

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y
METALÚRGICA



**“DEFINICIÓN DEL CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO,
MAGMÁTICO Y ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO
PAMPA DE PONGO PARA CONSTRUIR EL MODELO
GEOLÓGICO Y TECTÓNICO**

BELLA UNIÓN – CARAVELÍ – AREQUIPA”

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO GEÓLOGO**

**ELABORADO POR:
MARCO ANTONIO CONTRERAS FAJARDO**

**ASESOR:
Ing. JORGE HUMBERTO PAREDES ÁNGELES**

**LIMA – PERÚ
2014**

*A mi querida madre por su esfuerzo, entrega y generosidad,
a mi querido padre por su influencia en el estudio del
conocimiento, a mis hermanos y amigos por su
comprensión.*

AGRADECIMIENTOS

A la empresa “Buenaventura Ingenieros S.A.” y JINZHAO MINING PERU S.A. por haberme permitido desarrollar mi inquietud profesional y colaborar en el conocimiento geológico del yacimiento Pampa de Pongo.

A los profesionales que participaron en el proyecto Pampa de Pongo, a los Ingenieros Gustavo Calvo, Germán Gárate, Omar Rodríguez, Javier Ochoa, Julio Sánchez, Rildo Rodríguez y a todo el equipo de trabajo.

A mis asesores y revisores del presente trabajo, Ingenieros Jorge Paredes y Esteban Manrique, por sus sugerencias en la elaboración del presente trabajo; al Doctor Rolando Carrascal por las observaciones pertinentes y al Ingeniero Alberto Aranda por su apoyo con los estudios petrográficos.

A Elvis Sánchez por su colaboración con los estudios paleontológicos, a Miguel Chumbe por sus sugerencias petrográficas, a Freddy Gutiérrez por su asesoramiento en el uso del software MapInfo, a Ronald Risco, a Alan Ramírez, a Belinia Baez y Liz Contreras por su apoyo en la elaboración de la tesis.

RESUMEN

El yacimiento Pampa de Pongo es uno de los yacimientos de hierro más grandes del mundo, con más de 3GT @ 40% Fe y valores de Cu. Debido a la importancia de este yacimiento, los estudios geológicos a detalle son necesarios, para su adecuada comprensión e identificación de nuevos blancos exploratorios. Por ello la presente tesis tiene como objetivo definir el contexto estratigráfico, magmático y estructural del yacimiento Pampa de Pongo para construir un modelo de evolución geológica y tectónica.

En base al mapa geológico del área de estudio, y los datos provenientes de 247 sondajes diamantinos perforados en el proyecto, se han levantado más de 12 columnas estratigráficas, se han recolectado muestras de fósiles, y se han tomado muestras para estudios petrográficos y geoquímicos. El análisis estructural se realizó usando el método de secciones, para ello se prepararon 15 secciones transversales al cuerpo mineralizado y una sección longitudinal compuesta, proyectando en total 97 sondajes en las secciones.

Los estudios Estratigráficos y de emplazamiento de rocas subvolcánicas y plutónicas, han definido 13 unidades litológicas: El Complejo Basal de la Costa del Mesoproterozoico, la Formación Chiquerío del Neoproterozoico, la Formación Marcona de posible edad Paleozoico Inferior(?), la Formación Río Grande del Jurásico Medio, la Formación Jahuay del Jurásico Superior, la Formación Yauca del Cretácico Inferior, la Formación Pisco del Mioceno y los depósitos cuaternarios. Los intrusivos subvolcánicos están conformados por las Andesitas Tunga y los sills Microdioríticos del Cretácico Inferior, que intruyen a las unidades pre-cenozoicas. Los intrusivos plutónicos forman parte del Batolito de la Costa, de edad Cretácico

Inferior a Superior, están conformados por dioritas, cuarzo dioritas y tonalita-granodiorita.

Se han identificado cinco eventos tectónicos predominantemente extensionales. Los eventos iniciales generaron tres sistemas de fallas, que modelaron la configuración estructural inicial de la zona de estudio; los eventos posteriores han reactivado los sistemas de fallas, generando la configuración estructural actual. El primer sistema está compuesta por fallas transcurrentes siniestrales con componente normal, se generaron a inicios del Jurásico Medio; algunas fallas pre Jurásicas se reactivaron en este periodo. Posteriormente se reactivaron en el Mioceno Medio. El segundo sistema está compuesto por fallas normales, cuyo origen está ligado al primer sistema de fallas. El tercer sistema está compuesto por fallas transcurrentes dextrales con componente normal, se generaron a finales del Cretácico Inferior, antes de la mineralización en Pampa de Pongo; posteriormente se reactivaron en el Eoceno.

La Formación Marcona es el principal metalotecto en Pampa de Pongo. En la zona mineralizada las dolomías son reemplazadas parcialmente por Magnetita, serpentina, dolomita y sulfuros de hierro, principalmente. Son posteriores al tercer sistema de fallas (antes de ser reactivado), al emplazamiento de los intrusivos subvolcánicos y a los tres tipos de rocas plutónicas del Batolito de la Costa. La mineralización posiblemente fue originado por un pulso magmático posterior no identificado, que podría ser una monzonita(?).

ABSTRACT

The Pampa de Pongo deposit is one of the largest deposits of iron in the world, with over 3GT @ 40% Fe and Cu values. Because of the importance of this deposit, the detailed geological studies are necessary to proper understanding and identification of new exploration targets. Therefore the aim of this thesis is to define the stratigraphic, magmatic and structural setting of the Pampa de Pongo deposit to build a model of geological and tectonic evolution.

Based on the geological map of the study area, and data from 247 diamond drilling drilled in the project, have been done more than 12 stratigraphic columns, have been collected fossil samples, and samples were taken for petrographic and geochemical studies. The structural analysis was performed using the method of sections 15 cross sections for this ore body and the composed longitudinal section, projecting 97 drilling in the sections.

The stratigraphic studies and subvolcanic and plutonic rocks emplacement have defined 13 lithological units: the Mesoproterozoic Basal Complex Coast, the Neoproterozoic Chiquerío Formation, the Marcona Formation of possible Lower Paleozoic age(?), the Middle Jurassic Río Grande Formation, the Upper Jurassic Jahuay Formation, the Lower Cretaceous Yauca Formation, the Miocene Pisco Formation and quaternary deposits. The subvolcanic intrusives are shaped by the Tunga andesites and the Lower Cretaceous microdioritic sills that intrude the pre-Cenozoic units. The plutonic intrusives are part of the Coastal Batholith of Lower to upper Cretaceous, are composed of diorite, quartz diorite and tonalite-granodiorite.

Five predominantly extensional tectonic events have been identified. Initial events generated three fault systems, which modeled the initial structural configuration of

the study area, subsequent events have reactivated fault systems, generating the current structural configuration. The first system is composed by sinistral transcurrent faults with normal component, these has been formed in early Middle Jurassic, some pre Jurassic faults were reactivated during this period. Later in the Middle Miocene were reactivated. The second system is composed by normal faults which origin is linked to the first fault system. The third system is composed by dextral transcurrent faults with normal component which have been generated in the late Lower Cretaceous, before mineralization at Pampa de Pongo; subsequently they were reactivated in the Eocene.

The Marcona Formation is the main metalotect in Pampa de Pongo. In the mineralized zone dolomias are partially replaced by magnetite, serpentine, dolomite and iron sulphides, mainly. These are after the third fault system (before they reactivated), the emplacement of the subvolcanic intrusives and the three types of Coastal Batholith plutonic rocks. The mineralization was possibly originated from an unidentified posterior magmatic pulse, which could be a monzonite(?).

ÍNDICE

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 PRESENTACIÓN.....	18
1.2 PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO DE ESTUDIO.....	19
1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	19
1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	20
1.4.1 Etapa de Generación.....	20
1.4.2 Trabajos de campo.....	21
1.4.3 Etapa de sistematización y análisis.....	22
1.5 TRABAJOS ANTERIORES.....	23
1.6 UBICACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	25
1.7 ACCESIBILIDAD.....	25
1.8 FISIOGRAFÍA.....	27
1.9 CLIMA.....	28

CAPÍTULO II: CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 GEOTECTÓNICA DE LA MARGEN OCCIDENTAL DE LOS ANDES.....	29
2.2 ESTRATIGRAFÍA.....	34
2.1.1 Precámbrico.....	35
2.2.2 Paleozoico Inferior.....	37
2.2.3 Mesozoico.....	38
2.2.4 Cenozoico.....	40
2.3 ROCAS PLUTÓNICAS Y SUBVOLCÁNICAS.....	41
2.3.1 Batolito de San Nicolás.....	41
2.3.2 Intrusivos Jurásicos.....	42
2.3.3 Andesitas Tunga.....	42
2.3.4 Batolito de la Costa.....	43

2.4 UNIDADES MORFO ESTRUCTURALES.....	43
2.4.1 Cordillera de la Costa.....	43
2.4.2 Llanura Costera.....	44
2.4.3 Depresión de Ica-Nasca.....	44
2.4.4 Estribaciones de la Cordillera Occidental.....	44
2.5 METALOGENIA DEL SECTOR NASCA – CHALA.....	45
2.5.1 Franja de depósitos de Fe-Cu-Au (IOCG) – Skarn del Jurásico-Cretácico.....	45
2.5.2 Franja de depósitos de Fe-Cu-Au (IOCG) del Cretácico.....	45
CAPÍTULO III: ESTRATIGRAFÍA Y EMPLAZAMIENTO DE ROCAS	
SUBVOLCÁNICAS Y PLUTÓNICAS EN EL YACIMIENTO PAMPA DE	
PONGO	
3.1 ESTRATIGRAFÍA.....	49
3.1.1 Complejo Basal de la Costa (Mesoproterozoico).....	49
3.1.2 Formación Chiquerío (Neoproterozoico).....	52
3.1.3 Formación Marcona (Paleozoico Inferior(?)).....	57
3.1.4 Formación Río Grande (Jurásico Medio).....	62
3.1.5 Formación Jahuay (Kinmeridiano - Titoniano).....	68
3.1.6 Formación Yauca (Neocomiano).....	74
3.1.7 Formación Pisco (Miocena).....	78
3.1.8 Depósitos cuaternarios.....	82
3.1.8.1 Depósitos Fluvio-Marinos.....	82
3.1.8.2 Depósitos aluviales y de Pie de Monte.....	83
3.1.8.3 Dunas y Cubierta Eólica.....	84
3.2 ROCAS PLUTÓNICAS Y SUBVOLCÁNICAS.....	84
3.2.1 Andesitas Tunga (Valanginiano - Aptiano).....	84

3.2.2 Sills Microdioríticos (Aptiano - Albiano(?)).....	88
3.2.3 Batolito de la Costa (Albiano a Cenomaniano).....	91
3.2.3.1 Dioritas.....	92
3.2.3.2 Cuarzo dioritas.....	93
3.2.3.3 Granodioritas a tonalitas aplíticas.....	95
3.3 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA.....	97
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO PAMPA DE PONGO	
4.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	100
4.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN LA ZONA DE PERFORACIONES.....	109
4.2.1 Primer Sistema de Fallas.....	111
4.2.1.1 Falla Este.....	111
4.2.1.2 Falla A.....	114
4.2.1.3 Falla D.....	114
4.2.1.4 Falla F.....	115
4.2.1.5 Falla H.....	115
4.2.1.6 Falla J.....	115
4.2.1.7 Falla Oeste.....	116
4.2.2 Segundo Sistema de Fallas.....	116
4.2.2.1 Falla B.....	116
4.2.2.2 Falla C.....	116
4.2.2.3 Falla E.....	117
4.2.2.4 Falla G.....	117
4.2.2.5 Falla I.....	118
4.2.3 Tercer Sistema de Fallas.....	118
4.2.3.1 Falla Norte.....	118

4.2.3.2 Falla Pongo 1.....	119
4.2.3.4 Falla Pongo 2.....	119
4.2.3.4 Falla Pongo 3.....	119
4.2.3.5 Falla Sur 1.....	120
4.2.3.6 Falla Sur 2.....	120
4.2.3.7 Falla Sur 3.....	120
4.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL INTEGRAL DE LA ZONA CARTOGRAFIADA Y LA ZONA DE PERFORACIONES.....	120
4.4 ESTILOS ESTRUCTURALES Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA EN PAMPA DE PONGO.....	125
CAPÍTULO V: DISCUSIONES E INTERPRETACIONES	
5.1 MORFOLOGÍA DE LOS CUERPOS DE MAGNETITA EN EL YACIMIENTO PAMPA DE PONGO.....	128
5.1.1 Zona Norte.....	129
5.1.2 Zona Sur.....	130
5.1.3 Zona de Brechas.....	130
5.2 MODELO DE EVOLUCIÓN GEOLÓGICA Y TECTÓNICA PARA EL YACIMIENTO PAMPA DE PONGO.....	131
CONCLUSIONES	138
RECOMENDACIONES.....	143
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	144

ANEXOS

ANEXO 1: ESTUDIOS PALEONTOLÓGICOS

- 1.1 Estudio paleontológico de fósil localizado en la Formación Río Grande
- 1.2 Estudio paleontológico de fósil localizado en la Formación Jahuay
- 1.3 Estudio paleontológico de fósil localizado en la Formación Yauca

ANEXO 2: REGISTRO DE MEDICIONES DE IMBRICACIÓN EN RODADOS DE LA FORMACIÓN JAHUAY

- 2.1 Registro de mediciones de imbricación en rodados de la Formación Jahuay

ANEXO 3: FOTOMICROGRAFÍA DE SECCIONES DELGADAS

- 3.1 Fotomicrografía de la Muestra FG-430
- 3.2 Fotomicrografía de la Muestra PT-05
- 3.3 Fotomicrografía de la Muestra G-297
- 3.4 Fotomicrografía de la Muestra E-426
- 3.5 Fotomicrografía de la Muestra M-48
- 3.6 Fotomicrografía de la Muestra E-141
- 3.7 Fotomicrografía de la Muestra E-146
- 3.8 Fotomicrografía de la Muestra CE-82
- 3.9 Fotomicrografía de la Muestra PT-03
- 3.10 Fotomicrografía de la Muestra B-40
- 3.11 Fotomicrografía de la Muestra B-151
- 3.12 Fotomicrografía de la Muestra B-63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa de Ubicación del Proyecto Pampa de Pongo.....	26
Figura 1.2. Fisiografía del Proyecto Pampa del Pongo. La cadena de cerros corresponde al Batolito de la Costa. Vista al NE.....	28
Figura 2.1. Evolución Tectomagmática de los Andes Centrales Mesozoicos según Chen et al. (2013). A) Periodo Tethyan Tardío (165-155 Ma); B) Periodo Atlántico Sur (145-130 Ma); C) Periodo Pacífico Tardío (120-90 Ma).....	34
Figura 2.2. Mapa geológico del Distrito Minero de Marcona.....	36
Figura 3.1. Tramas que representan los diferentes tipos de roca, y símbolos que representan estructuras sedimentarias y fósiles, usadas en la elaboración de las columnas estratigráficas.....	49
Figura 3.2. Muestra FG-430 proveniente de afloramiento, clasificada como gneis sienogranítico, cuyo punto de ubicación es: E513 826; N8 290 652 (WGS84, 18S).....	51
Figura 3.3. Muestra PT-05 proveniente del sondaje diamantino 4ZK-161, extraído a 670.5 m de profundidad, clasificada como gneis sienogranítico.....	51
Figura 3.4. Mapa geológico del extremo suroeste del Proyecto Pampa de Pongo (Remarcado de azul en la margen superior derecha), detalla la distribución de las siguientes unidades litológicas: Complejo Basal de la Costa, Formación Chiquerío y Formación Marcona. Preparado por M. Contreras.....	55
Figura 3.5. Columna Estratigráfica de la Formación Chiquerío. La descripción de la figura se detalla en el texto. Preparado por M. Contreras.....	56
Figura 3.6. Columna Estratigráfica de la Formación Marcona. La descripción de la figura se detalla en el texto. Preparado por M. Contreras.....	60
Figura 3.7. Mapa geológico del Proyecto Pampa de Pongo, detalla la distribución de las siguientes Formaciones: Río Grande, Jahuay y Yauca. Preparado por M. Contreras.....	65

Figura 3.8. Columna Estratigráfica de la Formación Río Grande. La descripción de la figura se detalla en el texto. Preparado por M. Contreras.....	66
Figura 3.9. Columna Estratigráfica de la Formación Jahuay. La descripción de la figura se detalla en el texto. Preparado por M. Contreras.....	71
Figura 3.10. A) Disposición de la imbricación de los rodados aplanados en la actualidad, donde el estrato buza 20° al este. B) Disposición de los rodados aplanados imbricados, al rotar el estrato 20° en dirección opuesta a la dirección de buzamiento, disponiéndose horizontalmente, se aprecia claramente la imbricación y el buzamiento al oeste de los rodados aplanados.....	73
Figura 3.11. Diagrama Roseta en el cual se plotearon los 43 datos de dirección de buzamiento y buzamiento corregido de la imbricación de rodados aplanados, el cual indica que la dirección de imbricación predominante es hacia el azimut 262°.....	74
Figura 3.12. Columna Estratigráfica de la Formación Yauca. La descripción de la figura se detalla en el texto. Preparado por M. Contreras.....	77
Figura 3.13. Mapa geológico del Proyecto Pampa de Pongo, detalla la distribución de las siguientes unidades litológicas: Formación Pisco, Depósitos Fluvio - Marinos y Depósitos Eólicos. Preparado por M. Contreras.....	80
Figura 3.14. Columna Estratigráfica de la Formación Pisco. La descripción de la figura se detalla en el texto. Preparado por M. Contreras.....	81
Figura 3.15. Depósito Fluvio-Marino del Pleistoceno. Vista al Este.....	83
Figura 3.16. Depósito Aluvial como relleno en las quebradas que cortan al Batolito de la Costa. Vista al Norte.....	83
Figura 3.17. Las dunas son muy frecuentes en la zona de estudio. Vista al Sureste.....	84
Figura 3.18. Mapa geológico del Yacimiento Pampa de Pongo, detalla la distribución de las siguientes unidades litológicas: Andesitas Tunga, Sills Microdioríticos y el Batolito de la Costa. Preparado por M. Contreras.....	86

Figura 3.19. Muestras de Andesitas Tunga provenientes de afloramiento (A y B), y del sondaje 2JMP-154, localizado entre los 297 a 300 m de profundidad (C). En esta última se aprecia una vetilla que corta a las Andesitas Tunga; los bordes verde oscuros son serpentina, seguido por magnetita y hacia el centro dolomita.....	88
Figura 3.20. Muestras de sills microdiorítico. A) Andesita Tunga rojiza cortada por microdiorita gris verdosa. B) Microdiorita sin alteración del sondaje 3JMP-024, localizado entre los 144 a 145 m de profundidad. C) Brecha hidrotermal que afecta a la microdiorita, cementada por serpentina-magnetita-dolomita, del sondaje 2JMP-055, localizado entre los 431 a 433 m de profundidad.....	91
Figura 3.21. Diorita verde oscura de grano fino.....	93
Figura 3.22. Muestras de cuarzo dioritas. A) Cuarzo diorita sin antelación. B) Cuarzo diorita cortada por vetillas de magnetita-actinolita, muestreado en las proximidades de las vetas de la Mina Hierro Acarí. C) Cuarzo diorita en la zona de perforaciones, cortada por vetas de serpentina-magnetita-dolomita-sulfuros (Fe), del sondaje 2JMP-154, localizados entre los 166 a 170 m de profundidad.....	95
Figura 3.23. Granodioritas a tonalitas aplíticas blanquecinas.....	96
Figura 3.24. Columna Estratigráfica Generalizada del Proyecto Pampa de Pongo. Preparado por M. Contreras.....	98
Figura 4.1. Proyección estereográfica de 45 datos, para el tramo ubicado entre los 115 a 131 m de profundidad, en el sondaje 3GM-015 (zona de falla). El sistema principal (1 m - color azul) indica la dirección de inclinación y posible inclinación de la falla.....	105
Figura 4.2. Mapa de ubicación de las líneas de secciones transversales y longitudinal compuesta, en la zona de Perforaciones del Proyecto Pampa de Pongo. Preparado por M. Contreras.....	107
Figura 4.3. Sección generada con la información cargada en la base de datos. De manera similar se generaron todas las secciones presentadas en este estudio. Preparado por M. Contreras.....	108
Figura 4.4. Secciones Geológicas de la Zona de Perforaciones en Pampa de Pongo.....	112

Figura 4.5. Mapa Estructural de la Zona de Perforaciones en Pampa de Pongo.....	113
Figura 4.6. Mapa Geológico del Proyecto Pampa de Pongo.....	122
Figura 4.7. Secciones Geológicas del Proyecto Pampa de Pongo.....	123
Figura 5.1. Distribución de los cuerpos de magnetita en 3-D (vista al NE). El sólido en 3-D fue realizado por BISA, utilizando el software DATAMINE. Tonado de BISA (2012).....	131
Figura 5.2. Modelo de Evolución Geológica yTectónica para el Yacimiento Pampa de Pongo. Preparado por M. Contreras.....	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Vías de Acceso.....	25
Tabla 3.1. Resultado de Análisis Químico en muestra de dolomía.....	59
Tabla 4.1. Relación de sondajes proyectados en cada sección.....	101
Tabla 4.2. Orden de información preparada para la tabla Collar.....	102
Tabla 4.3. Orden de Información preparada para la tabla Survey.....	103
Tabla 4.4. Orden de Información preparada para la tabla Ley de Hierro.....	103
Tabla 4.5. Orden de Información preparada para la tabla de Clasificació Geomecánica RMR.....	104
Tabla 4.6 Orden de Información preparada para la tabla Unidades Litológicas.....	104

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 PRESENTACIÓN

El presente trabajo titulado “Definición del Contexto Estratigráfico, Magmático y Estructural del Yacimiento Pampa de Pongo para Construir el Modelo Geológico y Tectónico (Bella Unión - Caravelí - Arequipa)”, se realizó gracias al permiso concedido por la empresa JINZHAO MINING PERÚ S.A. y busca complementar las investigaciones del proyecto denominado “Modelamiento Geológico, Geotécnico y Cálculo de Recursos de Hierro de Pampa de Pongo” que fuera encargado por la empresa JINZHAO MINING PERÚ S.A. a BUENAVENTURA INGENIEROS S.A. (BISA) a inicios del año 2011.

El autor del presente trabajo formó parte del equipo de investigación que BISA delegó, para la ejecución del mencionado proyecto, culminándose con los estudios en setiembre del 2012. Se desarrollaron trabajos de logeo geológico, logeo geomecánico, muestreo de testigos, preparación de muestras, cartografiado geológico de los alrededores del yacimiento, y finalmente la sistematización, interpretación y presentación de los resultados. La información usada para la

realización del presente trabajo se obtuvo en el desarrollo de los trabajos que BISA llevó a cabo.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO DE ESTUDIO

- En Pampa de Pongo el contexto estratigráfico se conoce de manera parcial.
- Se cuentan con estudios preliminares en relación a los tipos de rocas ígneas volcánicas, subvolcánicas y plutónicas, la secuencia de intrusiones, y su asociación con la ocurrencia de magnetita no está definida.
- Se propone complementar el modelo estructural.
- Se propone complementar el modelo de evolución geológica y tectónica para el yacimiento Pampa de Pongo.

El presente trabajo busca definir las observaciones mencionadas, mediante investigaciones geológicas de campo y laboratorio, con la finalidad de orientar mejor las exploraciones y operaciones mineras de la empresa, en la zona de estudio.

1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- Definir la estratigrafía y secuencia estratigráfica del área de estudio.
- Definir los tipos de rocas ígneas volcánicas, subvolcánicas y plutónicas, definir la secuencia de intrusiones y su asociación con la ocurrencia de magnetita.
- Complementar el modelo estructural conocido.
- Complementar el modelo de evolución geológica y tectónica para el yacimiento Pampa de Pongo.

- Presentar el estudio y sus resultados como tesis para optar el título Profesional de Ingeniero Geólogo.

1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El trabajo se realizó en tres etapas: 1) etapa de generación, 2) trabajos de campo, y 3) etapa de sistematización y análisis.

1.4.1 Etapa de Generación

Esta primera etapa comprende la fase de gabinete. Los trabajos se realizaron entre julio y octubre del 2011, en la ciudad de Lima y en la localidad de Bella Unión (Arequipa), donde se localiza el proyecto Pampa de Pongo. Consistió en:

- Recopilación y evaluación de la información geológica existente del área de estudio. La información bibliográfica se adquirió en las bibliotecas de la universidad Nacional de Ingeniería, de la sociedad geológica del Perú, y en bibliotecas virtuales de organizaciones internacionales de investigación, como la Sociedad de Geólogos Económicos (SEG), la Sociedad de Geología Aplicada a Depósitos Minerales (SGA), etc.
- Sistematización de los mapas topográficos, mapas geológicos, imágenes satelitales, y mapas geofísicos. Los mapas regionales a escala 1/200 000 y 1/100 000, los mapas locales a escala 1/20 000 y a 1/10 000. Para ello se utilizó el software MAPINFO PROFESSIONAL 10.5. Los mapas fueron proporcionados por BISA, en formato digital e impresos.
- En base al mapa geológico de la zona de estudio, cartografiado a escala 1/10 000 por BISA, se ubicaron zonas para el levantamiento de columnas estratigráficas y puntos de muestreo.

- En base al mapa geológico regional se planificaron itinerarios, con la finalidad de realizar el reconocimiento de las unidades de interés y los respectivos muestreos, también se planificaron visitas puntuales a los centros mineros en actividad e inactivos.

1.4.2 Trabajos de campo

Los trabajos de esta etapa fueron realizados directamente por el autor de la presente tesis, con el apoyo de BISA, entre diciembre del 2011 y mayo del 2012, en el área del proyecto; desarrollándose lo siguiente:

- Revisión de testigos en algunos sondajes con inconformidades en los logueos geológicos. Trabajo realizado entre diciembre del 2011 y febrero del 2012.
- Levantamiento de columnas estratigráficas a escala 1/200, muestreos de roca (rock chips y muestras de mano), abarcando todas las unidades litológicas presentes. Trabajo realizado entre marzo y abril del 2012.
- Itinerarios desde Pampa de Pongo a la mina Marcona, y Pampa de Pongo a la Mina Hierro Acarí, con la finalidad de reconocer las unidades litológicas y sus diversas características, realizando muestreos (rock chips y muestras de mano). Trabajo realizado en abril del 2012.
- Visita a la mina en actividad Marcona, al proyecto Mina Justa y a la mina paralizada Hierro Acarí. Trabajo realizado en abril del 2012.
- Se enviaron muestras (rock chips) al laboratorio ALS CHEMEX, para su análisis multielemental.
- Se enviaron 12 muestras de mano al Laboratorio BISA, para la realización de estudios mineralógicos y petrográficos.

Para la realización de estos trabajos se utilizaron los siguientes equipos y herramientas:

- Un GPS, marca Garmin, modelo GPSmap 62s.
- Una brújula, marca Brunton, modelo 5005 LM.
- Una cámara fotográfica, marca Sony, modelo DSC-HX7V.
- Una Lupa, marca Iwamoto 20X.
- Un lápiz rayador, un lápiz imantado y un corta plumas.
- Botella porta ácido con ácido clorhídrico al 15%.
- Libreta de campo, cartillas de muestreo, tablero, lápices de colores, lapiceros, borrador, plumones indelebles, reglas a escalas 1/1000 y 1/2000.
- Un flexómetro de 30 m.
- Una picota, marca Estwing de 22 onzas, mango corto.
- Una comba de 3 libras, cinceles de punta y plana.
- Un bastón recto de 2 m, diámetro 3 cm, marcado cada 20 cm.
- Bolsas de muestreo y precintos.

1.4.3 Etapa de sistematización y análisis

Los trabajos de esta etapa fueron realizados por el autor de la presente tesis, con el apoyo de algunos compañeros, financiado por el autor; entre mayo y diciembre del 2013, en la ciudad de Lima. Se realizaron los siguientes trabajos:

- Preparación de mapas geológicos a escalas 1/200 000, 1/20 000 y 1/10 000. Para ello se utilizó el software MAPINFO PROFESSIONAL 10.5.
- Preparación de columnas estratigráficas para cada unidad litológica, y uno de compilación general, donde se incluyen los eventos de intrusiones ígneas. Para ello se utilizó el software AUTOCAD 2011.

- Los resultados del análisis químico se procesaron estadísticamente y se realizaron las interpretaciones respectivas.
- Para la interpretación estructural, se preparó un mapa a escala 1/10 000, donde se incorporaron todos los sondajes diamantinos (247), proyectando sus direcciones de inclinación en planta; adicionalmente se agregó la proyección en planta del cuerpo mineralizado. Este mapa se preparó con la finalidad de trazar 15 secciones transversales al cuerpo mineralizado y una sección longitudinal compuesta; proyectándose 97 sondajes en las secciones. Para la preparación de este mapa se utilizó el software MAPINFO PROFESSIONAL 10.5.
- Se preparó una base de datos para los 97 sondajes diamantinos, con la siguiente información: Collar, Survey, Unidades Litológicas, Clasificación Geomecánica RMR, Leyes de Hierro y Registro de discontinuidades; en base a la información de ubicación e inclinación de cada sondaje, fotos de testigos de cada sondaje, logueo geológico, logueo geomecánico y el registró de discontinuidades medidos con la sonda acústica (televiewer), sistematizado por BISA.
- Elaboración de mapas y secciones de interpretación final, para ello se utilizaron los software MAPINFO PROFESSIONAL 10.5 y DISCOVER 11.1.
- Elaboración del informe final.

1.5 TRABAJOS ANTERIORES

Los primeros estudios en Pampa de Pongo se realizaron en 1994, cuando **Rio Tinto Mining and Exploration**, Sucursal Perú, identifica una anomalía magnética en la zona; que conllevó a realizar trabajos de cartografiado geológico, geoquímica de rocas y suelos, prospección geofísica (magnetometría, gravimetría y polarización

inducida), concluyendo con la perforación de 6 sondajes de Circulación Reversa (1401 m) y 9 sondajes diamantinos (4883 m), llegando a estimar más de 940 MT @ >44% Fe, 0.1 % Cu con valores de oro; fue caracterizado como un depósito de Fe-Cu-Au (Hawkes et al., 2002).

El 2004 **Cardero Resource Corp.** adquiere las propiedades de Rio Tinto y continúa con los trabajos de exploraciones, los cuales complementan el cartografiado geológico, la prospección geofísica (estudio electromagnético, magnetometría terrestre), obteniendo un modelo de inversión magnética en 3D. En base a los resultados geofísicos, perforaron 14 sondajes diamantinos, llegando a estimar más de 850 MT @ >41% Fe, con valores de cobre y oro (Helsen, 2005).

El 2008 **Jinzhao Mining Perú S.A.** adquiere las propiedades de **Cardero Resource Corp.** Del 2008 al 2010, encarga los trabajos de exploración a la empresa china **Jindy Resources**, la cual completa una campaña de perforación diamantina y realiza algunas pruebas hidrogeológicas, perforando 38 sondajes diamantinos.

A inicios del 2011 **Jinzhao Mining Perú S.A.** encarga los trabajos de exploración a **Buenaventura Ingenieros S.A.**, realizando los siguientes trabajos: relagueo geológico, logueo geológico, logueo geomecánico, medición de la susceptibilidad magnética, muestreo de testigos y preparación de muestras, cartografiado geológico de los alrededores del yacimiento. La supervisión de la perforación diamantina estuvo a cargo de **Jinzhao Mining Perú S.A.** Se perforaron 184 sondajes, incluyendo sondajes inclinados; llegando a estimar más de 3GT @ 40% Fe y 0.1% Cu; se caracterizó el depósito como Skarn magnésico (Calvo et al., 2012).

1.6 UBICACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El yacimiento Pampa de Pongo está ubicado en la costa sur del Perú, aproximadamente a 60 km al sur de la ciudad de Nasca y a 440 km de la ciudad de Lima. La coordenada UTM (WGS 84 - Zona 18L) del punto central es 8 300 000N - 519 000E. Políticamente está ubicada en el distrito de Bella Unión, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa (Figura 1.1).

Geográficamente se localiza en el cuadrángulo de Acarí (31-n), a una altura promedio de 410 msnm.

El área de estudio comprende tres zonas: la zona de perforaciones (1480 ha), donde se localizan los 247 sondajes diamantinos; los alrededores de la zona de Perforaciones (19 100 ha), con cartografiado geológico a escala 1/10 000; y la zona comprendida entre los yacimientos de Marcona, Mina Justa, Pampa de Pongo, Hierro Acarí y Cobre Pampa, que comprende el Distrito Minero de Marcona.

1.7 ACCESIBILIDAD

El acceso al yacimiento Pampa de Pongo se realiza vía terrestre desde la ciudad de Lima de acuerdo al siguiente itinerario:

Tabla 1.1 Vías de Acceso

Trayecto	Km	Carretera	Estado
Lima – desvío Acarí	555.3	Panamericana Sur	Asfaltada
Desvío Acarí – Bella Unión	18.6	Carretera hacia Bella Unión	Asfaltada
Bella Unión – Pampa de Pongo	23.4	Acceso al proyecto PDP	Afirmada
Total	592.0		



DATUM HORIZONTAL: WGS84, 18 L

LEYENDA	
	Capital de Provincia
	Proyectos mineros
	Límite Departamental
	Vías Asfaltadas
	Vías Afirmadas
	Área de Estudio

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica Escuela Profesional de Ingeniería Geológica	
	Mapa de Ubicación del Proyecto Pampa de Pongo	

Preparado por: M. Contreras	Fecha: Diciembre 2013	Figura 1.1
---------------------------------------	--------------------------	-------------------

1.8 FISIOGRAFÍA

El área de estudio se encuentra situada en la depresión Ica-Nazca, comprendida entre la Cordillera de la Costa y las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes. Presenta altitudes entre 320 y 420 msnm, el relieve es plano con ligera inclinación hacia el suroeste. Se observan algunas terrazas marinas, formadas por la intensa abrasión del levantamiento andino, presentando suaves ondulaciones y quebradas secas poco profundas. Hacia el este se tiene una cadena de cerros conformada por el Batolito de la Costa, destacando notoriamente sobre la superficie plana, alcanzando elevaciones entre 1000 y 1500 msnm (Figura 1.2).

Hidrográficamente el proyecto corresponde a la cuenca del Río Lomas, la cual se subdivide en tres subcuencas como son: Carrizal, Jahuay y Pongo, que vierten sus aguas hacia el Océano Pacífico, respectivamente. La subcuenca Carrizal se localiza en la parte alta de la cuenca (4000 a 1300 msnm), recibiendo descarga de cursos de agua menores. La subcuenca Jahuay se localiza en la parte baja de la cuenca, desembocando en el Océano Pacífico. El Río Lomas en este sector es conocido como la quebrada Jahuay y se localiza en el extremo NO - SO a 7 Km del yacimiento Pampa de Pongo, discurriendo agua esporádicamente entre Enero y Marzo. Es el principal acuífero de la cuenca, y provee de agua a San Juan de Marcona. La subcuenca Pongo, sin conexión con los dos primeros, tiene su nacimiento a 1500 msnm y desemboca en el Océano Pacífico, desconociéndose la presencia de agua en esta subcuenca.



Figura 1.2 Fisiografía del Proyecto Pampa del Pongo. La cadena de cerros corresponde al Batolito de la Costa. Vista al NE.

1.9 CLIMA

El área de estudio presenta un clima “desierto pre-montano”, caracterizado por un clima del tipo árido y semi cálido, con bajas precipitaciones y temperaturas medias; esta unidad ecológica abarca desde el litoral costero hasta los 1000 msnm. La humedad relativa y la temperatura media anual se encuentran alrededor de 70% y 25 °C, respectivamente.

Durante el invierno y primavera las zonas con altitudes mayores a 500 msnm, se cubre de intensa neblina, permitiendo el desarrollo de las llamadas “lomas”, favoreciendo un eventual desarrollo de vegetación.

CAPÍTULO II

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

En este capítulo se hace mención a los rasgos y características geológicas presentes en el área de estudio, enfocados desde un punto de vista regional, que de una manera directa o indirecta están relacionados con la evolución estratigráfica, magmática, estructural y con la mineralización del yacimiento Pampa de Pongo.

2.1 GEOTECTÓNICA DE LA MARGEN OCCIDENTAL DE LOS ANDES

Las características geológicas de Los Andes en el continente Sudamericano fueron determinadas por el marco tectónico de margen continental activo, con subducción de corteza oceánica bajo la placa sudamericana, instaurado posiblemente a inicios del Mesozoico. Sin embargo, el Sistema Andino ha estado dominado por una compleja historia de sedimentación, magmatismo y deformación tectónica, sobreimpuesta en un basamento Precámbrico. Esto implica que la dinámica de los Andes esté influenciada por estructuras y discontinuidades continentales heredadas (Echtler et al., 2003).

El basamento Precámbrico metamórfico estaba cubierto por rocas marinas y continentales del Neoproterozoico-Paleozoico inferior (Formaciones Chiquerio, San Juan, y Marcona). Estas rocas se metamorfizaron en mármoles y pizarras durante

la deformación Eoherciniana, posteriormente fueron cubiertos por depósitos pelíticos del Carbonífero (Grupo Ambo). Durante la fase Tardihercínica, la deformación se reactivó de manera suave y coaxial y durante el Pérmico-Triásico se desarrolló una tectónica extensional y fallamiento en bloques, seguido de una deposición de capas rojas, como una transición al Ciclo Andino (Injoque, 2002).

La evolución tectónica Mesozoica de los Andes está muy relacionada con la separación Gondwana-Laurasia a inicios del Jurásico, y la apertura del Océano Atlántico Sur (separación Sudamérica-África) a mediados del Cretácico. Según Jaillard et al. (2000) y Chen et al. (2011, 2013), esta evolución puede ser subdividido en tres etapas (Figura 2.1): el periodo Thetyan (180-155 MA), periodo del Atlántico Sur (145-130 MA), y el periodo del Pacífico (130-90 MA).

Entre el Jurásico Inferior a Jurásico Medio (180-165 MA, Thetyan Temprano) se desarrolló una actividad tectónica extensional a lo largo de una dorsal oceánica entre las placas Phoenix y Farallón, debido a este proceso la placa Phoenix subduce en dirección ESE debajo de Sudamérica, generando extenso magmatismo en los Andes a lo largo de Colombia y Ecuador (Jaillard et al., 2000). Entre Ecuador y Chile el régimen tectónico fue dominado por transtensión siniestral y extensión, formándose las cuencas volcano-sedimentarias conformadas por las Formaciones Río Grande y Chocolate en el Perú (Chen et al., 2013).

Entre los 165-155 MA (Thetyan Tardío; Figura 2.1A) se desarrollaron regímenes tectónicos locales, formándose sub-provincias metalogenéticas. El yacimiento de Marcona, formado en la cuenca extensional recién desarrollada (Chen et al., 2010); la mineralización en el distrito de Cocachacra (Rosa María, Tía María), relacionados a un contexto compresivo (Clark et al., 1990); numerosas vetas ricas en Cu y óxidos

de Fe (Tocopilla, Julia y Las Animas), constituyen la ocurrencia de mineralización, en el norte de Chile durante el Jurásico Medio y probablemente fueron controlados por fallas transformantes (Sillitoe, 2003; Chen et al., 2010).

Entre los 145-130 MA (Periodo Atlántico Sur; Figura 2.1B) se desarrolló un periodo de transición con transtensión sinistral débil, posiblemente debido a ello el magmatismo y el hidrotermalismo se desarrolló esporádicamente (Jaillard et al., 2000; Chen et al., 2010). El depósito de Cu formado durante este periodo es Mantos Blancos, en el norte de Chile (Ramírez et al., 2006).

A mediados del Cretácico la interacción de las placas alrededor de los Andes centrales se reorganizaron, coincidiendo con la separación final de las placas Sudamérica y África (Jaillard et al., 2000). El acoplamiento de las placas convergentes Phoenix y de Sudamérica, con un vector NNE, puso fin a un largo periodo de extensión ortogonal y transtensión sinistral a lo largo del litoral de Ecuador, Perú y norte de Chile, y se da inicio a un periodo de transtensión dextral (Polliand et al., 2005).

Entre los 130-120 MA (periodo Pacífico temprano) el régimen tectónico fue dominado por transtensión dextral y extensión, acompañado de intenso magmatismo, formándose las cuencas Casma-Copara (Injoque, 2002; Chen et al., 2013). Esta cuenca se produjo por la ruptura de la corteza continental a lo largo de un rift, registrándose una fase importante de extensión acompañada por subducción, a lo largo de la margen occidental de Sudamérica (Ramos y Alemán, 2000; Chen et al., 2011).

