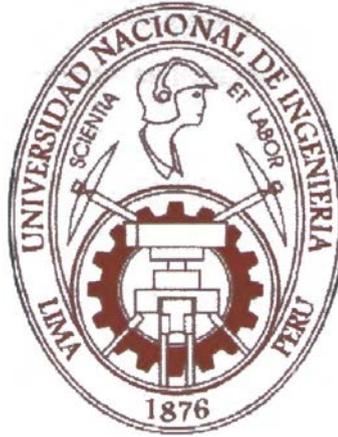


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALURGICA
SECCION DE POS GRADO



GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL NEÓGENO EN LA
CORDILLERA NEGRA, IMPLICANCIAS EN EL ORIGEN Y
ESTABILIDAD DE TALUDES DEL YACIMIENTO AURÍFERO
EPITERMAL DE ALTA SULFURACIÓN: PIERINA

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS
CON MENCIÓN EN:

INGENIERÍA GEOLÓGICA

PRESENTADO POR:

ESTEBAN DIONICIO MANRIQUE ZÚÑIGA

LIMA – PERU

2010

AGRADECIMIENTOS

A la empresa “Minera Barrick Misquichilca”, por haberme permitido plasmar mi inquietud profesional y colaborar en el conocimiento geológico y solución de los problemas ingenieriles del yacimiento Pierina.

A mis asesores y revisores del presente trabajo, J. Macharé, D. Rojas y M. Cardozo, por sus consejos en la elaboración del presente; a R. Rivera por sus sugerencias en el tema e importancia de la tesis.

Por último, a mi entrañable alma mater “Universidad Nacional de Ingeniería”, lugar donde me formé profesionalmente y sigo compartiendo experiencias con los docente y alumnos.

DEDICATORIA

A la memoria de Daniel, mi padre y a mi madre Victoria que aún ilumina el sendero de mis éxitos. A mi esposa -con mucho cariño "Marina"-, a mis hijos Esteban, Saditte, Sergio e Isabel que permanente son el motivo de mi existencia. A mi hermano Felipe, que con su actitud de hombre trabajador y formado para apoyar a su familia y sus menores me ayudó a formarme y terminar mi carrera profesional.

INDICE

Página

RESUMEN

ABSTRACT

CAPITULO 1

AGRADECIMIENTOS.....	I
<i>DEDICATORIA</i>	II
1.1 INTRODUCCIÓN	7
1.2 UBICACIÓN Y ACCESOS.....	7
1.2.1 Vía terrestre	8
1.2.2 Vía aérea	8
1.3 IMPORTANCIA	10
1.4 HIPÓTESIS	11
1.5 OBJETIVOS DE LA TESIS.....	11
1.5.1 Objetivo General	11
1.5.2 Objetivos específicos	11
1.5.2.1 Modelo geológico relacionado con la geología estructural... 11	
1.5.2.2 Geotecnia.....	11
1.6 APORTES DE LA TESIS.....	12
1.6.1 Aspecto científico-académico.....	12
1.6.2 Aspecto ingenieril – empresarial	12
1.6.3 Aspecto país	12
1.7 METODOLOGÍA DE TRABAJO Y ACTIVIDADES.....	13
1.7.1 Método analítico inductivo	13
1.7.2 Actividades.....	14
1.7.2.1 Compilación de información	14
1.7.2.2 Trabajo en campo	14
CAPITULO 2: CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	15
2.1 ESTRATIGRAFÍA.....	17
2.1.1 Substrato pre-cenozoico (Cretáceo Inferior)	17
2.1.2 Cenozoico	17
2.2 DEPÓSITOS CUATERNARIOS	18
2.2.1 Depósito coluviales	18
2.2.2 Depósitos aluviales y fluviales	18
2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	19
CAPITULO 3: GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO PIERINA	23
3.1 SECUENCIA LITOLÓGICA	23
3.1.1 Rocas sedimentarias.....	23
3.1.2 Rocas volcánicas	23

3.1.2.1	Primera unidad (andesítica)	24
3.1.2.2	Segunda unidad (dacítica)	30
3.1.2.3	Tercera unidad (andesítica).....	36
3.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	37
3.2.1	Geodinámica interna	37
3.2.1.1	Falla Roxana	42
3.2.1.2	Falla Tinyash.....	46
3.2.1.3	Falla Katty	46
3.2.1.4	Fallas Cerro Torta	46
3.2.2	Geodinámica externa	49
3.2.2.1	Concepto teórico de procesos geodinámicos externos.....	49
3.2.2.2	Deslizamientos.....	50
3.2.2.3	Evidencias de procesos geodinámicos externos en Pierina ...	52
3.2.2.4	Fallas Milagros	58
3.2.2.5	Fallas Azucena.....	59
3.2.2.6	Deslizamiento Quinquishinca	61
3.2.2.7	Deslizamiento Siguas.....	64
3.2.3	FOTO INTERPRETACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS EN EL ÁREA DE LA MINA PIERINA	67
3.2.4	ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN	69
3.2.4.1	Estructuras Katty	69
3.2.4.2	Estructuras Cerro Torta.....	70
3.2.4.3	Depósitos Cuaternarios con mineral.....	70
3.2.5	GEOTECNIA DEL TAJO PIERINA	72
3.2.5.1	Descripción morfo estructural de las secciones estructurales.	72
3.2.5.2	Deslizamientos superficiales (Cartografía y descripción).....	74
3.2.5.2.1	Zona A: sector de los deslizamientos Azucena	74
3.2.5.2.2	Zona B: sector de los deslizamientos Milagros.....	74
3.2.5.2.3	Zona C: sector pozas de sedimentación en el tajo	75
CAPITULO 4: MODELO GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO.....		77
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		81
CONCLUSIONES.....		81
RECOMENDACIONES		83
REFERENCIAS CITADAS.....		84
ANEXOS		87
RELACIÓN DE FOTOS:.....		87
RELACIÓN DE FIGURAS:		90
RELACIÓN DE CUADROS:		90
SECCIONES MORFO-ESTRUCTURALES:		91

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL NEÓGENO EN LA CORDILLERA NEGRA, IMPLICANCIAS EN EL ORIGEN Y ESTABILIDAD DE TALUDES DEL YACIMIENTO AURIFERO EPITERMAL DE ALTA SULFURACIÓN: PIERINA

RESUMEN

El yacimiento de la mina Pierina que se explota hace más de 10 años, fue descubierto por la presencia de un megabloque ubicado en un paraje denominado Piruro. Es un yacimiento epitermal de alta sulfuración de oro-plata, alojado en rocas volcánicas del grupo Calipuy, depositadas en dos etapas, la primera entre 46 a 23 Ma y la segunda entre 16 a 13 Ma, con intervalo de inactividad volcánica para esta zona de aproximadamente 8 Ma.

Para los fines del presente estudio, se tomaron en cuenta los eventos tectónicos de la Fase Quechua (Mioceno) y Fase del Cuaternario antiguo ocurridos en la región Perú. En esta etapa ocurrió el volcanismo y el tectonismo más importante relacionados con la mineralización y la posterior modificación de la anatomía original del yacimiento Pierina por efecto de la geodinámica externa.

La deformación en la mina Pierina, se ha desarrollado mediante dos tipos de procesos, uno ocasionado por efectos de la geodinámica interna y el segundo por efectos de la geodinámica externa. La geodinámica interna, un proceso regional, ha permitido la formación del sistema de fallas regionales Roxana y Tinyash, las cuales originaron de forma alternada sistemas de fallas inversas, tensionales y de rumbo. A la geodinámica interna se le asocia los procesos de volcanismo e intrusiones de domos, y a las estructuras de cizalla asociadas a la alteración y mineralización.

Asimismo, se ha reconocido que el último movimiento tectónico regional fue inverso y ocurrió en el Cuaternario antiguo reactivando las estructuras de cizalla alteradas y mineralizadas con fallamientos de movimiento inverso.

La geodinámica externa trata los movimientos relacionados a esfuerzos de gravedad, naturales o provocados por el hombre a través de una serie de fallas del tipo Azucena y Milagros que ocasionaron y ocasionan deslizamientos

rotacionales de grandes volúmenes de masas rocosas, modificando la anatomía original del yacimiento Pierina.

La alteración y mineralización de la mina Pierina ocurrió entre 14.1 y 14.7 Ma., por efecto de fluidos hidrotermales transportados a través de las estructuras de cizalla Katty y Torta, este fenómeno fue de naturaleza pervasiva y se hizo más pervasivo aún cuando ingresó al dominio de las tobas de composición dacítica ubicadas en los niveles superiores de la secuencia volcánica. Las estructuras Katty están intensamente convertidas a “vuggy silica” que pasa lateralmente a cuarzo – alunita. Ellas presentan una variación en la mineralización, pues en los niveles más bajos de la alteración se presentan cristales de enargita en cavidades y pulvulenta en las fracturas, interpretadas como producto del fracturamiento de las estructuras y consiguiente arrastre y trituración o milonitización. Los valores de oro son mayores a 1 g/t, pero, esta mineralización no es rentable por la presencia de sulfuros. Por su alteración, las estructuras de cizalla del cerro Torta son similares a las estructuras Katty; en este lugar el contenido de oro es más bajo, alrededor de 0.01 g/t.

Producto de la geodinámica interna y geodinámica externa, las estructuras geológicas más saltantes formadas en el área de estudio son las fallas, que según la época que sucedieron guiaron la deposición de las rocas, mineralización, modelación y la reubicación espacial actual del depósito mineral. En las fotos aéreas de la zona del yacimiento Pierina, se observan dos grandes lineamientos estructurales denominados Tinyash y Mirador. Este último está expuesto en el tajo Pierina y es denominado como la Falla Roxana. Entre las fallas Tinyash y Roxana se ha producido la formación del sistema de estructuras de cizalla Katty, las cuales actuaron como los canales de alimentación para la mineralización del yacimiento Pierina.

Posteriormente a la mineralización de Pierina, sucedieron hasta tres nuevos eventos tectónicos: Mioceno medio (10 Ma), Mioceno superior (7 Ma) y la fase del Cuaternario antiguo (2 Ma) que modificaron la posición inicial del yacimiento, deformándolo y exponiéndolo en superficie, provocando, además, su inestabilidad y deslizamiento en dirección de las pendientes propicias.

Asimismo, tanto la falla Roxana, como las estructuras de cizalla, buzaron hacia el lado sur, por lo tanto se asume que los fluidos mineralizantes provinieron de dicho sector. Restringidos por las rocas poco permeables de composición andesítica y flujos dómicos QFP, estos fluidos alcanzan su máxima mineralización y diseminación en las tobos de composición ácida.

Por efecto del último movimiento inverso, ocurrido en las fallas Tinyash, Roxana y en las estructuras de cizalla, se produjo la exhumación de los bloques techo y su consiguiente deslizamiento a través de las fallas Milagros y Azucena. La falla Roxana se expone ampliamente en las paredes Oeste y Este del tajo, tiene un azimut aproximado de 125° y buzamiento variable entre 35° a 45°SW. La falla inversa, está evidenciada por la presencia de innumerables estructuras de arrastre y el “*pitch*” que indica su dirección de movimientos hacia N30°E.

