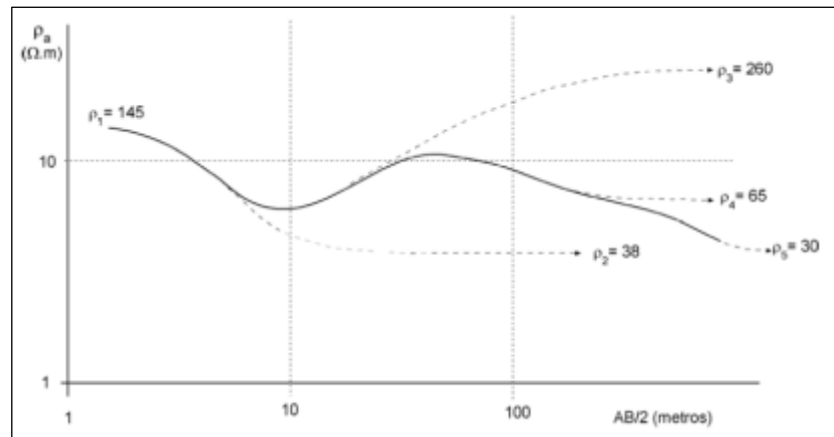


Figura 6. Gráfica de resistividad aparente fuente Román. (2016).

Determinando los puntos de cambio de concavidad de la gráfica, se extrae información de los intervalos de resistividad y el espesor para cada estrato del suelo, esta es la primera fase de la interpretación, denominada corte geoelectrico.

La segunda fase de interpretación consiste en generar el corte geológico o perfil de profundidad, a partir del corte geoelectrico y la información conocida sobre la geología del área de estudio. Para desarrollar esta fase es fundamental tener conocimiento de la geología de la zona, debido a que un valor de resistividad determinado puede corresponder a diversos tipos de roca (Román, 2016).

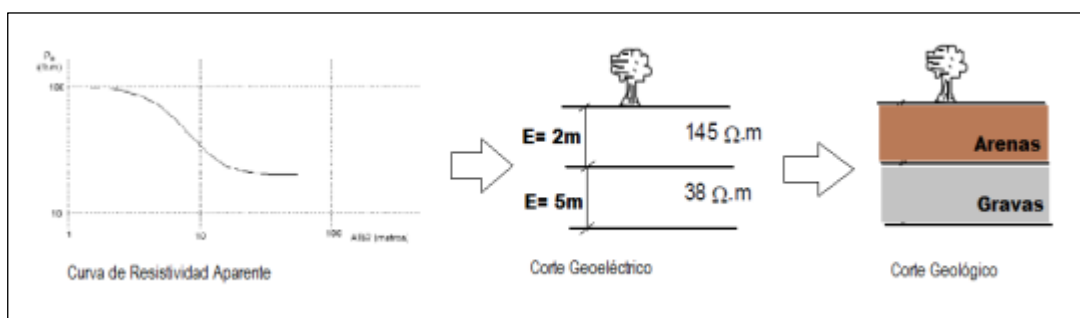


Figura 7. Gráfica de resistividad aparente fuente Román. (2016).



2.2.8. El método de resistividad eléctrica

Que forma parte de los métodos eléctricos de prospección geofísica y como parte de los métodos geofísicos y la geofísica, En el método de resistividad eléctrica (método resistivo), las corrientes eléctricas generadas artificialmente se introducen en el suelo y las diferencias de potencial resultantes se miden en la superficie, las desviaciones del patrón de diferencias potenciales que se esperan de un terreno homogéneo proporcionan información sobre la forma y las propiedades eléctricas de las inhomogeneidades del subsuelo.

Los estudios geofísicos de resistividad por lo general se limitan a investigaciones de escala relativamente pequeña debido al trabajo involucrado en la plantación física de los electrodos antes de cada medición, Por esta razón, **los métodos de resistividad** no se usan comúnmente en la exploración de reconocimiento, Sin embargo, es probable que con la creciente disponibilidad de dispositivos de medición de conductividad sin contacto esta restricción ya no se aplique, Los métodos de resistividad se usan ampliamente en las investigaciones geológicas de ingeniería de los sitios antes de la construcción (Barker 1997).

Los sondeos eléctricos verticales (SEV) son un método muy conveniente y no destructivo para determinar la profundidad de las rocas para propósitos de cimentación y también proporciona información sobre el grado de saturación de los materiales del subsuelo.

En el **método de separación constante de desplazamiento (CST)** se puede usar para determinar la variación en la profundidad de la parte superior de la roca entre los sondeos y también puede indicar la presencia de condiciones del terreno potencialmente inestables.

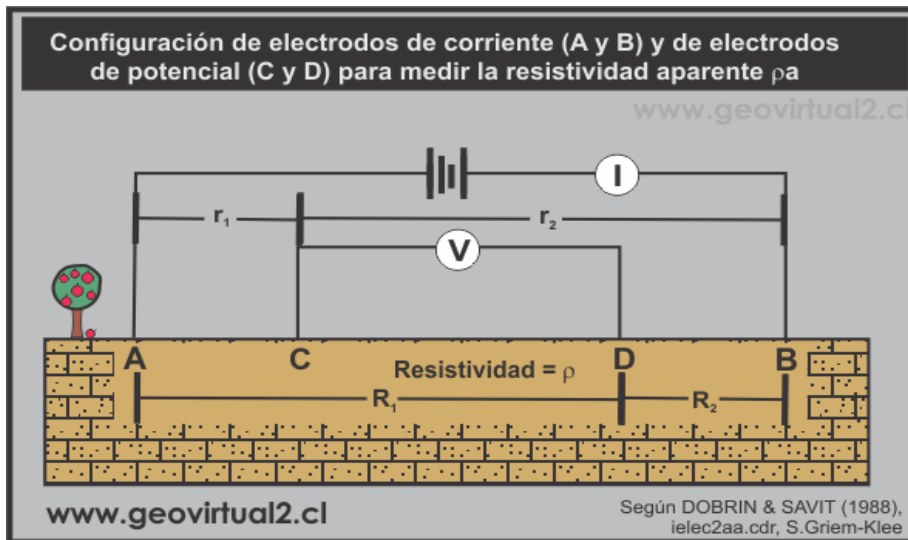


Figura 8. Resistividad-electrodos-Prospección, (Fuente www.geovirtual2.cl)

2.2.9. Método de polarización inducida

La polarización inducida (IP) es parte de los métodos eléctricos. Además, es parte de los métodos geofísicos de prospección y de la ciencia geofísica, por lo que su estudio se considera importante, cuando se utiliza una dispersión de resistividad de cuatro electrodos estándar en un modo de corriente continua, si la corriente se desconecta bruscamente, la tensión entre los electrodos potenciales no cae a cero inmediatamente, después de una gran disminución inicial, el voltaje sufre una disminución gradual y puede tardar muchos segundos en alcanzar un valor cero.

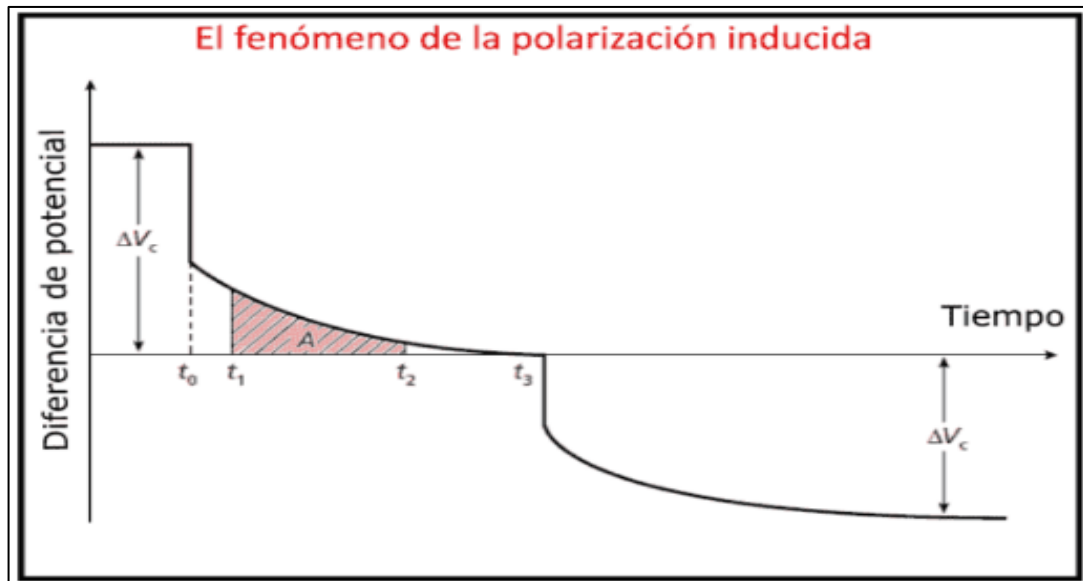


Figura 9. El fenómeno de la polarización inducida, (Fuente www.geovirtual2.cl)

En el momento t_0 , la corriente se apaga y la diferencia de potencial medida, después de una gran caída inicial desde el valor de estado estacionario ΔV_c , decae gradualmente hasta cero. Una secuencia similar ocurre cuando la corriente se enciende en el tiempo t_3 . A representa el área bajo la curva de caída para el incremento de tiempo $t_1 - t_2$, (Fuente www.geovirtual2.cl)

Se observa un fenómeno similar a medida que se conecta la corriente, después de un aumento repentino de voltaje inicial, el voltaje aumenta gradualmente en un intervalo de tiempo discreto a un valor de estado estable.

La tierra actúa como un condensador y almacena la carga eléctrica, es decir, se polariza eléctricamente, Si en lugar de utilizar una fuente de corriente continua para medir la resistividad, se usa una fuente de corriente alterna de baja frecuencia variable, se encuentra que la resistividad aparente medida del subsuelo disminuye a medida que aumenta la frecuencia.



Esto se debe a la capacidad de la tierra inhibe el paso de las corrientes directas, pero transmite corrientes alternas con mayor eficiencia a medida que aumenta la frecuencia.

La propiedad capacitiva de la tierra causa tanto la caída transitoria de una tensión residual como la variación de la resistividad aparente en función de la frecuencia.

Los dos efectos son representaciones del mismo fenómeno en los dominios de tiempo y frecuencia, y están vinculados por la transformación de Fourier.

Estas dos manifestaciones de la propiedad de capacitancia del terreno proporcionan dos métodos de estudio diferentes para las investigaciones del efecto.

La medición de un voltaje decreciente en un cierto intervalo de tiempo se conoce como método de polarización inducida (IP) en el dominio del tiempo.

La medición de la resistividad aparente en dos o más frecuencias de baja corriente alterna se conoce como levantamiento de polarización inducida (IP) en el dominio de la frecuencia.

2.2.10. Mecanismos de polarización inducida

Los experimentos de laboratorio indican que la energía eléctrica se almacena en las rocas principalmente mediante procesos electroquímicos, Esto se logra de dos maneras:

El paso de la corriente a través de una roca como resultado de un voltaje impuesto externamente se realiza principalmente por el flujo electrolítico en el fluido de poro.

La mayoría de los minerales formadores de roca tienen una carga negativa neta en sus superficies externas en contacto con el fluido de los poros y atraen iones positivos sobre esta superficie.

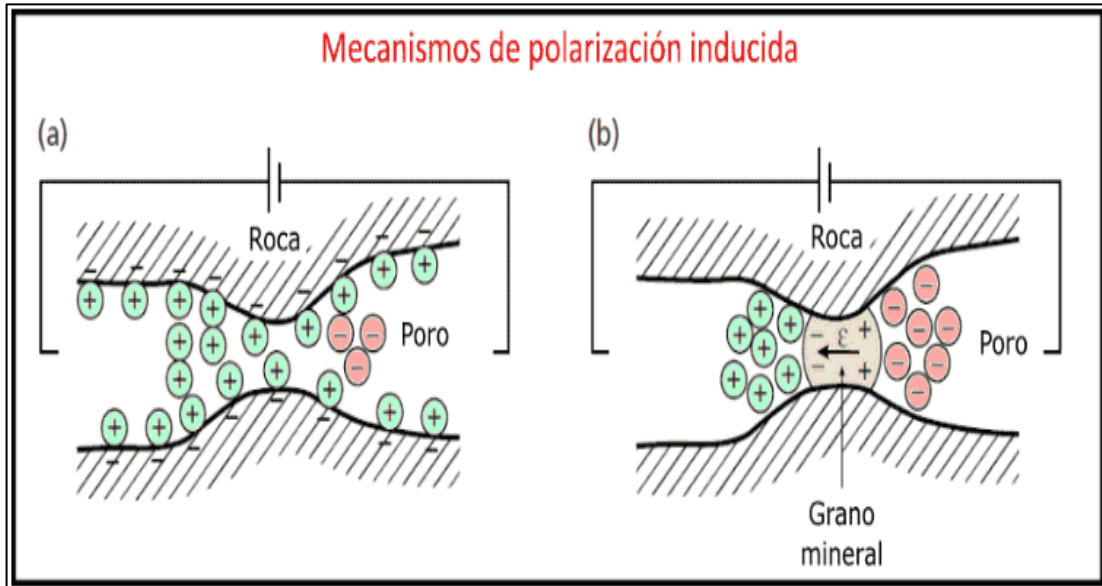


Figura 10. Mecanismos de polarización inducida: (a) polarización de membrana y (b) polarización de electrodo, (Fuente www.geovirtual2.cl)

La concentración de iones positivos se extiende aproximadamente 100 mm en el fluido de poros, y si esta distancia es del mismo orden que el diámetro de las gargantas de poros, se inhibe el movimiento de los iones en el fluido resultante del voltaje impreso.

Los iones negativos y positivos se acumulan en ambos lados del bloqueo y, al eliminar la tensión impresa, vuelven a sus ubicaciones originales durante un período de tiempo finito, lo que provoca una caída gradual de la tensión.

Este efecto se conoce como polarización de membrana o polarización electrolítica.

Es más pronunciado en presencia de minerales arcillosos donde los poros son particularmente pequeños.



El efecto disminuye al aumentar la salinidad del fluido poroso.

Cuando los minerales metálicos están presentes en una roca, existe una ruta electrónica alternativa disponible para el flujo de corriente.

La Figura 2 (b) muestra una roca en la que un grano mineral metálico bloquea un poro.

Cuando se aplica un voltaje a cada lado del espacio poroso, se imponen cargas positivas y negativas en los lados opuestos del grano.

Los iones negativos y positivos luego se acumulan en cada lado del grano que intenta liberar electrones al grano o aceptar electrones conducidos a través del grano.

La velocidad a la que se conducen los electrones es más lenta que la velocidad de intercambio de electrones con los iones.

En consecuencia, los iones se acumulan a ambos lados del grano y causan una acumulación de carga.

Cuando se elimina la tensión impresa, los iones se difunden lentamente a sus ubicaciones originales y causan una tensión transitoria decreciente.

Este efecto se conoce como polarización de electrodo o sobretensión.

Todos los minerales que son buenos conductores (por ejemplo, sulfuros y óxidos metálicos, grafito) contribuyen a este efecto.

La magnitud del efecto de polarización del electrodo depende tanto de la magnitud del voltaje impreso como de la concentración de mineral.



Es más pronunciado cuando el mineral se disemina a lo largo de la roca hospedadora, ya que el área de superficie disponible para el intercambio iónico-electrónico se encuentra al máximo.

El efecto disminuye a medida que aumenta la porosidad a medida que más rutas alternativas están disponibles para una conducción iónica más eficiente.

En la prospección de minerales metálicos, el interés está obviamente en el efecto de polarización (sobretensión) del electrodo.

La polarización de la membrana, sin embargo, es indistinguible de este efecto durante las mediciones de polarización inducida (IP).

En consecuencia, la polarización de la membrana reduce la efectividad de las inspecciones de polarización inducida (IP) y provoca un “ruido” geológico que puede ser equivalente en magnitud al efecto de sobretensión de una roca con hasta un 2% de minerales metálicos.

Aplicaciones de Polarización Inducida

A pesar de sus inconvenientes, el método de polarización inducida (IP) se usa ampliamente en la exploración de metales básicos, ya que tiene una alta tasa de éxito en la localización de depósitos de mineral de baja ley, como los sulfuros diseminados.

Estos tienen un fuerte efecto de IP, pero no son conductores, (la resistividad de estos minerales varía enormemente en función de las impurezas que contienen. Así la esfalerita, la hematita, y la magnetita pura son malos conductores “ $\rho > 10^4 \Omega\text{-m}$ ” pero, en la naturaleza puede ser tan débil como la de los sulfuros de hierro “ 10^5 a $10^1 \Omega\text{-m}$ ”), por



lo tanto, no son fácilmente detectables por los métodos electromagnéticos como las propiedades eléctricas de la tierra (Resistividad, permeabilidad o permitividad).

La polarización inducida (IP) es, con mucho, el método geofísico más efectivo que se puede usar en la búsqueda de dichos objetivos (sulfuros diseminados).

2.2.11. El método de resistividad eléctrica método sísmica

Los métodos sísmicos son un tipo de método geofísico, y constituyen pruebas realizadas para la determinación de las características geotécnicas de un terreno, como parte de las técnicas de reconocimiento de un reconocimiento geotécnico, las ondas sísmicas que atraviesan un terreno pueden ser:

El método sísmico de refracción se basa, tanto en el hecho de la diferencia de velocidad de la onda sísmica en los distintos terrenos, como en que las ondas al cruzar la frontera entre dos tipos de terreno distinto sufren refracción, (al igual que sucede con las ondas de luz), cambiando su dirección en un ángulo cuyo valor depende de la relación entre las velocidades de onda de cada terreno.

El impulso generador de la onda puede ser un impacto o una pequeña carga explosiva que se coloca, generalmente, en un punto de la superficie. Mediante geófonos (que son detectores de pequeñas vibraciones en el terreno), dispuestos a distintas distancias del punto de impacto, se mide el momento en que llega la primera onda que alcanza a un determinado geófono. De esta forma se obtiene la velocidad de transmisión.

Cuando se produce el impulso, las ondas se emiten en todas direcciones. Una onda en particular recorre un camino por la superficie del terreno en dirección al geófono (onda directa). Otras ondas descienden con diversos ángulos respecto a la horizontal. Al

encontrar un estrato inferior con velocidades sísmicas, la onda se refracta en el plano de contacto entre ambos terrenos.

Existe una dirección de onda que, al alcanzar el estrato inferior con un determinado ángulo de incidencia, su refracción se dirige por encima del estrato inferior paralelamente a la frontera entre terrenos. Esta onda, con su nueva dirección, continúa emitiendo energía hacia la superficie con un ángulo de refracción simétrico al de incidencia anterior, por lo que los geófonos pueden llegar a detectarla.

Si la velocidad sísmica del terreno inferior tiene un valor mayor que la del terreno superficial, el tiempo necesario para que la onda refractada alcance un punto de la superficie puede llegar a ser menor que el requerido por la onda directa que viaja superficialmente, aun cuando la longitud del camino sea mayor. Los geófonos cercanos al impulso reciben en primer lugar la onda directa, pero a los que se encuentran a una cierta distancia les alcanza antes la onda refractada.