Entre los 120-90 MA (periodo Pacífico tardío; Figura 2.1C) continúa el periodo de transtensión dextral acompañado de un régimen compresivo, iniciándose el emplazamiento del Batolito de la Costa, con etapas iniciales de afinidades tholeíticas (Injoque, 2002; Chen et al., 2013). En este periodo se formaron los depósitos de Fe-Cu-Au (IOCG) Raúl Condestable, Eliana, Monterrosas, Mina Justa, y el skarn magnésico de Pampa de Pongo (Chen et al., 2011; Calvo et al., 2012).

Durante el Cretácico Superior continúa el emplazamiento del Batolito de la Costa, acompañado de movimientos dextrales, finalizando en el Paleoceno y migrando sus focos magmáticos hacia el este. Al final de este periodo se inicia los eventos de compresión de la Cordillera de los Andes (Jaillard et al., 2000).

Entre el Eoceno Inferior y el Oligoceno Superior se desarrolla un periodo importante en la evolución del conjunto andino. A finales del Paleoceno, la convergencia de la placa paleo-Pacífico pasó de NNE a NE o ENE, lo que provocó una dominante zona transformante dextral, el cual generó extensión y formación de grábenes en las cuencas de antearco durante el Eoceno Medio. Una segunda importante reorganización ocurrió en el Oligoceno Superior, como la división de Placa Paleo Pacífica en placas de Cocos y Nazca, generando en las cuencas de antearco cambio de polaridad y formación de grábenes (Jaillard et al., 2000; León et al., 2008).

A partir del Oligoceno tardío, el norte y centro del margen Andino fue controlado completamente por el movimiento O a ONO de la placa Sudamericana y el movimiento E a ENE de la Placa del paleo-Pacífico, que determinó un sistema de subducción casi normal; en el Mioceno Medio se produce el levantamiento y la renovación de la extensión en la cuenca Pisco y durante el Plioceno Superior al

Pleistoceno se produce la inversión y levantamiento de la Cuenca Pisco Oriental (Jaillard et al., 2000; León et al., 2008).

El levantamiento de los Andes durante el Pleistoceno dio origen a la formación de abanicos aluviales, distribuidos en numerosas terrazas, que reflejan el levantamiento tectónico asociado con la subducción episódica de la Dorsal de Nazca y su migración al sur, sin embargo, la presencia del Complejo Basal de la Costa, la distancia de la línea de costa a la fosa y la corteza superior juegan un rol importante, por lo menos en los movimientos verticales del Cuaternario (Macharé et al., 1986, León et al., 2008).

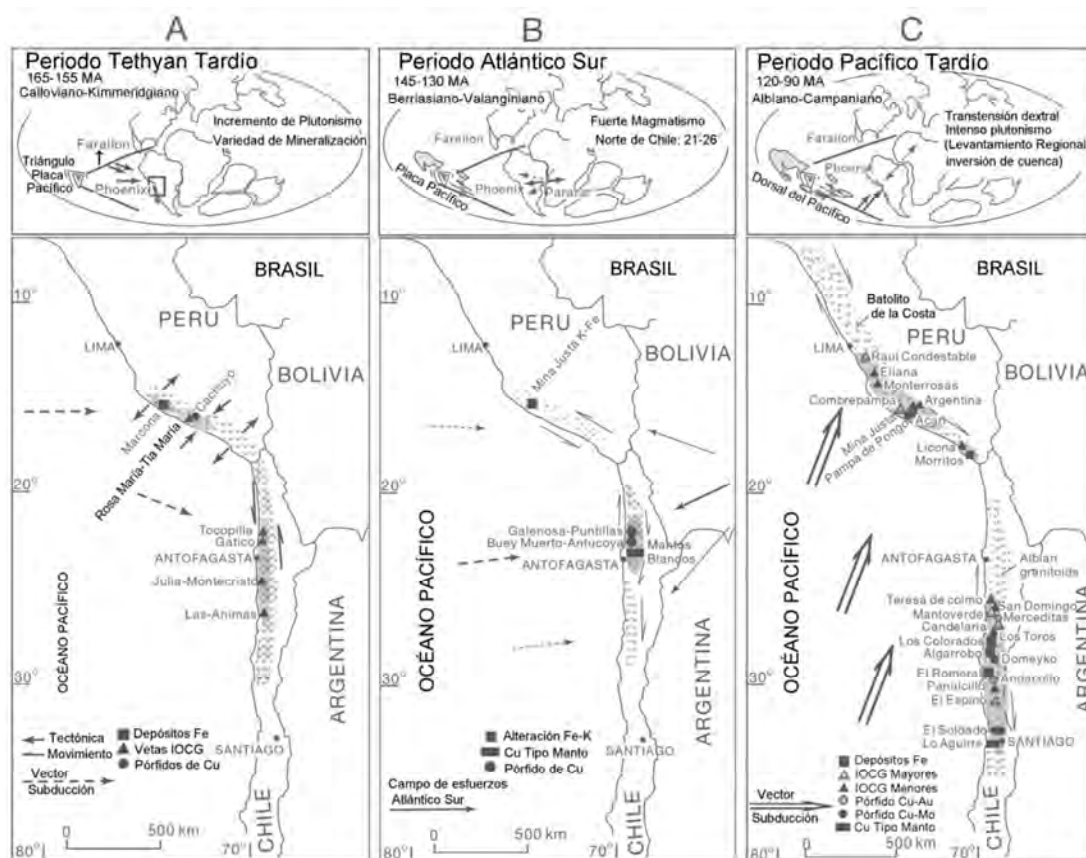


Figura 2.1 Evolución Tectomagmática de los Andes Centrales Mesozoicos según Chen et al. (2013). A) Periodo Tethyan Tardío (165-155 Ma); B) Periodo Atlántico Sur (145-130 Ma); C) Periodo Pacífico Tardío (120-90 Ma).

2.2 ESTRATIGRAFÍA

Los estudios geológicos realizados, han permitido revisar las características y edades de las unidades estratigráficas establecidas en el Boletín N° 30 publicado por el INGEMMET en 1978, que abarcan las hojas 31-m, 31-n, 32-n. La ubicación de los afloramientos de las unidades litológicas que se describen en este capítulo se detalla en la figura 2.2.

2.2.1 Precámbrico

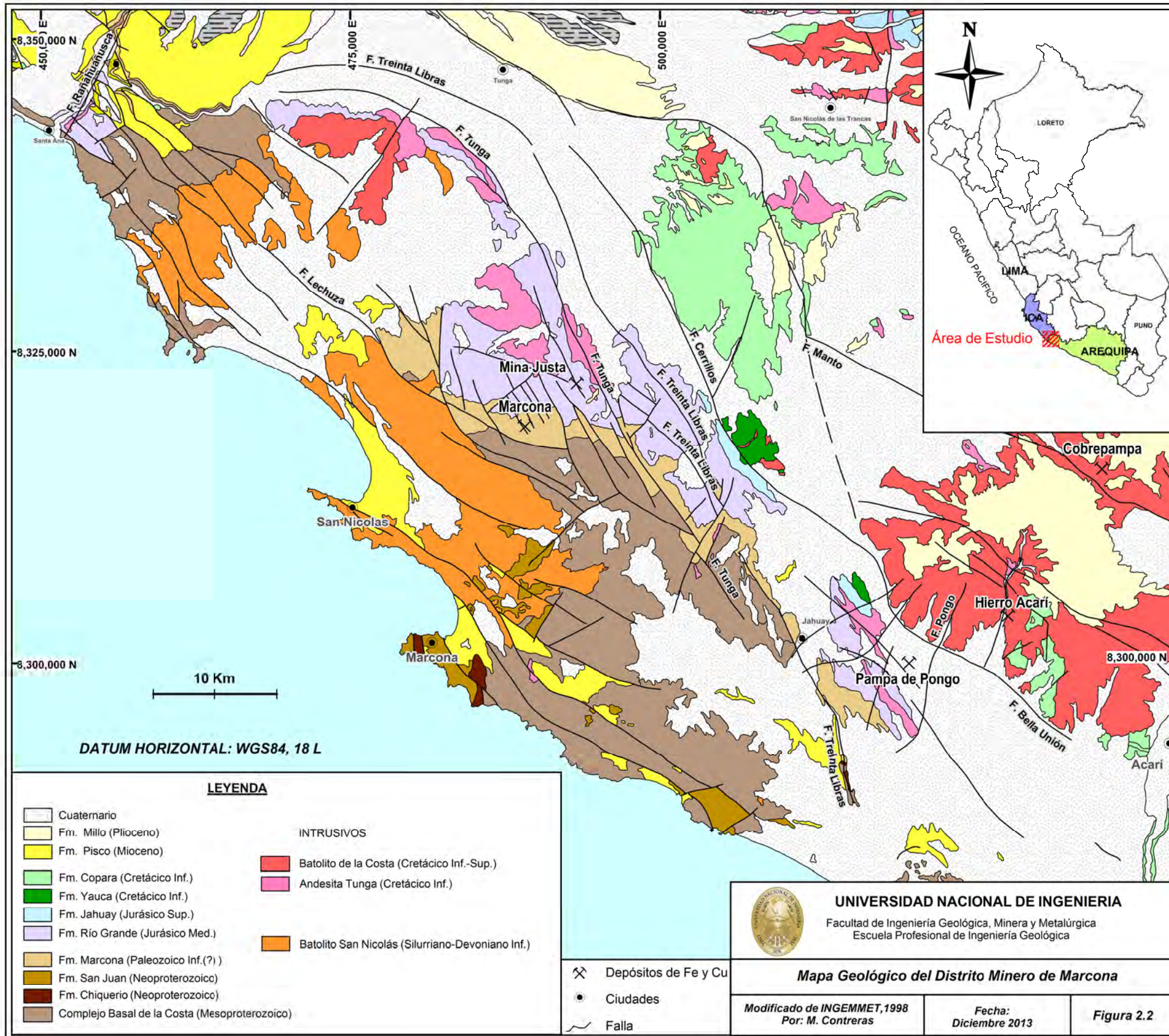
Complejo Basal de la Costa

Está conformado litológicamente por ortogneis y esquistos. La composición mineralógica de los ortogneis es predominantemente granítica variando a granodiorítica. Los gneises son cortados por diques básicos y pegmatíticos (Caldas, 1978). Los esquistos (sericíticos y cloríticos) constituyen los miembros más restringidos de las rocas metamórficas en el Complejo Basal de la Costa (Cobbing et al., 1977). Las edades del Complejo Basal de la Costa varían de 1,420 a 1,160 MA perteneciente al Mesoproterozoico (Caldas, 1978; Loewy et al., 2004).

Formación Chiquerío

En discordancia angular sobre el Complejo Basal de la Costa, la Formación Chiquerío litológicamente consiste en paraconglomerados o fangolitas guijosas laminadas, alternadas con delgadas capas de limos y areniscas. La característica principal de esta formación es que las laminaciones constituyen la matriz que engloba litoclastos de gneis graníticos de diferentes dimensiones (3 mm a 30 cm). Debido a estas características, esta formación puede clasificarse como un tilloide o diamictita. El espesor de la Formación Chiquerío se estima en 300 m (Caldas, 1978).

La Formación Chiquerío es única en el Perú por sus características litológicas y su posición estratigráfica. Se le considera como perteneciente al Neoproterozoico (Caldas, 1978; Chew et al., 2007).



Formación San Juan

En aparente contacto gradacional sobre la Formación Chiquerío, descansa una secuencia litológicamente conformada por tres miembros: El Miembro inferior Inicia con capas delgadas de esquistos calcáreos, seguidas por potentes estratos de mármoles dolomíticos, intensamente fracturado; el Miembro intermedio está conformada por esquistos intercalados con cuarcita; El Miembro superior consiste en mármoles dolomíticos. El espesor de esta Formación se estima en 1000 m. (Caldas, 1978).

La Formación San Juan al igual que la Formación Chiquerío son únicas por su naturaleza y posición. Se le considera perteneciente al Neoproterozoico (Caldas, 1978; Injoque y Romero, 1986; Chew et al., 2007).

2.2.2 Paleozoico Inferior

Formación Marcona

En discordancia angular sobre el Complejo Basal de la Costa o sobre la Formación Chiquerío, descansa una secuencia litológica que está conformado por tres miembros: El Miembro Inferior inicia con estratos potentes de conglomerados, cuyos rodados provienen de las formaciones predecesoras, seguidas por potentes bancos de caliza marmorizada; El Miembro Intermedio está conformado por capas delgadas de esquistos cloritosos y hornfels, intercaladas con cuarcitas; El Miembro Superior está conformado por potentes bancos de dolomías marmorizadas. El espesor de esta unidad litológica se estima en 1000 m.

La Formación Marcona es el principal metalotecto del distrito minero de Marcona, en esta Formación se emplazaron los cuerpos de magnetita descubiertos en la Mina Marcona y en el Proyecto Pampa de Pongo.

La Formación está intruída por el Batolito San Nicolás, considerado emplazado en el Siluriano; por lo que, la Formación Marcona tendría que ser más antigua, es decir, pre Siluriana (Caldas, 1978; Injoque, 1988; Charra, 2000).

2.2.3 Mesozoico

Entre las formaciones Marcona y Río Grande existe un hiato estratigráfico, producto de los diferentes movimientos tectónicos y ciclos de erosión.

Formación Río Grande

En discordancia erosional sobre la Formación Marcona se expone una secuencia volcano-sedimentaria que alcanza los 2000 m de potencia. Está conformada por tres miembros: El Miembro Inferior inicia con conglomerados polimícticos, continuado por calizas y calcarenitas, lutitas rojas intercaladas con lavas brechoides abigarradas de colores rosados a verdes; el Miembro Intermedio está conformada por calizas azulinas, intercaladas con estratos de calcarenitas fosilíferas de grano grueso y lavas traquiandesíticas; el Miembro Superior está conformado por lavas andesíticas, intercaladas con areniscas feldespáticas y grauvacas rojizas, en las que se observan restos de plantas y corales. Toda la secuencia descrita se encuentra cortada por sills y diques de composición andesita porfirítica (Andesitas Tunga).

Los niveles calcáreos alojan menas de hierro, observados en la mina Marcona y el proyecto Mina Justa. El miembro superior de esta Formación aloja importantes cuerpos con menas de cobre, localizados en el proyecto Mina Justa (Chen et al., 2010).

De acuerdo a los estudios de fósiles encontrados se le considera como perteneciente al Jurásico Medio (Caldas, 1978; Injoque et al., 1988).

Formación Jahuay

En aparente concordancia sobre la Formación Río Grande, la Formación Jahuay está conformada por arenisca de grano grueso con canales conglomeráticos, intercalado con caliza arenosa fosilífera; hacia el techo presenta caliza azulina con lamelibranquios y corales silicificados, intercalados con estratos de lutitas abigarradas. La potencia de la secuencia se estima en 1000 m. La secuencia en este sector se encuentra invadida por sills y diques de andesita porfírica (Andesitas Tunga).

De acuerdo a los estudios de fósiles encontrados se le considera perteneciente a los pisos Kimmeridgiana y Titoniana (Caldas, 1978; Injoque et al., 1988).

Formación Yauca

En aparente concordancia sobre la Formación Jahuay, la Formación Yauca consiste en intercalaciones de lutitas abigarradas y limolitas en capas delgadas, con delgados niveles de caliza y areniscas de grano medio de tonalidades blanco-rosadas. El espesor de la formación es estimado en 1500 m. Se halla intruido por sills de andesita porfírica (Andesitas Tunga) y el Batolito de la Costa.

De acuerdo a los estudios de fósiles encontrados, se le considera una edad perteneciente al Neocomiano (Caldas, 1978; Injoque et al., 1988).

Formación Copara

En ligera discordancia angular sobre la Formación Yauca, la Formación Copara está conformada por: conglomerados y areniscas feldespáticas, grauvacas azulinas

a verdosas, areniscas y lutitas rojas en capas delgadas; continuada por aglomerados y flujos brechosos, para finalmente terminar en un evento volcánico-intrusivo, al que se le denominó Volcánico Intrusivo Bella Unión. El espesor de la formación se estima en 1000 m.

De acuerdo a los estudios de fósiles encontrados, se le considera como perteneciente al Aptiano - Albiano (Caldas, 1978).

2.2.4 Cenozoico

En el área estudiada no se exponen unidades Paleógenas, posiblemente debido a que la región se encontraba en condiciones subaéreas. La transgresión marina del Mioceno permitió la depositación de la Formación Pisco, el cual se extendió hasta el flanco occidental de los Andes durante el Plioceno.

Formación Pisco

En discordancia erosional sobre las unidades Paleozoicas o Mesozoicas, la Formación Pisco litológicamente se compone de areniscas conglomerádicas, en bancos anchos con horizontes conchíferos triturados, continuadas por areniscas amarillas finas con capas ferruginosas, cruzadas por un sistema de venillas de yeso. Asimismo se observa capas de diatomitas blancas, intercaladas con arcillas bentoníticas, areniscas tufáceas grises, y cenizas re TRABAJADAS. El espesor de la formación se estima en 500 m.

De acuerdo a los estudios de fósiles encontrados, se le considera como perteneciente al Mioceno (Caldas, 1978).

Formación Millo (Pliocena)

En discordancia erosional sobre la Formación Pisco, la Formación Millo está conformada por conglomerados medianamente consolidados con matriz arenotufácea y cenizas retrabajadas, alternadas con areniscas grises. Estos depósitos muestran evidencias de sedimentación en ambiente litoral. El espesor de esta Formación se estima en 300 m.

De acuerdo a los estudios de fósiles encontrados, se le considera como perteneciente al Plioceno Inferior (Mendivil, 1965; Caldas, 1978).

Depósitos cuaternarios

Se puede apreciar terrazas marinas (conglomerados con matriz arenosa y lentes de arena fina), flujos de barro volcánico (tobas y cenizas limosas), depósitos aluviales y de pie de monte, por último dunas y cubiertas eólicas.

2.3 ROCAS PLUTÓNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

2.3.1 Batolito de San Nicolás

El Batolito San Nicolás, se ha emplazado en la Cordillera de la Costa, intruyendo al Complejo Basal de la Costa y a las Formaciones Chiquerío, San Juan y Marcona. Está conformada por monzogranitos y granodioritas (Caldas, 1978). Los monzogranitos ocupan la porción central de Batolito, mientras que las granodioritas se encuentran rodeando los monzogranitos.

Ries (1976), utilizando el método K-Ar obtuvo edades de 442 ± 10.4 MA a 421 ± 10.9 MA en granitos del cuadrángulo de San Juan (hoja 30-N); Charra (2000), utilizando también el método K-Ar obtuvo una edad de 408 ± 11 MA en granitos del

cuadrángulo de Ica (hoja 29-L). Por lo tanto, se considera que el emplazamiento del Batolito de San Nicolás se dio entre el Siluriano a Devoniano Inferior.

2.3.2 Intrusivos Jurásicos

En la Mina Marcona se exponen diques y sills de dacita porfirítica, asociados a los cuerpos mineralizados de magnetita, y son consideradas portadoras de las soluciones mineralizantes (Chen, 2008). Según Chen et al. (2010), la mineralización principal en la Mina Marcona se desarrolló entre el Calloviano y el Oxfordiano (Ar-Ar: 156.2 ± 2.4 MA a 161.4 ± 0.9 MA).

Por otro lado, Chara (2000), utilizando el método K-Ar obtuvo edades de 158 ± 4 MA a 164 ± 3 MA, en granitos y granodioritas del cuadrángulo de Ica (hoja 29-L), atribuidos al Batolito de San Nicolás. Al parecer entre el Calloviano y el Kimmeridgiano, se desarrolló un ciclo magmático con magmas de composición granítica a granodiorítica; esta hipótesis también fue planteada por Injoque (1985).

2.3.3 Andesitas Tunga

Conocidos también como Ocoitas. Se presentan como stocks, sills y diques de traquiandesitas porfiríticas (Caldas, 1978). Las traquiandesitas porfiríticas se caracterizan por presentar fenocristales de plagioclasas (labradorita) de bordes corroídos y en partes zonadas, con diámetros mayores a 7 mm, en matriz microporfirítica. Estos intrusivos cortan a todas las unidades litológicas Pre-Cenozoicas.

Se han practicado varias dataciones radiométricas, obteniendo edades entre 136 MA y 118 MA (Injoque, 1985; Vidal et al., 1990); por lo tanto, el emplazamiento de las andesitas Tunga se dieron desde el Valanginiano al Aptiano.

2.3.4 Batolito de la Costa

Se emplaza en el sector nororiental del área estudiada. Están conformados por dioritas, tonalitas, monzonitas e intrusivos menores de microdioritas y/o gabrodioritas. Las dioritas se localizan en el frente occidental del Batolito y son cortados por diques dacíticos, seguidos hacia el Este por tonalitas, y adentrándose a la cordillera occidental las monzonitas. Los intrusivos menores se exponen en las Estribaciones de la Cordillera Occidental y en la Depresión Ica-Nazca, como pequeños stocks y apófisis, intruyendo las Formaciones Marcona, Rio Grande, Yauca y Copara.

Las dioritas son cortadas por vetas de magnetita y actinolita (Mina Hierro Acarí) y las monzonitas son cortadas por vetas de magnetita, actinolita y sulfuros de cobre (Mina artesanal Cobre Pampa).

Se han practicado varias dataciones radiométricas. Vidal et al. (1990) y Chara (2000), utilizando el método K-Ar obtuvieron edades de 107 ± 4 MA a 113 ± 3 MA; por lo tanto, se le considera de edad Albiana a Cenomaniana.

2.4 UNIDADES MORFO ESTRUCTURALES

La región Nasca-Chala, ubicada en la Costa sur del Perú, está dividida en 4 unidades morfo estructurales: Cordillera de la Costa, llanura costera, la depresión Ica-Nasca y las estribaciones de la Cordillera Occidental (Caldas, 1978; Macharé, 1987; Fernández, 1993; Montoya et al., 1994).

2.4.1 Cordillera de la Costa

La Cordillera de la Costa es una franja alargada de dirección NO-SE, está moldeada por la actividad de la fallas NO-SE correspondientes al sistema de fallas

Treinta Libras y Lechuza (Figura 2.2). Está conformada por rocas del Complejo Basal de la Costa y las unidades pre-mesozoicas, cortadas por el Batolito de San Nicolás y cubierto por las unidades cenozoicas.

2.4.2 Llanura Costera

Se encuentran al este de la Cordillera de la Costa, tienen topografía plana a ligeramente ondulada, sus altitudes varían entre 250 y 700 msnm. Los límites occidental y oriental, están controlados por los sistemas de fallas Treinta Libras y Cerrillos-Bella Unión (Figura 2.2). En el medio de ambas fallas, existen lineamientos de dirección N-S que podrían corresponder a fallas de cizallas de un movimiento dextral, de las fallas que limitan esta morfo estructura. (Macharé, 1987; León et al., 2008).

2.4.3 Depresión de Ica-Nasca

Corresponde a una depresión estructural ubicada entre las llanuras costeras y las estribaciones de la Cordillera Occidental. La altitud promedio es aproximadamente de 450 msnm. El origen de la depresión es controlada por la actividad del sistema de fallas Treinta Libras y Cerrillos-Bella Unión. Es así, que los valles de Ica y Nasca representan una depresión tectónica importante, rellena por sedimentos gruesos de edad Plio-pleistocena (Teves, 1975).

2.4.4 Estribaciones de la Cordillera Occidental

Corresponden al borde oeste de la Cordillera Occidental, están controladas por la actividad del sistema de fallas Cerrillos-Bella Unión (Figura 2.2). La morfología ha sido moldeada por fallas de dirección NO-SE con movimiento normal que afectan al Batolito de la Costa. La actividad de estas fallas ha originado una especie de escalinatas descendientes al oeste.

2.5 METALOGENIA DEL SECTOR NASCA – CHALA

Los depósitos de Fe-Cu-Au, en la región de Nasca-Chala, están distribuidos entre la Cordillera de la Costa y las estribaciones de la Cordillera Occidental, presentan contenidos y/o estilos de mineralización propios en cada unidad. Las formas de emplazamiento, las asociaciones mineralógicas y tonelaje, así mismo la edad de mineralización, permiten diferenciar los depósitos de Fe-Cu-Au en dos franjas metalogenéticas (Carlotto et al., 2009).

2.5.1 Franja de depósitos Fe-Cu-Au (IOCG) - Skarn del Jurásico-Cretácico

Abarca las unidades morfoestructurales de la Cordillera de la Costa, Llanuras Costeras y la Depresión Ica-Nasca. En esta franja están los depósitos más grandes de Fe-Cu-Au y están compuestos por las minas Marcona (1.9Gt @ 55.4% Fe), Mina Justa (413Mt @ 0.79% Cu) y el proyecto Pampa de Pongo (3Gt @ 40 % Fe); (Calvo et al., 2012).

Las edades de mineralización determinadas en Marcona (162-159 MA; mineralización de Fe) y Mina justa (99-95 MA; mineralización de Cu), están en el rango del Jurásico Superior al Cretácico Superior (Injoque, 2002; Vidal, 1990; Chen et al., 2010); y en Pampa de Pongo la mineralización se desarrolló posterior al emplazamiento de los primeros pulsos del Batolito de la Costa.

2.5.2 Franja de depósitos Fe-Cu-Au (IOCG) del Cretácico

Se encuentra al este de la Falla Cerrillos-Bella Unión, en las estribaciones de la Cordillera Occidental, relacionadas a dioritas y monzonitas del Batolito de la Costa. Los estilos de la mineralización se presentan en vetas, y en algunos casos en mantos y cuerpos (Vidal, 1990; Injoque, 2002). Dentro de esta franja, los depósitos son diferenciados en dos grupos:

- Depósito relacionado a mineralización de Fe: Hierro Acarí (40Mt @ 66% Fe), asociado a dioritas.
- Depósito relacionado a mineralización de Cu y Fe: Cobrepampa (~5Mt @ 2-5% Cu), asociado a monzonitas.

CAPÍTULO III

ESTRATIGRAFÍA Y EMPLAZAMIENTO DE ROCAS PLUTÓNICAS Y SUBVOLCÁNICAS EN EL YACIMIENTO PAMPA DE PONGO

Las rocas presentes en el Yacimiento Pampa de Pongo, están conformadas por: rocas metamórficas del Mesoproterozoico (Complejo Basal de la Costa), diamictitas del Neoproterozoico (Formación Chiquerío), rocas calcáreas ligeramente marmorizadas del Paleozoico Inferior(?) (Formación Marcona), rocas volcano-sedimentarias del Mesozoico (Formaciones Río Grande, Jahuay, y Yauca), e intrusivos del Cretácico Inferior-Superior (Andesitas Tunga, Sills Microdioríticos, y el Batolito de la Costa). Están cubiertas por depósitos continentales y marinos del Neógeno (Formación Pisco), y depósitos fluviales, marinos y eólicos, del Cuaternario.

Entre las formaciones Marcona y Río Grande, existe un hiato estratigráfico, producto de los diferentes movimientos tectónicos y ciclos de erosión. Entre las Formaciones Yauca y Pisco también existe un hiato estratigráfico, posiblemente debido a que la región se encontraba en condiciones subaéreas.

En el presente capítulo se especifica los estudios estratigráficos y del emplazamiento de los cuerpos ígneos, en el Yacimiento Pampa de Pongo. Para ello se levantaron más de 12 columnas estratigráficas, se tomaron muestras para análisis químico y estudios petrográficos, teniendo como base el Mapa Geológico de la zona de estudio, cartografiado a escala 1/10 000 por BISA, entre los años 2011 y 2012.

Los estudios petrográficos de las muestras seleccionadas (12), fueron realizados por el Laboratorio BISA, durante el 2012. El autor de la presente investigación realizó la revisión de algunas secciones delgadas, estudiadas por el Laboratorio BISA, en el Laboratorio de Microscopía de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Ingeniería, el mes de Octubre del 2012; con la supervisión del Ing. Alberto Aranda. Para ello se utilizó un microscopio polarización marca Olympus, modelo BX50. La identificación se basó en la clasificación modal propuesta por la Subcomisión de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS).

En la elaboración de las diferentes columnas estratigráficas, cada tipo de litología se ha representado con un tipo de trama, similarmente las estructuras sedimentarias y fósiles se han representado con un tipo de símbolo, los cuales se detallan en la figura 3.1.

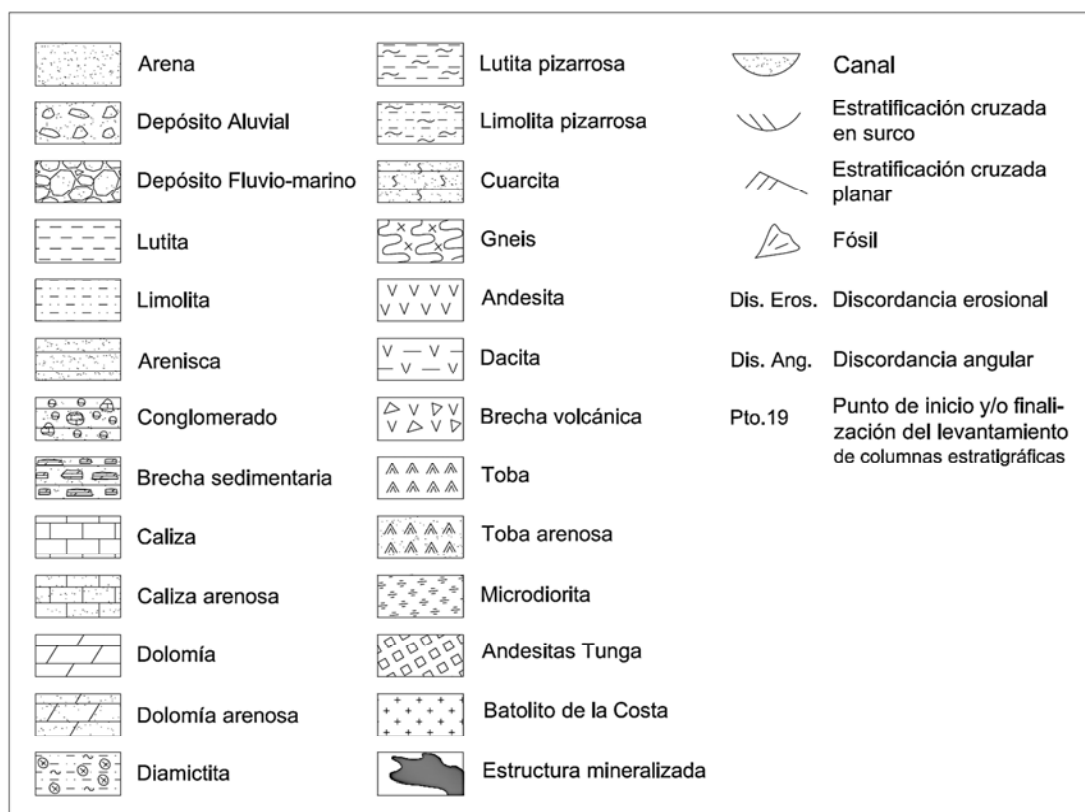


Figura 3.1 Tramas que representan los diferentes tipos de roca, y símbolos que representan estructuras sedimentarias y fósiles, usadas en la elaboración de las columnas estratigráficas.

3.1 ESTRATIGRAFÍA

3.1.1 Complejo Basal de la Costa (Mesoproterozoico)

Con este nombre se designa a las unidades de metamorfismo regional, que se exponen en la Costa Sur del Perú. En la zona de estudio sus afloramientos más conspicuos han sido observados en las inmediaciones de la quebrada Jahuay, en el extremo suroeste de la zona de estudio (Figura 3.4). En los sondeos de perforación han sido identificados algunos tramos de esta unidad, a partir de los 670 m de profundidad.

Litológicamente está constituido por gneis sienograníticos de coloración rojiza, fuertemente fracturados, cortados por diques pegmatíticos, irregulares y

discontinuos. Los estudios petrográficos realizados por el laboratorio BISA, presenta los siguientes resultados.

Muestra FG-430, proveniente de afloramiento (Figura 3.2), presenta: feldespato potásico 45%, plagioclasa 10%, cuarzo 27%, minerales opacos 4%, carbonatos 2%, biotita 2%, cloritas 1%, óxidos de hierro 1% y apatitas como trazas. Los feldespatos potásicos y las plagioclasas presentan cristales subhedrales; el cuarzo presenta bordes recristalizados, suturados, y algunos corroídos; la biotita se observa en agregados de cristales alterados por clorita y óxidos de hierro; y el apatito ocurre como inclusiones del cuarzo; las microfracturas se encuentran rellenas por cuarzo secundario, carbonatos, clorita, y minerales opacos. Presenta textura porfidoblástica y es clasificado como gneis sienogranítico. Las microfotografías de esta muestra se detallan en el Anexo 3.1.

La Muestra PT-05, proveniente de sondaje diamantino (Figura 3.3), presenta: cuarzo 42%, microclina 25%, plagioclasa 10%, minerales ferromagnesianos (anfíboles, biotita, piroxenos) 2%, sericita 8%, epidota 3%, carbonatos 2% y minerales opacos 2%. El cuarzo se evidencia como cristales anhedrales de formas irregulares; los feldespatos potásicos y las plagioclasas en cristales anhedrales, reemplazadas por escasas sericitas y arcillas; los ferromagnesianos como agregados alargados, fibrosos reemplazados por cloritas y epidotas; los carbonatos reemplazando plagioclasas; y los minerales opacos están diseminados en cristales anhedrales en toda la muestra. Presenta textura granoporfidoblástica, y es clasificado como gneis sienogranítico. Las microfotografías de esta muestra se detallan en el Anexo 3.2.

Edad.- Dataciones realizadas en muestras de gneis por Rb-Sr, dieron edades de 1424 ± 70 MA y 1307 ± 65 MA (Caldas, 1978); Por otro lado, una isocrona de roca total por Rb/Sr sobre gneis dio una edad de 1811 ± 99 MA, (Cobbing, et al., 1977). Loewy et al. (2004) realizó dataciones en clastos de gneis granítico por U-Pb obteniendo edades de 1160 - 1170 MA. Se le considera como perteneciente al Mesoproterozoico.



Figura 3.2 Muestra FG-430 proveniente de afloramiento, clasificada como gneis sienogranítico, cuyo punto de ubicación es: E513 826; N8 290 652 (WGS84, 18 L)



Figura 3.3 Muestra PT-05 proveniente del sondaje diamantino 4ZK-161, extraído a 670.5 m de profundidad, clasificada como gneis sienogranítico.

3.1.2 Formación Chiquerío (Neoproterozoico)

Con este nombre se designa a una secuencia pelítica-clástica, con metamorfismo de bajo grado, mejor expuesta entre Punta Chiquerío y alrededores de San Juan de Marcona. En la zona de estudio sus afloramientos se encuentran restringidos y están distribuidos en las inmediaciones de la quebrada Jahuay, en el extremo suroeste de la zona de estudio (Figura 3.4). En los sondeos de perforación han sido identificados algunos tramos de esta unidad, entre los 600 a 800 m de profundidad.

La serie yace en discordancia angular sobre el Complejo Basal de la Costa y en los afloramientos mejor expuestos se han levantado dos columnas; la más completa es la Columna 1 (Figura 3.5), cuya ubicación se detalla en la figura 3.4. Se estableció 250 m de la siguiente secuencia litológica:

Los primeros 5 m están conformados por conglomerados matriz soportado, conocidos como diamictitas, con bloques subangulosos a subredondeados de gneis graníticos, presentando diámetros de 3 a 10 cm, englobados en matriz limosa pizarrosa de coloración gris oscura, están dispuestos en estratos de 20 a 30 cm. Los siguientes 10 m están conformados por limolitas pizarrosas gris oscuras, en estratos delgados, con laminación paralela; intercalados con estratos de diamictitas (Figura 3.5 A y D).

Los siguientes 60 m están conformados por limolitas esquistosas gris oscuras, en estratos delgados, con laminación paralela (Figura 3.5 B), intercalados con estratos de arenisca cuarzosa de grano fino. Ocasionalmente se observa clastos subangulosos de gneis granítico, con diámetros de 1 a 2 cm, en todo esta secuencia.

Los siguientes 120 m está conformado por una secuencia aleatoria, presentando grosores variables en los diferentes estratos superpuestos. Es iniciado por fangolitas esquistosas con laminación paralela, alternadas con delgadas capas de limos y areniscas. Presentan niveles de brechas sedimentarias, conformados por clastos subangulosos de gneis granítico, con definida imbricación, englobado en lutitas limosas varvadas, similares a tillitas (Figura 3.5 C). Es continuado por diamictitas, donde los ejes mayores de los bloques son transversales a las capas y deforman con su peso la estratificación; dispuestos en estratos de 20 a 30 cm (Figura 3.5 D y E). Están intercalados con paquetes de limolitas pizarrosas gris oscuras, con escasos guijaros subangulosos.

Los últimos 50 m es iniciado por limolitas pizarrosas, superpuestas por estratos delgados de margas y calizas micríticas grises, dispuestos en estratos de 40 a 50 cm (Figura 3.5 F), seguidas por estratos delgados de calizas grises (Figura 3.5 G), finalizando la secuencia con estratos de diamictitas.

En otro afloramiento representativo de esta Formación, se ha levantado una columna estratigráfica, observándose una secuencia litológica similar a la columna 1 (Figura 3.5). El paquete de calizas presente en la parte superior de esta columna, expone la misma potencia medida en la columna 1, sin embargo, en este sector la base de esta unidad se encuentra truncada, midiendo toda esta columna sólo 130 m. Al parecer esta unidad ha sedimentado dentro de grabenes, controlados por un sistema distensivo.

En toda la secuencia estratigráfica, se ha observado pirita singenética diseminada, el cual indica ambientes anóxicos en la sedimentación de esta Formación.

El estudio petrográfico, realizado por el laboratorio BISA, a una muestra proveniente de afloramiento (G-297), cuya ubicación se detalla en la figura 3.4, presenta los siguientes resultados:

Muestra G-297, (Figura 3.5 A), presenta: cuarzo 24%, feldespato potásico 8%, plagioclasa 8%, fragmentos líticos 16%, muscovita 22%, biotita 3%, carbonatos 3%, arcillas y óxidos de hierro como trazas. El cuarzo, el feldespato potásico y la plagioclasa se presentan como clastos subangulosos; los fragmentos líticos son gneis graníticos subangulosos; la muscovita, la biotita, las arcillas y los óxidos de hierro, forman parte de la matriz y los carbonatos se encuentran alterando a los feldespatos y rellenando fracturas. Presenta textura porfidoblástica y es clasificado como esquisto de cuarzo-micas-feldespato. Las microfotografías de esta muestra se detallan en el Anexo 3.3.

En la zona de perforaciones, algunos sondajes con tramos carbonatados de esta Formación, han sido reemplazados por mineralización semimasiva de magnetita con calcita y sulfuros de hierro.

Edad.- En esta Formación no se han identificado fósiles, para asignarle una edad relativa. La Formación Chiquerío es única en el Perú por sus características litológicas y su posición estratigráfica. Se le considera como perteneciente al Neoproterozoico (Caldas, 1978; Chew et al., 2007).