Las fallas inversas del cuaternario antiguo, expusieron los bloques techo, con la consiguiente desestabilización, alteración y formación de material supergénico (roca blanda) que posteriormente se deslizaron y se ubicaron formando los cerros Piruro, Torta, Quinquishinca y otros megabloques descritos en el texto. Actualmente, las fallas preexistentes se reactivan, son dinámicas e inestables, producen constantes deslizamientos durante las operaciones mineras, a estas fallas se les ha denominado Azucena y Milagros respectivamente.

Con las consideraciones anteriores, en la mina Pierina se ha determinado tres zonas potencialmente vulnerables, en ellas se debe tener especial cuidado para realizar construcciones civiles posteriores:

- Zona A: Zona fallas Azucena
- Zona B: Zona fallas Milagros
- Zona C: Zona pozas de sedimentación.

**NEOGENE STRUCTURAL GEOLOGY IN THE CORDILLERA NEGRA,
IMPLICATIONS ON THE ORIGIN AND STABILITY OF THE SLOPES OF THE
HIGH-SULFIDATION EPITHERMAL PIERINA DEPOSIT**

ABSTRACT

The gold deposit of the Pierina mine has been exploited for more than ten years now. It was discovered by the presence of a mega-block located in in the Piruro hill. Pierina is a high-sulphidation epithermal gold-silver deposit, hosted in volcanic rocks of the Calipuy group, which were deposited in two stages: the first one between 46 to 23 Ma and the second stage between 16 to 13 Ma, including a volcanic inactivity period for this area of approximately 8 Ma.

For the purposes of this study, tectonic events of the Qechua phase (Mioceno) and ancient Quaternary phase have been taken into consideration.. The most important volcanic and tectonic activity related to mineralization events occurred in the Miocene. The modification of the original geometry of the Pierina deposit occurred later by the effect of external geodynamic events in the early Quaternary tectonic phase.

The Miocene internal geodynamic was a regional process, that allowed the formation of the Tinyash and Roxana regional fault systems, which at different times acted as inverse, tensional and strike-slip fault systems. Volcanism and dome intrusions, and shear structures associated with alteration and gold mineralization were linked to these internal geodynamic processes.

Furthermore, it has been recognized that the last regional tectonic movement was inverse and occurred in the ancient Quaternary reactivating altered and mineralized shear structures showing reverse fault movements.

External geodynamic was related to gravity movements, natural or man-made, through a series of faults like Azucena and Milagros which caused rotational landslides of large volumes of rock masses, modifying the original geometry of the Pierina deposit.

The alteration and mineralization of the Pierina mine occurred between 14.1 and 14.7 Ma, as an effect of hydrothermal fluids transported along the Katty and Torta shear structures. This alteration-mineralization was pervasive and become even more pervasive in the dacitic tuffs located in higher levels of the volcanic sequence. The Katty structures were intensively silicified showing "vuggy silica" and laterally zoned quartz – alunite alteration. The lower levels of these structures contain enargite as crystals in cavities and pulverulent in fractures, which has been interpreted as a result of intense fracturing of the structures followed by mylonitization and redistribution of the ore minerals. The gold values in the Katty structures are greater than 1 g/t, but are not economic due to the presence of sulfides. The alteration of the Torta shear structures is similar to the Katty structures, but the gold content is lower, about 0.01 g/t.

The most striking geological structures formed in the study area are the faults, which led to the deposition of the volcanic rocks, mineralization, configuration of the geometry of the ore deposit and later the relocation of the mineralized bodies. In the aerial photos of the Pierina mine area, two major structural lineaments called Tinyash and Mirador have been mapped. The latter is exposed in the Pierina open pit and is registered as the Roxana fault. In the space between the faults Roxana and Tinyash, shear structures were formed, which acted as feeders for the mineralization of the Pierina deposit.

After the mineralization of the Pierina mine, up to three tectonic events occurred: Middle Miocene (10 Ma), Upper Miocene (7 Ma) and ancient Quaternary Phase (2 Ma), which deformed, exhumed the ore deposit and created the slope instability conditions that conducted to land slide movements of certain mineralized blocks.

Furthermore, as the Roxana fault and the shear structures dip to the south side, it is assumed that the mineralizing fluids came from that sector. Constrained by low permeability rocks and andesitic flow domes QFP, these fluids reach their maximum expansion along the tuffs of acidic composition, which were mineralized.

As a result of the last reverse movement, which affected the faults Tinyash and Roxana, as well as the shear structures, the hanging-wall blocks were exhumed and moved down slope along the Milagros and Azucena faults. The Roxana fault is widely exposed in the western and eastern walls of the open pit. It has an azimuth of approximately 125° and dip varying between 35° to 45° SW. The reverse fault is evidenced by numerous dragging structures, and the "pitch" indicate a movement direction towards $N30^\circ$ E.

The reverse faults activated in the ancient Quaternary exposed blocks of the hanging-wall, leading to slope instability, alteration and formation of supergene material (soft rock), which subsequently slipped downwards and formed the hills named Piruro, Torta, Quinquishinca and other megablocks described in the text. Currently, the pre-existing Azucena and Milagros faults are still reactivated and remain unstable and dynamic. Repeated landslides occurred during the mining operation.

Three potentially vulnerable areas have been identified, where special care must be taken to avoid damages to buildings and other civil constructions:

Zone A: Zone of the Azucena faults

Zone B: Area of the Milagros faults

Zone C: Zone of the sedimentation pools.

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN

Desde mayo del año 2003, en forma continuada se ha venido trabajando en los diferentes proyectos de exploración de la mina Pierina, ubicados dentro de los 25 km a la redonda de la mina; posteriormente, de enero a mayo del 2009 se realizó un mapeo detallado en la mina, incidiendo en la geología estructural que permitió resolver problemas geotécnicos producto de la geodinámica externa.

Estos trabajos permitieron observar y concluir que los procesos tectónicos ocurridos en el Neógeno tuvieron una importancia en la formación del yacimiento; así mismo, modificaron la posición final del mismo, dándole una nueva geometría del depósito mineral.

Durante las actividades del minado se advierten constantemente los diferentes problemas geotécnicos, especialmente durante las épocas de lluvia. Con los conocimientos adquiridos sobre la geología regional y local, se decidió realizar una tesis de maestría con el objetivo de plantear soluciones y mitigar los problemas indicados, y colaborar con un modelo geológico adecuado del yacimiento en aras de ampliar la vida de la mina. Para tal efecto, en las páginas siguientes se realiza el análisis correspondiente.

1.2 UBICACIÓN Y ACCESOS

La Mina Pierina se ubica en el distrito Jangas, Provincia Carhuaz, Departamento Ancash; en la cuenca del Río Santa, denominado Callejón de Huaylas (Figura N° 01). Desde Lima hay dos vías de acceso: terrestre y aéreo.

1.2.1 Vía terrestre

Existen tres rutas de acceso:

➤ La distancia de Lima a la mina son 443.8 Km, se recorren los siguientes tramos:

- Lima – Paramonga 209.0 km
- Paramonga – Huaraz 200.0 km
- Huaraz - Jangas 16.8 Km
- Jangas - Mina 18.0 Km

Las alternas y de uso ocasional son:

- Lima – Casma – Huaraz – Jangas – Mina Pierina, y
- Lima – Chimbote - Caráz – Yungay – Carhuaz - Jangas – Mina Pierina.

1.2.2 Vía aérea

El acceso aéreo es solo para aviones pequeños que aterrizan en el aeródromo Anta ubicado a 22 km, al norte de Huaraz, en el Callejón de Huaylas.

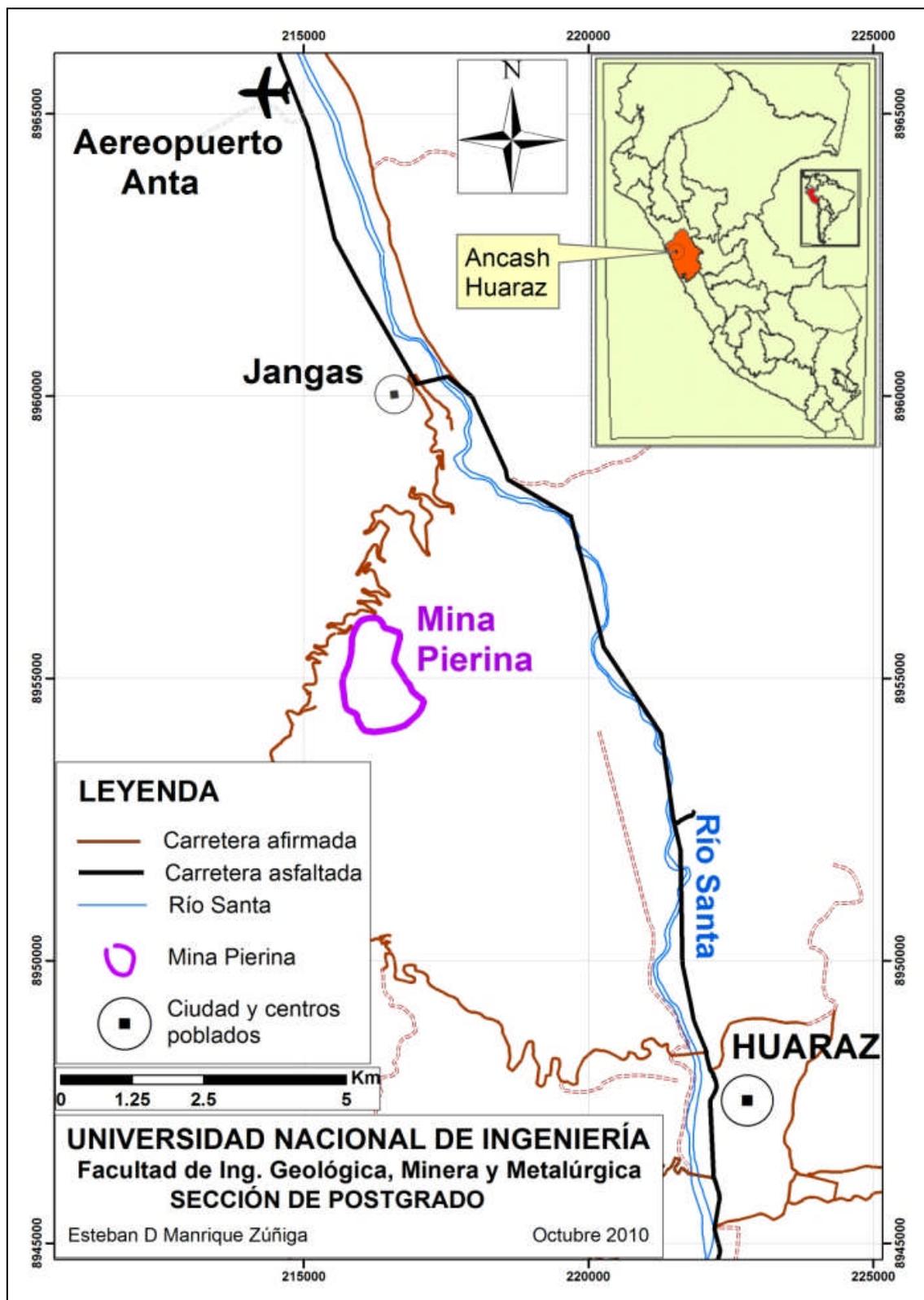


Figura N° 01: Ubicación y accesos

1.3 IMPORTANCIA

Los eventos tectónicos ocurridos en el Mioceno (Neógeno) y el Cuaternario antiguo, produjeron en la región sistemas de fallas inversas, normales y de rumbo. Es durante esta época que la mineralización de Pierina ocurre entre 14.1 y 14.7 Ma. La actividad tectónica durante y después de su formación tiene gran importancia, porque ha modificado la posición original del yacimiento y por ende dificulta el proceso de exploración y explotación.