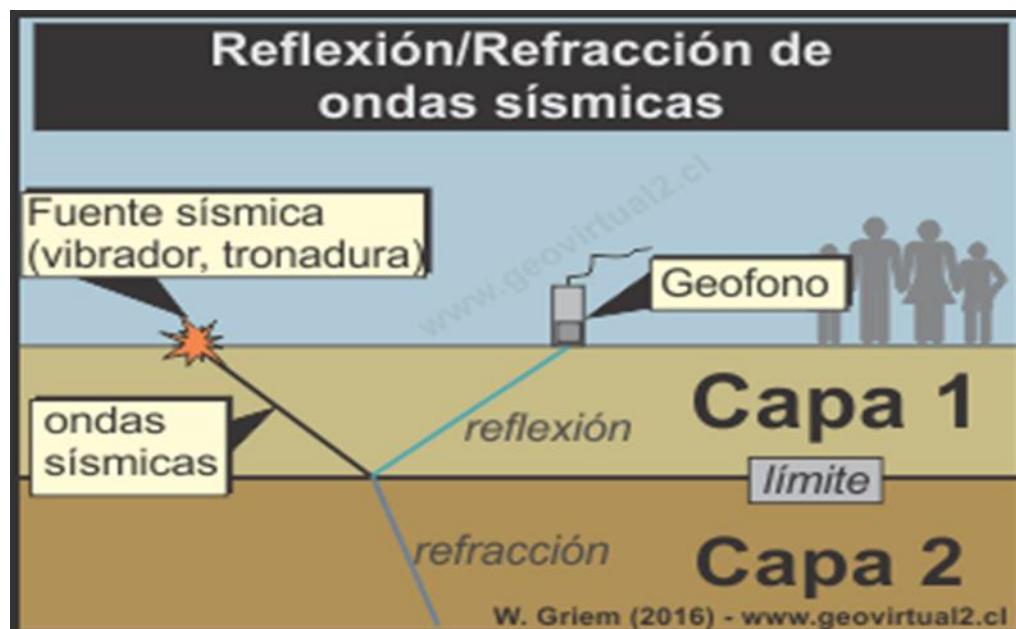


Figura 11. Mecanismos de polarización inducida: (a) polarización de membrana y (b) polarización de electrodo, (Fuente [www.geovirt.- ual2.cl](http://www.geovirt.-ual2.cl))

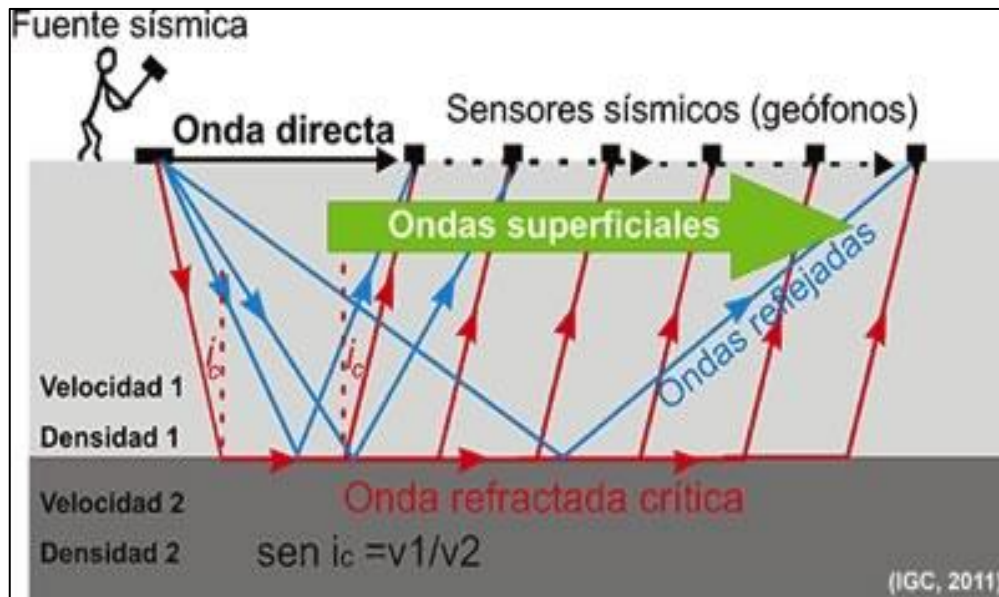


Figura 12. Mecanismos de polarización inducida: (a) polarización de membrana y (b) polarización de electrodo, (Fuente [www.geovirtua.- 12.cl](http://www.geovirtua.-12.cl))

Se basa en el cambio de las propiedades acústicas entre dos capas de diferentes materiales, que provocan la reflexión o refracción de las ondas que se inyectan, se producen en forma artificial ondas sísmicas mediante explosión o impacto sobre la superficie de un objeto de gran peso, en la sísmica de refracción se determina los tiempos de llegada.

De los primeros movimientos del terreno generados por una fuente de energía en un sitio determinado, los registros son de tiempo versus distancia, se interpretan en términos de la profundidad a interfaces entre capas de suelo y de las velocidades de propagación de la onda P (o S) en cada capa, cuyas velocidades están controladas por los parámetros elásticos que describen el material.

La sísmica de reflexión se basa en el análisis de la energía de las vibraciones después de iniciado el movimiento del suelo, se concentra en los movimientos del terreno inducidos por la reflexión de las ondas, en las diferentes interfaces de capas, que

han sido generadas en un sitio específico, se extrae la información del subsuelo estudiando la amplitud y forma de los movimientos del terreno.

Este método sirve para medir la velocidad de propagación de ondas en el subsuelo permitiendo caracterizar el subsuelo desde la superficie a centenas de metros, permite la caracterización del basamento rocoso, determinación de la estratigrafía y geometría del subsuelo, sirviendo asimismo como apoyo en la detección de agua subterránea y evaluación de bancos de material.

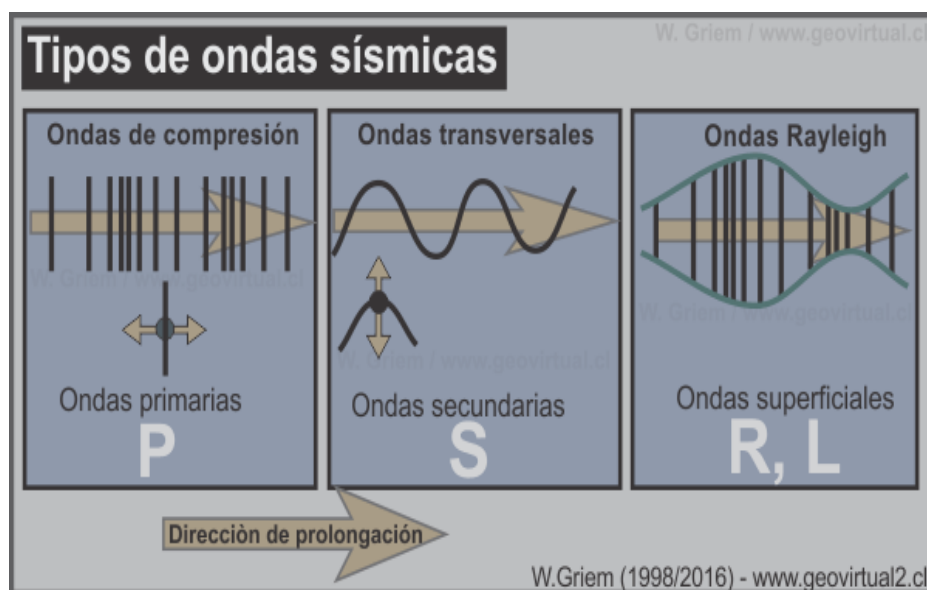


Figura 13. Tipos de Onda sísmica, (Fuente www.geovirtual2.cl):

2.2.12. Geología del cuadrángulo de Ocuvi

Ocuvi es un distrito puneño emplazado en las alturas, Antiguamente solo conocido por los pocos habitantes, exploradores y arrieros mineros que, con su recua de mulas cargadas de mineral, debido a las antiguas rutas de la plata del virreinato, aparecían por los cerros; entonces, aquellos se referían a este paraje como Ocuvi, que significa “de donde sale la vida” o “dentro hay vida”. Con el devenir de los años se le conoció como el



rancho Minero de Ocuvi y posteriormente, Ocuvi, como se le conoce hasta nuestros días.

Este origen, netamente minero del distrito minero del distrito de Ocuvi, va de acuerdo a la diversidad geológica presente en la zona. La diversidad se observa en una variedad de distritos de distinta filiación minera, que los nuevos estudios Geológicos a escala 1:50 000 nos presentan, Fuente: Revista Institucional INGEMMET. (Luis, 2015)

2.2.13. Aspectos geológicos

La Geología del cuadrángulo de Ocuvi (**ver Anexo G**) nos muestra unidades que van desde el paleozoico a depósitos recientes. La unidad más antigua está representada por las areniscas y lutitas del grupo Ambo. El Mesozoico muestra las calizas sedimentarias de la formación Arcurquina que aflora a manera de olistolitos o clastos del grupo Puno.

Las rocas del cenozoico están conformadas por una sucesión sedimentaria, volcánica y volcano sedimentaria, con una restricción de sedimentos fluviolacustres que van desde el paleoceno hasta el plioceno inferior. El paleoceno está representado por los conglomerados, areniscas y olistolitos de caliza de la formación Anta; que conforma el basamento tanto en límite Altiplano-cordillera Occidental como el lado condoroma-cailloma. Sobre esta serie se tienen las rocas volcánicas cenozoicas que se han agrupado de acuerdo a su centro de emisión.

Las rocas volcánicas y volcanosedimentarias se emplazaron en tres periodos volcánicos que corresponden a los grupos Tacaza (30-24 Ma), Palca (24-18 Ma), y Sillapaca (16-10 Ma), dentro del grupo Tacaza agrupamos a los centros volcánicos de choquepirhua y crucero, además de las secuencias volcánicas Aticata, Paratia, Acocunca



y Huajo. El grupo palca agrupa a las emisiones situadas entre los 24 y 18 Ma y en la zona agrupa a los centros Luli y Yanahuara, así como a las secuencias Jarpalla y Ocuvi, que afloran entre los sistemas de fallas de Colque-Cupi y Luli-Callatia. Mientras que el grupo Sillapaca considera a los productos volcánicos emitidos entre los 16 y 10 Ma, y en el cuadrángulo esta presentado por los centros volcánicos: Vendisa, Turputa, Machucondori, Colquecahua, Callatía, Catchane, Zanzapalla, Peruani y Pilinco.

Contemporáneamente a la emisión de estos productos se formaron dos unidades sedimentarias: el Grupo Maure y el Grupo CcanCcosane. El primero de edad Miocena Muestra sus mejores afloramientos en el sector de Tinajani, donde la erosión fluvial y eólica esculpió formas en las rocas de esta unidad. Por otro lado, los afloramientos del Grupo CcanCcosane, de edad Mioceno Inferior medio son más restringidos a la zona de Orduña, Quillisani y Paratia, que se forman por la erosión y resedimentación de los productos del Grupo Palca.

2.2.14. Aspectos estructurales

En los trabajos de campo se reconocieron ocho sistemas principales de fallas, de rumbo general NE, siendo estas: Sistema Tinajani, Cupi, Cupi-Colque, Palca, Cuta-Pilinco, Ocuvi-Arasi-Paratia, Luli-Callatia y Pañe-Lagunillas (**ver Anexo: H**).

Para complementar la información de campo, se verificaron las estructuras superficiales con imágenes de Geofísica aeromagnética (**ver Anexo: I**). En la Imagen podemos ver una imagen de geofísica aérea (aeromagnetismo), donde los colores guindas a rojos son las rocas que dan una señal más intensa; por el contrario, los colores verdes a azules nos indican una respuesta magnética más débil. De esta forma, se pueden comprobar los límites estructurales observados en campo.



Corredores estructurales que controlaron el emplazamiento de los centros volcánicos de los grupos Tacaza, Palca y Sillapaca; así de los productos volcánicos y volcanosedimentarios que originaron.

Además, contemporáneo al emplazamiento volcánico, estos sistemas dieron origen a las cuencas sedimentarias miocenas, como la cuenca de Tinajani, cuyos sedimentos forman complejas estructuras producto de los procesos de erosión.

Asimismo, estas estructuras, en dos periodos del Mioceno, tuvieron un comportamiento sinistral, fracturando las rocas y creando estructuras favorables no solamente para la circulación de fluidos magmáticos, que dieron origen a los centros volcánicos, sino también a los fluidos hidrotermales que se emplazaron cerca a los paleocentros de emisión, y que permitieron el desarrollo de los sistemas mineralizantes.

2.2.15. Aspectos Geoquímicos

En el desarrollo de los trabajos de campo se obtuvieron muestras de roca, que aunados a la base de datos existente facilitaron un mejor conocimiento de la evolución magmática de la zona. Los resultados de los elementos traza brindaron una huella geoquímica que permitió, en ausencia de dataciones radiométricas, correlacionar los productos volcánicos con centros volcánicos que presentan edades radiométricas. De los análisis químicos, también podemos interpretar la cantidad de agua presente en el magma, esto es conocido como tendencia hídrica, la cual es diferente para cada periodo volcánico.

De acuerdo a la cantidad y variación de elementos como el sodio y el potasio, se pueden saber cuan alcalinas son las rocas. Esto permite indicar que por ejemplo las rocas del periodo volcánico Palca son rocas calco-alcalinas ricas en potasio; esta relación nos da una idea acerca de la profundidad de la formación de las rocas, que al compararlas con



las rocas d en los periodos Tacaza y Sillapaca, resulta que estas se formaron a menor profundidad y por consiguiente, con diferentes productos volcánicos. Sin embargo, a nivel global, el contenido total de oxígeno y fierro en las rocas nos dice que son favorables para la formación de yacimientos minerales.

A nivel de superficie, el ingemmet cuenta con información de sedimentos de quebrada disponible en el Geocatmin, que fueron analizados obteniéndose como resultado quebradas con valores metálicos anómalos en algún elemento al lado del símbolo (triángulo) se añade un signo +. Estos datos se interpolan con el resultado del cartografiado de zonas de alteración reconocidas en campo y con las anomalías espectrales obtenidas de análisis de imágenes satélite (**ver Anexo: J**). El resultado muestra zonas interesantes, como por ejemplo una concentración de anomalías de molibdeno en el extremo superior del cuadrángulo. O la asociación de centro volcanico-area de alteración y asociación geoquímica presente en los centros Zapanzalla en el sector norte, Machucondori y Vendisa en el sector suroeste. Son datos que aunados a la geología nos brinda un mejor conocimiento metalogenético de este cuadrángulo.

2.2.16. Metalogenia

En resumen, la interpolación del cartografiado geológico-estructural, con la información geoquímica y el reconocimiento de las características hidrotermales de los diferentes prospectos visitados durante el desarrollo de los trabajos de campo, permiten reconocer siete corredores estructurales que controlan el desarrollo metalogenético de la zona. Estos son: a) Ocuvirí-Yauri, b) Cupi-Colque, c) Las Águilas, d) Palca-El Cofre, e) Parihuana-Quiscas, f) Arasi y g) Cacurani-Sabina (**ver Anexo: K**).



- a) El Corredor Ocuvi-Yauri presenta estructuras de Azimut 160, hospedadas en conglomerados de edad Eocena (Formación Anta). El relleno de las estructuras está compuesto por vetas de cuarzo, con presencia de pirita, malaquita y azurita.
- b) El Corredor Colque-Cupi muestra dos zonas definidas, la primera relacionada a estructuras hospedadas en conglomerados y que a los bordes presentan anomalías de Fe y Zn en los sedimentos de quebrada. Hacia el sur y asociado a la presencia de cuerpos intrusivos, de edad Miocena, se tienen la presencia de brechas y áreas de alteración argílica; además de anomalías por molibdeno.
- c) El Corredor Las Águilas debe su nombre a la mina del mismo nombre, donde la mineralización se encuentra hospedada en depósitos volcánicos del grupo Tacaza. Presenta estructuras con relleno de texturas bandeadas y lamelares, con minerales de Calcita, Cuarzo, rodocrosita, Galena típicas de un yacimiento de baja sulfuración.
- d) Separado por el sistema de fallas de Palca se tiene al corredor Parihuana-Quiscas que presenta zonas de alteración argílica pervasiva con estructuras de silicificación, con presencia de cuarzo oqueroso, pirita y alunita; los minerales están asociados aun sistemas de yacimientos epitermales de alta sulfuración.
- e) Al sur y separado por el sistema de fallas Cute-Pilinco está el corredor Palca-El Cofre, que se caracteriza por presentar yacimientos hospedados en sucesiones volcánicas de los grupos Tacaza y palca, tal como Mina Palca (figura 15) o la mina el Cofre (figura 16). Muestran una mineralización asociada a estructuras EO y NS, con relleno de texturas bandeadas; y minerales de rodocrosita, pirita, galena, adularia y enargita, nos dan asociación de yacimiento epitermales de baja a intermedia sulfuración.



- f) En el sector central del cuadrángulo y asociado a una estructura romboidal se tiene el corredor Arasi, que está caracterizado por la presencia de la mina Arasi hospedados en flujos de los grupos Palca y Sillapaca; donde la mineralización se encuentra asociada a zonas de alteración pervasiva y con estructuras silicificadas. Las estructuras presentan desarrollo de cuarzo oqueroso, alunita, pirita y enargita, asociaciones típicas de yacimientos epitermales de alta sulfuración.
- g) Asimismo, en el sector suroeste asociado a los centros volcánicos de Colqueahua, Vendisa, Callatia y Turputa, se tienen extensas áreas de alteración argílica, pervasiva por sectores; asociada brechas y estructuras silicificadas se tiene el corredor Cacurani-Sabina.

Esta distribución de corredor y las características comunes entre ellas facilita reconocer cuatro etapas metalogénicas, la primera relacionada a los depósitos polimetálicos en estructuras emplazados en el grupo Puno corredores de Ocuwiri-Yauri y Cupi-Colque). La segunda Etapa está relacionada a depósitos asociados a los intrusivos de edad miocena emplazados en corredor Cupi-Colque. La tercera etapa muestra una mineralización de mioceno inferior relacionada a yacimientos epitermales de baja-intermedia sulfuración (corredores las Águilas y Palca-El Cofre). y la última etapa de mineralización es posterior al periodo Sillapaca que se encuentra caracterizado por los yacimientos epitermales de alta sulfuración del mioceno superior, delimitados por los corredores Parihuana- Quisca, Arasi y Cacurani-Sabina.



Figura 14. Vista panorámica de una sucesión de areniscas y conglomerados de la cuenca Tinjani.



Figura 15. Vista panorámica de la mina Palca.



Figura 16. Vista Panorámica de la Mina el Cofre



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La Unidad Minera Las Águilas se encuentra ubicada en el distrito de Ocuvi, Provincia de Lampa, Región Puno, a una altitud de 4330 m.s.n.m. Corresponde a zona 19 del cuadrángulo de Ocuvi (hoja 31-U) está situada en la margen izquierda del río Antaymarca, comprende las siguientes coordenadas UTM (Cuadro 00), **ver Ubicación Anexo: L.**

La Unidad Minera Las Águilas de la Empresa Consorcio de Ingenieros Mineros S.A. (CIEMSA) políticamente se ubicado en el distrito de Ocuvi, provincia de Lampa, departamento de Puno, a una altitud de 4,300 m.s.n.m. de origen hidrotermal, de rango Epitermal, del tipo Intermedia Sulfuración, hospedados en rocas volcánicas del Grupo Tacaza. Se encuentra estratégicamente localizado en la prolongación Sureste de la franja metalogénica Andahuaylas-Yauri del Eoceno-Oligoceno, que controla el emplazamiento de los yacimientos epitermales de alta sulfuración como; Arasi (Au), Pórfido-Skarn de Pinaya (Cu-Au) y polimetálicos como; Las Águila, Tacaza, Santa Bárbara y Berenguela.

Cuadro 2

Coordenadas de Ubicación (Fuente: Elaboración Propia)

Concesión	Vértice	Coordenadas UTM (WGS 84)	
		Este	Norte
Águila nueva 1	1	308810	8332630
	2	311810	8332630
	3	311810	8331630
	4	310810	8331630
	5	310810	8330630
	6	308810	8330630

3.2. PERIODO DE DURACIÓN DE ESTUDIO

3.2.1. Método de trabajo

El levantamiento geofísico se llevó a cabo en dos etapas la primera etapa en el mes de junio a lo largo de una red de siete (7) líneas equidistantes de 100m con un dipolo de 10 metros para el método de Polarización Inducida - Resistividad y de cinco (5) líneas equidistantes de 200m para el método de Refracción Sísmica.

En la segunda etapa se realizó en el mes de noviembre, en donde se realizaron seis (6) líneas con dipolo de 40 metros para el método IP/RES con una longitud de 1000 metros y una (1) línea de refracción sísmica de 700 metros de longitud.

Para obtener mayor información sobre las propiedades físicas del subsuelo referente a los métodos a ser aplicados, se realizó un previo reconocimiento geológico y topográfico; así como las rutas de accesos al área del proyecto con la finalidad de elaborar un esquema de trabajo apropiado de acuerdo a los objetivos Planteados.

De acuerdo a la configuración a ser aplicada; en cada uno de los métodos propuestos; y con el fin de obtener una mejor y mayor calidad en la información obtenida del subsuelo sobre las propiedades físicas medidas (resistividades y Velocidades de ondas “P”), se tuvo en consideración factores como:

- Amplitud de las anomalías
- Relación señal/ruido
- Posible Acoplamiento Electromagnético
- Profundidad de Investigación
- Resolución vertical y horizontal
- Sensibilidad al ruido geológico
- Posibles coberturas conductivas.