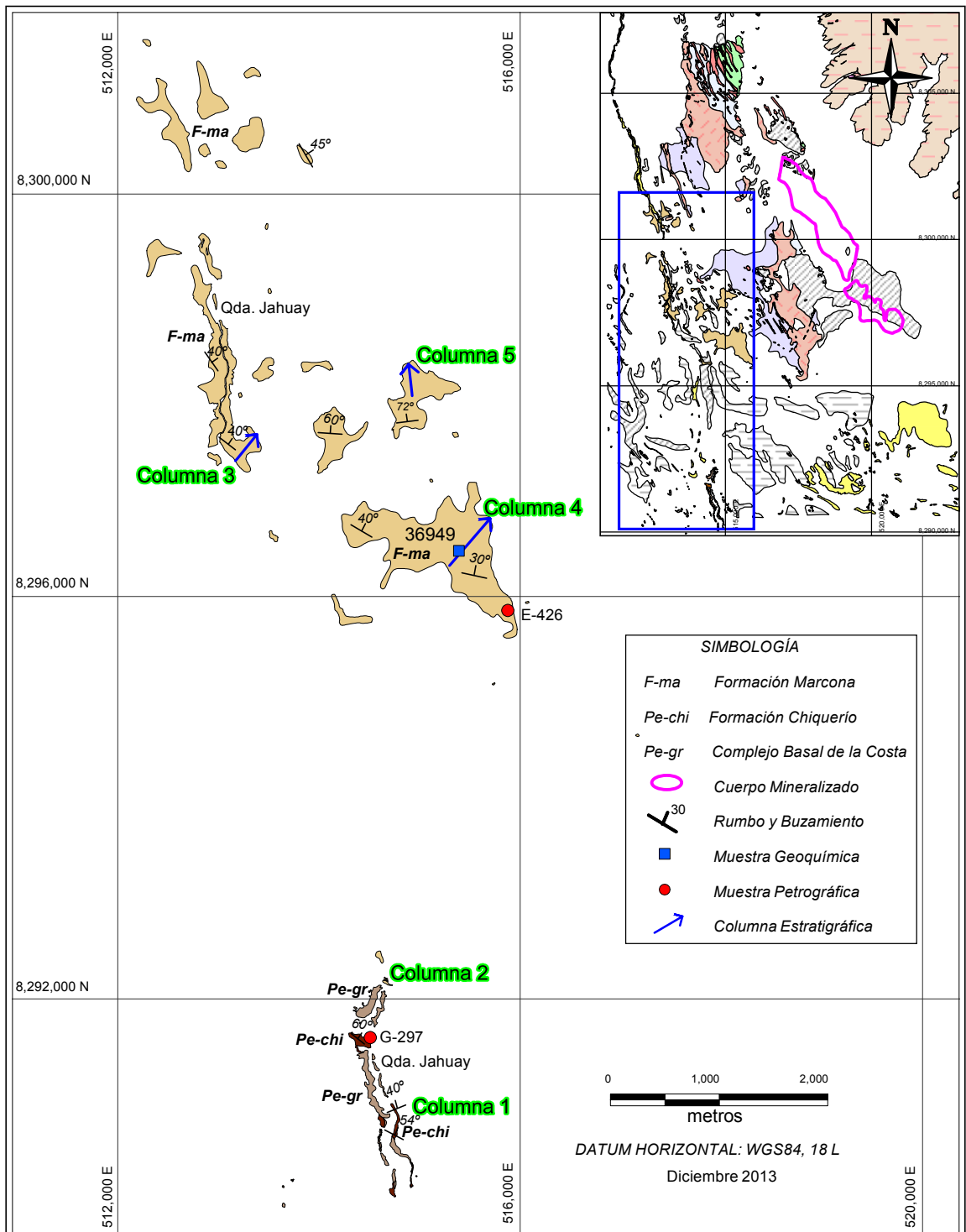


Figura 3.4 Mapa geológico del extremo suroeste del Proyecto Pampa de Pongo (Remarcado de azul en la margen superior derecha), detalla la distribución de las siguientes unidades litológicas: Complejo Basal de la Costa, Formación Chiquerío y Formación Marcona. Preparado por M. Contreras.

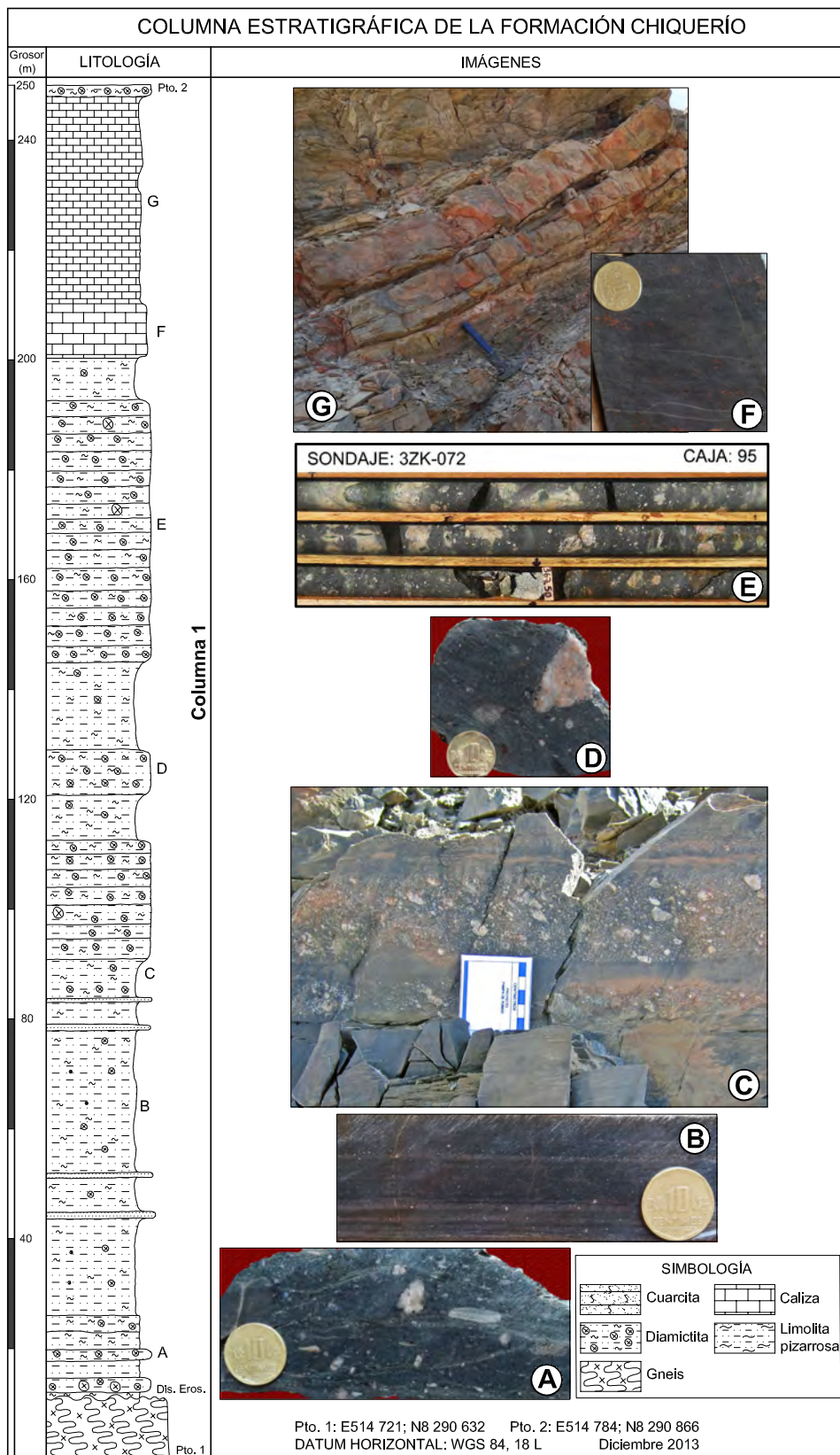


Figura 3.5 Columna Estratigráfica de la Formación Chiquerío. La descripción de la figura se detalla en el texto. Preparado por M. Contreras.

3.1.3 Formación Marcona (Paleozoico Inferior(?))

Con este nombre se designa a una secuencia carbonatada-clástica marmorizada, expuesta entre la Mina Marcona y Pampa de Pongo. En la zona de estudio sus afloramientos más conspicuos se encuentran en el extremo suroeste a oeste de la zona de estudio, cubiertos en gran parte por depósitos cenozoicos (Figura 3.4). En la zona de perforaciones esta Formación se encuentra entre los 250 a 600 m de profundidad.

La serie yace en discordancia erosional sobre la Formación Chiquerío y en los afloramientos mejor expuestos se han levantado 4 columnas (Columna 2, Columna 3, Columna 4 y Columna 5 – Figura 3.6), cuyas ubicaciones se detallan en la figura 3.4. Se han reconocido tres secuencias características, estableciéndose en total 673 m de la siguiente secuencia litológica:

Miembro Inferior.- Los primeros 80 m (Figura 3.6 - Columna 2) están conformados por bancos de conglomerados, dispuestos en estratos de 6 a 8 m; presentan rodados de mármoles dolomíticos, diamictitas y calizas grises, provenientes de la Formaciones San Juan y Chiquerío, con diámetros de 5 a 20 cm, englobados en matriz calcárea arenosa (Figura 3.6 A y B). Están alternados con paquetes de cuarcita, dispuestos en estratos de 20 a 30 cm. La secuencia que continua sobre estos conglomerados se encuentran cubiertos por depósitos Cenozoicos. Sin embargo, realizando las correlaciones de los sondajes 2ZK-001, 2JMP-067, 2JMP-072 y 2JMP-006 (Figura 4.4 - Sección 1-A'), podemos interpretar que sobre los conglomerados basales se dispone una secuencia calcaria dolomítica, con una potencia aproximada de 100 m, actualmente reemplazado parcialmente por cuerpos masivos y semimasivos de magnetita-serpentina-calcita (Figura 3.6 C).

Miembro Intermedio.- Conformado por una secuencia clástica de 125 m (Figura 3.6 - Columna 3). Inicia la secuencia con lutitas rojizas pizarrosas, dispuestos en estratos delgados con laminación paralela (Figura 3.6 D), alternadas con estratos delgados de cuarcita rojiza de grano fino (Figura 3.6 E); es continuado por bancos de cuarcita rojiza de grano medio a grueso, dispuestos en estratos de 20 a 30 cm (Figura 3.6 F), alternados por bancos de lutitas y limolitas rojizas pizarrosas. Sobre estas se deposita una secuencia de brechas calcáreas, cuya estratificación tiene grosores de 50 a 100 cm (Figura 3.6 G); los bloques de las brechas están conformados por dolomías marmorizadas, subangulosas y algunas tabulares, con diámetros de 5 a 20 cm, englobados en matriz calcárea arenosa (Figura 3.6 H). Se encuentran alternados con estratos de cuarcita, con laminación cruzada, dispuestos en estratos de 50 a 60 cm (Figura 3.6 I).

Miembro Superior.- Conformado por una secuencia dolomítica de 285 m (Figura 3.6 - Columna 3, 4 y 5). Inicia la secuencia con bancos de dolomía marmorizada, de coloración beige, cuya estratificación presenta grosores de 3 a 4 m; se encuentra intercalado por bancos de dolomía arenosa, dispuesto en estratos de 1 a 2 m. Hacia la parte superior de la secuencia, los estratos son potentes llegando a medir más de 8 m (Figura 3.6 K). Toda la secuencia dolomítica presenta microfracturas multidireccionales rellenas por hematita y cuarzo (Figura 3.6 L). Correlacionando los sondajes 2ZK-001, 2JMP-067, 2JMP-072 y 2JMP-006 (Figura 4.4 – Sección 1-A'), podemos interpretar que este miembro tiene una potencia de 350 m aproximadamente.

El estudio petrográfico, realizado por el laboratorio BISA, a una muestra de dolomía

marmorizada proveniente de afloramiento (E-426), cuya ubicación se detalla en la figura 3.4, presenta los siguientes resultados:

Muestra E-426, (Figura 3.6 L), presenta: carbonatos primarios 87%, Carbonatos secundarios 3%, cuarzo 4%, óxidos de hierro 2% y minerales opacos como trazas. Los carbonatos se aprecian como agregados granulares con tamaños menores a 0.2 mm, el cuarzo se encuentra como cristales anhedrales relleno de cavidades y fracturas, acompañadas de carbonatos secundarios, óxidos de hierro y minerales opacos. Presenta textura esparítica y es clasificado como roca carbonatada (caliza(?)) esparítica. Las microfotografías de esta muestra se detallan en el Anexo 3.4.

Los resultados del análisis químico, ensayado a una muestra de dolomía proveniente de afloramiento (Muestra 36949), cuya ubicación se detalla en la figura 3.4, son los siguientes:

Tabla 3.1 Resultado de Análisis Químico en muestra de dolomía

Método	ICP 35 Elementos - Digestión en Agua Regia					
Elemento	Al	Ca	Fe	Mg	Na	S
	%	%	%	%	%	%
Muestra-36949	0.03	18.8	0.38	12.45	0.03	0.06

El porcentaje de Mg y Ca presente en la muestra (12.45% y 18.8% respectivamente), indica la presencia de un moderado porcentaje de dolomitas, aproximadamente 70%; previamente descontando el contenido de Mg y Ca proveniente de impurezas (la dolomita pura contiene 13.18% de Mg y 21.73% de Ca).

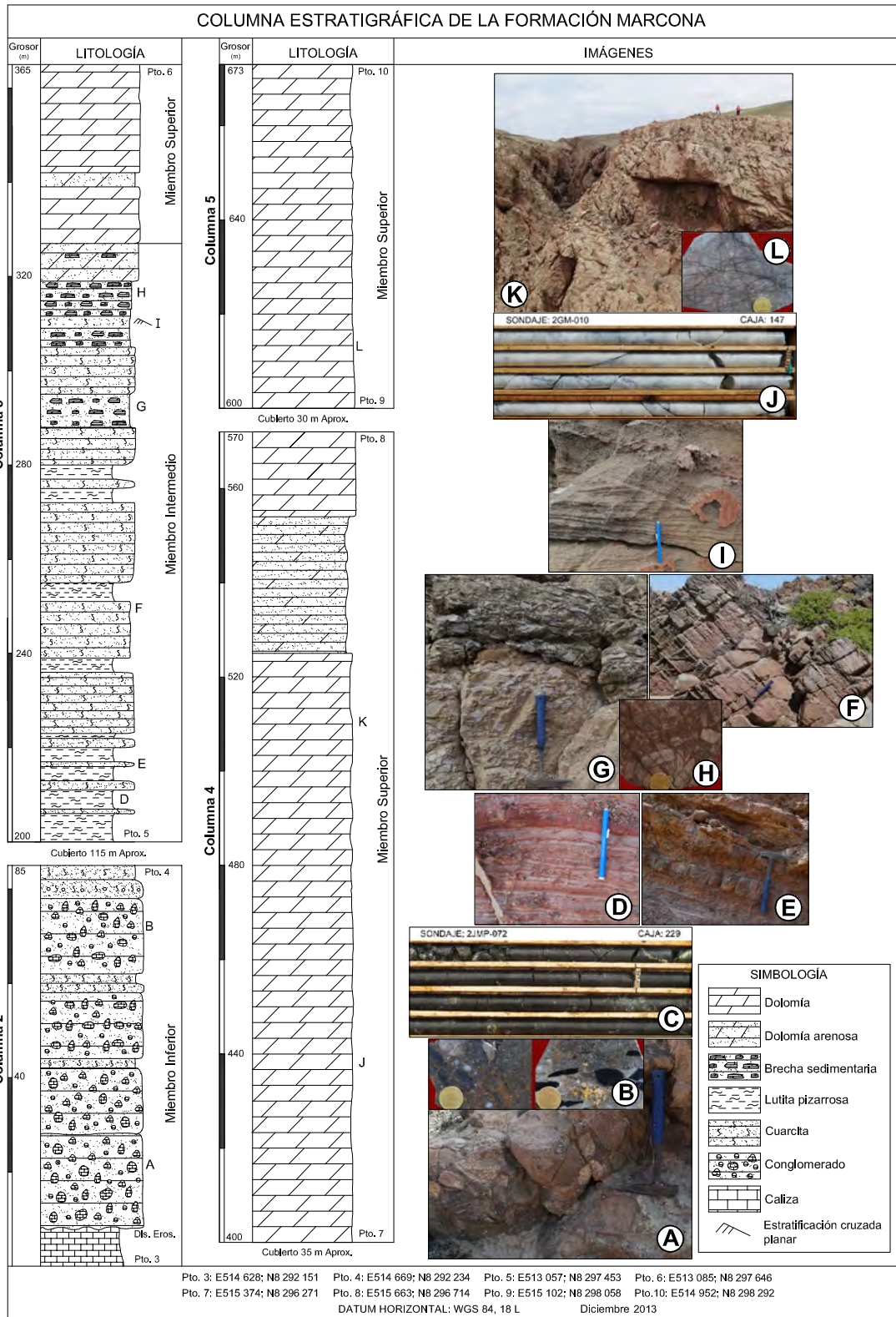


Figura 3.6 Columna Estratigráfica de la Formación Marcona. La descripción de la figura se detalla en el texto. Preparado por M. Contreras.

En la zona de perforaciones, esta Formación constituye el principal metalotecto, observándose en los sondajes reemplazamiento parcial de mineralización masiva y semimasiva de magnetita con serpentina-calcita-sulfuros de hierro, a partir de los 250 a 600 m de profundidad; los tramos estériles se encuentran marmorizados. Los afloramientos de esta Formación se ubican a 4 km al oeste de la zona de perforaciones, en estas no se han observado indicios importantes de mineralización. En las cuarcitas se han observado vetillas irregulares y discontinuas de cuarzo y hematita, rellenando fracturas, con valores muy pobres de Au, Cu y otros elementos valiosos. Las dolomías se encuentran ligeramente marmorizadas con microfracturas rellenas por cuarzo, hematita y carbonatos secundarios, presentan valores muy pobres de elementos metálicos valiosos.

Edad.- En esta Formación no se han identificado fósiles, para asignarle una edad relativa. Atchley (1956) y Hudson (1974) le atribuyeron la Edad Carbonífera para esta Formación; posteriormente, Caldas (1987) la atribuyó al Paleozoico Inferior (pre-Siluriano) debido a que se encuentra intruida por el Batolito de San Nicolás, en las proximidades de la Mina Marcona (Silúrico-Devónico Inferior). Estudios geoquímicos de rocas ígneas, en dioritas atribuidas al Batolito de San Nicolás que intruyen a la Formación Marcona, presentan similares resultados a rocas provenientes del Batolito de la Costa (Contreras y Risco en preparación). Nuevas dataciones en afloramientos atribuidos a este Batolito indican edades Jurásico-Cretácico (Chara, 2000). Para asignar una edad determinante a esta Formación, se tendría que realizar estudios geoquímicos o dataciones en granitos o grandioritas, característicos del Batolito San Nicolas, que intruyan a las dolomías de la Formación Marcona.

3.1.4 Formación Río Grande (Jurásico Medio)

Con este nombre se designa a la secuencia vocánico-sedimentaria, expuesta entre la faja costanera del departamento de Ica y que se prolonga hasta los alrededores de Ocoña. En la zona de estudio sus afloramientos más conspicuos se encuentran en el extremo oeste de la zona de estudio, cubiertos en gran parte por depósitos Eólicos (Figura 3.7). En la zona de perforaciones esta Formación se encuentra entre los 200 a 300 m de profundidad.

No se ha observado el límite inferior de la formación en los afloramientos, por encontrarse cubierto, sin embargo, en la zona de perforaciones se ha observado discordancia erosional sobre la Formación Marcona. La columna estratigráfica preparada para esta Formación, denominada Columna 6 (Figura 3.8), se realizó utilizando el método de secciones, cartografiando el tramo de la línea de sección a escala 1/5 000; su ubicación se detalla en la figura 3.7. Se ha establecido en total 590 m de la siguiente secuencia litológica:

Los primeros 300 m está conformado por la siguiente secuencia: inicia la secuencia con brechas volcánicas de coloración verdusca a violácea, en paquetes irregulares y moderadamente gruesos, los clastos de estas brechas son andesitas porfíricas rojizas, subangulosas, con diámetros de 2 a 10 cm y esporádicos bloques con diámetros mayores a 20 cm; englobados en matriz fina, conformada por sílice opalina, clorita, epidota, sericita y calcita en vetillas milimétricas (Figura 3.8 A y B). Se han observado delgados niveles de igmimbrita verdusca con clastos de forma amigdaloides. Son alternados por dos paquetes gruesos de dacita a riódacita porfírica de coloración rojiza, presentan fenocristales de plagioclasa y cuarzo con diámetros de 1 a 2 mm, con bordes redondeados y alineados según la estructura de

flujo (Figura 3.8 C).

Los siguientes 160 m está conformado por: brechas volcánicas rojizas a violáceas, en paquetes irregulares y moderadamente gruesos, los clastos de estas brechas son andesita porfirítica y dacita porfirítica rojiza, con diámetros de 5 a 10 cm; englobados en matriz fina, conformada por sílice opalina, óxidos de hierro, clorita, epidota, calcita y cuarzo en vetillas milimétricas (Figura 3.8 D). Continúa las dacitas porfiríticas rojizas, con similares características a los ubicados en la secuencia inferior. Se superpone un paquete grueso de andesita porfirítica gris rojiza, presentan fenos de plagioclasa con diámetros de 1 a 2 mm, con bordes redondeados en matriz ligeramente cloritizada y oxidada (Figura 3.8 F). Es alternada por un paquete grueso de brechas volcánicas rojizas.

Los últimos 110 m está conformada por una secuencia clástica mayoritariamente. Es iniciada por gravacas rojizas, dispuestos en estratos de 20 a 30 cm, presenta granulometría subangulosa a subredondeada y se ha observado algunos niveles granodecrecientes (Figura 3.8 H). Es intercalado por estratos de caliza azulina fosilífera, dispuesto en capas de 30 a 40 cm (Figura 3.8 E).

Toda la secuencia descrita se encuentra cortada por sills de andesita porfirítica (Andesitas Tunga) y diques andesíticos.

Estudios petrográficos realizados por el laboratorio BISA, a tres muestras proveniente de afloramiento (brecha volcánica verdusca M-48, riocita porfirítica E-141 y andesita porfirítica E-146), cuyas ubicaciones se detallan en la figura 3.7, presenta los siguientes resultados:

Muestra M-48 (Figura 3.8 A), presenta: fragmentos de roca volcánica 18%, vidrio volcánico 25%, plagioclasa 18%, feldespato potásico 12%, sericita 8%, arcillas 6%, carbonatos 4%, minerales opacos 2%, óxidos de hierro 2%, cloritas 1%. Los fragmentos de roca volcánica están constituidos por andesitas con matriz ligeramente cloritizada y oxidada; el vidrio volcánico constituye la matriz, está parcialmente desvitrificada a feldespato potásico, sericita, clorita, carbonatos y arcilla; la plagioclasa se encuentra como cristales y fragmentos maclados, algunos alterándose a carbonatos y cloritas; los minerales opacos se hallan diseminados y rellenando vetillas; el feldespato potásico se encuentran con formas esferulíticas; los óxidos de hierro se encuentran en los bordes de los fragmentos e impregnado a carbonatos. Es clasificado como brecha volcánica hialoclastítica. Las microfotografías de esta muestra se detallan en el Anexo 3.5.

Muestra E-141 (Figura 3.8 C), presenta: cuarzo 30%, plagioclasas 23%, feldespato potásico 20%, vidrio volcánico 12%, minerales opacos 5%, carbonatos 4%, arcillas 2%, sericita 1%, apatito y óxidos de hierro como trazas. El cuarzo se presenta como fenocristales anhedrales con bordes ligeramente corroídos; la plagioclasa se presenta como cristales subhedrales, alterados por carbonatos y sericita; el feldespato potásico se presenta como cristales anhedrales, agregados radiales y esferulíticos por desvitrificación de la matriz, están alterados por arcillas; el vidrio volcánico forma parte de la matriz, está parcialmente desvitrificado a feldespato y arcillas; los minerales opacos se presentan en cristales anhedrales diseminados en la matriz; los óxidos de hierro se encuentran rellenando microfracturas e impregnan a los carbonatos. Presenta textura porfírica con matriz micropoiquilítica y es clasificado como riodacita. Las microfotografías de esta muestra se detallan en el Anexo 3.6.

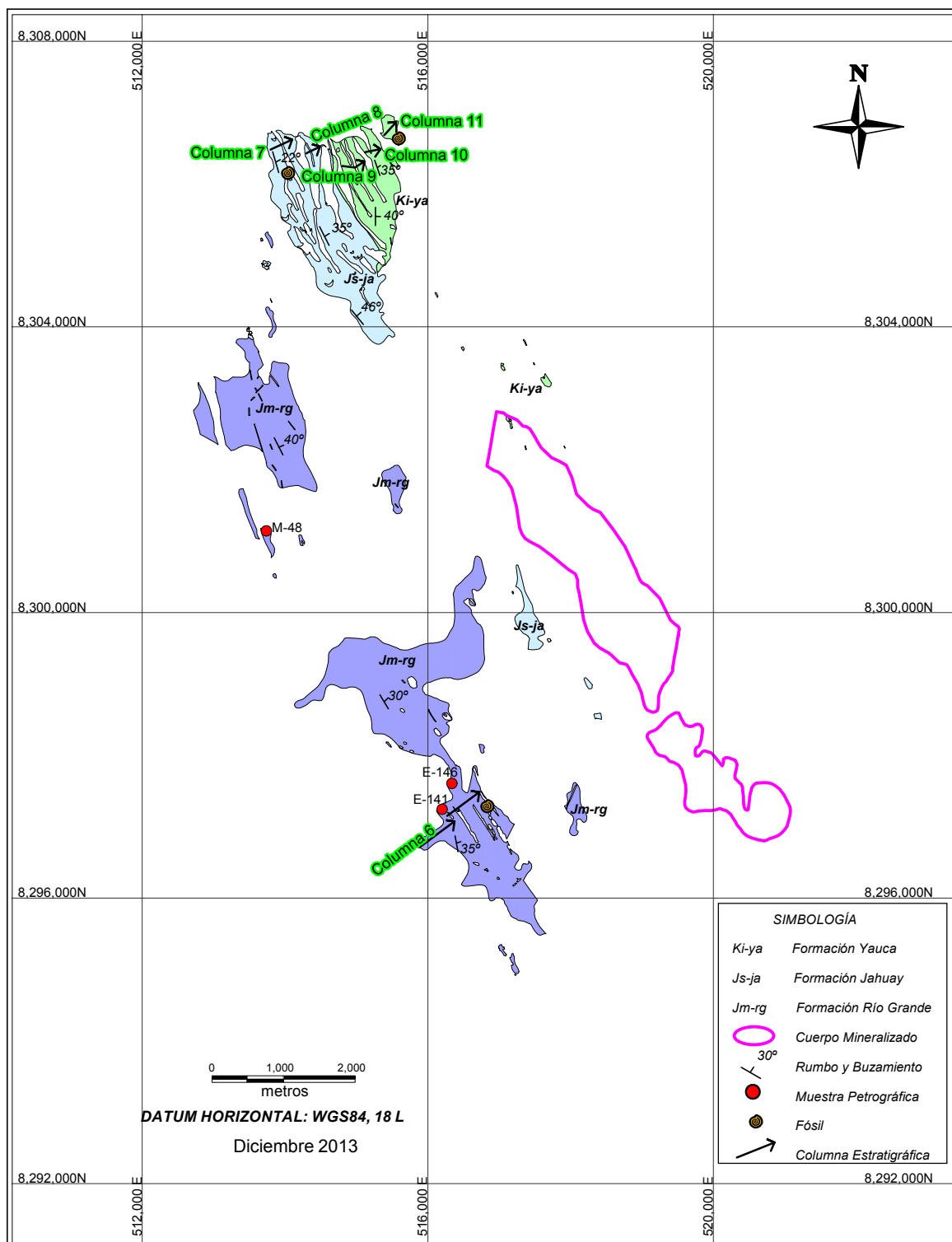


Figura 3.7 Mapa geológico del Proyecto Pampa de Pongo, detalla la distribución de las siguientes Formaciones: Río Grande, Jahuay y Yauca. Preparado por M. Contreras.

Muestra E-146 (Figura 3.8 F), presenta: plagioclasa 70%, cloritas 7%, minerales opacos 5%, óxidos de hierro 4%, carbonatos 3%, vidrio volcánico 3%, arcillas 3%, sericita como trazas. La plagioclasas se presenta en cristales subhedrales, con bordes corroídos y microfracturas rellenas por óxidos de hierro, cloritas y carbonatos; los minerales opacos se encuentran diseminados en la matriz; el vidrio volcánico forma parte de la matriz; las arcillas y las sericitas se encuentran alterando a las plagioclasas y en la matriz. Presenta textura porfírica y es clasificado como andesita. Las microfotografías de esta muestra se detallan en el Anexo 3.7.

En el sector Norte de la zona mineralizada, se han observado, en la secuencia inferior de esta Formación, tramos de mineralización en brechas hidrotermales, continuado hacia el techo por mineralización vetiforme (denominada Zona de Brechas y Vetas, Figura 4.4 – Sección 1-A'). Las brechas son muy irregulares, presentando fragmentos milimétricos hasta bloques métricos, con poco desplazamiento; cementados por serpentina, magnetita, dolomita y diseminaciones de pirita. Las vetas son multidireccionales, tienen potencias de hasta 10 m y la mineralización es similar al cemento de las brechas hidrotermales.

Los afloramientos de esta Formación se ubican a 2.5 km al oeste de la zona de perforaciones, en estas no se han observado indicios importantes de mineralización.

Edad.- En las calizas de esta Formación, se ha colectado un fósil cuya ubicación se detalla en la figura 3.7. Según los estudios del Bach. Elvis Sánchez, el fósil es *Trigonia* cf *T. costata* SOWERBY y tiene un rango de edad perteneciente al Jurásico Medio (Figura 3.8 J). El estudio de este fósil se detalla en el Anexo 1.1.

Según los estudios de fósiles realizados por Caldas (1978) e Injoque et al. (1988), se le considera a esta Formación como perteneciente al Jurásico Medio. Por las inmediaciones de Chala (Arequipa), Se han realizado Dataciones utilizando el método K/Ar, en andesitas de esta Formación, obteniendo edades de 177 a 164 MA (Romeuf et al., 1993), el cual coincide con el Jurásico Medio.

3.1.5 Formación Jahuay (Kinmeridiano - Titoniano)

Con este nombre se designa a la secuencia clástica calcárea, expuesta entre Pampa de Pongo y las proximidades de Mina Justa. En la zona de estudio sus afloramientos más conspicuos se encuentran en el extremo norte de la zona de estudio, cubiertos en gran parte por depósitos Eólicos (Figura 3.7). En la zona de perforaciones ha sido muy difícil establecer el piso y el techo de esta Formación, debido a las intrusiones subvolcánicas.

La serie yace en discordancia erosional sobre las grauvacas de la Formación Río Grande y en los afloramientos mejor expuestos se han levantado dos columnas denominadas Columna 7 y Columna 8 (Figura 3.9), cuyas ubicaciones se detallan en la figura 3.7. Se han medido en total 170 m de la secuencia litológica para esta Formación, sin embargo, realizando correlaciones en la zona de perforaciones se ha estimado aproximadamente 300 m.

Los primeros 75 m (Figura 3.9 - Columna 7) están conformados por la siguiente secuencia: inicia con calizas azulinas (Mudstone según Dunhan, 1962) dispuestas en estratos de 40 a 50 cm, es continuado por una intercalación de lutitas rojizas, margas gris oscuras y calizas azulinas. Las lutitas y las margas se disponen en estratos delgados con laminación paralela, las calizas tienen espesores de 30 a 40 cm y contienen nódulos arenosos. Es superpuesto por arenisca cuarzosa de grano

grueso a medio, subredondeada, granocreciente, con matriz calcárea y dispuesto en estratos de 50 a 70 cm; es alternado por estratos con canales conglomeráticos. Los canales conglomeráticos están conformados por rodados aplanados de volcánicos rojizos, grauvacas rojizas, granitos y cuarzo, con diámetros de 2 a 5 cm, englobados en matriz calcárea arenosa, presentando: imbricación y estratificación cruzada de surco (Figura 3.9 A y B). Están distribuidos a lo largo del estrato y sus secciones transversales tienen las siguientes dimensiones: ancho 3 a 6 m, altura 20 a 70 cm. Hacia el techo de la secuencia, se incrementa el contenido de carbonatos en la matriz de las areniscas observándose en estas una diversidad de fósiles (Figura 3.9 C); presentan intercalaciones de calizas delgadas y estratos con canales cuyos clastos son arenisca de grano grueso.

Los últimos 95 m (Figura 3.9 - Columna 8) está conformada por la siguiente secuencia: inicia con limolitas pardas a verdosas con matriz calcárea, dispuestos en estratos delgados y con laminación paralela; es continuado por calizas grises fosilíferas (Mudstone), dispuestas en estratos de 40 a 50 cm, concluyendo con un estrato de caliza arenosa el cual contiene canales conglomeráticos similares a los descrito en la secuencia inferior (Figura 3.9 D). Es superpuesta por areniscas pardas de grano medio a fino, subangulosas, con matriz calcárea, dispuesto en estratos delgados con laminación paralela; continua una zona intruida por varios sills microdioríticos. Entre los sills se observó calizas grises (Mudstone), dispuestas en estratos de 30 a 40 cm, presentado canales de arena gruesa con estratificación cruzada de surco. Sobre los sills se encuentran calizas arenosas rojizas seguidas por lutitas rojizas, margas grises, intercaladas con calizas azulinas. La caliza arenosa presenta granos de cuarzo de granulometría media y subangulosas, están dispuestos en estratos de 50 a 60 cm, observándose en algunos estratos

laminación cruzada (Figura 3.9 F); las lutitas, margas y calizas se disponen en estratos delgados con laminación paralela. Es superpuesta por calizas arenosas dispuestos en estratos de 40 a 60 cm, presentando canales conglomeráticos en algunos niveles, y hacia el techo se disponen calizas azulinas fosilíferas (Figura 3.9 G).

La naturaleza conglomerática de esta Formación muestra oscilaciones del mar Titoniano y proximidad de la línea de playa.

Toda la secuencia descrita se encuentra invadida por sills de andesita porfírica (Andesitas Tunga) y sills microdiorítico; estos han afectado a las secuencias calcáreas, recristalizando y marmorizando ligeramente en las zonas de contacto, sin embargo, no se han observado indicios importantes de mineralización. La disposición de los estratos fueron afectados ligeramente por las intrusiones subvolcánicas, de tal manera que el azimut y buzamiento es casi constante en toda la Formación y muestra una concordancia con los similares de la Formación Río Grande (Figura 3.7).

Con la finalidad de determinar las direcciones de las paleocorrientes, se ha medido la dirección de buzamiento y buzamiento de la disposición imbricada de los rodados aplanados, localizados en los canales conglomeráticos. Se realizaron las mediciones en 6 puntos diferentes, localizados a lo largo de la columna estratigráfica, llegándose a medir 43 datos. En cada punto se registró las coordenadas, el azimut y buzamiento de los estratos, la dirección de buzamiento y buzamiento de los rodados imbricados; el registro se detalla en el Anexo 2.1.

Posteriormente se realizaron las correcciones del buzamiento de los rodados imbricados, teniendo en cuenta el principio de horizontalidad inicial de deposición de sedimentos.

La dirección de buzamiento promedio de los estratos es azimut 80° , con buzamientos que varían de 20° a 40° . Para determinar el buzamiento de los rodados imbricados durante la sedimentación, se tendría que rotar imaginariamente los estratos, el valor de su ángulo de buzamiento en dirección opuesta a su dirección de buzamiento, para que el estrato imaginariamente se disponga horizontalmente. En nuestro caso se tendría que rotar hacia el azimut 260° , el ángulo de buzamiento del estrato, como se detalla en la figura 3.10 A y B. Para determinar las correcciones del buzamiento de los rodados imbricados, se sumó el ángulo de buzamiento del estrato al buzamiento de los rodados imbricados (esta suma representa el giro imaginario del estrato hasta una posición horizontal), así se obtuvo aproximadamente el buzamiento de imbricación generado por las paleocorrientes.

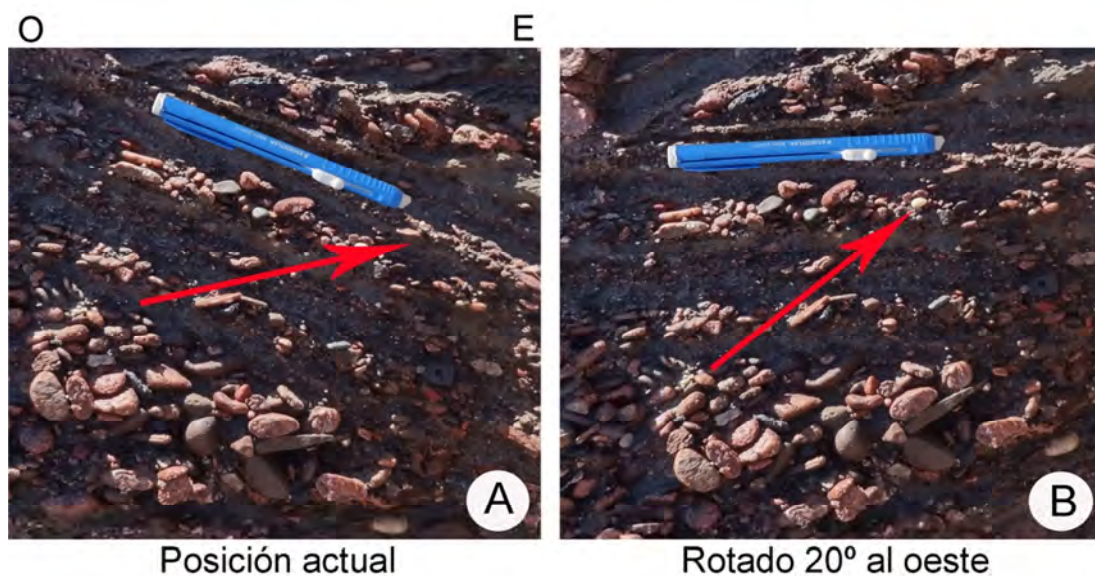


Figura 3.10 A) Disposición de la imbricación de los rodados aplanados en la actualidad, donde el estrato buza 20° al este. B) Disposición de los rodados aplanados imbricados, al rotar el estrato 20° en dirección opuesta a la dirección de buzamiento, disponiéndose horizontalmente, se aprecia claramente la imbricación y el buzamiento al oeste de los rodados aplanados.

Los 43 datos de dirección de buzamiento y buzamiento corregido de los rodados aplanados imbricados, se insertaron en el diagrama roseta. Los resultados muestran que la dirección predominante de imbricación es hacia el azimut 262° (Figura 3.11). Este resultado indica que la dirección de aporte durante la deposición de los conglomerados de esta Formación es de $S82^\circ O$ a $N82^\circ E$ (aproximadamente de oeste a este).

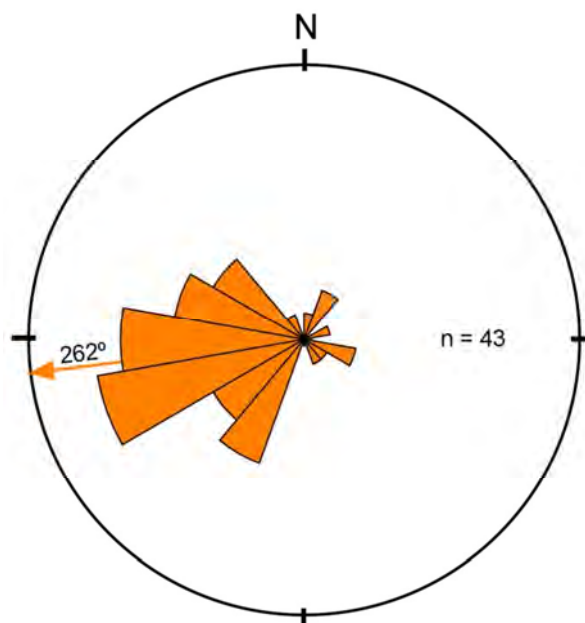


Figura 3.11 Diagrama Roseta en el cual se insertaron los 43 datos de dirección de buzamiento y buzamiento corregido de la imbricación de rodados aplanados, el cual indica que la dirección de imbricación predominante es hacia el azimut 262°.

Edad.- En las calcarenitas de esta Formación, se ha colectado tres fósiles, cuya ubicación se detalla en la figura 3.4. Según los estudios del Bach. Elvis Sánchez, los fósiles son *Leptosphinctes* sp. y tiene un rango de edad entre el Bajociano y Titoniano (Figura 3.9 C). El estudio de estos fósiles de detallan en el Anexo 1.2. Según los estudios de fósiles realizados por Caldas (1978) e Injoke et al. (1988), se le considera a esta Formación como perteneciente al Kinmeridiano y Titoniano.

3.1.6 Formación Yauca (Neocomiano)

Con este nombre se designa a la secuencia clástica, expuesta entre Yauca y las proximidades de Mina Justa. En la zona de estudio sus afloramientos más conspicuos se encuentran en el extremo norte de la zona de estudio, cubiertos en gran parte por depósitos Eólicos (Figura 3.7). En la zona de perforaciones esta Formación se encuentra entre los 30 a 250 m de profundidad.

No se ha observado el límite inferior de la formación en los afloramientos, por encontrarse cubierta, sin embargo, en la zona de perforaciones se ha observado discordancia erosional sobre la Formación Jahuay. En los afloramientos mejor expuestos se han levantado nueve columnas, los cuales se han agrupado en tres (Columna 9, Columna 10 y Columna 11 – Figura 3.12), cuyas ubicaciones se detallan en la figura 3.7. Se han medido en total 496 m de secuencia litológica para esta Formación.

Los primeros 162 m (Figura 3.12 – Columna 9) están conformados por intercalaciones de arenisca blanquecina, limolita verdosa y lutitas pardas; presentan niveles calcáreos hacia la base de la secuencia y sobre algunos bancos de lutitas. La arenisca es cuarzosa con granulometría media y subredondeada, dispuesta en estratos de 15 a 20 cm con laminación paralela (Figura 3.12 A y C); presenta niveles con bancos que sobrepasan los 10 m. La limolita verdosa se encuentra en capas delgadas sobre los niveles de arenisca. Las lutitas pardas a rojizas se disponen en estratos delgados con laminación paralela y presentan bancos que sobrepasan los 10 m. Los niveles calcáreos están conformados por caliza gris oscuras (Mudstone según Dunhan, 1962) dispuestos en estratos de 15 a 20 cm (Figura 3.12 B).