Al realizar un mapeo geológico detallado de los bancos se ubicó una serie de fallas antiguas y recientes que han dado origen a movimientos de bloques, modificando la posición inicial de los afloramientos. El análisis de dichos procesos es de vital importancia para prevenir y mitigar los movimientos que afectan el minado, la estabilidad de las construcciones y edificaciones civiles, para la sostenibilidad de las actividades agrícolas, así como para las exploraciones mineras, y sus implicancias en la reinterpretación del modelo de mineralización.

Durante la explotación en la mina Pierina, especialmente en las épocas de lluvia, suceden constantemente deslizamientos de bloques de bancos de minado que han ocasionado cuantiosas pérdidas económicas. Así mismo, durante la construcción de accesos y preparación para el minado se ubican megabloques mineralizados englobados en material argilizado y/o coluvios, que si bien es cierto son favorables para incrementar la vida de la mina, estos no están considerados en el modelo geológico desarrollado para el cálculo de las reservas recursos.

Al respecto, el análisis en la tesis pretende ayudar a la solución de estos problemas.

1.4 HIPÓTESIS

- En la zona de Pierina, durante la orogenia andina, la tectónica compresiva ha ocasionado la formación de grandes relieves en la Cordillera Negra. La inestabilidad gravitacional de los relieves y esfuerzos extensionales han causado, posteriormente, el deslizamiento de grandes bloques.
- Los procesos antes descritos han causado la modificación de la anatomía inicial del yacimiento de Pierina, generando una redistribución de alteraciones y mineralización que sigue un patrón irregular e imprevisible. Además, la actividad minera incrementa las inestabilidades existentes, haciendo necesario su manejo.

1.5 OBJETIVOS DE LA TESIS

1.5.1 Objetivo General

El objetivo de la presente tesis es mejorar el conocimiento geológico y la comprensión de la morfología de la mina Pierina, incidiendo en su geología estructural, la cual ha permitido analizar los cambios morfológicos ocasionados por la tectónica durante el Neógeno. Esto, a fin de contribuir en la optimización de las operaciones mineras y ampliar la reserva.

1.5.2 Objetivos específicos

1.5.2.1 Modelo geológico relacionado con la geología estructural

Obtener un modelo geológico adecuado que pueda ser utilizado para incrementar las reservas de mineral.

1.5.2.2 Geotecnia

- Prevenir la estabilidad de taludes mediante un minado eficiente;
- Prevenir y controlar los movimientos geodinámicos externos que podrían afectar la estabilidad de las construcciones y edificaciones civiles;

- Contribuir indirectamente con la sostenibilidad de las actividades agrícolas vecinas;
- Durante el cierre de mina, garantizar un control adecuado de la geodinámica externa y la consecuente estabilización con mínimos riesgos.

1.6 APORTES DE LA TESIS

La tesis propuesta tendrá aportes en los aspectos científico – académico, ingenieril – empresarial y país.

1.6.1 Aspecto científico-académico

Teniendo en cuenta que los efectos tectónicos del Neógeno ocasionaron la modificación de la morfología inicial del yacimiento -determinados con la aplicación análisis de la geología estructural- se generará un mejor conocimiento geológico de la mina Pierina, que es uno de los tres grandes yacimientos epitermales de oro del norte del Perú, junto con Yanacocha y Alto Chicama. Al mismo tiempo de ser una contribución a la Metalogenia del Perú, aportará a la mejor formación de los geólogos, al ser sujeto de estudio, como ejemplo, en las universidades del Perú y del extranjero.

1.6.2 Aspecto ingenieril – empresarial

Como ya se ha esbozado, los resultados de este trabajo brindarán un aporte importante al ser tomados en cuenta:

- Para las obras de estabilidad de taludes, y
- Para mejorar el modelo geológico y así dar luces en la definición de nuevos blancos de exploración, incrementar eventualmente las reservas y guiar la prospección de nuevas áreas.

1.6.3 Aspecto país

El conocimiento tectónico regional en la formación de los yacimientos minerales y post-tectónico que modificaron su posición y forma inicial es de vital importancia para controlar adecuadamente el minado y ampliar las reservas. Asimismo, el conocimiento científico, verás y bien fundamentado

permite relacionar en la solución de los problemas en las actividades mineras similares y ubicar las posibles ocurrencias minerales en la región y el país.

De esta manera, el estudio aporta, conocimientos que pueden ser utilizados no solo en los puntos expuestos, sino, en la geotecnia que va íntimamente unida a los efectos tectónicos ocurridos, y para demostrar que en el Perú se puede desarrollar minería responsable controlando los efectos geodinámicos que pueda vulnerar a las comunidades locales y preservar el medio ambiente.

1.7 METODOLOGÍA DE TRABAJO Y ACTIVIDADES

Para la presente investigación se utilizó el método analítico inductivo y actividades correspondientes.

1.7.1 Método analítico inductivo

Partiendo de lo desconocido, se generalizó la aplicación de la tectónica e interpretó el modelo geométrico original a la luz de los nuevos datos y finalmente, se aplicó para proponer un modelo geológico alternativo que sea útil para una adecuada exploración y extracción mineral y para mitigar los riesgos de la geodinámica externa.

Pasos a seguir en la secuencia Lógica:

- Obtención de datos de campo;
- Fotointerpretación;
- Sistematización y análisis de la información;
- Análisis de los datos de campo;
- Aplicación de modelos conocidos en el tratamiento de los datos que se obtienen en el mapeo;
- Levantamiento de estudios preexistentes;
- Diagnóstico de la información preexistente;
- Cruce de información, bibliografía y asesoría técnica;
- Elaboración de la tesis;

- Revisión de la tesis;
- Sustentación.

1.7.2 Actividades

1.7.2.1 Compilación de información

La información que se ha usado en la elaboración del presente trabajo son preferentemente resultados de los trabajos anteriores de la empresa, en especial los preparados por el suscrito. Se ha obtenido un gráfico de la geología regional –estructural- de INGEMMET; otro es de Prieto y Castelli (2007) para la ubicación de lineamientos regionales. El resto, es elaborado por el suscrito.

Para la fotointerpretación se ha usado una fotografía aérea regional proveniente del Servicio Aéreo Fotográfico Nacional (2-7-67).

1.7.2.2 Trabajo en campo

El trabajo de campo se realizó entre el 15 de enero y el 15 de mayo del 2009. Consistió en mapeo de bancos a escala 1:1000, participaron Andrei De Paz, Freddy Blas e Isaac Lozano en la parte de mapeo de litología y alteraciones, y el suscrito en la parte de geología estructural y supervisión del mapeo en general. Se tomaron 288 puntos de control para tomar datos de rumbos y buzamientos de fallas, diaclasas, estructuras mineralizadas y contactos litológicos.

Parte de la recopilación de datos, análisis del trabajo de campo y proposición de puntos de perforación se realizó en la mina. El resultado preliminar del estudio se presentó a los directivos de la empresa en la mina y en Lima. Producto de la importancia que representa el presente trabajo tanto para ampliar el yacimiento, como para colaborar en la mitigación de los fenómenos de la geodinámica externa y solucionar parte de los problemas de minado consideré oportuno preparar una tesis de postgrado.

CAPITULO 2: CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

El área objeto del presente estudio está ubicado en el departamento de Ancash, en la parte oriental de la Cordillera Negra, margen izquierda del Río Santa, se extiende sobre las partes altas de las provincias Carhuaz y Huaraz (Figuras N° 01 y 02). En la carta geológica nacional, corresponde al cuadrángulo de Carhuaz (hoja 19-h).

En esta latitud, la Cordillera Occidental se presenta dividida por el graben del Callejón de Huaylas en dos unidades morfotectónicas paralelas, las cordilleras Blanca y Negra. En la Cordillera Negra predominan rocas de edades Mesozoica, Cenozoica e intrusiones asociadas; controladas por plegamientos y fallamientos; mientras en la Cordillera Blanca afloran ampliamente rocas de composición ácida denominado Batolito de la Cordillera Blanca conformados por granitos-tonalita.

Geomorfológicamente, en el área de estudio se reconoce simplemente la unidad geomorfológica de la etapa valle, formada por la erosión de la cuenca del Río Santa y sus tributarios. Está asociada con terrazas de acumulación y terrazas de erosión.

