

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

**ANÁLISIS GEOLÓGICO Y GEOFÍSICO APLICADO A LA
PROSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA ENTRE LAS LOCALIDADES DE
RIOBAMBA Y PUNGALÁ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
INGENIERO GEÓLOGO**

OPCIÓN: ARTÍCULO ACADÉMICO

PAÚL ALEJANDRO BUENAÑO LASCANO

paul_alejo321@hotmail.com

DIRECTORA: DRA. ANA CABERO DEL RÍO

ana.cabero@epn.edu.ec

Quito, diciembre 2018

DECLARACIÓN

Yo, Paúl Alejandro Buenaño Lascano, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Paúl Alejandro Buenaño Lascano

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Paúl Alejandro Buenaño Lascano, bajo mi supervisión.

Dra. Ana Cabero del Río
DIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios, con Él todo es posible, bajo su cuidado y amor me supo guiar en carácter y académicamente; influyó en mí el ímpetu, la curiosidad y dedicación por un buen trabajo.

A mis padres, John Buenaño y Nora Lascano que inculcaron en mí un espíritu responsable y luchador para lograr y ser el mejor en lo que me propusiera, gracias por apoyarme y ser mis consejeros en los más duros momentos, por inspirarme a cumplir mi sueño de verme como profesional de mi tan amada carrera, Ingeniero Geólogo.

A mi hermano Santiago, por estar conmigo en todo momento, impulsarme a que siga adelante en lo que me propusiera y demostrara de lo que soy capaz.

A la Dra. Ana Cabero, gracias por sus consejos y guías con las que me dirigió para lograr estructurar y culminar mi trabajo, gracias por sus ideas y pautas.

Al Ing. Fabián Villares, por su guía en las salidas de campo, por pulir mis conocimientos y responder todas mis inquietudes, su ayuda fue de gran importancia para culminar mi trabajo.

A la Dra. Sandra Procel, por darme la oportunidad de realizar este trabajo y su apoyo a lo largo del mismo.

Al Dr. Pedro Reyes, a lo largo de mi carrera siempre fue un ejemplo a seguir, una guía académica y de amistad para recibir consejos en cualquier situación, así como sus exigencias al ser su alumno. A todos mis docentes que en cada etapa de mi carrera supieron impartirme sus conocimientos, lo que fue de gran importancia para que fuera instruído con fuertes bases para lo que me prepare el futuro.

A Gaby, por su amor y apoyo incondicional, sus palabras de aliento en los instantes más complicados siempre estuvieron presentes. A mis hermanos y amigos, con quienes compartí tantas experiencias y con los que seguramente nuestra amistad perdurará: Jpaul A., Hugo C., Joselyn R., Dany E., Andrés Z., Ricardo C., Daniel S., Marcelo C., Asdrúbal A., Elias R., Paúl J., Luis N.

DEDICATORIA

A Dios, absolutamente toda la gloria a Él.

A mis amados padres, Jonh y Nora

A mi abuelita, Mamita Lila

A mi hermano Santiago

A mis ángeles en el Cielo: Mamita Zoila, Papá Fido y Tío Vini.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.1.1. Objetivo General.....	2
1.1.2. Objetivos Específicos.....	2
1.2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	2
1.2.1. Relieve.....	3
1.2.2. Clima.....	4
1.2.3. Vegetación.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. GEOLOGÍA REGIONAL.....	5
2.2. GEOLOGÍA LOCAL.....	7
2.3. PRINCIPALES ESTRUCTURAS.....	9
2.4. GEOFÍSICA.....	10
2.4.1. Métodos Eléctricos.....	10
2.4.2. Configuración Wenner.....	13
2.3.3. Configuración Schlumberger.....	14
2.4.4. Resistividad Aparente.....	14
2.4.5. Tomografía Eléctrica de Resistividades.....	14
CAPÍTULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	16
3.1 CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA.....	16
3.2 LEVANTAMIENTO DE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS.....	19

3.2.1. Materiales y Equipos.....	21
3.2.2. Primera Tomografía Eléctrica.....	21
3.2.3. Segunda Tomografía Eléctrica.....	22
3.2.4. Tercera Tomografía Eléctrica.....	23
3.2.5. Cuarta Tomografía Eléctrica.....	24
3.2.6. Inversión de Datos.....	26
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	31
4.1. UNIDADES LITOLÓGICAS.....	31
4.1.1. Unidad Guamote.....	31
4.1.2. Granito de Pungalá.....	33
4.1.3. Pórfido Guaslán.....	36
4.1.4. Unidad Riobamba.....	38
4.1.5. Formación Sicalpa.....	40
4.1.6. Formación Yaruquíes.....	42
4.1.7. Volcánicos Tulabug.....	44
4.1.8. Depósito Brechoide Chambo.....	46
4.1.9. Terraza Fluvial Chibunga-Chambo.....	47
4.1.10. Avalancha del Chimborazo.....	48
4.1.12. Cangahua.....	49
4.1.11. Limolitas Chambo.....	50
4.1.13. Depósitos Aluviales Recientes.....	51
4.2. RESULTADOS DE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS.....	52
4.2.1. Análisis e Interpretación de Primera Tomografía Eléctrica.....	53
4.2.2. Análisis e Interpretación de Segunda Tomografía Eléctrica.....	56
4.2.3. Análisis e Interpretación de Tercera Tomografía Eléctrica.....	58
4.2.4. Análisis e Interpretación de Cuarta Tomografía Eléctrica.....	61
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	64
5.1. EVOLUCIÓN ESTRATIGRÁFICA CRETÁCICO-PLEISTOCÉNICO ENTRE EL POBLADO DE RIOBAMBA Y PUNGALÁ.....	64
5.2. APORTE GEOLÓGICO PARA HIDROGEOLOGÍA.....	67
5.2.1. Formaciones Geológicas con Resistividades Bajas.....	68

5.2.2. Formaciones Geológicas con Resistividades Altas.....	70
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
6.1. CONCLUSIONES.....	72
6.2. RECOMENDACIONES.....	74
CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
ANEXOS.....	79
ANEXO 1: CARTA GEOLÓGICA RIOBAMBA.....	80
ANEXO 2: TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS.....	82
ANEXO 3: DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Fig. 1.1. Localización del área de estudio.....	1
-------------------------------------------------	---

CAPÍTULO II

Fig. 2.1. Segmentos de Valle Interandino: Valle Interandino Norte (IAV Norte) correspondiente al segmento Otavalo-Chota, Valle Interandino Central, correspondiente al segmento Quito Guayllabamba (IAV Central) y Valle Interandino Sur, correspondiente al segmento Latacunga-Riobamba (IAV Sur). Modificado de (Villagómez, 2003)	6
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

Fig. 2.2. Tabla de Resistividades con su litología correspondiente (H.P. Patra et al., 2016)	10
----------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Fig. 2.3. Ubicación de electrodos para inyección de corriente y potencia (Caseres M.B., Lauritneti E. & Hu S., 2016)	11
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Fig. 2.4. Resistividad calculada a partir de la corriente (I) y el potencial (V) (Lowrie W., 2007) ...	11
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Fig. 2.5. Resistividad calculada a partir de la corriente (I) y el potencial (V) (Lowrie W., 2007) ...	12
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Fig.2.6. Ejemplo Tomografía Eléctrica en Ciudad Juárez, México (Ornelas O.S., 2011)	13
-------------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO III

Fig. 3.1. Ubicación del área seleccionada para la Cartografía Geológica.....	15
------------------------------------------------------------------------------	----

Fig. 3.2. Ubicación de las Columnas Estratigráficas.....	16
----------------------------------------------------------	----

Fig. 3.3. Ubicación de las Tomografías Eléctricas realizadas en este trabajo.....	18
-----------------------------------------------------------------------------------	----

Fig. 3.4. Equipos para la realización de las Tomografías Eléctricas.....	19
--------------------------------------------------------------------------	----

Fig. 3.5. Ubicación de Primera Tomografía Eléctrica.....	20
----------------------------------------------------------	----

Fig. 3.6. Ubicación de Segunda Tomografía Eléctrica.....	21
----------------------------------------------------------	----

Fig. 3.7. Ubicación de Tercera Tomografía Eléctrica.....	22
----------------------------------------------------------	----

Fig. 3.8. Ubicación de Cuarta Tomografía Eléctrica.....	23
---------------------------------------------------------	----

Fig. 3.9. Arreglo de bloques usado en el método del programa RES2DINV.....	25
----------------------------------------------------------------------------	----

Fig. 3.10. Detección de datos erróneos en las medidas de campo mediante el Software RES2DINV.....	27
----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO IV

Fig. 4.1. A) Cuarcitas deformadas plegadas con orientación de los flancos N52°E-88°SE y N38°E-14°NW de la Unidad Guamote (UTM 0762420/9804394/2835m). B) Cuarcita diaclasa intercalada con pizarra de foliación N41°W-39°NE en la vía San Luis-Punín (UTM: 760515/9804635/2840m)	30
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Fig. 4.2. A) Sección delgada con polarizador cruzado (20X) de una pizarra de la Formación Guamote. B) Sección delgada con polarizador cruzado (10X) de una cuarcita de la Formación Guamote.....	30
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Fig. 4.3. Grandes Bloques angulosos de granodiorita de la Unidad Granito de Pungalá (UTM 0767807/9800233/2821m)	32
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Fig. 4.4. A) Bloques de la Unidad Granito de Pungalá al norte de la loma Tunshi Grande (UTM 0765244/9805674/2835m). B) Unidad Granito de Pungalá con una etapa avanza de meteorización al Noreste de la loma Tunshi Grande (UTM 0765869/9805638/2855m)	32
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Fig. 4.5. A) Meteorización esférica de cantos rodados de la Unidad Granito de Pungalá (0762482/9803510/2869m). B) Segregaciones de minerales máficos (UTM 0767061/9796961/2909m). C) Diques de la misma composición del Granito de Pungalá (UTM 0765869/9805638/2855m)	33
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Fig. 4.6. A) Sección delgada con polarizador cruzado (2.5X) de Granito de Pungalá, Muestra R-14. B) Sección delgada con polarizador cruzado (2.5X) de Granito de Pungalá, Muestra R-16.....	33
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Fig. 4.7. Pórfido Guaslán con matriz arcillosa de fenocristales de plagioclasa y cuarzo en el Área de la Común (UTM 0757426/9803942/3328m)	34
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Fig 4.8. Pórfido Guaslán con una matriz de feldespato de potasio con fenocristales de cuarzo y plagioclasa (0760641/9810210/ 2748m)	35
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Fig. 4.9. A) y B) Sección delgada con polarizador cruzado y luz transmitida (2.5X) de Pórfido de Guaslán, Muestra R-20.....	35
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Fig 4.10. Secuencia volcanoclástica de toba volcánica de la Unidad Riobamba (UTM: 761648/9811432/2685m)	37
Fig.4.11. Columna Estratigráfica con intervalos de 10 metros dentro de la Quebrada Chalán.....	38
Fig. 4.12. Secuencia de Tobas Volcánicas de la Formación Sicalpa cubiertas por tobas cremas de Cangahua (UTM 0761863/9804067/2813m).....	39
Fig. 4.13. A) y B) Sección delgada con polarizador cruzado y luz transmitida (20X) de Formación Sicalpa, Muestra R-10.....	39
Fig.4.14. Columna Estratigráfica con intervalos de 10 metros en el poblado de Yaruquíes.....	40
Fig 4.15. Canales con estratificación cruzada en surco de conglomerados y areniscas volcánicas de la Formación Yaruquíes en el sector de la Loma Puchalín (UTM 0759052/9812712/2834m)	41
Fig. 4.16. Arenisca volcánica rojiza muy compactada, diaclasada de la Formación Yaruquíes (UTM: 0759364/9812724/2812m)	41
Fig. 4.17. Columnas andesitas las basálticas de Volcánicos Tulabug (UTM: 0768200/9801931/2831m)	42
Fig. 4.18. Flujo de lava andesita basáltica de los Volcánicos Tulabug (UTM: 0766273/9802329/2982m)	43
Fig. 4.19. A) y B) Sección delgada con polarizador cruzado y luz transmitida (20X) de Volcánicos Tulabug, Muestra R-10.....	43
Fig. 4.20. A) Depósito Brechoide Chambo en la parte más oriental (UTM: 0770462/9805618/2956m) y B) la parte más occidental, en el margen derecho del Río Chambo (UTM: 0764998/9807303/2581m)	44
Fig. 4.21. Secuencia Sedimentaria de Terrazas Fluviales (UTM: 0766456/9810295/2646)	45
Fig.4.22. Columna Estratigráfica sobre la vía Riobamba-Chambo.....	46
Fig. 4.23. Depósito de Avalancha del Chimborazo en el sector de La Libertad (UTM 0769483/9801983/2720m)	47

Fig.4.24. Columna Estratigráfica con intervalos de 10 metros en la vía Tunshi San Miguel-Riobamba.....	48
Fig.4.25. Limolitas sobre Depósito de Avalancha del Chimborazo (UTM: 0765096/9810792/2659)	49
Fig.4.26. Depósitos Aluviales Recientes (UTM: 765240/9809169/2586m)	50
Fig. 4.27 Ubicación de Primera Tomografía Eléctrica en Mapa Geológico de Guano (Salguero, 2017)	51
Fig. 4.28. Columna Estratigráfica con intervalos de 10 metros del Sector de Los Elenes.....	51
Fig. 4.29. Primera Tomografía Eléctrica.....	52
Fig. 4.30. Ubicación de la Segunda Tomografía Eléctrica en el Mapa Geológico de Guano (Salguero, 2017)	53
Fig. 4.31. Segunda Tomografía Eléctrica.....	53
Fig. 4.32. Ubicación Tercera Tomografía Eléctrica en el Mapa Geológico de Guano (Salguero, D., 2017)	54
Fig. 4.33. Tercera Tomografía Eléctrica.....	55
Fig. 4.34. Ubicación Cuarta Tomografía Eléctrica en el Mapa Geológico de Riobamba.....	56
Fig. 4.35. Columna Estratigráfica con intervalos de 10 metros de la Zona de Pungalá.....	56
Fig. 4.36. Cuarta Tomografía Eléctrica.....	57

RESUMEN

El estudio geológico de cartografía realizado entre las localidades de Riobamba, Punín y Pungalá, permitió describir varias Formaciones Geológicas en el área, el basamento está compuesto por la Unidad Guamote (Cretácica), deformada al este de Punín e intruída por el Granito de Pungalá (de edad Eocénica) y por un pórfido feldespático hacia el Sector de Guislán. Este basamento se encuentra cubierto por secuencias volcanosedimentarias y fluviales (de edad Mioceno a Pleistoceno), rellenando el valle ocasionado por el levantamiento de la Cordillera Real, suficiente para formar grandes potencias de volcanosedimentos (Unidad Riobamba; Formación Sicalpa; Formación Yaruquíes; Depósito Brechoide Chambo; Terraza Fluvial Chibunga-Chambo; Avalancha del Volcán Chimborazo). Dicho levantamiento también generó depósitos coluviales antiguos (pliocénicos), dando lugar a morfologías de herradura y lomas abandonadas por la erosión parcial de dicho depósito.

Se realizaron cuatro Tomografías Eléctricas: tres al norte de la zona cartografiada, en los sectores de San Pablo y Los Elenes, y una en la zona cartografiada (Pungalá), con el objetivo de, por medio de inyección de corriente y diferencia de potencial eléctrico, obtener datos de resistividades de los materiales del subsuelo y con ellas determinar posibles niveles de agua de las Formaciones Geológicas del entorno.

La correlación de estos datos, revela que la Unidad Riobamba es la Formación Geológica que contiene tamaño de grano, compactación y resistividades bajas adecuadas para contener niveles de agua, así como las unidades de depósitos coluviales asociadas al levantamiento de la Cordillera Real. Las unidades con resistividad alta, que corresponden a rocas no fracturadas de la Avalancha del Chimborazo (facies no fracturadas) y el Granito de Pungalá.

Palabras Claves: Cartografía Geológica, Tomografías Eléctricas, Correlación, niveles de agua.

ABSTRACT

The geological study of cartography realized between the localities of Riobamba, Punín and Pungalá, allowed to describe different Geologic Formations in the area, the basement is composed by the Guamote Unit (Cretaceous), deformed at the east of Punín and intruded by the Granite of Pungalá (of Eocene age) and by a feldspathic porphyry towards the sector of Guislán. This basement is covered by volcanosedimentary and fluvial sequences (from Miocene to Pleistocene age), filling the valley induced by the uplift of the Cordillera Real, enough to generate wide thickness of volcanosediments (Riobamba Unit; Sicalpa Formation; Yaruquíes Formation; Brechoid Chambo Deposit; Chibunga-Chambo River Terraces, Avalanche of Chimborazo Volcano). This survey also generated ancient colluvial deposits (Pliocene), with horseshoe morphologies and hills abandoned by the partial erosion.

In this research four Electrical Tomographies were made: three to the north of the mapped area, in the sectors of San Pablo and Los Elenes, and one in the mapped area (Pungalá), with the objective of get data of resistivities of the materials of the subsurface, by current injection and difference of electrical potential, and with them determine possibility of levels of water of the Geological Formations of the environment.

The correlation of these data reveals that the Riobamba Unit is the Geological Formation that contains adequate grain size, compaction and low resistivities to contain levels of water, as well as the colluvial deposit associated with the uplift of the Cordillera Real. Non-fractured rocks of the Chimborazo Avalanche (non-fractured facies) and Pungalá Granite are units with high resistivities values.

Keywords: Geological cartography, Electrical Tomographies, Correlation, levels of water.

ANÁLISIS GEOLÓGICO Y GEOFÍSICO APLICADO A LA PROSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA ENTRE LAS LOCALIDADES DE RIOBAMBA Y PUNGALÁ

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La prospección hidrogeológica involucra la caracterización litoestratigráfica de las Formaciones Geológicas que componen las unidades acuíferas (análisis cartográficos y geofísicos), así como la determinación de el o los niveles de agua que podrían ser aprovechados. Las unidades acuíferas están frecuentemente relacionadas con factores geológicos y tectónicos, por ejemplo, fallas, fracturas y cavidades o procesos geodinámicos y de infiltración.

La caracterización litoestratigráfica implica el estudio de las unidades litológicas (tipo, composición, edad) que pueden ser descritas a través del levantamiento geológico-cartográfico a detalle (escala 1:50.000) y geofísico (método de tomografías de resistividad eléctrica para determinar las resistividades de los materiales del subsuelo), metodologías ampliamente utilizadas en prospecciones hidrogeológicas y de ingeniería.

En la provincia de Chimborazo, específicamente en las localidades de San Pablo, Guano, Los Elenes, Riobamba, y Chambo, se han llevado a cabo varios estudios hidrogeológicos (EP-EMAPAR, 2010; Naranjo, 2013; Comité de la subcuenca del río Chambo, 2015; Procel, 2018), geológicos (Sosa & Guevara, 1973; Barba, 2006; Bernard et. al., 2008; Yanez, 2016; Salguero, 2017), geofísicos (Mendoza, 2015; Lovato, 2010). Así también, la Secretaría Nacional de Planificación (Senplades) realizó informes de Geología, Geomorfología, Recursos Naturales y de uso y ocupación del suelo en estos sectores (Senplades, 2012).

Estos estudios analizaron las características litológicas estratigráficas e hidrogeológicas de las localidades mencionadas, sin embargo, no incluyeron las localidades de Punín y Pungalá, localizadas al suroeste de la capital provincial (Riobamba). La escasez de publicaciones y trabajos de cartografía geológica detallada (escala 1:50.000) y datos geofísicos en el suroeste de la provincia de Chimborazo, implica un desconocimiento de las principales Formaciones que constituyen el basamento, los intrusivos, pórfidos, las secuencias volcanosedimentarias y fluviales que cubren dicho basamento. Así como las estructuras que puedan alojar acuíferos o niveles de agua en el área de estudio.

Con el fin de resolver esta temática y evaluar las principales Formaciones Geológicas y estructuras existentes que podrían albergar un nivel o varios niveles de agua, se realizaron

correlaciones geológicas-geofísicas a través de cartografía geológica (1:50.000) y métodos geofísicos (4 tomografías eléctricas) en las localidades de San Pablo y Los Elenes situadas al noreste de Riobamba y en Pungalá localizadas al sureste.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Caracterizar geológica y geofísicamente las formaciones existentes entre las localidades de Riobamba, Punín y Pungalá, en la Provincia de Chimborazo.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Levantamiento Cartográfico de campo 1:50.000 de litologías y estructuras de las Formaciones situadas entre las localidades de Riobamba, Punín y Pungalá en la Provincia de Chimborazo.
- Analizar e interpretar datos geofísicos de cuatro secciones en los sectores de San Pablo, Los Elenes, y Pungalá.
- Correlacionar las informaciones geológicas (litologías, estructuras) y geofísicas (resistividades) de las principales unidades y Formaciones Geológicas entre las localidades de San Pablo, Los Elenes, y Pungalá en la Provincia de Chimborazo.

1.2. CARACTERIZACIÓN EL ÁREA DE ESTUDIO

La caracterización del área de estudio presentada a continuación se inicia con una descripción de su ubicación geográfica, clima, vegetación, relieve. Los aspectos referentes a la geología regional y local del área se tratan en el siguiente capítulo.

El área de estudio está situada en el Centro, Sur y Sureste de la Provincia de Chimborazo, comprende las localidades de San Pablo, Los Elenes, Riobamba, Chambo, Punín, San Luis, Licto y Pungalá. La principal vía de acceso desde Quito corresponde la Panamericana E35 hasta la ciudad de Riobamba que está ubicada a 211 km, posteriormente la Av. Leopoldo Freire (denominada vía a Chambo) que conecta la capital provincial Riobamba con el poblado de Chambo. El acceso desde Riobamba hasta las localidades de San Luis y Punín se lo realiza a través de la Vía Macas-Riobamba, denominada Panamericana E45, y hacia los poblados de Licto y Pungalá a través de la Vía Riobamba-Licto. El territorio de estudio abarca un área total de 209 km², con un perímetro de 60 km, longitud axial de 19 km y ancho

promedio de 11 km y se localiza entre las coordenadas 9816000 Norte, 9797000 Sur y de longitud 770000 Este y 759000 Oeste.

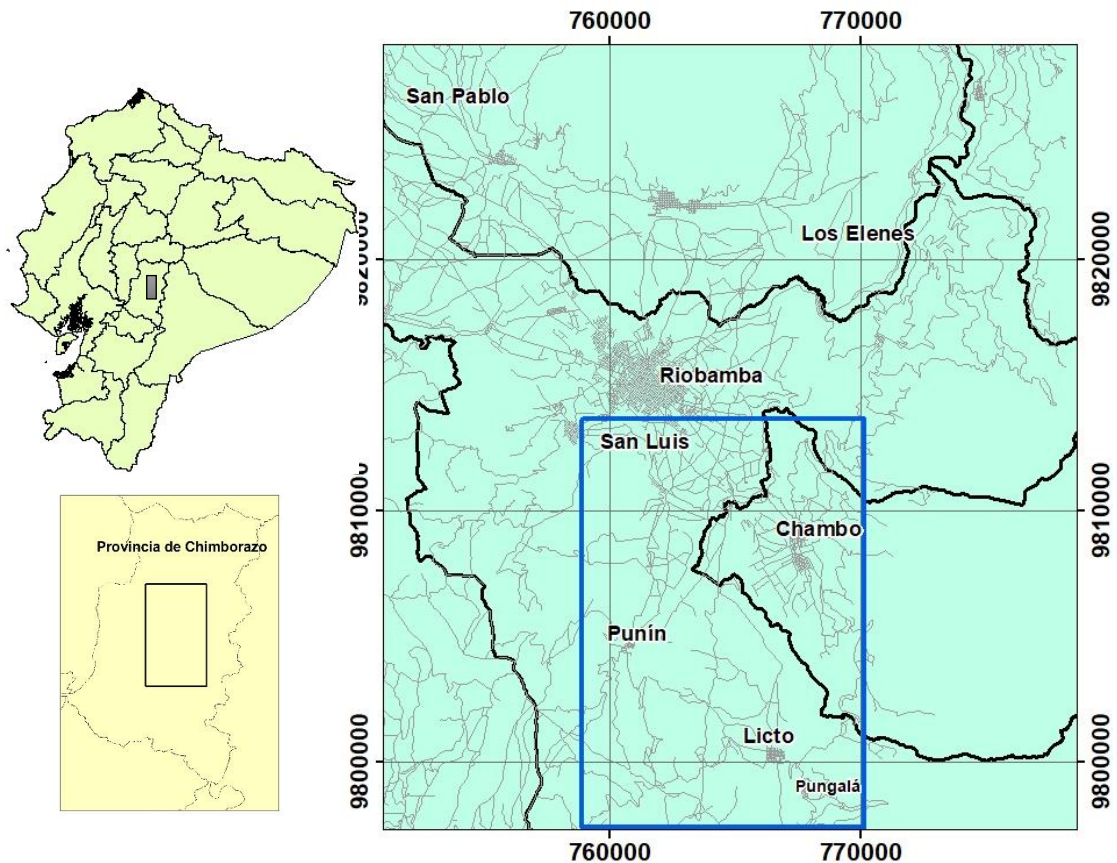


Fig. 1.1. Localización del área de estudio

1.2.1. Relieve

El relieve regional de la zona de estudio es típicamente montañoso, correspondiendo en gran parte a un valle intermontano que tiene como límite al Oeste a la elevación Calpi con altura máxima de 3086 msnm y al Este al Pungalá con una altura de 2875 msnm.

El sistema hidrográfico está compuesto por las microcuencas de los ríos: Guamote, Cebadas, Chimborazo, Chibunga y Guano, localizadas al oeste, en la cordillera occidental, mientras que las de los ríos Alao, Uldán, Blanco y Puela en la cordillera oriental. Todos estos afluentes del río Chambo, el más importante en el área de estudio.

1.2.2. Clima

El clima del área de estudio está influenciado principalmente por la altitud, latitud y la persistencia de las masas de aire húmedas y cálidas derivadas de los sistemas de vientos tropicales provenientes del océano Atlántico, así como las masas de aire derivados de la Amazonia.

Las mayores precipitaciones se presentan hacia la cordillera oriental variando de 400 a 2000 mm entre los meses de marzo a mayo. El mes de abril el más lluvioso y el de mayo el de menor precipitación. En la parte occidental de la subcuenca del río Chambo, los gradientes de precipitación son bajos, variando de 400 a 1000 mm durante el verano, correspondientes a los meses de julio/agosto y durante el “veranillo” en enero/febrero. Las temperaturas medias anuales varían desde -4 °C hasta 16 °C desde los puntos más altos hasta los más bajos siendo el mes más caliente el de noviembre, mientras que el más frío corresponde a julio (INHAMI, 2010).

1.2.3. Vegetación

Dentro de la vegetación principal del Area de Estudio componen bosques naturales, vegetación arbustiva y pantanos de las familias Asteraceae, Bromeliaceae y Geraniaceae, puesto que presentan alguna categoría de amenaza, así como la oreja de conejo, una planta de hojas alargadas y cubierta por vellosidades que las protegen; genciana, con características flores de coloración azul-violeta; romerillos y las valerianas.

Hay sectores cubiertos por matorrales y relictos de bosque andino, con especies forestales valiosas para la conservación. Las principales maderas nativas utilizadas para combustible son el piquil, la pichana y la chilca (Senplades, 2011).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Las informaciones presentadas en este capítulo fueron obtenidas a través de informes realizados por trabajos hidrogeológicos (Procel, 2018; Comité de la subcuenca del río Chambo, 2015), geológicos (Sosa & Guevara, 1973; Bernard et. al., 2008), geofísicos (Mendoza, 2015; Lovato, 2010; EP-EMAPAR, 2010), proyectos de titulación (Naranjo, 2013; Barba, 2006; Yanez, 2016; Salguero, 2017). Sin embargo, como estas informaciones se referían a las localidades de Llío, San Pablo, Guano, Riobamba, Los Elenes, surgió la necesidad de adecuarlas al foco del presente estudio (descripción de localidades localizadas al sur y sureste de la provincia de Chimborazo). Informaciones referentes a la Geofísica y sus métodos también son descritos en este capítulo.

2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

El Valle Interandino es una depresión tectónica-geomorfológica ubicada entre Guamote al Sur ($2^{\circ}10'S$) e Ibarra ($0^{\circ}30'N$) al Norte, con una dirección N-S a NNE-SSW. En su parte sur se desvía hacia el golfo de Guayaquil, cortando de esa manera a la Cordillera Occidental. Se formó en las zonas laterales de una estructura mayor de tipo 'restraining bend', por donde existió un desplazamiento hacia el norte del bloque andino con respecto a la placa Sudamericana, produciendo períodos de altas tasas de exhumación. Sufrió una deformación transpresiva syn-sedimentaria con la presencia de fallas normales syn-sedimentarias dentro de un modelo de rampa propuesto por Winkler et al (2005).

Está limitado por la Cordillera Real y la Cordillera Occidental del Ecuador, a través de fallas reactivadas y asociadas a sucesivas acreciones de terrenos oceánicos y continentales desde el Mesozoico. El volcanismo ocurrente desde el límite sur del valle se extiende hasta el norte, concentrándose en las fallas que limitan las estructuras del Valle Interandino (Villagómez, 2003).

Durante el desarrollo del Valle Interandino, se formaron cuencas intramontañosas con basamento metamórfico, rellenas por sedimentos de abanicos aluviales, fluviales, lacustres y depósitos volcánicos tales como: i) flujos piroclásticos, ii) avalanchas, lii) lahares, provenientes de las principales elevaciones como el Chimborazo (6268 m), Iqualata (6268 m), El Altar (6268 m), Tungurahua (5023 msnm) y, Huisla (6268 m). (Vera et al., 1986; Barba, 2006; Bustillos, 2008; Bernard et al., 2008 y Samaniego et al., 2012).

Considerando los cambios de orientación de la depresión interandina, Villagómez (2003) dividió al Valle en tres segmentos: i) segmento norte, denominado Valle Interandino Norte (IAV Norte) que corresponde a la cuenca Otavalo-Chota; ii) el segmento central denominado Valle Interandino Central (IAV Central) que corresponde a la cuenca Quito-Guayllabamba; y

finalmente el iii) segmento sur, denominado como Valle Interandino Sur (IAV Sur) con la cuenca de Latacunga-Riobamba (Figura 2.1).