Los siguientes 196 m (Figura 3.12 – Columna 10) están conformados predominantemente por lutitas pardas, intercaladas con arenisca blanquecina y caliza gris oscura. Hacia el techo de esta secuencia predominan los niveles de tobas y toba arenosa verdosa, intercalados por niveles andesíticos. La arenisca, la lutita y la caliza presentan las mismas características de los niveles inferiores. Las tobas presentan granulometría fina y subangulosa, conformado por vidrio volcánico

y cuarzo, englobados en matriz fina. Hacia el techo de cada estrato se observa incremento progresivo de clastos arenosos subredondeados y también incremento de tamaño de grano, hasta grano grueso, fuertemente cementados en matriz fina verdosa; están dispuestos en estratos de 15 a 20 cm (Figura 3.12 D). Las andesitas se disponen en pseudoestratos delgados, presentando cloritización moderada producto de la alteración de los máficos y plagioclasas.

Los últimos 130 m (Figura 3.12 – Columna 11) están conformados predominantemente por tobas y tobas arenosas verdosas, similares a los descritos en la secuencia inferior, intercalados con estratos delgados de arenisca blanquecina, paquetes de limolitas pardas y estratos delgados de caliza gris oscura fosilífera. En algunos niveles de tobas se han observado fósiles de plantas mal conservadas y conchuelas fracturadas (Figura 3.12 E).

Toda la secuencia descrita se encuentra invadida por sills de microdiorita y de sills de andesita porfirítica (Andesitas Tunga); estos han metamorfozido a las lutitas y areniscas ligeramente en las zonas de contacto, sin embargo, no se ha observado indicios importantes de mineralización.

Edad.- En las calizas de esta Formación, se ha colectado tres muestras con fósiles cuya ubicación se detalla en la figura 3.4. Según los estudios del Ing. Manuel Aldana, los fósiles son *Esteriina.sp* de edad Neocomiana con posibilidad de pertenecer al Hauteriviano (Figura 3.12 E). El estudio de estos fósiles de detallan en el Anexo 1.3. Según los estudios de fósiles realizados por Caldas (1978) e Injoque et al. (1988), se le considera a esta Formación como perteneciente Neocomiano.

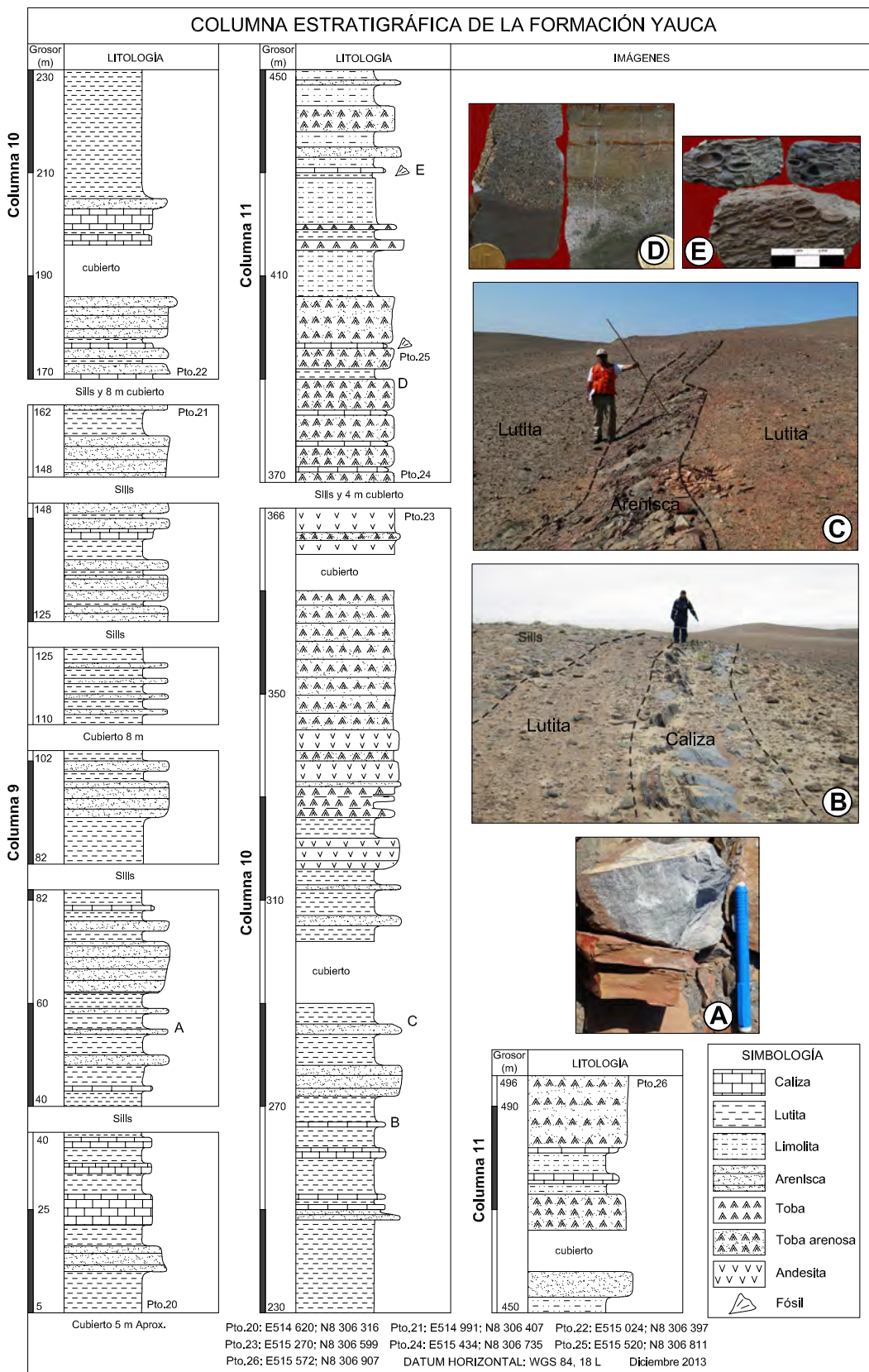


Figura 3.12 Columna Estratigráfica de la Formación Yauca. La descripción de la figura se detalla en el texto. Preparado por M. Contreras.

3.1.7 Formación Pisco (Mioceno)

Con este nombre se designa a la secuencia clástica, expuesta entre Camaná y Chincha. En la zona de estudio sus afloramientos más conspicuos se encuentran en los extremos noroeste a sureste de la zona de estudio, cubiertos en gran parte por depósitos Eólicos (Figura 3.13). En la zona de perforaciones esta Formación se encuentra entre los 5 a 150 m de profundidad.

No se ha observado el límite inferior de la Formación en los afloramientos, por encontrarse cubierto, sin embargo, en la zona de perforaciones se ha observado discordancia erosional sobre las unidades predecesoras, Paleozoicas o Mesozoicas. La columna estratigráfica preparada para esta Formación, denominada Columna 12 (Figura 3.14), se realizó en base al logeo geológico y las fotos de los testigos del sondaje 4JMP-043, cuya ubicación se detalla en la figura 3.13. Se encogió este sondaje debido a que contiene el mayor metraje de rocas perteneciente a la Formación Pisco (más de 330 m). Se estableció la siguiente secuencia litológica.

Los primeros 150 m están conformados por la siguiente secuencia litológica medianamente consolidada: inicia con brechas conformado por bloques subangulos de diorita, cuarzodiorita, andesita y cuarcita con diámetros de 5 a 10 cm, englobados en matriz limo arcillosa (Figura 3.14 A). Es continuado por areniscas pardas de granulometría media a gruesa, subredondeada a subangulosa, dispuesto en estratos de 30 a 40 cm (Figura 3.14 B). Se sobrepone un paquete potente de brechas con similar característica a la secuencia inferior, presentando esporádicos bloques con diámetros mayores a 50 cm (Figura 3.14 C).

Los siguientes 180 metros están conformados por areniscas blanquecinas, intercaladas con delgados niveles de diatomita, bentonita y óxidos de hierro, toda esta secuencia se encuentra medianamente consolidada. Las areniscas presentan granulometría fina a media, subangulosa y están conformados por vidrio volcánico y cuarzo, están dispuestos en estratos de 20 a 30 cm (Figura 3.14 E y F). A lo largo de esta secuencia se ha observado horizontes granocrecientes, dispuestos de la siguiente manera: inicia con delgadas capas lenticulares de bentonita y diatomita seguido por arenisca de grano medio, sobre estas se encuentran los niveles de óxidos de hierro con bivalvos triturados (Figura 3.14 H). En la porción inferior de esta secuencia, asociado a los horizontes granocrecientes, se han observado Ostras bien conservadas (Figura 3.14 D).

No se han observado indicios importantes de mineralización.

Edad.- En el Museo Paleontológico de Sacaco, ubicado a 22 km al SSE de Pampa de Pongo, se exhiben numerosos ejemplares de fósiles de diferentes especies, encontrados en los diferentes niveles de la Formación Pisco; los que resaltan más en este museo son los fósiles de ballenas. Según la descripción detallada en la ficha de este fósil, pertenece a la familia Balaenopteridae de edad Mioceno Superior a Plioceno Inferior (Figura 3.14 G). Según los estudios de fósiles realizados por Caldas (1978), se le considera a esta Formación como perteneciente Mioceno.

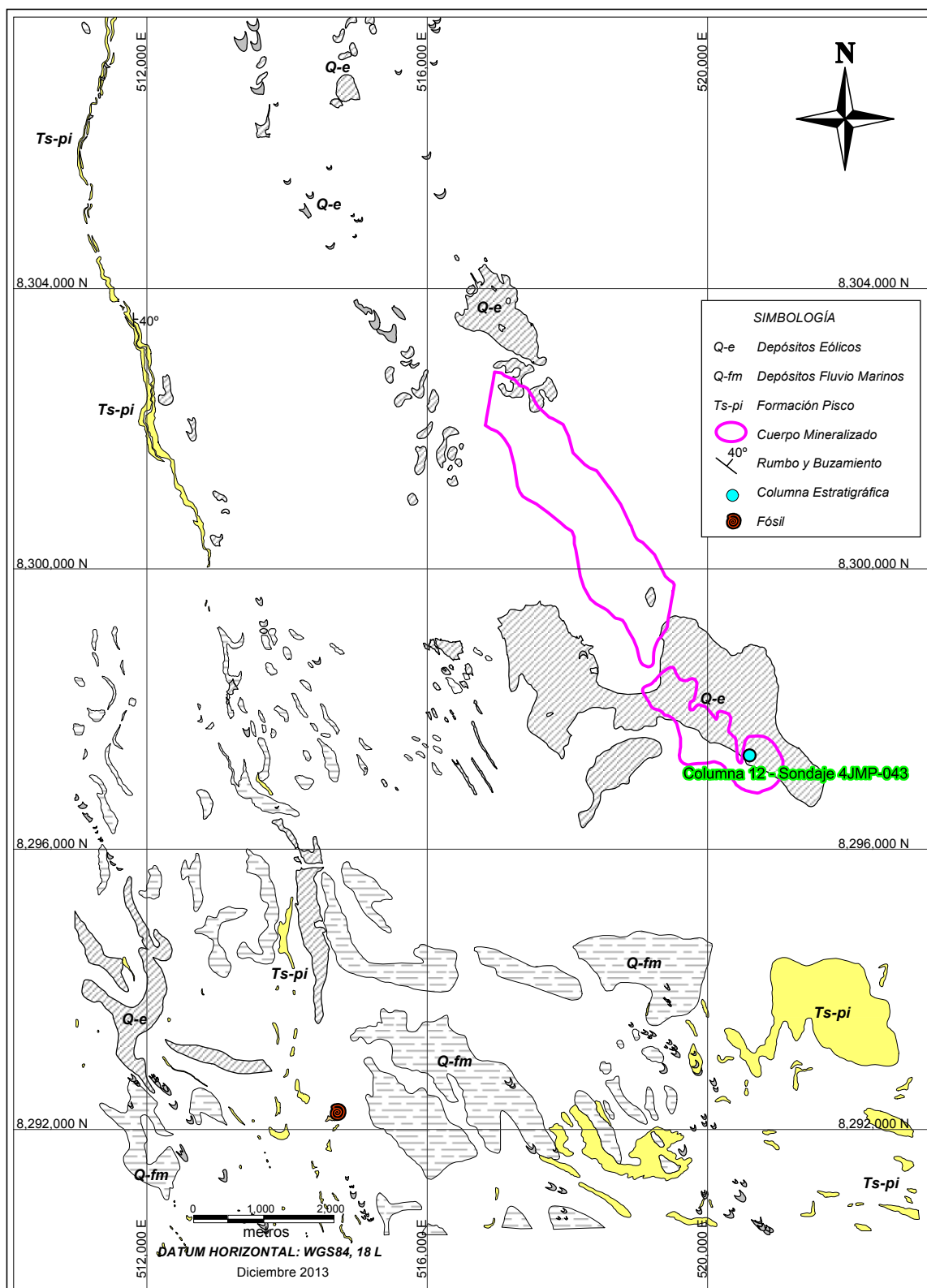


Figura 3.13 Mapa geológico del Proyecto Pampa de Pongo, detalla la distribución de las siguientes unidades litológicas: Formación Pisco, Depósitos Fluvio - Marinos y Depósitos Eólicos. Preparado por M. Contreras.

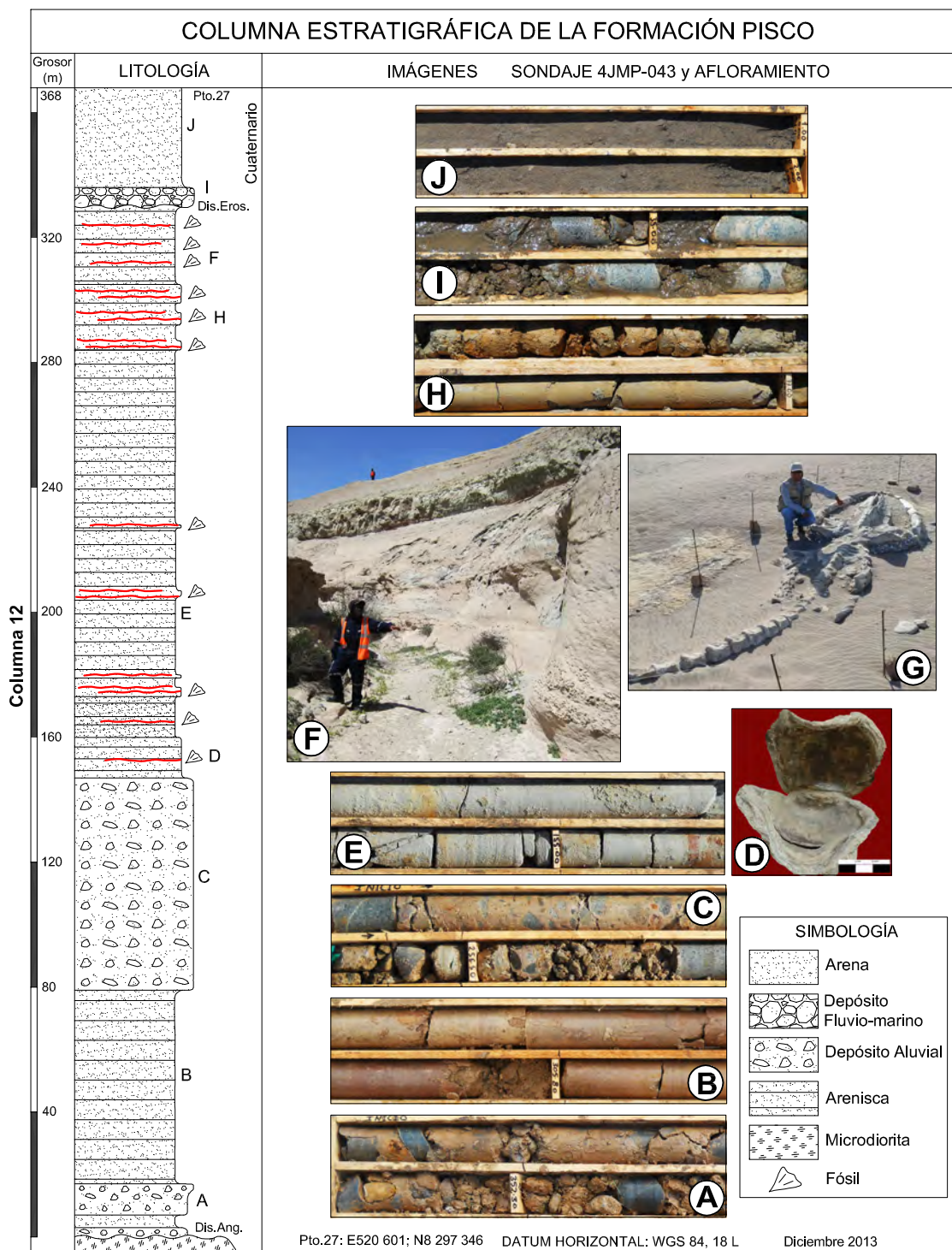


Figura 3.14 Columna Estratigráfica de la Formación Pisco. La descripción de la figura se detalla en el texto. Preparado por M. Contreras

3.1.8 Depósitos cuaternarios

En discordancia angular sobre las unidades predecesoras, se puede apreciar depósitos fluvio-marinos, depósitos aluviales y de pie de monte, por último dunas y cubiertas eólicas.

3.1.8.1 Depósitos Fluvio-Marinos.- Sus afloramientos se encuentran en el extremo suroeste de la zona de estudio, se observan en forma de mesetas aisladas, debido a una intensa erosión fluvial, posterior a su disposición y cubiertos en gran parte por depósitos Eólicos (Figura 3.13). En la zona de perforaciones se han observado en algunos sondajes, entre los 2 a 30 m de profundidad.

Se encuentran en discordancia angular sobre las unidades predecesoras y están conformados por intercalaciones de conglomerados, gravas, arena gruesa y ceniza volcánica; toda la secuencia se encuentra poco consolidada. Los conglomerados están conformados por rodados de diorita, microdiorita, andesita y arenisca, con diámetros de 5 a 10 cm, presentan formas de elipsoides aplanados y están imbricados, englobados en matriz arenosa. Las gravas y arena gruesa se disponen en estructuras lenticulares, con horizontes conchíferos y sobre estas se observan delgadas capas de ceniza volcánica (Figura 3.14 I y Figura 3.15).

Edad.- Según los estudios de fósiles realizados por Caldas (1978), se le considera como perteneciente al Pleistoceno.



Figura 3.15 Depósito Fluvio-Marino del Pleistoceno. Vista al Este.

3.1.8.2 Depósitos aluviales y de Pie de Monte.- Estos depósitos se encuentran acumulados en las quebradas, ubicados en el extremo noreste de la zona de estudio, en discordancia erosional sobre el Batolito de la Costa. Están conformados por bloques subangulosos de cuarzo dioritas con diámetros de 10 cm a 30 cm y con ocasionales bloques mayores a 70 cm, englobados en una matriz limo arcillosa (Figura 3.16).



Figura 3.16 Depósito Aluvial como relleno en las quebradas que cortan al Batolito de la Costa. Vista al Norte.

3.1.8.3 Dunas y Cubierta Eólica.- Estos depósitos están distribuidos principalmente en el sector central y parcialmente en el sector norte de la zona de estudio. Están conformados por un conjunto de dunas, constituidas por arenas finas y grauvacas de grano medio con partículas de magnetita, hematita y óxidos de hierro. El contenido promedio de los granos magnetizados es de 5 a 10%, por ello se cartografiaron estos depósitos con espesores de arena mayores a 0.5 m (Figura 3.13). Estas dunas se movilizan en dirección noroeste (Figura 3.14 J y Figura 3.17).



Figura 3.17 Las dunas son muy frecuentes en la zona de estudio. Vista al Sureste

3.2 ROCAS PLUTÓNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

El evento magmático más antiguo registrado corresponde a las intrusiones de las Andesitas Tunga, emplazado como stocks alargado y sills, de edad Cretácico Inferior, luego se emplazan sills y diques de Microdiorita, de edad Cretácico Inferior y por último el emplazamiento del Batolito de la Costa de edad Cretácico Inferior a Superior.

3.2.1 Andesitas Tunga (Valanginiano - Aptiano)

Con este nombre se designa a la unidad subvolcánica de composición andesítica, expuesta a lo largo de la franja NO-SE, que cruza diagonalmente la Depresión Preandina y el sector nororiental de la Cordillera de la Costa, entre Yauca y Río

Grande. En la zona de estudio sus afloramientos más conspicuos se encuentran en el extremo noroeste a suroeste de la zona de estudio, emplazado como dos stocks alargados y sills, alineados según la dirección NO a SE, intruyendo a las Formaciones Mesozoicas y Paleozoica, cubiertos en gran parte por depósitos Eólicos (Figura 3.18).

En la zona de perforaciones se disponen en forma de sills con potencias variables y con un claro adelgazamiento hacia el este; no profundizan más de 500 m y se han evidenciado en el extremo norte de la zona de perforaciones sobre el cuerpo mineralizado, por ello se presume que se dispone en forma de Lacolito con el cuerpo central en la zona de los stocks alargados (Figura 4.4 – Secciones 1 al 6).

Está constituida principalmente por latíandesitas a cuarzo latitas porfíricas de grano grueso, de color gris oscuro a gris rojizo, caracterizándose por presentar plagioclasas bien desarrolladas con bordes corroídos y en partes zonadas, cuyas dimensiones varían entre 3 mm a 10 mm, en matriz microporfírica con anfíboles cloritizados como fenocristales (Figura 3.19).

En los afloramientos, las rocas de esta unidad presentan incipiente cloritización y propilitización; se han analizado dos muestras provenientes de las zonas con la alteración mencionada, obteniendo resultados muy pobres de elementos valiosos.

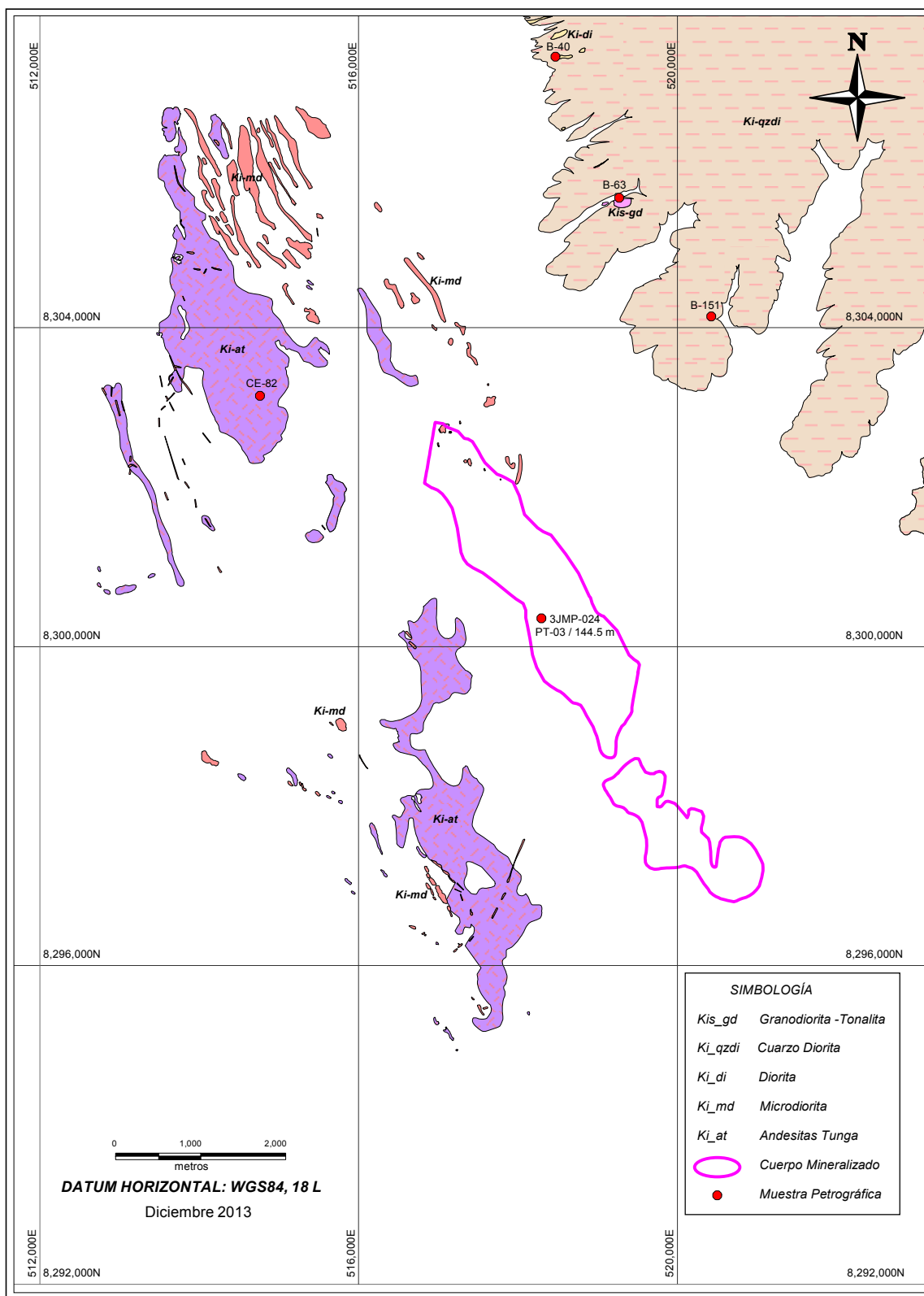


Figura 3.18 Mapa geológico del Proyecto Pampa de Pongo, detalla la distribución de las siguientes unidades litológicas: Andesitas Tunga, Sills Microdioríticos y el Batolito de la Costa. Preparado por M. Contreras.

El estudio petrográfico realizado por el laboratorio BISA, a una muestra proveniente de afloramiento (Muestra CE-82), cuya ubicación se detalla en la figura 3.18, presenta los siguientes resultados.

Muestra CE-82, (Figura 3.19 B), presenta: plagioclasa 45%, feldespato potásico 25%, cuarzo primario 5%, cuarzo secundario 3%, cloritas 8%, sericita y epidota 4%, minerales opacos 1%, carbonatos 2%, arcillas 1% y óxidos de hierro 3%. Las plagioclasas ocurren como cristales euhedrales, rectangulares y tabulares, con tamaños que varían de 0.2 a 10 mm, alterados débilmente por sericita, epidota y cloritas; los feldespatos presentan cristales anhedrales y se encuentran alterados por sericita-clorita; el cuarzo primario como cristales anhedrales y el cuarzo secundario como agregados granulares rellenando cavidades, acompañadas de carbonatos y arcillas; las cloritas reemplazando anfíboles; los minerales opacos y óxidos de hierro se encuentran disseminados. Presenta textura porfírica y es clasificado como cuarzo latíandesita. Las microfotografías de esta muestra se detallan en el Anexo 3.8.

En el extremo norte de la zona de perforaciones y sobre el cuerpo mineralizado, estas rocas son afectadas por vetas y brechas hidrotermales con mineralización similar al cuerpo mineralizado (denominada Zona de Brechas y Vetas, Figura 4.4 – Sección 1-A' y Sección 2). Las vetas son multidireccionales, presentan grosores variables y la mineralización desarrollada desde la caja hacia el centro de la estructura es serpentina, magnetita, dolomita, calcita, disseminaciones de pirita y trazas de calcopirita (Figura 3.19 C); las brechas son muy irregulares, presentan poco desplazamiento, cementados por mineralización similar al anterior.

Edad.- Con el fin de establecer la edad del emplazamiento de las Andesitas Tunga, se han practicado varias dataciones radiométricas, en muestras colectadas en las cercanías de la Mina Marcona. Injoque (1985), utilizando el método Rb-Sr obtuvo dos edades: 136 ± 3 MA y 137.4 ± 3 MA; Vidal et al. (1990), utilizando el método K-Ar obtuvo tres edades: 118 ± 3 MA, 136 ± 3 MA y 137 ± 3 MA; por lo tanto, el emplazamiento de las Andesitas Tunga se dieron desde el Valanginiano al Aptiano.

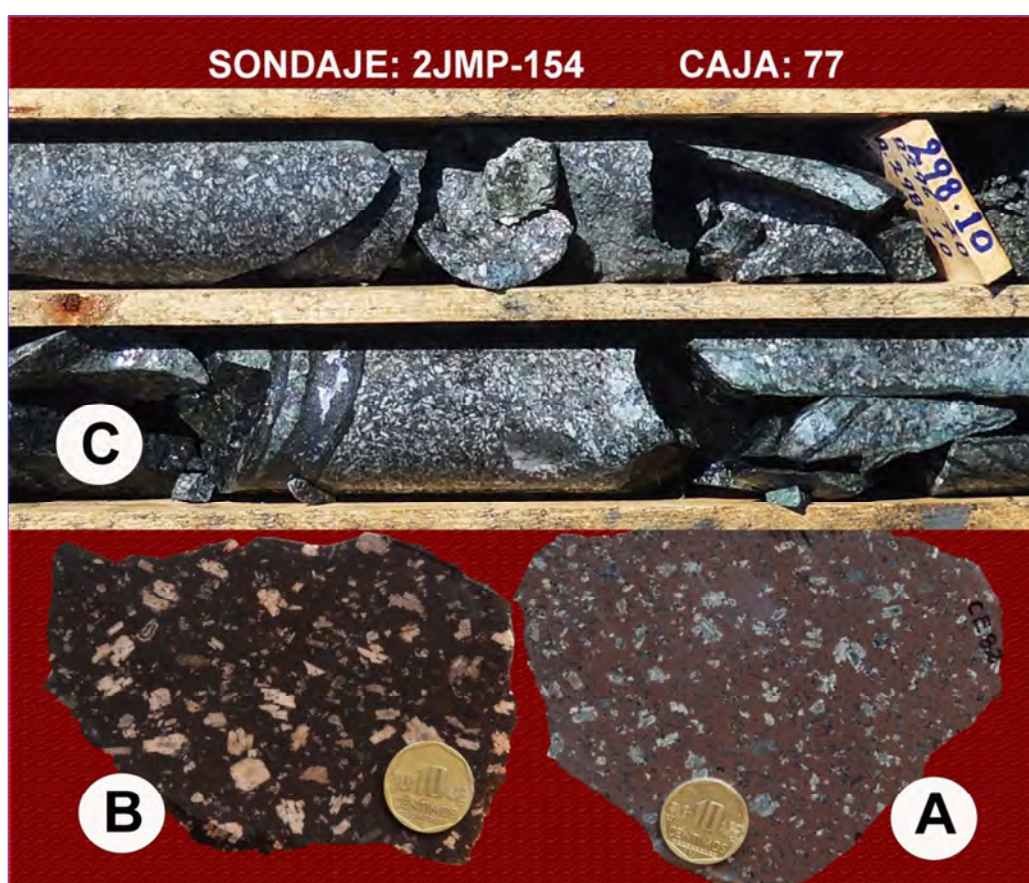


Figura 3.19 Muestras de Andesitas Tunga provenientes de afloramiento (A y B), y del sondaje 2JMP-154, localizado entre los 297 a 300 m de profundidad (C). En esta última se aprecia una vetilla que corta a las Andesitas Tunga; los bordes verde oscuros son serpentina, seguido por magnetita y hacia el centro dolomita.

3.2.2 Sills Microdioríticos (Aptiano – Albiano?)

Con este nombre se designa a los sills microdioríticos y diques andesíticos expuestos a lo largo de la Depresión Preandina y la Cordillera de la Costa, entre

Chaviña y Río Grande. En la zona de estudio sus afloramientos más conspicuos se encuentran en el extremo noroeste de la zona de estudio, emplazados como sills predominantemente y diques, alargados con una orientación preferente de NO a SE; algunos diques andesíticos asociados a los sills dioríticos, tienen direcciones ortogonales a los anteriores. Intruyen a las Andesitas Tunga, Formaciones Mesozoicas y Paleozoica y se encuentran cubiertos en gran parte por depósitos Eólicos (Figura 3.18).

En la zona de perforaciones se han distinguido dos sistemas de sills. El sistema predominante presenta potencias variables y más constantes hacia el este, con inclinaciones al este. Por su modo de ocurrencia y proximidad al Batolito de la Costa se presume que estas rocas tienen su origen en el mencionado Batolito. Un segundo grupo minoritario de sills tienen potencias más constantes hacia el oeste, con inclinaciones al suroeste; se presume su origen en las proximidades de los stocks de las Andesitas Tunga (Figura 4.4 – Secciones 1 al 15). A partir de la falla Norte hacia el Sur, incrementa la intrusión de los sills microdioríticos en la Formación Marcona, siendo masivos en el extremo Sur.

Su composición es diorítica con escaso cuarzo y textura porfírica, presenta fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxeno, cuyas dimensiones varían de 1 a 2 mm, en matriz microporfírica. Las hornblendas y los piroxenos se encuentran ligeramente cloritizados y las plagioclasas alterándose a sericita y carbonatos (Figura 3.20 B). En los afloramientos, las rocas de esta unidad presentan ligera cloritización y en las proximidades a los contactos con las Andesitas Tunga, presentan propilitización moderada; se han analizado dos muestras obtenidas en zonas con la alteración mencionada obteniendo resultados muy pobres de

elementos valiosos. En la zona mineralizada estos sills se encuentran fuertemente alterados por piroxenos (diópsido) y sericita, con escasa clorita.

El estudio petrográfico realizado por el laboratorio BISA, a una muestra proveniente de los sondeos de perforación (Muestra PT-03 – 3JMP-024 / Prof. 144.5 m), cuya ubicación se detalla en la figura 3.18, presenta los siguientes resultados.

Muestra PT-03, (Foto 3.20 B), presenta: plagioclasa 60%, cuarzo 3%, biotita, piroxeno y hornblenda 24%, cloritas 7%, minerales opacos 2%, carbonatos 1%. Las plagioclasas ocurren como cristales euhedrales, alterados débilmente por sericita y carbonatos; el cuarzo como cristales anhedrales; la biotita alterados fuertemente por clorita; el piroxeno y la hornblenda en cristales subhedrales alterándose a clorita; los minerales opacos se encuentran diseminados. Presenta textura porfirítica y es clasificado como microdiorita porfirítica. Las microfotografías de esta muestra se detallan en el Anexo 3.9.

En el extremo norte de la zona de perforaciones y sobre el cuerpo mineralizado, estas rocas son afectadas por vetas y brechas hidrotermales con mineralización similar al cuerpo mineralizado (Figura 3.20 C), con semejante característica a lo descrito para las Andesitas Tunga.

Edad.- No se han realizado estudios de dataciones para estas rocas, sin embargo, los sills y diques asociados a esta unidad cortan a las Andesitas Tunga (Figura 3.20 A), debido a ello la edad de esta unidad es posterior al emplazamiento de las Andesitas Tunga y posiblemente ligeramente anterior al emplazamiento del Batolito de la Costa.



Figura 3.20 Muestras de sills microdiorítico. A) Andesita Tunga rojiza cortada por microdiorita gris verdosa. B) Microdiorita sin alteración del sondaje 3JMP-024, localizado entre los 144 a 145 m de profundidad. C) Brecha hidrotermal que afecta a la microdiorita, cementada por serpentina-magnetita-dolomita, del sondaje 2JMP-055, localizado entre los 431 a 433 m de profundidad.

3.2.3 Batolito de la Costa (Albiano - Cenomaniano)

Con este nombre se designa a las unidades plutónicas del Cretácico Inferior a Superior, expuestas a lo largo de la Cordillera Occidental de los Andes, extendiéndose desde Chile hasta Ecuador. En la zona de estudio se expone parte del Batolito de la Costa y sus afloramientos más conspicuos se encuentran en el

extremo este a noreste (Figura 3.18). Esta unidad se caracteriza por presentar relieve abrupto, encontrándose segmentada por quebradas de dirección noreste y hacia el suroeste es limitada por la Depresión Ica-Nasca.

En el extremo norte y sur de la zona de perforaciones se han distinguido rocas del Batolito de la Costa, en forma de sills presentando potencias variables y más constantes hacia el este, con inclinaciones al este. (Figura 4.4 – Secciones 1, 2 y 9 al 15).

En la zona de estudio, el Batolito de la Costa está conformado por tres tipos de rocas: Dioritas, cuarzo dioritas y granodiorita a tonalita.

3.2.3.1 Dioritas.- Son de grano fino, presentan coloración verde oscura y sus afloramientos son pequeños, alargados y con formas circulares, englobados por cuarzo diorita. El estudio petrográfico realizado por el laboratorio BISA, a una muestra proveniente de afloramiento (Muestra B-40), cuya ubicación se detalla en la figura 3.18, presenta los siguientes resultados.

Muestra B-40, (Figura 3.21), presenta: plagioclasa 75%, cuarzo 3%, piroxeno 7%, hornblenda 5%, minerales opacos 3%, arcillas 1%, biotita 1%, sericita 1%, clorita, epidota, carbonatos, apatito, zircón y esfena como trazas. Las plagioclasas ocurren como cristales euhedrales, alterados débilmente por sericita, clorita, epidota y arcillas, presenta microfracturas rellenas con biotita y epidota e inclusión de zircón y apatito; el cuarzo como cristales anhedrales, presenta inclusiones de apatito y esfena; el piroxeno y la hornblenda en cristales subhedrales alterándose a clorita, con inclusiones de minerales opacos y microfracturas rellenas por óxidos de hierro; los minerales opacos se encuentran disseminados. Presenta textura

hipidiomorfica seriada y es clasificado como diorita. Las microfotografías de esta muestra se detallan en el Anexo 3.10.



Figura 3.21 Diorita verde oscura de grano fino.

3.2.3.2 Cuarzo dioritas.- Son de grano grueso, coloración gris verdosa y se caracterizan por presentar fenocristales de plagioclasas blanquecinas, con núcleos verde oscuros y dimensiones de 2 a 4 mm (Figura 3.22 A). Ocupa el mayor volumen en la porción del Batolito de la Costa que aflora en la zona de estudio y en la zona de perforaciones estas rocas son los que se han identificado. El estudio petrográfico realizado por el laboratorio BISA, a una muestra proveniente de afloramiento (Muestra B-151), cuya ubicación se detalla en la figura 3.18, presenta los siguientes resultados.

Muestra B-151, (Figura 3.22 A), presenta: plagioclasa 68%, cuarzo 10%, piroxeno 6%, hornblenda 7%, arcillas 2%, sericita 2%, carbonatos 1%, clorita, epídota, esfena y minerales opacos como trazas. Las plagioclasas ocurren como cristales euhedrales, zonados, con inclusiones de piroxenos y esfena, alterados débilmente por carbonatos, sericita, epídota y arcillas; el cuarzo como cristales subhedrales,

ligeramente corroídos, presenta microfracturas rellenas por carbonatos; el piroxeno en agregados subhedrales, se hallan parcialmente remplazadas por anfíboles y alterados por epidota; la hornblenda en cristales anhedrales alterados por carbonatos y clorita; los minerales opacos se encuentran escasamente diseminados. Presenta textura porfirítica con matriz granular y es clasificado como cuarzo diorita. Las microfotografías de esta muestra se detallan en el Anexo 3.11.

En el extremo norte de la zona de perforaciones y sobre el cuerpo mineralizado, estas rocas son afectadas por vetas y brechas hidrotermales con mineralización similar al cuerpo mineralizado (Figura 3.22 C), con semejante característica a lo descrito para las Andesitas Tunga. Las vetas de la Mina Hierro Acarí, localizados a 8.5 km al Noreste de la zona de estudio, cortan a las cuarzo dioritas (Figura 3.22 B), diferenciándose de lo observado en la zona de estudio por el ensamble de mineralización conformado por anfíboles-magnetita-calcita-pirita.