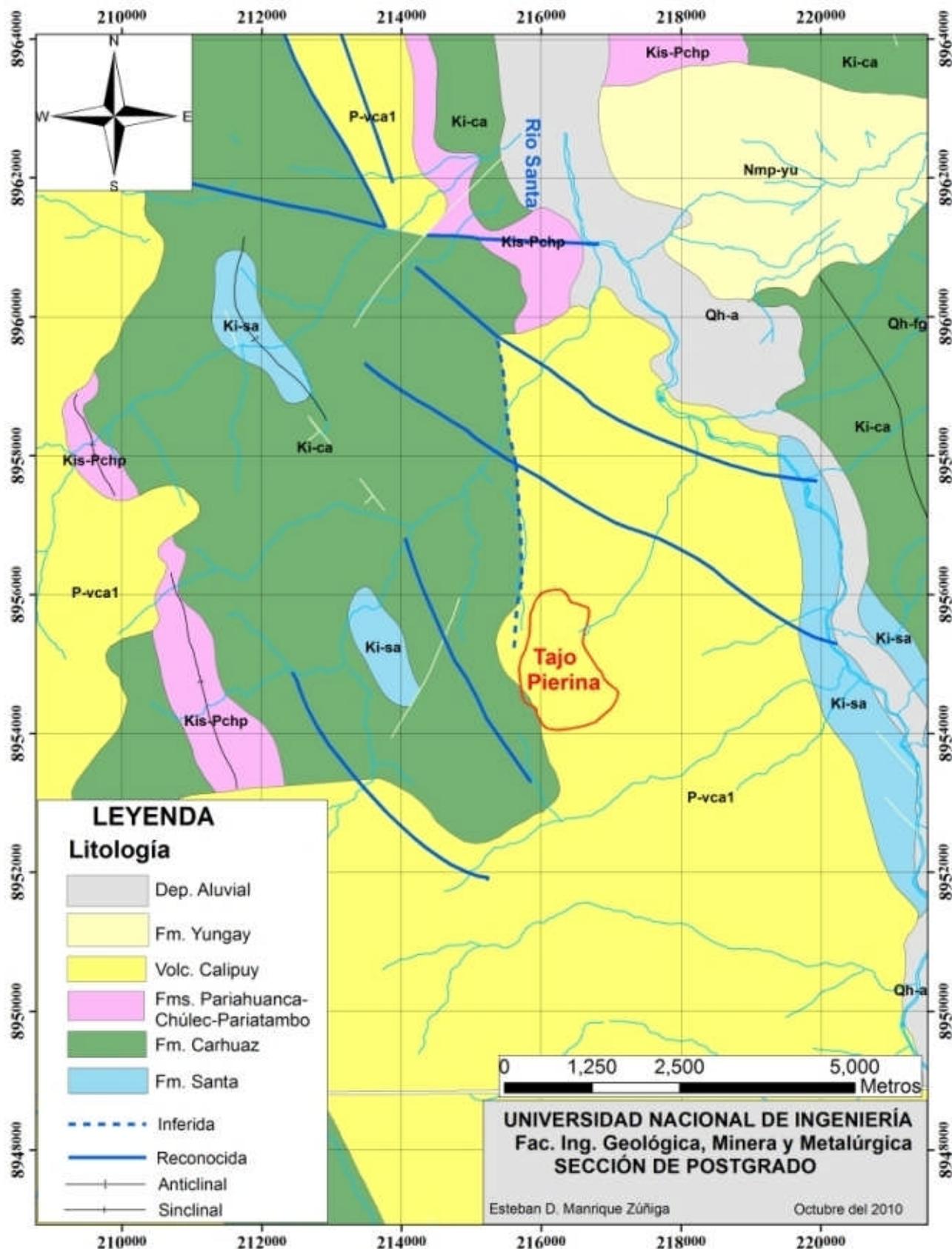


Figura N° 02: Plano geológico regional (INGEMMET, 1963)

2.1 ESTRATIGRAFÍA

2.1.1 Substrato pre-cenozoico (Cretáceo Inferior)

La unidad más antigua expuesta en el área es la Formación Santa, estudiada y ubicada a 5 Km al norte de la mina Pierina, forma parte del Grupo Goyllarisquizga (Wilson, 1963). Consiste de secuencias limolíticas con potencias que van desde 10 cm a 3 m, intercaladas con lutitas de potencias similares a las limolitas; sobre estas se han depositado secuencia calcáreas, siendo la primera una caliza gris de textura mudstone, de formas lenticulares, de potencia variable, desde 50 cm hasta 10 m. Los bancos presentan en su parte superior zonas de dolomitización moderada, luego una intercalación de lutitas y capas delgadas de caliza fosilífera que no es constante en toda el área. Se estima una potencia mayor a 100 m.

Inmediatamente al oeste de la mina, en concordancia, sobre la secuencia anterior, vienen unos 1,500 m de Fm. Carhuaz, también perteneciente al Grupo. Goyllarisquizga. Está formada por una litología más clástica, limolitas arenosas y areniscas de colores gris a gris oscuro a negro y, sobre todo en su intervalo más alto, rojizo; salvo por algunas muy escasas intercalaciones calcáreas (Figura N° 02).

2.1.2 Cenozoico

Está constituido principalmente por rocas volcánicas continentales del Gp. Calipuy (Wilson, 1963), en discordancia angular y erosional, cubre ampliamente la Cordillera Negra. Mayormente es de composición andesítica, que presentan facies de lavas, brechas, lutitas tobáceas, conglomerados y rocas piroclásticas estratificadas. En Pierina se ha reconocido una unidad de composición dacítica, que se tratará en detalle en capítulos posteriores.

2.2 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

Predominan depósitos coluviales (Q-col) y aluviales fluviales (Q-al-fl).

2.2.1 Depósito coluviales

Están conformados por detritos de ladera, pie de monte y conos de escombros. Constituyen una mezcla de materiales angulosos volcánicos y sedimentarios de diferentes tamaños, sueltos. Son productos de deslizamientos, derrumbes, desprendimientos de rocas. Los fragmentos se acumulan sin cohesión, su espesor varía de unos cuantos centímetros a varios metros (Figura N° 02).

2.2.2 Depósitos aluviales y fluviales

Están constituidos por arenas, gravas, bolonerías, arcillas y conglomerados. Son depósitos heterométricos semiconsolidados. Se ubican a lo largo del lecho y márgenes del río Santa, en las desembocaduras de los tributarios y laderas de los valles principales formando el relleno del cauce y terrazas, de extensiones y potencia variables, a diferentes alturas sobre el lecho actual del río. Los depósitos aluviales constituyen en la mayoría de los casos el soporte de terrenos de cultivo, construcciones viales, viviendas, canales de irrigación, riego, etc.

2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Steimann (1929), define para la región del Perú tres eventos tectónicos compresivos de corta duración.

Fase Peruana : en el Santoniano

Fase Inca : en el Eoceno superior – Oligoceno inferior

Fase Quechua : en el Mio – Plioceno.

Soulas (1975), Sébrier et al (1983), Lavenu (1988), Sébrier et al (1988); en base, a un análisis de series sedimentarias y volcánicas, añaden a la secuencia determinada por Steimann, nuevos eventos tectónicos compresivos:

Fase Mochica : en el Albiano

Fase Peruana : en el Santoniano (80 Ma)

Fase del Cretácico final: Paleoceno

Fase Incaica : en el Eoceno superior (40 Ma)

Fase Aymara : en el Oligoceno superior (26 – 28 Ma)

Fase Quehua : $\left\{ \begin{array}{l} \text{Mioceno inferior (15 - 17 Ma)} \\ \text{Mioceno medio (10 Ma)} \\ \text{Mioceno superior (7 Ma)} \end{array} \right.$

Fase Cuaternario antiguo (2 Ma)

En la región, estos eventos tectónicos produjeron sistemas de fallas inversas, normales y de rumbo. Para los fines de la presente tesis, porque la mineralización de Pierina tiene una edad de formación entre 14.1 y 14.7 Ma, se considera los eventos tectónicos ocurridos en el Mioceno y el Cuaternario antiguo.

Próximos al área de estudio, en el mapa geológico de INGEMMET (Wilson, 1963; Figura N° 02), muestra serie de fallas, una inferida de orientación N–S que pasa inmediatamente por el lado NO del tajo; más al oeste, pasa una falla

de dirección NE-SO; al norte del tajo pasan dos subparalelas de orientación aproximada N60°W, una de ellas que pasa por el centro poblado Mataquita estaría asociada con la mineralización y tectonismo de esta área, materia del presente estudio; y por el lado SO del tajo pasan otras dos fallas subparalelas de orientación aproximada NO-SE, una de ellas el más próximo al tajo estaría relacionado o representaría la Falla Cuncashca.

Trabajos recientes (Prieto y Castelli, 2007), en el área de la Mina Pierina definen 4 lineamientos de orientación general N40°O; denominados Lineamiento Pierina Oeste (LPO), Lineamiento Cuncashca (LC), Lineamiento Mirador (LM) y Lineamiento Pierina Este (LPE), de ellas el LM estaría pasando por el tajo (Figura N° 03). Sobre la base de estos elementos se ha trazado los lineamientos estructurales. Subrayamos que no se pretende que los lineamientos sean fallas específicas, por lo menos no en el nivel estructural donde se les observa. Se trata de corredores de escala mayor y cuyo ancho puede ser considerable, donde se alinean y concentran rasgos estructurales, geológicos y geomorfológicos (Richards, 2000). Es verosímil que estos lineamientos sean la expresión en la cobertura Paleógena y en los centros volcánicos y subvolcánicos Neógeno de estructuras que se insertan en el Mesozoico plegado (posiblemente como rampas de cabalgamiento), y algunas de estas a mayor profundidad.

Sin embargo, por la ubicación y orientación de estas fallas podemos apreciar que no hay relación entre ellas, salvo, inferir que la falla que pasa por Mataquita (Wilson, 1963) y el lineamiento Mirador que pasa por la mina estarían relacionados con el tectonismo, mineralización y movimientos de masa asociados (Figura N° 03).

Dentro del tajo Pierina, el lineamiento Mirador ha sido ampliamente descrito y determinado como Falla Roxana. Sus últimos movimientos geodinámicos han sido descrito y reconocidos -movimiento en sentido inverso- prueba de la tectónica compresiva. Se ha determinado sus implicancias con la forma y

posición actual del yacimiento mineral; su consecuencia en el proceso de la geodinámica externa, y su secuela de problemas en el minado.

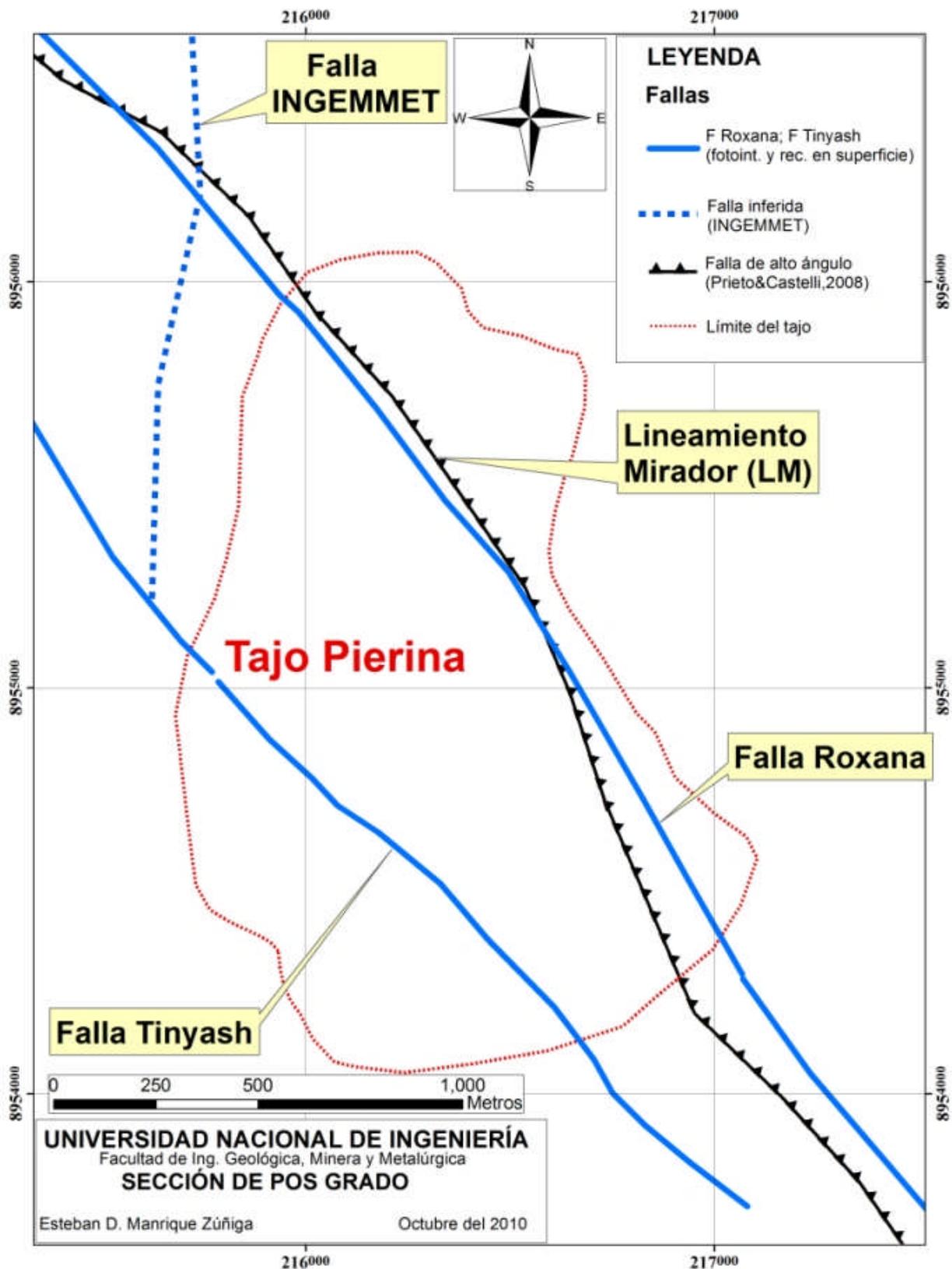


Figura N° 03: Geología estructural representando las fallas inferida por INGEMMET (1963) y determinadas por el suscrito (Falla Tinyash y Falla Roxana)