Figura 17. Personal de geofísica en trabajos de campo



3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO

3.3.1. Materiales y equipo

Para el proceso de la siguiente investigación se trabajó con los siguientes recursos, grupo humano, equipo y materiales necesarios para los trabajos de campo y realizar la interpretación en gabinete, (ver cuadro N° 2)

Cuadro 3

Recursos para el proceso de investigación, (elaboración propia)

RECURSOS	DETALLES
PERSONAL	Geofísicos, Geólogo, personal de apoyo
EQUIPOS	Equipos de geofísica y laptop.
MATERIALES	Pintura, estacas, clavos, mochila de lona, cordel, yeso.
HERRAMIENTAS	Wincha métrica de 30 m, tablero de planos, brújula, comba.
INFRAESTRUCTURA	Campamento y oficina(gabinete)
TRANSPORTE	Camionetas

Cuadro 4

Personal de Geofísica

PERSONAL DE CAMPO		
NOMBRE	CARGO	FUNCION
Yahir Edu Meza Ascue	Geofísico	Jefe del Proyecto
Luis Alberto Huamani Callapaza	Geofísico	Refracción Sísmica
E. Daniel Salazar Miranda	Geólogo	Jefe de Brigada

3.3.2. Personal de apoyo

El personal de apoyo estuvo conformado por: 12 personas de apoyo (Trabajo de campo), El Personal de comunidades involucrado en el proyecto trabajo bajo un sistema sin rotación, siendo el mismo grupo durante todo el estudio, para realizar un trabajo bien habituado a las técnicas del método indirecto.

3.3.3. Confiabilidad

El método eléctrico comprobó ser el más confiable, versátil y ser el menos afectado Mediante la integración de métodos geofísicos (resistividad y sísmica de refracción)

3.3.4. Técnica de análisis de datos

Cuadro 5.

Métodos Eléctricos

METODOS ELECTRICOS			
Corrientes Artificiales		Corrientes Naturales	
Continua	Alterna	Continua	Alterna
Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)	Inclinación de campo (VLF)	Potencial Espontaneo	Corrientes Telúricas
Calicatas Eléctricas (CE)	GeoRadar (GPR) - Turam		Magnetotelúrica
Equipotenciales	Del compensador - Sligram		Audio Frecuencia Magnética(AFM AG)
Polarización Inducida temporal (PIT)	Polarización Inducida (PI)		

Para interpretar los distintos materiales del subsuelo, a partir de las variaciones de la resistividad al paso de la corriente eléctrica. Y según la corriente sea generada y aplicada al suelo o provenga de fuentes existentes, habrá dos categorías de métodos: los de Corrientes Artificiales y los de Corrientes Naturales. A su vez, según el tipo de corriente que circule por el suelo, los métodos se subdividen en los de Corriente Continua y los de Corriente Alterna. Sobre esta base, los agrupamos de la siguiente manera:



La adquisición y procesado de datos sísmicos para extraer la curva de dispersión empleó las técnicas de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW, por sus siglas en inglés; (Park., 1999) y Auto correlación Espacial en Línea (SPAC, por sus siglas en inglés; (Hayashi, 2003) El método MASW utiliza registros típicos de refracción; la transformación de los registros al dominio frecuencia contra velocidad de fase permite identificar la curva de dispersión a periodos cortos. SPAC utiliza registros de ruido sísmico; el método se basa en calcular coeficientes de correlación que dependen de la frecuencia, la distancia entre estaciones y la velocidad de fase de ondas (Rayleigh, 1957)

3.3.5. Limitaciones

Las aplicaciones de las diversas técnicas geofísicas de exploración dependen fundamentalmente de la existencia en el subsuelo de cuerpos físicos, químicos o físico-químicos contrastantes. Una limitación primordial en la aplicación de cualquier método es la carencia de un suficiente contraste de alguna propiedad física o química; las limitaciones son causadas directa o indirectamente por esto. En la actualidad, en vez de decir que un instrumento no es suficientemente sensible o potente, se externa que los cuerpos en el subsuelo presentan un paupérrimo contraste en sus propiedades respecto al medio encajonante.

3.3.6. Control de calidad

Durante el proceso de adquisición de los datos, el responsable del estudio geofísico fue quien se encargó de monitorear continuamente la información de campo, con la finalidad de asegurar su calidad, permitiendo de esta manera eliminar o corregir cualquier problema que pudiera presentarse, debido a factores geológicos, físicos, humanos o de instrumentación.

Para garantizar la calidad, precisión y veracidad de los datos se tomaron mediciones repetidas de forma regular. Al final de cada día de las operaciones de campo,



se realizó una verificación más detallada de los datos utilizando programas para el procesamiento, control de calidad y verificación de los datos geofísicos.

3.3.7. Especificaciones técnicas

Las líneas geofísicas fueron diseñadas específicamente para establecer la correlación de las estructuras geológicas, procesos de alteración y mineralización como función de los contrastes en la respuesta de los parámetros físicos medidos y presentes en el área de estudio.

Con el fin de obtener mayor información sobre las propiedades físicas del subsuelo e información vertical referente al método a ser aplicado, se realizó un previo reconocimiento geológico y topográfico en el área para establecer un esquema de trabajo apropiado de acuerdo a los objetivos.

3.3.8. Enfoque de trabajo

Especificaciones del Levantamiento de IPRES, La técnica de campo empleada en el levantamiento consistió en series de lecturas tomadas cada 10m, a lo largo de una línea, donde para conseguir penetraciones variables (20 niveles de lectura) se utilizó la configuración de electrodos Polo-Dipolo, que supone la instalación de un electrodo de corriente (Infinito) a una distancia mayor a 10 veces el dipolo utilizado, mientras que los electrodos de potencial son distribuidos sobre la línea a distancias indicadas.

3.3.9. Instrumentos de obtención de datos

El equipo utilizado para la adquisición de medidas fue el IRIS ELREC-Pro, receptor multidipolo de 10 canales controlado por un microprocesador que realiza un análisis estadístico de las múltiples repeticiones de las medidas efectuadas para cada dipolo, permitiendo por este, evaluar la calidad de los datos durante las operaciones en campo. Con este equipo se pueden medir 20 ventanas de cargabilidad simultáneamente, las mismas que representan el tiempo medido de manera lineal o logarítmica, durante el



cual se registra la curva de decaimiento de potencial; en cada uno; de los 10 dipolos con los que cuenta el equipo

El estudio geofísico comprendió el levantamiento de un área con la distribución de 7 líneas en intervalos de 100 metros y con lecturas cada 10m (Dipolo a=10m), haciendo un total de 3.9 km lineales y de seis (6) líneas de 1 Km (A, B, C, D, A' Y 5') con lecturas cada 40 metros; tres líneas en la parte suroeste con un interlineado de 100 metros y tres líneas en la parte noreste con un interlineado de 150 metros, haciendo un total de 6 Km lineales. (Ver cuadro 5).

Cuadro 6

Líneas de Polarización Inducida / Resistividad

POLARIZACION INDUCIDA – RESISTIVIAD			
LINEA	ESTACION		TOTAL (m)
	INICIO	FIN	
IP-1	0	700	700
IP-2	0	700	700
IP-3	0	500	500
IP-4	0	500	500
IP-5	0	500	500
IP-6	0	500	500
IP-7	0	500	500
IP-A'	0	1000	1000
IP-A	0	1000	1000



IP-B	0	1000	1000
IP-C	0	1000	1000
IP-D	0	1000	1000
IP-5'	0	1000	1000
TOTAL			9900



Figura 19. Tendido de cables y electrodos.



Figura 20. Equipos de adquisición y transmisión.



Parámetros de adquisición

- Mediciones : Dominio de tiempo
- Configuración : polo-dipolo
- Extensión del dipolo (a) : 10 y 40 metros
- Niveles de lectura : n1 a n20
- Salida de energía : 3.6 Kw.
- Salida de Intensidad de corriente : 1 – 4 Amperios
- Resistencia de contacto : 0.1 – 50.0 KOhm.
- Ciclo operativo : 2.0 segundos
- Ventanas de medición : 20 ventanas de 80 miliseg.
- Modo de integración : Aritmético.
- Tiempo de Retardo (Mv/v) : 240 miliseg.
- Software de Procesamiento : Oasis Montaj.
- Software de Inversión : DCIP2D -UBC

Equipos

- Receptor : ElRec - PRO - IRIS
- Transmisor : Tx II de 3.6 Kw. – GDD
- Generador : EP6500cxs – HONDA
- Accesorios : Electrodo, calaminas, cables,
radios.



Figura 21. Equipos de adquisición y transmisión empleados (transmisor GDD y Receptor Iris ELRec Pro)

3.3.10. Refracción sísmica

La refracción sísmica es un método indirecto para investigar el subsuelo, consiste en la medición de los tiempos de viaje de las ondas compresionales (velocidad de las ondas “P”), generadas por el impacto de una fuente sísmica en la superficie del terreno. Estos impactos son localizados a diferentes distancias a lo largo de la línea sobre la superficie del suelo, el inicio de la grabación se receptiona mediante el trigger, el tiempo cero a partir del cual se evalúa el tiempo del recorrido. Finalmente, la energía es detectada, amplificada y registrada, de tal manera que puede determinarse el tiempo de arribo en cada punto de los geófonos y de esta manera, obtener las velocidades de las ondas.

Estos datos de tiempo y distancia obtenidos varían según el punto del disparo, permitiendo evaluar las velocidades de propagación de las ondas P a través de las diferentes estructuras, geometría y discontinuidades investigadas.

En el área de estudio se realizó una distribución de 5 líneas en intervalos de 200 metros y con lecturas cada 10 metros logrando alcanzar una longitud entre 450 y 560 metros por tendido y con profundidades de investigación nominal de hasta 100m., haciendo un total de 2.69 km lineales (Ver cuadro 6).

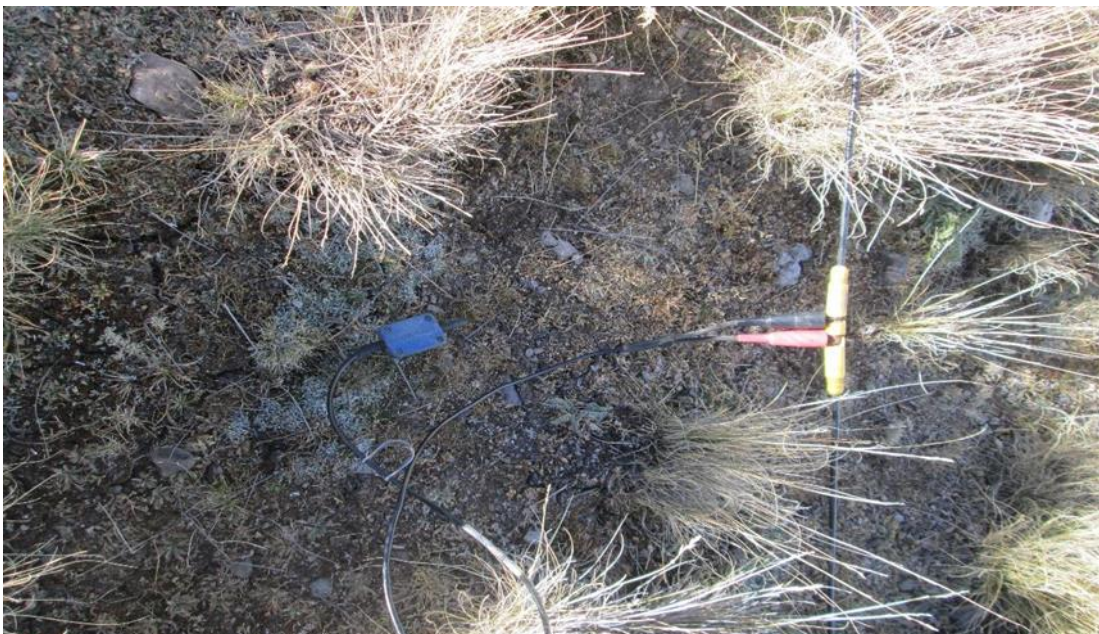


Figura 22. Transmisor GDD y Receptor Iris ELRec Pro



Figura 23. Voladura con explosivos de emulnor (Famesa)



Figura 24. Personal de apoyo en los trabajos de Refracción sísmica.



Parámetros técnicos del levantamiento

Respuesta de Frec. (Geófonos)	:	14.5Hz (Refracción Sísmica)
Ganancia de Pre amplificación	:	36Db.
Filtros	:	no se usó
Intervalo de muestreo	:	0.25 milisegundos.
Longitud de registro	:	0.5 segundo
Polaridad de apilamiento	:	Positiva
Retraso	:	0
Formato de grabación	:	SEG-2

Equipos

Sismógrafo : ES-3000 GEOMETRICS

Radios EP 450s, Explosivos, Geófonos, Cable Sísmico, trigger, Laptop.



Figura 25. Equipos de Adquisición de datos Sísmicos, ES – 3000 Geométricas

Cuadro 7

Líneas de refracción Sísmica

REFRACCION SISMICA			
LINEA	ESTACION		DISTANCIA
	INICIO	FIN	TOTAL (m)
SIS-1	0	560	560
SIS-2	0	560	560
SIS-3	0	560	560
SIS-4	0	560	560
SIS-5	0	450	450
SIS-D	0	700	700
TOTAL			3390

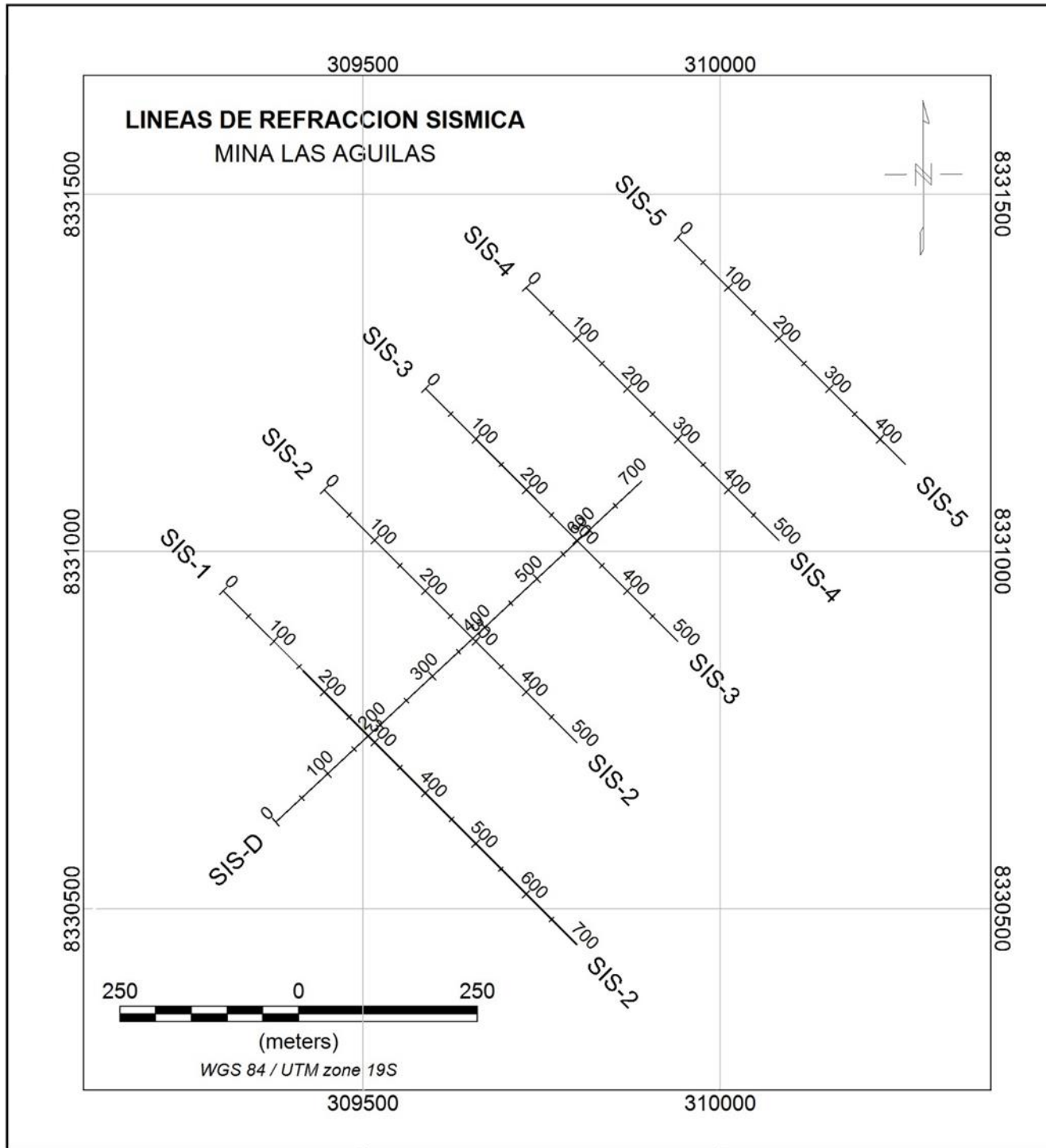


Figura 26. Líneas de Refracción Sísmica.



3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

El proyecto se ubica en el distrito de Ocuvi, Provincia de Lampa, Departamento de Puno; corresponde a la zona 19, del cuadrángulo de Ocuvi hoja 31-U

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

El método que se usa es de tipo cuantitativo, que emplea magnitudes numéricas para expresar el trabajo de campo aplicada en un enfoque descriptivo, se basa en la revisión bibliográfica, recolección de datos, interpretación de resultados y plasmar los resultados en mapas.

3.6. PROCEDIMIENTO

Primero: se presentó el proyecto de investigación a la universidad nacional del altiplano

Segundo: se ejecutó el proyecto de investigación una vez aprobada el proyecto de investigación

Tercero: se elaboró el informe de tesis.

3.7. VARIABLES

- **Independiente:** testificación geofísica del método de polarización Inducida, Resistividad y refracción sísmica.
- **Dependientes:** conformación del subsuelo, presencia de anomalías asociadas a sulfuros en función a los métodos geofísicos

3.8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Se diseña un programa de líneas de polarización inducida / resistividad, y programa de refracción sísmica, esto con los criterios de conocimiento geológico de la



zona de interés en base a la información, y en referencia a la orientaciones y rumbo de la geología estructural.

3.8.1. Geología regional

La zona de estudio se ubica en el tras arco de la Cordillera de los Andes, es decir, al noreste del arco magmático principal. En la zona de estudio se tiene un conjunto de rocas magmáticas terciarias que presentan diferentes variedades petrográficas y geoquímicas. Estas rocas están alineadas en una dirección NO-SE y a nivel del alineamiento de estos cuerpos magmáticos se formaron cencas sedimentarias. Este magmatismo corresponde al tras arco y probablemente al borde oeste del Cratón Brasilero y está ligado a fallas profundas, las mismas que han controlado la evolución de las cuencas sedimentarias. Este magmatismo es posterior al magmatismo eoceno (constituido por los gabros y dioritas del batolito Andahuaylas-Yauri) y al magmatismo triásico (conformado por granodioritas y andesitas basálticas del Grupo Mitu).

Este magmatismo se presenta bajo tres modalidades (las unidades con mejor expresión se encuentran entre paréntesis).

- Intrusivos (macizos de Colque, Pucara, Cupi, stocks de Livichaco y Pichacane).
- Cuerpos subvolcánicos (domos de Cascada, Viluyo, Ocuvi, necks de Millaccase, Chignaya, Huayta Huacho; diques).
- Rocas volcánicas (coladas Ocuvi y brechas volcánicas relacionadas; depósitos piroclásticos del evento Ocuvi).

La edad de emplazamiento, Oligoceno- Mioceno (28-15 Ma). Se basa sobre criterios estratigráficos y dataciones isotópicas por el método K-Ar. La evolución y las características composicionales son demostradas por normas petrológicas y geoquímicas.