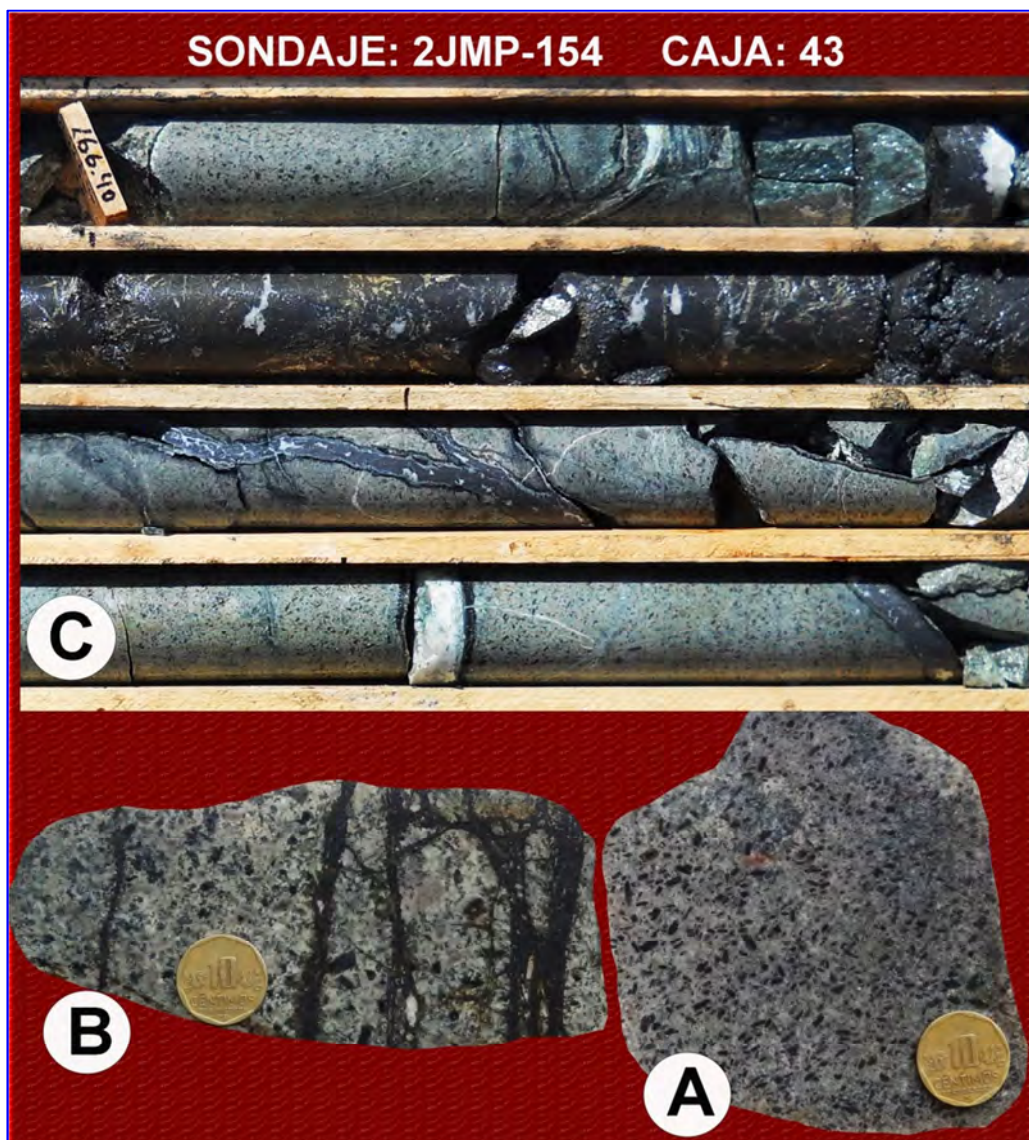


Figura 3.22 Muestras de cuarzo dioritas. A) Cuarzo diorita sin antelación. B) Cuarzo diorita cortada por vetillas de magnetita-actinolita, muestreado en las proximidades de las vetas de la Mina Hierro Acarí. C) Cuarzo diorita en la zona de perforaciones, cortada por vetas de serpentina-magnetita-dolomita-sulfuros (Fe), del sondaje 2JMP-154, localizados entre los 166 a 170 m de profundidad.

3.2.3.3 Granodioritas a tonalitas aplíticas.- De coloración blanquecina a verdosa, con escasos máficos (Figura 3.23), se ha desarrollado en forma de diques y pequeños stocks que cortan a las cuarzo dioritas. El estudio petrográfico realizado por el laboratorio BISA, a una muestra proveniente de afloramiento (Muestra B-63), cuya ubicación se detalla en la figura 3.18, presenta los siguientes resultados.

Muestra B-63, (Figura 3.23), presenta: plagioclasa 55%, cuarzo 20%, feldespato potásico 6%, piroxeno 4%, anfíboles 5%, esfena 1%, arcillas 2%, sericita 2%, carbonatos 1%, clorita, epídota, zircón, apatito, minerales opacos y óxidos de hierro como trazas. Las plagioclasas ocurren como cristales euhedrales, con inclusiones de esfena, zircón y anfíbol, alterados débilmente por carbonatos, sericita, epídota y arcillas; el cuarzo como cristales subhedrales, presenta inclusiones de apatito y esfena; los feldespatos ocurren como cristales anhedrales, alterados parcialmente por sericita y arcillas; el piroxeno en agregados subhedrales, se hallan parcialmente reemplazados por anfíboles; los anfíboles en cristales subhedrales alterados por carbonatos y clorita; los minerales opacos se encuentran escasamente diseminados, alterados por óxidos de hierro. Presenta textura porfírica con matriz granular y es clasificado como Granodiorita a Tonalita. Las microfotografías de esta muestra se detallan en el Anexo 3.12.

Estas rocas no han sido evidenciados en la zona de perforaciones, sin embargo, en los afloramientos se ha observado que se encuentran cortados por vetillas de actinolita, calcita y magnetita.



Figura 3.23 Granodioritas a tonalitas aplíticas blanquecinas.

Edad.- Con el fin de establecer la edad del emplazamiento del Batolito de la costa, en la zona de estudio, se han practicado dataciones radiométricas. Vidal et al. (1990), utilizando el método K-Ar obtuvo una edad: 109 ± 4 MA, en dacitas de dique que corta a las cuarzo dioritas, en las proximidades de las vetas de Hierro Acarí. Por otro lado, Chara (2000), utilizando el método K-Ar obtuvo edades entre 107 ± 4 MA y 113 ± 3 MA, en dioritas y tonalitas, localizados en el borde occidental del Batolito de la Costa, del cuadrángulo de Ica (hoja 29-L). Por lo tanto, se le considera de edad Albiana a Cenomaniana. Estas edades nos estaría indicando que estos intrusivos son los precursores y de emplazamiento más antiguo del Batolito de la Costa.

3.3 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA

La disposición vertical de las diferentes unidades sedimentarias, el emplazamiento de los cuerpos subvolcánicos y plutónicos que intruyeron las diferentes formaciones, el desarrollo de la mineralización en algunas unidades litológicas y su ubicación en el tiempo geológico, se detallan en la figura 3.24, resumiendo los estudios detallados en el presente capítulo.

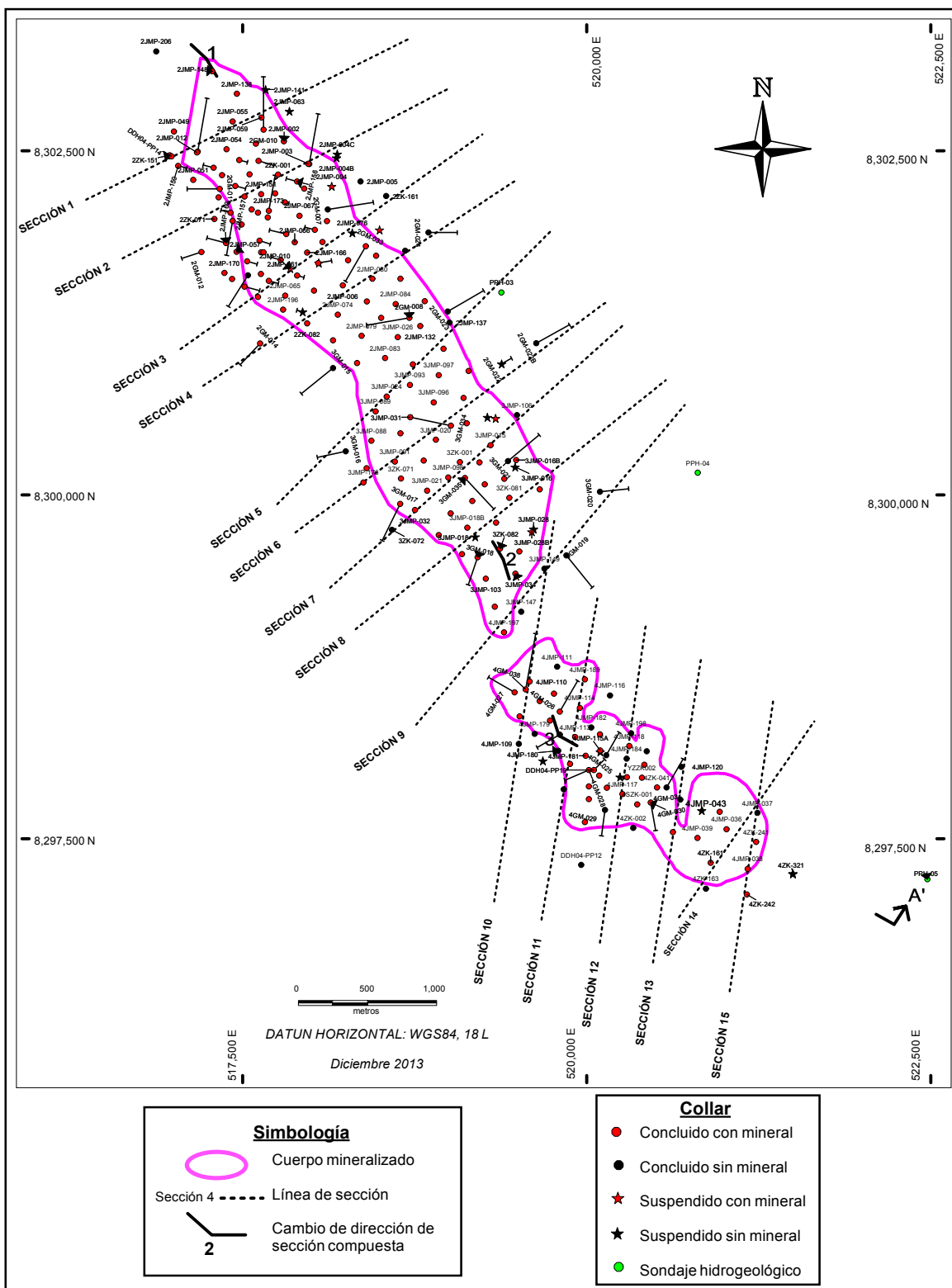


Figura 4.2 Mapa de ubicación de las líneas de secciones transversales y longitudinal compuesta, en la Zona de Perforaciones del Proyecto Pampa de Pongo. Preparado por M. Contreras.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO PAMPA DE PONGO

El proyecto Pampa de Pongo está ubicado en la margen oriental de la Depresión Ica-Nasca, limitada por las estribaciones de la Cordillera Occidental hacia el este. El límite entre estas dos geoformas está marcado por la falla Bella Unión, perteneciente al Sistema de Fallas Cerrillos. El régimen tectónico a nivel distrital es predominantemente distensivo, lo que originó un sistema de graben y horst que controlaron la sedimentación de las unidades estratigráficas Meso-Cenozoicas; sin embargo, la zona de estudio ha estado dominada por una compleja historia de sedimentación, magmatismo y deformación tectónica, sobreimpuesta en un basamento Precámbrico; esto implica que la tectónica está influenciada por estructuras y discontinuidades heredadas.

Durante el cartografiado geológico se han evidenciado muy pocas fallas, debido a que los afloramientos se encuentran mayormente cubiertos por depósitos eólicos; obteniéndose los alineamientos estructurales por interpretación, tomando como base la distribución de las unidades litológicas cartografiadas en el mapeo geológico, el mapa topográfico, las imágenes satelitales y los mapas geofísicos.

El primer modelo estructural elaborado por BISA y presentado a JINZHAO MINING PERÚ S.A., el 2012, se realizó utilizando el método de secciones, enmarcada en la zona de perforaciones. Se usaron 28 secciones paralelas, alineadas al azimut 10°, y 16 secciones longitudinales, alineadas al azimut 130°, proyectándose la gran mayoría de sondajes en las secciones. Se usó la información obtenida en el logueo geológico y el registro de discontinuidades, obtenidos por el sondeo del televisor acústico (Televiewer).

En el presente capítulo se pretende complementar el modelo estructural conocido, usando el método de secciones, diferenciándose del análisis anterior en la alineación de las secciones, el cual será perpendicular al cuerpo mineralizado.

4.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para el trazado de las líneas de secciones, se preparó un mapa topográfico a escala 1/10 000, donde se incorporaron todos los sondajes diamantinos (247), proyectando sus direcciones de inclinación en planta, también se proyectó el cuerpo mineralizado. Se trazaron 15 secciones transversales al cuerpo mineralizado y una sección longitudinal compuesta, proyectando en total 97 sondajes en las secciones (Tabla 4.1).

Se preparó una base de datos para los 97 sondajes diamantinos, conformadas por 6 tablas, con la siguiente información: Collar, Survey, Leyes de Hierro, Clasificación Geomecánica RMR, Unidades Litológicas y Registro de discontinuidades; adicionalmente se preparó un modelo digital de elevación (DEM) a partir del mapa topográfico. Se elaboró la presente base de datos con la finalidad de procesarla en los programas MAPINFO PROFESSIONAL 10.5 y DISCOVER 11.1, con el objetivo

de generar secciones en las cuales se incluyan la información ingresada y así facilitar la interpretación.

Tabla 4.1 Relación de sondajes proyectados en cada sección

SECCIONES	SONDAJES	CANTIDAD
SECCIÓN 1	2ZK-151, 2JMP-012, 2JMP-055, 2JMP-059	4
SECCIÓN 2	2ZK-071, 2JMP-053, 2JMP-154, 2ZK-001, 2JMP-003, 2JMP-004C	6
SECCIÓN 3	PPD-002, 2JMP-010, 2JMP-166, 2JMP-072, 2JMP-076, 2ZK-161	6
SECCIÓN 4	2GM-014, 2ZK-082, 2JMP-006, 2JMP-080, 2JMP-086, 2GM-024	6
SECCIÓN 5	3GM-016, 3JMP-024, 3JMP-089, 3JMP-093, 2ZK-241, 2JMP-087, 2JMP-137, PPH-03	8
SECCIÓN 6	3JMP-176, 3JMP-091, 3JMP-020, 3JMP-099, 2GM-022, 2GM-022B	6
SECCIÓN 7	3ZK-072, 3JMP-032, 3JMP-021, 3JMP-098, 3JMP-201, 3JMP-015, 3JMP-106	7
SECCIÓN 8	3JMP-027, 3JMP-018B, 3JMP-104, 3ZK-081, 3JMP-030	5
SECCIÓN 9	4JMP-197, 3JMP-147, 3JMP-149, 3GM-019, 3GM-020	5
SECCIÓN 10	4JMP-109, PPD-007, 4GM-038, 4JMP-110	4
SECCIÓN 11	DDH04-PP11, 4JMP-112, 4JMP-113, 4JMP-114, 4JMP-189	5
SECCIÓN 12	4JMP-117, PPD-009, 4JMP-184, 4JMP-118, 4JMP-198	5
SECCIÓN 13	4ZK-081, DDH04-PP13, 4JMP-120	3
SECCIÓN 14	4ZK-163, 4ZK-161, 4JMP-036	3
SECCIÓN 15	4ZK-242, 4JMP-038, 4ZK-241, 4JMP-037	4
SECCIÓN 1-2	2JMP-148, 2JMP-138, 2JMP-058, 2JMP-067, 2JMP-079, 2JMP-083, 3JMP-031, 3JMP-101, 3ZK-082	9
SECCIÓN 2-3	3JMP-034, 4JMP-178, DDH04-PP10, 4GM-037	4
SECCIÓN 3-A	4JMP-181, 4JMP-115A, PPD-006, YZZK-002, 4ZK-041, 4JMP-043, 4ZK-321	7
TOTAL		97

La información referente al Collar, Survey y leyes de Hierro, se obtuvieron de la base de datos preparado por BISA. La tabla Collar contiene la siguiente información: código de sondaje, coordenada de sondaje, profundidad de perforación, dirección e inclinación del sondaje (Tabla 4.2). Las coordenadas y cotas de cada sondaje, fueron registradas por la empresa GEOMAT INGENIEROS S.A.C., para lo cual usaron GPS diferencial.

La tabla Survey contiene la siguiente información: código de sondaje, profundidad de cada tramo medido, dirección e inclinación de cada tramo medido. Se usaron

dos tipos de sondas para las mediciones de desviación del sondaje: el Giro y el Reflex (Tabla 4.3). La medición de desviación de sondaje, fue realizada por la empresa de perforaciones que perforaba cada sondaje.

Las leyes de Hierro, reportados en porcentaje de masa, se clasificaron en dos grupos: A las leyes entre 20% y 39.99%, se los denominó SMS (equivalente a los cuerpos semi-masivos de magnetita) y a las leyes iguales y mayores a 40% se los denominó MS (equivalente a los cuerpos masivos de magnetita); se detallan en la tabla 4.4. Los análisis químicos de las muestras fueron realizadas por la empresa ALS MINERALS y el método de análisis usado fue fluorescencia de rayos X.

Tabla 4.2 Orden de información preparada para la tabla Collar

SONDAJE	ESTE	NORTE	COTA	PROF	AZIMUT	DIP	DATUM	TIPO - SONDAJE	DIRIGIDO
2GM-002	516,000.00	8,302,000.00	418.38	929.50	10	-65	WGS84_18S	DDH	Si
2GM-003	516,101.00	8,302,101.00	427.59	876.40	10	-65	WGS84_18S	DDH	Si
2JMP-009	516,202.00	8,302,202.00	407.00	1,010.80	0	-90	WGS84_18S	DDH	No
2JMP-080	516,303.00	8,302,303.00	404.84	1,098.50	0	-90	WGS84_18S	DDH	No
3JMP-022	516,404.00	8,302,304.00	381.60	969.50	0	-90	WGS84_18S	DDH	No
3JMP-026	516,505.00	8,302,405.00	399.70	936.50	0	-90	WGS84_18S	DDH	No
4GM-037	516,606.00	8,302,506.00	370.09	450.70	240	-65	WGS84_18S	DDH	Si
4GM-038	516,707.00	8,302,607.00	379.32	975.55	10	-65	WGS84_18S	DDH	Si
4JMP-036	516,808.00	8,302,708.00	334.24	825.80	0	-90	WGS84_18S	DDH	No

Tabla 4.3 Orden de Información preparada para la tabla Survey

SONDAJE	PROF_MEDICIÓN	AZIMUT	INCLINACIÓN	TIPO DE SONDA
2GM-002	0.00	10.00	-64.13	Giro
2GM-002	50.00	11.49	-63.55	Giro
2GM-002	100.00	12.37	-62.93	Giro
2GM-002	150.00	13.97	-62.25	Giro
2GM-002	200.00	13.08	-61.23	Giro
2JMP-003	0.00	0.00	-90.00	Reflex
2JMP-003	200.00	198.70	-89.90	Reflex
2JMP-003	400.00	112.60	-89.70	Reflex
2JMP-003	600.00	271.40	-89.00	Reflex
2JMP-003	800.00	298.80	-89.10	Reflex
3JMP-024	0.00	0.00	-90.00	Medición con Brújula

Tabla 4.4 Orden de Información preparada para la tabla Ley de Hierro

SONDAJE	DESDE	HASTA	%Fe	COD-Fe
2JMP-087	557.70	559.00	36.19	SMS
2JMP-087	559.00	560.20	26.75	SMS
2JMP-087	560.20	562.20	59.81	MS
3JMP-099	676.40	677.60	40.57	MS
3JMP-099	681.50	683.50	20.15	SMS
3JMP-099	683.50	685.50	35.89	SMS
4JMP-197	622.80	624.80	43.06	MS
4JMP-197	624.80	626.80	47.28	MS
4JMP-197	628.80	630.80	38.11	SMS

La tabla con información de la clasificación Geomecánica RMR se preparó en base al Logueo Geotécnico de Testigos Rocosos, elaborado por la empresa DCR Ingenieros S.R. Ltda. Se usó sólo las clasificaciones IVA Mala A (RMR entre 40-31), IVB Mala B (RMR entre 30-21) y Muy Mala (RMR entre 20-0), como dato complementario para validar las zonas de mala calidad rocosa, relacionados al fracturamiento y fallamiento (Tabla 4.5).

La información referente a las Unidades Litológicas fue elaborada por el autor del presente estudio, tomando como base los estudios estratigráficos y de emplazamiento de los cuerpos ígneos, las fotografías de los testigos de cada sondaje y los registros de logueo geológico. Se clasificaron 11 unidades litológicas,

las cuales son: Cuaternario (Q), Formación Pisco (F_PI), Grupo Volcano-sedimentario (G_VS), Formación Marcona (F_MA), Formación Chiquerío (F_CH), Complejo Basal de la Costa (GN), Andesita Tunga (OC), Sills Microdioríticos (M), Batolito de la Costa (QD), Zona Mineral (ZM) y Zona de Falla (ZF). Los tramos sin testigo se registró con el código (ST). En la unidad litológica denominada Grupo Volcano-sedimentario se agruparon las Formaciones mesozoicas Rio Grande, Jahuay y Yauca, debido a que los testigos de estas unidades se encuentran fuertemente alterados, que dificultó su identificación por Formación (Tabla 4.6).

Tabla 4.5 Orden de Información preparada para la tabla de Clasificación Geomecánica RMR

SONDAJE	DESDE	HASTA	RMR	COD-RMR
2GM-014	0.00	53.70	19	MUY MALA
2GM-014	73.40	75.20	21	MAL-B
2GM-014	77.05	79.75	33	MAL-A
3JMP-032	605.85	608.00	38	MAL-A
3JMP-032	611.90	617.80	21	MAL-B
3JMP-034	0.00	271.10	19	MUY MALA
4JMP-112	508.80	513.20	34	MAL-A
4JMP-113	0.00	200.90	19	MUY MALA
4JMP-113	210.45	210.90	21	MAL-B

Tabla 4.6 Orden de Información preparada para la tabla Unidades Litológicas

SONDAJE	DESDE	HASTA	UND_LIT
4JMP-178	0.0	30.0	Q
4JMP-178	30.0	228.6	F_PI
2JMP-012	28.6	76.6	M
2JMP-012	76.6	88.3	ZF
2JMP-059	407.2	417.5	OC
2JMP-055	260.0	270.0	QD
2JMP-012	88.3	105.7	G_VS
3JMP-031	583.0	588.3	ZM
3JMP-031	588.3	600.7	F_MA
2ZK-151	510.1	567.5	F_CH
2JMP-055	815.7	836.4	GN

La tabla de discontinuidades se preparó en base a los registros realizados por la empresa Geoinstruments S.A.C., que registró discontinuidades y sus direcciones de

buzamiento y buzamiento, a lo largo del sondaje perforado, empleando la testificación geofísica con el equipo “televiwer”, usando la sonda acústica. Este registro se realizó en sondajes inclinados, perforados con fines de estudio geomecánico principalmente. La identificación de fallas en los registros de la sonda acústica, fue elaborado por BISA. La tabla de discontinuidades contiene la dirección de buzamiento y buzamiento de las discontinuidades, localizados en el tramo donde se ha identificado las principales fallas, de la gran mayoría de sondajes inclinados. Estos tramos abarcan adicionalmente desde la zona de falla, 5 a 10 m hacia la caja techo y 5 a 10 m hacia la caja piso, dependiendo de la cantidad de datos registrados por la sonda acústica.

Los datos obtenidos en cada tramo, se procesaron en el software DIPS Versión 5.103 de Rocscience Inc. (2004), obteniendo proyecciones estereográficas de los datos orientacionales. El sistema principal de discontinuidades indica la dirección de inclinación y posible inclinación de las fallas identificadas (Figura 4.1).

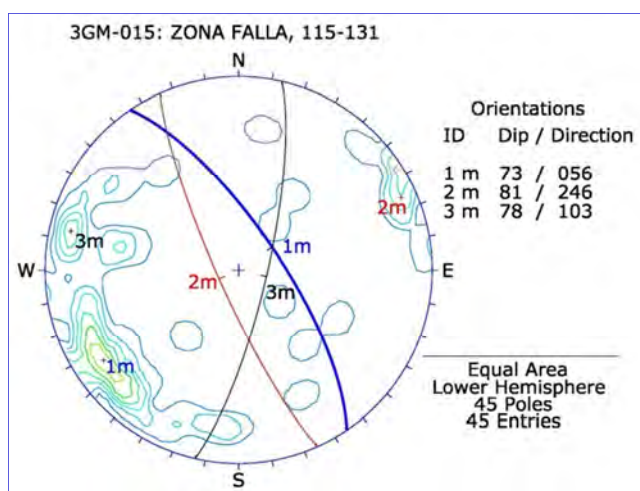


Figura 4.1 Proyección estereográfica de 45 datos, para el tramo ubicado entre los 115 a 131 m de profundidad, en el sondaje 3GM-015 (zona de falla). El sistema principal (1 m - color azul) indica la dirección de inclinación y posible inclinación de la falla.

Las secciones transversales no son paralelas y su espaciamiento es variado, debido a la distribución irregular de los sondajes, asimismo, se buscó proyectar la mayor cantidad de sondajes a lo largo de las secciones. Se nombraron de acuerdo a su distribución de norte a sur, numerándose consecutivamente de 1 al 15, anteponiendo la palabra Sección. Las secciones 1 al 9, están direccionadas aproximadamente al azimut 55°; las secciones 10 al 15 están direccionadas al azimut 10° y son paralelas, con excepción de la sección 14 que está direccionada al azimut 35°. La sección longitudinal, denominada **Sección 1-A'**, está compuesta por 3 secciones: la primera, Sección 1-2, se encuentra direccionada al azimut 150°, la segunda, Sección 2-3, se encuentra direccionada al azimut 160° y la tercera, Sección 3-A', direccionada al azimut 120°. Se detalla en la figura 4.2.

Las secciones generadas tiene la siguiente configuración: Todos lo sondajes se proyectaron perpendicularmente en las secciones y se usó un intervalo de proyección de 50 m, para ambos lados de la línea de sección. Las 11 unidades litológicas se incluyeron centradas en cada línea de sondaje, con un ancho de 3 mm; se usaron códigos de colores, según los estándares usados en el cartografiado geológico de la zona de estudio. La clasificación RMR se incluyó en la margen izquierda y a 4 mm de la línea de sondaje, con un ancho de 2 mm; se usaron código de colores de tonalidades azules. La ley de hierro se incluyó en la margen derecha y a 4 mm de la línea de sondaje, con un ancho de 2 mm y se usaron código de colores de tonalidades rojizas. Se imprimieron para su interpretación a escala 1/10 000. Se detalla en la figura 4.3.

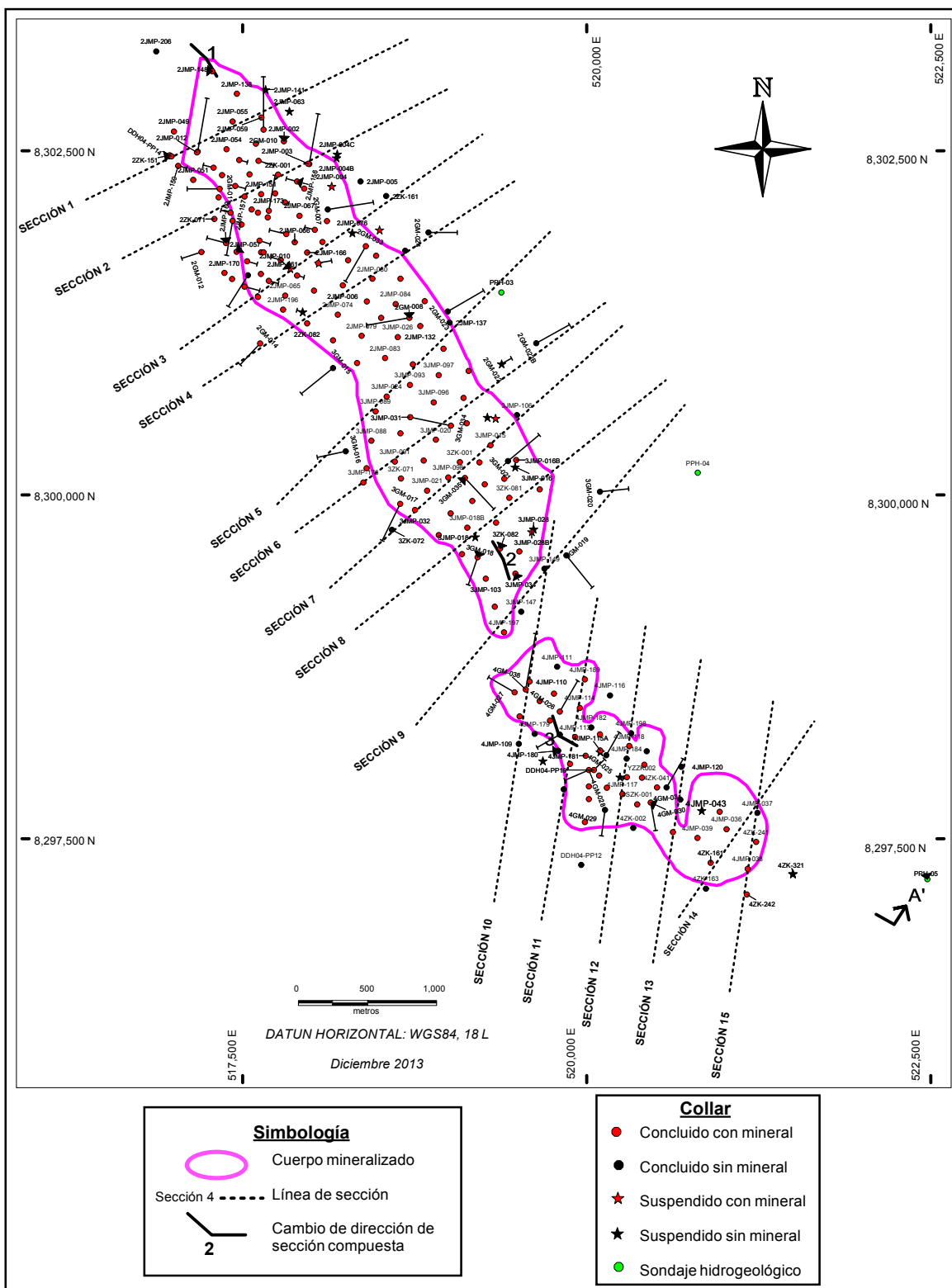


Figura 4.2 Mapa de ubicación de las líneas de secciones transversales y longitudinal compuesta, en la Zona de Perforaciones del Proyecto Pampa de Pongo. Preparado por M. Contreras.

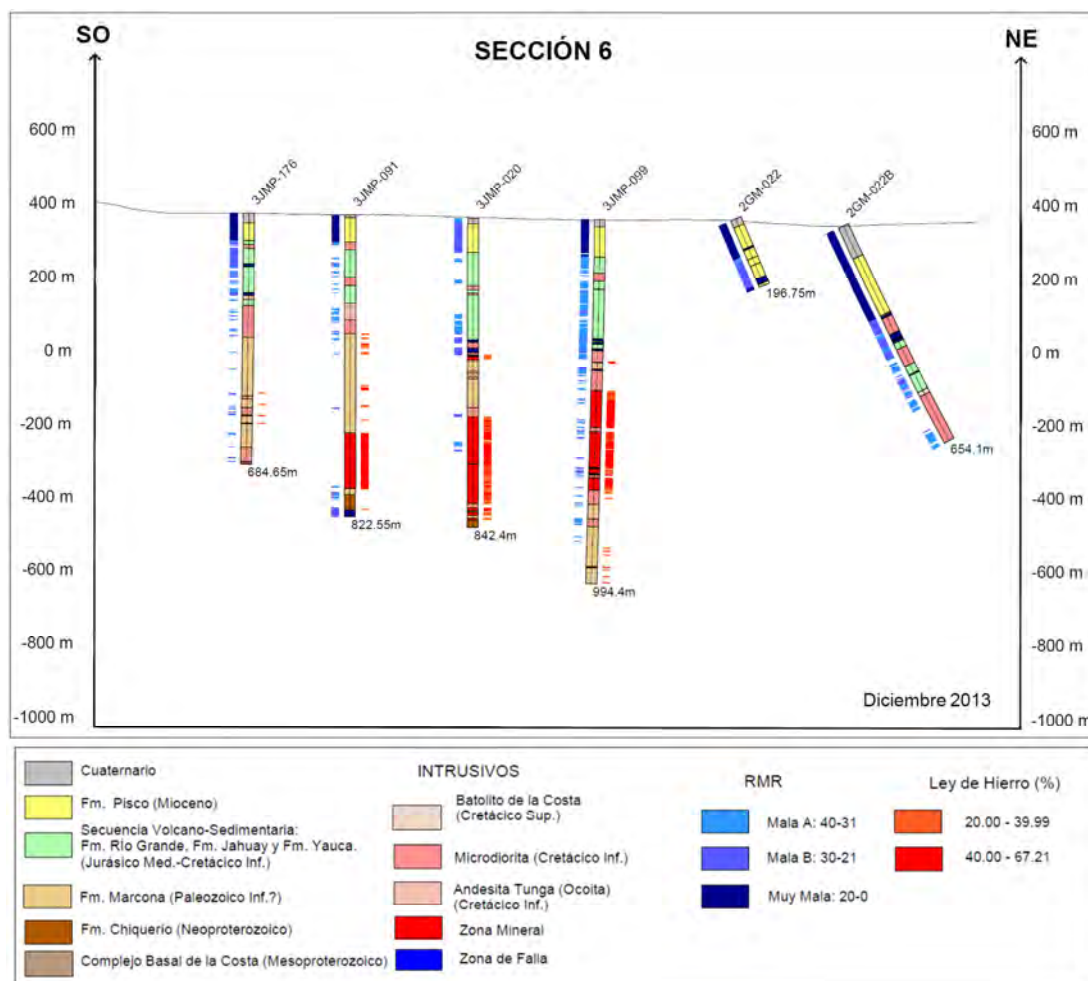


Figura 4.3 Sección generada con la información cargada en la base de datos. De manera similar se generaron todas las secciones presentadas en este estudio. Preparado por M. Contreras.

Para el análisis estructural integral de la zona de perforaciones y la zona cartografiada, se preparó dos secciones compuestas, la Sección A-A' y Sección B-B', cuyas ubicaciones se detallan en la figura 4.6. La Sección A-A' está compuesta por 4 secciones: la primera, Sección A-1, se encuentra direccionada al azimut 135° , la segunda, Sección 1-2, se encuentra direccionada al azimut 150° , la tercera, Sección 2-3, se encuentra direccionada al azimut 160° y la cuarta, Sección 3-A', direccionada al azimut 120° . La Sección B-B' está compuesta por 3 secciones: la primera, Sección B-4, se encuentra direccionada al azimut 40° , la segunda, Sección 4-5, se encuentra direccionada al azimut 60° y coincide con la Sección 4 de la zona

de perforaciones y la tercera, Sección 5-B', se encuentra direccionada al azimut 15°. Para la interpretación de estas secciones se usaron la información detallada en el cartografiado geológico y la información preparada para cada sondaje en el análisis anterior.

Las interpretaciones se realizaron correlacionando la geología de superficie y la información geológica de cada sondaje, teniendo en cuenta la estratigrafía, el emplazamiento de los intrusivos, el emplazamiento de la mineralización y el contexto tectónico de la zona de estudio.

4.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN LA ZONA DE PERFORACIONES

En la zona de perforaciones se distingue dos sectores, de acuerdo a la proyección en planta del cuerpo mineralizado: la **Zona Norte** donde el cuerpo mineralizado presenta forma alargada, es continua y no presenta irregularidades marcadas, y la **Zona Sur** donde el cuerpo mineralizado es mucho más pequeño, alargado, presenta irregularidades bien marcadas y se encuentra desconectado del primero (Figura 4.2).

En la **Zona Norte**, según las interpretaciones realizadas en las secciones transversales (Figura 4.4 – Secciones 1 al 9), la distribución lateral de las unidades litológicas se encuentran dispuestas en forma de escalón descendiente hacia el este. Las unidades que presentan más variación son las Formaciones Chiquerío y Marcona, siendo delgadas y menos profundas hacia el oeste y más potentes y profundas hacia el este, mientras que el Grupo Volcano-sedimentario es constante sobre el cuerpo mineralizado; sin embargo, a partir del límite este del cuerpo mineralizado, también descienden en escalón hacia el este, siendo más potentes en estos sectores. Similar distribución lateral presentan los depósitos cenozoicos,

incrementando notoriamente su potencia hacia el este del cuerpo mineralizado, también incrementa gradualmente su potencia longitudinalmente hacia el sureste. Longitudinalmente, respecto al Complejo Basal de la Costa, de norte a sur inicia con una zona hundida, seguida por una zona de levantamiento gradual y finaliza en una zona hundida (Figura 4.4 – Sección 1-A`).

En la **Zona Sur**, según las interpretaciones realizadas en las secciones transversales (Figura 4.4 – Secciones 10 al 15), la distribución lateral de las unidades litológicas también se encuentran dispuestas en escalón descendiente hacia el este; sin embargo, el Grupo Volcano-sedimentario ha sido casi completamente erosionado, evidenciándose sólo hacia el este del cuerpo mineralizado. La Formación Pisco se encuentra sobre la Formación Marcona y presenta mayor potencia que en la Zona Norte (300 a 400 m), lateralmente no presenta mucha variación. Longitudinalmente, respecto al Complejo Basal de la Costa, de norte a sur inicia con una zona hundida, luego se aprecia una zona notoriamente levantada, para nuevamente hundirse. El extremo sur de esta zona, ha sido intruida por cuerpos masivos de microdiorita y digitaciones del Batolito de la Costa (Figura 4.4 – Sección 1-A`).

Según las observaciones descritas, en las secciones transversales se han identificado sistemas de fallas, con las siguientes características: son **fallas normales**, con buzamientos que varían de 65° a 80° y con dirección de inclinaciones hacia el noreste. La gran mayoría cortan todas las unidades litológicas, sin embargo, se ha observado una falla que afecta sólo a las unidades Pre-Mesozoicas. En la sección longitudinal compuesta también se ha identificado

fallas normales con buzamientos que varían de 65° a 80° y con dirección de inclinación variable.