El área de estudio se localiza en el IAV Sur, específicamente en la cuenca de Riobamba. Las rocas del basamento corresponden a secuencias de cuarcitas y pizarras pertenecientes al terreno Guamote (Unidad Cebadas o Punín) (Litherland et al., 1994). Cabe resaltar que, en la parte occidental de la Cordillera Real, principalmente en el margen norte del Río Uldán, se encuentra el terreno Alao (compuesto por esquistos verdes y localmente metabasaltos) (Yáñez, 2016) y la zona de sutura denominada Peltetec con dirección principal norte-sur (Reyes, 2006). Así también en el límite occidental de la zona de estudio, es decir en las elevaciones de Loma Shuyo, Cerro Cachaurco, el basamento está compuesto de rocas máficas (basaltos y pillow lavas) y ultramáficas (peridotitas serpentinizadas y gabros) del Bloque Pallatanga, provenientes de un plateau oceánico que logró acrecionarse hacia la placa sudamericana durante el Cretácico ~75-65 Ma (Litherland et al., 1994; Vallejo, 2007)

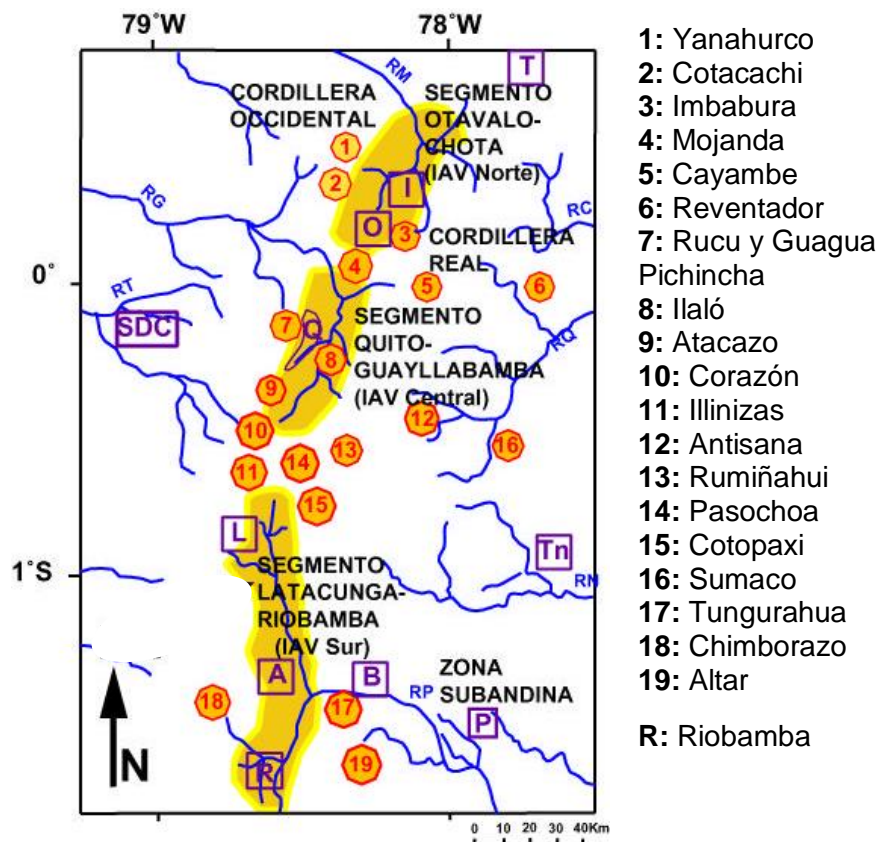


Fig. 2.1. Segmentos de Valle Interandino: Valle Interandino Norte (IAV Norte) correspondiente al segmento Otavalo-Chota, Valle Interandino Central, correspondiente al segmento Quito Guayllabamba (IAV Central) y Valle Interandino Sur, correspondiente al segmento Latacunga-Riobamba (IAV Sur). Modificado de (Villagómez, 2003).

Los trabajos previos en la zona de estudio indican que las rocas del relleno de la cuenca de Riobamba consisten de depósitos volcánicos y volcano-sedimentarios de edades Miocénicas a Pleistocénicas. El relleno volcano-sedimentario corresponde a volcánicos principalmente de tipo andesítico pertenecientes a la Unidad Riobamba, Formación Sicalpa, Formación Yaruquíes, depósitos de Avalancha del Volcán Chimborazo y depósitos Coluviales. (Bernard et al., 2008 y Samaniego et al., 2012).

Las secuencias volcánicas y volcano-sedimentarias fueron depositadas entre el Plioceno a Pleistoceno, bajo un contexto tectónico de subducción en un régimen compresivo donde existió altas tasas de exhumación de la Cordillera Real (Spikings et al., 2000, 2001, 2005).

Las dataciones dentro de los depósitos en la cuenca son insuficientes, sin embargo, correlaciones con edades de volcanismo dan un acercamiento a las edades cronoestratigráficas. Barba (2008), obtuvo dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de flujos de lavas del edificio volcánico más antiguo del Volcán Chimborazo (CH I), obteniendo edades de entre 93 y 63 ka y para la Formación Sicalpa, con dataciones de $3,59 \pm 0,28$ Ma a $2,65 \pm 0,21$ Ma, edad Plioceno, por medio de método K-Ar (Lavenue et al, 1992).

2.2. GEOLOGÍA LOCAL

En base a la información obtenida del levantamiento bibliográfico realizado para la identificación de la estratigrafía de la cuenca de Riobamba, se describen a continuación las características principales de las Unidades descritas por Barba, D., 2006.; Bustillos J., 2008; Naranjo, L., 2013; Salguero, D., 2017; Yáñez E., 2016; Procel S., Alzaraz et al., 2003; Sosa, H., & Guevara, S., 1973; Litherland, M., Aspen, J., 1987; Bernard et al., 2008; Van Wyk de Vries; S., Samaniego, P., 2008.

Unidad Guamote (Unidad Cebadas o Punín) (Jurásico-Cretácico)

Según Aspen, J. & Litherland, M. (1992) la Unidad Guamote denominada “División Guamote” consiste en una secuencia de ortocuarcitas de origen continental intercalada con filitas o pizarras de bajo grado. Las cuarcitas, son feldespáticas, varían desde tipos de grano medio a grueso hasta conglomeráticos; con esporádicas presencias de cuarzo azul. Las cuarcitas son blanquecinas a medianamente grises, intercaladas con pizarras blanquecinas, grises, verdes, violetas o negras (Litherland et al., 1994; Reyes, 2006).

Según Salguero (2017) esta unidad además presenta blastos de cuarzo lechoso subredondeados con alta esfericidad. (Yáñez, 2016) reportó pátinas de óxidos de Fe junto al vetilleo cuarzoso, lo que pudo ser producido por soluciones hidrotermales.

Granito de Pungalá (Eoceno)

De acuerdo con Sosa & Guevara (1973), está compuesto de plagioclasas del tipo ortoclasa, albita, oligoclasa-andesina, láminas resquebrajadas de biotita y anfíbol. Como minerales accesorios se presentan zircón y magnetita. La estructura es masiva, de grano grueso, con textura hipidiomórfica granular.

Unidad Riobamba (Mioceno)

Sosa, H. & Guevara, S., 1973; Naranjo, L., 2013; Salguero, D., 2017, definen a la Unidad Riobamba como secuencias de arcillas, tobas y cenizas volcánicas pelíticas alternadas irregularmente en capas finas perfectamente estratificadas y dispuestas casi horizontalmente (1°-3°). La potencia es aproximadamente de 40 a 50 m.

Según Salguero, D., 2017, esta unidad presenta secuencia de limos, arenas finas y conglomerados estratificadas y en laminaciones finas, estratos granodecreciente y con una continuidad lateral variando en su espesor.

Formación Sicalpa (Plioceno)

Comprende una secuencia piroclástica principalmente de tobas, aglomerados y lavas volcánicas. Los aglomerados contienen fragmentos andesíticos y las lavas son leuco a mesocráticas y generalmente porfíricas (Randel R. P y Overseas M.A., 1973).

Sus Tobas Volcánicas son de grano fino con presencia de algunos clastos de tamaño medio, de coloración claras blanquecinas hasta grises. Los aglomerados por su composición con intermedios a ácidos y los clastos por sus dimensiones, predominando los de 10 a 15 cm (Sosa, H. & Guevara, S., 1973; Baldock, 1982;. Egüez et al, 1992).

Formación Yaruquíes (Plioceno)

En la base de la Formación ocurren areniscas finas de color amarillo – colorado y, sobre éstas, capas de conglomerados con potencia de 5-7 m, con intercalaciones de capas de areniscas coloradas de grano medio y potencia de 2 m. Los conglomerados están formados por cantos de andesita, un tanto redondeados de 2-6 cm, color oscuro. Las capas superiores de aglomerado se presentan con potencia de 2-5 m y sobre ellas afloran capas de arcillas (Bristow, C. R. & Hoffstetter, R., 1977), organizadas en secuencias de grano de segundo y estratos decrecientes de tipo fluvial (Vera et al., 1986).

Avalancha de Chimborazo (Pleistoceno)

El depósito de avalancha de escombros no ha sido datado directamente, sin embargo, a través de un flujo piroclástico directamente sobre el depósito ha sido datado en

aproximadamente 35.000 años (Beate y Hall, 1989). El depósito de avalancha de escombros tiene un espesor promedio de 40 m, cubre un área de 280 km² y tiene un volumen de ~100m. Litológicamente está compuesta de facies de bloques de que tipo andesítico, con grano grueso (hasta 5 m²) y muchas estructuras jigsaw cracks. (Bernard et al, 2008).

Barba (2006), caracterizó al depósito en facies de bloques y matriz. La facies de bloque en grandes unidades mono-líticas de clastosoportado con poca matriz, compuesta de bloques andesíticos y dacíticos. La facies de matriz se compone de una variedad de litología volcánicas en una matriz limo-arenosa, ocasionados por un flujo dispersivo-turbulento, más duradero que la facies de bloques recorriendo grandes distancias (Clapperton, 1990).

Formación Cangahua (Pleistoceno)

Clapperton & Vera (1986), Román & Lara (2011), Hall y Beate (1991), Clapperton (1993), consideran que la Cangagua corresponde a tobas volcánicas, típicamente de colores amarillentos a marrones y beige, generalmente intercalada con partículas volcánicas finas, caídas de cenizas y pómez. Mineralógicamente está constituida de plagioclasas, hornblenda, augita, biotita y pocas veces cuarzo, coincidente con los constituyentes mineralógicos de una roca andesítica que es producto de depósitos volcánicos Cuaternarios.

Este depósito, Bristow, C. R. & Hoffstetter, R., 1977, consideraron la presencia esporádica de areniscas, lutitas y raramente conglomerados. Es muy característica hacia la base la presencia de capas de pómez.

2.3. PRINCIPALES ESTRUCTURAS

La zona de estudio se encuentra influenciado por el sistema de Fallas Pallatanga (Winter y Lavenu, 1989), de dirección NE – SW a NNE – SSW (Baize et al., 2014), compuesto por segmentos estructurales que se extienden desde el este del Golfo de Guayaquil, cruzando la Cordillera Occidental y formando la extensión sur de la Falla Pujilí definida por Hughes y Pilatasig (2002) (Alvarado et al., 2016).

El sistema de Fallas Pallatanga se encuentra atravesando el Volcán Igualata con un sentido dextral, sus rasgos morfológicos son visibles por medio de imágenes satelitales, aunque la continuidad de su trazo resulta difícil de determinar debido a la presencia de potentes depósitos volcánicos y sedimentarios.

La falla La Candelaria puede ser asociada al sistema de Fallas Pallatanga con el mismo sentido dextral, limitando el borde oriental de la Cordillera Real, paralela al Río Chambo con una dirección promedio N6°E +- 8° (Egüez et al., 2003).

Salguero (2017), describió la presencia de dos lineamientos que afectan a la zona de estudio: el Lineamiento Río Guano-Altar de dirección E-W perpendicular al Río Chambo relacionado con la presencia de serpentinitas y fluidos hidrotermales en la Quebrada Itsana Grande, así como la cicatriz de herradura en el Volcán El Altar abierta al Oeste.

El Lineamiento Río Chibunga-Río Ulpán de dirección NWW-SEE (Salguero, 2017), atraviesa la zona de estudio y su presencia es demostrada en cambio súbitos de dirección del Río Chibunga y en ríos menores en el sector de Pantus Grande.

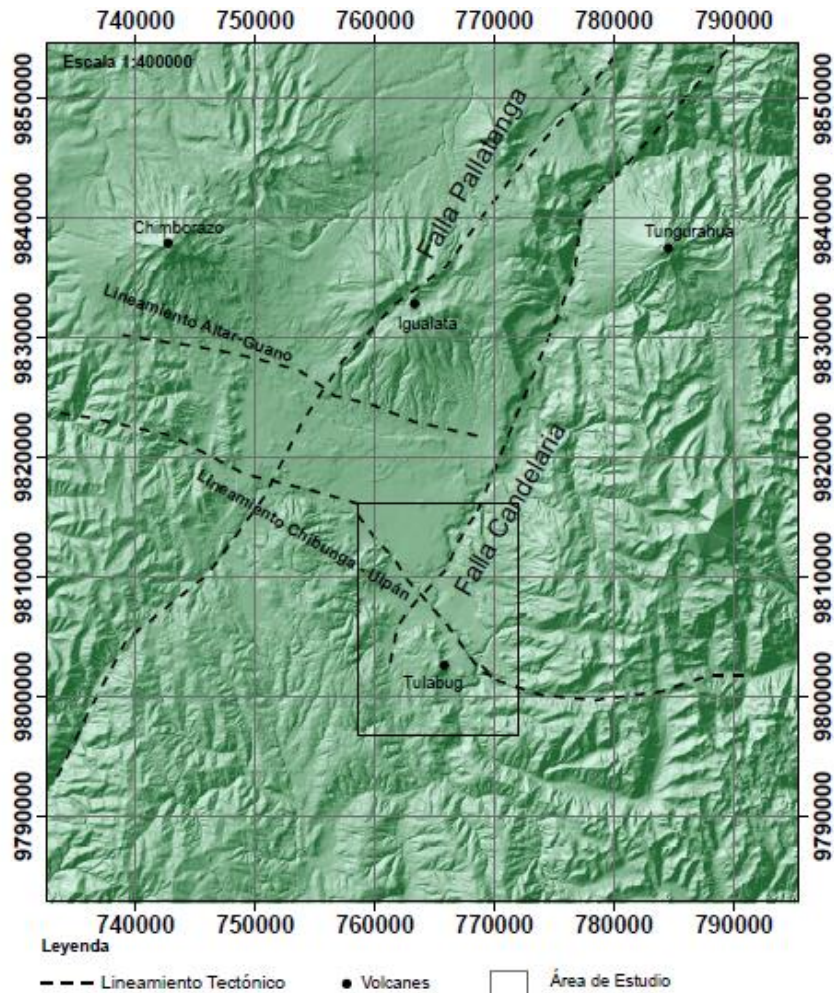


Fig. 2.2. Principales Estructuras y Lineamientos de la Zona de Estudio

2.4. GEOFÍSICA

2.4.1. Métodos Eléctricos

Los Métodos Eléctricos estudian la respuesta del terreno al propagarse a través de él corrientes eléctricas continuas (DC) (González de Vallejo L., 2002). La propiedad física que

se utiliza es la Resistividad (ρ) la misma que es la habilidad de oponer el flujo de carga con unidades ohmios metros (Ωm), y su inversa es el parámetro Conductividad (Lowrie W., 2007).

La conducción que se da en las rocas es electrolítica, gracias a su porosidad, varía de acuerdo con su volumen de poros y conexión entre ellos; así como los fluidos que contienen, en especial agua. La resistividad no es constante, se presenta por rangos y no en valores exactos ya que la disposición de espacios intersticiales puede generar que el flujo de corriente sea diferente en varias direcciones, es decir es anisotrópica. Las rocas ígneas tienen los valores más altos de resistividad, las sedimentarias los más bajos y las rocas metamórficas los intermedios. Sus valores pueden variar por la edad, la mineralogía y contenido agua, o incluso por soluciones salinas (Telford W.M. et al., 1990).

La resistividad de minerales y rocas varía entre 10^{-6} y $10^{+14} \Omega m$ (un rango de 10^{20}).

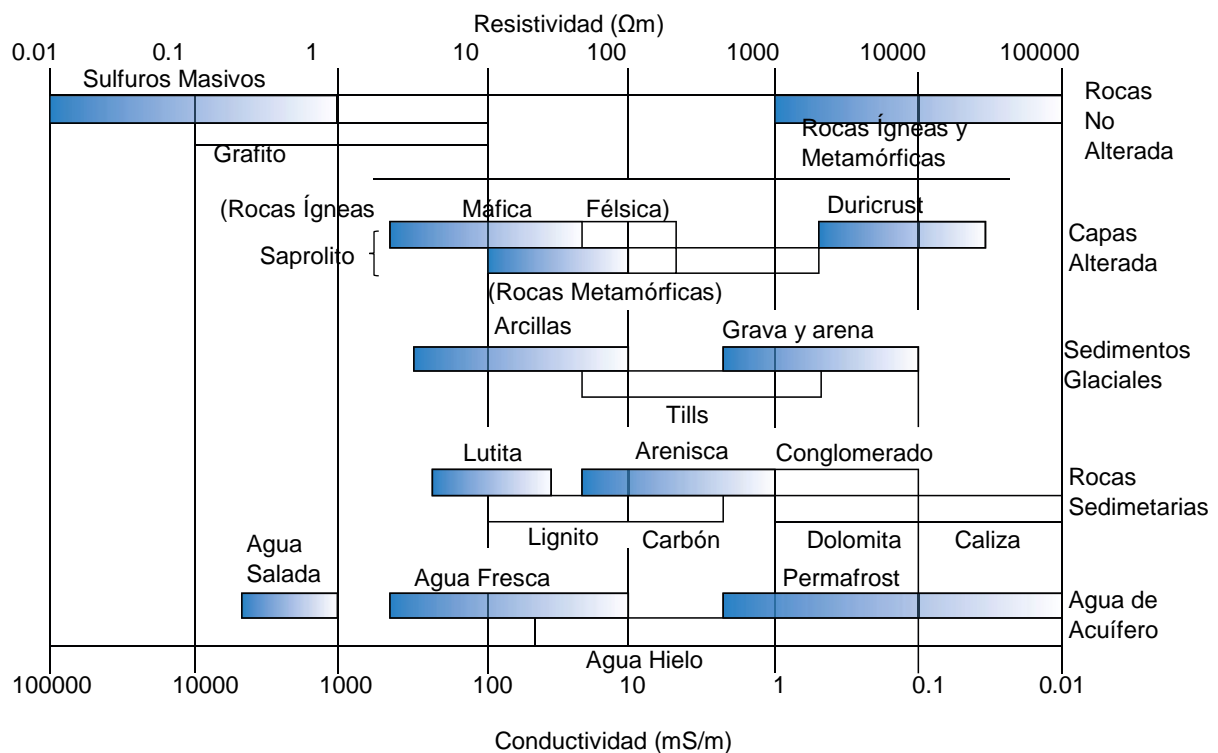


Fig. 2.3. Tabla de Resistividades con su litología correspondiente (H.P. Patra et al., 2016)

La expresión clásica de la ley de Ohm (Ohm, 1826) establece que la diferencia de potencial (ΔV) entre dos extremos de un conductor es proporcional a la intensidad de corriente I:

$$\Delta V = RI \quad (2.1)$$

La resistencia eléctrica puede ser determinada considerando el caso más simple de una muestra cilíndrica de roca de longitud L, resistividad ρ y sección transversal A (Orellana, 1982):

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.2)$$

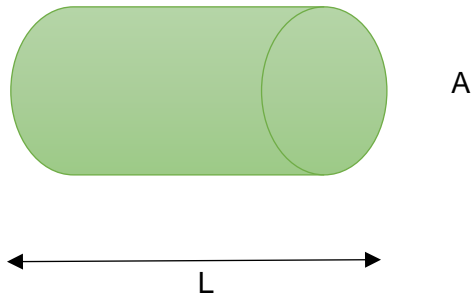


Fig. 2.4. Muestra de roca cilíndrica de longitud L y sección transversal A , con una resistividad eléctrica ρ .

Su medida se da gracias a la inyección de corriente y las diferencias de potencial resultantes en la superficie. Teniendo así los electrodos A y B como inyectores de corriente, y a los electrodos M y N como medidores de diferencia de potencial.

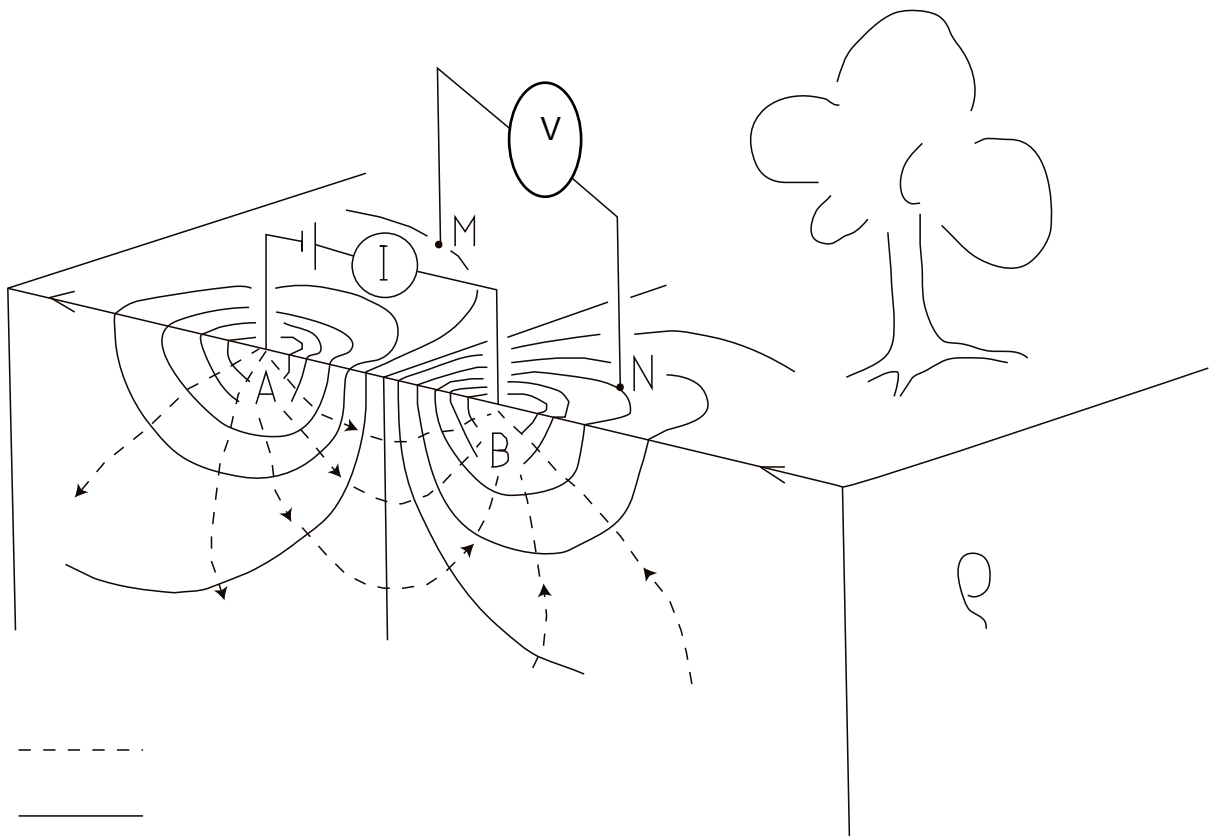


Fig. 2.5. Ubicación de electrodos para inyección de corriente y diferencia de potencial (Caseres M.B., Lauritneti E. & Hu S., 2016)

Los electrodos resultan fuentes puntuales y que el medio resulta isótropo y homogéneo con una resistividad constante ρ , el potencial eléctrico (V) medido en un punto A situado a

distancias r_M y r_N de los respectivos electrodos de energización se obtiene resolviendo la ecuación de Laplace:

$$V_A = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_M} - \frac{1}{r_N} \right) \quad (2.3)$$

Con lo que se puede calcular el potencial para otro punto distinto (B) y debido a que es válido el principio de superposición se obtiene la diferencia de potencial para dos electrodos situados a distancias relativas de las fuentes de corriente:

$$\Delta V = V_A - V_B = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_M^A} - \frac{1}{r_N^A} - \frac{1}{r_M^B} - \frac{1}{r_N^B} \right) \quad (2.4)$$

Entonces el valor de la resistividad es calculado a partir de la corriente I y la diferencia de potencial V .

$$\rho = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (2.5)$$

,donde K es el factor geométrico calculado con el espacio existente entre los electrodos (Kirsch, R., 2006):

$$K^{-1} = \frac{1}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_M^A} - \frac{1}{r_M^B} \right) - \left(\frac{1}{r_N^A} - \frac{1}{r_N^B} \right) \right] \quad (2.6)$$

2.4.2. Resistividad Aparente

La magnitud calculada mediante la expresión (2.6) se denomina resistividad “aparente”, y resulta al considerar los efectos de las heterogeneidades eléctricas del medio. Para obtener una distribución de resistividades “verdaderas” es necesario aplicar métodos de inversión, explicado en el siguiente capítulo.

La Resistividad Aparente se obtiene al asumir que el ensayo se realiza en un medio homogéneo, pero la realidad es que la geología no es homogénea, dispone de diferentes tipos de litologías y un sinnúmero de estructuras geológicas que la afectan, por ello la resistividad que se obtiene dentro del estudio no es la real ya que no refleja las características representativas de cada litología (Lowrie W., 2007).

Es decir, la Resistividad Aparente de una formación geológica es la resistividad real de un medio homogéneo e isotrópico ficticio, dependiendo también la geometría y elementos que la componen (Patra H.P., 2016).

Los datos obtenidos son procesados por medio de programas computarizados con el objetivo de obtener la distribución de la resistividad real del terreno y de esa manera lograr una interpretación real de las estructuras geológicas presentes (Kirsch, R., 2006).

2.4.2. Configuración Wenner

La posición de los pares de electrodos de corriente y potencial tienen un punto medio común siendo totalmente simétricos a él, y la distancia los electrodos son iguales (Lowrie W., 2007). Es sensible a cambios en la dirección vertical de la resistividad, apropiado para identificar estratificaciones.

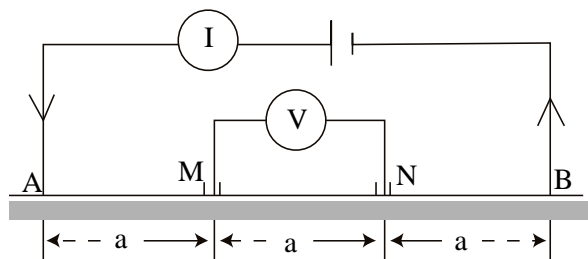


Fig. 2.6. Resistividad calculada a partir de la corriente (I) y el potencial (V) (Lowrie W., 2007).

2.4.3. Configuración Schlumberger

En este caso también existe un punto medio entre los pares de electrodos, aunque la distancia entre los electrodos es diferente (Lowrie W., 2007). Es sensible a cambios de la resistividad en la dirección vertical y horizontal.

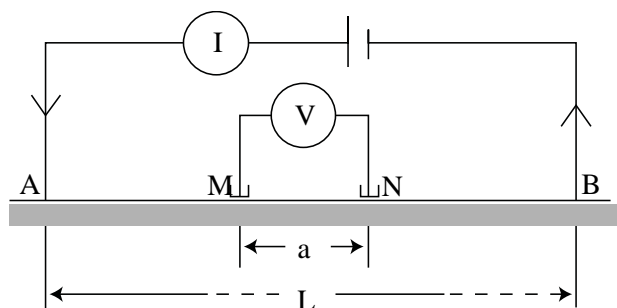


Fig. 2.7. Resistividad calculada a partir de la corriente (I) y el potencial (V) (Lowrie W., 2007).

2.4.5. Tomografía Eléctrica de Resistividades

Las Tomografías Eléctricas son utilizadas para representar las resistividades de cuerpos geológicos cercanas a la superficie o ubicadas a varias decenas de metros, así como

observar si se encuentran afectadas por estructuras geológicas y saturación de agua, de esa manera también encontrar acuíferos en ellos (Lowrie W., 2007).

Para llevar a cabo las Tomografías Eléctricas no solo se desplegará un par único de electrodos potenciales sino una matriz de electrodos espaciados a una determinada distancia dependiendo a la profundidad a la quisiera llegar, dentro de una disposición lineal, de esa manera se realiza un análisis de varias combinaciones de pares de electrodos de corriente y potenciales. El resultado que se obtiene es una sección transversal vertical bidimensional de resistividades verdaderas debajo del conjunto de electrodos, después del respectivo cálculo de inversión de los datos (Fig. 2.7) (Lowrie W., 2007).

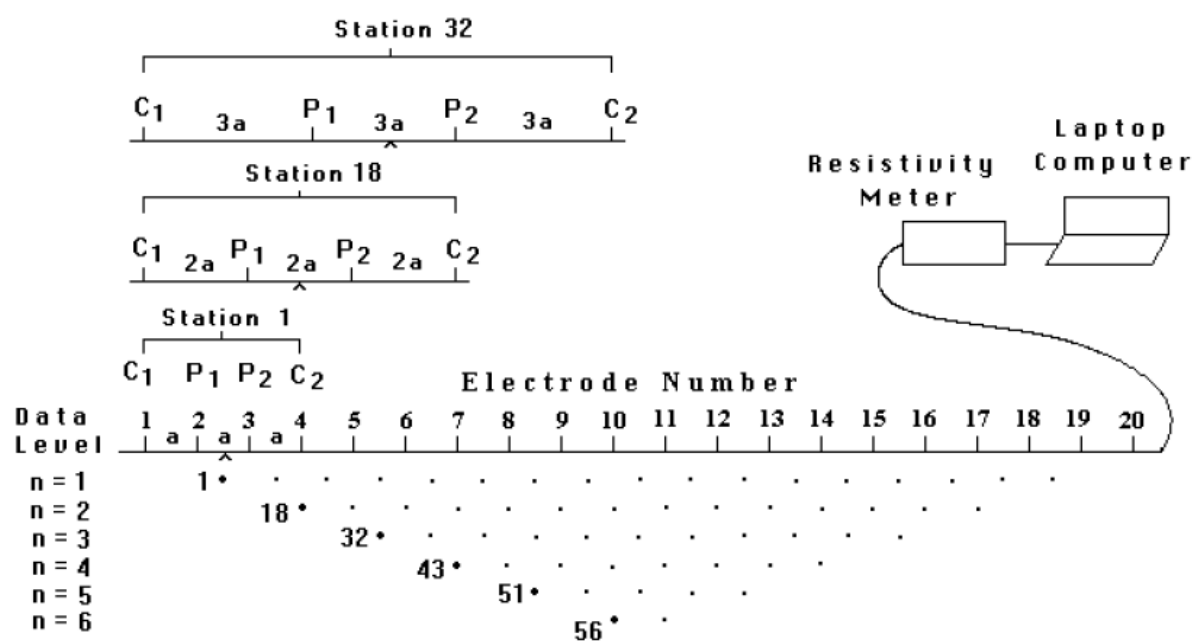


Fig. 2.8. Pseudosección donde se indica los puntos de atribución de todas las combinaciones posibles para 20 electrodos. Se consigue un punto de atribución somero cuando la distancia entre electrodos (a) y otros más profundos cuando la distancia es mayor (Loke M., 2000).

CAPÍTULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS

Este trabajo tiene por objeto describir y cartografiar las Formaciones Geológicas en el área de estudio a escala 1:50000, incluyendo estudios geomorfológicos mediante fotografías satelitales de la geología superficial dentro de la Hoja Topográfica Riobamba. Por otro lado, se realizaron métodos geofísicos para conocer las características de resistividades del subsuelo mediante tomografías eléctricas, y asociar las resistividades a las Formaciones Geológicas para definir qué unidades tengan la posibilidad de niveles de agua.

3.1. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA

Se comenzó con la recopilación de información de trabajos e informes que se han realizado anteriormente en la zona de estudio, para determinar qué Formaciones Geológicas se han descrito previamente y poder identificarlas y clasificarlas según su litología en campo.