Este magmatismo está relacionado a accidentes estructurales. En este trabajo se aportan nuevos datos sobre los aspectos básicos de este magmatismo, sus características geoquímicas y las condiciones de su emplazamiento, ya que estas rocas son de tipo alcalino y se formaron en zonas litosférica sujetas a esfuerzos

Extensionales. Las fuentes potenciales que pudieron haber contribuido a generar sus características geoquímicas son la astenósfera, el manto litosférico, o, por asimilación, la corteza. Hacia el este y sur de este conjunto de rocas se encuentra el frente del arco subalcalino normal y el antearco donde también afloran rocas y sedimentos de similar edad (por ejemplo, las formaciones Tacaza, Moquegua y Huaylillas en el Sur del Perú; y las formaciones Azapa, Oxaya, Zapahuira y Diabolo en el norte de Chile).

En la zona de estudio afloran unidades geológicas del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico (Ibarra et al.). Estas unidades sedimentarias han sido intruidas por macizos y stocks datados entre 28 y 15 Ma. También existen domos, necks, diques, coladas, ignimbritas, brechas volcánicas y depósitos volcano sedimentarios cuyas edades se encuentran entre 28 y 15 Ma.

Las fallas existentes en la zona de estudio han tenido varios juegos, principalmente de rumbo, durante el Oligoceno y el Mioceno, no solamente controlando la evolución de las cuencas sedimentarias de Tinajani, Macarí y Descanso, sino también controlando el emplazamiento de cuerpos ígneos. Evidencias de movimientos normales sinestrales más recientes indican que la actividad de estas fallas perduró.

Los trabajos más recientes corresponden a Audebau & Vtin-Perignon (1974) y Laubacher (1978), quienes indican que rocas ultra potásicas como basanitas (29.3 +- 0.6.Ma) y gabros (28.02 +-1.5 Ma) ocupan grandes superficies alrededor de Ayaviri y Llalli. Palacios et al (1993) y De La Cruz (1995) estudiaron la estratigrafía de la región

del Altiplano. Bonhomme et al. (1985), Carlier et al. (1996), Carlier & Lorand (1977), y Carlotto (1988), mencionan que en el sur del Perú el límite entre el Oligoceno inferior y Oligoceno superior (28 Ma) está marcado por un importante evento magmático alcalino. Flores & Rodríguez (1999) indican que se produjo una importante sedimentación en la cuenca Tinajani entre el Oligoceno superior y Mioceno medio, controlada por fallas activas. Boudesseu et al. (2000) indican que las ignimbritas Ocuvi son correlacionales con otras que afloran en las zonas de Ayaviri, Descanso, Condoroma y con algunas zonas del sur de Perú. Mamani & Ibarra (2000) mencionan la existencia de un corredor estructural magmático de tipo alcalino ligado a fallas profundas.

3.8.2. Macizo de pucara

Por sus características petrológicas y geoquímicas este intrusivo está compuesto por granitos. Entre los principales componentes están la ortosa, cuarzo, biotita, plagioclasa (albita, oligoclasa y andesina), y minerales opacos. Apatito y circón figuran como accesorios. La sericita es producto de alteración de las ortosas. En estos granitos la cristalización empezó con el apatito y circón, luego cristalizaron la biotita, plagioclasa, ortosa, y por último el cuarzo.

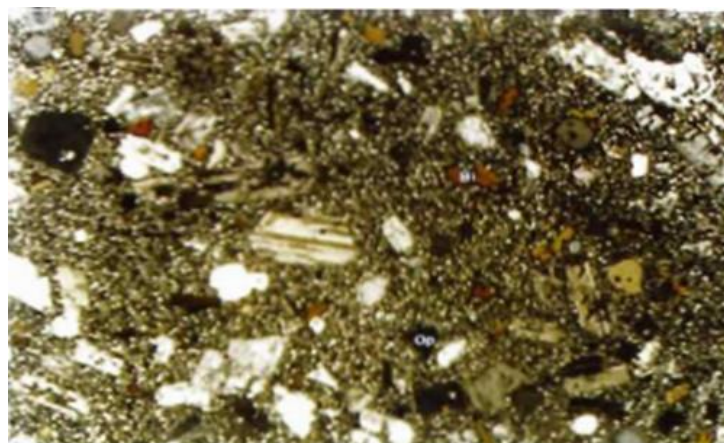


Figura 27. Se observa característica Fotomicrografía del Domo Ocuvi.

3.8.3. Domo Ocuvi

Está constituido por lavas traquibasálticas con fenocristales de plagioclasa (oligoclasa y andesina), olivino, clinopiroxeno (augita y diópsido), biotita, minerales opacos (magnetitas). El apatito es accesorio. La matriz está constituida por microlitos y microcristales de plagioclasa, clinopiroxenos y vidrio. El apatito, clinopiroxeno, olivino cristalizaron primero, y luego la biotita y plagioclasa.

a Depósitos piroclásticos (Ignimbritas Ocuvi)

Según sus características petrológicas y químicas son ignimbritas de tipo riódacítico. Están constituidas por fenocristales fragmentados de cuarzo, sanidina, plagioclasa (oligoclasa y andesina), biotita, minerales opacos. Apatito, circón, esfena están como accesorios. Los pómece se encuentran poco soldados (achatados). Se observa en estas ignimbritas muchos fragmentos líticos de traquibasaltos y traquiandesitas. La pasta está constituida por vidrio esferulítico. Los pómece se forman durante la explosión volcánica.

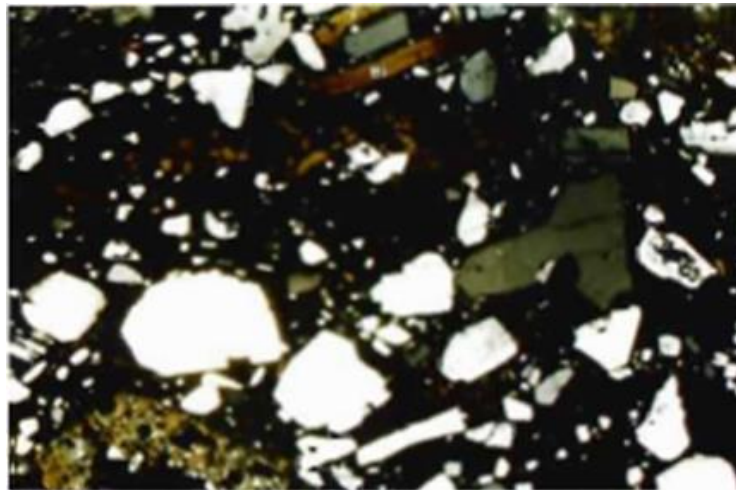


Figura 28. Se observa en la Fotomicrografía la Ignimbrita de Ocuvi



Oligoceno (Terciario Medio), en el Mioceno Medio se presentan rocas ignimbríticas del Grupo Palca, continuando la secuencia con la exposición de derrames lávicos y piroclásticos del Grupo Sillapaca del Mioceno Superior, en el cuaternario se exponen los depósitos morrénicos, fluvioglaciares y aluviales.

3.8.4. Geomorfología

El área de emplazamiento de la unidad minera Las Águilas está ubicada en la unidad geomorfológica definida como “La Cordillera Occidental” correspondiente a una cadena de montañas de dirección NO-SE con picos que pueden estar sobre los 6,000 msnm. Las montañas están ligadas a una altiplanicie (entre los 4,500 y 5,000 m) conocida como Puna. Esta Cordillera fue glaciada durante el Pleistoceno, y son comunes en toda el área, rasgos típicos de glaciares de valle.

Los ríos y quebradas tributarias del flanco oriental de la Cordillera Occidental drenan hacia la cuenca del lago Titicaca y tienen un patrón de drenaje dendrítico e incisivo, **Ver Anexo: A y B (Mapa Geomorfológico, Mapa Geológico).**

3.8.5. Estratigrafía

a) Cenozoico

Las rocas del cenozoico del sur del Perú se componen de sedimentos molásicos, vulcanoclásticos y rocas volcánicas dacíticas o andesíticas erupcionadas episódicamente desde el oligoceno hasta el presente.

Los estudios estratigráficos previos sobre estas rocas las han relacionado específicamente con el altiplano (Newell, 1949) con el área de Arequipa (Jenks, 1948), con el área meridional, la Cordillera oriental del Perú (Mendivil, 1968). La estratigrafía formulada en esos trabajos se compara con las de este informe. Los trabajos más relevantes en áreas adyacentes han sido hechos por Evernden, Kriz y Cherroni (1977), en el norte de Bolivia, y por Mortimer, Farrar y Saric (1974) en el norte de Chile.



En la primera etapa del trabajo de campo, se observó inconsistencias en el uso y correlación de las unidades estratigráficas en el sur del Perú. Esto significa que, para establecer una estratigrafía en el área de proyecto, era necesario revisar algunas de las nomenclaturas usadas. Estas revisiones fueron confirmadas y fortalecidas por el programa de edades radiométricas llevado a cabo durante el proyecto (ver apéndice)

Los principales cambios de la estratigrafía establecidas son como sigue:

1 El reconocimiento de una parte más antigua y una más joven del Grupo Tacaza separadas por una discordancia.

2 El reconocimiento de un nuevo grupo Palca, por el cual es una unidad predominantemente ignimbríticas.

3. El mapeado por primera vez del Grupo Sillapaca en su área tipo y su reconocimiento en otras áreas.

4 El reconocimiento de un Grupo Maure, el cual incluye estratos equivalentes a la Formación Maure.

5 El reconocimiento de un grupo volcánico post-glacial, el Grupo Ampato y un depósito lacustre, asociado Grupo Colca.

Así en una reseña del mapeo a escala regional, se encontró que es mucho más práctico dividir la mayoría de las rocas cenozoicas dentro de los grupos formales, los cuales en grandes áreas no son subdivididos debiendo la definición de las formaciones componentes aguardar estudios más detallados.

La estratigrafía establecida en el presente estudio esta resumida, ver **Anexos. C, D y E** y los detalles de cada unidad, incluyendo evidencias de sus edades radiométricas se describen a continuación:



b) Formación Calizas Ayabacas

Deriva su nombre de la localidad de ayabacas (3851, 82948) en cuadrángulo de Juliaca en la carretera-taraco, el termino fue introducido por Cabrera y Pertersen (1936) para una secuencia de calizas y capas rojas. La unidad fue mapeada por Newell (1949) y en el presente estudio, se le asigna por primera vez, la categoría de formación. En la sección tipo Newell (1949) considera apropiado incluir al Grupo Moho de Newell dentro de la formación Ayabacas.

La sección es la siguiente:

Contacto fallado por el Grupo Puno, Lutita limolítica roja con caliza impura Grosor (11.0m.)

Caliza muy masiva, gris-ante, con numerosos tabulares intemperiza con una superficie muy áspera. La parte superior (1m.) es azulina, Grosor (12.0m)

Caliza de grano fino, en bloques, estratificación regular, escasamente fosilífera, los 2m. hacia el tope son lutíticas Grosor (16.0m)

Caliza masiva, gris-ante, con muchos huecos de 2 cm. De diámetro rellenos con caliza arcillosa, algunas Gryphaea, intemperiza con superficies ásperas Grosor (0 a 4.0m)

Lentes de caliza brechoide Lutita limolítica, color rojo-ladrillo Grosor (9.0m)

Arenisca de grano fino color rojo-ladrillo oscuro Grosor (32.0m)

Lutita Limolítica, color marrón-rojizo oscuro Grosor (15.0m), en Total Grosor (96.5m).

Regionalmente y sobre todo la base, es un contacto tectónico por lo que las relaciones estratigráficas no son bien conocidas, sin embargo, en cuadrángulo de Puno al SO de Cabanillas (3560, 82655) y en la hacienda Taya-Taya (3455, 82655), la formación



parece descansar concordantemente sobre una secuencia delgada de transición sobre la formación arenisca Angostura la mayoría de los afloramientos son grandes capas alóctonas sobrecorridas en klippe, como por ejemplo en los cuadrángulos de Ilave y Lagunillas. En adición, en los cuadrángulos de Ocuvi y Lagunillas, hay pequeños afloramientos en forma de listones, por ejemplo, cerca de la hacienda Ichocollo (3020, 82690) y la hacienda cascada (3307, 83302), donde las calizas Ayabacas inyectadas a lo largo de fallas.

En términos Generales, la formación consiste de una matriz fangolítica roja isótropa alrededor del bloques y escamas de caliza fallados y plegados, complejamente. Este ensamblaje caótico le da a la formación un rasgo fotogeológico altamente distinguible, por los bloques de caliza relativamente resistente con orientación irregular de tono pálido rodeados por fangolitas de tono oscuro.

Su potencia total en los cuadrángulos de Juliaca y Puno, es estimada entre 200 y 300 m. aunque esto sea incierto debido al grado de deformación. En el cuadrángulo de lagunillas se tiene cerca de 100 m. un secuencia poco plegada relativamente y bien estratificada aflora principalmente al SSO de la hacienda de la hacienda Andamarca (3300, 82708), donde hay cerca de 80.0 m. de areniscas y limolitas de grano fino, de color marrón rojizo con estratificación delgada, en capas de menos de 10.0 m. son comunes, marcas de ripple marks, superficies horadadas y grietas de desecación en los planos de estratificación. Esta sucesión probablemente descansa sobre la secuencia principal con caliza, pero las relaciones de campo no son claras.

c) Grupo Puno (TPu)

Gerthi (1915) describió por primera vez unas capas rojas areniscas y conglomerados, los cuales afloran inmediatamente al NO de la ciudad de Puno. Luego Cabrera La Rosa y Petersen (1936) le da el nombre de Formación Puno, posteriormente



estos sedimentos fueron mapeados ampliamente en la región del altiplano por Newell (1949), quien dio a la unidad la categoría del Grupo.

El término “Grupo Puno” es usado aquí como lo definió Newell (1949) e incluye una gruesa acumulación de sedimentos arcósicos de facies continental rojizos, mal clasificados, los cuales se acumularon en cuencas de subsidencia rápida durante el cretáceo Superior y el Terciario. El Grupo puede incluir dos o más unidades de distinta edad, pero solamente ha sido posible realizar una subdivisión informal durante el presente estudio.

Dentro del área del proyecto, el Grupo Puno aflora en el altiplano y la cordillera Occidental a lo largo de dos tramos principales (**Ver Anexo F**), una se extiende con una orientación NO-SE a lo largo del margen Occidental de lago Titicaca y la otra ocupa los ejes del Siclinal Mañazo y la depresión de Lagunillas, definiendo una faja ubicada al ONO de la ciudad de Puno.

Otros afloramientos aislados del grupo puno ocurren en la parte norte de los cuadrángulos de Condoroma y Ocuvi (2930, 83280 y 2840, 83360). Se asume que todas las áreas de los sedimentos originalmente gruesos han sido, al menos parcialmente preservados, aunque es difícil de determinar los efectos de erosión post-deposicional y la no deposición en la distribución de los afloramientos del Grupo Puno. Los sedimentos tienen un grosor máximo estimado aproximadamente 5.5 Km. (**ver anexo: F**) y sobreyace discordantemente a la formación calizas de Ayabacas y unidades más antiguas.

El grupo tiene una expresión fotogeológica distintiva caracterizada por un tono pálido, donde los sedimentos presentan un buzamiento abrupto y no bandeamiento debido a la intercalación de capas con diferentes resistencias a la erosión. La fotografía



desarrollada en los sedimentos es suavemente ondulada a montañosa y la exposición es generalmente buena.

El grupo Puno puede ser convenientemente subdividido entre facies de extensión regional una facie conglomerádica que comprende conglomerados masivos con pocas areniscas interestratificadas y una facie mixta, arenisca conglomerado, que consiste de areniscas con intercalación de conglomerado; y una facie constituida por areniscas y liomolitas con poca o ninguna interestratificación de conglomerados. Estas tres facies son completamente gradacionales.

d) Grupo Tacaza (TTa)

Fue estudiado inicialmente por Newell (1949), mientras que en 1966 Marocco y del Pino lo elevan a la categoría de Grupo, sus afloramientos más relevantes están caracterizados por la presencia de rocas sedimentarias tipo areniscas feldespáticas, gravas volcánicas y conglomerados, mientras que en otros sectores la secuencia es de andesitas, dacitas y piroclásticos, hacia el noroeste se expone una secuencia de derrames lávicos, tobas y piroclásticos, hacia el tope de toda la secuencia se interdigita al contacto con el Grupo Palca.

Su afloramiento más relevante se localiza en las cercanías de la mina Tacaza (Lagunillas), se encuentra suprayaciendo en discordancia angular a la formación Ayabacas e infrayaciendo al Grupo Palca, constituye la primera manifestación del vulcanismo cenozoico.

Se le considera a este grupo como la primera manifestación del vulcanismo cenozoico de la región. Dentro de los flujos lávicos se engloban diferentes facies de litología, la facie volcanosedimentario con presencia de arenas volcánicas, brechas, lavas afaníticas, cenizas, andesitas basálticas en algunos casos intercaladas con brechas,



andesitas afaníticas con un alto contenido de hornblenda, andesitas vesiculares, andesitas porfiríticas con alto contenido de plagioclasas, brechas volcánicas, líticos volcánicos y tobas.

Generalmente no presentan estratificación y en algunos casos son pobremente clasificados, siendo su matriz de arena guijarrosa o grava arenosa. Su litología está constituida por una secuencia volcánica y una secuencia sedimentaria.

La secuencia volcánica está constituida de derrames lávicos de composición andesítica, vesiculares, con contenido de minerales ferromagnesianos tipo augita, bloques de piroclastos, tobas a manera de ignimbritas, tufos, brechas volcánicas interestratificadas.

La secuencia volcánica está constituida de areniscas feldespáticas de tonalidades grisáceas, y que se intercalan con gravas volcánicas, así como niveles de conglomerados de clastos redondeados a subredondeados englobados en una matriz arenosa, con cuarzo y feldespato.

Por su posición estratigráfica a este grupo se le considera del Mioceno Superior - Oligoceno (Terciario Superior - Neógeno).

e) Grupo Palca (TPa)

Se encuentra encima del Grupo Tacaza y debajo del Grupo Sillapaca en discordancia angular, se expone en el poblado del mismo nombre, dentro del cuadrángulo de Ocuwiri, se caracteriza por presentar una secuencia de tobas y conglomerados tobáceos, con una potencia estimada de 398 metros.

La constitución litológica hacia la base es de conglomerados, arcillas tobáceas con horizontes conglomerádicos, cuyos clastos son subredondeados, intercalados con estratos delgados de areniscas de tonalidades rojizas, areniscas de color verdosas con



cemento calcáreo y horizontes delgados de calizas de color blanquecinas conglomerádicas y cruzada por venillas de calcita, tobas conglomerádicas silicificadas, tobas de color blanquecinas, areniscas gris verdosas de grano fino y culmina con arcillas volcanoclásticas afaníticas de color blanquecinas.

En la parte intermedia se expone una secuencia de conglomerados cuyos clastos son subredondeados originados de rocas volcánicas y calcáreas, de color blanquecinos y bloques erráticos de granodiorita alterada, cuyos diámetros son inferiores a 15 cm, las distribuciones de los clastos generalmente muestran una débil clasificación, se exponen también tobas lenticulares de grano fino de aspecto masivo y de tonalidad rosácea.

En la parte superior se expone una secuencia de tobas friables, de tonalidad rosácea, tobas silicificadas de color blanco verdosas, conglomerados con clastos de rocas volcánicas andesíticas, y culmina unas ignimbritas de composición riolítica con lapillis alargados, fragmentos angulosos de vidrio volcánico y cruzadas con venillas de calcedonia.

De acuerdo a su posición estratigráfica y en base a las dataciones geocronométricas efectuadas, se ha determinado una edad entre 11 y 16 millones de años, correspondiente al Mioceno Inferior (Terciario Medio a Inferior - Neógeno).

f) Grupo Sillapaca (TSi)

Fue estudiado inicialmente por Jenks y Newell (1949), presenta una horizontalidad y plegamiento suave, la secuencia se presenta con derrames lávicos de composición dacítica a traquiandesítica, su geoforma es de riscos y peñascos, descansa en forma concordante sobre el Grupo Palca y descansa sobre el Grupo Tacaza en discordancia angular.



Los productos volcánicos son considerados con edades de 16 a 10 Ma, y se encuentran representados por los centros volcánicos Vendisa, Turputa, Machucondori, Colquecahua, Callatía, Catchane, Zapanzalla, Peruani y Pilinco.