Realizando las correlaciones sección por sección y proyectando en planta las fallas, se nombraron cada uno de ellas, identificándose tres sistemas de fallas:

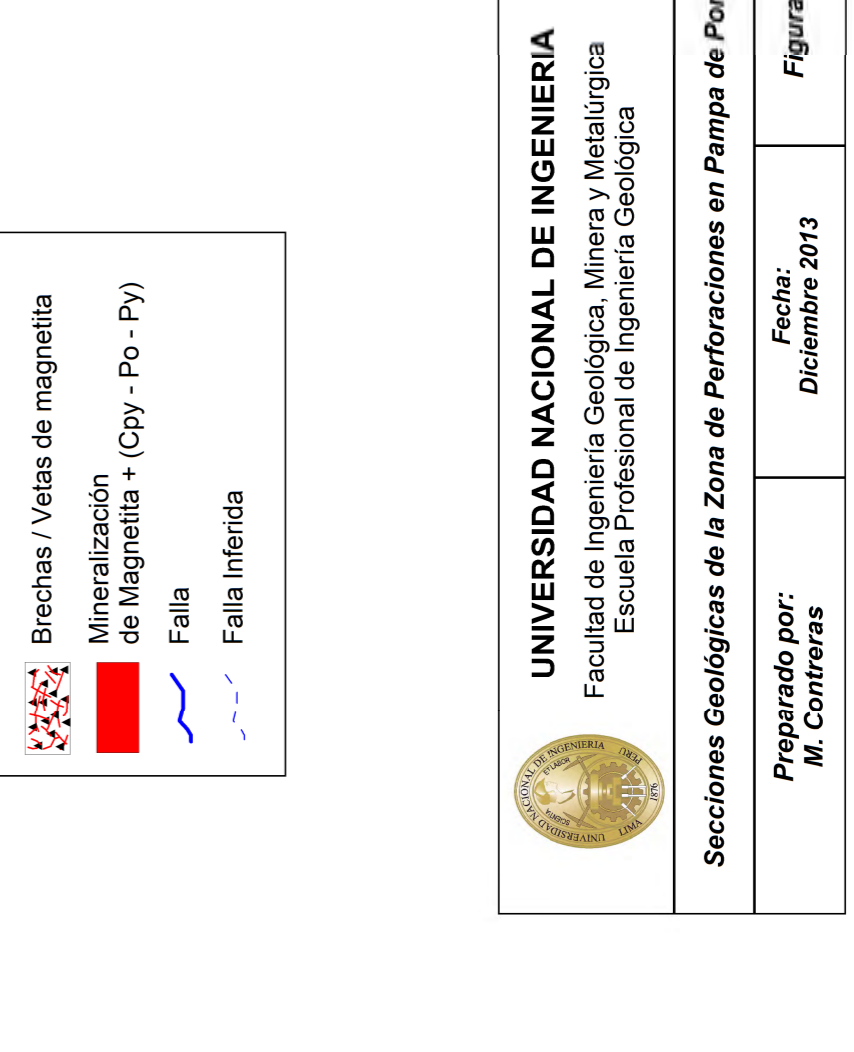
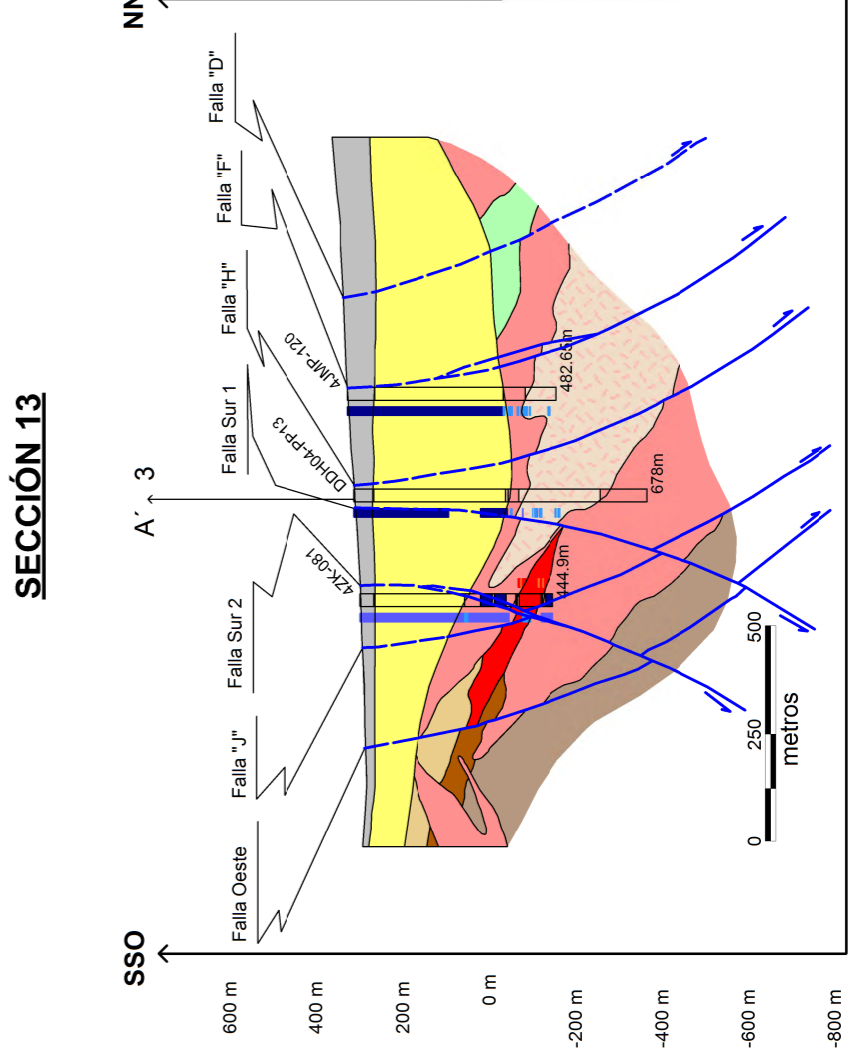
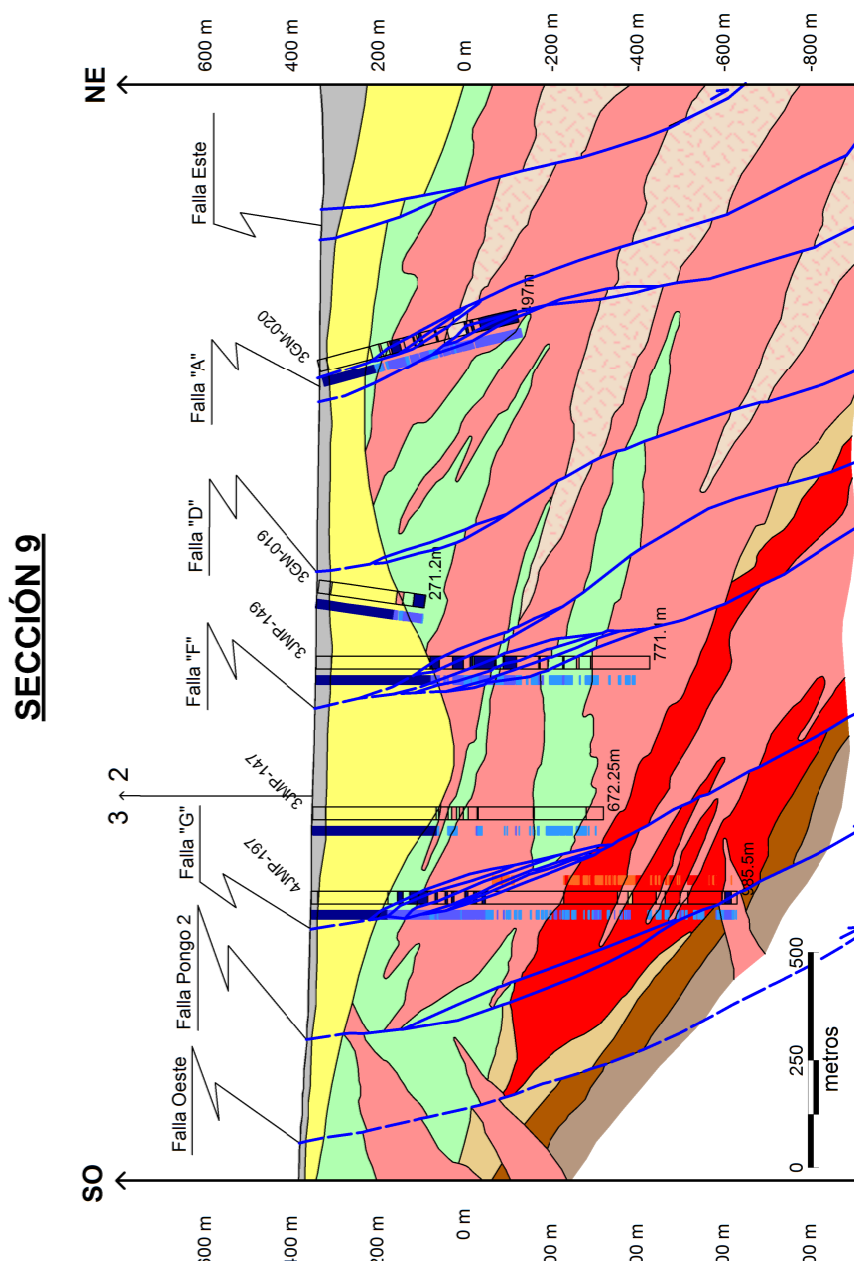
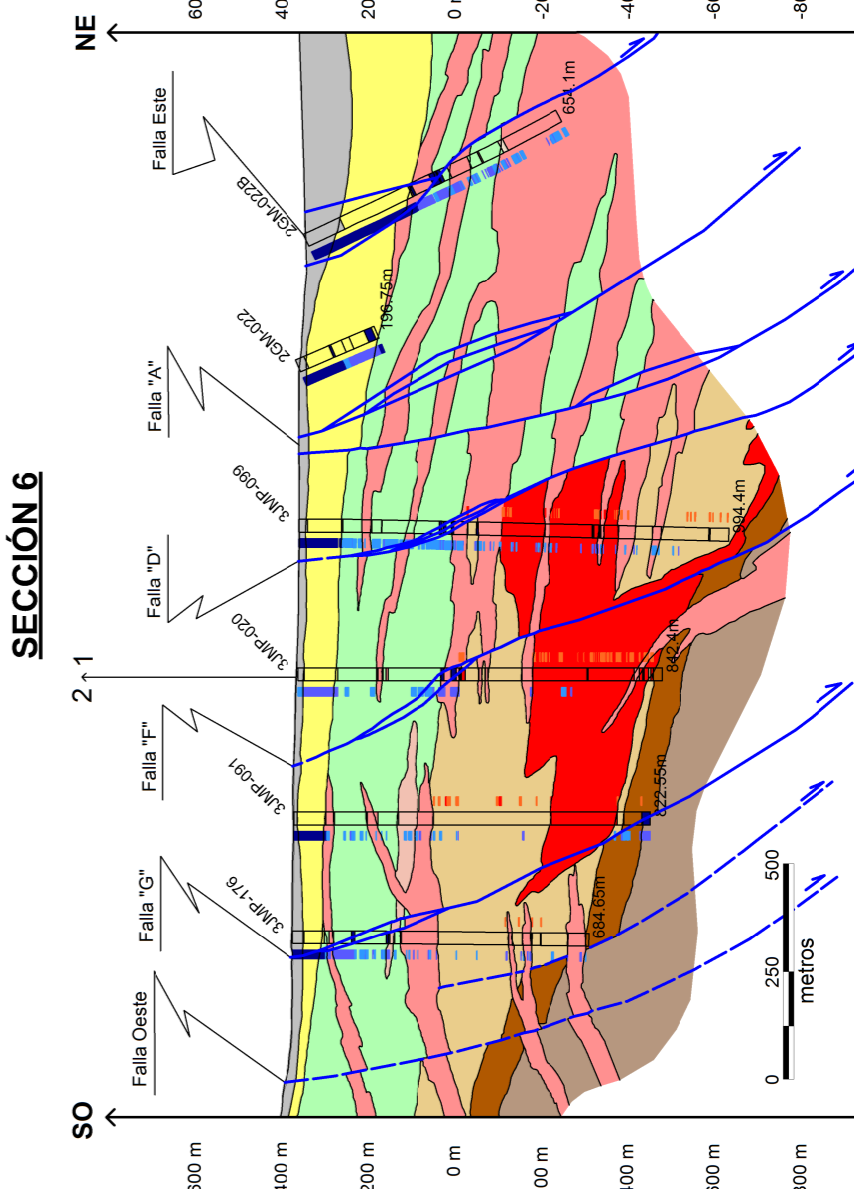
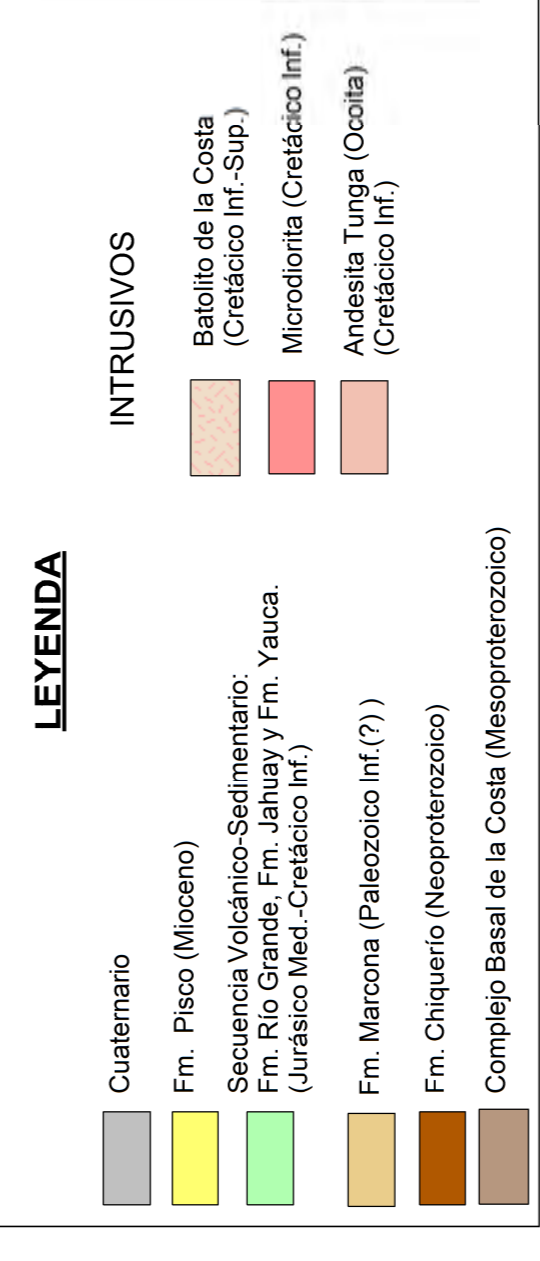
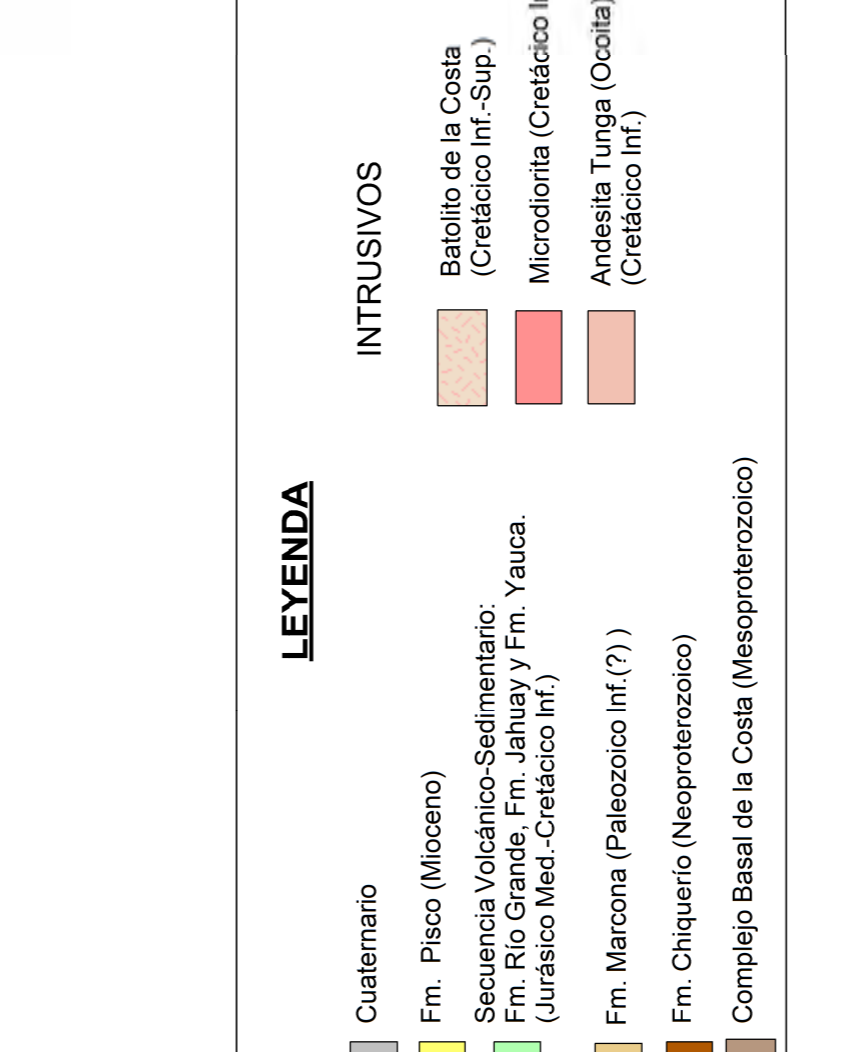
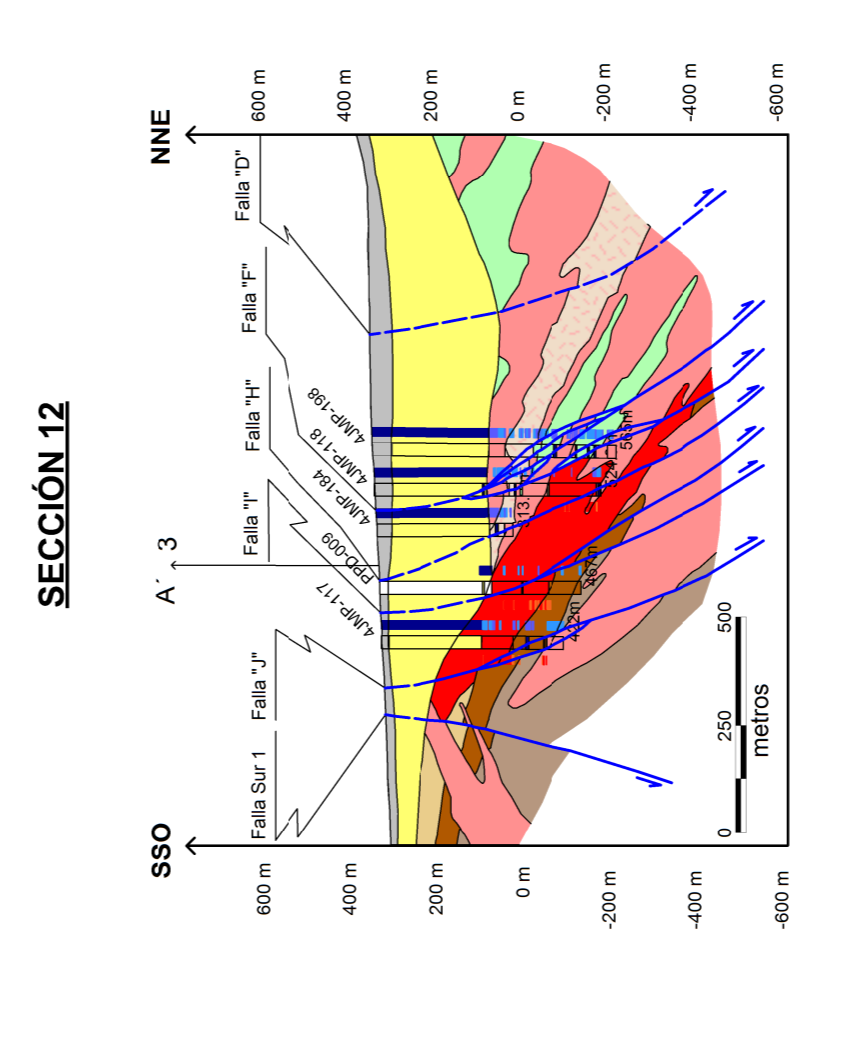
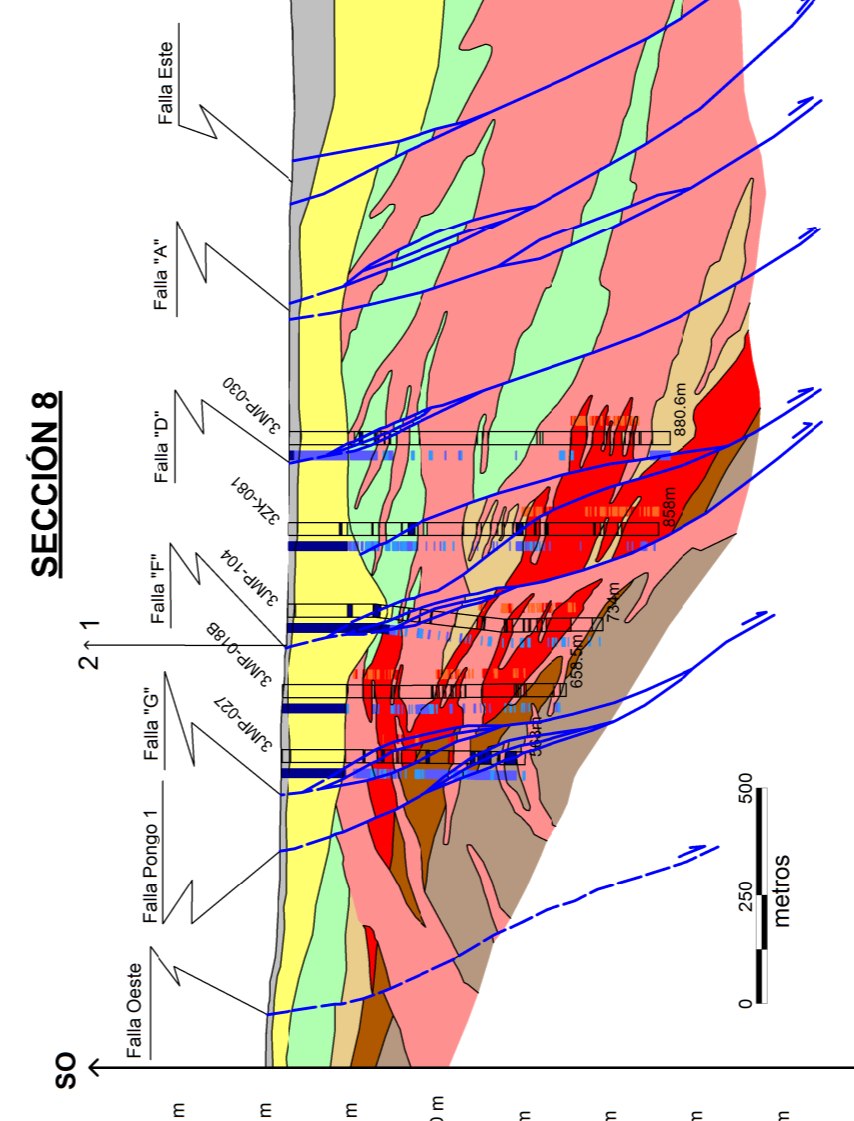
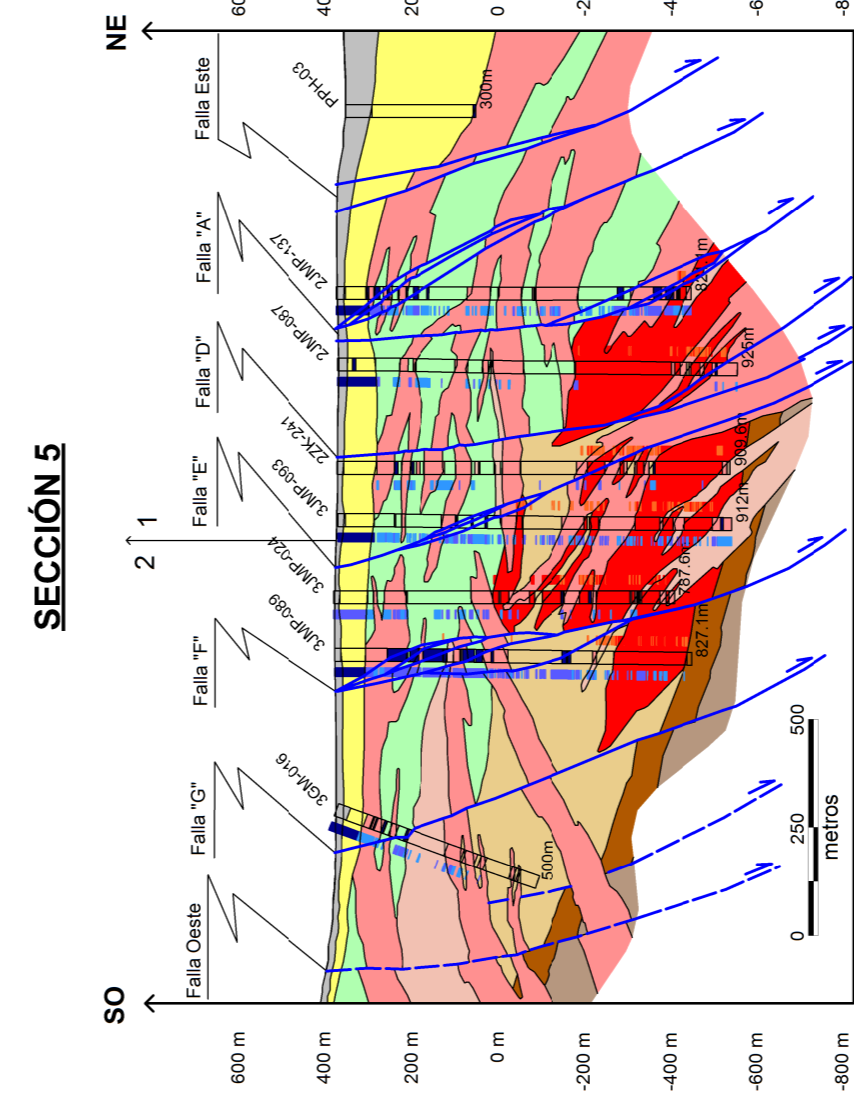
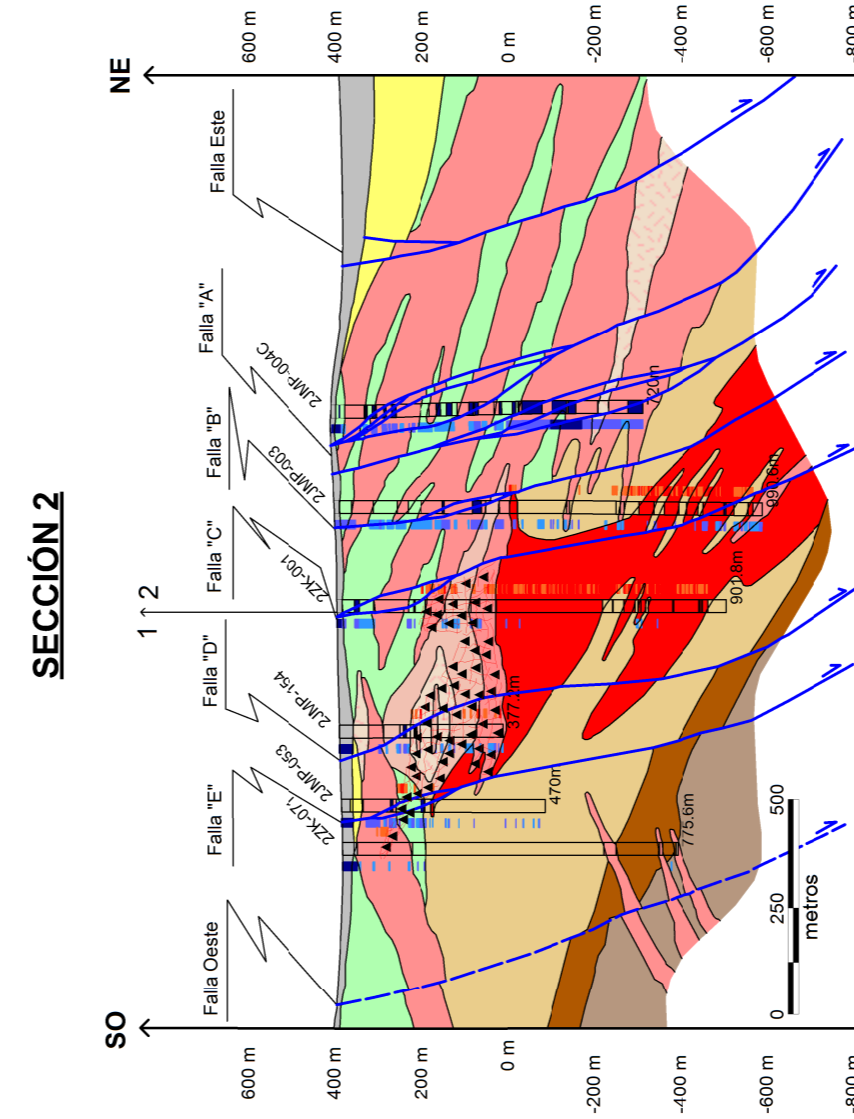
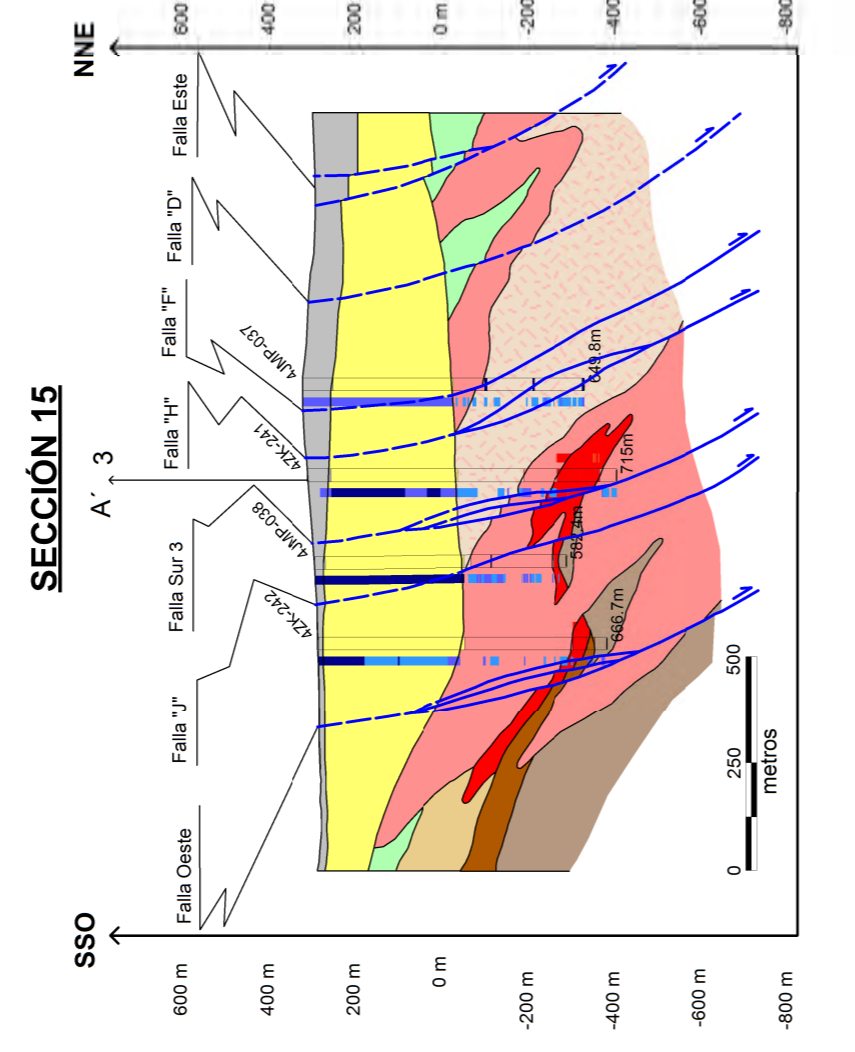
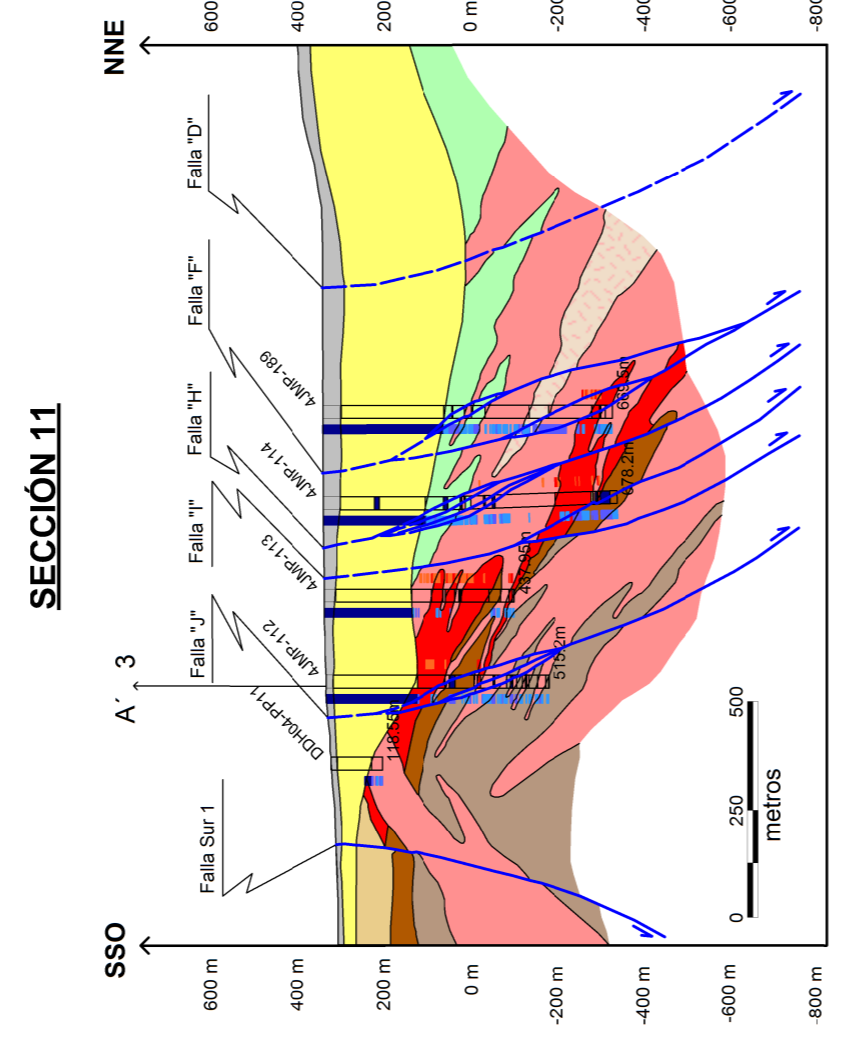
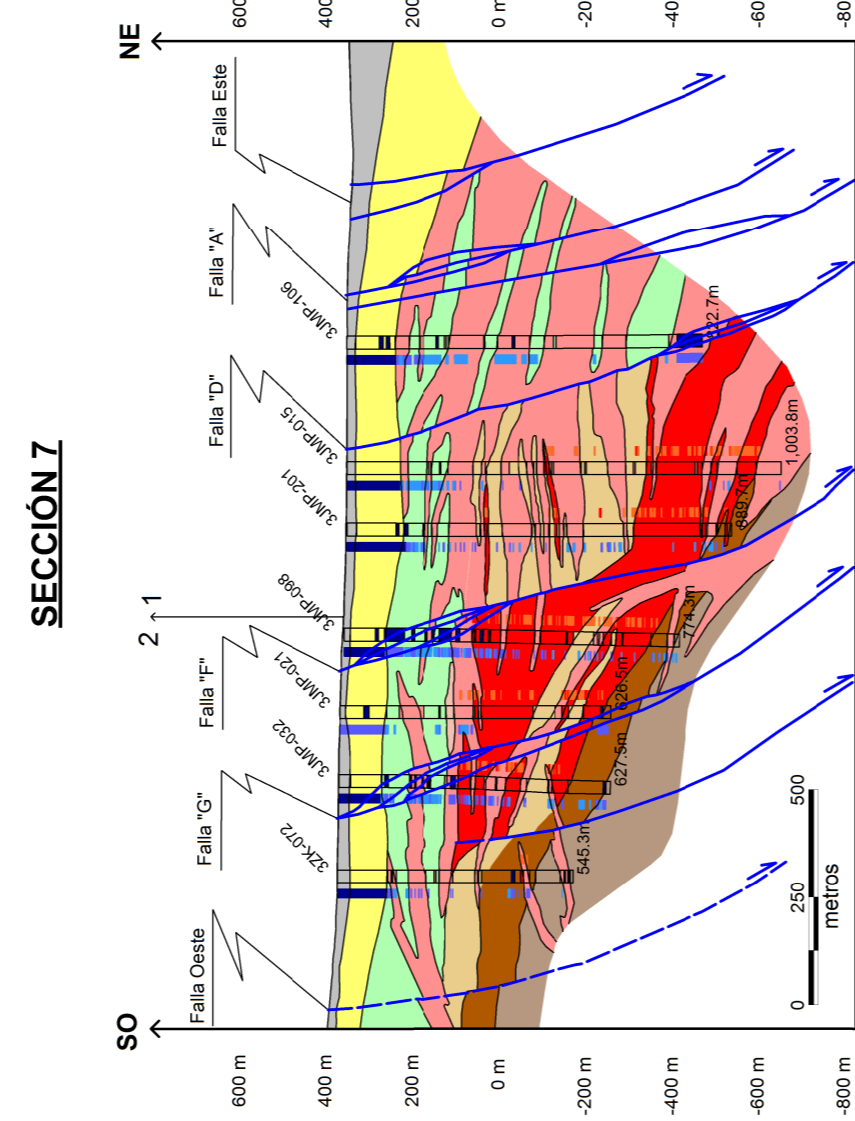
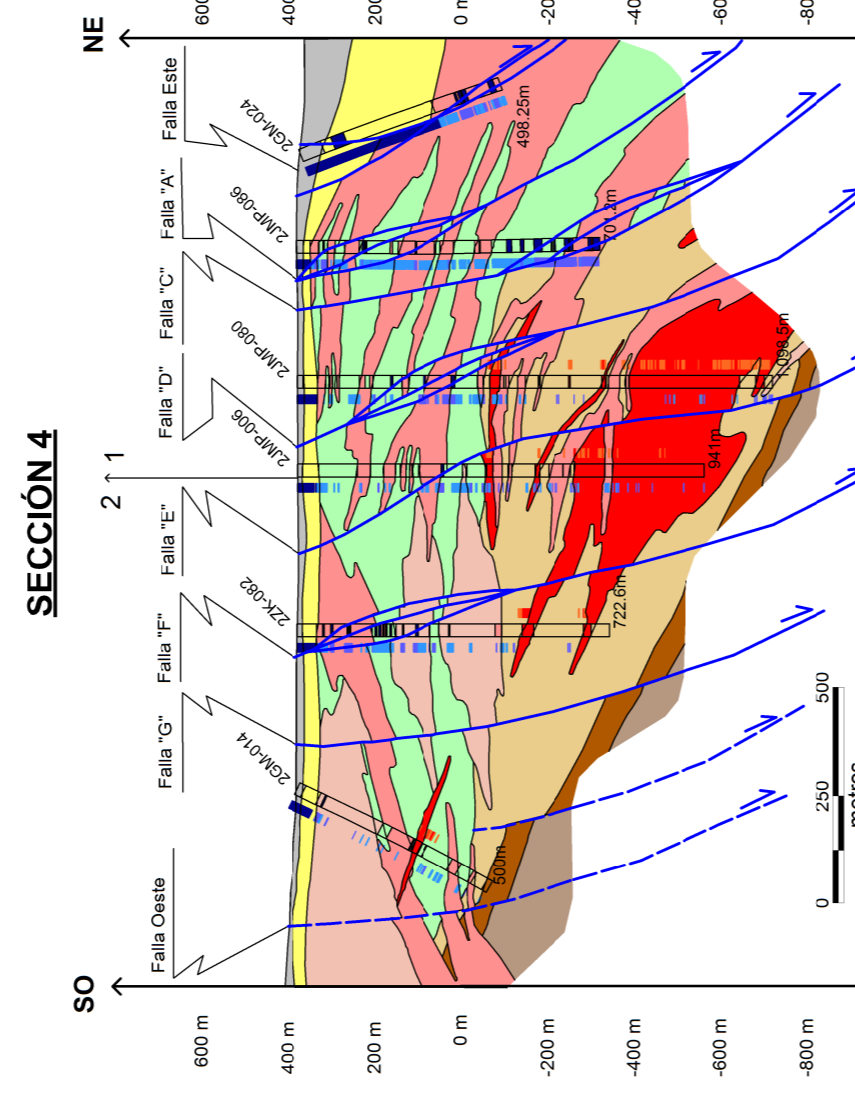
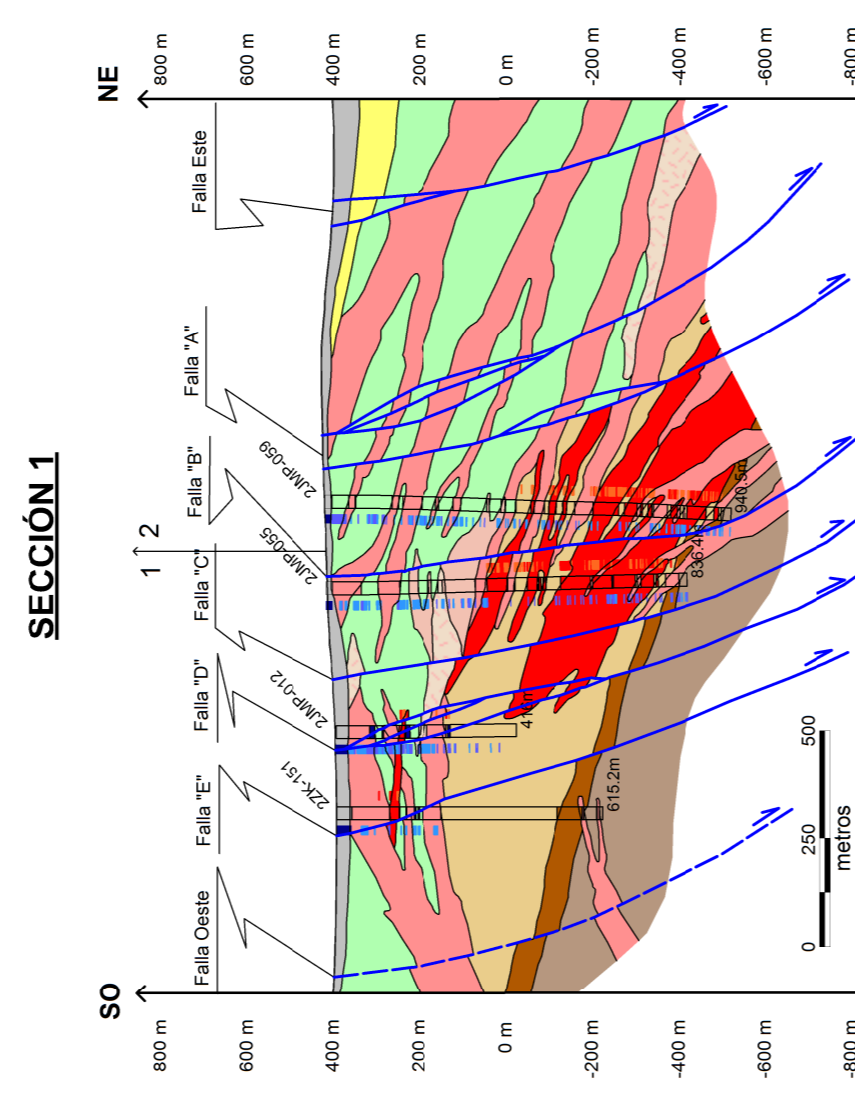
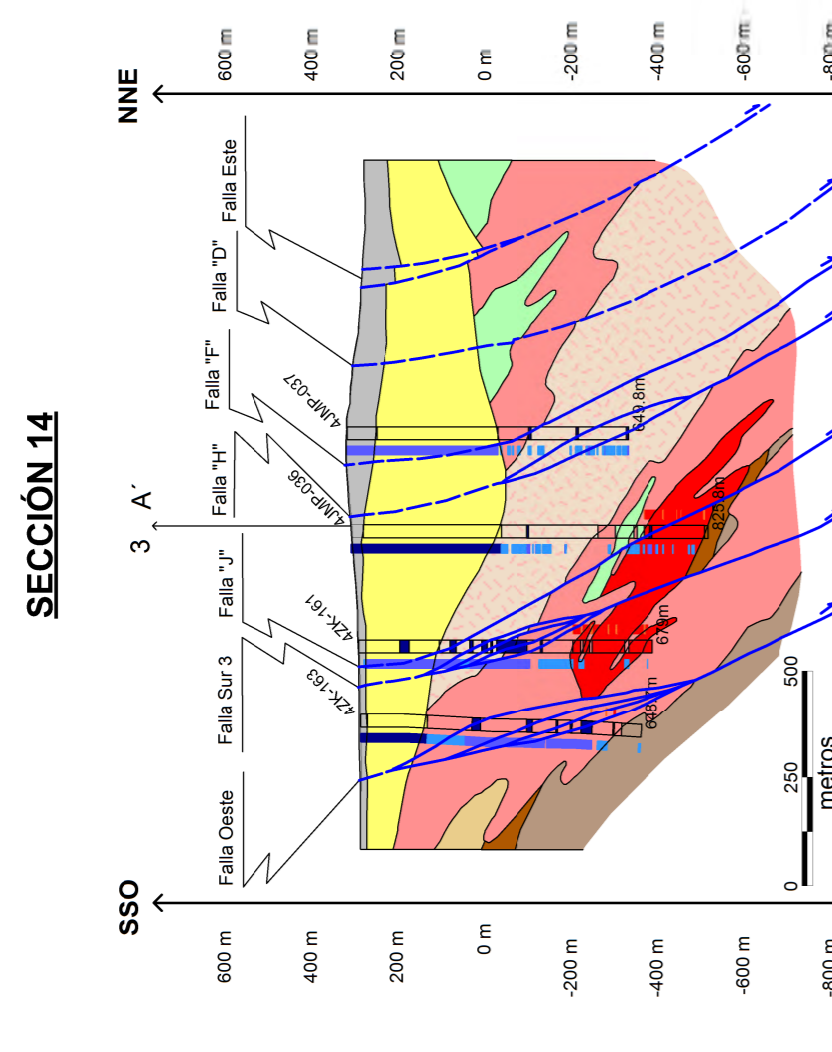
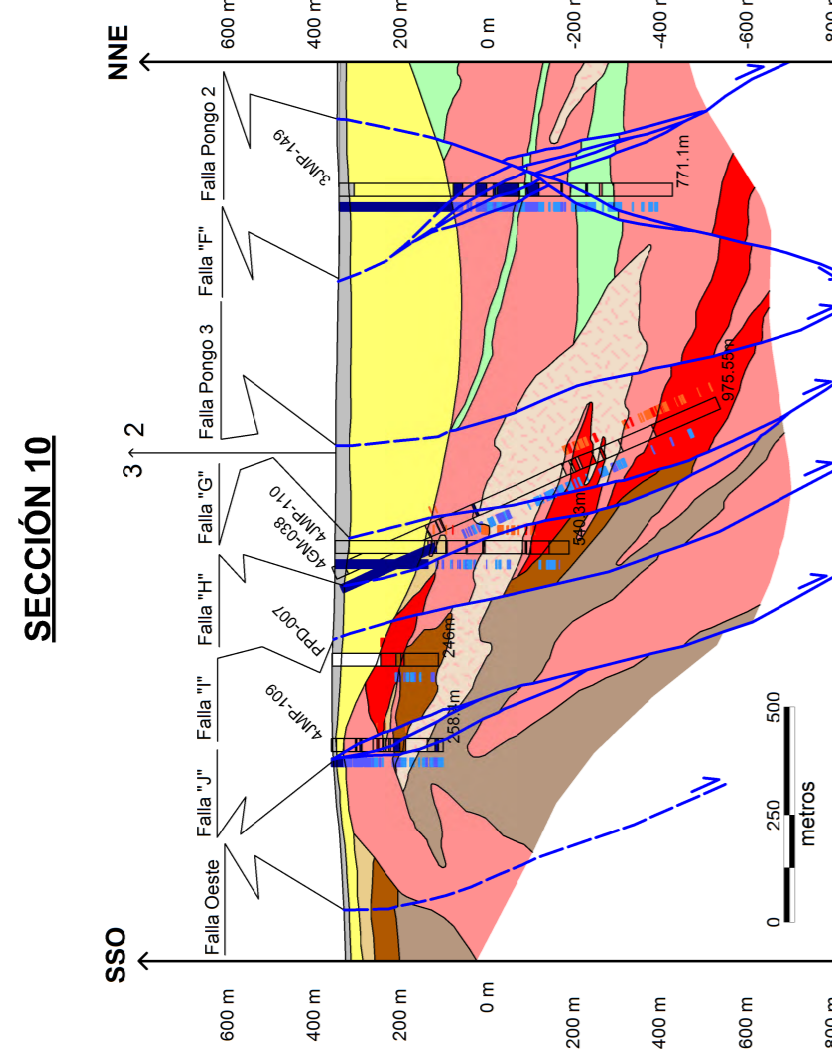
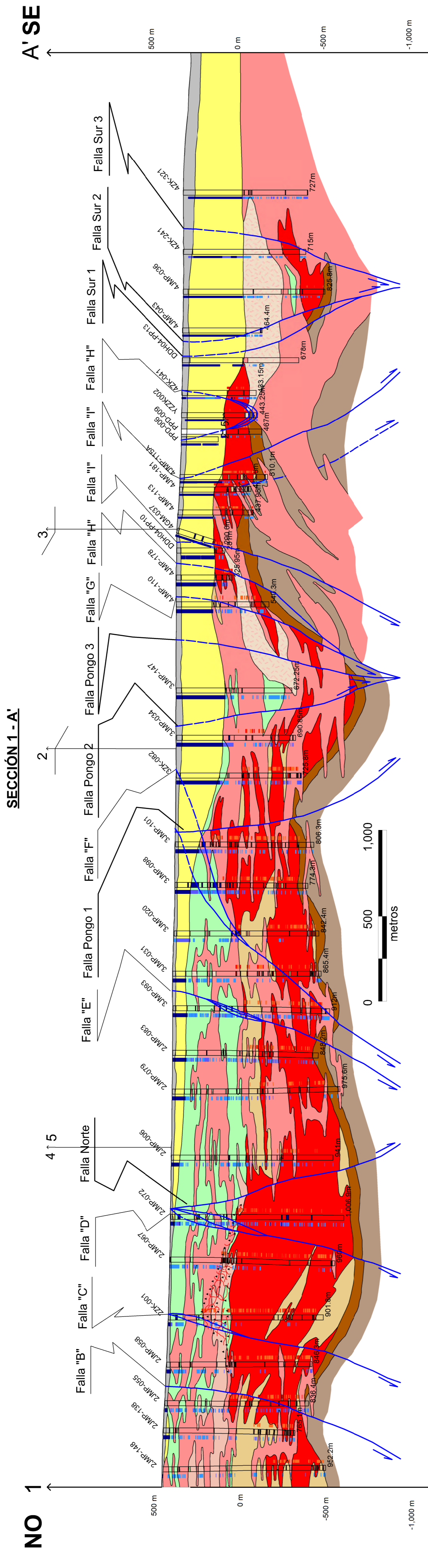
- **El primer sistema de fallas** está conformado por las siguientes fallas:
Falla Este, Falla A, Falla D, Falla F, Falla H, Falla J y Falla Oeste.
- **El segundo sistema de fallas** está conformado por las siguientes fallas:
Falla B, Falla C, Falla E, Falla G y Falla I.
- **El tercer sistema de fallas** está conformado por las siguientes fallas:
Falla Norte, Falla Pongo 1, Falla Pongo 2, Falla Pongo 3, Falla Sur 1, Falla Sur 2 y Falla Sur 3.