Se realizó un estudio de las imágenes satelitales de Google Earth Pro para identificar las fallas principales y morfologías que dominan y afectan a la zona de mapeo para su posterior verificación en campo.

Debido a que el trabajo de titulación se enmarca dentro del Proyecto PIMI 15-02 (Caracterización Del Sistema Acuífero De La Cuenca Alta Del Río Chambo Utilizando Un Enfoque Hidrodinámico Y Geoquímico: Procesos De Recarga Y Gestión Sostenible Del Recurso) cuya área de estudio considera 684 km², se definió la zona de mapeo geológico (Fig. 3.1) considerando la hoja topográfica Riobamba, entre las localidades de Pungalá y Riobamba (198 km²). Para el desarrollo de la cartografía, se realizó el levantamiento de columnas estratigráficas en el Sector de San Pablo, Los Elenes y Pungalá dentro de la Cuenca del Río Chambo, al norte de la ciudad de Riobamba.

Se analizaron 21 muestras litológicas dentro de la zona de estudio, recogidas en 5 salidas de campo de 10 días cada una en las que se recorrió quebradas y afloramientos disponibles para el mapeo geológico. Se realizaron descripciones petrográficas de dichas muestras para identificarlas de mejor manera, determinando su tamaño de grano y composición.

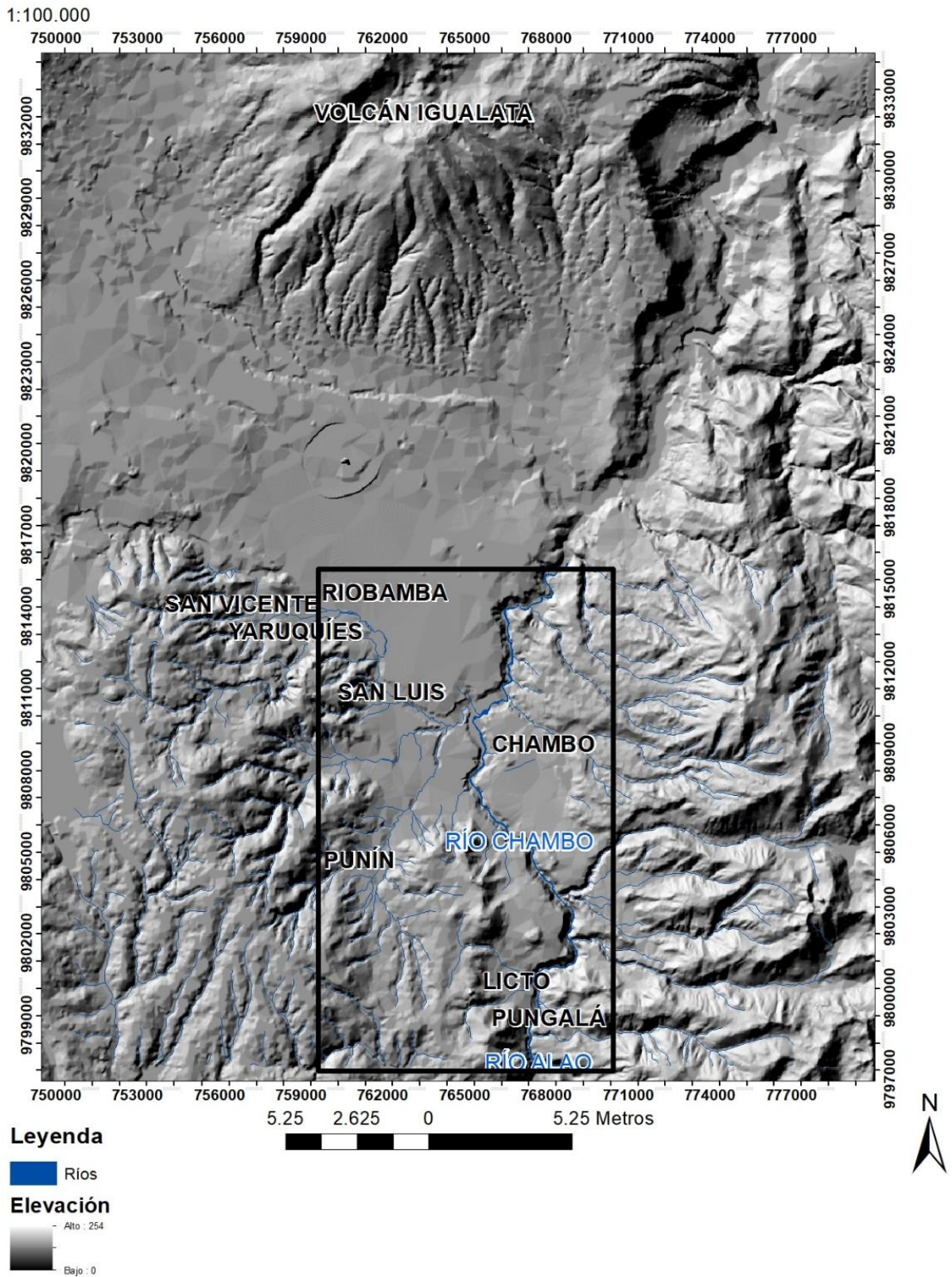


Fig. 3.1. Ubicación del área seleccionada para la Cartografía Geológica (Ver Mapa Geológico en el Anexo 1)

El conjunto de los datos litológicos, estratigráficos, geomorfológicos y análisis en campo, se utilizó para la realización del mapa geológico del Anexo 1. La cartografía geológica se realizó mediante el software ArcGIS versión 10.4.1, utilizando tramas y símbolos del mismo software y colores basados en la Tabla Cronoestratigráfica 2018.

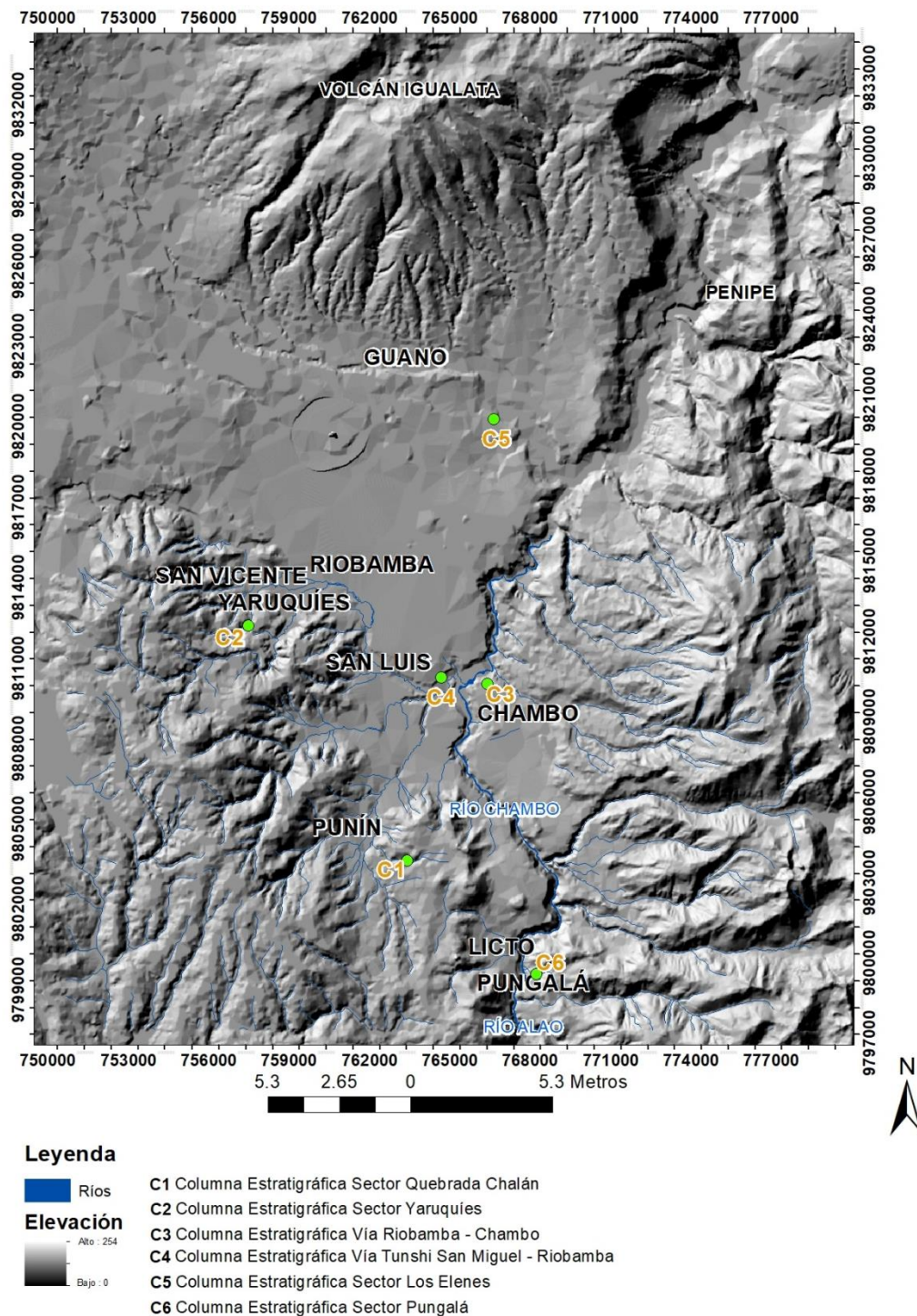


Fig. 3.2. Ubicación de las Columnas Estratigráficas

3.2. LEVANTAMIENTO DE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS

Se realizaron cuatro Tomografías Eléctricas con el objetivo de conocer las resistividades aparentes de las Formaciones Geológicas que se ubican al Norte y Sur de la Ciudad de Riobamba. Se utilizó métodos eléctricos con las configuraciones Schlumberger y Wenner, a lo largo de las zonas de Elenes, San Pablo y Pungalá (Fig. 3.3), las mismas que lograron determinar la presencia de niveles de agua a varias profundidades.

La selección de las ubicaciones para las tomografías se realizó considerando toda el área de estudio del proyecto PIMI 15-02, y la presencia de una cartografía geológica a detalle ya realizada en la zona entre las localidades Riobamba y Pungalá.

El equipo de geofísica utilizado para el método eléctrico (ver fundamento teórico en Apartado 1.4) es el SuperSting R8/IP, realiza hasta 8 medidas simultáneas por cada inyección de corriente con la ayuda de cables multielectrodos de tipo pasivos, es decir necesitan de una Switch box y el cable donde hay un conductor para cada electrodo.

El punto inicial es ubicado por medio de un GPS, a partir del cual se colocan 56 electrodos en línea recta, con estacas de acero inoxidable tipo resorte separados a una distancia equidistante y conectados con cables de transmisión. Es importante tener presente que la profundidad que alcance la tomografía eléctrica depende de la distancia entre los electrodos.

Se aplicó una intensidad de corriente de 2000 mA para verificar las anomalías de resistividades del subsuelo; es necesario tomar en cuenta que la pendiente del terreno donde se va a realizar el levantamiento geofísico no supere el 20%.

La toma de datos mide durante un determinado tiempo en el que de manera automática, la unidad central del equipo graba y almacena la información para su posterior procesamiento e interpretación.

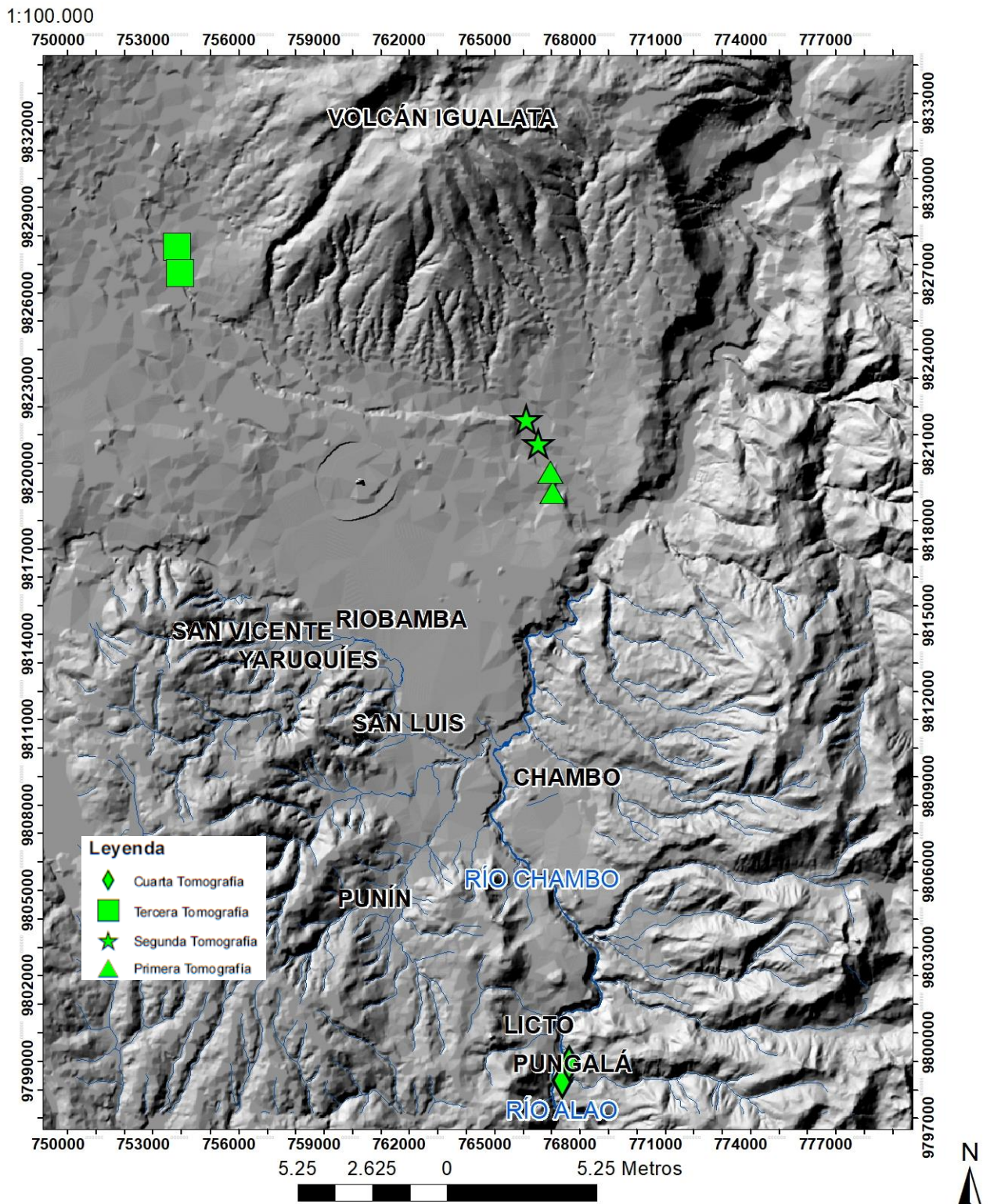


Fig. 3.3. Ubicación de las Tomografías Eléctricas realizadas en este trabajo

3.2.1. Materiales y Equipos

En el proceso de la investigación geofísica de campo se utilizó el siguiente equipo (Fig. 3.4):

- Resistivímetro de subsuelo SuperSting R8/IP con 56 electrodos
- Switch box
- 14 cables, cada uno con 4 electrodos
- 56 estacas de acero inoxidable
- 2 baterías de 12 V
- Computador portátil para administración y procesamiento de datos
- Software EarthImager 2D
- Cinta métrica o flexómetro



Fig. 3.4. Equipos para la realización de las Tomografías Eléctricas

3.2.2. Primera Tomografía Eléctrica

La primera línea de investigación se ubicó en el sector Los Elenes, al noreste de la ciudad de Riobamba (Fig. 3.3.), entre las coordenadas 767055 E / 9818989 N y 766989 E / 9819708 N, con dirección N-S. Se obtuvo la tomografía eléctrica con configuración Schlumberger y aplicando una separación de 17 m entre los electrodos, la longitud total de la línea AB fue de 935 m (Fig. 3.5.).

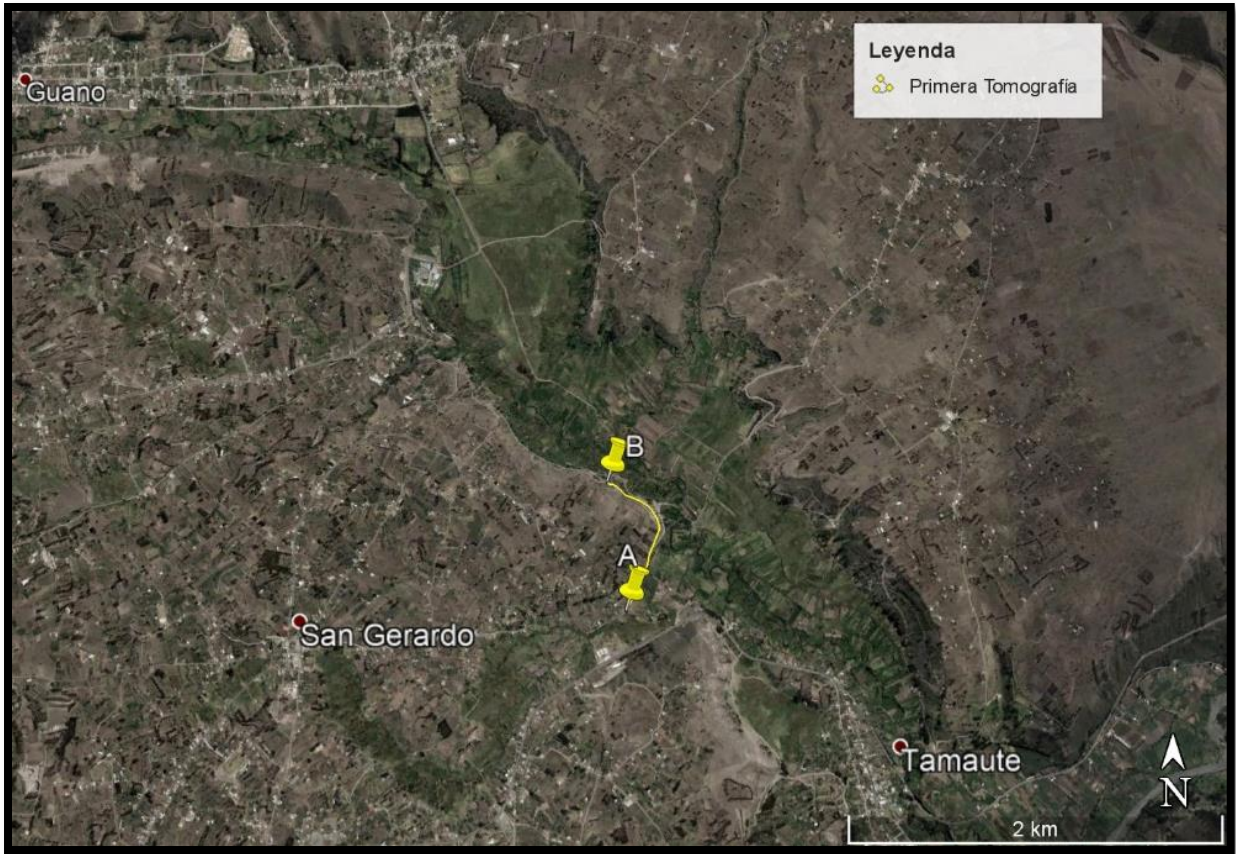


Fig. 3.5. Ubicación de Primera Tomografía Eléctrica

3.2.3. Segunda Tomografía Eléctrica

La segunda línea de investigación se ubicó en el sector Los Elenes parte norte al noreste de la ciudad de Riobamba (Fig. 3.3.), a lo largo de la Avenida Los Elenes, entre las coordenadas 766550 E / 9820706 N y 766150 E / N, con una dirección NNO-SSE. Se obtuvo la tomografía eléctrica, con configuración Schlumberger y separación entre electrodos de 17 m, la longitud total de la línea CD fue de 935 m (Fig. 3.6.).

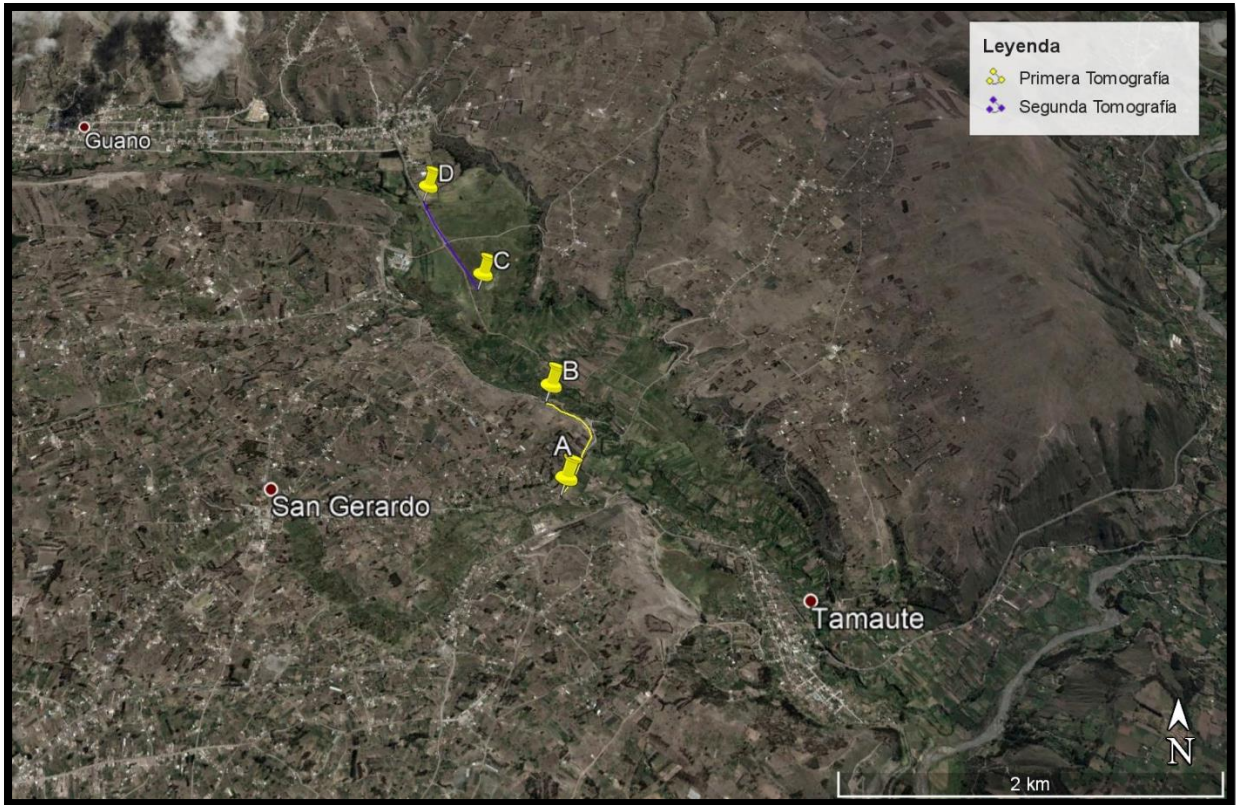


Fig. 3.6. Ubicación de Segunda Tomografía Eléctrica

3.2.4. Tercera Tomografía Eléctrica

La tercera línea de investigación geofísica está ubicada en el sector de San Pablo, al norte del Cantón San Pablo en el Flanco Occidental del Volcán Igualata (Fig. 3.3.), entre las coordenadas 753869 E / 9827628 N y 753979 E / 9826710 N, con una dirección NNW-SSE. Se realizó la tomografía eléctrica con una configuración Wenner y separación entre electrodos cada 17 m, la longitud total de la línea AB = 935 m (Fig. 3.7.).

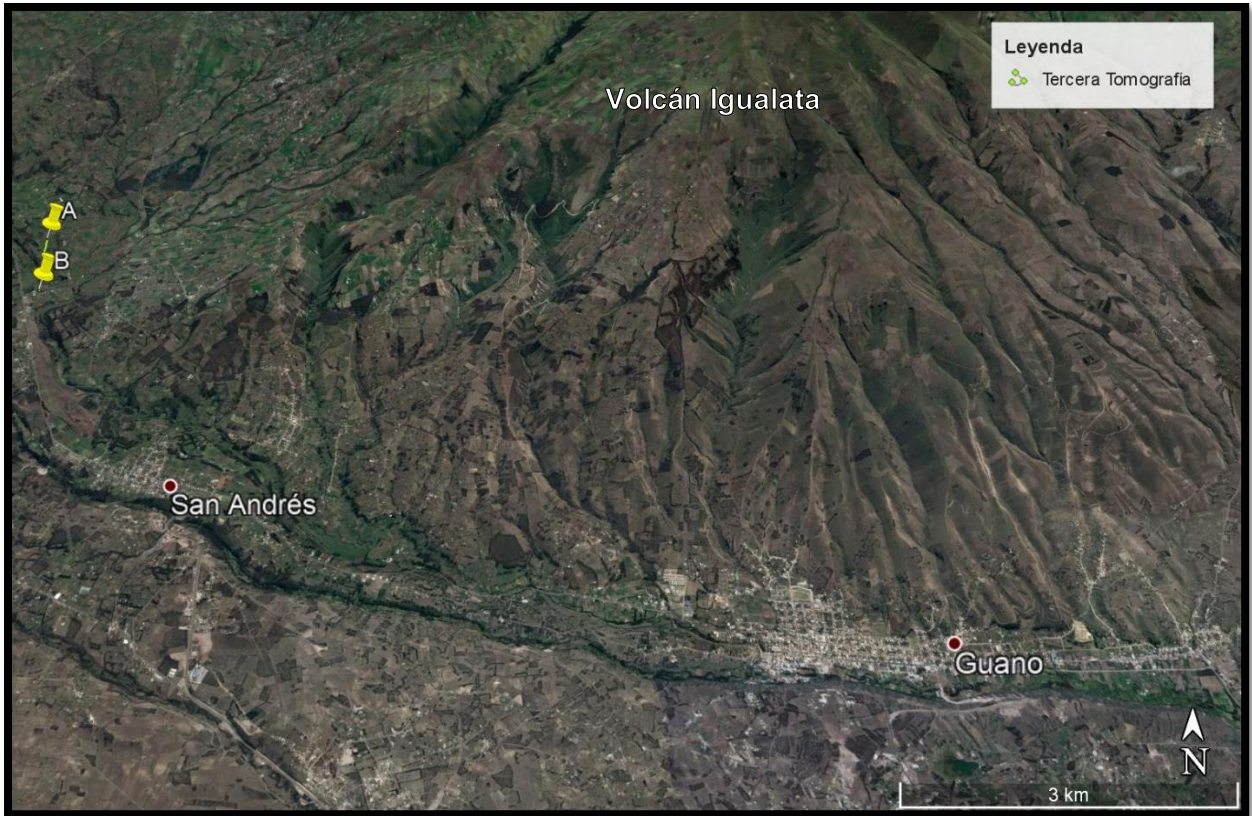


Fig. 3.7. Ubicación de Tercera Tomografía Eléctrica

3.2.5. Cuarta Tomografía Eléctrica

La cuarta línea de investigación geofísica se ubicó en el Cantón Pungalá (Fig. 3.3.), entre las coordenadas 767396 E/ 9798351 N y 767642 E / 9798958 N, con una dirección NE-SO. Se obtuvo la tomografía eléctrica con una configuración Schlumberger y separación entre electrodos de 12 m, la longitud total de la línea AB fue de 660 m (Fig. 3.8.).

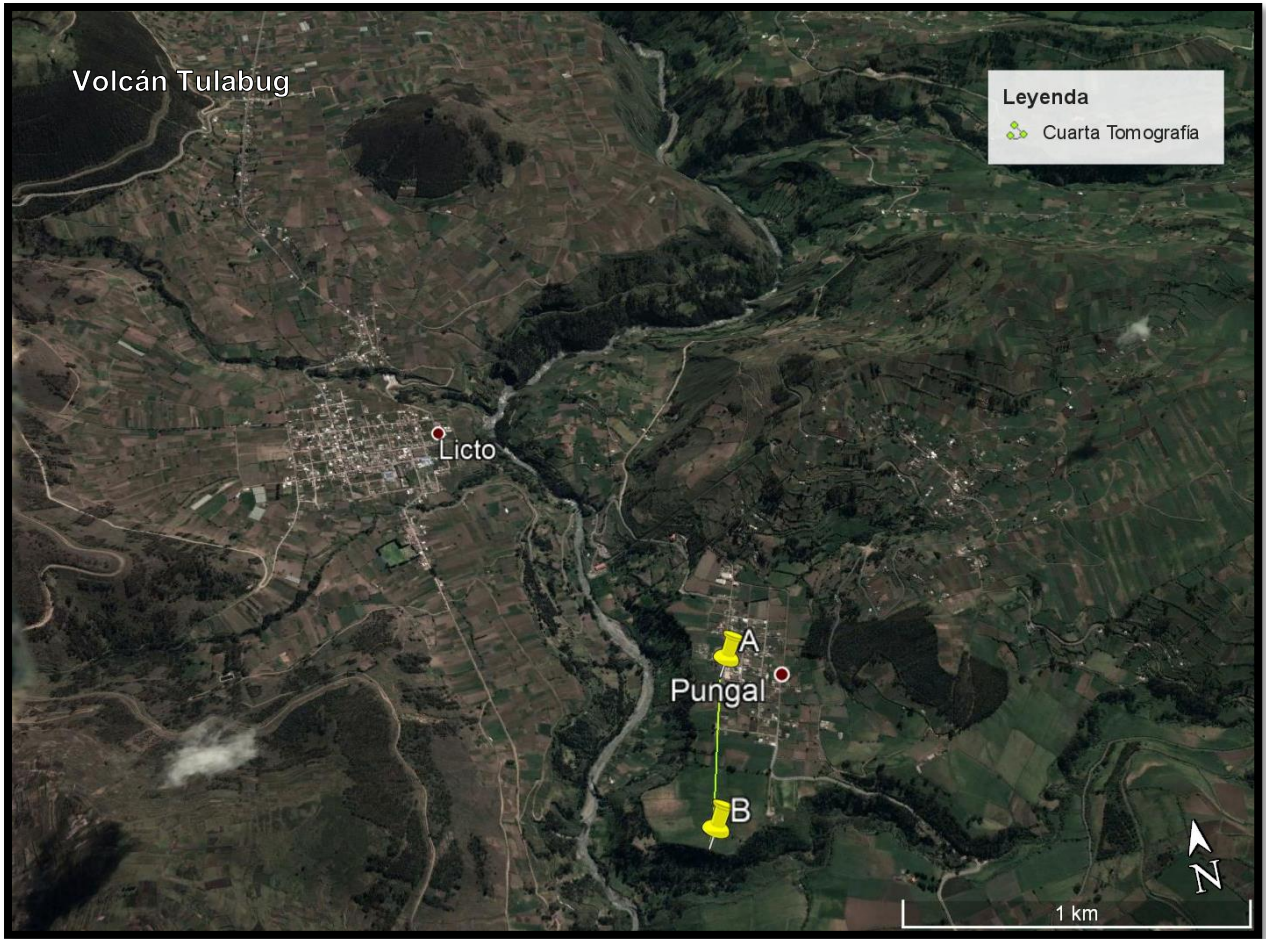


Fig. 3.8. Ubicación de Cuarta Tomografía Eléctrica

Para este trabajo, se realizaron cuatro tendidos eléctricos para determinar las resistividades aparentes de materiales y rocas del subsuelo, a continuación, se resume su ubicación, coordenadas, número de electrodos y configuración que se utilizó en cada una (Tabla 3.1).