CAPITULO 3: GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO PIERINA

3.1 SECUENCIA LITOLÓGICA

3.1.1 Rocas sedimentarias

A unos 1.5 km al oeste del Tajo Pierina, se ubica calizas con colores que tienen tonalidades gris a beige, bancos potentes que sobrepasan a 5 metros, plegadas con rumbo NW-SE, morfológicamente poco resistentes; en su base este afloramiento se presenta intensamente fracturado, su contacto con las secuencias circundantes y continuidad no es evidente. Así mismo, por presentar bancos potentes no tiene similitud con la Fm. Santa que es la más cercana a este lugar (Proyecto Santa Fe); por lo tanto, se presume que este “megabloque” es proveniente de formaciones superiores como la Fm. Chulec.

Alrededor de la caliza anteriormente descrita y hacia el suroeste del tajo Pierina, aflora ampliamente la Fm. Carhuaz, formada por areniscas sucias y limolitas arenosas. Presenta intercalaciones de calizas de formas lenticulares alargadas. Esta formación presenta colores gris a gris oscura a negro, cuando están alterados por procesos hidrotermales tienen colores rojizo, cremosa a amarillo ocre. (Figura N°4)

3.1.2 Rocas volcánicas

Se han depositado en discordancia erosional y angular sobre las rocas sedimentarias de edad Mesozoica (Foto N° 01 y 02). En la Mina Pierina se ha diferenciado tres unidades litológicas volcánicas, subdivididas por su posición estratigráfica y composición mineralógica determinadas en el campo: unidades litológicas andesíticas y dacíticas (Figura N° 05; Cuadro N° 01). Los contactos entre las unidades están disturbados, fallados y/o discordantes.

3.1.2.1 Primera unidad (andesítica)

Depositada entre 46 a 23 Ma (Strusiewicz, et al, 2000), forma el basamento volcánico, se dispone en discordancia angular y fallada sobre las rocas sedimentarias de la Fm. Carhuaz (Foto N° 01; Figura N° 05). En la base, una potencia aproximada de 10 m, presenta depósitos conglomerádicos de 3 a 15 cm, soportados en matriz de arena y toba, los clastos están redondeados, compuestos por ortocuarzitas y calizas (Foto N° 2); descritas por Gaboury (2001) y Ángeles (2008) como relleno de “*breccia dyke*”. Sigue la secuencia con potentes bancos de toba, presentando abundantes cristales rotos de plagioclasas brecha y aglomerados volcánicos bastante compactos; son de color cremoso, gris verdoso a marrón rojizo, todo de composición andesítica.

En esta secuencia se ha identificado domos y coladas de lava, provenientes del cerro Chontarrangra como uno de los centros eruptivos. Los domo – lavas forman pequeñas colinas, se disponen imbricados, con dirección de flujo predominante hacia el NNE, SSE, SE y NE. Las rocas son masivas, textura bandeados y ocasionalmente vesiculares. Su color es gris violáceo, textura pórfirítica y composición andesítica (Fotos N° 03, 04 y 05). Los máficos son anfíboles y piroxenos con abundante plagioclasa y escasa presencia de fenocristales de cuarzo. En los entornos de la zona mineralizada, estas rocas se presentan fuertemente agilizadas, pasando a los alrededores a la alteración deutérica, con desarrollo de cloritas, arcillas, carbonatos, sericita y epidota.

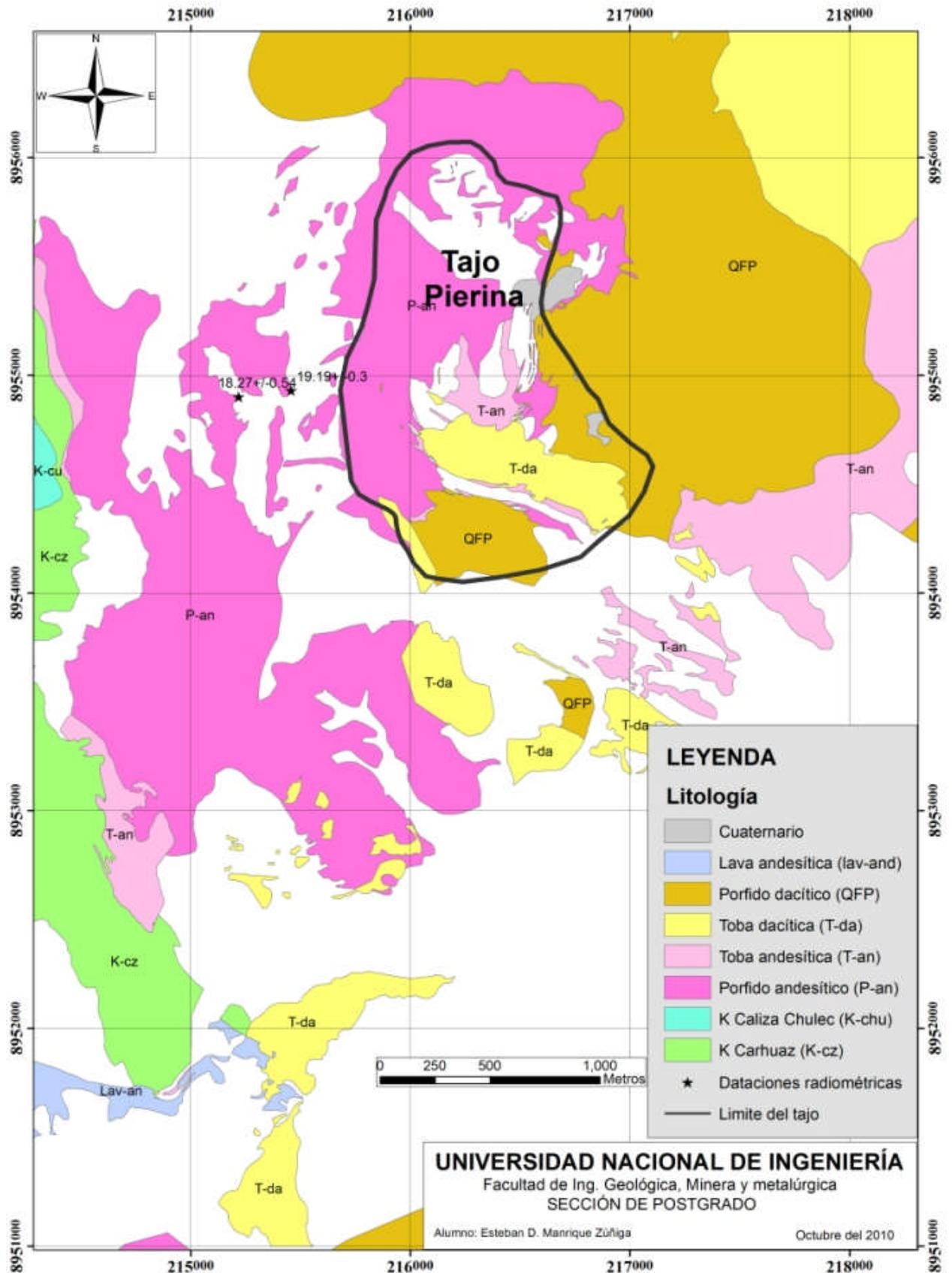


Figura N° 4: Plano litológico del Yacimiento Pierina

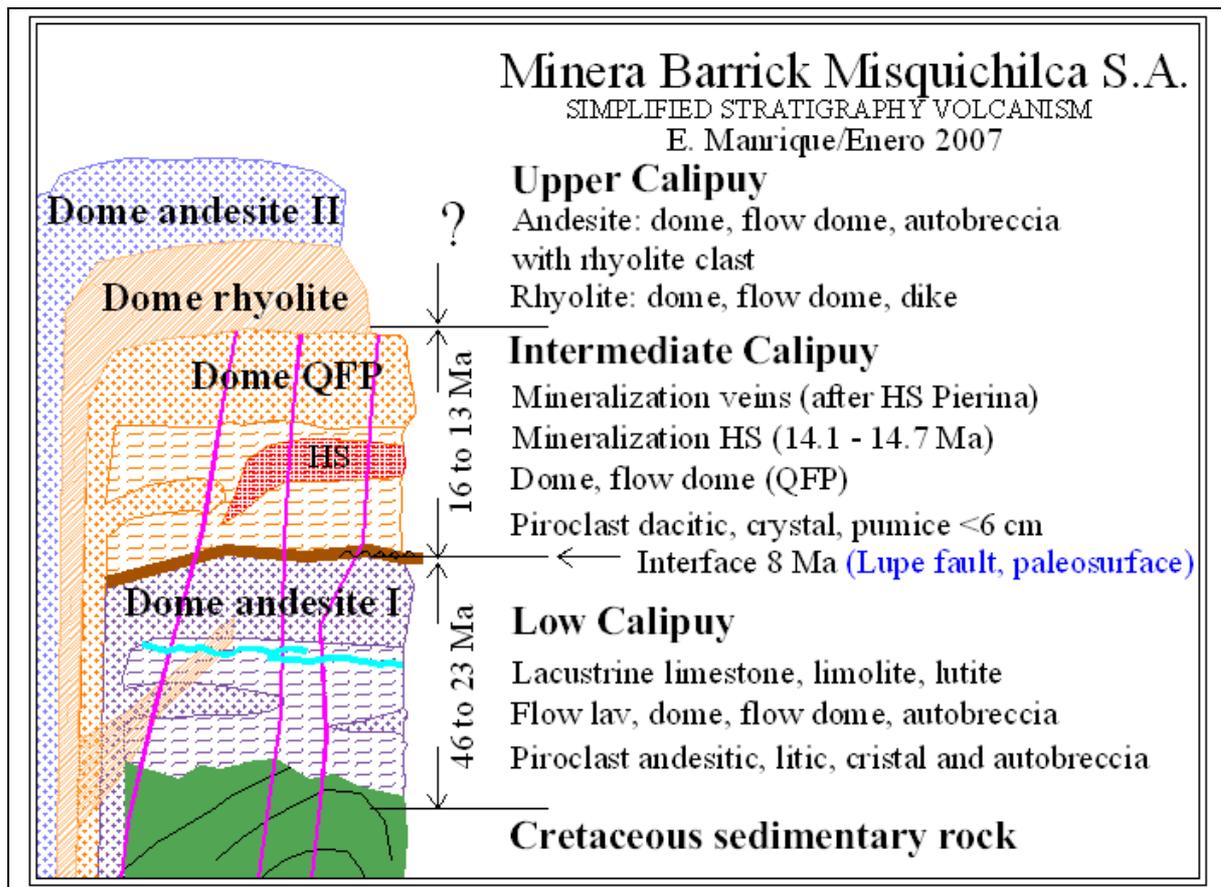


Figura N° 05: Secuencia volcánica depositada en la mina Pierina y alrededores (E. Manrique Enero 2007).