Hacia la parte inferior presenta flujos lávicos de composición dacítica a traquiandesítica, con fenocristales de plagioclasas y un conspicuo bandeamiento, en la base está conformando riscos, hacia la parte superior presenta lavas fluidas de composición dacítica a andesítica de tonalidades rojizas y contenido de fenocristales de plagioclasas. En algunos sectores contiene tobas en bloques, tobas lapillíticas con contenido de cuarzo corroído, sanidina y plagioclasa, continúa con cenizas de tobas, fluidos estratificados y lavas andesíticas con disyunción columnar.

En el Cerro Peruani contiene lavas de composición dacítica con fenocristales de biotita y augita de tonalidades grisáceas y dentro de una matriz traquiandesítica, mientras que en el cerro Chojchaña presenta depósitos piroclásticos, las lavas son principalmente de andesitas vesiculares con contenido de augita porfirítica dentro de una matriz traquítica y con algunos fenocristales de plagioclasa, contiene asimismo piroclásticos tipo aglomerados algunos con bombas aglutinadas y tobas.

Presenta una unidad volcanoclástica constituida de depósitos sedimentarios de grano grueso a medio, la capa más gruesa se observa en la base de las lavas, la andesita presenta una secuencia de flujos lávicos vesicular de color púrpura con intercalaciones de horizontes clásticos.

De acuerdo a dataciones radiométricas y su posición estratigráfica se le asigna una edad correspondiente al Mioceno Medio a Superior (Neógeno).



Presenta una unidad volcanoclástica constituida de depósitos sedimentarios de grano grueso a medio, la capa más gruesa se observa en la base de las lavas, la andesita presenta una secuencia

de flujos lávicos vesicular de color púrpura con intercalaciones de horizontes clásticos.

De acuerdo a dataciones radiométricas y su posición estratigráfica se le asigna una edad correspondiente al Mioceno Medio a Superior (Neógeno).

g) Cuaternario (Q-m/fgl/al)

Se caracteriza por presentar depósitos morrénicos y aluviales.

Los depósitos morrénicos se caracterizan por la heterogeneidad de sus componentes, están constituidos de una mezcla de bloques y fragmentos angulosos de composición volcánica, estriadas y englobadas dentro de una matriz de grano fino a grueso, el grosor de estas acumulaciones se ha estimado entre 50 y 90 m.

Estos depósitos se encuentran en su mayor parte afectados por los agentes de remoción quedando en algunos casos pequeños remanentes aislados y restringidos a los flancos de los conos volcánicos o áreas elevadas. Se ha diferenciado morrenas laterales y frontales configurando formas topográficas alargadas y las morrenas de fondo conformando zonas llanas u onduladas. Algunas veces los bloques de lava están muy fracturados, o muestran estrías.

Los depósitos aluviales se exponen como materiales no consolidados constituidos de arenas, gravas, limos y algunos niveles de tufos, se presentan a manera de llanuras aluviales, terrazas aluviales y depósitos de fondos y flancos de quebradas, también están conformando zonas de topografía moderada y gradientes de flujos bajo, así como zonas

muy erosionadas, los materiales se han originado de rocas que han sufrido una fuerte denudación por la acción de intemperismo reinante en la zona, Anexo: F.

h) Acceso y distancias

Se accede mediante vía área Lima-Juliaca y posteriormente en carretera asfaltada hasta la localidad de Llalli, continuando en carretera afirmada hasta las instalaciones de la unidad minera en un tiempo aproximado de 2 horas y 30 min. desde Juliaca.

Cuadro 8

Acceso y Distancias a zona de estudio (Fuente: Elaboración Propia)

TRAMO		Distancia (Km)	Tiempo (Hrs)	Tipo de Vía	Conservación
Vías de Acceso	Juliaca - Ayaviri	90 Km.	1:10'	Asfaltada	Buena
	Ayaviri -Chuquibambilla	19 Km.	0:10'	Asfaltada	Buena
	Chuquibambilla - Llalli	24 Km.	0:30'	Afirmada	Regular
	Llalli - Las Águilas	38 Km.	0:40	Afirmada	Regular
	TOTAL	171 Km.	2:30'		

Ver vías de Acceso Anexo: M

3.8.6. Fisiografía

a) Relieve y Topografía

El relieve se caracteriza por ser de suave a abrupto pasando por unas superficies moderadas en los alrededores de la actual exploración de Úrsula. Las zonas de mayor pendiente se ubican hacia el norte y se pueden observar algunos farallones en la zona donde se ubica el polvorín. Del mismo modo, desde el inicio de la quebrada Chaquilla en dirección a Úrsula (hacia el norte) se observa una superficie que cambia de moderada a abrupta hasta alcanzar altitudes mayores de 5,000 m.s.n.m.



El drenaje es dendrítico siendo el río Chaquilla el principal colector de las aguas de escorrentía temporal de las quebradas de Cellococha, Acallacce, Sequeña y Lloque que juntos forman el río Antaymarca que discurre al río Ocuvi.

El valle principal correspondiente al río Chaquilla es una acumulación de depósitos de morrenas glaciáricas con escasos suelos para aprovechamiento agrícola. Estas zonas son aprovechadas para los sembríos de pastos para ganados, pero mayormente crecen pastos naturales durante la temporada de lluvias.

b) Clima y Vegetación

La climatología es muy similar a los proyectos Poderosa y Nuñoa con la diferencia que en Águilas hay mayores ventiscas y las lluvias mayormente son sólidas en la época de precipitaciones pluviales de diciembre hasta marzo principalmente y ocasionalmente hasta algunos días de abril. El clima mayormente es frío y seco desde mayo hasta noviembre y son muy remarcadas las ventiscas que ocurren de mayo a octubre. La temperatura promedio durante el año es de 8° a 10° C.

La flora es muy escasa y se limita a los pastos naturales raquíuticos y la presencia del Ichu en toda el área. No se observan arbustos salvo el rebrote de las puyas de Raymondi, 7 km. al este del campamento minero.

c) Recursos Naturales y Alimenticios

La ganadería predominante es de alpacas de una especie denominada “Guacaya” y algunos “Suri”. En segundo lugar, existen vacunos, ovinos y algunos animales de carga como las llamas.

La agricultura está representada mayormente por el sembrío tradicional de pastos para su ganadería, esto es debido a la altitud mayor que en las zonas de Umachiri y Llalli donde se cultivan papas, quinua, cañigua, avena y cebada.



La minería en el distrito está limitada a un proyecto de gran minería de la empresa ARASI S.A.C. y a nuestro pequeño proyecto de exploración ubicada exactamente en la concesión Águila Nueva 1. Existen zonas de interés geológico-minero en nuestros alrededores pero que no están siendo exploradas en la actualidad.

d) Geología Local

La Unidad Minera Las Águilas se encuentra emplazada en depósitos volcánicos pertenecientes al Grupo Tacaza, consistente en un miembro inferior predominantemente de rocas piroclásticas y un miembro superior con un predominio de lavas volcánicas de composición andesítica. Estas rocas se encuentran cubiertas por depósitos morrénicos, fluvio-morrénicos y aluviales, en la zona se presenta estructuralmente las vetas Ursula, Marisol y Victoria, el sistema Ursula presenta una orientación de N 65° - 75° E con inclinación que varía de 60° - 80° al sureste, **ver Anexo: N.**

e) Estratigrafía

Nuestro ámbito de naturaleza regional ha sido considerado en una extensión de 21 km. x 14 Km., donde se puede apreciar que casi la totalidad de esta área está cubierta por rocas del vulcanismo terciario del Oligoceno y Mioceno.

3.8.7. Mesozoico

a) FORMACIÓN AYAVACAS (K-ay)

A 3 km. al oeste y a 7 km. al norte del poblado de Ocuviuri existen pequeños afloramientos de calizas gris azuladas de grano fino, estratificación caótica y escasamente fosilífera dentro de una secuencia de escasas limo arcillitas y lodolitas rojo brunáceos. Debido a su poca extensión superficial y por la cobertura mayormente volcánica no se pueden distinguir otros rasgos litológicos o estructurales y ésta es la única formación calcárea en el área de nuestra unidad minera Águilas. En las descripciones geológicas de las unidades Poderosa y Nuñoa se describen con mayores características



debido a que regionalmente son predominantes y se han tomado vistas fotográficas de tales áreas, más no en el presente estudio.

3.8.8. Cenozoico

a) GRUPO PUNO (T-Pu)

La localidad de Ocuvi se encuentra ubicada sobre estas rocas. Regionalmente es un afloramiento aislado (Cerro Charapura) y consiste en una secuencia de areniscas arcósicas con conglomerados comunes, escasas limolitas y calizas acompañadas de pequeños horizontes tufáceos. Las areniscas son feldespáticas, de color rosado o marrón rojizo, bien clasificadas y de tamaño de grano muy variable. Esta secuencia se encuentra en sobrecurrencia con las calizas Ayavacas al NW de Ocuvi. Se le atribuye como piso al Oligoceno.

b) GRUPO TACAZA (T-Ta)

El grupo Tacaza en la región es una secuencia constituida por depósitos de ambiente lagunar y derrames volcánicos de naturaleza lávica, piroclástica y aglomerádica de edades del Terciario medio a superior. Sin embargo, localmente se emplazan volcánicos andesíticos en general gris verdosa con fenocristales blanquecinos feldespáticos donde en algunos lugares la meteorización le da apariencia rojiza oscura por la descomposición de los minerales ferromagnesianos. Este es el tipo de roca huésped de la mineralización de Úrsula y más hacia el norte del sistema de vetas Victorias y Marisol.

Con el desarrollo de los niveles 4369 y actualmente el 4330 se ha determinado una secuencia de un conglomerado sub-volcánico pobremente clasificado con clastos y granos subredondeados de andesita de 30 hasta 40 cm. en matriz de fragmentos de roca y arena de cuarzo y feldespato, calcita y arcilla, moderadamente compactadas, característica típica de depositación en ambiente sub-acuático de poca profundidad.

También se observa en la zona donde se han esculpido por erosión las figuras en forma de águilas, lava andesítica de textura porfirítica debido a sus cristales de plagioclasas y de naturaleza hipoabisal.

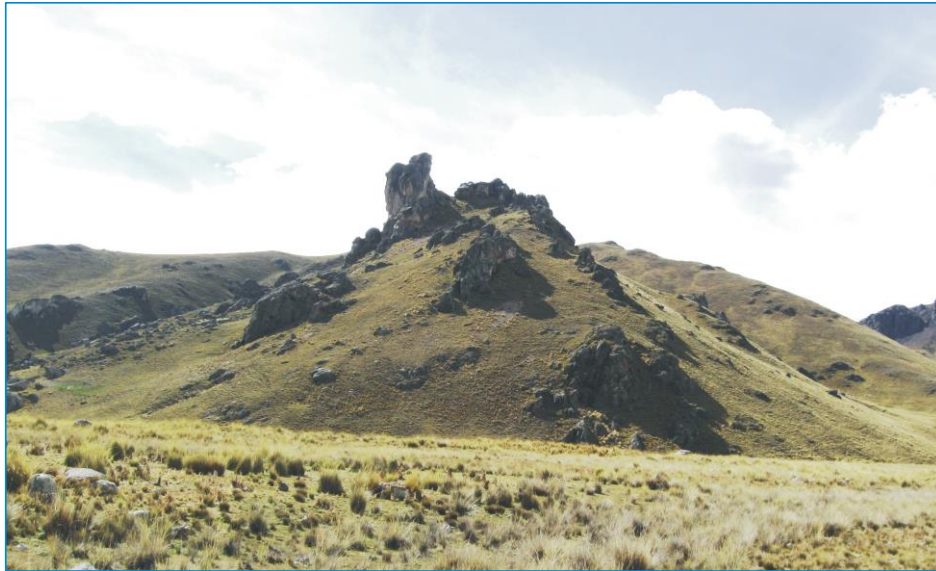


Figura 29. Afloramiento de lava andesítica con textura porfirítica.

Las partes superiores con respecto a Úrsula son una secuencia de flujos de lavas visiblemente estratificados y que dan la apariencia de posible domamiento volcánico cuyo centro de influencia aparentemente está erosionado y se ubica aproximadamente entre Úrsula y la zona de San Cristóbal. Sin embargo, a la fecha de la presentación del presente informe se está ejecutando el mapeo superficial que nos permitirá más tarde interpretar mejor las secuencias volcánicas y su relación a la mineralización que se encuentran emplazadas en ellas.

Regionalmente este grupo es una secuencia más compleja y de gran potencia consistente en andesitas augíticas-olivínicas, intercaladas con sedimentos tobáceos, areniscas tufáceas y arcósicas de grano medio a grueso finamente estratificados con ocasionales capas conglomerádicas que contienen abundantes gravas volcánicas. Las descripciones de otras diferentes secuencias como de las areniscas arcósicas o

conglomerados masivos, soportados por clastos con bloques subredondeados a subangulares hasta de 60 cm. de calizas grises, cuarcíticas y areniscas rojizas aflorantes en otras diferentes áreas tampoco forman parte integral del estudio para nuestro yacimiento minero. A este grupo también se le atribuye al piso del Oligoceno.



Figura 30. Bocaminas de los niveles 4369 y 4330 de la mina Águilas marcadas con flechas, Flujos de Lavas andesíticas del Tacaza

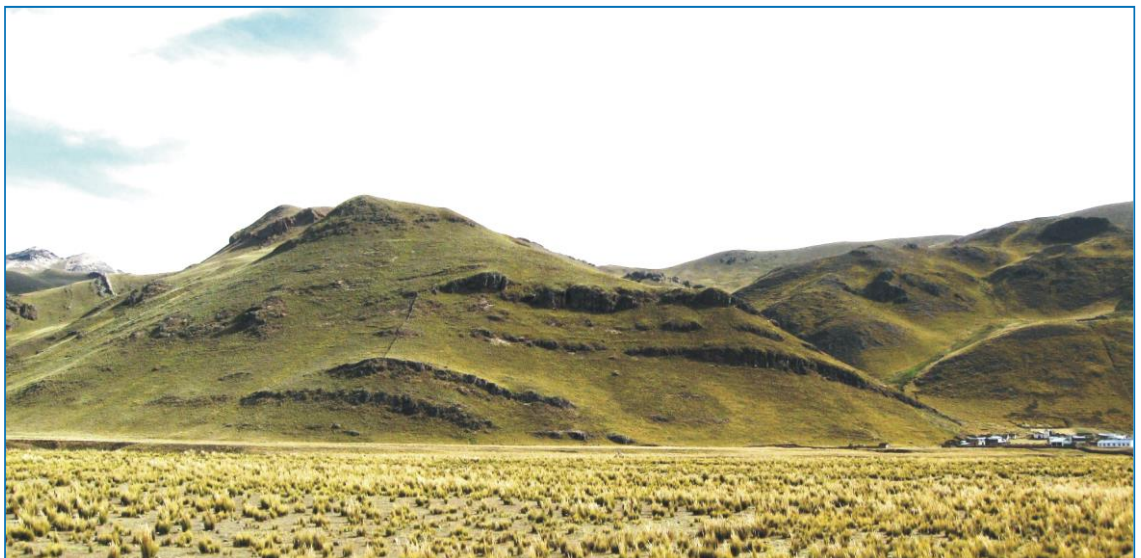


Figura 31. Flujos de lavas andesíticas Tacaza con notable estratificación en ambiente subaereal, Al fondo a la derecha el poblado de Caycho. 7 Km. antes de Águilas.



c) GRUPO PALCA (T-Pa)

Este grupo toma el nombre del poblado de Palca, carretera de Águilas hacia Lampa pasando por Vilavila. Es una secuencia mayormente ignimbrítica que descansa en discordancia angular sobre el grupo Tacaza. Los afloramientos principales de este grupo se encuentran claramente expuestas al Sur y Este del poblado de Ocuvi, y al extremo SE de nuestra área donde se describe la geología regional. Los planos de juntas que presentan estas rocas facilitan la erosión formándose zanjas y dando un aspecto de fracturamiento en los afloramientos produciéndose bordes prominentes.

Las ignimbritas y algunas secuencias tobáceas forman una superficie de plataforma disectada a una cota aproximada de 4600 m. hasta 5000 m. con notable intemperismo muy notable al Sur de la carretera desde el desvío hacia nuestro yacimiento minero. Pertenece al Mioceno inferior.

d) GRUPO SILLAPACA (T-Si)

Esta secuencia rocosa descansa en forma concordante sobre el grupo Palca y en forma discordante sobre el grupo Tacaza. Exposiciones muy visibles existen al Este del poblado de Ocuvi, a dos o tres kilómetros saliendo de dicho poblado hacia la mina Águilas.

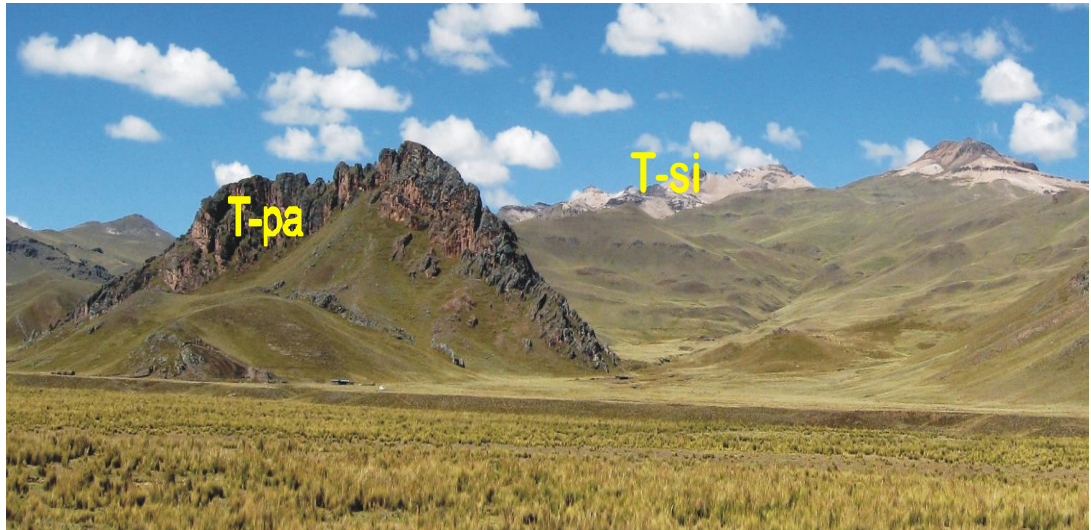


Figura 32. Afloramientos rocosos de los Grupos Palca y Sillapaca al Sur de la mina Las Águilas, Nótese el ligero plegamiento de las rocas del Palca.

La secuencia está dominada por lavas intermedias principalmente dacíticas a traquiandesíticas y alcalinas, que geomorfológicamente son riscos abruptos a manera de pequeños farallones. Mantiene una horizontalidad o suaves plegamientos con diferentes “plunges” y difíciles de distinguir a simple vista. Este grupo es del piso Mioceno superior.

3.8.9. Depósitos cuaternarios

A. Depósitos Morrénicos (Q – mo)

Constituidos por fragmentos de rocas volcánicas del grupo Tacaza de diferente clasificación granulométrica y que se encuentran depositadas en las laderas de los cerros con moderada pendiente y también como cobertura de la veta Úrsula, de manera que el nivel 4369 en su desarrollo hacia la norte llega a cortarlo por debajo de los 5 a 10 metros de la superficie, a manera de un pequeño “valle glaciar”. Estos depósitos ocultan los probables afloramientos de la estructura de la brecha Úrsula y del sistema de fracturamiento que emplazan mineralización de sulfuros.



B. Depósitos Fluvioglaciares (Q – Flg)

Estos depósitos están formados por el proceso fluvial y el proceso glacial; los materiales conformantes de estos depósitos son heterogéneos en cuanto a la forma y al tamaño, mayormente con bloques redondeados de dimensiones diversas, cementados por materiales finos (arenas, limos y arcillas) dando lugar a los conglomerados, las cuales están depositas en los cerros de moderada pendiente sobre la cobertura de las morrenas.