Línea	Sector	N° Electr odos	Punto Inicial			Punto Final			Configuración Eléctrica
			x	y	z	x	y	z	
1	Los Elenes	56	767055	9818989	2575	766989	9819708	2584	Schlumberger
2	Los Elenes Norte	56	766550	9820706	2580	766150	9821546	2608	Schlumberger
3	San Pablo	56	753869	9827628	3136	753979	9826710	3128	Wenner
4	Pungalá	56	767396	9798351	2863	767642	9798958	2865	Schlumberger

Tabla 3.1. Ubicación de las Tomografías Eléctricas realizadas y sus características de configuración

3.2.6 Inversión de Datos

Los datos obtenidos del equipo SuperSting R8/IP tienen el formato LANDFILL.DAT con el que se puede realizar su inversión por medio del programa RES2DINV (Geotomo Software), el método de inversión que utiliza el programa es el "Smoothness-constrained inversion method". A continuación se presenta un ejemplo:

Data in file	Comments
LANDFILL SURVEY	; Nombre de la línea de estudio
3.0	; Espacio menor de electrodos
1	; Tipo de Arreglo (Wenner = 1, Schlumberger = 7)
334	; Número Total de Medidas
1	; Tipo de x-ubicación para puntos de referencia
0	; Etiqueta para datos I.P.
4.50 3.0 84.9	; La ubicación x, distancia de electrodos, Resistividad Aparente
7.50 3.0 62.8	; La misma información para otros datos
237 2 39.207	
203 2 14.546	
227 2 31.793	
233 2 30.285	
2	; Etiqueta de dato topográfico
26	; Número de datos topográficos
-100 33	; Dato coordinado horizontal y vertical topográfico
-40 34.5	
-20 35.0	
0 35.209	
10 34.904	
20 33.678	
190 29.643	

200 29.563

270 30.0

300 33 ; Último punto de datos topográficos

2 ; Número de punto de datos topográficos con el primer electrodo

0 ; Cuatro 0s al final del archivo

0

0

0

El modelo usado por el programa RES2DINV divide la subsuperficie en bloques rectangulares con el objetivo de determinar la resistividad de ellos y producir una pseudosección de resistividad aparente que concuerde con las mediciones reales (Fig. 3.9.). La optimización del método trataba de reducir la diferencia entre el valor de resistividad aparente calculado y medido ajustando la resistividad del modelo de bloques, la medida de esta diferencia está dada por el error media cuadrática (RMS). El modelo que se elija será aquel en el que la iteración después del error RMS no cambie significativamente (RES2DINV ver. 3.59, 2010).

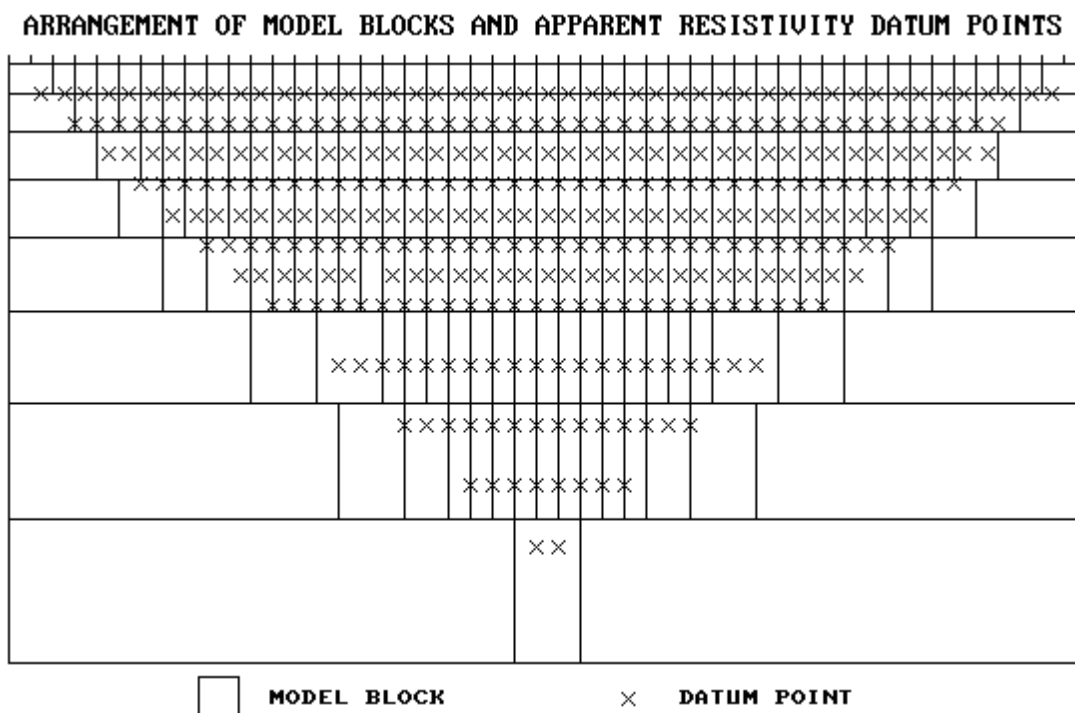


Fig. 3.9. Arreglo de bloques usado en el método del programa RES2DINV

El método de inversión utilizado es el algoritmo de **Inversión de Mínimos Cuadrados Smoothness-Constrained** para crear un modelo de resistividad del subsuelo al invertir las

medidas de resistividad aparente (deGroot-Hedin & Constable 1990). Se basa en la siguiente ecuación:

$$(\mathbf{J}^T\mathbf{J} + u\mathbf{F})\mathbf{d} = \mathbf{J}^T\mathbf{g} - u\mathbf{Fr}$$

donde \mathbf{F} = una matriz de suavizado

\mathbf{J} = La matriz Jacobiana de derivadas parciales

\mathbf{r} = un vector conteniendo el logaritmo del modelo de resistividad

u = el factor de amortiguamiento

\mathbf{d} = vector de perturbación

\mathbf{g} = el vector de discrepancia

El vector de discrepancia \mathbf{g} contiene la diferencia entre valores de resistividad aparente y medida, dada por RMS, que se busca reducir para encontrar un mejor modelo en cada iteración. La ecuación también intenta minimizar el cuadrado de los cambios espaciales, o rugosidad, de valores de resistividad del modelo (Loke M.H., 1999).

Este método está basado en el método de Mínimos Cuadrados Gauss-Newton que recalcula la matriz Jacobiana de derivadas parciales para todas las iteraciones, su gran ventaja es que no necesita de un modelo inicial desde el cual se empieza el proceso iterativo (Loke M.H. & Dahlin T., 2002).

Para reducir el tiempo de análisis de los ordenadores y el coste computacional se desarrolló el método de Mínimos Cuadrados Quasi-Newton en el que se usa la matriz Jacobiana para un modelo de terreno homogéneo en la primera iteración y las matrices Jacobianas para las siguientes iteraciones se las realizan por medio de una técnica de actualización.

Los pasos a seguir para obtener una pseudosección de resistividad son los siguientes:

1. El programa se encarga de leer el archivo tipo LANDFILL.DAT y se obtiene toda la información que se dispone de él, como: distancia entre electrodos, tipo de arreglo, número total de datos, posición del primer electrodo, ubicación mínima de electrodo, distancia mínima del entre electrodos, presencia de datos topográficos, número de datos topográficos, número total de electrodos, ubicación del primer electrodo y la distancia al último electrodo.
2. El programa permite visualizar las medidas obtenidas en campo con el fin de eliminar los posibles valores erróneos, se los puede identificar por presentar valores muy diferenciados a los adyacentes. Las causas pueden ser varias como la incorrecta

colocación del electrodo, ubicación del electrodo en un terreno con material ajeno al del terreno, etc.

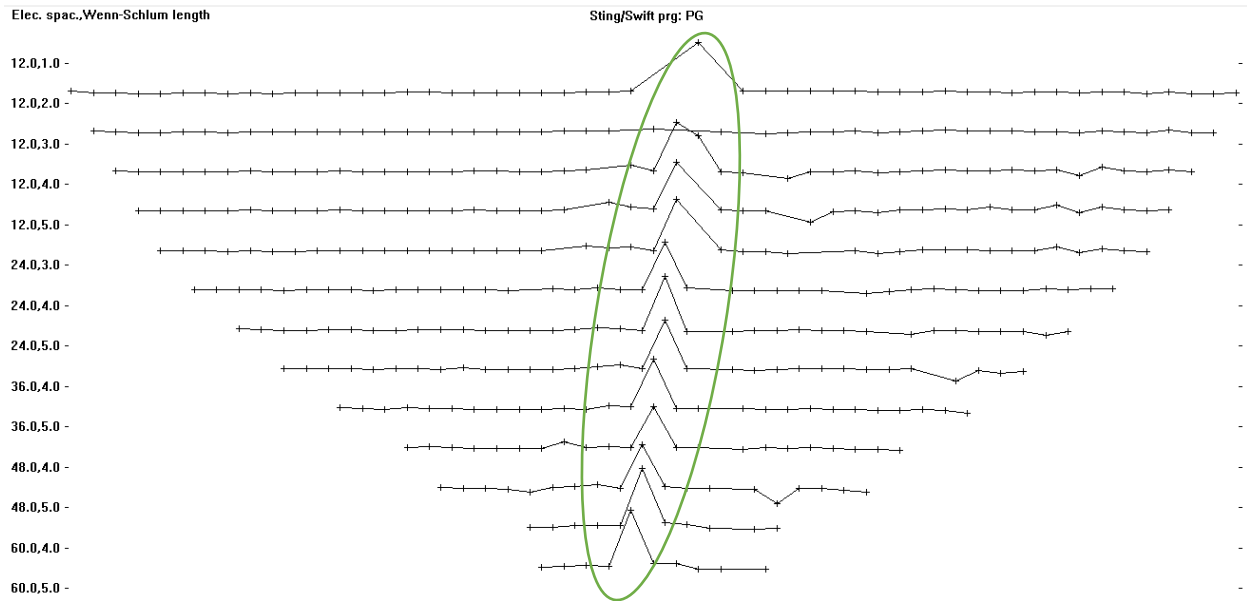


Fig. 3.10. Detección de datos erróneos en las medidas de campo mediante el Software RES2DINV

3. Se define el valor de los parámetros para los cálculos de inversión. Los valores con los que trabaja por defecto el programa son satisfactorios en la mayoría de los casos.
4. Discretización del terreno en bloques manual o automáticamente. El programa trabaja con diferencias finitas, con un número de bloques inferior al de lecturas y cuyo tamaño aumenta un 10% (o 25%) con la profundidad. No obstante podemos modificar manualmente la características de la discretización, así como trabajar con elementos finitos (ideal en el caso de tener topografía irregular).
5. Se procede al inicio de los cálculos de la inversión por medio del menú *Inversion* y con la opción *Least-squares inversions*.
 - El programa genera un modelo homogéneo de resistividades.
 - Posteriormente calcula el modelo de resistividades aparentes que se deriva del modelo de resistividades reales.
 - Compara el modelo aparente calculado con el medido en el campo.
 - Comienza un proceso iterativo con el fin de encontrar un modelo de resistividades reales, tal que la diferencia entre el modelo de resistividades aparentes calculado y el medido sea mínimo. El proceso finaliza cuando se alcance un RMS inferior al predefinido.

- Visualización de los resultados: pseudosección de resistividades aparentes medida en el campo, modelo de resistividades aparentes calculado por el ordenador y el modelo de resistividades reales.

Los Resultados obtenidos de las Tomografías realizadas se presentan en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 UNIDADES LITOLÓGICAS

4.1.1. Unidad Guamote

Ubicación

La Unidad Guamote dentro de la zona de estudio se extiende desde la Quebrada San Gerardo al oeste y al este con la Loma Quillochuda donde se encuentra en contacto con un cuerpo intrusivo. Al sur alcanza la Quebrada Guallaconi; constituyendo el basamento bajo una secuencia piroclástica muy variada como la Secuencia Sicalpa y Cangahua. Dicha Unidad también aparece en afloramientos cerca de Patate, en el Río Yanayacu y en Ambuquí, (Litherland et al., 1994), lo cual queda fuera del área cartografiada en este trabajo.

Litología

Esta Unidad está formada principalmente por una secuencia de cuarcitas grisáceas a rojizas con intercalaciones esporádicas de pizarras negruzcas, principalmente de aporte continental, con espesores centimétricos a métricos, en ciertas zonas se encuentran bastante deformadas y en otras solo se observa una foliación sin deformación.

A lo largo del canal de riego en las quebradas de la Loma Bonbog (UTM 762420/9804394/2835m) las cuarcitas presentan colores blanquecinos, rojizos y grisáceos con una crenulación muy clara y pliegues con flancos de orientaciones N52°E-88°SE y N38°E-14°NW (Fig. 3.1.A). Se observan vetillas de cuarzo y en ciertas zonas fracturadas, se nota una leve oxidación y meteorización.

En la vía San Luis – Punín (UTM: 760515/9804635/2840m) en el afloramiento de la Unidad Guamote se observa diaclasamiento en las cuarcitas grisáceas intercaladas con pizarras negruzcas, presenta una dirección N41°W buzando al Noreste 39°. Los bloques de cuarcita se encuentran fracturados y ocasionalmente presentan vetillas de cuarzo con estructura de chevron.

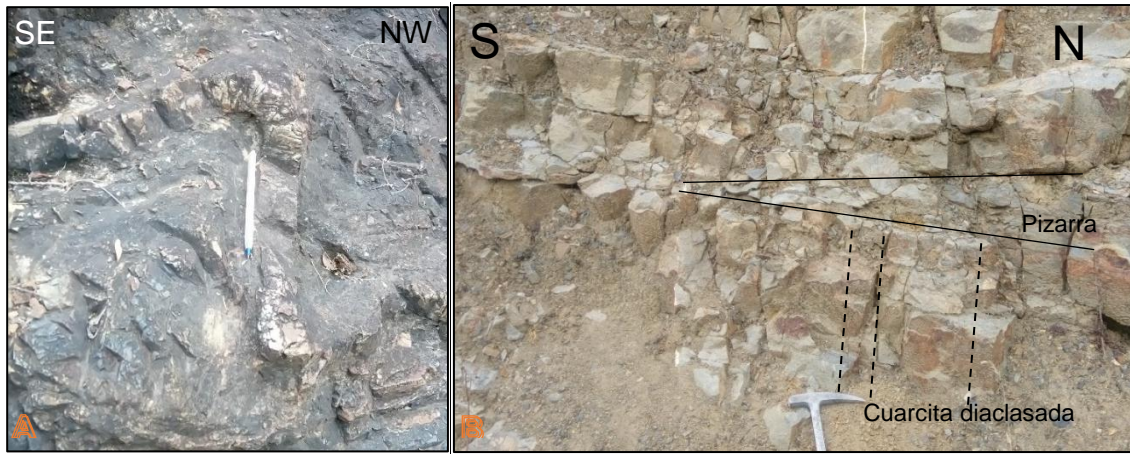


Fig. 4.1. A) Cuarcitas deformadas plegadas con orientación de los flancos $N52^{\circ}E-88^{\circ}SE$ y $N38^{\circ}E-14^{\circ}NW$ de la Unidad Guamote (UTM 0762420/9804394/2835m). **B)** Cuarcita diaclasada intercalada con pizarra de foliación $N41^{\circ}W-39^{\circ}NE$ en la vía San Luis-Punín (UTM: 760515/9804635/2840m).

Las láminas delgadas realizadas de las pizarras de la Unidad Guamote principalmente tienen cristales de cuarzo en un 60%, 20% de plagioclasa con tamaño grano de limo, con un 10 % de minerales opacos y en menor cantidad sericita y clorita (Fig. 4.2.A).

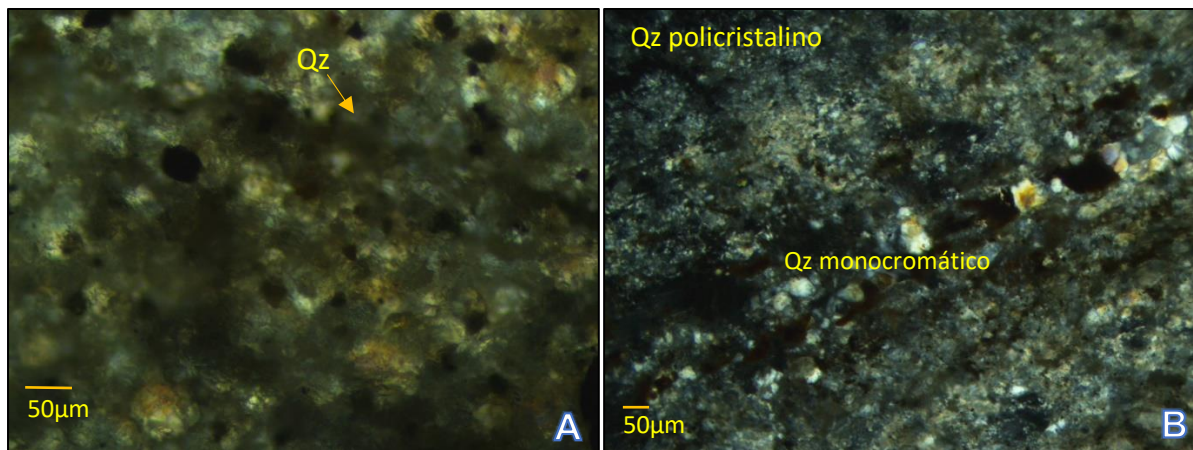


Fig. 4.2. A) Sección delgada con polarizador cruzado (20X) de una pizarra de la Formación Guamote. **B)** Sección delgada con polarizador cruzado (10X) de una cuarcita de la Formación Guamote.

Las cuarcitas en lámina delgada, poseen cristales de tamaño de macro y micro, presenta cristales de cuarzo monocristalino y policristalino en un 80% con un 5% de plagioclasa y minerales opacos (Fig. 4.2.B).

Edad y Correlación

Esta Unidad recibe la edad Jurásico-Cretácico Inferior debido a análisis de fósiles correspondientes a *Ammonites*, *Arieticerias*, *Vermiceras*, *Leptechioceras*, entre otros (Litherland et al. 1994).

La Unidad Guamote es el basamento de la subcuenca del Río Chambo y se encuentra subyaciendo a la Formación Sicalpa y Terrazas fluviales pleistocénicas por medio de un contacto discordante, así mismo, está intruida por el Granito de Pungalá y el pórfido Guaslán.

4.1.2. Granito de Pungalá

Ubicación

Se extienden al norte del Volcán Tulabug, alrededor de la loma de Tunshi Grande continuando al sur rodeando la loma de Miraloma hacia el poblado de Pungalá, en la vía Pungalá-Chambo se pueden observar claramente sus afloramientos, así como en la vía Pungalá-Alao.

Litología

Principalmente se trata de granodiorita hasta cuarzo-diorita con una gran cantidad de plagioclasa, piroxeno, anfíbol, cuarzo y feldespato de potasio. En ciertas zonas presenta una gran meteorización a minerales arcillosos por parte de las plagioclasas. Se encuentran también diques de la misma composición que podrían ser apófisis de los cuerpos intrusivos.

En la vía Pungalá – Chambo aparecen bloques grisáceos de dimensiones métricas y angulares (Fig. 4.3), es decir que no tuvieron mucho recorrido, y que podrían provenir de la parte superior de la loma Fuctus. En estos intrusivos se observa una cantidad menor de minerales máficos con un mayor porcentaje de plagioclasa, cuarzo y feldespato de potasio (UTM 0767807/9800233/2821m).



Fotografía 4.3. Grandes Bloques angulosos de granodiorita de la Unidad Granito de Pungalá (UTM 0767807/9800233/2821m)

Alrededor de la loma Tunshi Grande la Unidad se presenta en bloques subredondeados dentro de una matriz de material arcilloso limoso, (Fig. 4.4.A) producto de la meteorización sufrida por los cristales de plagioclasa a minerales arcillosos. En la Fig. 4.4.B se observa que la meteorización del granito se encuentra en una etapa avanzada, ya que no se encuentran bloques de material fresco en el afloramiento (UTM 0765869/9805638/2855m).



Fig. 4.4. A) Bloques de la Unidad Granito de Pungalá al norte de la loma Tunshi Grande (UTM 0765244/9805674/2835m). **B)** Unidad Granito de Pungalá con una etapa avanzada de meteorización al Noreste de la loma Tunshi Grande (UTM 0765869/9805638/2855m).

La meteorización que se observó en los cantos rodados en la parte inferior de la Quebrada Chalán consiste en una meteorización esférica, típica en granitos Fig. 4.5.A (0762482/9803510/2869m). Otras estructuras presentes son segregaciones de minerales

máficos (Fig. 4.5.B) (UTM 0767061/9796961/2909m) y diques de la misma composición (Fig. 4.5.C), posible producto de apófisis de la Unidad de Granito de Pungalá (UTM 0765869/9805638/2855m).



Fig. 4.5. A) Meteorización esférica de cantos rodados de la Unidad Granito de Pungalá (0762482/9803510/2869m). **B)** Segregaciones de minerales máficos (UTM 0767061/9796961/2909m). **C)** Diques de la misma composición del Granito de Pungalá (UTM 0765869/9805638/2855m).

En descripciones microscópicas se observó un ~10% de augita, ~15% de plagioclasa, ~15% de feldespato de potasio, ~15% de ortopiroxeno, ~15% de cuarzo, ~15% de biotita y ~15% de anfíbol, sus valores son aproximados y cambian en cada muestra ya que se puede tener más minerales máficos en unas zonas y en otras se observa alteración de plagioclasas a arcillas.

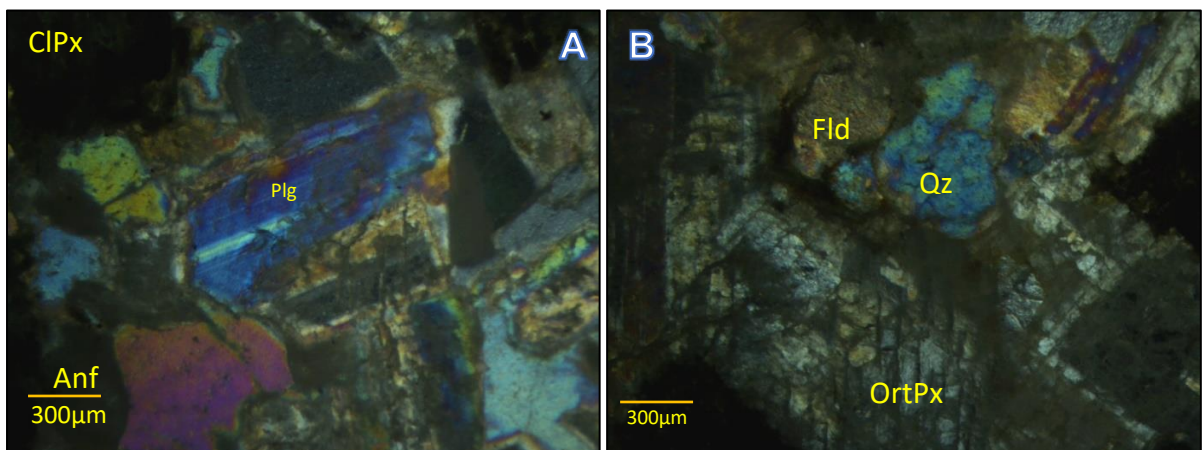


Fig. 4.6. A) Sección delgada con polarizador cruzado (2.5X) de Granito de Pungalá, Muestra R-14. **B)** Sección delgada con polarizador cruzado (2.5X) de Granito de Pungalá, Muestra R-16.

Edad y Correlación

Rundle, (1988) obtuvo edades K/Ar de 43 ± 2 Ma de la Unidad Granito de Pungalá, es decir una edad Eoceno. Esta Unidad se encuentra intruyendo a la Unidad Guamote y subyaciendo la Formación Sicalpa, Volcánicos Tulabug, y Cangahua por medio de una inconformidad.

4.1.3. Pórfido Guaslán

Ubicación

En la zona de estudio los pórfidos se encuentran alrededor de las Lomas Resén, Callana, La Cantera y Agua Santa, subyacente a la Formación Sicalpa. Al Sur oeste de la ciudad de Riobamba en una vía de segundo orden que va desde el poblado de Yaruquíes hacia la Comunidad Guaslán Grande.

Litología

Tienen una tendencia ácida ya que posee fenocristales de cuarzo y plagioclasa, así como de anfíbol, dentro de una matriz con cuarzo y feldespato de potasio, en ocasiones arcillosa cuarzosa.

En la vía Punín – Flores, al Oeste de la Comunidad San Vicente el pórfido se presenta diaclasado y un poco fracturado (Fig. 4.7), conformando la base de las lomas que se observan alrededor. Su textura porfírica tiene una matriz arcillosa con fenocristales de plagioclasa, biotita, cuarzo, plagioclasa. En ciertas zonas del afloramiento presenta una textura fanerítica, lo que vendría a ser zonas más centrales o internas del pórfido.



Fig. 4.7. Pórfido Guaslán con matriz arcillosa de fenocristales de plagioclasa y cuarzo en el Área de la Comunis (UTM 0757426/9803942/3328m)

Al SWW del poblado de San Luis al SW de Riobamba se encuentra un afloramiento en bloques fracturados con espacios de material meteorizado (Fig. 4.8). Se observó una textura porfirítica con una matriz de feldespato de potasio, con fenocristales de cuarzo, plagioclasa y piroxeno; presenta una alteración a arcillas por parte del feldespato de potasio.



Fig 4.8. Pórfido Guaslán con una matriz de feldespato de potasio con fenocristales de cuarzo y plagioclasa (0760641/9810210/ 2748m)

Al realizar descripciones microscópicas se pudo observar que presenta fenocristales de cuarzo, plagioclasa y piroxenos (Fig. 4.9) en una matriz con un ~30% de feldespato de potasio, ~20% de cuarzo, ~20% de plagioclasa, ~13% hornblenda, ~12% piroxeno y ~5% de minerales opacos.

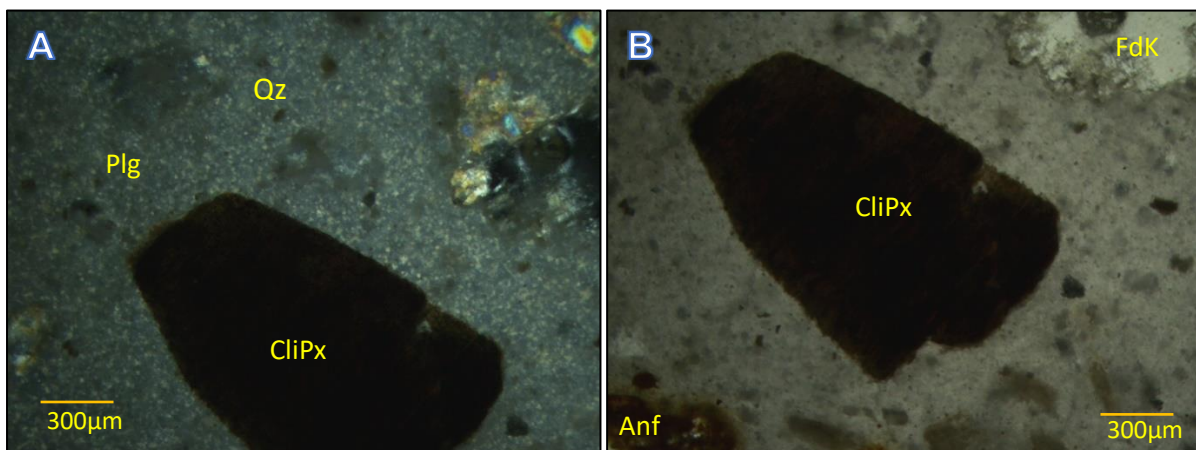


Fig. 4.9. A) y B) Sección delgada con polarizador cruzado y luz transmitida (2.5X) de Pórfido de Guaslán, Muestra R-20.

Edad y Correlación

Esta Unidad no ha sido descrita antes de este trabajo, no se encuentran estudios ni dataciones de este Pórfido, su nombre se asignó debido a que la primera vez que se observó fue en la comunidad de Guaslán. En campo aparece debajo de las Formaciones Sicalpa y Yaruquíes por medio de una inconformidad, por ello al Pórfido se interpreta como de edad Eocénica.

4.1.4.Unidad Riobamba

Ubicación

La Unidad Riobamba dentro de la zona de estudio no se muestra en muchos puntos, aunque dichos afloramientos son suficientes para la interpretación estratigráfica que se le ha asignado. Se encuentra un afloramiento en la vía Riobamba-San Luis, subyaciendo la Avalancha del Chimborazo, así como dentro de la Quebrada Chalán en donde se observó un ojo de agua, dentro de esta Unidad.

Litología

Consiste en estratos horizontales de dimensiones métricas de toba volcánica con tamaño de grano de ceniza gruesa, de color grisáceo café, con clastos de pómez; en ciertas zonas se presentan laminaciones desde 5 mm de espesor y en otras se presenta más masiva. Estos depósitos contienen cristales de plagioclasa, piroxeno, vidrio volcánico y líticos milimétricos andesíticos.

En la vía Riobamba-San Luis se observa un afloramiento de una secuencia volcanoclástica de toba volcánica de color café en estratos masivos y otros con una laminación con clastos de pómez (Fig. 4.10.). Encima de la Unidad Riobamba se ubica la Formación Avalancha de Chimborazo la cual posee bloques de diámetro métricos angulosos andesíticos dentro de una matriz arenosa limosa (UTM: 761648/9811432/2685m).