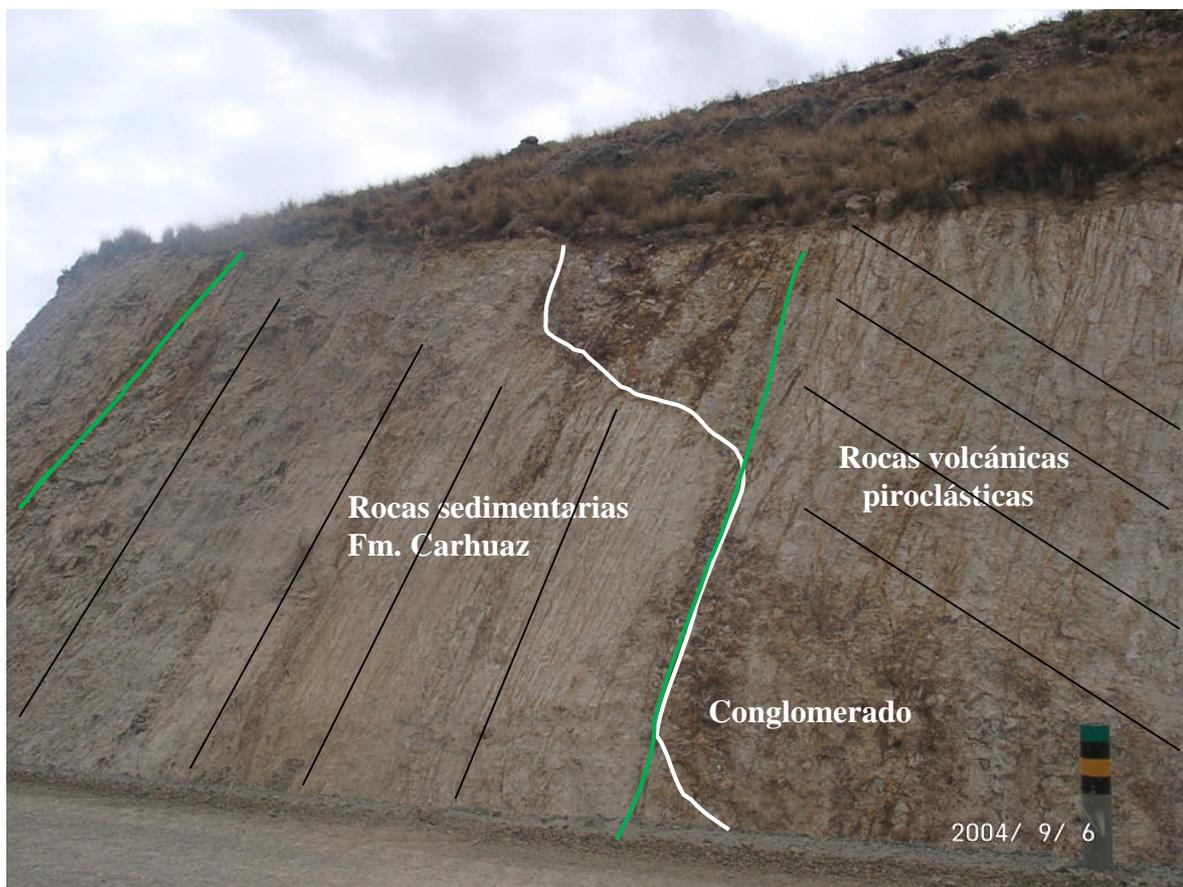


Foto N° 1: Lado E del Cerro Cuncashca. Contacto fallado y discordante entre rocas sedimentarias (izquierda) y volcánicas piroclásticas de composición andesítica (derecha). Las fallas son concordantes a la estratificación de las rocas sedimentarias, sub vertical que ha desplazado la base conglomerádica de las tobas. Los clastos son ortocuarcitas redondeadas; intenso fracturamiento en las rocas piroclásticas rellenas con óxidos anómalos en contenido de oro (enriquecimiento secundario).



Foto N° 2: Detalle de la Foto anterior. En el contacto de rocas sedimentarias y rocas volcánicas, presencia de clastos de ortocuarcita, redondeados y fracturadas. Las fracturas y cavidades rellenas con óxidos de aspecto terroso.



Foto N° 3: En lado NE del Cerro Chontarrangra. Se nota claramente dos frentes de domo - lava (superior izquierda y baja derecha con bloques suspendidos). El bloque de la parte inferior tiene como base a todas de composición andesítica intensamente argilizada.



Foto N° 4: Cerro Chontarrangra. Sector NE del domo, cerca de la faja transportadora. Evidencias de flujos dómicos sucesivos.



Foto N° 5: Detalle de la foto anterior. Entre domos, brecha milonítica monomíctica soportada. Domos y brecha inalterados.

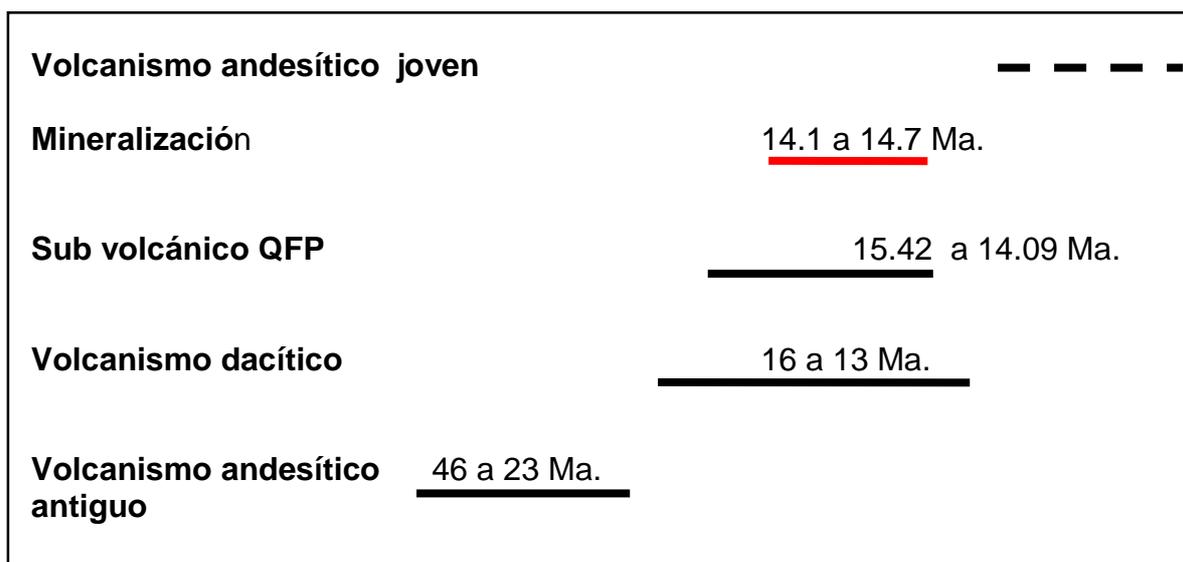
3.1.2.2 Segunda unidad (dacítica)

Se inicia con la intrusión y flujo de una serie de domos; en los alrededores del tajo se han ubicado varios domos de pórfido dacítico (*quartz feldspar porphyry* (QFP)), (Figura N° 04; Plano N° 01): uno en el borde sur del tajo (zona de la fallas Milagros, Foto N° 06); en los alrededores del punto cuyas coordenadas UTM son 216600E – 8953500N (actualmente, al E de las oficinas administrativas), con características de flujos de domo; y el de mayor extensión se ubica cubriendo la parte E y N del tajo. En el borde SSE del tajo (Cerro Torta) se ubica expuesta sobre coluvio del mismo material (Foto N° 07). Al sur de la mina Pierina, en la mina Santo Toribio, rocas con las mismas características tienen una edad entre 15.42 y 14.09 Ma (Strusievicz, 2000). Durante la segunda mitad del vulcanismo dacítico (tobas y QFP), sucedió la mineralización del yacimiento Pierina (Figuras N° 05)

Estos domos presentan bandeamientos de flujo “*flow banding*” e imbricados, se caracterizan por su color gris cremoso, con abundantes fenocristales de feldespato, contiene proporciones variables de cuarzo, hornblenda y biotita. Los ubicados por la zona de los deslizamientos Milagros, se presentan parcialmente argilizados, con plano de contacto entre flujos buzando hacia el norte (Foto N° 6).

El QFP ubicado en el Cerro Torta, está intensamente tectonizado expuesto sobre material coluvial de la misma composición (Foto N° 7), fracturados e interceptados por una gran cantidad de estructuras mineralizadas de orientación que va de 80° a 125° y buzando hacia el sur. Estas rocas, presentan una fuerte alteración a *vuggy silica* – cuarzo/alunita.

Casi simultáneo con la intrusión de los domos QFP se ha depositado una toba de composición dacítica (Cuadro N° 01), En el tajo, ésta se encuentra intensamente alterada por acción de procesos hidrotermales y muy disturbada conjuntamente con toba de composición andesítica (Foto N° 8). Ésta unidad también se observa al NE y S de la mina, en estos lugares parcialmente han sufrido una alteración supérgena. Estas tobas han sido datadas entre 16 a 13 Ma (Strusievicz, 2000). Son facies fundamentalmente de composición dacítica, cuando están parcialmente alteradas presentan colores gris cremosos a rojizo, muestran cristales redondeados de cuarzo (localmente hasta 20 %), cristales de plagioclasa y biotita. La toba presenta abundantes líticos de tamaños de lapilli y textura eutaxítica (*fiamme*). En Pierina, estas tobas han sido propicias para la mineralización, muchos autores han puesto énfasis en su descripción y denominación, como por ejemplo *undifferentiated welded crystal –heterolithic tuff* de Tessier (2000), “*pumice*” *lithic tuff* de Gaboury (2001), “*pyroclast dacitic*” de Manrique (2007 in Campbell). Cuando se presentan con una alteración pervasiva a *vuggy silica*, se puede reconocer fácilmente su textura original.



Cuadro N° 01: Depositación cronológica del volcanismo en Pierina y alrededores.