C. Depósitos Aluvial (Q – al)

Estos depósitos están constituidos por acumulaciones de gravas y arenas y limos de diferente granulometría en la cuenca del río Chaquilla y en las quebradas de los tributarios del drenaje ya descrito. La clasificación de estos depósitos es pobre de modo tal que no existen secuencias uniformes, más bien heterogéneas como se observa en el corte del lecho del río Chaquilla, **Ver Anexo: O.**

3.8.10. Geología económica

a) ESTRUCTURAS MINERALIZADAS

- Veta Úrsula

Se encuentra emplazada en una roca volcánica de naturaleza lávica y de composición andesítica con textura porfirítica de granulometría media a fina. La zona de fracturamiento con Azimut NE-SW (45°) ha emplazado un autobrechamiento volcánico monomítico de clastos subredondeados y subangulosos de tamaños centimétricos hasta decimétricos y que debido a su naturaleza porosa y permeable se ha mineralizado por eventos hidrotermales rellenando los bordes de los clastos, las microfracturas de los clastos y también han diseminado finamente dentro de la misma masa de la autobrecha, y en algunas zonas de mayores aberturas porosas el mineral se ha emplazado en forma masiva dando la impresión de ser “clastos” de mineral de sulfuros de Pb y Zn.



Figura 33. Emplazamiento de mineral de Pb y Zn de la veta Úrsula en una autobrecha andesítica, Nótese la abundante specularita y hematita.



Figura 34. Bloque brechado de la veta Úrsula con mineralización de galena, blenda rubia, calcita y venillas de cuarzo y abundante specularita.

El estudio de la denominada veta Úrsula expuesta por el desarrollo de la estructura hasta la fecha nos permite hacer las siguientes apreciaciones:



- a) La autobrechación es una fragmentación de un flujo de lava que estuvo en proceso de enfriamiento de consistencia más viscosa que en las partes inferiores del canal de dicho flujo estuvo sujeta luego a fuertes esfuerzos locales que comúnmente afectó las partes más superficiales. El canal que referimos obviamente es una fractura.
- b) Las texturas originales de la autobrecha han sido modificadas significativamente por la influencia hidrotermal mineralizante primaria y posterior alteración también hidrotermal, afectando los bordes de los clastos, fracturamiento irregular dentro de los clastos (jigsaw-fit breccia).
- c) Debido a la no uniformidad de la granulometría de los clastos de la brecha y consiguiente heterogeneidad de la porosidad, la mineralización se ha emplazado en forma de pequeñas y medianas concentraciones a modo de cuerpos irregulares también distanciadas irregularmente. Por consiguiente, para calcular la bondad y tamaño de estas concentraciones requiere mayores desarrollos exploratorios mediante laboreos mineros verticales y en profundidad. Con el hueco diamantino DDH-AGUI-04 ejecutado a mediados del mes de julio del 2009, se ha determinado la continuidad de esta veta por debajo de los 100 m. del nivel 4330, mostrándonos concentraciones minerales por tramos tal como se aprecian en los niveles ya desarrollados.

- **Veta Úrsula Ramal 1**

Sigue el mismo patrón de fracturamiento que la veta Úrsula. Es un ramal o split con Azimut que varía 20° hacia el NE con respecto a la veta Úrsula. Tiene las mismas características de emplazamiento mineral y alteraciones, potencias irregulares a lo largo de su desarrollo y actualmente su frente la Gal.980 NE se

encuentra mineralizado, por lo que su elongación es mayor que lo que se ha cubicado hasta el momento.

- **Veta Úrsula 1**

Pasando la zona de brecha mineralizada hacia el NE (más concretamente casi hacia el Norte) se encuentra la lava andesítica color verdosa con fracturamiento mayormente de tendencia NE-SW ($60^\circ - 65^\circ$) donde se ha cortado y desarrollado la veta que se ha denominado como **Úrsula 1** y que además de los sulfuros de Pb y Zn muestra un incremento en el contenido de oro péptico, al parecer en solución sólida con la calcopirita que al hacerlo reaccionar con ácido nítrico concentrado deja claramente unas charpas de oro de diferente tamaño y forma con el brillo característico del oro nativo.



Figura 35. Veta Úrsula 1 interceptada por la Gal. 977 NE.

Galena y blenda masivas, con vetillas de calcita y cuarzo. Nótese la cloritización con bandas de hematita, La potencia de la veta en esta zona es de 4.50 m.

Esta zona lávica también presenta disseminaciones de mineral relacionadas al fracturamiento sistemático y microfracturamiento de la

masa en sí con contenidos menores de sulfuros de Pb y Zn y oro nativo dentro de las microfracturas. Esta veta no aflora, está limitada por un conglomerado subvolcánico en altura en un promedio de 25 m. sobre el nivel 4330.

El desarrollo de la veta Úrsula 1 en el nivel 4330 tanto en forma horizontal como vertical nos ha permitido determinar potencias mineralizadas desde 2.50 m. hasta 4.00 m. en promedio. Por otra parte, dos huecos diamantinos debajo de 50 y 100 m. del nivel 4330 comprueban la continuidad de la mineralización económica.



Figura 36. Corona de la Chimenea 428, veta Úrsula 1 con mineral de galena, blenda, oro péptico en puntos, vetillas de calcita y franjas de hematita.



Figura 37. Mineralización de la Veta Úrsula 1. Tope de la Gal 430 SW. limonita.

Nótese el redondeamiento de clastos producto, del tectonismo de la veta-falla.



Figura 38. Gal. 430 SW, veta Úrsula 1 donde no se notan cajas, definidas porque la veta es más potente que la galería.

- Veta Úrsula 2

A los 115 m. al NW de la veta Úrsula1 se ha interceptado otra veta casi con el mismo patrón de fracturamiento que hemos denominado veta Úrsula 2 con mayor



proporción de plomo respecto a la veta Úrsula 1, La estructura es de menor potencia, hasta 1.70 m. en las zonas puntuales de mineralización y también está limitada en altura por el mismo material rocoso de la veta Úrsula 1. Por otra parte, esta veta ya ha sido interceptada a 80 m.

3.8.11. Alteraciones hidrotermales

La roca colindante con la brecha (vetas Úrsula y Úrsula Ramal 1) presenta mayormente halos de argilitización moderada, con fuerte cloritización y débil propilitización, y en la zona lávica (vetas Úrsula 1 y Úrsula) se observa débil argilitización y cloritización y zonas puntuales de moderada silicificación. Esto es en cuanto a las alteraciones hidrotermales.

Las alteraciones secundarias o meteóricas mayormente se manifiestan como limonitización y hematización que posiblemente provengan de la descomposición de los minerales ferrosos de la roca y de la pirita primaria emplazada con los otros sulfuros de Pb y Zn.

3.8.12. Mineralogía y guías mineralógicas

Los minerales de mena son la galena, blenda rubia, escasa calcopirita y oro péptico asociado a la calcopirita. Los minerales de ganga son pirita finamente diseminada, especularita, calcita y cuarzo sacaroideo en vetillas y menor proporción.

Los minerales guías de la veta Úrsula y Úrsula Ramal 1 son la especularita en buena proporción, calcita finamente cristalizada y cuarzo en vetillas ligadas a las zonas de mayor concentración de sulfuros económicos. En la veta Úrsula 1 y Úrsula 2, las guías mineralógicas son típicamente la calcita en vetillas y la hematita en proporciones casi similares donde la mineralización económica presenta mayor concentración.



3.8.13. Control estructural

Evidentemente el principal control estructural es la tendencia del fracturamiento y fallamiento local de rumbo NE-SW que son preminerales y que sirvieron de canales de emplazamiento de los fluidos mineralizantes. Existe otro sistema post mineral transversal al fracturamiento primario donde la estructura de veta principalmente (veta Úrsula 1) tiende a inflexionar y empobrecer la mineralización manifestando sólo mineral de arrastre de baja ley y con visibles espejos de falla milonitizada (gouge).

Por otra parte, la veta Úrsula y Úrsula Ramal 1 o más específicamente la zona de brecha está limitada por fallamientos no bien definidos y se presentan más bien como zonas de fallas con movimientos variables y de diferentes orientaciones de modo tal que no existen aparentemente patrones definidos de las direcciones de tales desplazamientos. Al parecer dos factores primordiales primaron en estas zonas de fallas, primero los diferentes pulsos magmáticos de los flujos de lavas y segundo la orogenia evolutiva en las zonas de debilidad de las rocas pre formadas.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CORRELACIÓN GEOLÓGICA - GEOFÍSICA

La interpretación geofísica describe los resultados obtenidos en este estudio, donde la ubicación de los contactos y las tendencias anómalas inferidas se basa exclusivamente en los resultados geofísicos de los parámetros medidos.

A pesar de que la correspondencia geofísica-geológica es por lo general buena, algunos contactos y tendencias anómalas inferidas de los resultados geofísicos no siempre siguen a aquellos mostrados en los mapas y en secciones geológicas, por su propia complejidad que depende de muchas más variables y parámetros que los medidos.

En Refracción Sísmica el resultado final, es una sección 2D (distancia – profundidad) que muestra el grado de compactación del subsuelo de acuerdo a las velocidades presentadas, que posteriormente puede ser correlacionada geológicamente.

En tabla 4 se muestra la relación existente entre las velocidades y la ripabilidad del terreno con una descripción del material que podría estar constituyéndolo.

Cuadro 9

Grado de Ripabilidad de acuerdo a la velocidad de las Ondas “P”

VELOCIDAD ONDA P	RIPABILIDAD DEL TERRENO	DESCRIPCION
$V_p < 1 \text{ Km/s}$	Excavable	Material cuaternario
$1 \text{ Km/s} < V_p < 2 \text{ Km/s}$	Ripable	Material con grado de compactación media
$2 \text{ Km/s} < V_p < 3 \text{ Km/s}$	Marginal	Material con mayor grado de compactación
$V_p > 3 \text{ Km/s}$	Volable	Roca

El método de inversión intenta encontrar un modelo de la sub-superficie terrestre que responda a datos medidos en el terreno. En la aplicación del método, es bien conocido el problema de la no unicidad, es decir, la existencia de un amplio rango de modelos capaces de responder a los mismos datos de IP/Resistividad aparente, para reducir el rango de modelos posibles se utilizan supuestos sobre la naturaleza de la sub-superficie, junto a datos previos de la geología (intrusivos ígneos en rocas sedimentarias, depósitos de cuerpos masivos, etc.) que permitan establecer el modelo de inversión más apropiado.

Los modelos de resistividad y cargabilidad que a continuación se muestran son representativos del área de estudio, donde el background de la resistividad y cargabilidad son el resultado del total de medidas realizadas en cada una de las secciones; esto; con la finalidad de poder establecer mediante contrastes de resistividades los posibles **Contactos y/o lineamientos Geoeléctricos** (Resistividad); y así como la presencia de **Cuerpos Polarizables** (Cargabilidad alta) asociados a las mayores concentraciones de sulfuros.

4.2. VALORES DE CARGABILIDAD EN ZONAS ANÓMALAS CON MAYOR PRESENCIA DE SULFUROS EN PROFUNDIDAD.

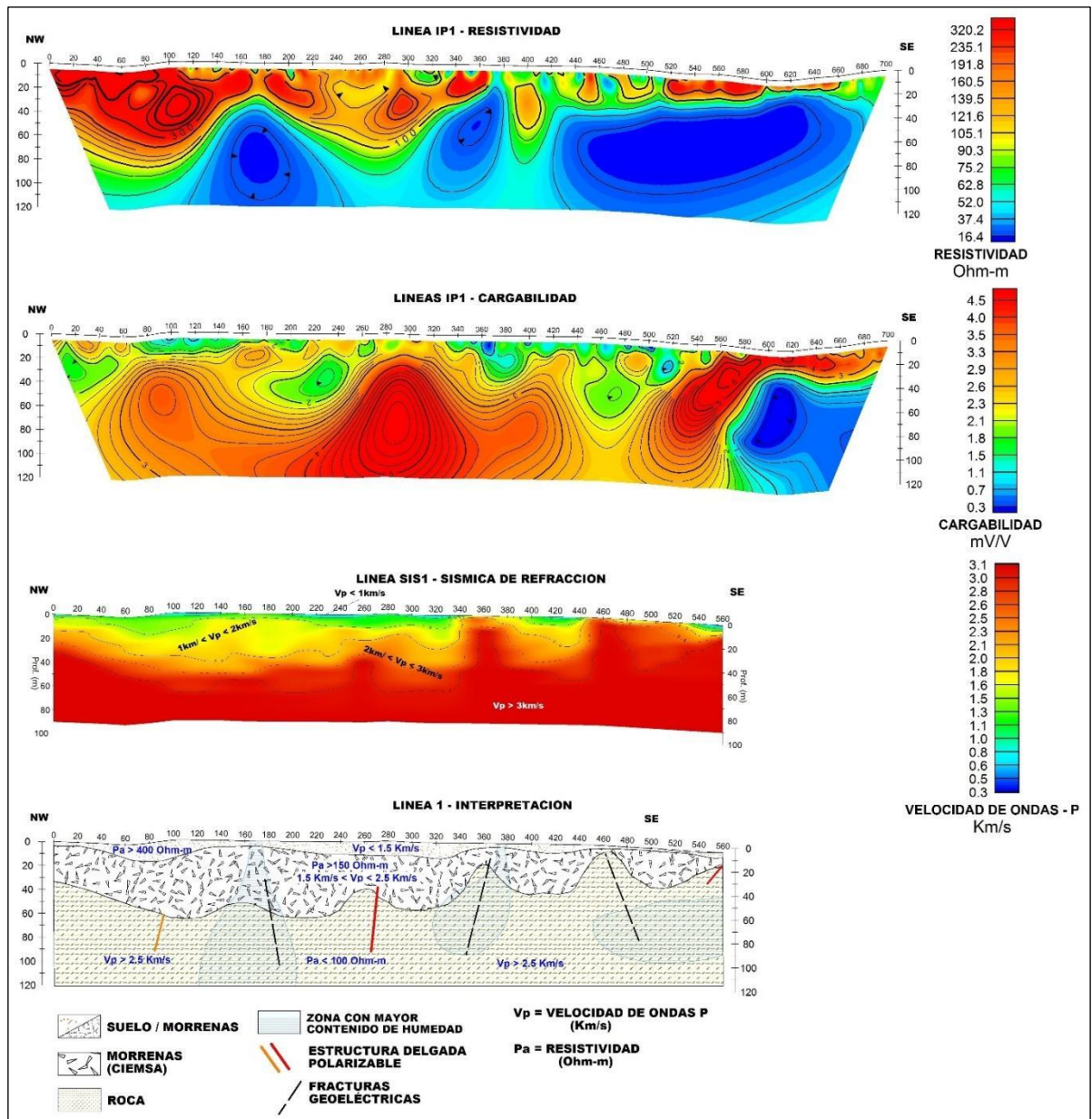


Figura 39. Línea 1 de Refracción Sísmica

LINEA IP1 – RESISTIVIDAD

En la sección con dirección NW – SE, se ha definido en la capa superior la presencia de resistividades altas (>200 Ohm-m) en superficie, con espesores variables entre 10m y 80m que podría estar relacionada a la presencia de un material poco



consolidado que según la geología de la zona corresponden a depósitos morrénicos; la presencia de fracturas (estaciones 170, 375 y 410) sirven como vías por donde se infiltra aguas superficiales en profundidad, alterando al material presente haciendo que se presente una zona de debilitamiento en la roca.

LINEA IP1 – CARGABILIDAD

Los Valores de cargabilidad son bajos debido a la presencia de sulfuros de plomo y zinc, por lo que en la línea la mayor concentración de cargabilidades moderadas-altas tienen valores mayores a 2 mV/V, donde se puede inferir tres estructuras delgadas polarizables en las estaciones 100, 300, 560 a 30 m de profundidad aproximadamente.

LINEA SIS1 – SISMICA DE REFRACCION

En la sísmica los valores menores a 1.5 Km/s cuyo espesor se ve disminuido entre las estaciones 350 a 370 y 450 a 530 con un espesor de hasta 10m aproximadamente, compuesto por material no consolidado. El material de mayor compacidad con velocidades mayores a 2.5 Km/s presenta un relieve discontinuo donde al SE se encontraría más superficial, mientras que por las estaciones 350 a 450 profundizaría, encontrándose a su vez fracturado.

LINEA 1 – INTERPRETACION

En la interpretación de esta línea se muestra una capa angosta desde superficie hasta 10m de profundidad de un material de suelo-morrena y desde los 10m a 60m de profundidad aproximadamente se observa la zona no consolidada (morrenas) delineando un contacto irregular y ondulado con la roca andesita. A profundidad hasta los 120m continua roca con zonas de debilitamiento por fracturación con presencia de contenido de humedad.



En la sección con dirección NW – SE, se ha definido en la capa superior la presencia de resistividades altas (>200 Ohm-m) en superficie, con espesores variables entre 10m y 80m que podría estar relacionada a la presencia de un material poco consolidado que según la geología otorgada por el cliente pueden tratarse de depósitos morrénicos; la presencia de fracturas (estaciones 170, 375 y 410) sirven como vías por donde se infiltra aguas superficiales en profundidad, alterando al material presente haciendo que se presente una zona de debilitamiento en la roca.

Los Valores de Cargabilidad son bajos debido a la presencia de sulfuros de plomo y zinc, por lo que en la línea la mayor concentración de cargabilidades moderadas-altas tienen valores mayores a 2 mV/V, donde se puede inferir tres estructuras delgadas polarizables en las estaciones 100, 300, 560 a 30 m de profundidad aproximadamente.

En la sísmica los valores menores a 1.5 Km/s cuyo espesor se ve disminuido entre las estaciones 350 a 370 y 450 a 530 con un espesor de hasta 10m aproximadamente, compuesto por material no consolidado. El material de mayor compacidad con velocidades mayores a 2.5 Km/s presenta un relieve discontinuo donde al SE se encontraría más superficial, mientras que por las estaciones 350 a 450 profundizaría, encontrándose a su vez fracturado.

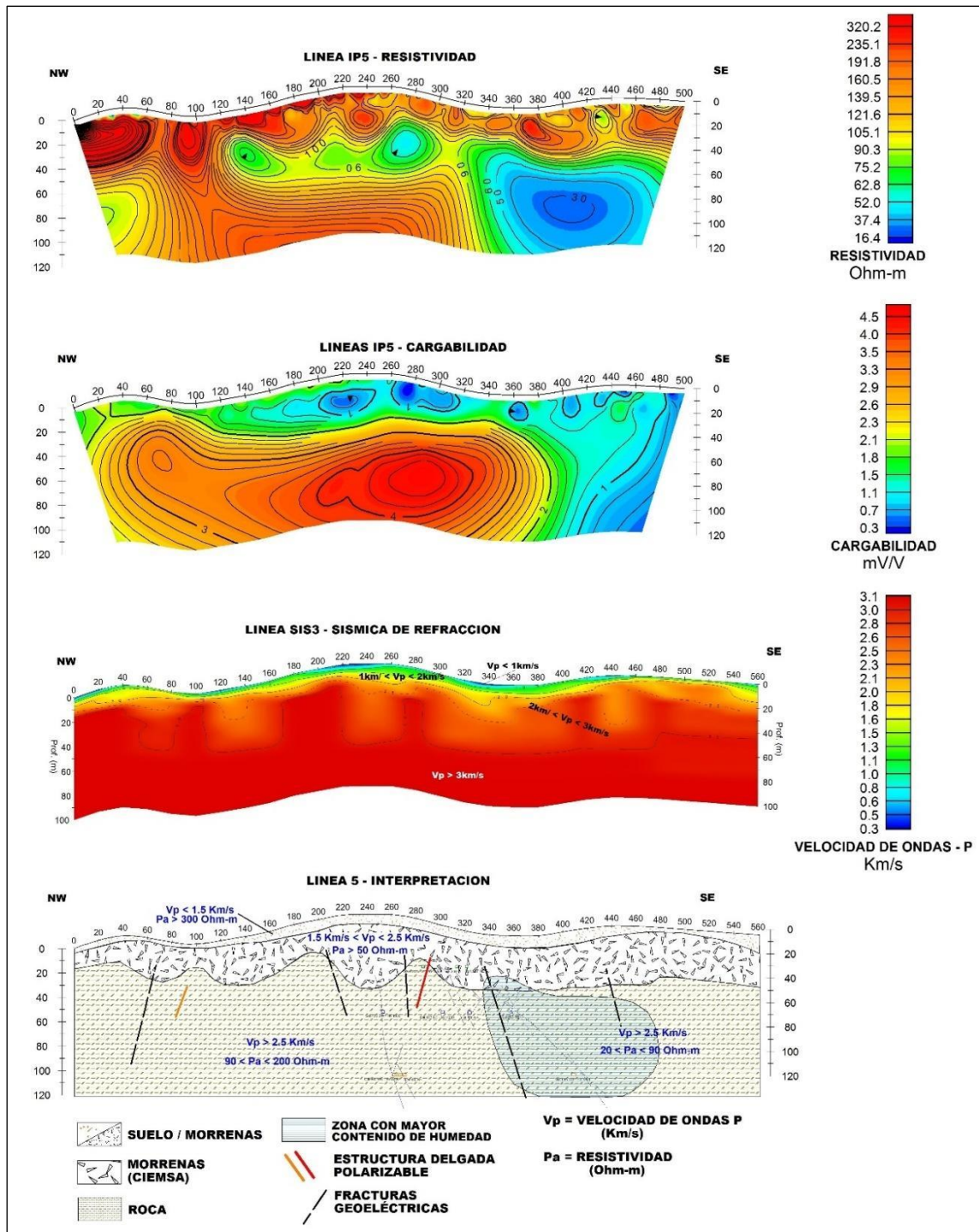


Figura 40. Línea 5 de Refracción Sísmica

La sección presenta cinco fracturas geoelectricas, de las cuales resalta una en la estación 330, donde las resistividades bajas definidas al SE estarían relacionadas a la presencia de materiales fuertemente fracturados. Las resistividades más altas se definen



hasta los 40 metros aproximadamente, con valores mayores a 160 Ohm-m relacionado a un material más competente, con excepción de una zona de resistividades bajas menores a 90 Ohm-m en la que se observa una mayor presencia de humedad, Ver Anexo: (P & Q)

Se observan cargabilidades moderas-altas hasta la estación 380 de las que se puede inferir dos estructuras polarizables en la estación 100 de valores moderados (> 2 mV/V) y en la estación 300 con valores altos (> 4.5 mV/V), ambos se ubican en valores de resistividades altas.