Fig 4.10. Secuencia volcanoclástica de toba volcánica de la Unidad Riobamba (UTM: 761648/9811432/2685m)

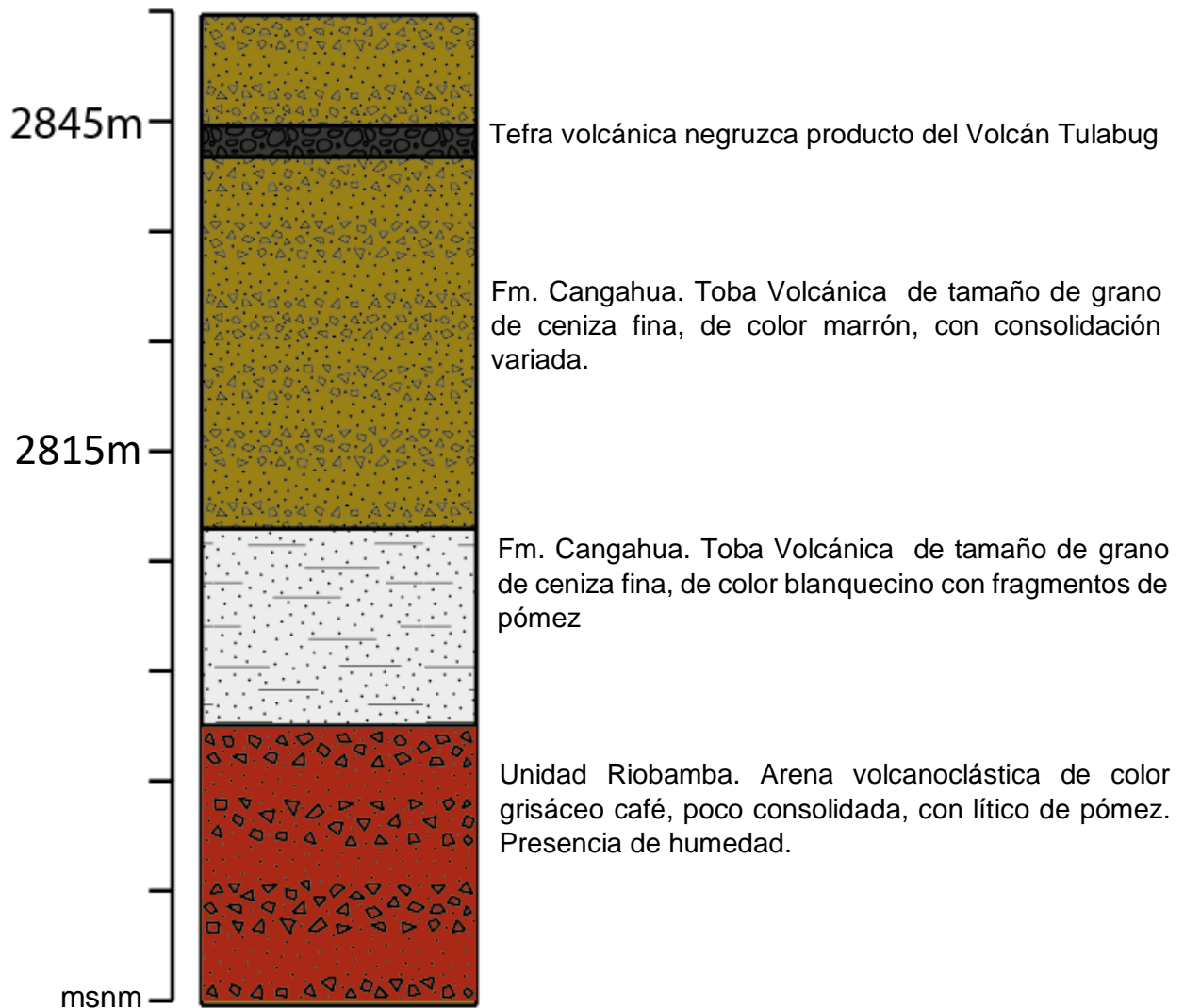


Fig.4.11. Columna Estratigráfica con intervalos de 10 metros dentro de la Quebrada Chalán

Dentro de la Quebrada Chalán (Fig. 3.11) la Unidad Riobamba presenta humedad, cisterna o galerías donde almacenan agua provenientes de esta unidad (UTM: 762926/9803497/1906m).

Edad y Correlación

Se observa una continuidad lateral hacia al sur de la ciudad de Riobamba, hasta el Límite Sur de la Avalancha de Chimborazo, en el poblado de San Luis se encuentra cubierto por terrazas pleistocénicas y hacia al Sur de la zona de estudio por la Formación Sicalpa. Por interpretación estratigráfica a esta unidad se le asignó una edad Miocénica-Pliocénica.

4.1.5. Formación Sicalpa

Ubicación

La Formación Sicalpa en la zona de estudio se dispone sobre el Pórfido de Guaslán y subyacente a secuencias piroclásticas Plio-Cuaternarias de cenizas y cangahua, que al igual que estas, aparece principalmente de forma subhorizontal o amoldadas a paleotopografías. Se extiende al norte desde la Loma Resén y la Quebrada Guaslán, así como se encuentra sobre la Unidad Guamote alrededor de la Loma Bonbog; y hacia al sur cubriendo cuerpos intrusivos pertenecientes al batolito Granito de Pungalá rodeando Verdeloma.

Litología

Está constituida por estratos de toba volcánica con tamaño de grano ceniza y arenisca de 1 a 10 metros de espesor con colores variados blanquecinos, cremas, grisáceos, violáceos con líticos volcánicos y metamórficos milimétricos, cubiertas en ocasiones por deslizamientos posteriores.

En la vía alterna Punín – Licto al oeste de la Loma Bonbog, el afloramiento de la Formación Sicalpa presenta una estratificación muy marcada de tobas volcánicas. Como se observa en la Fig. 4.12 Desde la parte inferior consiste en una alternancia de toba volcánica grisácea violácea con tamaño de grano de ceniza gruesa y media, con zonas donde se observa una mayor compactación que en otras, y con gran cantidad de cristales de cuarzo, plagioclasa, piroxenos y anfíboles. La secuencia volcano sedimentaria continua con 30-50 cm de toba volcánica color crema, de tamaño ceniza con líticos de pómez, cristales de biotita y vidrio volcánico pertenecientes a la Formación Cangahua (UTM 0761863/9804067/2813m).



Fig. 4.12. Secuencia de Tobas Volcánicas de la Formación Sicalpa cubiertas por tobas cremas de Cangahua (UTM 0761863/9804067/2813m)

En lámina delgada se observa una matriz de arcilla grisácea con plagioclasa, presenta un ~50% de cristales de plagioclasa, ~10% de piroxeno oxidados con un ~40% de vidrio volcánico.

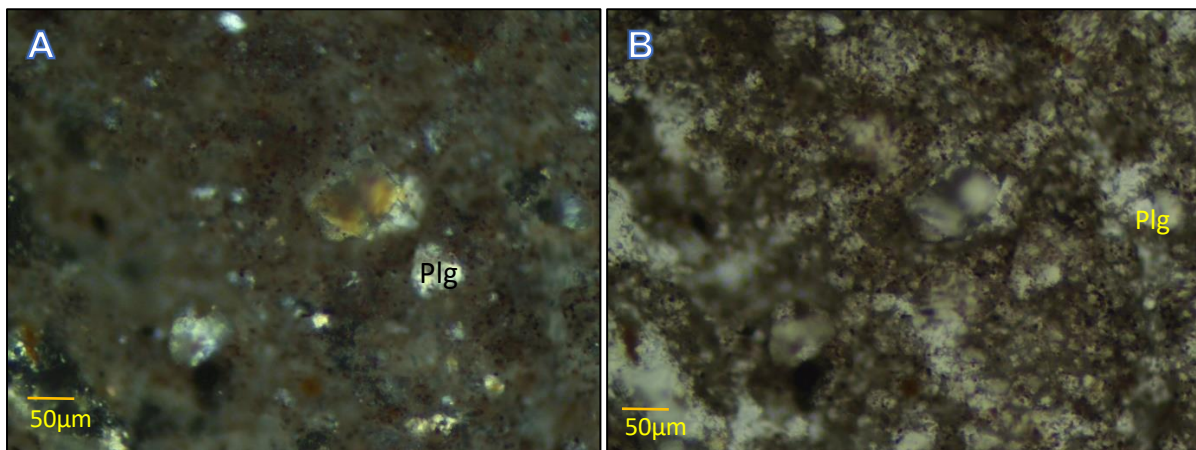


Fig. 4.13. A) y B) Sección delgada con polarizador cruzado y luz transmitida (20X) de Formación Sicalpa, Muestra R-10.

Edad y Correlación

Esta Formación está datada de $3,59 \pm 0,28$ Ma a $2,65 \pm 0,21$ Ma, por medio de método K-Ar con una edad Plioceno (Lavenu et al, 1992). Se encuentra estratigráficamente en la misma posición que la Formación Yaruquies y sobre pórfidos, cuerpos intrusivos y Unidad Guamote.

4.1.6. Formación Yaruquíes

Ubicación

La Formación Yaruquíes aflora en los alrededores de la parroquia del mismo nombre en las quebradas de la Loma Puchalín.

Litología

Está constituida por una secuencia tipo fluvial con una alternancia de capas de conglomerados y areniscas de grano grueso y grano fino rojizas, grisáceas a moradas. Los conglomerados que conforman esta Formación poseen principalmente clastos volcánicos y metamórficos (Fig. 4.14).

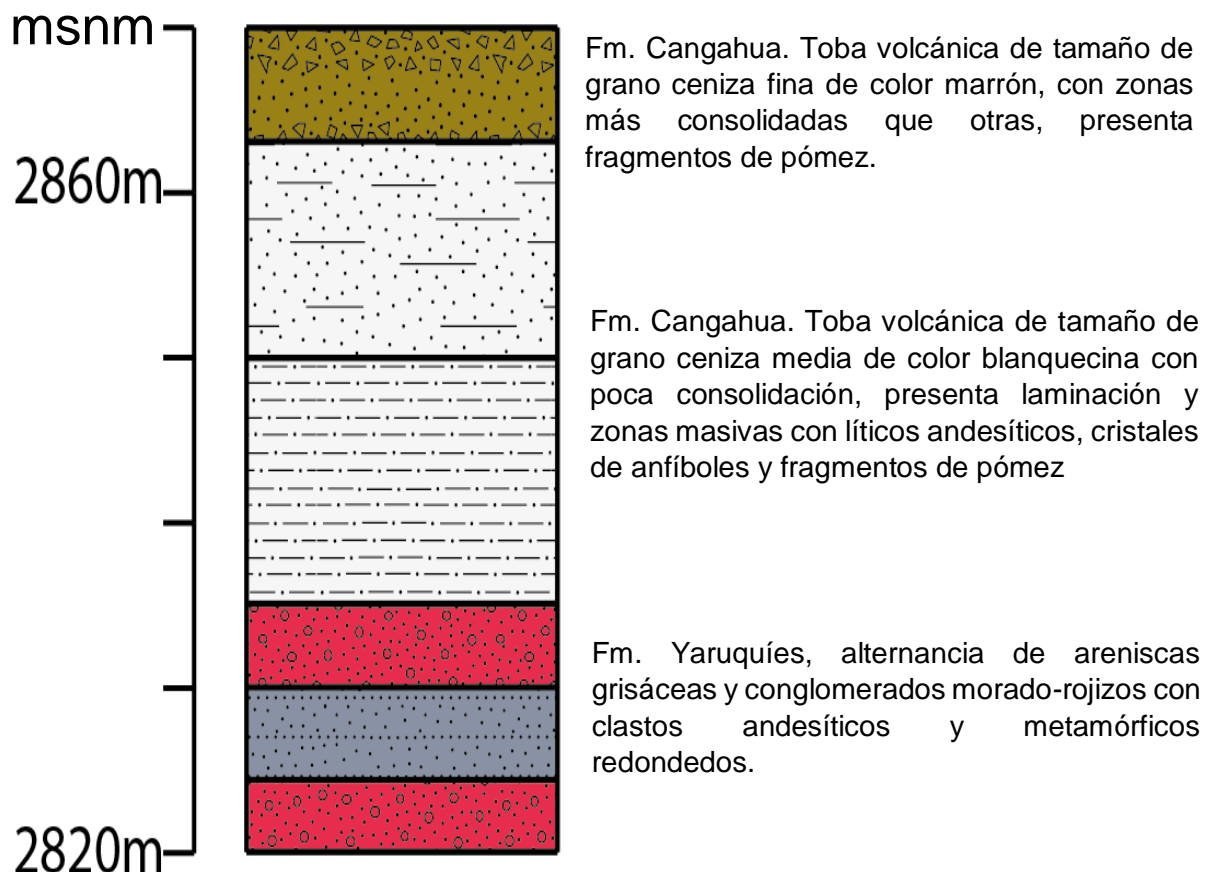


Fig.4.14. Columna Estratigráfica con intervalos de 10 metros en el poblado de Yaruquíes

En el sector de la Loma Puchalín (UTM 0759052/9812712/2834m) al SE del poblado de Yaruquíes se observan canales con estratificación cruzada en surco (Fig. 4.15) compuesto por conglomerados y areniscas volcánicas de grano fino de color grisáceo morado a rojizo con cristales de cuarzo y plagioclasa. Los conglomerados son granosoportados con clastos de hasta 30 cm de diámetro de rocas volcánicas y cuarcitas, tal vez procedentes de la Formación Guamote, dentro de una matriz arenosa rojiza.



Fig 4.15. Canales con estratificación cruzada en surco de conglomerados y areniscas volcánicas de la Formación Yaruquíes en el sector de la Loma Puchalín (UTM 0759052/9812712/2834m)

Al norte de la Loma Puchalín también afloran areniscas volcánicas muy compactadas y diaclasadas de color rojizo (Fig. 4.16), debido a una oxidación de las mismas; el afloramiento aparece debajo de una capa de toba volcánica de tamaño de grano ceniza de color blanquecina con fragmentos de pómez pertenecientes a la Formación Cangahua (UTM: 0759364/9812724/2812m).

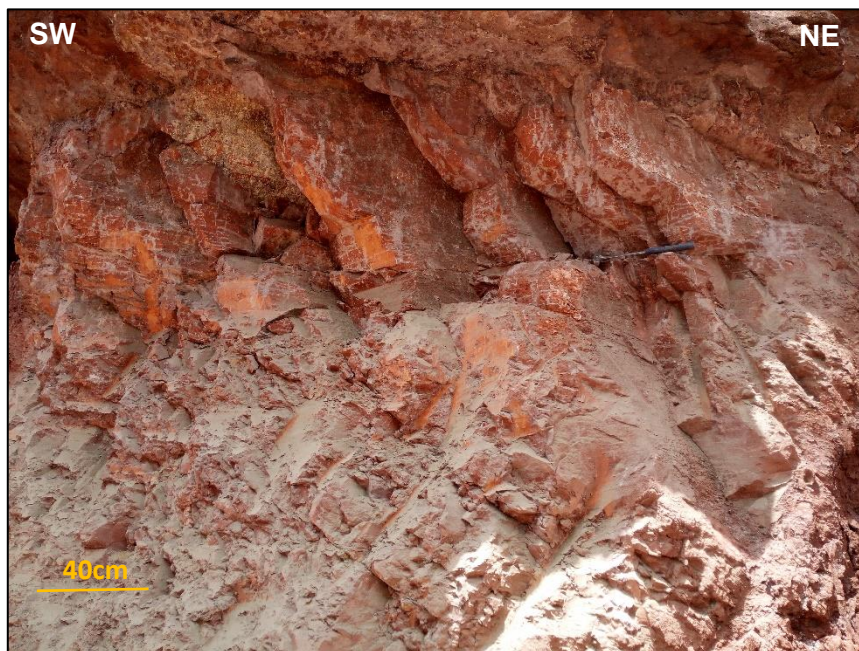


Fig. 4.16. Arenisca volcánica rojiza muy compactada, diaclasada de la Formación Yaruquíes (UTM: 0759364/9812724/2812m)

Edad y Correlación

Vera et al, (1986) asignan una edad Terciaria a la Formación Yaruquíes, en este trabajo se observó esta Formación por encima del Pórfido de Guaslán y se encuentra en la misma posición estratigráfica que los volcano sedimentos de la Formación Sicalpa, por lo que podría corresponder a un cambio lateral de Unidades con la Formación Sicalpa. Considerando esta correlación lateral se le asignó una edad Pliocénica a la Formación Yaruquíes.

4.1.7. Volcánicos Tulabug

Ubicación

Sus afloramientos se ubican al Este del Cono Volcánico Tulabug, a lo largo del margen izquierdo del Río Chambo desde la Comunidad Guvunhuv hasta el poblado de Licto. Sus afloramientos forman escarpes muy pronunciados junto al río.

Litología

Esta Formación consiste en lava volcánica producto del Volcán Tulabug el cual es inactivo actualmente, son andesitas basálticas que puede constituir la estructura en sí del volcán o flujos volcánicos de él. Son rocas frescas muy difíciles de romper, muy silicificadas, masiva sin vesículas por lo que se entiende que son lavas básicas con muy poca cantidad de gas.



Fig. 4.17. Columnas andesitas las basálticas de Volcánicos Tulabug (UTM: 0768200/9801931/2831m).

Al este del Cono Volcánico Bellavista en el margen izquierdo del Río Chambo se observan columnas de lava andesita basáltica (Fig. 4.17), con una textura afanítica y un color negruzco (UTM: 0768200/9801931/2831m).

En el sector de la Estación Las Banderas se encuentra un flujo de lava volcánica perteneciente a los Volcánicos Tulabug, se presentan en bloques fracturados como se observa en la Fig. 4.18. Su textura es porfirítica, contiene cristales azules los cuales podrían ser olivinos, esa coloración podría ser por su fractura, y plagioclasa dentro de una matriz negruzca.



Fig. 4.18. Flujo de lava andesita basáltica de los Volcánicos Tulabug (UTM: 0766273/9802329/2982m).

En descripciones microscópicas se observó un ~50% de plagioclasa, ~30% de piroxeno con ~20% de olivino dentro de una matriz de piroxeno, plagioclasa con vidrio volcánico.

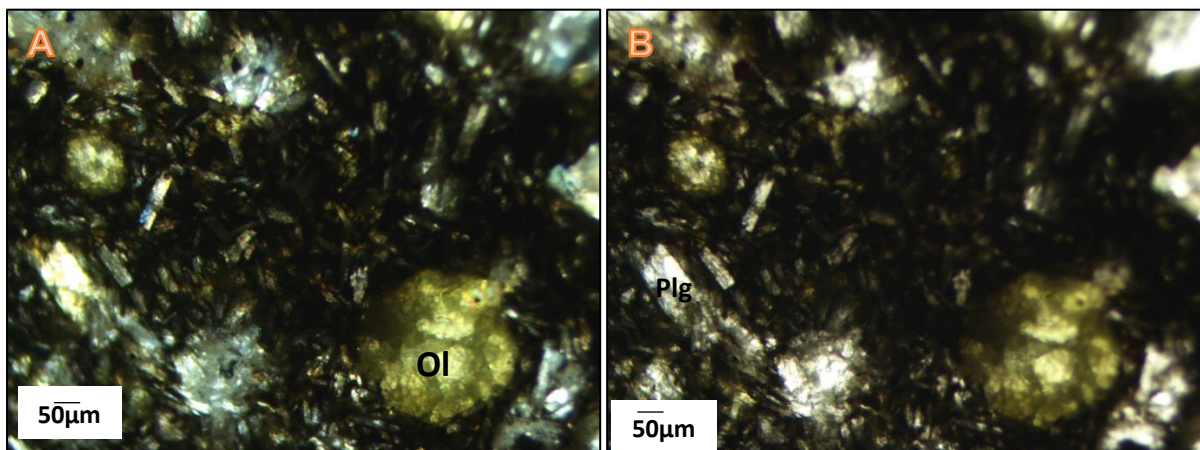


Fig. 4.19. A) y B) Sección delgada con polarizador cruzado y luz transmitida (20X) de Volcánicos Tulabug, Muestra R-10.

Edad y Correlación

Se le asignó una edad Pleistocénica al estar estratigráficamente por encima de la Unidad Riobamba y bajo las Terrazas Fluviales del Río Chambo asignadas al Pleistoceno.

4.1.8. Depósito Brechoide Chambo

Ubicación

Se ubica debajo del poblado de Chambo, en el margen derecho del Río Chambo desde el sector de Ulpán hasta Casahuaycu.

Litología

Consiste en una secuencia sedimentaria de probable origen coluvial asociada al levantamiento de la Cordillera Real, compuesta por sedimentos con clastos volcánicos andesíticos y metamórficos angulares de hasta 1 metro de diámetro (Fig. 4.20.A), dentro de una matriz arenosa limosa blanquecina (UTM: 0770462/9805618/2956m).

En la parte más occidental del depósito el tamaño de clastos disminuye (Fig. 4.20.B), sus clastos son redondeados y subredondeados (UTM: 0764998/9807303/2581m).

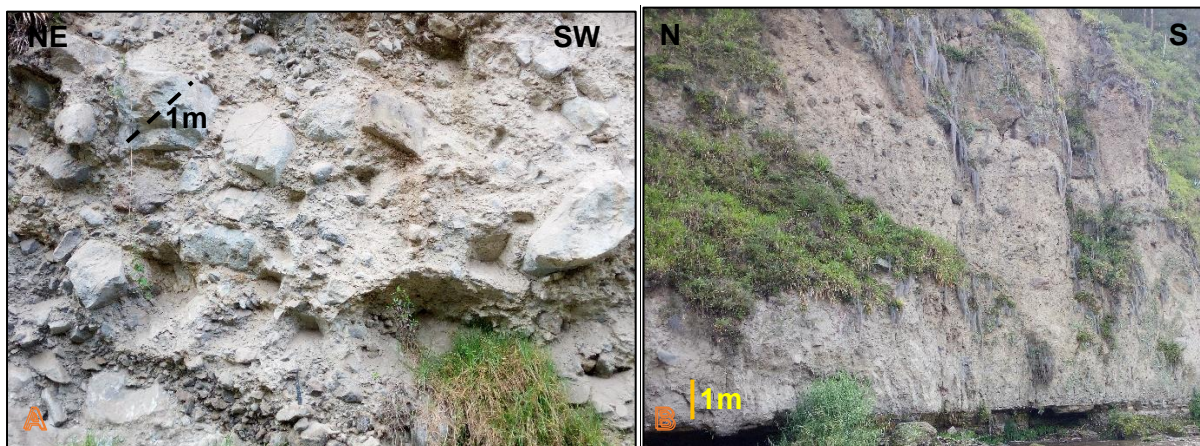


Fig. 4.20. A) Depósito Brechoide Chambo en la parte más oriental (UTM: 0770462/9805618/2956m) y **B)** la parte más occidental, en el margen derecho del Río Chambo (UTM: 0764998/9807303/2581m).

Edad y Correlación

Al realizar observaciones fotointerpretativas se determinó la presencia de varios eventos coluviales, que se encuentran cubriendo a la Formación Guamote y están cubiertos por Cangahua, por lo que se le asigna una edad Plioceno.

4.1.9. Terraza Fluvial Chibunga-Chambo

Ubicación

Se ubica alrededor del Volcán Tulabug en el margen izquierdo del Río Chambo hacia el sur del Depósito de Avalancha del Chimborazo y el poblado de Yaruquíes.

Litología

La secuencia sedimentaria se compone de areniscas grisáceas con material andesítico intercaladas con limolitas blanquecinas y conglomerados clastosoportados, junto con capas marrones de areniscas.

Las areniscas varían de grano grueso a fino lateralmente, están compuestas por material volcánico y metamórfico. Las limolitas son de origen piroclástico de ceniza volcánica retrabajada.

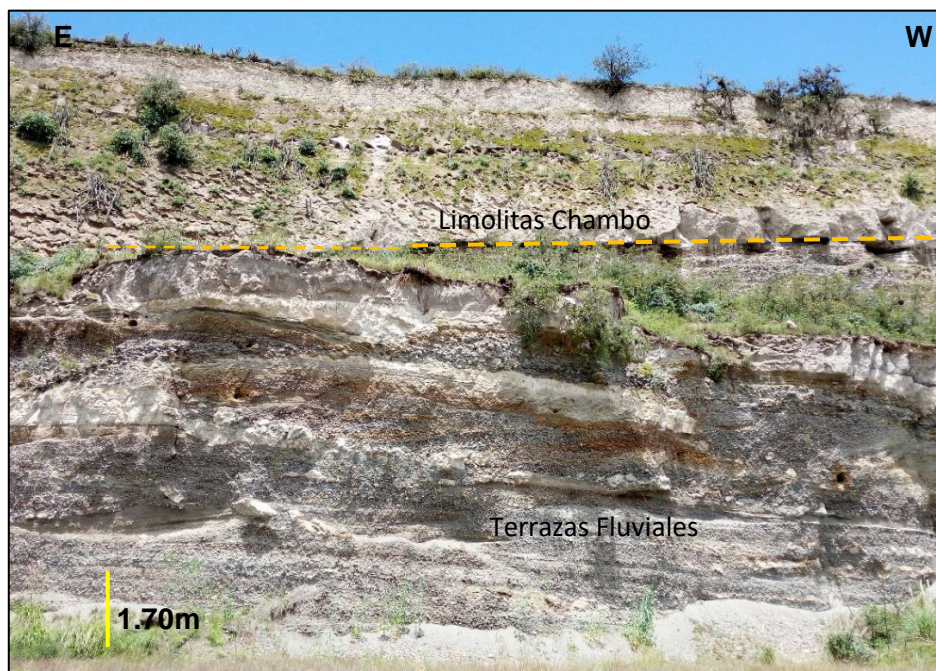


Fig. 4.21. Secuencia Sedimentaria de Terrazas Fluviales (UTM: 0766456/9810295/2646)

Las unidades están organizadas en canales conglomeráticos pequeños con estratificación cruzada, presenta barras de arenisca y gravas con laminación cruzada; cubiertas de Limolitas blanquecinas Chambo (Fig. 4.21).

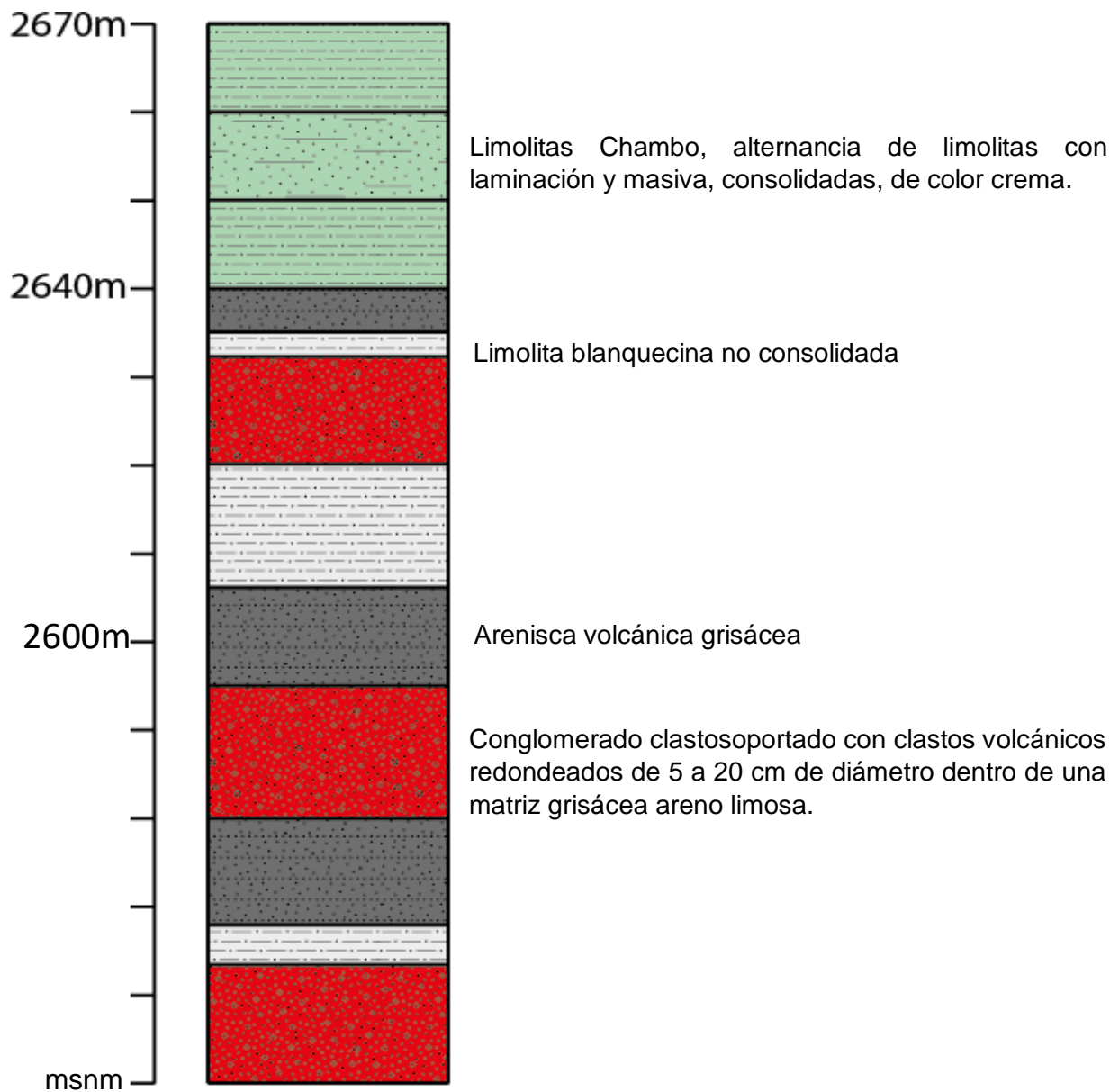


Fig.4.22. Columna Estratigráfica sobre la vía Riobamba-Chambo

Edad y Correlación

Esta terraza cubre a los Volcánicos de Tulabug hacia al Sur y hacia el Norte la Unidad Riobamba. A su vez está cubierta por Cangahua y Limolitas Chambo por lo que se le asignan una edad de Pleistoceno.

4.1.10. Avalancha del Chimborazo

Ubicación

Geomorfológicamente es muy notable al norte de la zona de estudio, debajo de la ciudad de Riobamba, recorriendo el margen izquierdo del Río Chambo y el límite norte del poblado de San Luis.

Litología

Presenta una matriz arenosa limosa de color grisácea a rojiza con clastos centimétricos a métricos de rocas andesíticas (Fig. 4.23). Los clastos se encuentran fracturados hasta cierto punto molidos por la acción de fricción en el movimiento de la avalancha (UTM 0769483/9801983/2956m).



Fig. 4.23. Depósito de Avalancha del Chimborazo en el sector de La Libertad (UTM 0769483/9801983/2720m)

Edad

De acuerdo a varios estudios realizados la edad es Pleistoceno Superior-Holoceno ya que presenta diferentes dataciones, interpretadas como varios eventos de avalancha. Basándose en técnicas ^{14}C de depósitos de flujos piroclásticos sobreyacidos a la Avalancha de Chimborazo, Beate y Hall (1989) obtienen una edad de 35.8 ka. Barba et al. (2005) llegaron a una edad de colapso entre 60 y 50 ka, Alcaraz et al. (2002) llegaron a edades de 8.01 ± 0.15 ka. Se encuentra cubierta por las Limolitas Chambo y Cangahua.

4.1.11. Cangahua

Ubicación

Es muy común en la serranía norte y centro, hasta Alausí. Se halla cubriendo gran parte de la zona occidental de Riobamba, se estima un espesor de 2 hasta los 30 metros en distintas zonas.

Litología

La Cangahua corresponde a tobas de color café amarillento intercaladas con depósitos piroclásticos de caída paralelas a la topografía, por lo que geomorfológicamente presenta

lomas redondeadas y simétricas, en muchos casos sin permitir ver las rocas a las que están sobreyaciendo.

Edad

Dentro de la zona de estudio se encuentra la reconocida Quebrada Chalán por su riqueza paleontológica que posee, dentro de la Formación Cangahua. Se han encontrado fósiles de Xenarthros, mastodontes, *Smilodon*, icnofósiles, etc. por lo que se le asigna una edad Pleistocénica (Román & Lara, 2011).

4.1.12. Limolitas Chambo

Ubicación

Se encuentra sobre el Depósito de Avalancha y aflora al sur de la Ciudad de Riobamba en el Sector de la Inmaculada.

Litología

Consiste en limolitas color crema laminadas (Fig. 4.25), su origen se interpretó asociado a una obstrucción del Río Chambo tras la Avalancha del Chimborazo, formándose así una represa natural en la que se depositaron las limolitas (Fig. 4.24).