Entre la segunda unidad (volcanismo dacítico) y la primera unidad (volcanismo andesítico antiguo) hay un intervalo de tiempo de aproximadamente 8 Ma. (Figuras N° 05 y Cuadro N° 01), tiempo en el cual la primera unidad estuvo expuesta al tectonismo del Mioceno inferior (15 – 17 Ma), a la alteración y erosión, y evidentemente a la formación de un paleo-relieve, que en el caso de Pierina se denomina paleo-relieve Lupe o Falla Lupe.

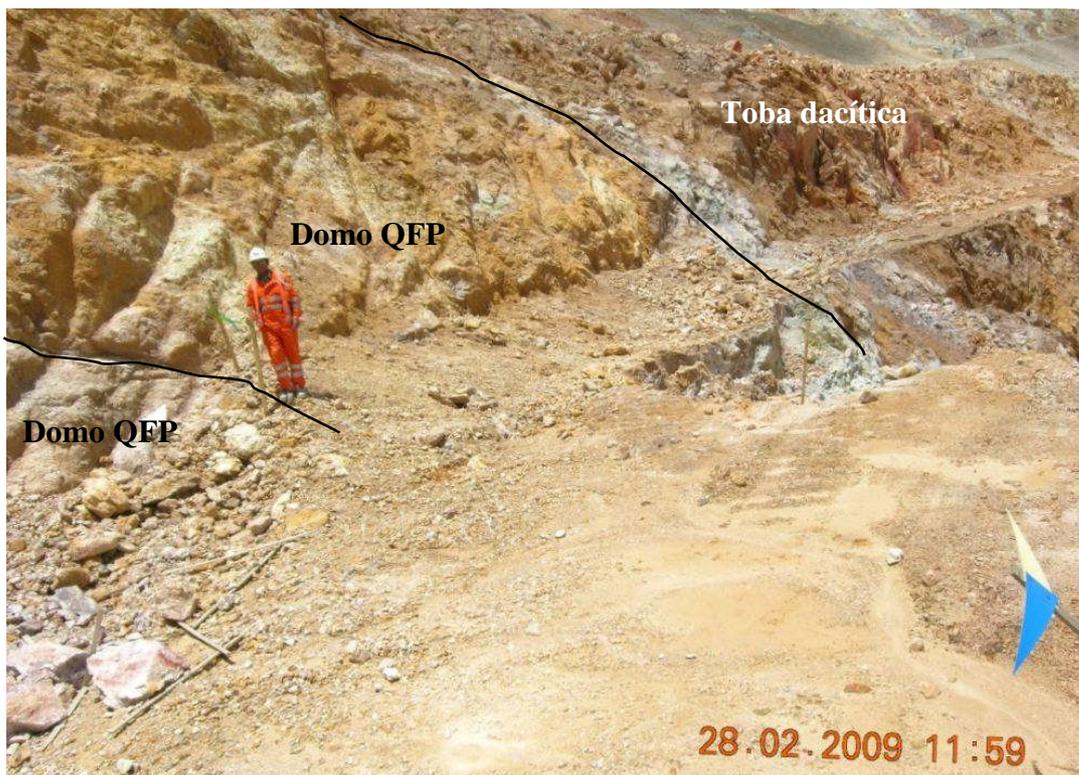


Foto N° 6: En la pared SW del tajo, vista hacia el S. Nivel 4040, contacto de flujos de pórfido dacítico (QFP) debajo de toba dacítica.

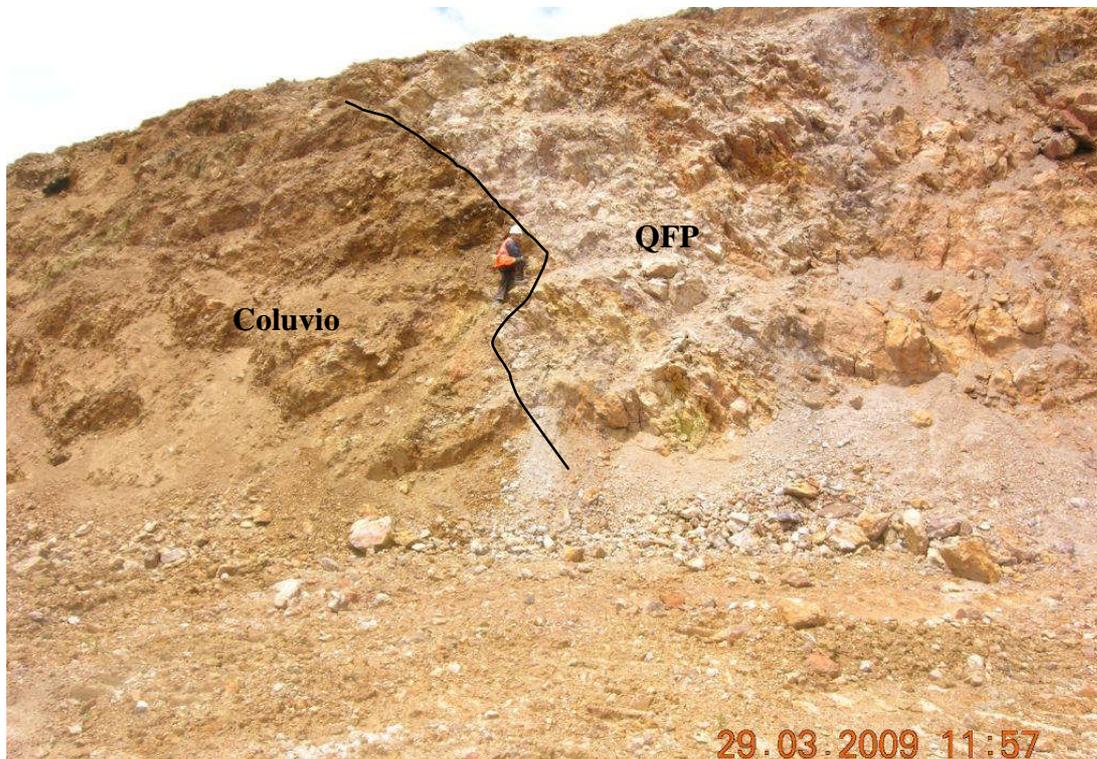


Foto N° 7: Tajo SE, nivel 4010, pórfido dacítico (PD) sobre coluvio.

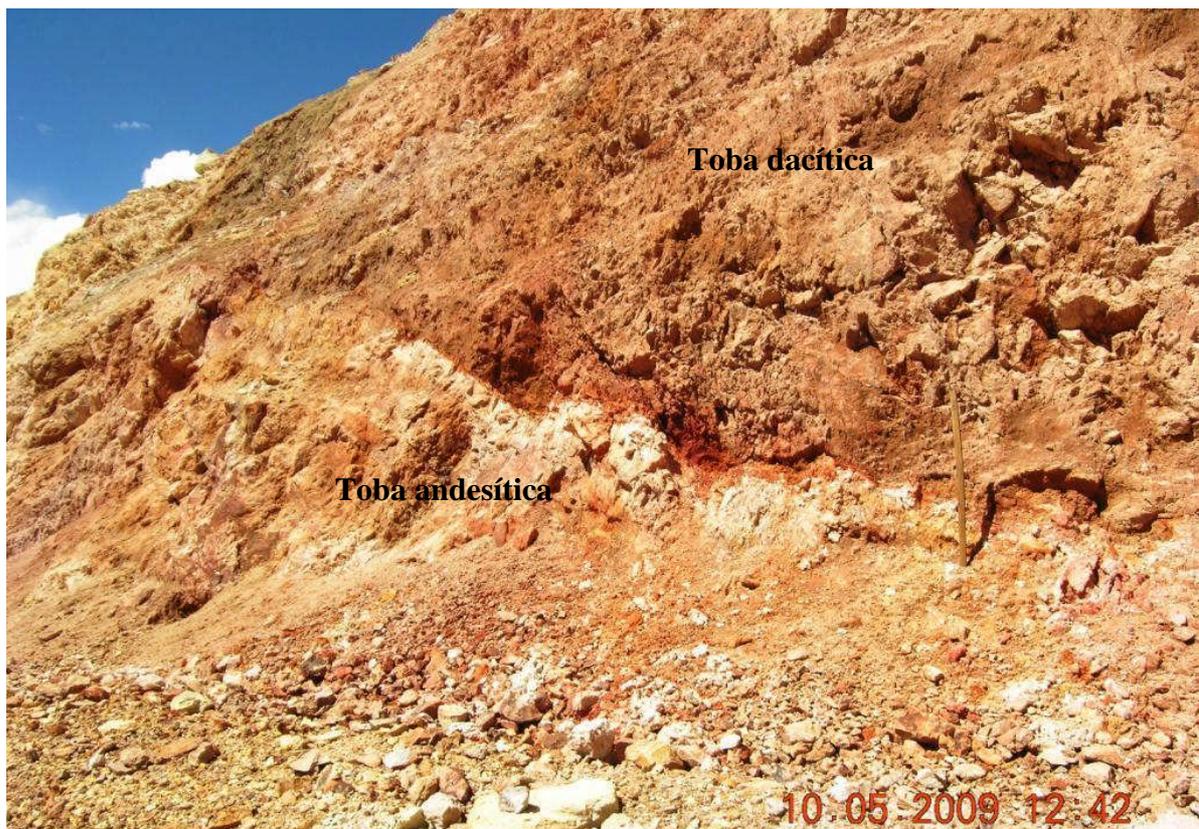


Foto N° 8: Tajo Central nivel 3900, Contacto fallado milonitizado entre toba andesítica (piso) y toba dacítica (techo). La mayor concentración de oro está en la toba de composición dacítica.

A unos 5 Km al SW del tajo Pierina (Proyecto Condorhuain) se ubicó diques y un domo de riolita de aproximadamente 1.0x0.4 Km cortando a rocas sedimentarias y a las dos primeras unidades de los volcánicos descritos en la mina Pierina. No se conoce dataciones, solo por la posición estratigráfica se asume que corresponde al final de la segunda secuencia volcánica. Tienen textura porfírica, presentan estructuras “*flow banding*” planar, muy bien desarrolladas (Foto N° 9), esto puede ser producto de la devitrificación de la roca (McPhil, 1993).



Foto N° 9: dique de riolita con estructura “*flow banding*”

3.1.2.3 Tercera unidad (andesítica)

Esta unidad tiene una edad de 9.96 Ma (Strusievicz, 2000), fue mapeada por Manrique (2005) a unos 3 a 4 Km al SW del tajo Pierina, se encuentra formando colinas o como bloques (Manrique, 2005) deslizados hacia los valles (Plano N° 04). Son coladas de lavas depositadas directamente sobre tobas de la primera unidad volcánica. Son flujos lávicos macizos o autobrechadas en su frente de flujo, engloban clastos de riolita descritas en Siguas. Por estas características y por la edad se le ha denominado vulcanismo de la tercera unidad (Foto N° 10).



Foto N° 10: Siguas. Frente de flujos lávicos; los clastos de color blanco corresponden a riolita (Ri) aflorantes al WSW de este punto.