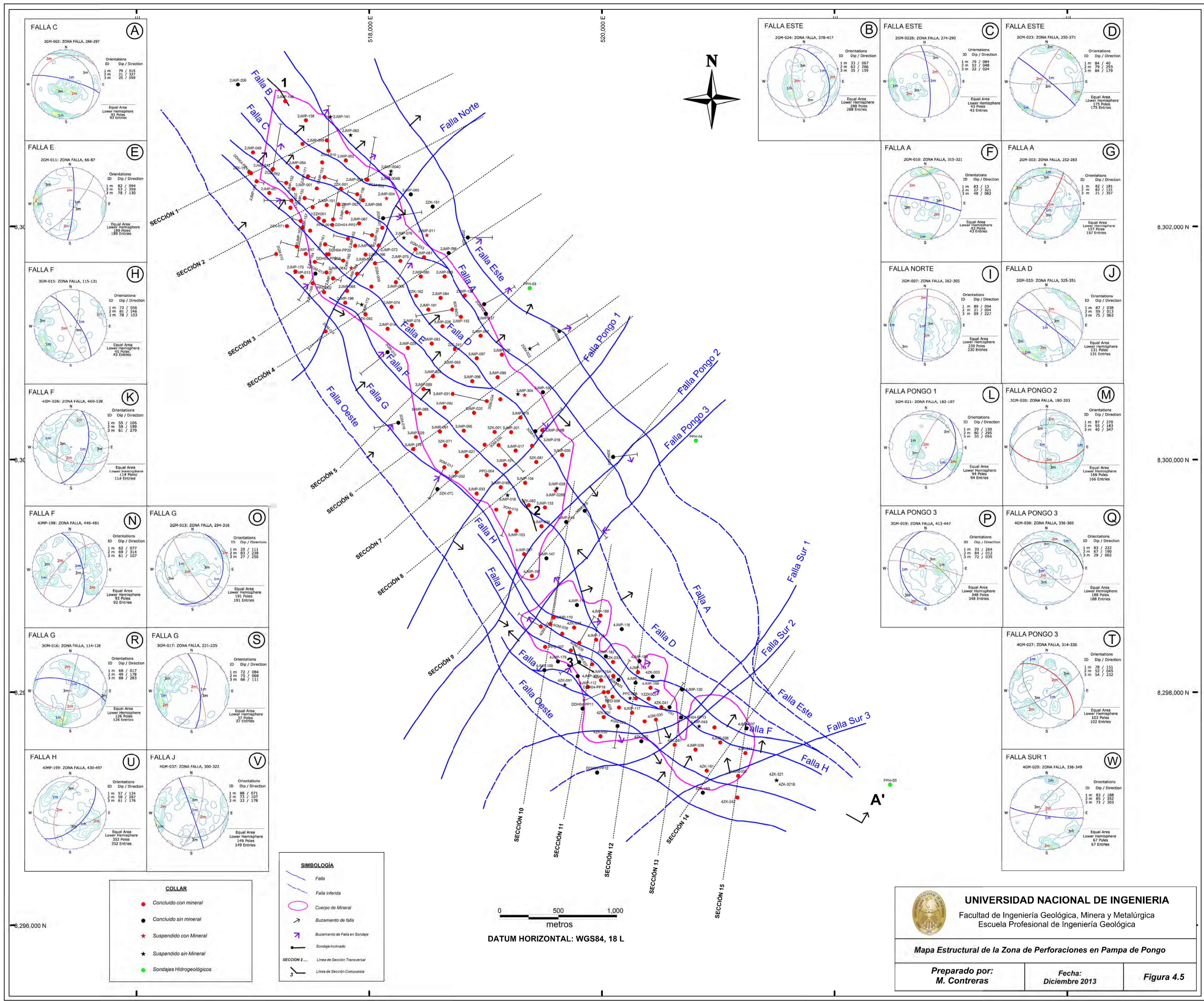
La distribución de cada falla con sus respectivas denominaciones se detalla en la figura 4.5. A continuación se describirá las características de cada falla, agrupadas en sus respectivos sistemas.

4.2.1 Primer Sistema de Fallas

El primer sistema de fallas se prolonga por toda la zona de perforaciones, presentan un alineamiento promedio al azimut 140° (Figura 4.5), **son normales**, tienen buzamientos entre 65° a 80° , con dirección de inclinación hacia el noreste.

4.2.1.1 Falla Este.- Esta falla se ha identificado en la Zona Norte, al Extremo este del cuerpo mineralizado; ha sido validado por tres sondajes proyectados en las secciones 4 y 6 (Figura 4.4).





FALLA C 20M-002: ZONA FALLA, 286-297 Orientations ID Dip / Direction 1 m 82 / 094 2 m 21 / 222 3 m 25 / 096 Equal Area Lower Hemisphere 92 Poles	FALLA E 20M-011: ZONA FALLA, 66-87 Orientations ID Dip / Direction 1 m 82 / 094 2 m 78 / 130 3 m 78 / 130 Equal Area Lower Hemisphere 189 Poles
FALLA F 30M-015: ZONA FALLA, 115-131 Orientations ID Dip / Direction 1 m 72 / 056 2 m 81 / 240 3 m 61 / 279 Equal Area Lower Hemisphere 43 Poles	FALLA F 40M-026: ZONA FALLA, 460-528 Orientations ID Dip / Direction 1 m 55 / 106 2 m 59 / 190 3 m 61 / 279 Equal Area Lower Hemisphere 114 Entries
FALLA F 43M-198: ZONA FALLA, 448-481 Orientations ID Dip / Direction 1 m 82 / 077 2 m 89 / 314 3 m 81 / 230 Equal Area Lower Hemisphere 92 Poles	FALLA G 30M-016: ZONA FALLA, 114-128 Orientations ID Dip / Direction 1 m 68 / 017 2 m 89 / 128 3 m 88 / 283 Equal Area Lower Hemisphere 126 Poles
FALLA G 40M-027: ZONA FALLA, 444-481 Orientations ID Dip / Direction 1 m 82 / 077 2 m 89 / 314 3 m 81 / 230 Equal Area Lower Hemisphere 92 Poles	FALLA H 43M-199: ZONA FALLA, 430-497 Orientations ID Dip / Direction 1 m 52 / 124 2 m 84 / 192 3 m 84 / 192 Equal Area Lower Hemisphere 352 Poles
FALLA G 30M-017: ZONA FALLA, 231-235 Orientations ID Dip / Direction 1 m 72 / 084 2 m 66 / 111 3 m 66 / 111 Equal Area Lower Hemisphere 37 Poles	FALLA J 40M-037: ZONA FALLA, 300-322 Orientations ID Dip / Direction 1 m 88 / 021 2 m 83 / 159 3 m 83 / 159 Equal Area Lower Hemisphere 149 Poles

FALLA A 20M-010: ZONA FALLA, 315-321 Orientations ID Dip / Direction 1 m 83 / 13 2 m 48 / 062 3 m 48 / 062 Equal Area Lower Hemisphere 43 Poles	FALLA A 20M-023: ZONA FALLA, 250-271 Orientations ID Dip / Direction 1 m 84 / 263 2 m 84 / 263 3 m 84 / 179 Equal Area Lower Hemisphere 175 Poles
FALLA NORTE 20M-007: ZONA FALLA, 262-305 Orientations ID Dip / Direction 1 m 89 / 094 2 m 89 / 227 3 m 89 / 227 Equal Area Lower Hemisphere 230 Poles	FALLA D 20M-033: ZONA FALLA, 325-351 Orientations ID Dip / Direction 1 m 87 / 038 2 m 95 / 083 3 m 21 / 357 Equal Area Lower Hemisphere 137 Poles
FALLA PONGO 1 30M-021: ZONA FALLA, 182-197 Orientations ID Dip / Direction 1 m 87 / 270 2 m 85 / 183 3 m 50 / 054 Equal Area Lower Hemisphere 94 Poles	FALLA PONGO 2 30M-020: ZONA FALLA, 180-203 Orientations ID Dip / Direction 1 m 87 / 270 2 m 85 / 183 3 m 40 / 347 Equal Area Lower Hemisphere 166 Poles
FALLA PONGO 3 30M-019: ZONA FALLA, 413-447 Orientations ID Dip / Direction 1 m 83 / 264 2 m 83 / 035 3 m 72 / 035 Equal Area Lower Hemisphere 348 Poles	FALLA PONGO 3 40M-038: ZONA FALLA, 338-360 Orientations ID Dip / Direction 1 m 82 / 222 2 m 83 / 260 3 m 72 / 060 Equal Area Lower Hemisphere 188 Poles
FALLA PONGO 3 40M-027: ZONA FALLA, 314-335 Orientations ID Dip / Direction 1 m 82 / 222 2 m 83 / 260 3 m 54 / 232 Equal Area Lower Hemisphere 102 Poles	FALLA SUR 1 40M-025: ZONA FALLA, 336-349 Orientations ID Dip / Direction 1 m 83 / 088 2 m 85 / 302 3 m 72 / 032 Equal Area Lower Hemisphere 67 Poles

SIMBOLOGÍA

- Falla
- Falla inferida
- Cuerpo de Mineral
- Buzamiento de falla
- Buzamiento de Falla en Sondaje
- Sondaje Inclinado
- SECCIÓN 1 ... Línea de Sección Transversal
- 3 Línea de Sección Compuesta

COLLAR

- Concluido con mineral
- Concluido sin mineral
- ★ Suspendido con Mineral
- ★ Suspendido sin Mineral
- Sondajes Hidrogeológicos

0 500 1,000
 metros
 DATUM HORIZONTAL: WGS84, 18 L

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Mapa Estructural de la Zona de Perforaciones en Pampa de Pongo

Preparado por: M. Contreras
Fecha: Diciembre 2013
Figura 4.5

En la Zona Sur se ha inferido su proyección en base a la topografía. La dirección de buzamiento ha sido corroborada por las proyecciones estereográficas del sistema principal de discontinuidades, procesados con datos provenientes de las zonas de falla, identificados en los sondajes 2GM-024, 2GM-023 y 2GM-022B, los cuales indican dirección de inclinación de NE a E (Figura 4.5 B, C y D). Desplaza verticalmente alrededor de 200 m a la Formación Pisco y se desconoce el desplazamiento vertical del Grupo Volcano-sedimentario.

4.2.1.2 Falla A.- Es un sistema de fallas identificado en la Zona Norte, al oeste de la Falla Este; ha sido validado por varios sondajes proyectados en las diferentes secciones de la Zona Norte. En la Zona Sur se ha inferido su proyección en base a la topografía. La dirección de buzamiento han sido corroboradas por las proyecciones estereográficas del sistema principal de discontinuidades, procesados con datos provenientes de las zonas de falla, identificados en los sondajes 2GM-010 y 2GM-003, los cuales indican dirección de inclinación del NNE a SE (Figura 4.5 F y G). Este sistema de fallas desplaza verticalmente alrededor de 200 m al Grupo Volcano-sedimentario, incrementando su desplazamiento hacia el sur y no afecta verticalmente a los depósitos cenozoicos. Hacia el noreste de la Zona Norte es el limitante del cuerpo mineralizado.

4.2.1.3 Falla D.- Esta falla se ha identificado en la Zona Norte, al oeste de la Falla A; ha sido validado por varios sondajes proyectados en las diferentes secciones. En la Zona Sur se ha inferido su proyección en base a la topografía. La dirección de buzamiento ha sido corroborada por la proyección estereográfica del sistema principal de discontinuidades, procesados con datos provenientes de la zona de falla, identificado en el sondaje 2GM-033, el cual indica una dirección de inclinación

de NE (Figura 4.5 J). A partir de la Falla Norte hasta la Falla Pongo 2, es el limitante Noreste del cuerpo mineralizado. El desplazamiento vertical del bloque techo incrementa notoriamente hacia el sur, desplazando al Grupo Volcano-sedimentario, unas decenas de metros al norte y más de 400 m al sur. No afecta verticalmente a los depósitos cenozoicos.

4.2.1.4 Falla F.- Esta falla se ha identificado en la Zona Norte y Sur, al oeste de la Falla D; ha sido validado por varios sondajes proyectados en las diferentes secciones. La dirección de buzamiento han sido corroboradas por las proyecciones estereográficas del sistema principal de discontinuidades, procesados con datos provenientes de las zonas de falla, identificados en los sondajes 3GM-015, 4JMP-198 y 4GM-026, los cuales indican dirección de inclinación de NE a E (Figura 4.5 H, K y N). Desplaza verticalmente alrededor de 50 m a la Formación Marcona, incrementando su desplazamiento hacia el sur, ligeramente desplaza verticalmente del Grupo Volcano-sedimentario y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.2.1.5 Falla H.- Esta falla se ha identificado en la Zona Sur, al oeste de la Falla F; ha sido validado por varios sondajes proyectados en las diferentes secciones. La dirección de buzamiento ha sido corroborada por la proyección estereográfica del sistema principal de discontinuidades, procesados con datos provenientes de la zona de falla, identificado en el sondaje 4JMP-199, el cual indica una dirección de inclinación al SE (Figura 4.5 U). Desplaza verticalmente alrededor de 30 m a las unidades pre-cenozoicas y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.2.1.6 Falla J.- Esta falla se ha identificado en la Zona Sur, al oeste de la Falla H; ha sido validado por varios sondajes proyectados en las diferentes secciones. La dirección de buzamiento ha sido corroborada por la proyección estereográfica del

sistema principal de discontinuidades, procesados con datos provenientes de la zona de falla, identificado en el sondaje 4GM-037, el cual indica una dirección de inclinación al NE (Figura 4.5 V). Desplaza verticalmente alrededor de 30 m a las unidades pre-cenozoicas y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.2.1.7 Falla Oeste.- Esta falla se ha identificado en la Zona Sur, al oeste de la Falla J; ha sido validado por dos sondajes proyectados en las secciones 14 y 15 (Figura 4.4). En la Zona Norte se ha inferido su proyección, en base a la geofísica y topografía. Desplaza verticalmente alrededor de 30 m a las unidades pre-cenozoicas y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.2.2 Segundo Sistema de Fallas

El segundo sistema de fallas no es prolongado y se unen al primer sistema de fallas; presentan alineamiento promedio al azimut 127° (Figura 4.5), **son normales** y las características de inclinación y comportamiento en profundidad son similares al primer sistema.

4.2.2.1 Falla B.- Esta falla se ha identificado en la Zona Norte, al oeste de la Falla A; ha sido validado por dos sondajes proyectados en las secciones 1 y 2 (Figura 4.4). Se une a la Falla A, antes de cruzar la Falla Norte. Desplaza verticalmente alrededor de 100 m al Grupo Volcano-sedimentario y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.2.2.2 Falla C.- Esta falla se ha identificado en la Zona Norte, al oeste de la Falla B; ha sido validado por varios sondajes proyectados en las diferentes secciones. Se une a la Falla A en las proximidades del sondaje 2JMP-085. La dirección de buzamiento ha sido corroborada por la proyección estereográfica del sistema

principal de discontinuidades, procesados con datos provenientes de la zona de falla, identificado en el sondaje 2GM-002, el cual indican una dirección de inclinación al NNE (Figura 4.5 A). Desplaza verticalmente alrededor de 100 m a las unidades pre-cenozoicas, incrementando su desplazamiento al sur y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.2.2.3 Falla E.- Esta falla se ha identificado en la Zona Norte, al oeste de la Falla D; ha sido validado por varios sondajes proyectados en las diferentes secciones. Se une a la Falla D en las proximidades del sondaje 3JMP-099. La dirección de buzamiento ha sido corroborada por la proyección estereográfica del sistema principal de discontinuidades, procesados con datos provenientes de la zona de falla, identificado en el sondaje 2GM-011, el cual indica una dirección de inclinación al E (Figura 4.5 E). Desplaza verticalmente alrededor de 50 m a las unidades pre-cenozoicas y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.2.2.4 Falla G.- Esta falla se ha identificado en la Zona Norte, al oeste de la Falla F; ha sido validado por varios sondajes proyectados en las diferentes secciones. Se une a la Falla F en la Zona Sur, en las proximidades del sondaje 4JMP-114. La dirección de buzamiento han sido corroboradas por las proyecciones estereográficas del sistema principal de discontinuidades, procesados con datos provenientes de las zonas de falla, identificados en los sondajes 2GM-013 y 3GM-017, los cuales indican dirección de inclinación al E (Figura 4.5 O y S). Desplaza verticalmente alrededor de 50 m a las unidades pre-cenozoicas y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.2.2.5 Falla I.- Esta falla se ha identificado en la Zona Sur, al oeste de la Falla H; ha sido validado por dos sondajes proyectados en las secciones 11 y 12 (Figura 4.4). Se une a la Falla H, en las proximidades del sondaje 4GM-031. Desplaza verticalmente alrededor de 50 m a las unidades pre-mesozoicas y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.2.3 Tercer Sistema de Fallas

El tercer sistema de fallas se ha identificado en la sección longitudinal compuesta (Figura 4.4 – Sección 1-A'), son ortogonales a los dos sistemas de fallas anteriores y cortan a los mismos; tienen un alineamiento promedio al azimut 40° y en la Zona Sur presentan concavamiento hacia el noreste (Figura 4.5). **Son normales**, presentan buzamientos entre 70° a 80° y sus direcciones de inclinaciones varían. En la Zona Norte estas fallas tienen dirección de inclinación al sureste, En la Zona Sur, dos fallas de este sistema tienen dirección de inclinaciones hacia el sureste y otras dos fallas tienen dirección de inclinación hacia el noroeste.

4.2.3.1 Falla Norte.- Esta falla se ha identificado en la Zona Norte, cortando al cuerpo mineralizado y ha sido validado por varios sondajes. La dirección de buzamiento ha sido corroborada por la proyección estereográfica del sistema principal de discontinuidades, procesados con datos provenientes de la zona de falla, identificado en el sondaje 2GM-007, el cual indica una dirección de inclinación al E (Figura 4.5 I). Hacia el norte de esta falla, el cuerpo mineralizado presenta la mayor potencia y también se localiza la zona de brechas y vetas (Figura 4.4 Sección 1-A' y Sección 2). Desplaza verticalmente alrededor de 50 m a las unidades pre-cenozoicas y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.2.3.2 Falla Pongo 1.- Esta falla se ha identificado al sur de la Zona Norte, cortando al cuerpo mineralizado y ha sido validado por varios sondajes. La dirección de buzamiento ha sido corroborada por la proyección estereográfica del sistema principal de discontinuidades, procesados con datos provenientes de la zona de falla, identificado en el sondaje 3GM-021, el cual indica una dirección de inclinación al SE (Figura 4.5 L). Desplaza verticalmente alrededor de 50 m a las unidades pre-cenozoicas y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.2.3.3 Falla Pongo 2.- Esta falla se ha identificado al sur de la Falla Pongo 1 y es el límite sur del cuerpo mineralizado de la Zona Norte; ha sido validado por dos sondajes proyectados en las secciones 9 y 10 (Figura 4.4). La dirección de buzamiento ha sido corroborada por la proyección estereográfica del sistema principal de discontinuidades, procesados con datos provenientes de la zona de falla, identificado en el sondaje 3GM-020, el cual indica una dirección de inclinación al S (Figura 4.5 M). Desplaza verticalmente alrededor de 50 m a las unidades pre-cenozoicas y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.2.3.4 Falla Pongo 3.- Esta falla se ha identificado al sur de la Falla Pongo 2 y la dirección de buzamiento es opuesto a las tres primeras fallas de este sistema; es el límite norte del cuerpo mineralizado de la Zona Sur y ha sido validado por tres sondajes. La dirección de buzamiento han sido corroboradas por las proyecciones estereográficas del sistema principal de discontinuidades, procesados con datos provenientes de las zonas de falla, identificados en los sondajes 3GM-019, 4GM-027 y 4GM-038, los cuales indican dirección de inclinación de O a NE (Figura 4.5 P, Q y T). Desplaza verticalmente alrededor de 50 m a las unidades pre-cenozoicas y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.2.3.5 Falla Sur 1.- Esta falla se ha identificado en la Zona Sur cortando al cuerpo mineralizado y ha sido validado por varios sondajes. La dirección de buzamiento ha sido corroborada por la proyección estereográfica del sistema principal de discontinuidades, procesados con datos provenientes de la zona de falla, identificado en el sondaje 4GM-029, el cual indica dirección de inclinación al S (Figura 4.5 W). Desplaza verticalmente alrededor de 50 m a las unidades pre-cenozoicas y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.2.3.6 Falla Sur 2.- Esta falla se ha identificado al sur de la Falla Sur 1, cortando al cuerpo mineralizado y ha sido validado por tres sondajes. La dirección de buzamiento ha sido interpretada al sur. Desplaza verticalmente alrededor de 50 m a las unidades pre-cenozoicas y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.2.3.7 Falla Sur 3.- Esta falla se ha identificado al sur de la Falla Sur 2 y es el límite meridional del cuerpo mineralizado de la Zona Sur. Ha sido validado por dos sondajes y la dirección de buzamiento ha sido interpretada al norte, siendo opuesto a las Fallas Sur 1 y Sur 2. Desplaza verticalmente alrededor de 100 m a las unidades pre-cenozoicas y no afecta a los depósitos cenozoicos.

4.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL INTEGRAL DE LA ZONA CARTOGRAFIADA Y LA ZONA DE PERFORACIONES

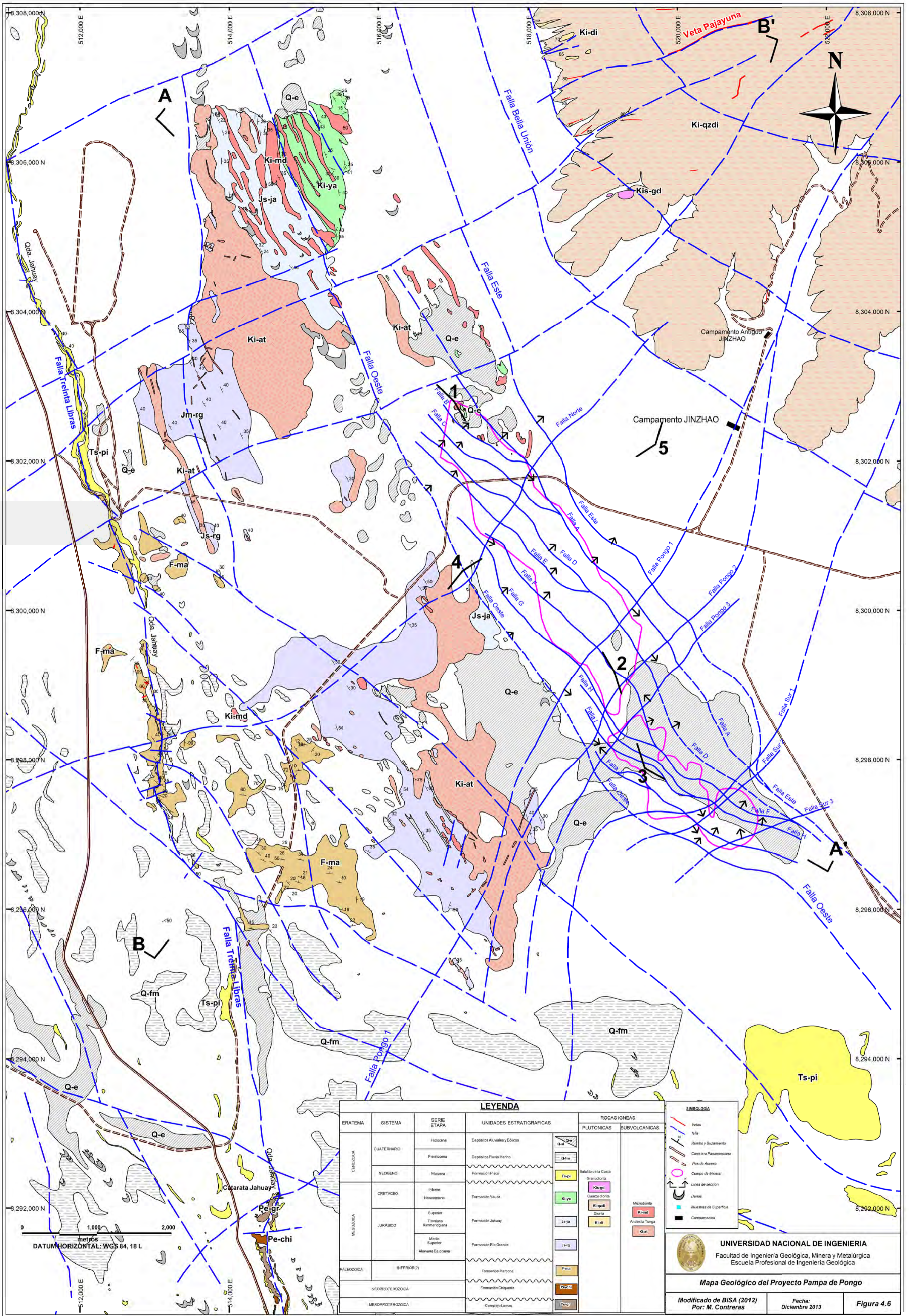
Según la distribución de las unidades litológicas, la zona de estudio presenta tres dominios: el dominio Norte, Dominio Central y dominio Sur. El dominio Norte se encuentra localizado al noreste de la zona de estudio, en este sector se ha emplazado el Batolito de la Costa. En el dominio Central afloran las formaciones Marcona, Rio Grande, Jahuay, Yauca, intruidas por las Andesitas Tunga y sills microdioríticos, cubiertos por la Formación Pisco. El dominio Sur se encuentra al

suroeste de la zona de estudio, en este sector afloran las rocas precámbricas, conformados por el Complejo Basal de la Costa y la Formación Chiquerío (Figura 4.6).

En el dominio Norte, según el cartografiado geológico, se han identificado un sistema de fallas normales, con rumbos de NO a SE y buzamiento al SO. La actividad de estas fallas ha originado una especie de escalinatas descendientes al oeste, los cuales han modelado la ladera occidental del Batolito de la Costa. Son cortados por quebradas, alineadas al NE, se infiere que por estas quebradas pasan un segundo sistema de fallas (Figura 4.6).

En el dominio Central se localiza la zona de perforaciones, en el cual se han identificado tres sistemas de fallas normales. El sistema principal tiene un rumbo de NO a SE y buzamiento al NE, el segundo sistema de fallas tiene un rumbo de ONO a ESE y buzamiento al NE y tercer sistema de fallas es ortogonal a los dos primeros sistemas con un rumbo de NE a SO y buzamiento predominante al SE. Según el cartografiado geológico se han identificado dos sistemas de alineamientos que coinciden con el primer y el tercer sistema de fallas, identificado en la zona de perforaciones (Figura 4.6).

En el dominio Sur, según el cartografiado geológico, se han identificado dos sistemas de alineamientos que corresponden a fallas normales, el principal tiene un rumbo de ENE a OSO con una tendencia de inclinación hacia el sur, el segundo sistema corta al primero y tiene un rumbo de NS con una ligera inclinación al oeste (Figura 4.6).



LEYENDA			
ERATEMA	SISTEMA	SERIE ETAPA	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS
CENozoica	CUATERNARIO	Holocena	Depósitos Aluviales y Eólicos
		Pleistocena	Depósitos Fluvio Marinos
	NEOGENO	Miocena	Formación Pango
MESOzoica	CRETACEO	Inferior	Formación Yacón
		Neocomiana	Formación Jahauy
	JURASICO	Superior	Formación Jahauy
		Titoniense	Formación Rio Grande
PALEOZOICA	(INFERIOR?)		Formación Marconal
	NEOPROTEROZOICA		Formación Chiquero
MESOPROTEROZOICA			Complexo Lomas

ROCAS IGNEAS	
PLUTONICAS	SUBVOLCANICAS
Granodiorita	Andesita Tungva
Cuarzo-diorita	Ki-at
Diorita	
Ki-gd	
Ki-ya	
Ki-qd	
Ki-di	
Ki-at	

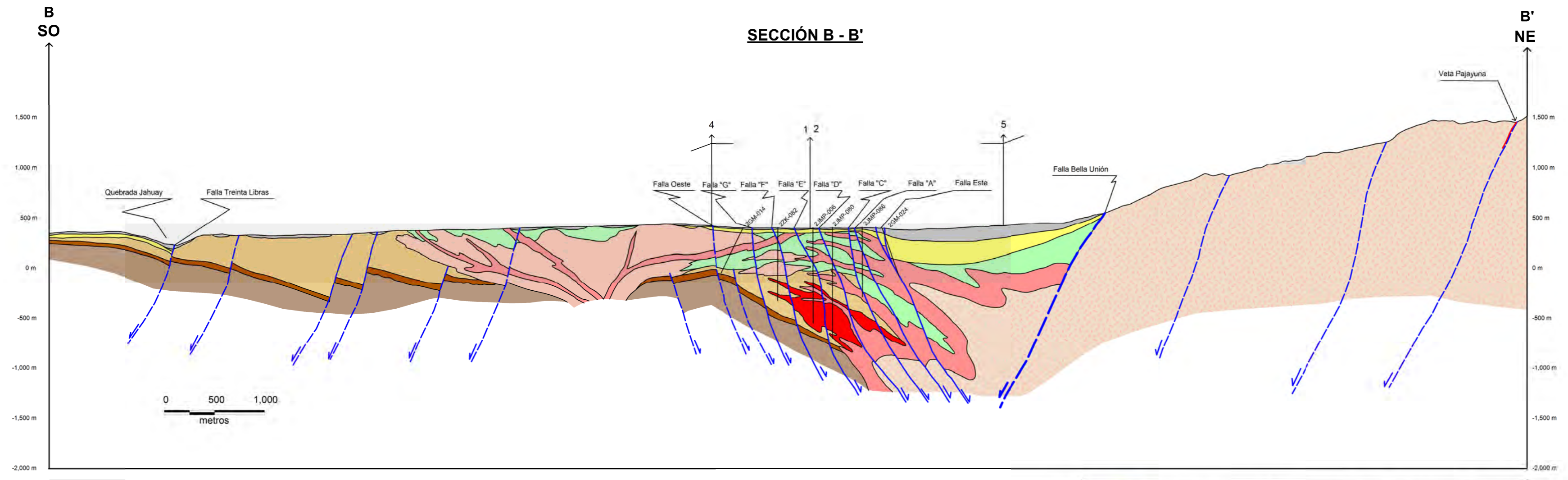
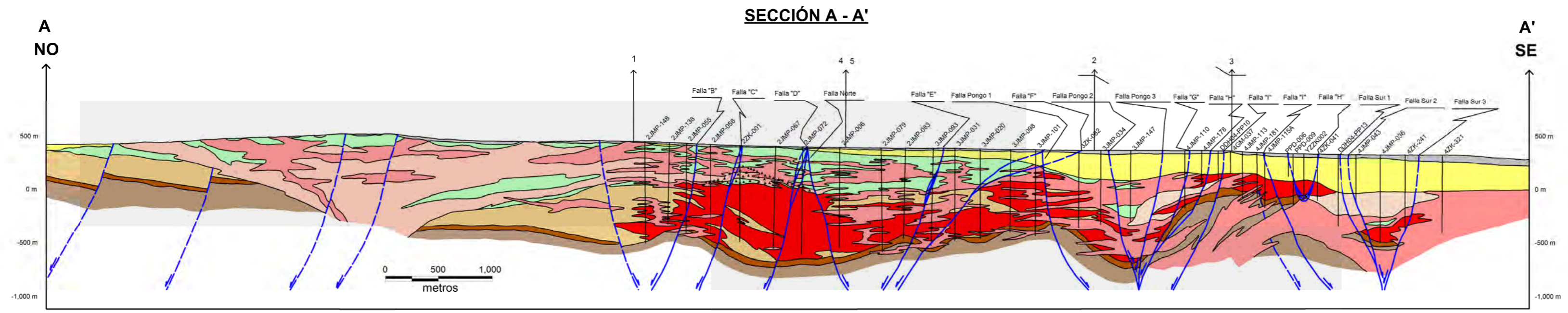
SIMBOLOGIA	
	Vetas
	Falla
	Buzo y buzamiento
	Camino Panamericano
	Vías de Acceso
	Cuerpo de Mineral
	Lineas de sección
	Dunas
	Muestras de Superficie
	Campamentos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Mapa Geológico del Proyecto Pampa de Pongo

Modificado de BISA (2012) Por: M. Contreras	Fecha: Diciembre 2013	Figura 4.6
--	--------------------------	------------

0 1,000 2,000 metros
DATUM HORIZONTAL: WGS 84, 18 L




LEYENDA

Cuaternario	INTRUSIVOS
Fm. Pisco (Mioceno)	Batolito de la Costa (Cretácico Inf.-Sup.)
Secuencia Volcánico-Sedimentaria: Fm. Río Grande, Fm. Jahuay y Fm. Yauca. (Jurásico Med.-Cretácico Inf.)	Microdiorita (Cretácico Inf.)
Fm. Marcona (Paleozoico Inf.(?))	Andesita Tunga (Ocoita) (Cretácico Inf.)
Fm. Chiquerío (Neoproterozoico)	
Complejo Basal de la Costa (Mesoproterozoico)	

SIMBOLOGÍA

Brechas / Vetas de magnetita
Mineralización de Magnetita + (Cpy - Po - Py)
Falla
Falla Inerida



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Secciones Geológicas del Proyecto Pampa de Pongo

Preparado por : M. Contreras	Fecha: Diciembre 2013	Figura 4.7
--	--------------------------	-------------------

Según las observaciones mencionadas en los párrafos anteriores, las rocas del dominio Norte son más jóvenes respecto a las rocas del dominio Central y Sur, excepto la Formación Pisco que se encuentra como cobertura. La disposición de las fallas regionales, los afloramientos de rocas más antiguos al sur que al norte y el ambiente termal de la mineralización en Pampa de Pongo, sugieren que el límite entre los dominios Centro y Norte están separados por una falla regional, denominada por Caldas (1978) Bella Unión; esta falla es normal y buza al SO.