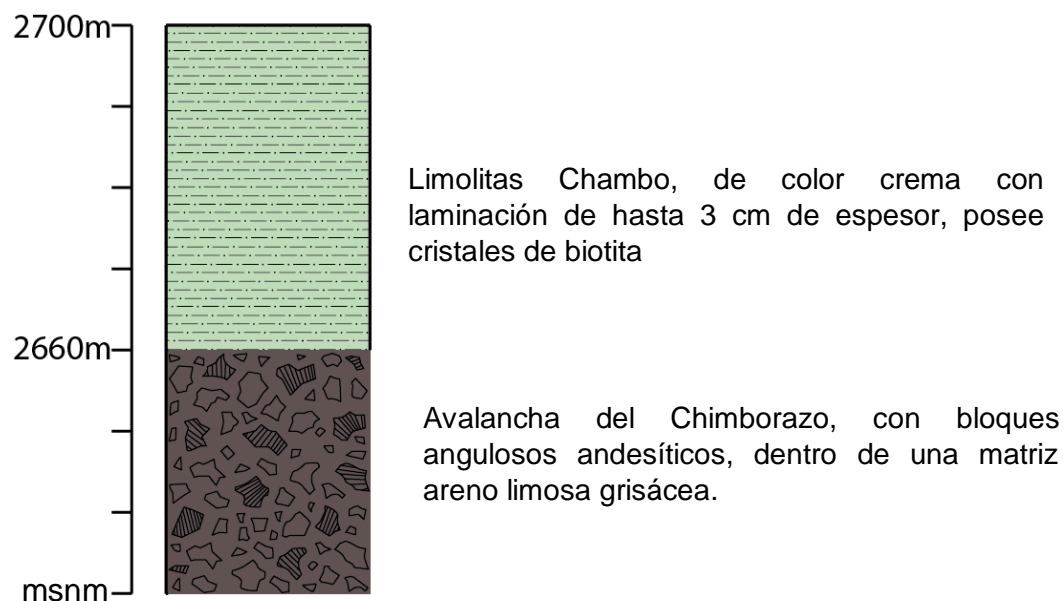


Fig.4.24. Columna Estratigráfica con intervalos de 10 metros en la vía Tunshi San Miguel-Riobamba

En la vía Tunshi San Miguel-Riobamba la limolita se presenta en la base masiva con cristales de biotita y hacia la parte superior se observa una laminación de hasta 3 cm de espesor, en la que existen una aparente laminación cruzada siguiendo la topografía de la Avalancha del Chimborazo, que se encuentra subyacente (UTM: 0765096/9810792/2659).



Fig. 4.25. Limolitas sobre Depósito de Avalancha del Chimborazo (UTM: 0765096/9810792/2659).

Edad y Correlación

Se encuentra sobre el Depósito de Avalancha del Chimborazo y Terrazas Fluviales, por lo que se le asignó una edad Holocénica.

4.1.13. Depósitos Aluviales Recientes

Ubicación

Se encuentran a lo largo del Río Chambo, en sus dos márgenes, conformando los depósitos característicos de ríos meándricos.

Litología

Conglomerados con clastos volcánicos y metamórficos, arenas y limos no consolidados, rodeando el Río Chambo.



Fig.4.26. Depósitos Aluviales Recientes (UTM: 765240/9809169/2586m)

4.2. RESULTADOS DE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS

Las tomografías eléctricas realizadas generaron resultados de datos de resistividad de los materiales en profundidad. Los valores de resistividad se presentan en rangos y dependen de la conducción electrolítica, la cual se facilita con las características de porosidad de la roca, el volumen de sus poros y la conexión entre ellos, así como su contenido de fluidos, como agua (Telford et al., 1990). Para la interpretación de las Tomografías Eléctricas, este trabajo se basó en la Tabla de Resistividades de Patra et al. (2016) y la comparación de los datos con la litología de las principales Formaciones y Unidades presentes en las respectivas zonas. A continuación, la tabla simplificada de asociación de litología y resistividades que se utilizó para la interpretación de los datos en este estudio:

Litología	Resistividad (Ohm.m)
Rocas ígneas y metamórficas no meteorizadas	1000 - 100000
Rocas ígneas máficas y félsicas meteorizadas	3 – 200
Rocas metamórficas meteorizadas	10 - 2000
Lutitas	6 – 40
Areniscas	70 – 1000
Conglomerados	1000 – 10000
Agua y Fresca Acuífero	4 - 100

Tabla 4.1. Tabla Simplificada de Patra et al. (2016)

4.2.1. Análisis e Interpretación de Primera Tomografía Eléctrica

De acuerdo con el Mapa Geológico de Salguero (2017) (Fig. 4.27) y a columnas estratigráficas realizadas de esta zona (Fig. 4.28) se puede observar que la Tomografía Eléctrica se realizó sobre el depósito de Avalancha del Chimborazo.

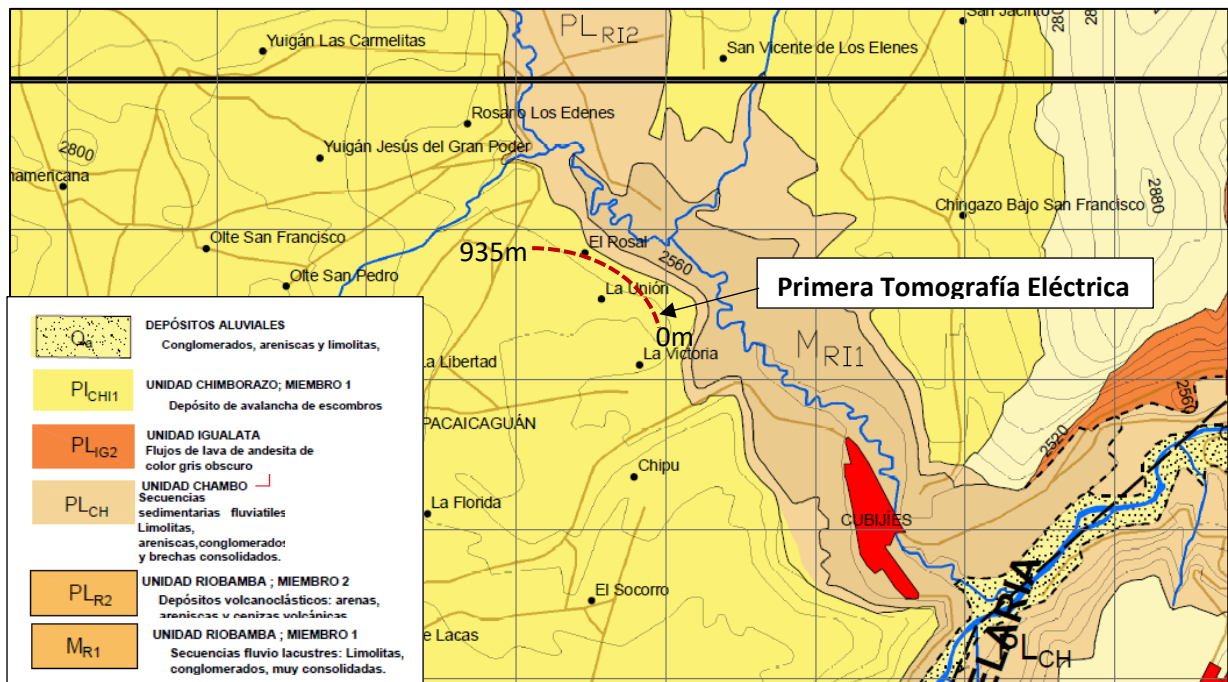
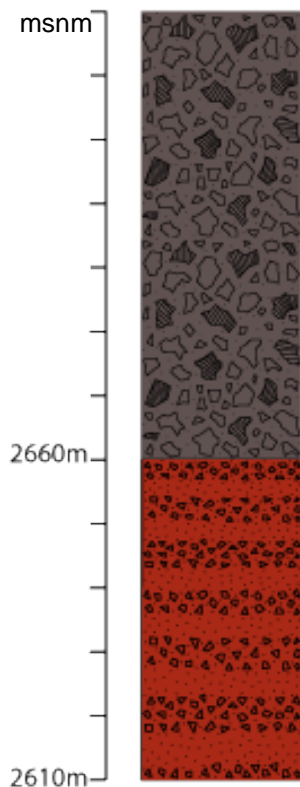


Fig. 4.27 Ubicación de Primera Tomografía Eléctrica en Mapa Geológico de Guano (Salguero, 2017)



Depósito de Avalancha del Chimborazo, con bloques angulares andesíticos de textura porfírica con cristales de plagioclasa, anfíbol y piroxenos dentro de matriz grisácea compuesta por material molido gracias a la fricción de la avalancha Correspondientes a la Unidad Chimborazo de Salguero (2017).

Arenisca volcanoclástica de color rojizo, de consolidación variable, con cristales de plagioclasas y granos hasta centimétricos de pómez, presentan intercalaciones de limolitas de color crema Correspondientes a la Unidad Riobamba de Salguero (2017).

Fig. 4.28. Columna Estratigráfica con intervalos de 10 metros del Sector de Los Elenes

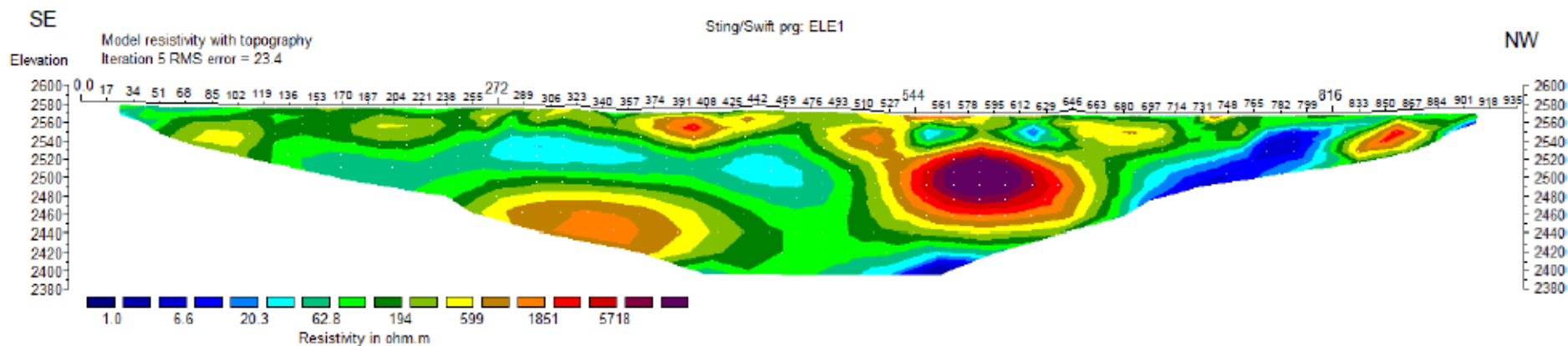
La Primera Tomografía Eléctrica presenta resistividades entre 3,5 Ohm.m y 10000 Ohm.m (Fig. 4.29), lo que da a entender que los materiales que se encuentran en este terreno son de gran variedad, de consolidación diferente, así como zonas saturadas de agua.

En el tramo horizontal entre los 527 m y 646m se observan materiales con resistividades de 1053 Ohm.m a 10000 Ohm.m a una elevación de 2420m, al comparar dichos valores con la Tabla de Resistividades (Tabla 4.1) se determina que se tratan de un bloque de roca ígnea, sus valores tan altos de resistividades se podrían correlacionar con los bloques andesíticos pertenecientes a la Avalancha del Chimborazo.

El tramo entre los 153 m y 476 m presenta resistividades de 340,98 Ohm.m a 1851,07 Ohm.m lo que podrían correlacionarse igualmente con el depósito de Avalancha del Chimborazo, aunque con material menos consolidado, a una elevación entre 2400 y 2480 m, es decir bloques andesíticos molidos y meteorizados por acción de la avalancha.

A una profundidad de unos 60 m se obtuvieron resistividades bajas de 35.74 Ohm.m y 599 Ohm.m lo que nos indicaría la presencia de material menos consolidado en general. De acuerdo con columnas estratigráficas realizadas en la zona (Fig. 4.28) estas resistividades corresponderían a las areniscas volcanoclásticas rojizas de consolidación variada con intercalación de capas pequeñas de limolitas, pertenecientes a la Unidad Riobamba según Salguero (2017).

Se observan zonas saturadas de agua dentro de esta unidad a una elevación 2400 y 2460 en el extremo NW de la Tomografía Eléctrica con resistividades de 3,5 Ohm.m y 20,33 Ohm.m. De esta manera se determina que existe un acuífero dentro de la Unidad Riobamba a una profundidad de 40 m.



Horizontal scale is 23.36 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.59
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 935.0 m.

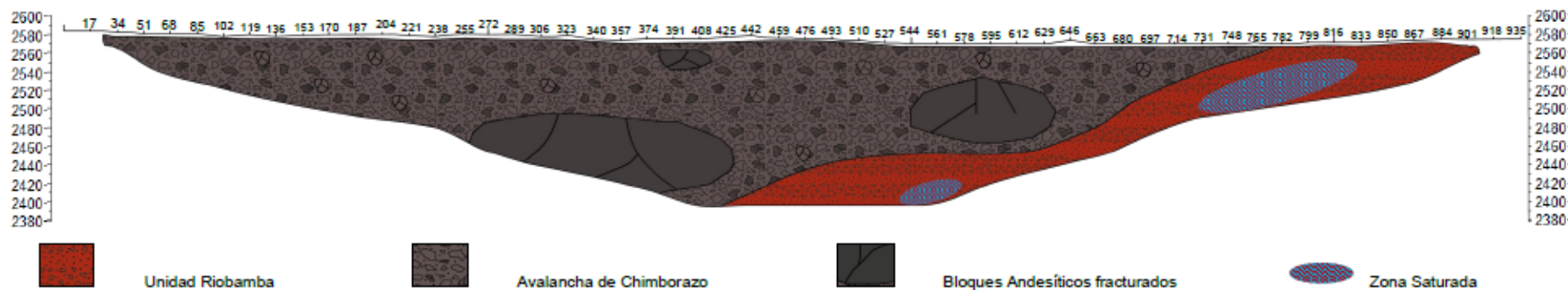


Fig. 4.29. Primera Tomografía Eléctrica

4.2.2. Análisis e Interpretación de Segunda Tomografía Eléctrica

Las resistividades obtenidas en la Segunda Tomografía Eléctrica poseen un rango entre 3,5 Ohm.m y 1053 Ohm.m (Fig. 4.31). No se encuentran valores muy variados ya que la ubicación de dicha tomografía, de acuerdo con el Mapa Geológico de Guano (Salguero, 2017), se localiza sobre la Unidad Riobamba (Fig. 4.30).

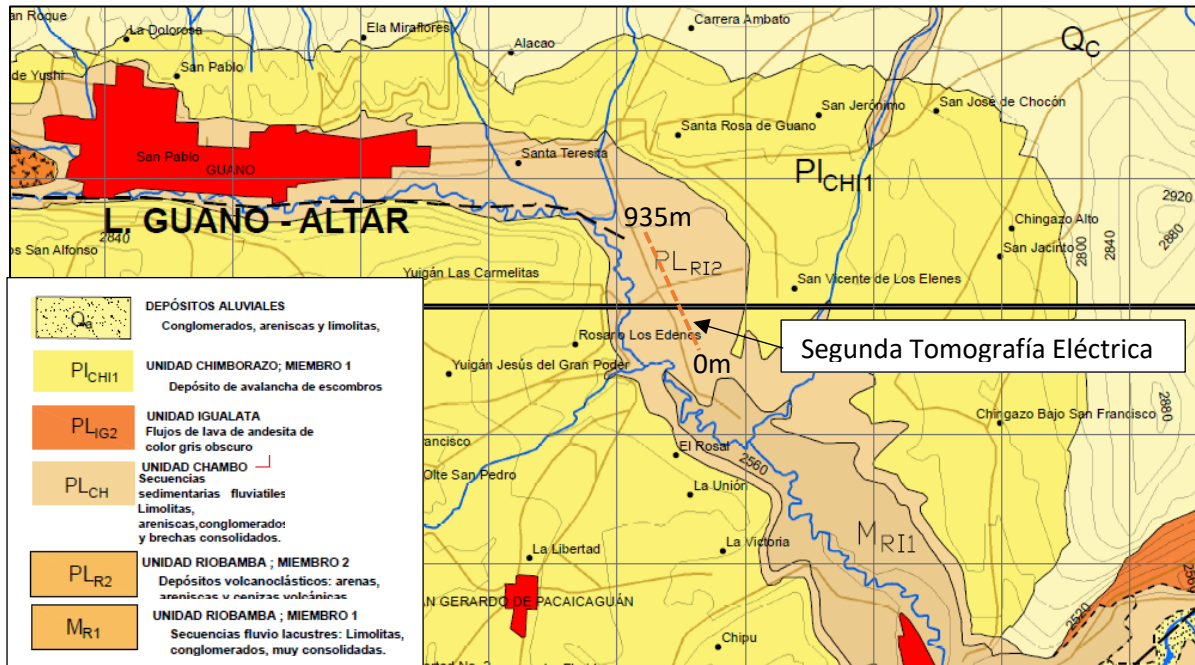


Fig. 4.30. Ubicación de la Segunda Tomografía Eléctrica en el Mapa Geológico de Guano (Salguero, 2017)

De acuerdo con la Tabla de Resistividades (Tabla 4.1) el rango corresponde a la litología de la Unidad Riobamba asociada a depósitos volcano sedimentarios compuesta por areniscas volcanoclásticas rojizas de consolidación variada. Existen zonas profundas en la tomografía cuyas resistividades indican rocas menos permeables que podrían asociarse a unidades más lacustres dentro de la Unidad Riobamba como limolitas, o intercalaciones más numerosas y seguidas dentro de las areniscas, pero que impiden una permeabilidad alta.

NNW

SSE

Aparecen resistividades de 3,5 Ohm y 20,35 Ohm.m a una elevación de 2560 hasta 2600 metros a lo largo de la Tomografía, que pueden determinar la presencia de un niveles de agua a dicha profundidad, contenido dentro de la Unidad Riobamba en litologías permeables que estarían asociadas a las areniscas de dicha Unidad.

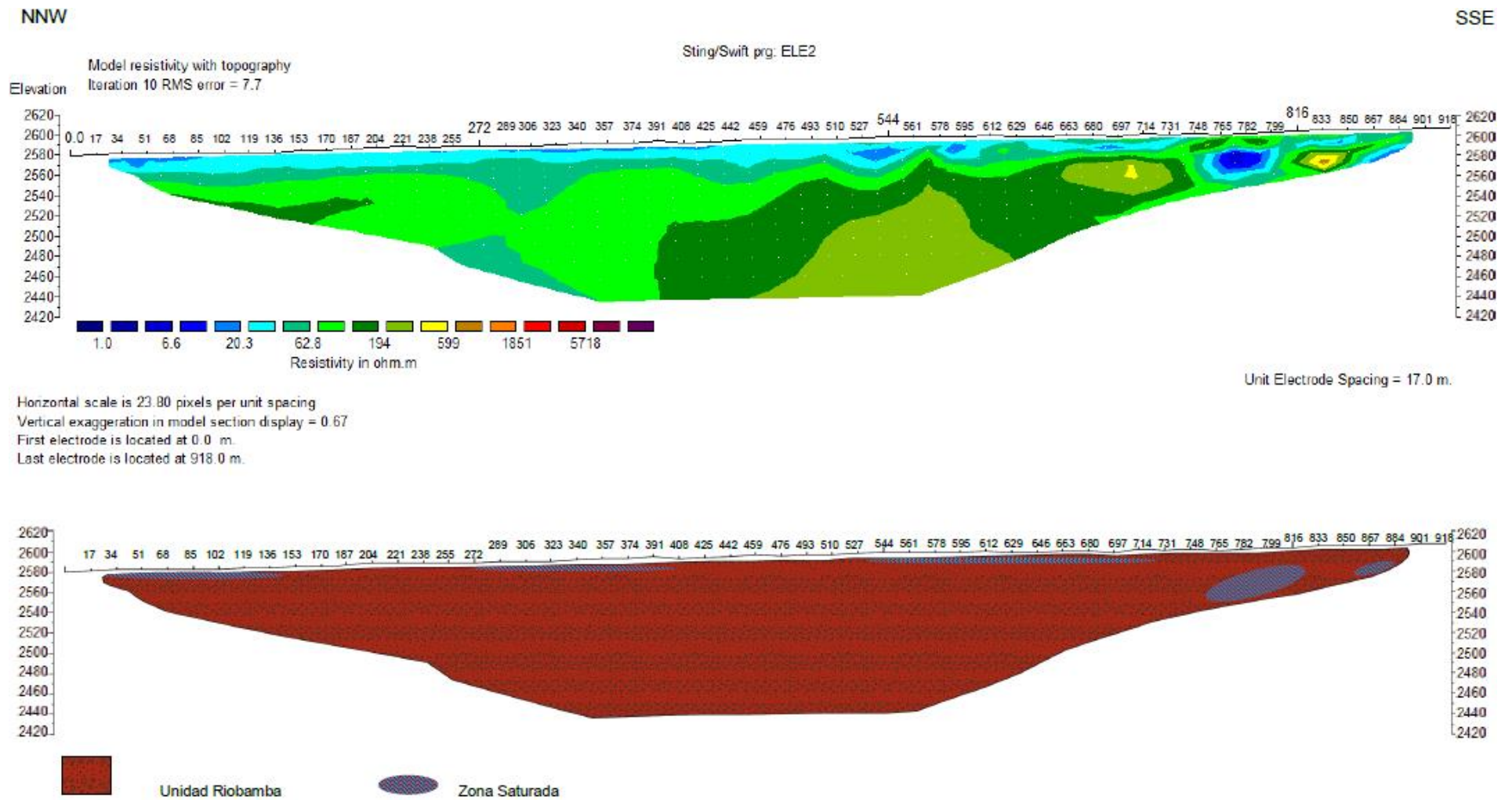


Fig. 4.31. Segunda Tomografía Eléctrica

4.2.3. Análisis e Interpretación de Tercera Tomografía Eléctrica

La Tomografía se realizó sobre los depósitos de Avalancha del Volcán Chimborazo como se observa en la Fig. 4.32, en el lado occidental de las faldas del Volcán Igualata donde aparecen flujos de lava de poco espesor cubriendo en ciertas partes los depósitos de la Avalancha, que no llega a aflorar en la zona donde se realizó la tomografía.

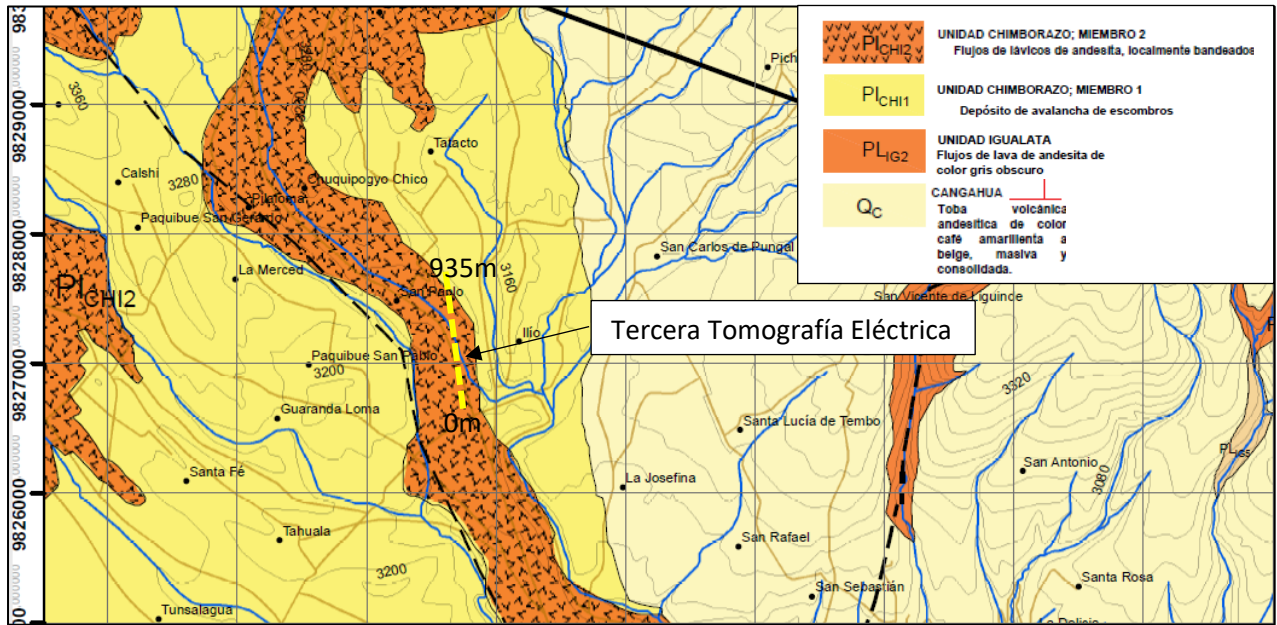


Fig. 4.32. Ubicación Tercera Tomografía Eléctrica en el Mapa Geológico de Guano (Salguero, D., 2017)

La Tercera Tomografía Eléctrica (Fig. 4.33) presenta resistividades entre 20,3 Ohm.m y 3253,28 Ohm.m que estarían asociadas a la presencia de litologías muy disímiles, lo que explicaría la variedad de resistividades y con ellas, la permeabilidad muy baja de los materiales presentes.

En el tramo horizontal de 102 m y 612 m a una elevación de hasta 3050m se presentan resistividades entre 340,98 Ohm.m y 3253,28 Ohm.m que corresponderían a bloques de rocas ígneas rodeados de material menos consolidado. Estas características encajan con los depósitos de Avalancha con bloques angulosos andesíticos en una matriz grisácea de material molido observados al realizar descripciones litológicas dentro de la zona de San Pablo, cuya distribución irregular de bloques genera zonas con resistividades variables en la tomografía (Fig. 4.33).

A una elevación menor a los 3050m y distancia horizontal desde los 289 hasta los 816 metros se observan resistividades entre 35,74 Ohm.m y 340,98 Ohm.m que estarían asociadas a

rocas sedimentarias específicamente de areniscas según la Tabla de Resistividades (Tabla 4.1); se trataría de las areniscas volcanosedimentarias de la Unidad Riobamba.

Se observa un cambio brusco de litología a la distancia horizontal de 629 m, que puede ser interpretado de dos maneras:

- Podría estar asociado a la presencia de una falla de sentido normal con un buzamiento de 65 a 70° al SSE, donde la Unidad Riobamba se encontraría fallada a diferentes alturas. La tomografía se encuentra al oeste del Sistema de Falla Pallatanga de sentido dextral, lo que ayudaría que fallas normales sucedan en esta ubicación. Aunque en campo no se pudo observar indicios de la presencia de una falla.
- Otra opción que se maneja es que se trate de un valle canalizado en donde la Formación Avalancha de Chimborazo reduce su espesor hacia el NNW, sobreyaciendo la Unidad Riobamba.

A una elevación de 3130 metros en el extremo SSE de la Tomografía aparecen resistividades de 11,70 Ohm.m. Esta zona se ubica en la parte superior de la Avalancha, lo que indicaría la presencia de un nivel permeable y podría estar asociado a capas arenosas y conglomeráticas producto de depósitos aluviales observados al realizar descripciones litológicas y geomorfológicas alrededor de la zona, donde se localizó la presencia de un posible antiguo cauce fluvial que pudo generar la presencia de este tipo de material.

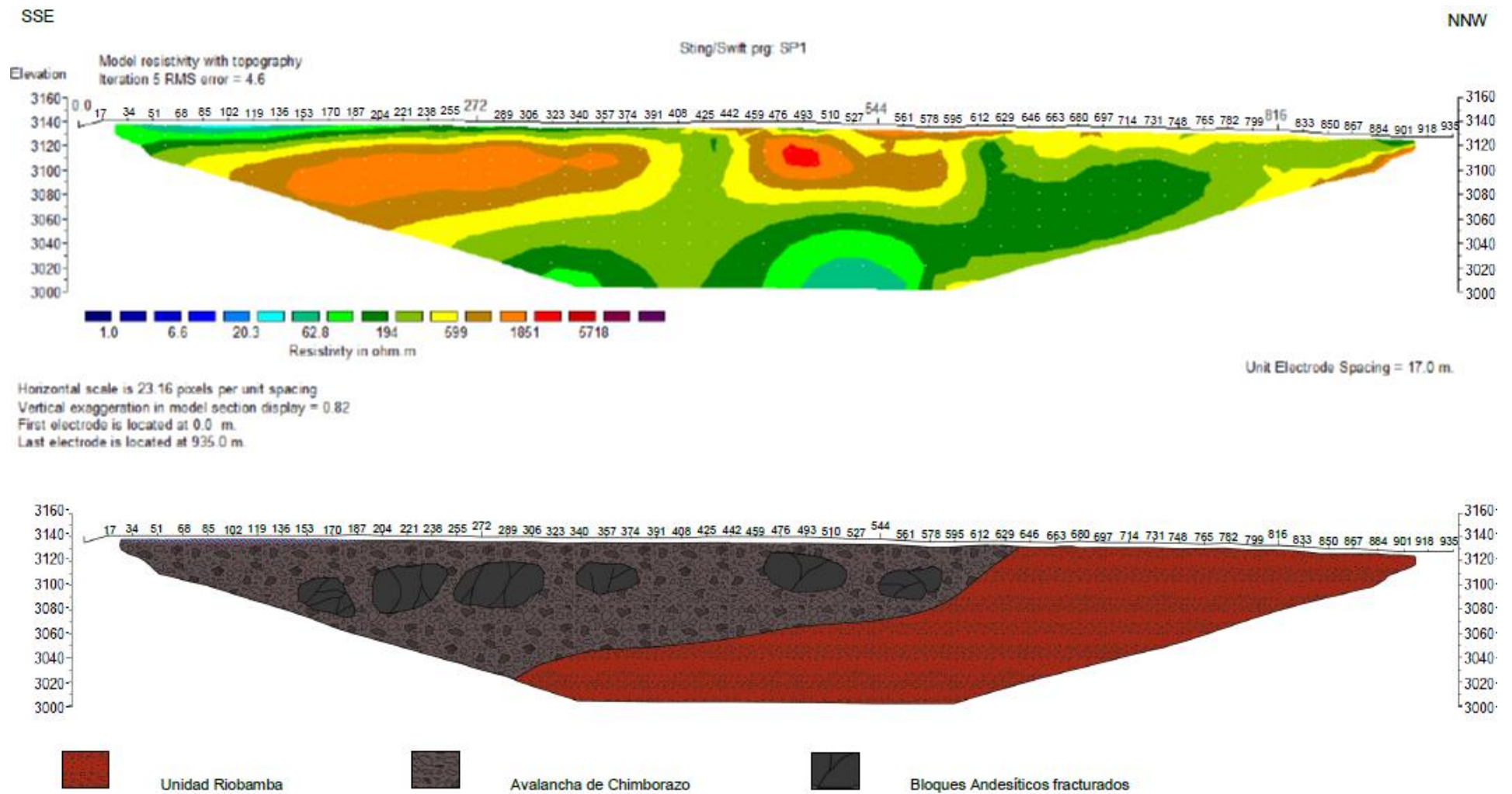


Fig. 4.33. Tercera Tomografía Eléctrica

4.2.4 Análisis e Interpretación de Cuarta Tomografía Eléctrica

La Tomografía Eléctrica se realizó sobre el Granito de Pungalá de acuerdo con el Mapa Geológico de Riobamba (Fig. 4.34), aunque sobre el Granito se encuentra un nivel de Cangahua con un espesor de 10 a 15 metros, al Sur del poblado de Pungalá (Fig. 4.35.).