En la sección sísmica se define un horizonte de relieve irregular definido a profundidades variables, debido posiblemente a una fuerte alteración en sus constituyentes y a partir de la estación 290 un material de menor compacidad más uniforme con una profundidad de 40 metros y valores menores a 2.5Km/s.

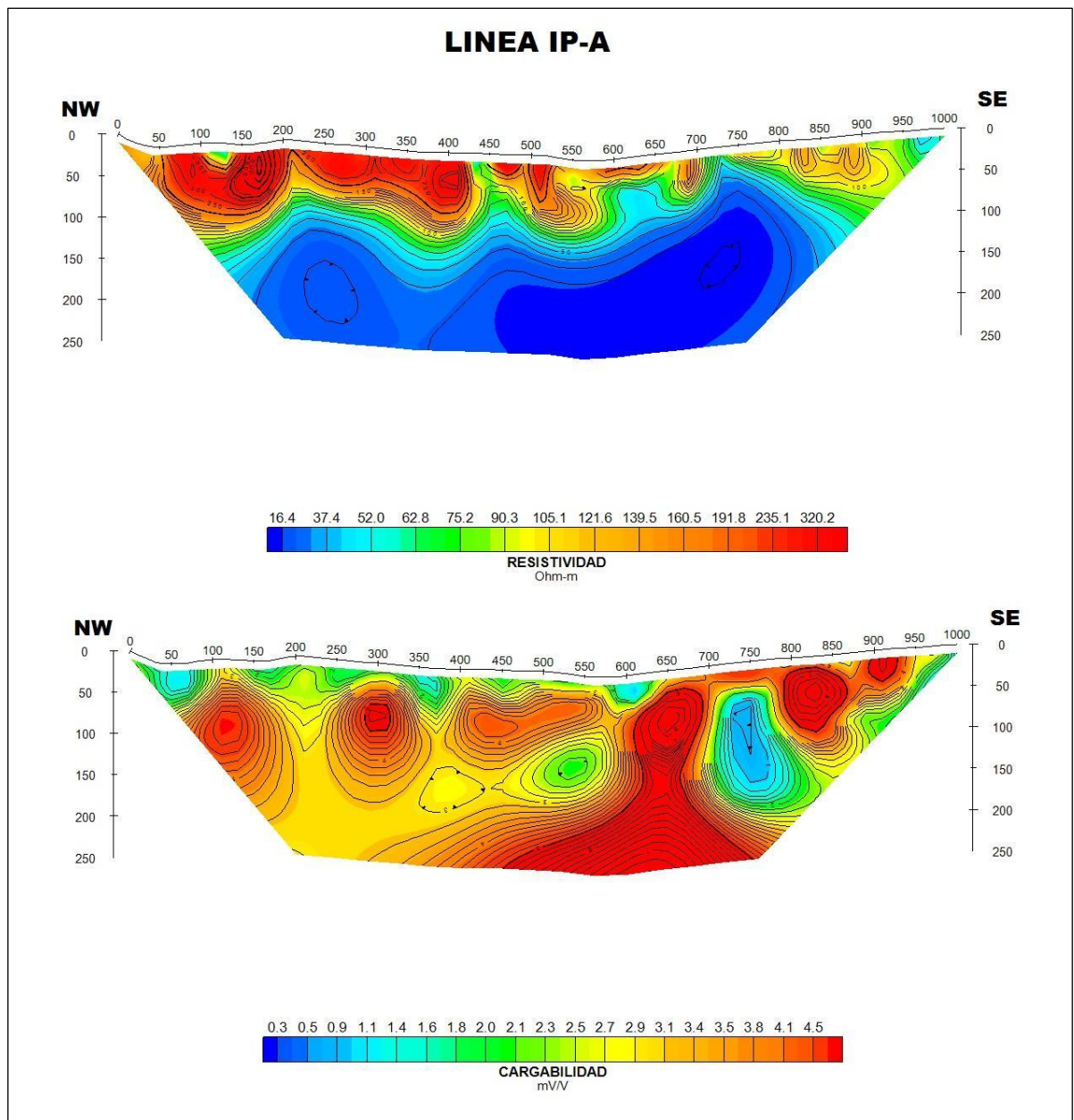


Figura 41. Línea IP-A

La sección con dirección NW - SE, tiene cuatro fracturas geoelectricas en las estaciones 200, 430, 670 y 730. Las resistividades moderadas-altas se presentan a lo largo de la línea con valores mayores a 200 Ohm-m las cuales van disminuyendo en profundidad hacia el SE en donde se encuentran las resistividades bajas que se estarían relacionando a la presencia de materiales fuertemente fracturados, alterados y con una mayor presencia de humedad.

Las cargabilidades más altas se encuentran en las estaciones 140, 300, 650 y 830 con valores mayores a 4 mV/V. En la anomalía de la estación 650 se observa una mayor amplitud de cargabilidades por lo que se ha propuesto una perforación (DDH 1).

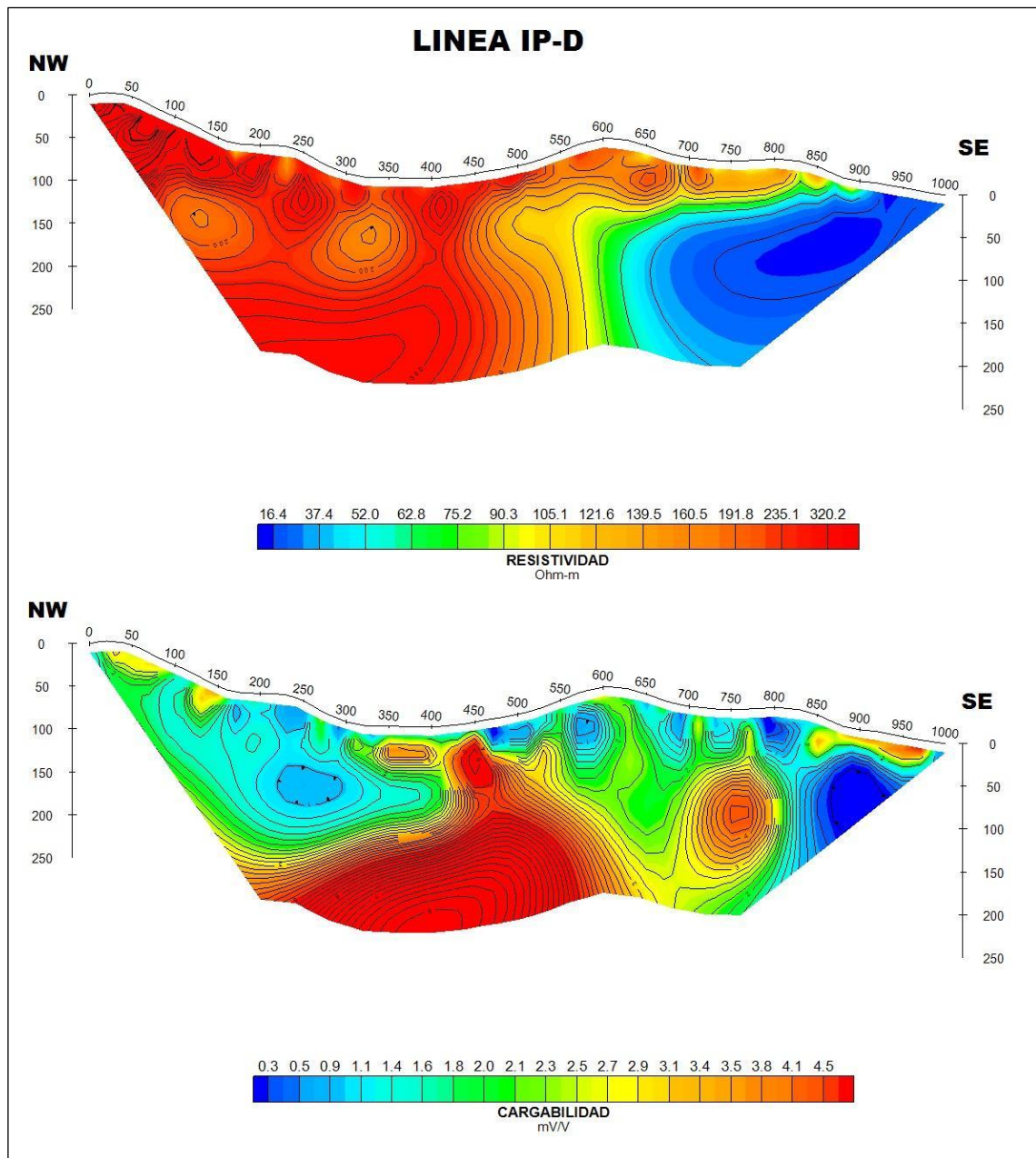


Figura 42. Línea IP-A



En la sección de resistividad se observa una fractura geoelectrica en la estación 550 que delimita un contraste entre resistividades altas y resistividades bajas. Las resistividades moderadas-altas se presentan en la parte nor-oeste de la sección que se pueden relacionar a un material más compacto y con leve fracturamiento; en la parte sur-este se encuentran las resistividades bajas que se estarían relacionando a la presencia de materiales fuertemente fracturados, y con mayor presencia de humedad.

La sección de cargabilidad se observan dos zonas de cargabilidades moderadas-altas, la primera en la estación 450 con valores mayores a los 4 mV/V (Perforación recomendada DDH2) y la segunda se encuentra en la estación con valores moderados entre los 3 y 4 mV/V.

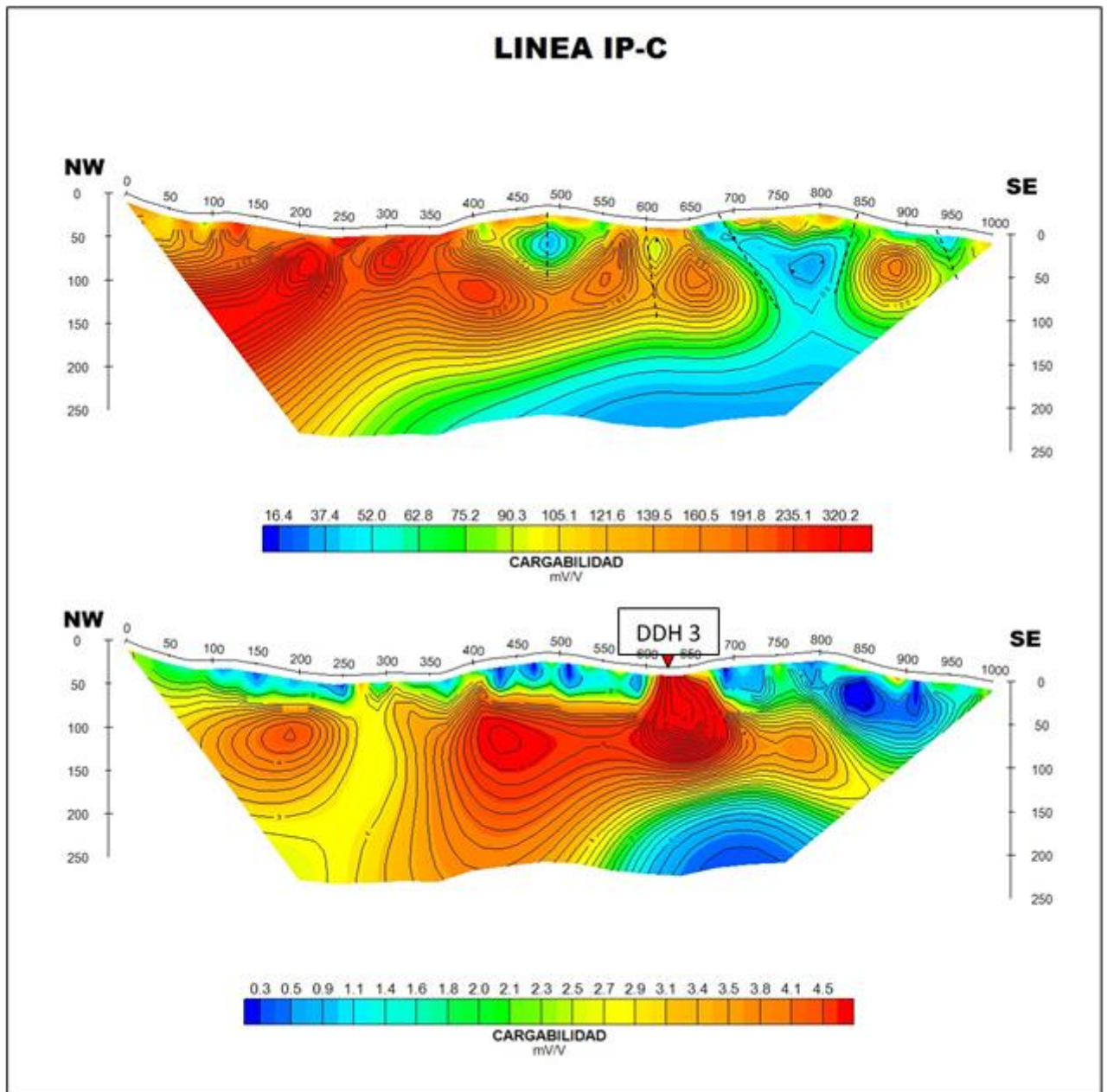


Figura 43. Línea IP-C

La sección presenta cinco fracturas geoelectricas en las estaciones 480, 600, 680, 850 y 930. Las resistividades moderadas-altas se presentan en la mayor parte de la sección; las resistividades bajas se presentan al SE a partir de la estación 680 donde se emplaza una fractura geoelectrica también se presentan en profundidad a lo largo de la línea con valores menores a 60 Ohm-m las, estas resistividades bajas se estarían



relacionando a la presencia de materiales fuertemente fracturados, alterados y con una mayor presencia de humedad.

Las cargabilidades más altas se encuentran en las estaciones 180, 430 Y 620 con valores mayores a 4 mV/V., la anomalía de mayor relevancia se presenta en la estación 620 ya que presenta un mayor grado de polarización, en donde se ha propuesto una perforación (DDH3).

4.3. VALORES DE VELOCIDADES PARA DIFERENTES GRADOS DE COMPACTACIÓN DE LOS HORIZONTES QUE CONFORMAN EL SUBSUELO.

Los mapas de resistividad permiten definir a través de su gradiente **contactos geoelectricos** relacionados a zonas de cambio litológico, presencia de **zonas de alteración** que son causadas por las variaciones de composición mineralógica y presencia de **lineamientos geoelectricos** que pueden estar relacionados a la presencia de fracturas y/o fallas en la zona prospectada.

Los background definidos tanto de resistividad como de cargabilidad son el resultado del total de sus valores medidos para cada una de las líneas propuestas, esto con la finalidad de establecer los contactos geoelectricos (Resistividad) y cuerpos polarizables (Cargabilidad) asociados a la concentración de sulfuros presentes en el área de estudio.

La ubicación de los contactos geoelectricos corresponde a los contrastes de resistividades presentes relacionados a las variaciones en la concentración de elementos conductores de las formaciones geológicas y a cambios litológicos.

Cabe mencionar que el rango de valores y tendencias anómalas, producto de la interpolación entre líneas, genera estructuras de resistividad y cargabilidad que son

inferidas, debido al espaciamiento entre líneas (100 metros). En cuanto a los valores de Resistividad obtenidos, se puede determinar.

- Las Resistividades Bajas; con valores menores a 60 Ohm-m, se estarían relacionando a la presencia de materiales finos, con mayor grado de humedad y a zonas de debilidad, posiblemente a la presencia de un fuerte fracturamiento, encontrándose en algunas zonas suprayaciendo a materiales con Resistividades Altas (materiales impermeables).
- Las Resistividades Moderadas; con valores comprendidos entre los 60 Ohm-m y los 200 Ohm-m, que se estaría relacionando posiblemente a zonas con menor grado de compactación, con cierto contenido de humedad y con mayor grado de alteración y fuerte fracturamiento.

Las Resistividades Altas; presentan valores mayores a 200 Ohm-m, alcanzando valores mayores a los 600 Ohm-m, se define desde la superficie hasta una profundidad entre los 10 a 15 metros promedio, el cual se puede relacionar a la presencia de materiales de grano grueso, poco consolidado y permeable; sin embargo; se tiene resistividades altas definidas en profundidad correlacionadas a la presencia de materiales de mayor compacidad y de menor permeabilidad.