En base a estas observaciones se realizaron las interpretaciones detalladas en la sección compuesta B-B' (Figura 4.7), cuya ubicación se detalla en la figura 4.6; el cual muestra un sistema extensional a manera de horst y graben, configuración modelada por el sistema de fallas con rumbo NO a SE y la falla Bella Unión. En esta sección se puede apreciar claramente los dominios Norte, Central y Sur. El dominio Norte con fallas que buzan al SO y la falla Bella Unión marca el límite entre el dominio Norte y Central. En el dominio Central las fallas identificadas en la zona de perforaciones, buzan hacia el NE, resaltando la falla Este con un marcado desplazamiento vertical; en el horst se ha emplazado las Andesitas Tunga en forma de lacolito. Las fallas que afectan a la Formación Marcona buzan hacia el oeste. En el dominio Sur las fallas buzan hacia el oeste.

Según la interpretación realizada en la sección compuesta A-A' (Figura 4.7), cuya ubicación se detalla en la figura 4.6; también se muestra el desarrollo de estructuras tipo horst y graben, modelada por el sistema de fallas con rumbo NE a SO. En el sector noroeste de la zona de estudio, estas fallas buzan al norte, las fallas localizadas en la Zona Norte buzan al sur, resaltando la falla Norte que limita el cuerpo mineralizado más potente. En la Zona Sur las fallas Pongo 2 y Pongo 3

forman una estructura de flor negativa, de manera similar ocurre entre las fallas Sur 2 y Sur 3. Entre estas dos estructuras se encuentra un horst, debido a ello el cuerpo mineralizado en esta zona se encuentra menos profundo que en la Zona Norte y también permitió la erosión del Grupo Volcano-sedimentario antes del Mioceno.

4.4 ESTILOS ESTRUCTURALES Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA EN PAMPA DE PONGO

Según las interpretaciones realizadas en las secciones transversales, de la zona de perforaciones, las fallas del primer y segundo sistema son reactivaciones de fallas normales pre-mesozoicas, ello se puede apreciar claramente en las fallas E, F, G, H, I y J, que presentan desplazamientos verticales marcados para la Formación Marcona y leves desplazamientos verticales para el Grupo Volcano-sedimentario. Los desplazamientos verticales fuertemente marcados del Grupo Volcano-sedimentario en las fallas Este, A, B, C y D, están indicando la reactivación de un sistema extensional, posiblemente iniciado a inicios del Jurásico Medio, antes o durante la deposición de la Formación Río Grande.

Las proyecciones en planta de las fallas y sus disposiciones en profundidad, evidencian que las fallas del primer sistema son transcurrentes sinistral con componente vertical normal. Las principales fallas de este sistema son las fallas Este y Oeste, que posiblemente formaban parte del sistema de fallas regionales Bella Unión-Cerrillos y Treinta Libras, desarrollados a inicios del Jurásico Medio, durante el régimen tectónico dominado por transtensión sinistral y extensión, según Chen (2013). La dirección de esfuerzos compresivos fue ONO a ESE, lo que generó vectores distensivos según SO-NE, que originó un graben en dicha

dirección, generándose el segundo sistema de fallas y la componente normal en los dos sistemas de fallas.

El tercer sistema de fallas, que es ortogonal al primer y segundo sistema, y según la disposición de las unidades litológicas a las que afecta, son fallas transcurrentes dextrales con componente vertical normal, los cuales son anteriores a la mineralización; esto debido a que algunas de estas fallas forman parte de los límites del cuerpo mineralizado. En la Zona Norte, la falla Norte limita al cuerpo mineralizado más potente, la falla Pongo 2 es el límite sur del cuerpo mineralizado; en la Zona Sur, la falla Pongo 3 es el límite norte del cuerpo mineralizado y la falla Sur 3 es el límite sur del cuerpo mineralizado. Las estructuras en flor negativas entre las fallas Pongo 2 – Pongo 3 y Sur 1 – Sur 3 están indicando un contexto tectónico de transtensión dextral. Estas fallas posiblemente se generaron a finales del Neocomiano, cuando el acoplamiento entre las placas convergentes Phoenix y Sudamericana, cambiaron de dirección de convergencia, con un vector NNE, dando inicio a un periodo de transtensión dextral (Jaillard et al. 2000).

Entre el Aptiano y el Cenomaniano continúa el periodo de transtensión dextral acompañado de un régimen compresivo, iniciándose el emplazamiento del Batolito de la Costa (Chen et al., 2013). En Pampa de Pongo se desarrolló la mineralización luego del emplazamiento de las rocas plutónicas identificadas en la zona de estudio, que conforman los pulsos iniciales del Batolito de la Costa.

Posteriormente, en el Eoceno la distensión estuvo orientada NO-SE (Macharé, 1987) y se originaron horst y graben, reactivándose las fallas con rumbo NE a SO, pertenecientes al tercer sistema de fallas. En estos se depositaron los mayores espesores de sedimentos de la Formación Pisco. Posteriormente, durante el

Mioceno Medio la distensión fue NNE-SSO (Macharé, 1987) y en consecuencia se reactivaron los horst y graben del Jurásico Medio, activándose las fallas sinistralas de rumbo NO a SE, pertenecientes al primer sistema de fallas, que modelaron finalmente la configuración estructural en Pampa de Pongo.

CÁPITULO V

DISCUSIONES E INTERPRETACIONES

5.1 MORFOLOGÍA DE LOS CUERPOS DE MAGNETITA EN EL YACIMIENTO PAMPA DE PONGO

La mineralización en Pampa de Pongo está alojada predominantemente en rocas dolomíticas de la Formación Marcona, formando cuerpos de reemplazamiento y ha sido clasificado como skarn magnésico. La mema está representada por la magnetita, el cual ocurre como cuerpos masivos y semimasivos con serpentina, dolomita, pirrotita, piritita y como trazas calcopirita. También ocurre como brechas y filones emplazados en rocas subvolcánicas y volcano-sedimentarias, con mineralización similar al cuerpo de reemplazamiento. Ligado a los sulfuros se observaron pequeñas cantidades de arsenopirita con inclusiones de bismutinita y bismuto nativo. Así mismo, se ha determinado la presencia de ludwigita asociada a la magnetita y pirrotita con texturas aciculares de grano grueso.

Como minerales de alteración se tiene principalmente serpentina (lizardita-antigorita), que reemplaza a la fosterita, junto con cantidades variables de diopsido, adularia, clorita, dolomita, talco y flogopita; esta alteración grada a reemplazamientos pobres en sílice con magnetita-dolomita. En las zonas más

externas a los cuerpos de magnetita y afectando a las rocas silicoalumínicas encajantes se observa albita, biotita, actinolita, feldespato potásico, cuarzo, granate, epidota y calcita, todos ellos asociados a una alteración de tipo alcalino-cálcica. Finalmente en las zonas distales a los cuerpos mineralizados se aprecia una aureola de alteración propilítica en rocas silicoalumínicas con ocurrencia de venas de clorita-sericita-cuarzo-calcita y silicificación tardía.

Se han definido tres cuerpos mineralizados: la Zona Norte, la Zona Sur y la Zona de Brechas. La distribución de las tres zonas mineralizadas en 3-D, detallado en la figura 5.1, fue realizado por BISA, utilizando el software DATAMINE, y forma parte del proyecto de investigación denominado “Modelamiento Geológico, Geomecánico y Cálculo de Recursos de Hierro de Pampa de Pongo”, presentado a JINZHAO MINING PERÚ S.A., el 2012 (BISA, 2012).

5.1.1 Zona Norte.- Representa el cuerpo principal del yacimiento Pampa de Pongo y se ubica entre las coordenadas 517 000E - 8 302 700N y 519 500E - 8 299 000N. Tiene una dimensión aproximada de 4 km de largo por 0.9 km de ancho, con una orientación de N40°-50°O, un espesor de 400 m y presenta una inclinación de 30° al este (Figura 5.1 y Figura 4.7 – Sección B-B'). Hacia el este está limitado por las fallas A (sector norte) y falla D (sector centro y sur), hacia el sur está limitado por la falla Pongo 2. La falla Norte es una estructura importante, debido a que al norte de esta falla el cuerpo mineralizado presenta la máxima potencia (600 m), mientras que al sur de esta falla el cuerpo mineralizado disminuye progresivamente su potencia. La mineralización se encuentra por debajo de los 400 m de profundidad y está constituida por magnetita masiva y semimasiva con serpentina, presentando disseminaciones de pirrotina, pirita y calcopirita, principalmente. Numerosos lentes

de magnetita se presentan como cuerpos aislados dentro de la secuencia dolomítica (Figura 5.1).

5.1.2 Zona Sur.- Está ubicada entre las coordenadas 519 200E - 8 298 500N y 521 000E - 8 296 800N, tiene una dimensión aproximada de 2.2 km de largo por 0.4 km de ancho, un espesor de 150 m y una inclinación de 30° al este. La mineralización ocurre a partir de los 200 m de profundidad casi inmediatamente debajo de la Formación Pisco. Estructuralmente, este cuerpo mineralizado está afectado por horst y graben alineados al NO-SE y fallas transcurrentes del tercer sistema, también son afectados por cuerpos subvolcánicos microdioríticos y el Batolito de la Costa, debido a ello presenta cuerpos aislados. El sector Sur de este cuerpo se encuentra entre los 600 y 700 m de profundidad (Figura 5.1 y Figura 4.7 – Sección A-A').

5.1.3 Zona de Brechas.- Se ubica entre las coordenadas 516 800E - 8 302 100N y 517 800E - 8 301 400N, al norte de la falla Norte. Se sobrepone al cuerpo principal de magnetita de la Zona Norte, y se han identificado dos cuerpos subverticales de brecha de forma cilíndrica, con diámetros de 500 m y de 250 m respectivamente, con una altura promedio de 300 m (Figura 5.1 y Figura 4.4 – Sección 1-A' y Sección 2). Se encuentra alojados en rocas subvolcánicas y volcano-sedimentarias del Mesozoico. Texturalmente la brecha presenta fragmentos muy irregulares de la roca caja, cementados por magnetita masiva y dolomita, rodeado por una delgada franja de serpentina; presenta como accesorios pirita, pirrotita y trazas de calcopirita.

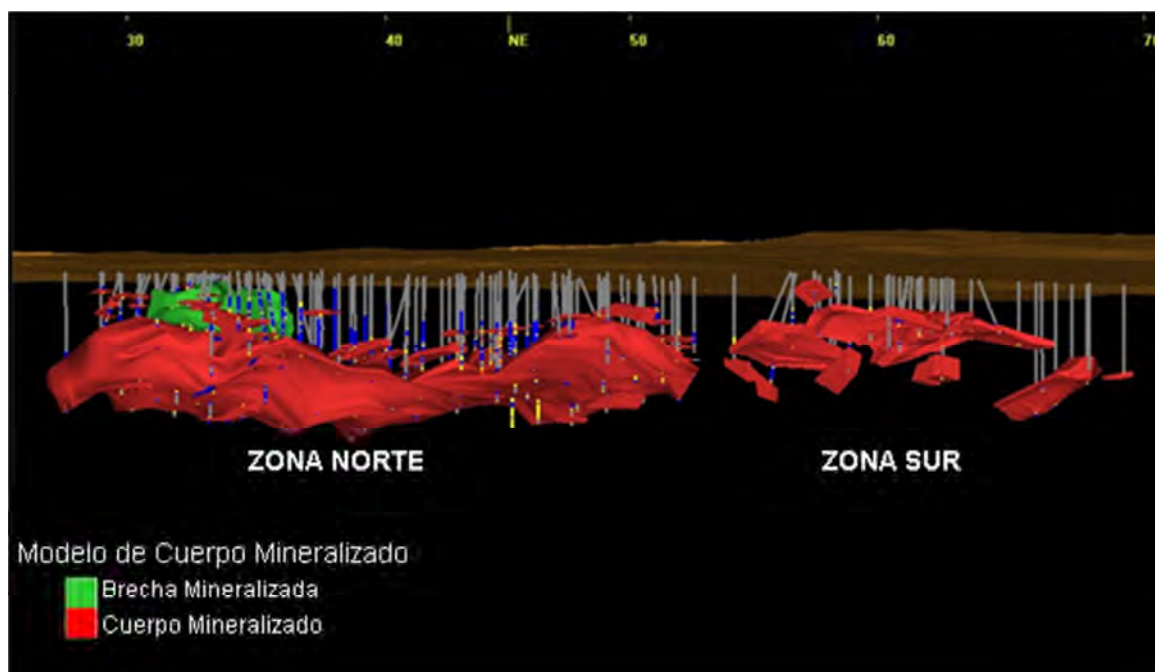


Figura 5.1 Distribución de los cuerpos de magnetita en 3-D (vista al NE). El sólido en 3-D fue realizado por BISA, utilizando el software DATAMINE. Tonado de BISA (2012).

5.2 MODELO DE EVOLUCIÓN GEOLÓGICA Y TECTÓNICA PARA EL YACIMIENTO PAMPA DE PONGO

De acuerdo a los estudios estratigráficos y de emplazamiento de los cuerpos subvolcánicos y plutónicos desarrollados en el Capítulo 3, la génesis y disposición de las diferentes unidades litológicas, están íntimamente relacionada con el contexto tectónico, desarrollado en los diferentes periodos del tiempo geológico.

Probablemente entre el Mesoproterozoico y Neoproterozoico, la región estuvo sujeta a varias fases de metamorfismo regional, produciéndose rocas de diferentes facies, de las cuales sólo se conocen las de emplazamiento más profundo (gneis graníticos), debido a la denudación alcanzada. Estas rocas se consideran como parte del bloque alóctono del Macizo de Arequipa, que fueron acretados al cratón amazónico hace 1000 MA, cubiertos circunstancialmente por la Cordillera de los Andes (Carlotto et al., 2009).

En el Neoproterozoico, el área se encontraba emergida y sujeta a condiciones de enfriamiento regional y probablemente de ambientes litorales, cuyos testigos son los tilloides y diamictitas de la formación Chiquerío. Al retirarse los casquetes de hielo, la acumulación de depósitos glaciares fue seguida por una deposición calcárea, formándose la Formación San Juan. A fines del Neoproterozoico o en el Paleozoico inferior, las rocas ya formadas fueron modificadas por un nuevo ciclo orogénico, metamorfizando principalmente a las rocas de la Formación San Juan; posteriormente la zona levantada es erosionada y es seguido por una transgresión que dio lugar a la Formación Marcona (Caldas, 1978).

Durante la deposición de la Formación Marcona, ocurrió un descenso relativo del nivel del mar, posiblemente debido un levantamiento de la cuenca por factores tectónicos, en consecuencia se desarrolla la sedimentación clástica, evidenciado en el Miembro Intermedio de la Formación, identificado en todo el Distrito Minero de Marcona. Posteriormente la subsidencia de la cuenca permitió la deposición de potentes paquetes de roca calcaria.

Entre las formaciones Marcona y Río Grande existe un hiato estratigráfico, producto de los diferentes movimientos tectónicos y ciclos de erosión. Unidades del Paleozoico Inferior al Jurásico medio han sido erosionadas, por lo que se deduce que después de la culminación de la Tectónica Tardiherciniana, la región se habría mantenido en condiciones sub-aéreas. Según Palacios (1995), la Tectónica tardiherciniana desde Cusco hasta el Perú Central se caracteriza por ocasionar levantamientos en bloques, a lo largo de fallas transcurrentes NO-SE, las que dieron lugar a la formación de fosas y pilares tectónicos. Al parecer este contexto tectónico también ocurrió en la zona de estudio, lo que originó el fallamiento en

bloques dispuestos en escalón descendiente hacia el este, en las Formaciones Chiquerío, Marcona y otras unidades pre-mesozoicas superpuestas a las dos anteriores, que posteriormente fueron erosionados (Figura 5.2 A).

A inicios del Jurásico Medio, durante el régimen tectónico dominado por transtensión sinistral y extensión, según Chen (2013), se generó vectores distensivos, que originó una fosa tectónica según la dirección SO-NE. Este contexto generó en la zona de estudio fallas transcurrentes sinistralas con componente vertical normal, con rumbos al NO a SE (primer sistema de fallas), el cual generó horst y graben según la dirección SO a NE, ocasionando la formación del segundo sistema de fallas. En esta nueva cuenca se inicia una acumulación de flujos lávicos a brechosos, andesíticos y dacíticos, acompañados de sedimentos clásticos (Formación Río Grande), luego sedimentos calcáreo clásticos (Formación Jahuary) y en las porciones superiores sedimentos areno-limosos (Formación Yauca), destacando un ambiente de acumulación clástica, de margen de cuenca, con dirección de sedimentación hacia el este; concluyendo la sedimentación en el Cretácico Inferior (Figura 5.2 B).

Las rocas volcánicas de la Formación Río Grande, están indicando un intenso magmatismo a inicios del Jurásico Medio. Las brechas volcánicas hialoclastíticas verduscas y niveles calcáreos con presencia de corales, indica una sedimentación en un mar de condiciones someras y cercanas a ambientes litorales. Asimismo, las frecuentes alternancias de grauvacas y calizas, indican ciertas áreas positivas cercanas y movimientos verticales de la cuenca de sedimentación. En este contexto se desarrolla la mineralización del depósito de Marcona, según Chen et al. (2010).

Las condiciones de depositación de la Formación Jahuay fueron ligeramente similares a las que predominaron en la sedimentación de la Formación Río Grande, aunque la naturaleza conglomerádica con intercalaciones calcáreas presentando fósiles arrecifales, muestra oscilaciones del mar y proximidad de la línea de playa. La sedimentación clástica de la Formación Yauca, indica el cese de una depositación calcárea para pasar a una acumulación de facies areno-arcillosa, debido a un levantamiento de la cuenca y posiblemente a cambios climáticos en las áreas positivas.

Posterior a la deposición de la Formación Yauca, se emplazan los sills y pequeños stocks alargados de las Andesitas Tunga, cortando a las unidades predecesoras. En la zona de estudio los stocks alargados son los núcleos de lacolitos (Figura 5.2 C). El alineamiento de esta unidad tiene una dirección de NO a SE, que coinciden con los rumbos de las fallas transcurrentes sinistralas, que se generaron a inicios del Jurásico Medio (primer sistema de fallas). Luego del emplazamiento de las Andesitas Tunga, intruye un sistema de sills de composición diorítica, cortando las unidades predecesoras y alineándose según la dirección NO a SE, coincidiendo también con los rumbos de las fallas transcurrentes del Jurásico Medio (Figura 5.2 D). Sin embargo, algunos diques andesíticos asociados a los sills dioríticos, tienen direcciones ortogonales a los anteriores; por lo tanto, estas estructuras estarían indicando el inicio de un contexto tectónico diferente al iniciado en el Jurásico Medio.

A finales del Neocomiano el acoplamiento entre las placas convergentes Phoenix y Sudamericana, cambiaron de dirección de convergencia, con un vector NNE, generando un contexto tectónico de transtensión dextral, acompañado de intenso

magmatismo (Polliand et al., 2005; Injoque, 2002). Este contexto generó en la zona de estudio fallas transcurrentes dextrales con componente vertical normal, con rumbos al NE a SO, generando horst y graben según la dirección NO a SE (tercer sistema de fallas).

Entre el Aptiano y el Cenomaniano continúa el periodo de transtensión dextral acompañado de un régimen compresivo, iniciándose el emplazamiento del Batolito de la Costa (Figura 5.2 E); en este periodo se formaron los depósitos IOCG Raúl Condestable, Eliana, Monterrosas y Mina Justa (Chen et al., 2013).

En Pampa de Pongo se desarrolla la mineralización luego del emplazamiento de las dioritas, cuarzodioritas y tonalitas-granodioitas, que forman parte de los pulsos iniciales del Batolito de la Costa. Posiblemente un stock monzonítico(?), posterior a los mencionados y no identificado, es el que originó la mineralización (Figura 5.2 F). Los intrusivos monzoníticos afloran a 15 km al NE de la zona de estudio.

Sobre la Formación Yauca no se exponen unidades del Cretácico Superior ni Paleógenos, posiblemente debido a que la región se encontraba en condiciones subaéreas. Posteriormente, en el Eoceno la distensión estuvo orientada NO-SE (Macharé, 1987) y se originaron horst y graben, reactivándose las fallas con rumbo NE a SO (fallas del tercer sistema). En estos se depositaron los mayores espesores de sedimentos de la Formación Pisco. Posteriormente, durante el Mioceno Medio la distensión fue NNE-SSO (Macharé, 1987) y en consecuencia se reactivaron los horst y graben del Jurásico Medio, activándose las fallas sinistralas de rumbo NO a SE (primer sistema de fallas), que modelaron finalmente la configuración estructural en Pampa de Pongo (Figura 5.2 G).

El levantamiento de los Andes durante el Pleistoceno dio origen a la formación de abanicos aluviales, distribuidos en numerosas terrazas, que reflejan el levantamiento tectónico asociado con la subducción episódica de la Dorsal de Nazca y su migración al sur (Macharé et al., 1986). Posteriormente el frente andino sufrió un basculamiento hacia el oeste por efecto de un fallamiento gravitacional a lo largo de la Depresión Ica-Nasca. La Cordillera de la Costa quedó levantada en forma de un enorme horst, hasta que por fin tomó el perfil actual (Caldas, 1978). Durante el Cuaternario reciente el relieve fue modificado incipientemente por la acción eólica.

CONCLUSIONES

1. El Yacimiento Pampa de Pongo está ubicado en la margen oriental de la Depresión Ica-Nasca, limitada hacia el este por las estribaciones de la Cordillera Occidental. Metalogenéticamente se encuentra ubicado dentro de la franja de yacimientos IOCG-Skarn del Jurásico-Cretácico de la Costa Sur del Perú.
2. Los estudios Estratigráficos y de emplazamiento de rocas subvolcánicas y plutónicas, han definido 13 unidades litológicas, con edades que van desde el Mesoproterozoico al Cuaternario. El Complejo Basal de la Costa del Mesoproterozoico, la Formación Chiquerío del Neoproterozoico, la Formación Marcona de posible edad Paleozoico Inferior(?), la Formación Río Grande del Jurásico Medio, la Formación Jahuay del Jurásico Superior, la Formación Yauca del Cretácico Inferior, la Formación Pisco del Mioceno y los depósitos cuaternarios. Los intrusivos subvolcánicos están conformados por las Andesitas Tunga del Cretácico Inferior y los sills Microdioríticos del Cretácico Inferior. Los intrusivos plutónicos forman parte del Batolito de la Costa de edad Cretácico Inferior a Superior, están conformados por dioritas, cuarzo dioritas y tonalita-granodiorita.

3. El Complejo Basal de la Costa está conformada por gneis sienograníticos, la Formación Chiquerio está conformado por diamictitas, tilloides y calizas, presentando ligero metamorfismo. La Formación Marcona presenta tres secuencias características: El Miembro Inferior, conformado por conglomerados y dolomías; el Miembro Intermedio, conformada por lutitas pizarrosas, cuarcitas y brechas sedimentarias; el Miembro Superior, conformado por dolomías marmorizadas en estratos potentes. A partir de los resultados del análisis químico realizado a una muestra calcarea, se calculó la presencia de un 70 % de dolomita, resultado que permite dar la denominación de dolomías a las rocas calcáreas de esta Formación.
4. La Formación Río Grande está conformado por flujos lávicos a brechosos, andesíticos y dacíticos, acompañados de sedimentos clásticos; la Formación Jahuay presenta sedimentos calcáreos clásticos; la Formación Yauca presentan sedimentos areno-limosos. En la depositación de estas tres formaciones destaca un ambiente de acumulación clástica, de margen de cuenca, los estudios de imbricación de rodados de la Formación Jahuay indican dirección de sedimentación hacia el este. Posterior a la depositación de la Formación Yauca, se emplazan sills y lacolitos alargados de las Andesitas Tunga, cortando a las unidades predecesoras. Posteriormente intruyen un sistema de sills de composición diorítica, cortando las unidades predecesoras incluyendo a las Andesitas Tunga.
5. El emplazamiento del Batolito de la Costa se desarrolla posiblemente después de la intrusión de los sills microdioríticos. Están conformadas por tres tipos de rocas: La diorita considerada como el primer pulso del Batolito, la cuarzo diorita

que predomina en la zona de estudio y engloba a las dioritas, por último las tonalitas-granodioritas que intruyen a las cuarzo dioritas como diques y pequeños stocks.

6. En el Mioceno se deposita la Formación Pisco conformada por depósitos aluviales hacia la base y areniscas tobáceas hacia el techo. Finalmente en el Cuaternario se depositan los depósitos fluvio-marinos, aluviales y eólicos.
7. Los estudios estructurales en Pampa de Pongo han identificado tres sistemas de fallas, que se han originado y posteriormente reactivado en diferentes contextos tectónicos.
8. El primer sistema de fallas son transcurrentes siniestrales con componente normal, tienen rumbos de NO a SE y sus inclinaciones dependen de la ubicación en el horst y graben generado según la dirección NE a SO en la zona de estudio. Se han identificado siete fallas de este sistema en la zona de perforaciones y los más importantes son: La falla Este, la falla A y la falla Oeste; las fallas regionales Bella Unión y Treinta Libras pertenecen a este sistema. Este sistema de fallas se generaron a inicios del Jurásico Medio, algunos fallas pre Jurásicas se reactivaron en este periodo; posteriormente en el Mioceno Medio se reactivaron adoptando la configuración actual.
9. El segundo sistema de fallas son normales, tienen rumbos de ONO a ESE e inclinaciones al noreste y se unen al primer sistema de fallas. Se han identificado cinco fallas de este sistema en la zona de perforaciones. El origen de este sistema de fallas está ligado al primer sistema de fallas, debido a que se generaron en el contexto extensional ocurrido a inicios del Jurásico Medio.

10. El tercer sistema de fallas son transcurrentes dextrales con componente normal, tienen rumbos de NE a SO y sus inclinaciones dependen de la ubicación en el horst y graben generado según la dirección NO a SE en la zona de estudio. Se han identificado siete fallas de este sistema en la zona de perforaciones, identificándose dos estructuras de flor negativa formada entre las fallas Pongo 2 – Pongo 3 y Sur 1 – Sur 3, que están indicando un contexto tectónico transtensional. Este sistema de fallas se generaron a finales del Cretácico Inferior, antes de la mineralización en Pampa de Pongo; posteriormente se reactivaron en el eoceno adoptando la configuración actual.
11. Según el modelo de Evolución Geológica y Tectónica, propuesto en el presente estudio, en el área de estudio se han identificado cinco eventos tectónicos predominantemente extensionales, tres anteriores a la mineralización y dos posteriores a la mineralización. El primer evento tectónico es pre Jurásico, posiblemente tardiherciniano; el segundo se desarrolla a inicios del Jurásico Medio, generando la cuenca volcano-sedimentaria Mesozoica; el tercero se desarrollado a finales del Cretácico Inferior; el cuarto se desarrolla en el Eoceno y el quinto en el Mioceno Medio.
12. La Formación Marcona es el principal metalotecto en Pampa de Pongo, en la zona mineralizada las dolomías son reemplazadas parcialmente por la mineralización, conformada por el siguiente ensamble: Magnetita, serpentina, dolomita y sulfuros de hierro, principalmente. Son posteriores al tercer sistema de fallas (antes de ser reactivados) y al emplazamiento de los intrusivos subvolcánicos y los tres tipos de rocas plutónicas identificadas, debido a que estructuras tipo brecha o vetas con ensambles de minerales característicos del

cuerpo mineralizado, cortan a los intrusivos en mención. La mineralización posiblemente fue originado por un cuarto pulso magmático no identificado, que podría ser una monzonita(?).

RECOMENDACIONES

1. Realizar muestreos mediante calicatas en el cerro Batidero (localizado a 5 km al sureste de la zona de estudio), actualmente cubierto por depósitos eluviales e inferido con intrusivo perteneciente al Batolito de la Costa, las muestras obtenidas destinarla para el análisis geoquímico (roca total + multielemental) y estudios petro-mineralógicos.
2. Realizar campañas de magnetometría terrestre en los alrededores del yacimiento y con énfasis en las zonas hundidas al este de los stocks alargados de Andesitas Tunga, por posibles blancos existentes aun sin descubrir.
3. Realizar una evaluación al sondaje 1ZK-001. Según las fotografías de los testigos, en el tramo comprendido entre los 671 a 800 m de profundidad, existe una Zona de vetas, con mineralización de magnetita, calcita y sulfuros de hierro, y en el tramo comprendido entre los 800 a 931 m de profundidad, existe una zona mineralizada con magnetita semimasiva. Determinar si las vetas, de la Zona de vetas, cortan a las rocas de la Formación Río Grande o a intrusivos subvolcánicos que intruyen a la Formación Marcona, con la finalidad de determinar la profundidad de la Formación Marcona en ese sector.
4. Realizar estudios de Génesis del Yacimiento Pampa de Pongo, para su comprensión adecuada de la mineralización e identificar nuevos blancos de exploración.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Atchley, F. (1956). *Geología del yacimiento de hierro de Marcona, Perú*. (Disertación doctoral no publicada). Stanford University, California, EE.UU.
- Buenaventura Ingenieros S.A. "BISA" (2012). *Modelamiento Geológico, Geotécnico y Cálculo de Recursos de Hierro de Pampa de Pongo. Región de Arequipa, Provincia de Caravelí, distrito de Bella Unión, Perú*. Preparado para JINZHAO Mining Perú S.A. Documento sin publicar. Lima, Perú.
- Caldas J. (1978). *Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acarí, Yauca*. Lima, Perú. Instituto de Geología y Minería, Boletín 30.
- Calvo, G., Rodríguez, O., Serrano, M., Tornos, F., Rodríguez, R., Velasco, F., Contreras, M., Ochoa, J., Urbina, M. y Sapacayo, M. (2012). *El skarn magnésico de Pampa de Pongo: Un megayacimiento de hierro en la Cordillera de la Costa del Sur del Perú*. Ponencia presentada en el XVI Congreso Peruano de Geología & SEG 2012 Conference, Lima, Perú.
- Carlotto, V., Quispe, J., Acosta, H., Rodríguez, R., Romero, D., Cerpa, L. Mamani, M., Díaz, E., Navarro, P., Jaimes, F., Velarde, T., Lu, S. y Cueva, E. (2009). Dominios Geotectónicos y Metalogenéticos del Perú. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 103, 1-89.
- Chara, J. (2000). *Petrografía, Geocronología y Exploración Minera en el cuadrángulo de Ica: Nuevos Datos*. Ponencia presentada en el X Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú.
- Chen, H. (2008). *The Marcona - Mina Justa District, South-Central. Perú: implications for the genesis and definition of the iron oxide-copper (-gold) ore deposit Clan*. (Disertación doctoral no publicada). Queen's University, Ontario, Canadá.
- Chen, H., Clark, A. H., Kyser, T. K., Ullrich, T. D., Baxter, R., Chen, Y. and Moody, T. C. (2010). Evolution of the giant Marcona-Mina Justa iron oxide-copper-gold district, south-central Peru. *Economic Geology*, 105, 155-185.
- Chen, H., Cooke, D. R., and Baker, M. J. (2011, Setiembre). *The Gondwana Supercontinent breakup and IOCG mineralization in the Central Andes, Let's Talk Ore Deposits*. Presented at the 11th Biennial SGA Meeting, Antofagasta, Chile.
- Chen, H., Cooke, D. R., and Baker, M. J. (2013). Mesozoic Iron Oxide Copper-Gold Mineralization in the Central Andes and the Gondwana Supercontinent Breakup. *Economic Geology*, 108, 37-44.

- Chew, D.M., Kirkland, C., Schaltegger, U. & Goodhue, R. (2007b). Neoproterozoic glaciation in the proto-Andes: tectonic implications and global correlation. *Geology*, 35, 1095-1099.
- Clark, A.H., Farrar, E., Kontak, D.J., Langridge, R.J., Arenas F., M.J., France, L.J., McBride, S.L., Woodman, P.L., Wasteneys, H.A., Sandeman, H.A., and Archibald, D.A., (1990). Geologic and geochronologic constraints on the metallogenic evolution of the Andes of southeastern Peru: *Economic Geology*, 85, 1520-1583.
- Cobbing, E. J., Ozard, J.M. y Snelling, N.J. (1977). Reconnaissance geochronology of the crystalline basement rocks of the Coastal Cordillera of Southern Peru. *Geological Society of America Bulletin*.
- Contreras, M. y Risco, R. (En preparación). Geoquímica del Magmatismo en el Distrito Minero de Marcona.
- Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In Ham, W. E. *Classification of carbonate rocks* (pp. 108-121), American Association of Petroleum Geologists. Geol., Mem. 1.
- Echtler, H., Glodny, J., Gräfe, K. Rosenau, M., Meldick, D., Seifert, W. and Wigger, P., (2003). Active tectonics controlled by inherited structures in the long - term stationary and non - plateau South - Central Andes. EGU/AGU Joint Assembly, EAE03 - A - 10902.
- Fernández, M. (1993). *Geología de cuadrángulos de Pisco, Guadalupe, Punta Grande, Ica y Córdova*. Lima, Perú. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín 47, Serie A, Carta Geológica Nacional.
- Hawkes, N., Clark, A. H. and Moody, T. C. (2002). Marcona and Pampa del Pongo: Giant Mesozoic Fe-(Cu, Au) deposits in the Peruvian coastal belt. In Porter, T. M. (ed.) *Hydrothermal Iron Oxides Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective*, 2. PGC Publishing, Adelaide, 115-130.
- Helsen, J. N. (2005). *Geological Valuation Report of the Pampa de Pongo Property. Arequipa department, Caraveli province, Peru*. Prepared for Cardero Resource Corp. Documento sin publicar. Vancouver, Columbia Británica, Canadá.
- Hudson, C. (1974). *Metalogénesis en relación a la evolución de la corteza terrestre en el suroeste de Perú central*. (Disertación doctoral no publicada). Universidad de Liverpool, Reino Unido.

- Injoque, J. (1985). *Geochemistry of the Cu-Fe-Amphibole skarn deposits of the Peruvian central coast*. (Disertación doctoral no publicada). University of Nottingham, Reino Unido.
- Injoque, J. y Romero, L. (1986). Estromatolitos (?) En la Formación San Juan, San Juan de Marcona. Evidencia de estructuras fósiles precámbricas en el Perú. *De Re Metallica*, 3 (11), 4-5.
- Injoque, J., Atkin, B., Harvey, P. y Snelling, N. (1988). Mineralogía, geoquímica y geocronología del skarn geotermal de hierro de Marcona. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 78, 65-80.
- Injoque, J. (2002). Fe Oxide-Cu-Au Deposits in Peru: An Integrated View; in Porter, T.M. (Ed.), *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective*, 2. PGC Publishing, Adelaide, 97-113.
- Jaillard, E., Hérial, G., Monfret, T., Diaz-Martinez, E., Baby P., Lavenu, A., Dumont; J.F. (2000). Tectonic Evolution of the Andes of Ecuador, Peru, Bolivia and Northernmost Chile. In Cordani, U., Milani, E. J., Filho, T.A. and Campos, D.A., Tectonic Evolution of South America. *International Geological Congress, 31th* (pp. 481-559). Rio de Janeiro, Brasil.
- León, W., Rosell, W., Alemán, R., Torres, V., De la Cruz, O. (2008). *Estratigrafía, sedimentología y evolución tectónica de la cuenca Pisco Oriental*. Lima, Perú. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín 27, Serie D, Estudios Regionales.
- Loewy, S.L., Connelly, J.N., and Dalziel, I.W.D., (2004). An orphaned basement block: The Arequipa-Antofalla Basement of the central Andean margin of South America. *Geological Society of America Bulletin*, 116, 171-187.
- Macharé, J., Sébrier, M., Huamán D. & Mecier J. L. (1986). Tectónica Cenozoica de la margen continental peruana. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 76, 45-77.
- Macharé, J. (1987). *La marge continentale du Pérou: régimes tectoniques et sédimentaires cénozoïques de l'avantarc des Andes Centrales*. (Disertación doctoral no publicada). Université de Paris XI, Orsay, Francia.
- Mendivil, S. (1965). *Geología de los cuadrángulos de Maure y Antajave*. Lima, Perú. Dirección de Minería, Boletín 10, Comisión Carta Geológica Nacional.
- Montoya, M., García, W. y Caldas J. (1994). *Geología de los cuadrángulos de Lomitas, Palpa, Nasca y Puquio*. Lima, Perú. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín 53, Serie A, Carta Geológica Nacional.

- Palacios, O. (1995). Geología Histórica y Evolución Tectónica. En Palacios, O., Chacón, N., Sánchez, A., León, W., Canchaya, S. y Aranda A. *Geología del Perú* (pp. 15-44). Lima, Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín 55, Serie A, Carta Geológica Nacional.
- Polliand, M., Schaltegger, U., Frank, M., and Fontboté, L., (2005). Formation of intra-arc volcano-sedimentary basins in the western flank of the central Peruvian Andes during Late Cretaceous oblique subduction-field evidence and constraints from U-Pb ages and Hf isotopes. *International Journal of Earth Sciences*, 94, 231-242.
- Ramos, V.A., and Alemán, A., (2000). Tectonic evolution of the Andes; in In Cordani, U., Milani, E. J., Filho, T.A. and Campos, D.A., Tectonic Evolution of South America. *International Geological Congress, 31th* (pp. 635-685). Rio de Janeiro, Brasil.
- Ries, A. C. (1976). *Rb/Sr. ages from the Arequipa Massif*, Southern Peru.
- Romeuf, N., Aguirre, L., Carlier, G., Soler, P., Bonhomme, M., Elmi, S., and Salas, G. (1993). Present knowledge of the Jurassic volcanogenic formations of the southern coastal Perú. *Second international symposium Andean Geodynamics "ISAG"* (pp.437-440). Oxford, Reino Unido.
- Sillitoe, R.H. (2003). Iron oxide-copper-gold deposits: An Andean view. *Mineralium Deposita*, 38, 787-812.
- Teves, N. (1975). Aspectos sedimentarios y estructurales del sector costanero peruano frente a la dorsal de Nazca. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 50, 87-98.
- Vidal, C., Injoque, J., Sidder, G. and Mukasa, S. (1990). Amphibolitic Cu-Fe skarn deposits in the central coast of Perú. *Economic Geology*, 85, 1447-1461.