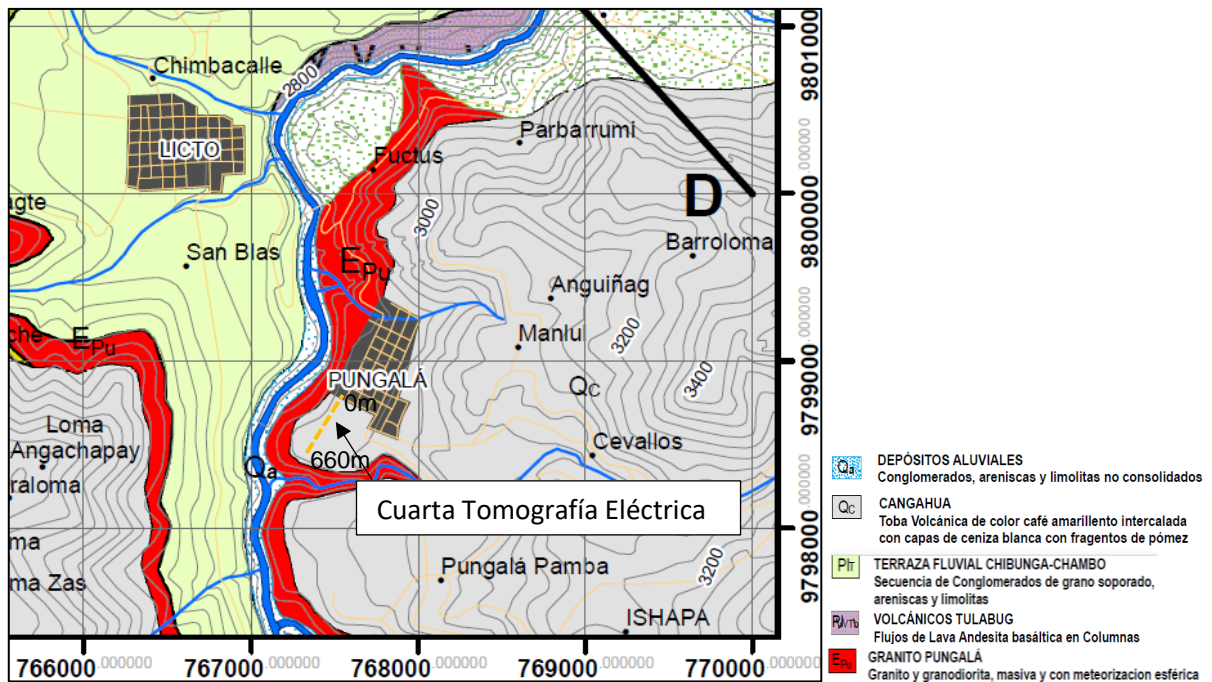


Fig. 4.34. Ubicación Cuarta Tomografía Eléctrica en el Mapa Geológico de Riobamba

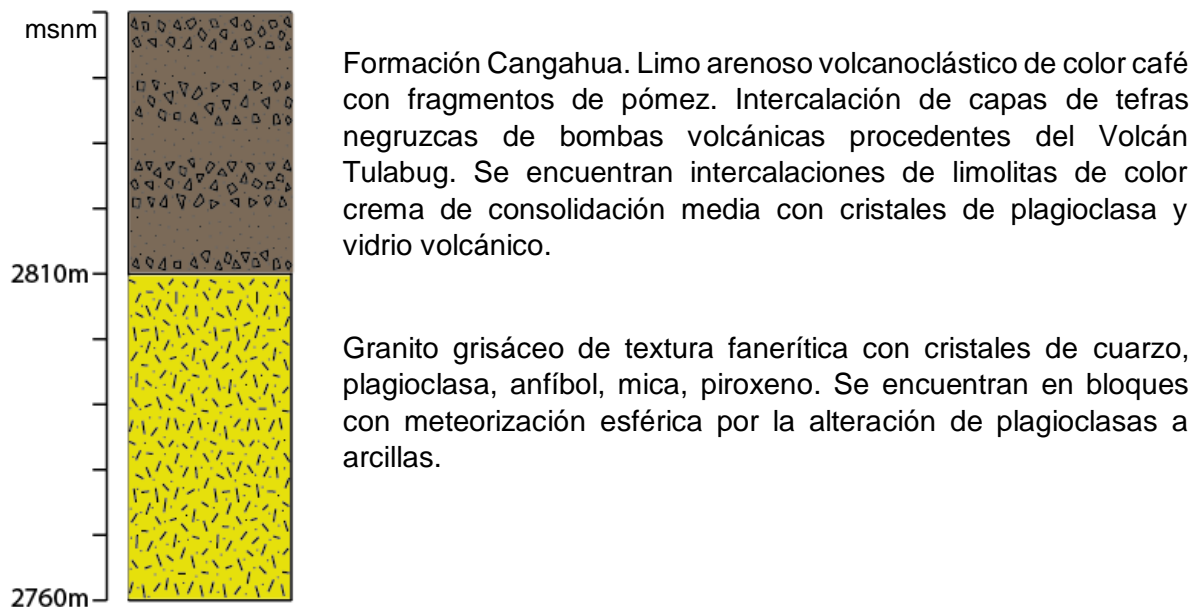


Fig. 4.35. Columna Estratigráfica con intervalos de 10 metros de la Zona de Pungalá

La Cuarta Tomografía Eléctrica presenta resistividades en un rango entre 35,74 Ohm.m y 340,98 Ohm.m en donde se observa una permeabilidad variada en el material, tal vez no lo suficiente para cumplir las características necesarias de un acuífero.

Los primeros metros a lo largo de la Tomografía presentan resistividades de 20,3 Ohm.m y 62,8 Ohm.m, y considerando la columna estratigráfica de esta zona (Fig. 4.35), se trataría de limos arenosos pertenecientes a la Formación Cangahua con una baja consolidación y una leve saturación de agua que en este caso sería más superficial.

A una elevación de 2830 m se observan resistividades de 111 Ohm.m y 340,98 Ohm.m consistentes con rocas ígneas meteorizadas que estarían asociadas al granito encontrado en esta zona, el mismo no se presenta masivo sino meteorizado gracias a la presencia de plagioclasas alterándose a arcillas.

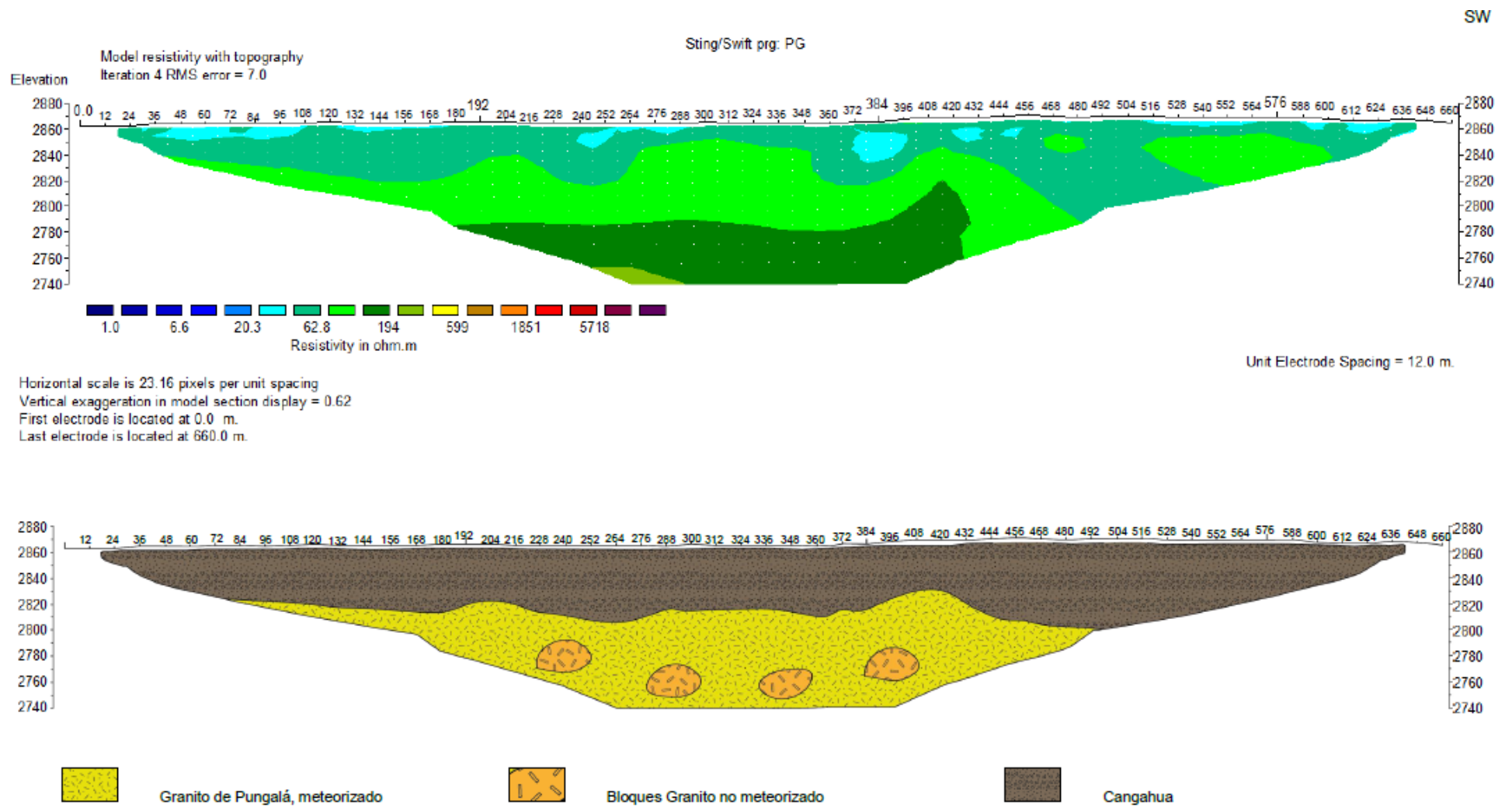


Fig. 4.36. Cuarta Tomografía Eléctrica

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

La zona de estudio, posee un relleno volcanosedimentario compuesto de depósitos volcanoclásticos, fluviales, lacustres y volcánicos generados por los volcanes Chimborazo, Tungurahua, Iqualata y Tulabug, acumulados sobre paleorelieves producidos por eventos tectónicos regionales dentro un contexto tectónico regional compresivo dextral; generándose materiales con grandes variaciones de espesor (entre 20 y 200 metros).

5.1. EVOLUCIÓN ESTRATIGRÁFICA CRETÁCICO-PLEISTOCÉNICO ENTRE EL POBLADO DE RIOBAMBA Y PUNGALÁ

El basamento del área estudiada está constituido por la Formación Guamote cuya litología consiste en intercalaciones de cuarcita y pizarra de edad Jurásica-Cretácica (Aspen & Litherland, 1992). En el poblado de Punín se observan las capas de pizarra entre cuarcitas, aunque hacia el Este, en el Sector de Tunshi, las capas de pizarra disminuyen y las cuarcitas se encuentran plegadas. La Formación Guamote se encuentra intruida por Granito de Pungalá (Rundle, 1988), un batolito que se extiende al SE de la Ciudad de Riobamba en el poblado de Pungalá de edad Eoceno, su litología es granítica a granodiorítica formando lomas redondeadas características del material.

Al SW de la Ciudad de Riobamba La Formación Guamote es intruída por un pórfido el cual no ha sido descrito en trabajos anteriores, geomorfológicamente se reconoce por lomas redondeadas ubicadas al Oeste de la vía Riobamba-Punín y se nombró Pórfido Guaslán ya que su primera observación se realizó en la comunidad del mismo nombre. Es un pórfido de matriz feldespática con cuarzo; con fenocristales de cuarzo, plagioclasa, anfíboles y piroxenos; en ciertas zonas se observa una textura más fanerítica asociada a sectores más centrales del pórfido, la matriz del pórfido en ocasiones se observaba más arcillosa debido a la alteración de feldespato de potasio a minerales arcillosos, pero conservando los fenocristales.

La acumulación de la Formación Guamote ocurrió en un ambiente de aguas poco profundas dentro de un margen pasivo durante el Cretácico Inferior y Jurásico Inferior, y por medio de cabalgamientos fue metamorfozado y fallado hacia el Oeste dentro de un régimen tectónico compresivo, dando lugar a su acreción hacia el Arco Volcánico Alao, muestra de ello son las suturas tectónicas Peltetec, generando plegamientos y crenulaciones dentro de la Formación Guamote observadas en ciertas zonas (Litherland et al., 1994).

Dentro del régimen de subducción compresivo se generó también condiciones adecuadas, fallamientos, altas presiones y temperatura para el ascenso de cuerpos intrusivos (Spikings

et al., 2000) (Granito de Pungalá, Pórfido de Guaslán, entre otros) dentro de la Formación Guamote durante el Eoceno.

Tras el evento tectónico Peltetec durante el Cretácico Inferio-Jurásico Inferior (Litherland et al., 1994), toda el área estuvo sometida a una intensa erosión que alcanzó a los cuerpos intrusivos y la Formación Guamote generando contactos de inconformidades y discordancias angulares con los depósitos que lo cubrieron.

Este evento de erosión se asocia al levantamiento de la Cordillera Real por acreción de terrenos (Litherland et al., 1994), y durante el mismo se generaron zonas de depresión donde se acumularon flujos piroclásticos y depósitos fluviales a partir del Mioceno (Winkler et al., 2005), dentro del Valle Interandino, el cual según Winkler et al 2005, se formó en un modelo de rampa o media rampa en un régimen transpresivo por medio de una estructura mayor de tipo 'restraining bend'.

La Unidad Riobamba se encuentra depositada desde el Norte, bajo toda la ciudad de Riobamba y subyaciendo el Depósito de Avalancha de Chimborazo. La Unidad Riobamba es una secuencia volcanoclástica (Salguero, 2017) de toba volcánica subhorizontal no muy consolidada con tamaño de grano ceniza gruesa, de color grisáceo café, con fragmentos de hasta 2 cm de diámetro de pómez, y tiene la presencia de esporádicas capas de ceniza fina blanquecina. La Unidad tiene una potencia de aproximadamente de 25 a 30 metros y estratigráficamente se le asignó una edad Miocénica. En trabajos de Sosa & Guevara (1973) existe una confusión ya que esta Unidad es descrita como bloques redondeados y angulosos, lo cual se asemeja más a las características de la Avalancha de Chimborazo. Las descripciones realizadas por este trabajo coinciden con las descripciones de Salguero (2017), y considerando sus datos se concluye que la Unidad Riobamba principalmente son depósitos volcanoclásticos rellenando valles en un ambiente de eventos eruptivos de volcanes aledaños extintos y de Volcanes como el Igualata, Chimborazo, Tungurahua.

La Formación Sicalpa consiste en una secuencia piroclástica de edad pliocénica (Lavenue et al., 1992) con aglomerados de composición ácida, líticos andesíticos y tobas volcánicas (Sosa & Guevara, 1973), que poseen una coloración grisácea violácea hasta rojiza en zonas con alta oxidación. Tienen un tamaño de grano ceniza gruesa con cristales de plagioclasa y vidrio volcánico, bien consolidadas y estratificadas con disposición subhorizontal. Al Oeste del poblado de San Luis, en las lomas de Guigán, la Formación Sicalpa se encuentra en la misma posición estratigráfica de la Formación Yaruquíes compuesta por facies fluviales de conglomerados granosoportados con intercalaciones de arenisca rojiza, con clastos redondeados de andesitas y cuarcitas (Bristow & Hoffstetter, 1977). La Formación Yaruquíes se interpreta como un cambio lateral junto con la Formación Sicalpa, siendo depósitos

contemporáneos: mientras se depositaban las secuencias fluviales también se acumulaban los depósitos piroclásticos de volcanes como Chimborazo, Igualata y ya extintos.

Mientras dichas Formaciones se acumulaban en las zonas deprimidas y Valles, en el margen Este, próximo a la cordillera, se depositaban las brechas del Depósito Brechoide Chambo generado por varios eventos coluviales producto del levantamiento de la Cordillera Real. Geomorfológicamente se observa que se acumuló por varios eventos coluviales, marcados por la presencia de lomas parcialmente erosionadas correspondientes a eventos antiguos, y sobre ellas depositados otros coluviones posteriores, visibles en el margen izquierdo del Río Chambo. Los clastos angulosos, a medida que se acercan al Río, disminuyen su tamaño dentro de una matriz arenosa-limosa grisácea, y aumentan su tamaño hacia el Este, es decir hacia su fuente. Se estima que estos Depósitos se acumulaban entre el Plio-Pleistoceno bajo un contexto tectónico de subducción en un régimen compresivo donde existió altas tasas de exhumación de la Cordillera Real (Spikings et al., 2000, 2001, 2005).

En la zona de estudio se encuentra el cono volcánico Tulabug el cual no ha sido descrito anteriormente en ninguna publicación, sus productos son lavas basalto-andesíticas con cristales de olivinos muy característicos de color azul, corroborados por medio de estudios microscópicos, no podrían corresponder a erupciones del Volcán Chimborazo y Tungurahua debido a la distancia en que se encuentran, además de la composición mineralógica característica con olivinos en estos materiales, así como su composición más máfica que las lavas del Chimborazo. En el margen derecho del Río Chambo se observan columnas de lava producto de este volcán, ubicados debajo de Terrazas Fluviales por lo que se le asignó una edad Pleistocénica. Otros productos alrededor del Volcán Tulabug y producto de él, consisten en tefras volcánicas de hasta 4 m de potencia, depósitos de caída de bombas volcánicas de 2 cm de diámetro, ubicadas en medio de depósitos piroclásticos de la Formación Cangahua.

Las Terrazas Fluviales producidas por el Río Chibunga y Chambo tienen un espesor que no sobrepasa los 100 metros, asociadas a una secuencia fluvial de conglomerados granosoportado de clastos volcánicos y areniscas grisáceas con intercalaciones de limolitas blanquecinas. Estratigráficamente se le asignó una edad Pleistocénica ya que se disponen sobre la Unidad Riobamba, aunque su contacto no fue observado. Se acumularon durante un contexto tectónico de subducción en un régimen compresivo, controlado por el aumento y disminución de nivel de agua en los Ríos Chambo y Chibunga, erosionando a las Formaciones previas y probablemente de forma contemporánea a la Cangahua que queda presionada en las partes altas de la zona S-SW.

La Formación Cangahua consiste en una secuencia volcanoclástica (Clapperton & Vera, 1986) de color marrón con intercalaciones de finas capas de ceniza blaquecina en el área de

estudio, tiene un espesor de hasta 40 metros aproximadamente y su edad Pleistocénica fue asignada gracias a fósiles de *Xenarthros*, mastodontes, *Smilodon* e icnofósiles, entre otros. (Román & Lara, 2011). No existe una diferenciación entre Pleistoceno superior o inferior por lo que se considera que su depositación fue progresiva durante todo el Pleistoceno y su fuente principal corresponde a las calderas de los volcanes Chalupas, Chacana, Pichicha, Mojanda, Quilotoa, Atacazo, Illiniza, Carihuarazo, entre otros (Hall y Beate, 1991). Litológicamente a nivel regional se compone de cenizas volcánicas re TRABAJADAS, sedimentos fluviales y lacustres (Hall y Beate, 1991), acumuladas en un ambiente frío y seco (Clapperton, 1993).

En la zona Norte, durante el Pleistoceno Superior se acumuló la Avalancha del Chimborazo con bloques angulosos y fracturados andesíticos dentro de una matriz areno-limosa de producto triturado de la misma composición (Bernard et al., 2008), producido por la fricción del movimiento de la Avalancha la cual se encargó de fracturar hasta moler bloques andesíticos de la estructura del Volcán Chimborazo. Según Barba (2006), se le estimó la edad de colapso entre 60 y 50 ka.

Sobre las terrazas fluviales por el sector de Pantus Grande, se encuentran limolitas de color crema las mismas que se ubican sobre la Avalancha de Chimborazo, su secuencia de limolitas consiste en una parte inicial inferior masiva y hacia la parte superior presenta una laminación de 1 cm de espesor, contiene cristales de plagioclasa y vidrio volcánico. Según Salguero (2017) las limolitas también fueron observadas en los márgenes izquierdo y derecho del Río Chambo, su origen se asocia a lagos generados por la Avalancha de Chimborazo, junto a las condiciones de glaciación cuaternaria (Clapperton & Vera, 1986) que posibilitaron la acumulación de limolitas de hasta 30 metros de potencia.

5.2. APOORTE GEOLÓGICO PARA HIDROGEOLOGÍA

Los resultados de las cuatro tomografías eléctricas realizadas en el sector de los Elenes, San Pablo y Pungalá permitieron determinar las resistividades de los materiales del subsuelo, datos que fueron correlacionados con el levantamiento de las seis columnas estratigráficas del entorno. Con estas correlaciones se estableció el potencial hidrogeológico de los materiales.

Los resultados fueron comparados con los trabajos geofísicos previos realizados por Tenelema (2017), Proaño (2018), Mendoza (2018) y consultorías contratadas por EP-EMAPAR (2008 – 2010) en la zona de estudio.

5.2.1. Formaciones Geológicas con Resistividades Bajas

Las principales Formaciones geológicas evidenciadas en el área de estudio están representadas por: la Unidad Riobamba, el Depósito Brechoide Chambo, Granito de Pungalá en su fase meteorizada y la matriz areno limosa de la Avalancha de Chimborazo.

Formación	Este Trabajo Ohm.m	Tenelema, 2017 Mendoza, 2018 Ohm.m	Proaño, 2018 Ohm.m	EP-EMAPAR, 2008 – 2010 Ohm.m	Naranjo (2013)
Granito de Pungalá meteorizado	111-340	118 – 330	-	-	-
Unidad Riobamba	62.8-300 Posible nivel de agua	56.6-300	-	40 – 200	Unidad Pisayambo (basado en Sosa & Guevara, 1972) Anomalías en registros SP interpretadas como niveles de agua
Depósito Brechoide Chambo	Posible nivel de agua	-	14 – 300	-	-
Avalancha de Chimborazo matriz areno limosa	194-1851 Presencia de niveles de agua	146 – 485	-	77.7 – 123	Registros SP y resistividades interpretadas como Unidad Riobamba

Tabla 5.1. Unidades litológicas de la zona de estudio y rangos de resistividad bajas; comparación con trabajos previos.

Granito de Pungalá

Corresponde a resistividades de 111-340 Ohm.m para material meteorizado (Tomografía 4), que coinciden con las tomografías eléctricas realizadas por Tenelema (2017) y Mendoza (2018) (118 – 330 Ohm.m). A pesar de coincidir los datos de resistividades, dichos autores interpretaron las resistividades asociadas a materiales con diferentes litologías (caliza, limos, margas, esquistos, tobas, rocas ígneas degradadas) sin considerar una verificación litológica de campo. Los rangos de resistividades consideradas como bajas (111-340 Ohm.m) se deben a que el granito se encuentra parcialmente meteorizado.

Unidad Riobamba

Las resistividades de la secuencia volcanoclástica de la Unidad Riobamba (62.8-300 Ohm.m) (Ver Tomografía 1, 2 y 3) coinciden con los valores obtenidos por Tenelema, 2017 (56.6-300 Ohm.m), también por trabajos realizados por la EP-EMAPAR (40- 200Ohm.m), los mismos que realizaron geofísica con registros de potencial espontáneo (SP) y resistividades en los pozos de La Lolita – 24 de Mayo, Llíó 3 y en propiedades privadas dentro de la jurisdicción de la ciudad de Riobamba. Estos datos puntuales definieron claramente el cambio de litologías entre la Unidad Riobamba y la Avalancha del Chimborazo, a pesar de no corresponder con una interpretación litológica a detalle y de campo.

Al correlacionar los rangos de resistividades bajas de los materiales y las litologías observadas en el campo, se interpreta que en esta unidad puede existir un posible nivel de agua.

Naranjo (2013) realizó dos correlaciones geofísicas, una en los pozos Licán, Liribamba, Santa Ana de Tapi, el Carmen y la otra de los pozos Licán, San Antonio y San Martín de Veranillo, con datos del GAD provincial que alcanzaron a la Unidad Riobamba, a pesar de que en este trabajo a esta Unidad se la interpretó como la Formación Pisayambo basándose en el Mapa Geológico 1:100000 de Sosa & Guevara (1973). Al atravesar un promedio de 80 metros de la Avalancha del Chimborazo se llega a la Unidad Riobamba, cuyas litologías y resistividades presentaron anomalías en los registros SP y resistividades a diferentes profundidades las que fueron interpretadas como niveles de agua.

Depósito Brechoide Chambo

Proaño (2018) realizó tomografías eléctricas al Este del poblado de Chambo obteniendo datos de resistividades de 14 – 300 Ohm.m. A partir de estos datos y de las litologías observadas en campo (sección 4.1.8) se interpreta que las resistividades de estos materiales corresponden al Depósito Brechoide Chambo. Cabe resaltar que en este depósito puede existir un posible nivel de agua.

Avalancha de Chimborazo

En el trabajo Naranjo (2013) no se identificó a la Avalancha de Chimborazo, por lo que este autor correlacionó los registros eléctricos SP y resistividades, definiendo a esta litología como la Unidad Riobamba.

En las tomografías eléctricas realizadas sobre la Avalancha de Chimborazo (Tomografía 1, 2 y 3) se alcanzaron datos de resistividad de 194-1851 Ohm.m en zonas de matriz areno-limosa consolidada coincidiendo con los datos obtenidos por Tenelema (2017), Mendoza (2018) (146

– 485 Ohm.m), EP-EMAPAR (77.7 – 123 Ohm.m). Cabe resaltar que las bajas resistividades de la EP-EMAPAR son datos puntuales de sondeos eléctricos verticales, que podrían alcanzar facies con mayor contenido de matriz o presencia de humedad en el material.

De la correlación de los registros de resistividad más bajos, en torno a 194 Ohm.m y de la evidencia en campo, específicamente en la localidad de Llío, se determina que en la Avalancha del Chimborazo (facies con mayor presencia de matriz) es factible la presencia de niveles de agua, como se comprueba con la explotación de 7 pozos de bombeo con alrededor de 250L/s y de la vertiente de San Pablo con un caudal de explotación similar (Procel, 2018; EP-EMAPAR, 2010).

5.2.2. Formaciones Geológicas con Resistividades Altas

Corresponden a: Granito de Pungalá no meteorizado y la Avalancha de Chimborazo.

Formación	Este Trabajo Ohm.m	Tenelema, 2017 y Mendoza, 2018 Ohm.m	EP- EMAPAR, 2008 – 2010 Ohm.m	Naranja (2013) Ohm.m
Granito de Pungalá no meteorizado	1500-5000	670 - 800	-	
Avalancha de Chimborazo facies de bloque	1851-10000	485 – 9500	313 – 1600	Registros SP y resistividades interpretadas como Unidad Riobamba

Tabla 5.2. Unidades litológicas de la zona de estudio y rangos de resistividad altas; comparación con trabajos previos.

Granito de Pungalá

Se obtuvieron datos de 1500-5000 Ohm.m en granito no meteorizado (Tomografía 4), coincidentes con los datos de Tenelema (2017) y Mendoza (2018) (670 - 800 Ohm.m) estos últimos interpretados sin considerar una verificación litológica de campo. Los rangos de resistividades consideradas como altas (1500-5000 Ohm.m) se deben a que el granito se encuentra sin meteorización.

Avalancha de Chimborazo

Fueron registradas resistividades de 1851-10000 Ohm.m asociadas a zonas con grandes bloques andesíticos angulosos de dicha litología (Tomografía 1, 2 y 3). Los datos coinciden con las tomografías eléctricas que obtuvo Tenelema (2017) (tabla 5.2.). La EP-EMAPAR (2008-2010) registra resistividades inferiores (313 – 1600 Ohm.m) que podrían corresponder a material más fino o presencia de humedad.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se han identificado trece unidades litológicas que son coincidentes con las descripciones realizadas en estudios previos y trabajos de titulación. La Unidad Guamote (Jurásico-Cretácico) compone el basamento de la zona de estudio. Aflora en el sector de Punín y rodea la loma Mirador. Hacia la Loma Sillaloma, esta unidad se encuentra deformada y en el sector de Tunshi Grande hasta el poblado de Pungalá, se encuentra intruída por el Granito de Eoceno de Pungalá.
- El relleno de la zona estudio está compuesto por la Unidad Riobamba (Mioceno) aflorando principalmente en la ciudad homónima. Subyaciendo a esta unidad se encuentra la Avalancha del Chimborazo en la vía Riobamba-San Luis y dentro de la Quebrada Chalán. Las Formaciones Yaruquíes y Sicalpa de edad Plioceno, se consideran como contemporáneas con un cambio lateral hacia el Sector de Yaruquíes en la Loma Puchalín. Mientras se depositaban las secuencias fluviales de la Formación Yaruquíes, se acumulaban los depósitos piroclásticos de la Formación Sicalpa provenientes de los volcanes: Chimborazo, Igualata y Tungurahua. Continuando con el relleno de la cuenca, se identificó al Depósito Brechoide Chambo de edad Pliocénica, localizado al este del Cantón del mismo nombre. Está compuesto por el producto de varios eventos coluviales provenientes del levantamiento de la Cordillera Real.

La Terraza Fluvial Chibunga-Chambo recorre el margen izquierdo del Río Chambo desde el Sector de El Pedregal hasta Licto, incluyendo el sector de Chambo, y se la interpretada de edad Pleistocénica.

- La Avalancha de Chimborazo (Pleistoceno), dentro de la zona de estudio, posee su facies de bloque en la vía Riobamba-San Luis al Norte del área cartografiada, y su facies de matriz areno limosa en el sector de los Elenes donde se hicieron los trabajos geofísicos. Como consecuencia de su depósito se generaron las Limolitas Chambo (Holoceno). En este trabajo, su origen se asocia a los lagos generados por la Avalancha de Chimborazo que junto a las condiciones de glaciación Cuaternaria posibilitaron la acumulación de limolitas de hasta 30 metros de potencia.
- En este trabajo, fueron identificadas dos nuevas unidades (el Pórfido de Guislán y Y los Volcánicos Tulabug) que no han sido descritas hasta el momento. El Pórfido de Guislán (Eoceno), consiste en un pórfido feldespático con fenocristales de cuarzo,

plagioclasa, anfíboles y piroxenos. Está distribuido en al NW de la zona cartografiada, alrededor de la loma La Cantera. Los Volcánicos Tulabug (Plesitoceno) componen la estructura del Volcán homónimo y los flujos de lava producidos del mismo. Se localizan al sur de la zona de estudio en el margen izquierdo del Río Chambo en el sector de Sinimbug y al este del Volcán Tulabug.