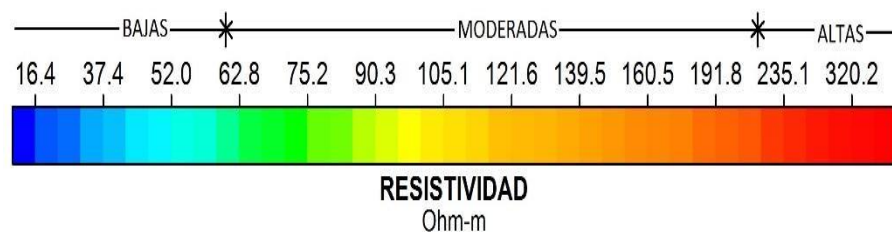


Figura 44. Rango de valores y tendencias anómalas resistividad

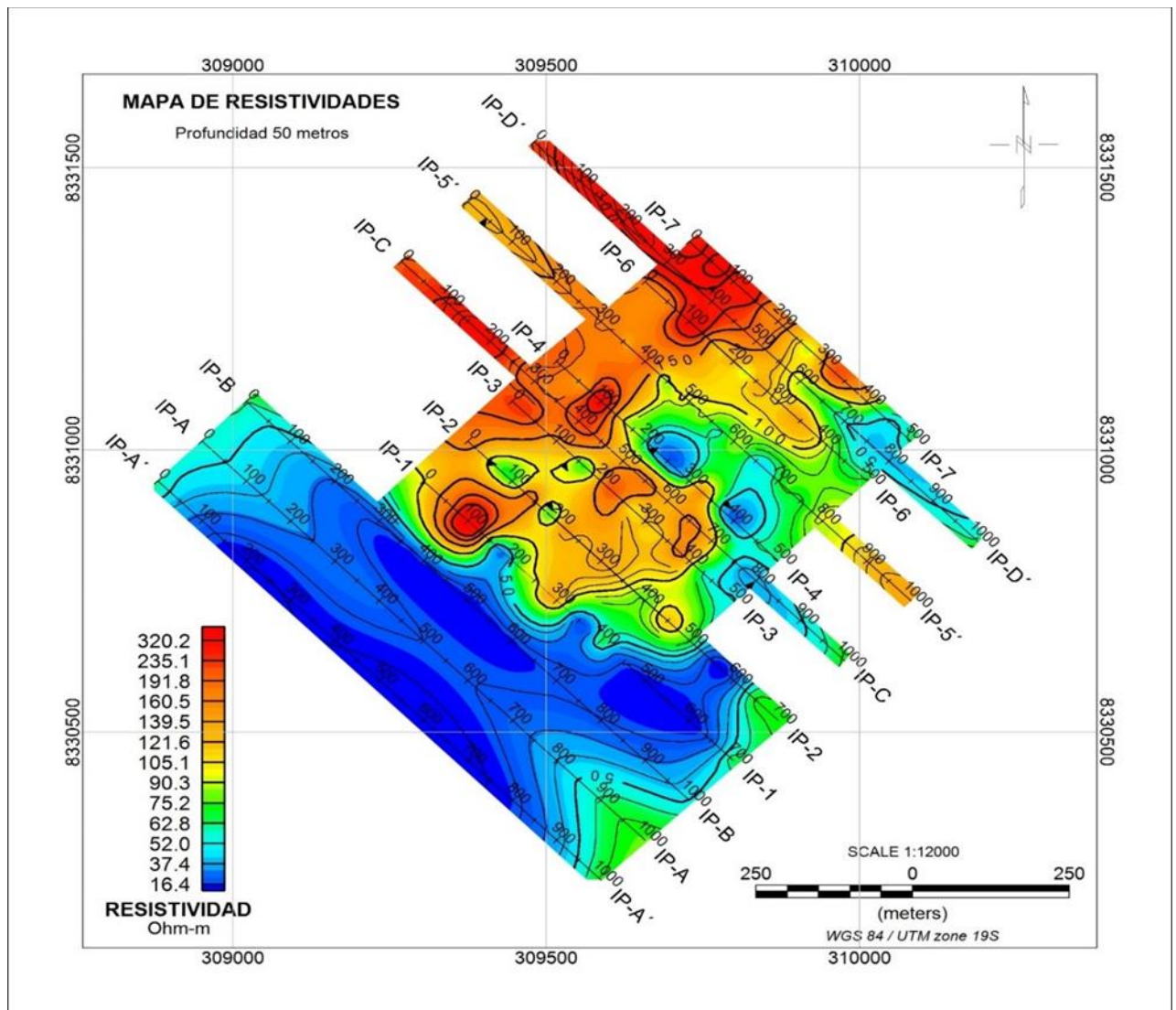


Figura 45. Mapa de Resistividades – Nivel 50 metros

El mapa de resistividades se observa un contacto geoelectrico formado por un contraste de valores altos y bajos de resistividad, las resistividades bajas se deben probablemente a un fracturamiento del material y/o a la presencia de humedad.

Las resistividades moderadas-altas se encuentran en zona norte del área de estudio esto debido probablemente a que es un material más compactado con la presencia de dos fracturas geoelectricas que tienen valores de resistividades bajos.

En cuanto a la cargabilidad se han manejado entre los valores de 0.3 mV/V a 6 mV/V, presentando anomalías bien definidas con valores mayores a 4.5mV/V.Cabe

mencionar que el rango de valores y tendencias anómalas, producto de la interpolación entre líneas, genera estructuras de resistividad y cargabilidad que son inferidas, debido a que el espaciamiento entre líneas es 200m, siendo esta mayor al área de influencia para la resolución lateral de acuerdo a la amplitud del dipolo utilizado.

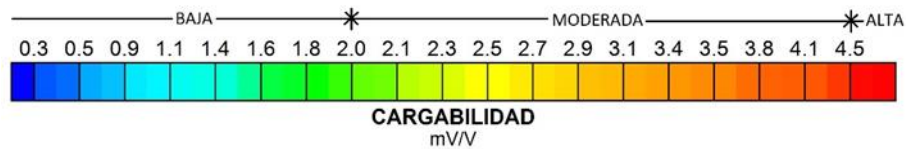


Figura 46. Valores altos y bajos de resistividad.

Los Valores de Cargabilidad son bajos debido a la presencia de sulfuros de plomo y zinc, por lo que la mayor concentración de cargabilidades altas tienen valores mayores a 4.5 mV/V.

A continuación, se presentan el mapa de Cargabilidad al nivel de 50 metros de profundidad (Ver Fig. 52), esto; siguiendo el relieve topográfico.

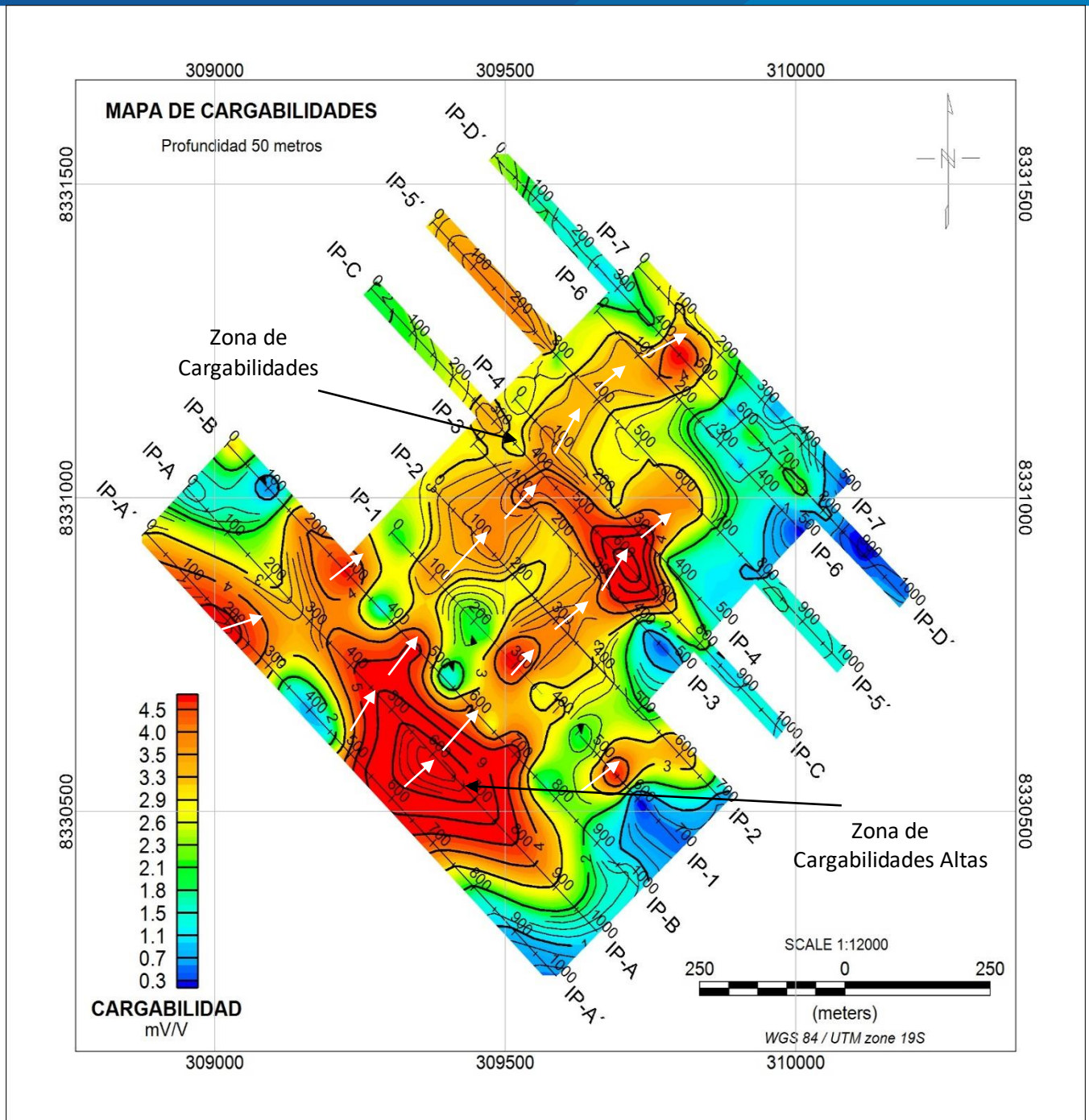


Figura 47. Mapa de cargabilidades – Nivel 50 Metros.

En el área predominan valores de cargabilidades moderadas y altas, las cuales tienen valores desde los 2 mV/V, en el mapa las cargabilidades más altas (>4mV/V) se alinean formando estructuras polarizables.

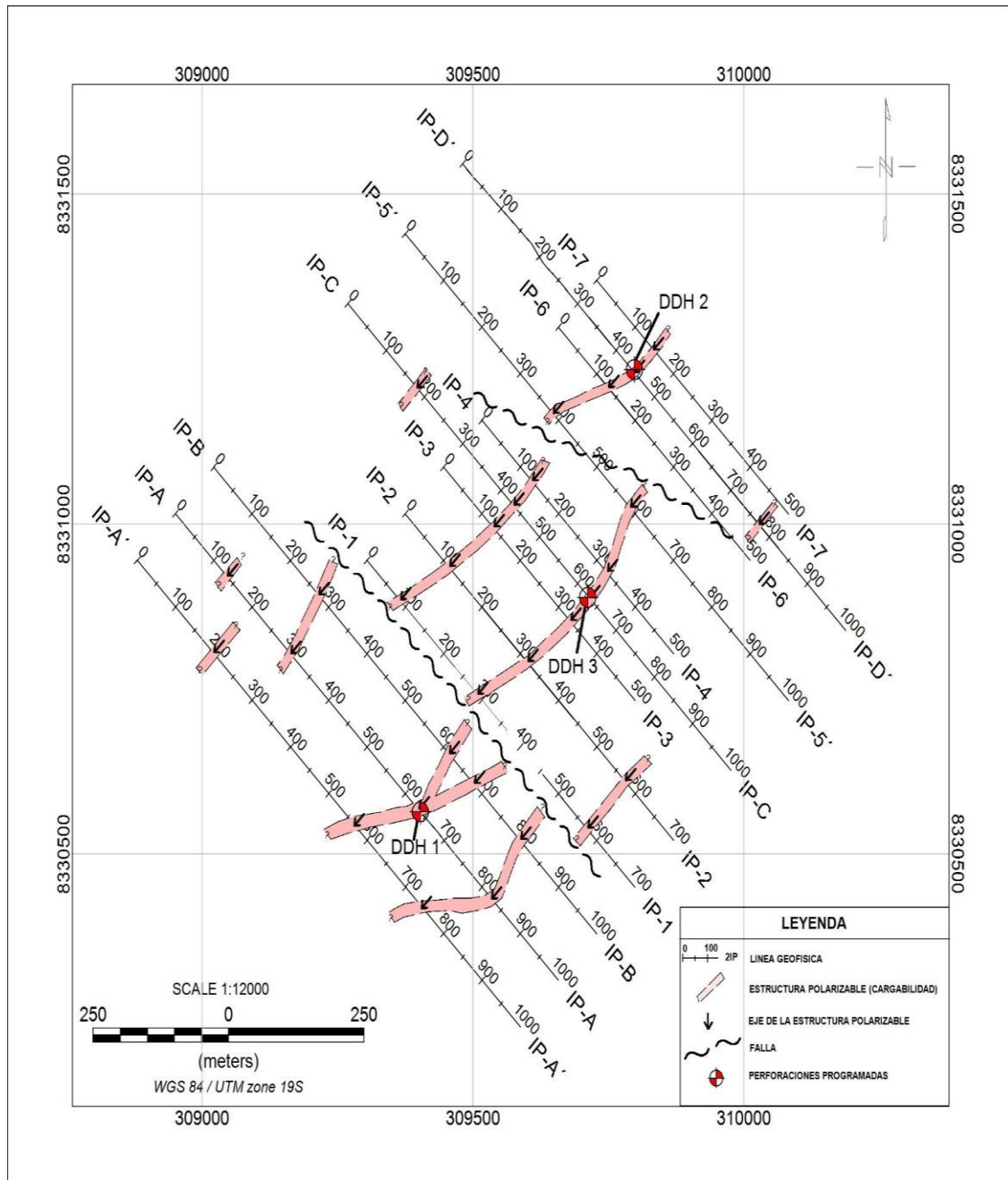


Figura 48. Mapa de Interpretación de Polarización Inducida

En el mapa se han propuesto diferentes estructuras polarizadas con rumbo NE-SW, las cuales se han interpretado según los valores de cargabilidades altas que se emplazan a diferentes profundidades de las secciones de inversión realizadas, Ver Anexo: Ñ.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: Las resistividades moderadas-altas en la mayoría de las secciones se han relacionado; según la geología proporcionada; a depósitos de morrenas las cuales coinciden con valores de velocidad entre 1.5 y 2.5Km/s y tiene un espesor aproximado entre los 10 y 80 metros, que podrían tratarse de materiales de compactación media; estas resistividades moderadas-altas continúan también en profundidad coincidiendo con valores de velocidad mayores a 2.5Km/s relacionados a materiales de mayor grado de compactación y/o la roca; teniendo en algunas zonas resistividades moderadas-bajas debido a la presencia de varias fracturas geoelectricas, en donde se observan zonas de filtraciones y mayor presencia de humedad.

SEGUNDA: Las cargabilidades altas (>4.5 mV/V) que corresponden a zonas de anomalía, se encuentran emplazadas en resistividades moderadas-altas y en zonas de velocidades mayores a 2.5 Km/s en la mayoría de las secciones; en las cuales se han definido estructuras delgadas polarizables a los 30-60 metros de profundidad aproximadamente.

TERCERA: Las velocidades menores a 1km/s son materiales, coluviales de Ripabilidad Excavable sin embargo las velocidades entre 1 a 2km/s presentan materiales moderadamente compactos Ripable. Las velocidades entre 2 a 3km/s son materiales que presentan alteración, fracturamiento de Ripabilidad marginal, sin embargo, las velocidades mayores a 3km/s son materiales con un grado de compactación dura, posiblemente roca y de Ripabilidad volable.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: Programar trabajos perforación diamantina en las zonas de cargabilidades altas, que corresponden al SW y NE de veta Ursula.

SEGUNDA: Elaborar un programa de prospección geofísica más al Norte de veta Úrsula, probablemente continúe la veta Úrsula en dirección NE por la quebrada sequeña.

TERCERA: Se recomienda hacer estudios mineragráficos de los testigos “muestras” de la perforación diamantina para determinar las asociaciones mineralógicas.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acahuana, M. (2019). *Estudio Geofísico de Resistividad Eléctrica Aplicando la Configuración Dipolo – Dipolo para Localización de Cavidades en el Municipio de Solidaridad, Playa del Carmen, Estado de Quintana, Roo, México “proyecto predio 3.04 has”*. Universidad Nacional De San Agustín - Peru, Quintana, Mexico.
- Ali, L. (2016). *“Métodos de Prospección Geofísica Aplicados a la Investigación Geotécnica para Estudio del Recrecimiento de una Presa de Relaves en el Distrito de Oyolo”*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Auge. (2008). *La resistividad es considerada la propiedad más importante de las rocas*.
- Cromer, A. (1996). *La interacción gravitacional actúa en función de la masa y es la fuerza fundamental más débil, sus efectos son observables solo a escalas macroscópicas*.
- De la torre, G. (2010). *definición de zonas de fractura miento empleando tomografía de resistividad aparente 3D*. Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua.
- Diego, P. (2017). *"Estudio Geológico y Aplicación del Método de IP en la Exploración del Yacimiento Jesica"*. Universidad San Agustín, Arequipa.
- Estrada, L. (2012). *El método de prospección geoelectrico tiene como fin identificar las formaciones geológicas y los materiales presentes en el subsuelo*.
- Estrada, L. (2012). *El método de prospección geoelectrico tiene como fin identificar las formaciones geológicas y los materiales presentes en el subsuelo*.



- Estrada, L. (2012). *La filosofía, madre de las ciencias, nace para satisfacer la necesidad humana, de explicar los fenómenos que son observables en su medio.*
- Estrada, L. (2012). *Los contrastes en las resistividades son los que permiten aplicar exitosamente los métodos de prospección geoelectrica mediante la inyección de corrientes continuas.*
- Flores, G. (2020). *Conocimiento del acuífero de la cuenca Katari-Lago Menor, lago Titicaca-Bolivia, inferido a partir de datos geofísicos, hidrogeológicos y geoquímicos. Revista de Ciencias de la Tierra de América del Sur.*
- Gananpa, D. (2020). *Optimización del Cálculo de la Ripabilidad de un Macizo Rocoso mediante el Método Geofísico de Refracción Sísmica del Proyecto “Amalfi – Habilitación Urbana, DPI – Surco” Lima. Universidad Nacional De San Agustín, Lima.*
- Geofísica, P. (2015). *Reporte Geofísico de los sectores de San Apolonio, Independencia y Ullapcham del ANAP Pampa Grande. La Libertad.*
- Hayashi. (2003). *Auto correlación Espacial en Línea (SPAC, por sus siglas en inglés.*
- Huamán, C. (2001). *Implementacion del Equipo de Adquisicion de Datos de Prospeccion Sismica. Universidad Nacional de Ingenieria, Lima.*
- INGEMMET. (2015). *procesamiento e interpretación de datos de resistividad en el sector jarpaña campo geotérmico pinaya – puno. Prospección Geofísica. Puno.*
- INGEMMET. (2015). *reporte técnico del campo geotérmico Pinaya – Puno,. Puno.*
- INGEMMET, R. (2015). *reporte técnico del campo geotérmico Pinaya – Puno. Prospección Geofísica. Puno.*



- Jose, F. (2017). *Reconocimiento de la Mineralización Profunda de Carácter Polimetálico Mediante Métodos de Exploración Gamma Ray y Polarización Inducida en el Proyecto Ichuña*. Universidad San Agustín, Arequipa.
- Lopez, J. (2008). “*Aplicación del Método de Refracción Sísmica para la Determinación de Velocidades de Ondas p*”. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Luis, C. (2015). Aspectos Geológicos. *Geología del cuadrángulo de Ocuwiri*. INGEMMET, Puno.
- Montoya, V. (2019). *Caracterización del Suelo e Identificación de Discontinuidades Estructurales de Deslizamientos Mediante Tomografía Eléctrica 2D. el Alto, Pampas de Majes*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Nestor, V. (2016). “*Historia y Desarrollo de los Métodos Geofísicos. División. Importancia de la prospección Geofísica En Geología (Exploración Minera y Petrolera)*”. Universidad Nacional de Salta, Argentina.
- Ogundo, J. (2018). *Sondeo eléctrico vertical azimutal panorámico de Achlunberger para la orientación de fracturas y cuantificación de anisotropía*.
- Park. (1999). *adquisición y procesado de datos sísmicos para extraer la curva de dispersión empleó las técnicas de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales*.
- Ray, R. (2011). “*Polarización Inducida y Resistividad Eléctrica Aplicados en la Prospección Minera*”. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Rayleigh, A. (1957). *la transformación de los registros al dominio frecuencia contra velocidad de fase permite identificar la curva de dispersión a periodos cortos*.
- Roman, R. (1997). *En la naturaleza hay cuatro fuerzas que son responsables de todos los fenómenos en el Universo*. Universidad técnica de Catalonia.



- Roman, R. (2016). *En el dispositivo Schlumberger la distancia MN es pequeña en relación a la abertura AB, aproximadamente $AB/5 > MN > AB/20$.*
- Sebastian, F. (2012). Análisis geológico de estudios de Polarización Inducida (IP) en sistemas IOCG y pórfido cuprífero del norte de Chile. *sulfuros identificados, variaciones en las concentraciones de la pirita*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Geología Universidad Chile, Santiago.
- Teofilo, M. (2017). *Aplicación de Imágenes Aster en la detección de zonas de alteraciones hidrotermales, Sector Titire, Carumas, Moquegua*. Universidad Nacional del Altiplano, Carumas, Mariscal Nieto, Moquegua.
- Urquiza, C. (2020). *Estudio Geofísico por el Método de Refracción Sísmica, masw 1d, masw 2d y mam para el diseño estructural del puente cantuta – Región de Junín*. Universidad Nacional de San Agustín, Junín.
- Villilli, N. (2018). “*Caracterización Geotécnica de los Suelos del Volcánico Sencca, Mediante Refracción Sísmica y Análisis de Ondas Superficiales (masw), en el A.A.H.H. Villa Florida del Distrito de Yura – Arequipa*”. Universidad Nacional De San Agustín, Yura, Arequipa.



ANEXOS