- A partir del análisis litológico de campo, de estudios geofísicos previos y de la interpretación de las cuatro tomografías eléctricas realizadas, fueron identificadas las resistividades de las principales Unidades litológicas presentes en el área de estudio. Esas resistividades fueron divididas en dos grandes grupos: Unidades con alta y baja resistividad dependiendo principalmente de las características litológicas. Así, las unidades con resistividad alta corresponden a la Avalancha de Chimborazo (1851-10000 Ohm.m) con facies de bloques angulosos y al Granito de Pungalá no meteorizado (1500-5000 Ohm.m); mientras que las Unidades con bajas resistividades corresponden a: la Unidad Riobamba (62.8-300 Ohm.m), el Depósito Brechoide Chambo (14 -300 Ohm.m), el Granito de Pungalá meteorizado (111-340 Ohm.m) y la matriz areno limosa de la Avalancha de Chimborazo (194-1851 Ohm.m).

Al considerar los rangos de resistividades de los materiales y sus litologías, se interpretó que, en la Unidad Riobamba, en el Depósito Brechoide Chambo y en la matriz areno limosa de la Avalancha de Chimborazo, existe presencia de humedad, lo que podría corresponder a niveles de agua.

5.2. RECOMENDACIONES

- De la interpretación de las cuatro tomografías eléctricas, se deduce que es necesario profundizar en la interpretación Geofísica, principalmente en el sector de Punín, ya que estas interpretaciones confirmarían la presencia de niveles de agua dentro Unidad Guamote o terrazas fluviales localizadas en los alrededores. Estos estudios podrán ser correlacionados con el pozo Quebrada Colorada Parroquia Punín presente en esa zona donde también se dispone de registros geofísicos de perforación.
- Para el aprovechamiento de agua sería recomendable focalizar los pozos donde se estime que la Unidad Riobamba y Depósito Brechoide Chambo sean más potentes, o no se encuentren subyaciendo a grandes potencias de otros depósitos, como la Avalancha del Chimborazo, Formación Sicalpa, Volcánicos Tulabug, etc. Las mayores potencias del Depósito Brechoide Chambo se ubican al Este del poblado de Chambo en el sector de San Isidro y Catequilla.
- Es recomendable, realizar ensayos de porosidad y permeabilidad “in situ” y en laboratorio con materiales de la Unidad Riobamba, la matriz areno limosa de la Avalancha de Chimborazo y Depósito Brechoide Chambo, para de esa manera conocer el flujo de agua a través de dichas formaciones.
- Debido a que en este trabajo se identificaron dos nuevas Unidades (el Pórfido de Guislán y los Volcánicos Tulabug), es recomendable realizar dataciones y correlaciones litoestratigráficas de estas Unidades volcánicas, con el fin de afianzar el modelo geológico de evolución para este sector.

CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaraz S., Leyrit, H., Eissen, J., Beate, B., Robin, C., 2002. L'avalanche de débris du Volcan Chimborazo, Equateur: caractéristiques faciologiques et morphologiques. Réunion Sci. Terre. Nantes – Francia. pp. 48.

Aspen, J., Litherland, M.. 1992. The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205 (1992),p 187-204

Barba, D., Samaniego, P., Eissen, J.-P., Robin, C., Fornari, M., Cotten, J., Beate, B., 2005. Geology and structure of the late Pleistocene to Holocene Chimborazo Stratovolcano (Ecuador). *Int. Symp. Andean Geodyn. Abstract volume*, Barcelona, España, pp. 90–93.

Barba, D. 2006. Estudio vulcanológico del complejo volcánico Chimborazo-Ecuador. Escuela Politécnica Nacional. Proyecto Previo A La Obtención Del Título De Ingeniero Geólogo.

Beate, B. & Hall, M. L., 1989. Informe Final de Volcanología: Tungurahua, Cotopaxi, Chimborazo. INECEL – Consultora San Francisco; No Publicado; Parte C; pp. 1-79.

Bernard, B; Van Wyk de Vries, B., Barba, D., Leyrit H., Robin R., Alcaraz, S., Samaniego, P. 2008. The Chimborazo sector collapse and debris avalanche: Deposit characteristics as evidence of emplacement mechanisms. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176 (2008), p 36-43

Bristow, C. R., Hoffstetter, Rh, & International Union of Geological Sciences, 1977. *Lexique Stratigraphique International: Amérique Latine fascicule 5a2 Ecuador = Equateur (incl. Galapagos)*. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique

Bustillos, J. 2008. Las Avalanchas de Escombros en el Sector del Volcán Tungurahua. Escuela Politécnica Nacional. Proyecto Previo A La Obtención Del Título De Ingeniero Geólogo.

Clapperton, C. & Vera, R., 1986. The Quaternary glacial sequence in Ecuador: a reinterpretation of the work of Walter Sauer. *Journal of Quaternary Science*, vol. 1, issue 1, pp. 45-56.

DeGroot-Hedlin, C. and Constable, S., 1990. Occam's inversion to generate smooth, twodimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, 55, 1613-1624.

Dena-Ornelas, O.S., Obeso-Cortez, G, Leyva, J, Domínguez-Acosta, M, Hernández-Jacobo, V, Granados-Olivas, A, & De la Cruz-Cháidez, S.T., 2011. Estudio geológico y geofísico de la

ladera sur del corte del mirador Hidalgo en Ciudad Juárez, Chihuahua. Ingeniería, investigación y tecnología, 12(4), 439-451.

EP-EMAPAR, 2008-2010. Estudios Geoeléctricos para Prospección de Agua Subterránea de Pozos del Sector Llío, San Antonio, San Francisco, Yaruquies, Colegio Riverside, 24 de Mayo, El Pedregal, Huerta, Servidores y Riobamba.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. Ingeniería Geológica. 2002 (1ra. Ed); 2004 (2da. Ed); 2009 (3ra. Ed) Prentice Hall Pearson Educación, Madrid, pp 750.

Kirsch, R., 2006. Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology. 2nd Edition. Springer Hydrogeology.

Lavenu, A., Noblet, C., Bonhomme, M., Egüez, A., Dugas, F. y Vivier, G., 1992. New K/Ar age dates of Neogene and Quaternary volcanic rocks from the Ecuadorian Andes: Implications for the relationship between sedimentation, volcanism and tectonics. Journal of South American Earth Sciences, 5(3-4), pp. 309-320.

Litherland, M., 1987. First annual report (March 1986 – March 1987) of the Cordillera Real Geological Research Project, Ecuador. Open-File Report of the British Geological Survey, Keyworth (in English) and of INEMIN, Quito (in Spanish). 245 p.

Litherland, M., 1988. Second annual report (March 1986 – March 1987) of the Cordillera Real Geological Research Project, Ecuador. Open-File Report of the British Geological Survey, Keyworth (in English) and of INEMIN, Quito (in Spanish). 346 p.

Litherland, M., 1989. Third annual report (April 1988 – March 1989) of the Cordillera Real Geological Research Project, Ecuador. Open-File Report of the British Geological Survey, Keyworth (in English) and of INEMIN, Quito (in Spanish). 346 p.

Litherland, M., Aspen, J., Jemielita, R., 1994. The metamorphic belts of Ecuador. Overseas Memoir of the British Geological Survey, N° 11(1994), p 41-62.

Loke, M.H., Copyright 1999. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys.

Loke, M. H., & Dahlin, T., 2002. A comparison of the Gauss-Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. Journal of Applied Geophysics, 49(3), 149-162.

Lowrie, W., 2007. Fundamentals of Geophysics, second edition, Cambridge University Press, New York, USA

Mendoza, B., 2015. Characterization of real aquifers using hydrogeophysical measurements, an application to the Chambo Aquifer (Ecuador). (Trabajo de Titulación de Doctor de

Investigación en Ingeniería Hidráulica para el ambiente y el territorio). Universidad de la Calabria. Catanzaro. 195 p.

Mendoza, B., 2018. Reconstrucción estratigráfica para determinar el potencial hidrogeológico en Guaruña-pamba-Punín. Ciencias, Medio Ambiente y Biodiversidad. 11 p.

Naranjo, L. F., 2013. Caracterización hidrogeológica de la Subcuenca del río Chambo. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el Título de Ingeniero en Geología. Carrera de Ingeniería en Geología. . Quito: UCE. 262 p.

Patra, H. P., Adhikari, S., Kunar, S., 2016. Groundwater Prospecting and Management. Springer Singapore. Springer Hydrogeology.

Proaño, J., & Mendoza, B., 2018. Reconstrucción estratigráfica mediante tomografía eléctrica de resistividad de un humedal alto-Andino en el cantón Chambo. Universidad Nacional de Chimborazo.

Reyes, P., 2006. El Complejo Ofiolítico Peltetec Y Su Relación Con Las Unidades Metamórficas Jurásicas De La Cordillera Real. Escuela Politécnica Nacional. Proyecto Previo A La Obtención Del Título De Ingeniero Geólogo, p 80-91.

Román, J.L. & Lara, P., 2011. Ecuador Fósil. Nuestros Animales Prehistóricos. Fascículo N°1 La Fauna Fósil de la Quebrada Chalán. Museo de Historia Natural "Gustavo Orcés" Instituto de Ciencias Biológicas. Escuela Politécnica Nacional.

Runddle, C.C., 1988. Third annual report (April 1988 – March 1989) of the Cordillera Real Geological Research Project, Ecuador. Potassium-Argon ages for minerals from the Cordillera Real Ecuador. Open-File Report of the British Geological Survey, Keyworth (in English) and of INEMIN, Quito (in Spanish). 346 p.

Salguero Caicedo, D. A., 2017. Levantamiento geológico-estructural de la zona comprendida por la Hoja Topográfica de Guano Escala 1:50000, Provincia de Chimborazo. 189 hojas. Quito : EPN.

Samaniego, P., Barba, D., Claude, R., Fornari, M., Bernard, B., 2012: Eruptive history of Chimborazo volcano (Ecuador): A large, ice-capped and hazardous compound volcano in the Northern Andes. Journal of Volcanology and Geothermal Research 221–222 (2012) 33–51

Sosa, H., & Guevara, S. (1973). HOJA GEOLÓGICA DE RIOBAMBA ESCALA 1:100000. Dirección General de Geología y Minas, Quito.

Telford, W., Geldart, L., & Sheriff, R., 1990. Applied Geophysics. Cambridge: Cambridge University Press.

Tenelema Allaica, V. H., & Mendoza, B., 2017. "Estudio estratigráfico del acuífero del río Chambo mediante Tomografías Eléctricas y Técnicas Geoestadísticas". Universidad Nacional de Chimborazo.

Vallejo, C., 2007. Evolution Of The Western Cordillera In The Andes Of Ecuador (Late Cretaceous-Paleogene). Swiss Federal Institute Of Technology Zürich. Degree of Doctor of Natural Sciences, p 17-67.

Vera, R., Noblet, C. & Dugas, François (1986). Sedimentación continental en las cuencas intramontañosas terciarias del Ecuador : un análisis preliminar.

Villagómez, D., 2003. Evolución Geológica Plio-Cuaternaria Del Valle Interandino Central En Ecuador (Zona De Quitoguyllabamba-San Antonio). Escuela Politécnica Nacional. Proyecto Previo A La Obtención Del Título De Ingeniero Geólogo.

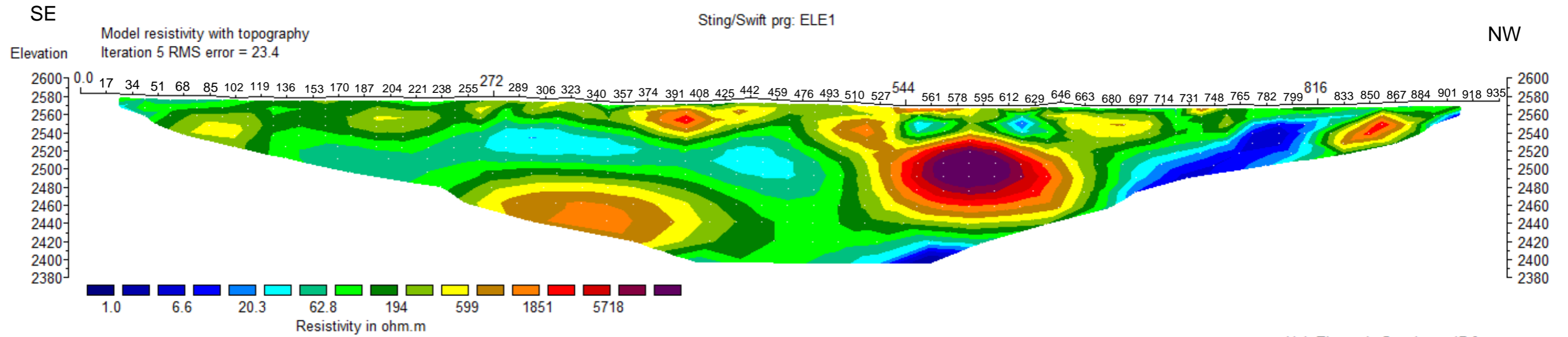
Winkler W., Villagómez D., Spikings R., Abegglen P., Tobler St., Eguez A., 2005. The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador. Journal of South American Earth Sciences 19 (2005), p 5–19

ANEXOS

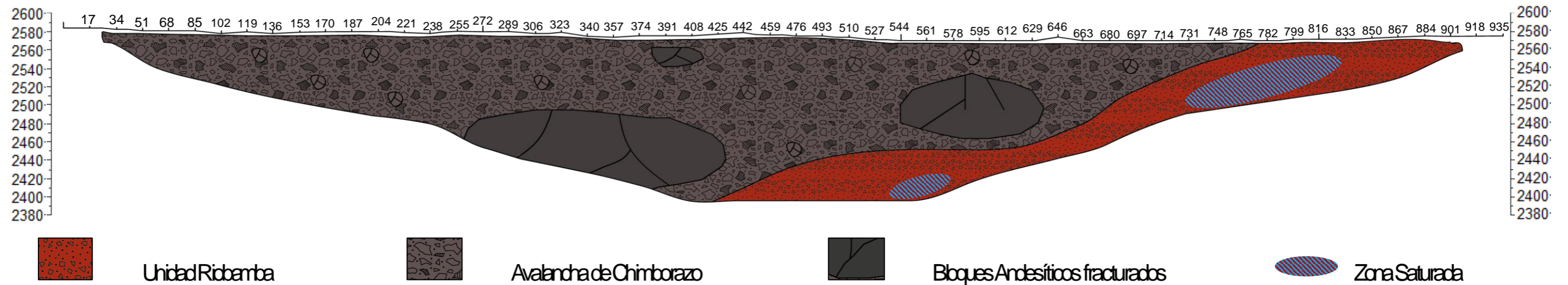
ANEXO 1: CARTA GEOLÓGICA RIOBAMBA

ANEXO 2: TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS

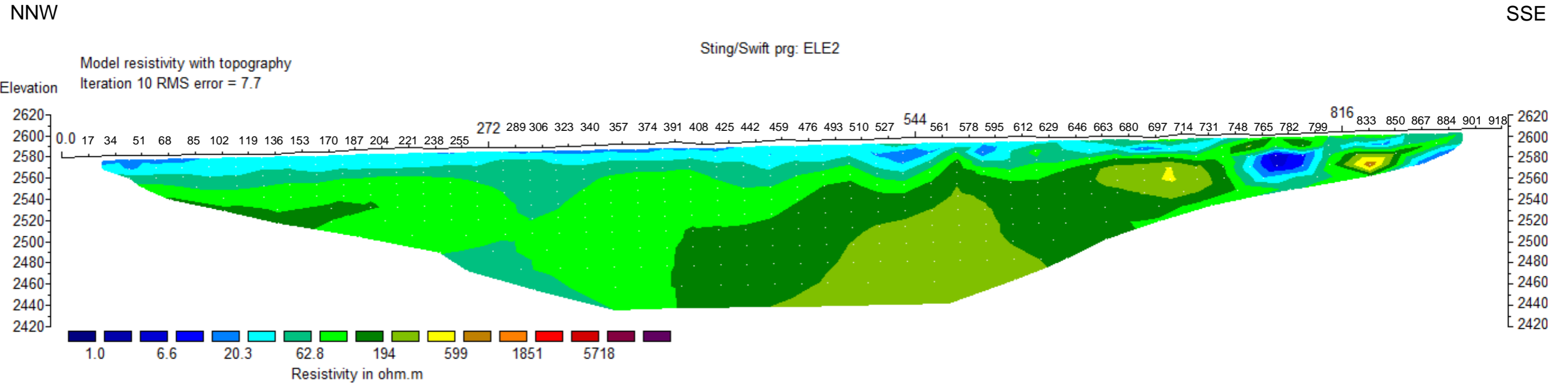
PRIMERA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA



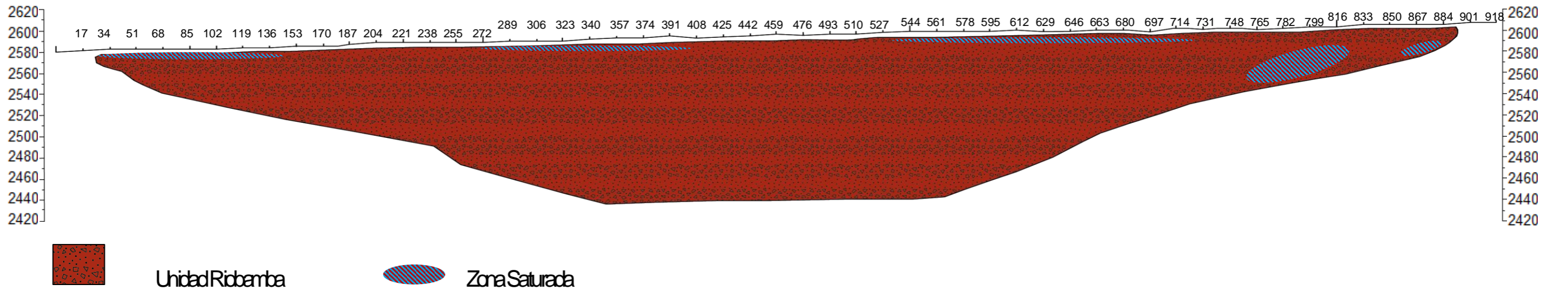
Horizontal scale is 23.36 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.59
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 935.0 m.



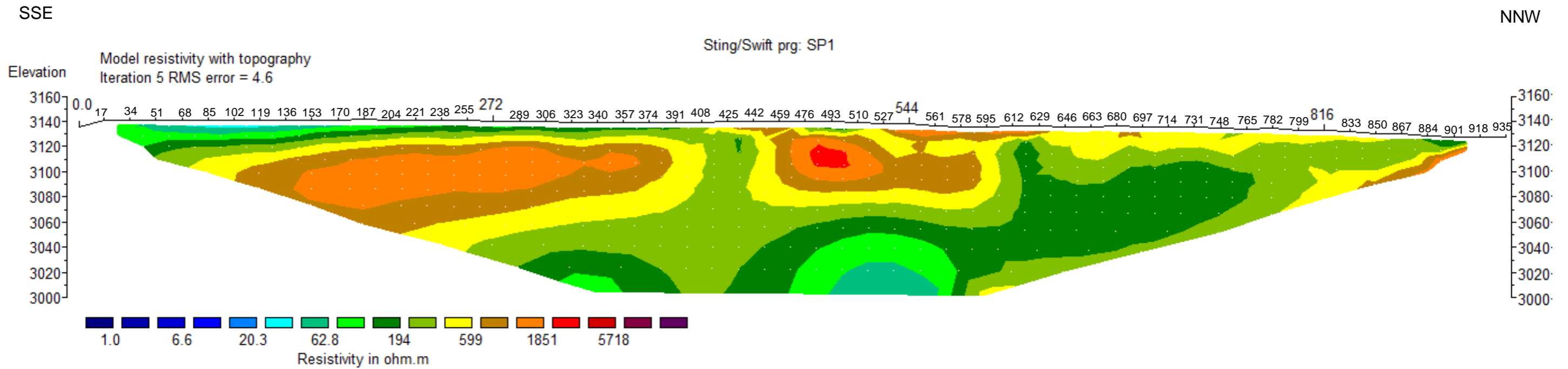
SEGUNDA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA



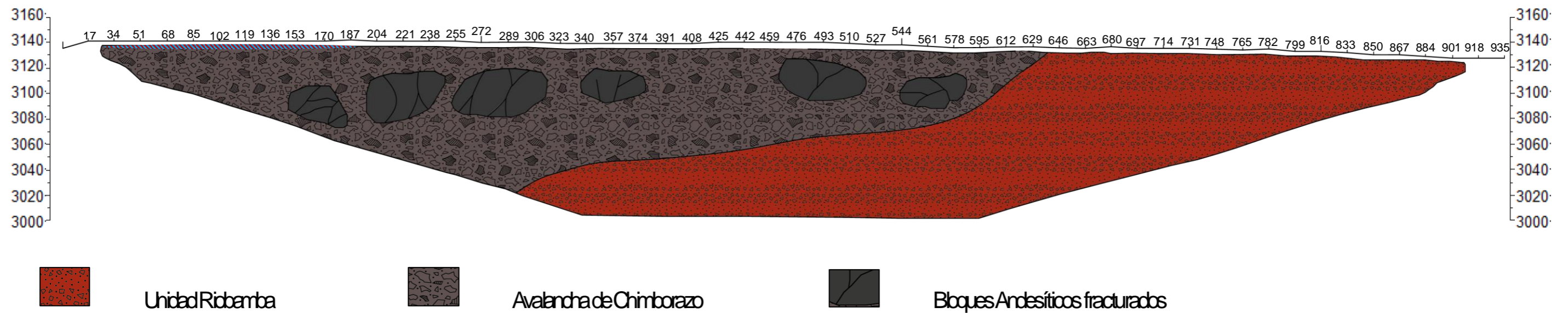
Horizontal scale is 23.80 pixels per unit spacing
 Vertical exaggeration in model section display = 0.67
 First electrode is located at 0.0 m.
 Last electrode is located at 918.0 m.



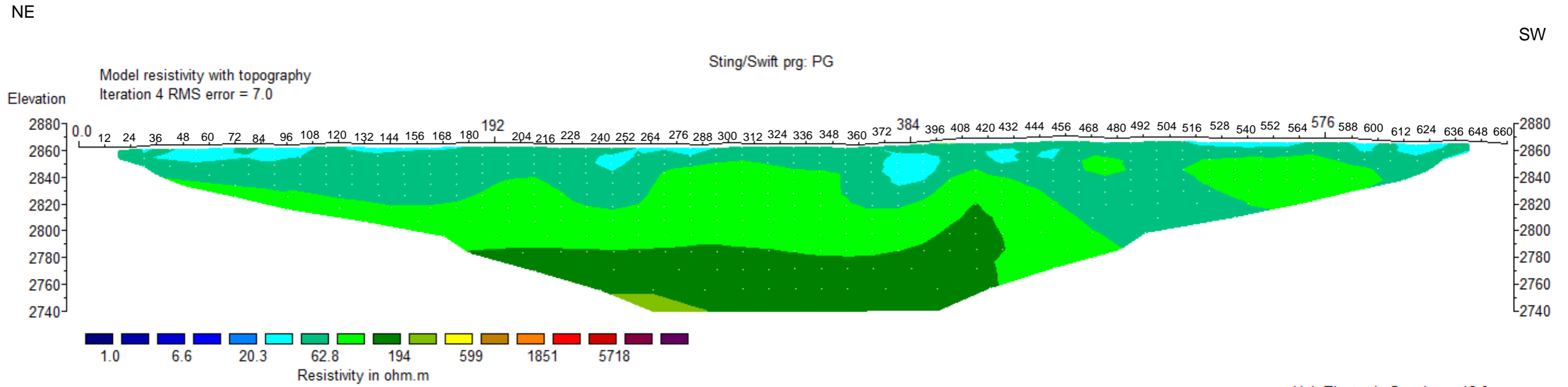
TERCERA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA



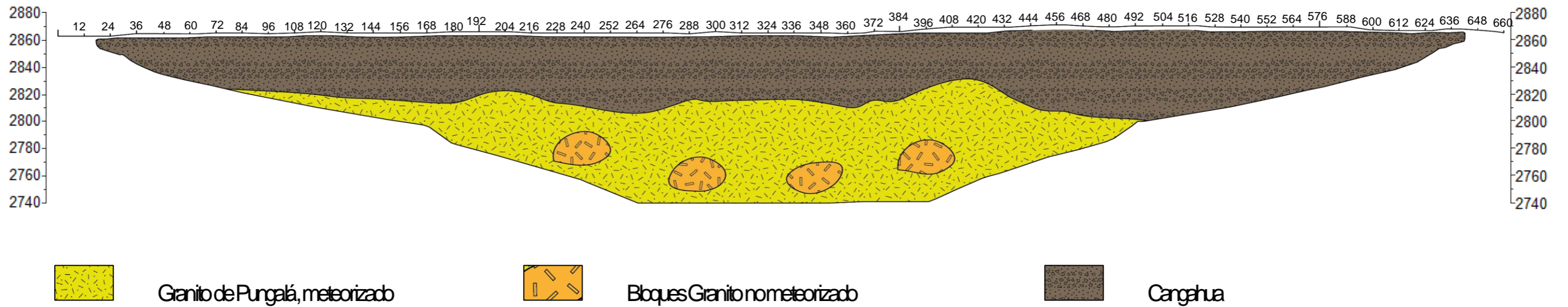
Horizontal scale is 23.16 pixels per unit spacing
 Vertical exaggeration in model section display = 0.82
 First electrode is located at 0.0 m.
 Last electrode is located at 935.0 m.





CUARTA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA







Horizontal scale is 23.16 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.62
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 660.0 m.






ANEXO 3: DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS



Código	UTM		Sector	Unidad Asignada	Nombre de la Roca	Descripción Petrográfica	Fotografía de la Muestra
	X	Y					
R-01	761220	9805838	Punín	Guamote	Cuarcita	Cuarcita de estructura bandeada con textura granoblástica. Sus minerales principales es el cuarzo con un 5% de feldespato y plagioclasa.	
R-02	762420	9804394	Tunshi	Guamote	Cuarcita	Cuarcita de estructura laminada con textura diablástica. Sus minerales principales consisten en cuarzo con un 5% de plagioclasa. Presentan un color gris rojizo, los cristales de cuarzo varían en tamaño y toma colaciones grisáceas, blanquecinas, rojizas hasta translucidas dependiendo de la concentración que tenga.	



R-03	758849	9797158	Putugsa	Guamote	Filita	Muestra de estructura filítica con textura porfiroblastica de color verdoso, con minerales principales de cuarzo, plagioclasa y piroxeno.	
R-04	761220	9805838	Punín	Guamote	Pizarra	Pizarra de estructura apizarrada con textura lepidoblástica con minerales principales cuarzo y plagioclasa, de color negruzco.	



R-05	757293	9803867	Miraloma	¿	Brecha	Brecha de fábrica matriz soportado con líticas ígneos volcánicos andesíticos polimícticos dentro de una matriz arcillosa limosa con cemento silíceo. Presenta alteración hidrotermal.	
R-06	764985	9801772	Resbalay	Tulabug	Tefra	Lapilli negruzco vesicular con cristales de plagioclasa y piroxeno, con precipitaciones silíceas. Tamaño de 1 mm hasta 5 cm.	

R-07	761118	9802037	Puñiquí	Tulabug	Lapilli	Tamaño de grano ceniza gruesa con líticos ígneos básicos, bombas volcánicas, cemento silíceo, presenta estratificación, de fábrica grano soportado sorteado con continuidad lateral.	
R-08	758849	9797158	Rayopamba	¿	Toba Volcánica	Tamaño de grano ceniza gruesa con cristales de cuarzo, plagioclasa, piroxeno, vidrio, líticos ígneos polimicticos, cemento silíceo arcilloso. Fábrica matriz soportado moderado sorteado, de continuidad lateral.	
R-09	758536	9797468	Cintaguzo	¿	Toba Volcánica	Tamaño de grano ceniza fina con cristales de cuarzo, plagioclasa, piroxeno con líticos de pómez, cemento silíceo arcilloso. Fábrica matriz soportado sorteado, con continuidad lateral,	

R-10	761042	9810624	Loma La Cantera	Sicalpa	Toba Volcánica	Grisácea. Tamaño de grano ceniza gruesa, cristales de cuarzo, plagioclasa, piroxeno, líticos ígneos polimícticos, cemento silíceo arcilloso. Presenta estratificación, fábrica grano soportado mal sorteado, de continuidad lateral.	
R-11	761042	9810624	Loma La Cantera	¿	Toba Volcánica	Tamaño de grano ceniza gruesa con líticos ígneos, polimícticos con vidrio, cemento arcilloso silíceo. Estratificado, de matriz soportado mal sorteado, con continuidad lateral.	
R-12	761042	9810624	Loma La Cantera	¿	Toba Volcánica	Tamaño de grano ceniza fina, ceniza blanquecina con poco vidrio, cemento arcilloso silíceo. Estratificación, de fábrica matriz soportado, bien sorteado, de continuidad lateral.	

R-13	766273	9802329	Estación Las Banderas	Volcánico Tulabug	Lava Volcánica	Lava volcánica negruzca, de textura afanítica, estructura porosa, se observan cristales de olivino tomando una coloración azulada, plagioclasa, piroxeno y anfíbol.	
R-14	765415	9803518	Loma Guagua Tulabug	Pungalá	Granito	Coloración grisácea, textura fanerítica, estructura masiva e isótropa. Con minerales principales como plagioclasa, feldespato de potasio, piroxeno, anfíbol en menor cantidad cuarzo.	

R-15	763198	9805285	Tunshi	Volcánico Tulabug	Lava Volcánica	Andesita basáltica de color gris negruzco, textura afanítica, estructura masiva e isótropa. Presenta minerales principales de plagioclasa dentro de una matriz de anfíbol y piroxeno.	
R-16	765050	9799288	Gueseche	Pungalá	Granito	Granodiorita grisácea, textura fanerítica, estructura masiva e isótropa. Con minerales principales de plagioclasa, feldespato de potasio, piroxeno, anfíbol y en menor cantidad cuarzo.	

R-17	765035	9799467	Gueseche	Pungalá	Diabasa	Diabasa andesita basáltica negruzca con textura porfirítica con estructura masiva e isótropa, fenocristales de plagioclasa dentro de una matriz de piroxeno y anfíbol.	
R-18	764038	9805699	Tunshi	Pungalá	Granito	Granodiorita grisácea, textura fanerítica, estructura masiva isótropa con minerales principales de plagioclasa, feldespato de potasio, piroxeno, anfíbol y ne menor cantidad cuarzo.	

R-19	764413	9805914	Tunshi Grande	Pungalá	Granito	Granito grisáceo rosáceo de textura fanerítica, estructura masiva e isótropa, con minerales principales como plagioclasa, feldespato de potasio, cuarzo, piroxeno y anfíbol. Se observa alteración de plagioclasa a arcillas.	
R-20	760641	9810210	Loma La Cantera	Guaslán	Pórfido	Pórfido dacítico, textura porfirítica con estructura desordenada maciza con fenocristales de plagioclasa, cuarzo, feldespato de potasio, piroxeno.	
R-21	760403	9810334	Loma La Cantera	Guaslán	Pórfido	Pórfido dacítico, textura porfirítica con estructura desordenada maciza con fenocristales de plagioclasa, cuarzo, feldespato de potasio, piroxeno.	