La integración de la información existente más los mapeos en las inmediaciones del tajo Pierina, y los trabajos geológicos complementarios

considerando las tres unidades antes descritas, permitió la construcción de la secuencia volcánica en Pierina, que fue publicada en el reporte de Campbell (2007), (Figura N° 05).

3.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

3.2.1 Geodinámica interna

Producto de la geodinámica interna y geodinámica externa, las estructuras geológicas más saltantes formadas en el área de estudio son las fallas, que según la época que sucedieron guiaron la deposición de las rocas, mineralización, modelación y la reubicación espacial actual del depósito mineral. La investigación y el análisis de todos estos procesos, son el motivo del presente estudio. Para la discusión de tal efecto, se ha realizado la fotointerpretación, mapeo detallado de las estructuras en el campo, subdivisión cronológica de las estructuras e interpretación, confección de secciones estructurales y conclusión final (Figura N° 06 y Figura N° 07).

En la foto aérea (Figura N° 06) de la zona del yacimiento Pierina, se pueden observar varios lineamientos estructurales, estos mismos fueron reconocidos y graficados por Wilson, et al (1985), Lowel (1996), Prieto & Castelli (2007) y Campbel (2007).

Según Wilson, al norte de la mina Pierina pasan dos fallas sub-paralelas de 8 y 7 Km de longitud, con rumbo aproximado de N60°W; y una inferida, de aproximadamente 4.5 Km, de rumbo N-S pasa inmediatamente por el lado oeste del tajo Pierina, coincidente con la erosión de los volcánicos y con los deslizamientos actuales.

Prieto & Castelli, determinaron 4 fallas regionales sub-paralelas con rumbos aproximados N40°W, denominados: Lineamiento Pierina Oeste (LPO), lineamiento Cuncashca (LC), lineamiento Mirador (LM) y lineamiento Pierina

Este (LPE). LPO y LPE buzando hacia el SO, LC y LM buzando el hacia NE. Ninguno de ellos pasa por Pierina y la otra a 3 Km al NE de esta, uno de estos lineamientos son coincidentes con los determinados por Wilson. Los LC y LM pasan respectivamente por "*Leach Pad*" y el tajo Pierina. El LM que pasa por el tajo Pierina ha sido estudiado por varios autores como Lowell (1996) y Gaboury, (2001). En esta ocasión se tratará nuevamente en detalle denominando Falla Roxana.

El lineamiento Mirador (LM), de aproximadamente 47 km de extensión, en Pierina ha sido reconocido como uno de los lineamientos Tinyash; dentro del tajo Pierina, este lineamiento ha sido descubierto, determinado y estudiado por el suscrito como la Falla Roxana. Sus implicancias se detallan a continuación.

En la mina Pierina, la geodinámica interna está definida con la formación y comportamiento de las fallas Tinyash y Roxana. Sus movimientos de rumbo han ocasionado la formación de las estructuras de cizalla: Katty y Torta; y a través de estas estructuras, la mineralización del yacimiento Pierina. Posteriormente, por efecto de los últimos movimientos inversos, ocurridos en las fallas Tinyash, Roxana y las estructuras de cizalla, expusieron y ocasionaron deslizamientos de bloques a través de las fallas Milagros y Azucena. Todos estos efectos se tratan a continuación (Figura N° 08; Secciones A-A', B-B', C-C', D-D' y E-E').

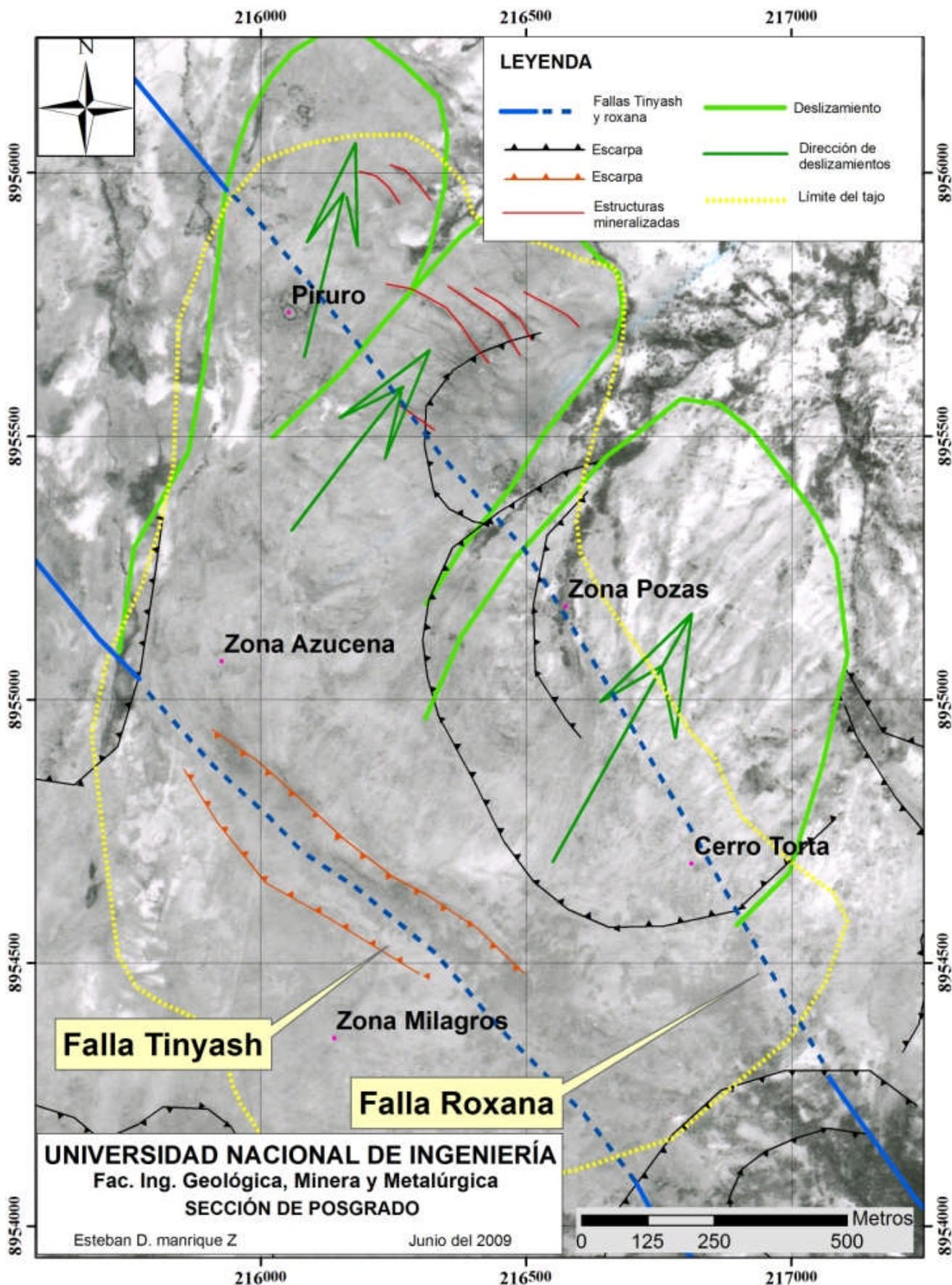


Figura N° 06: Geomorfología. Fotointerpretación de las diferentes estructuras.

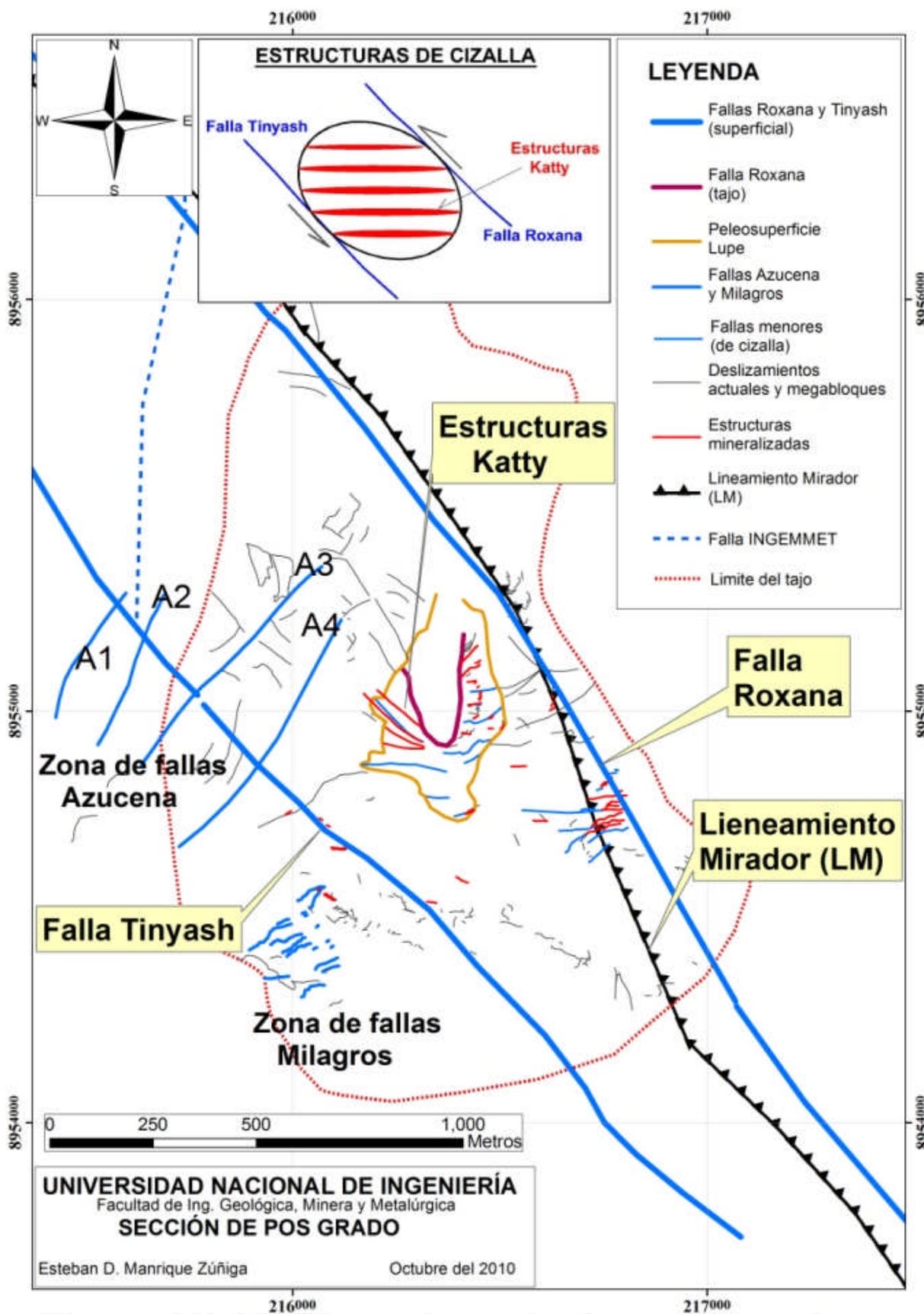


Figura N° 07: Plano de geología estructural

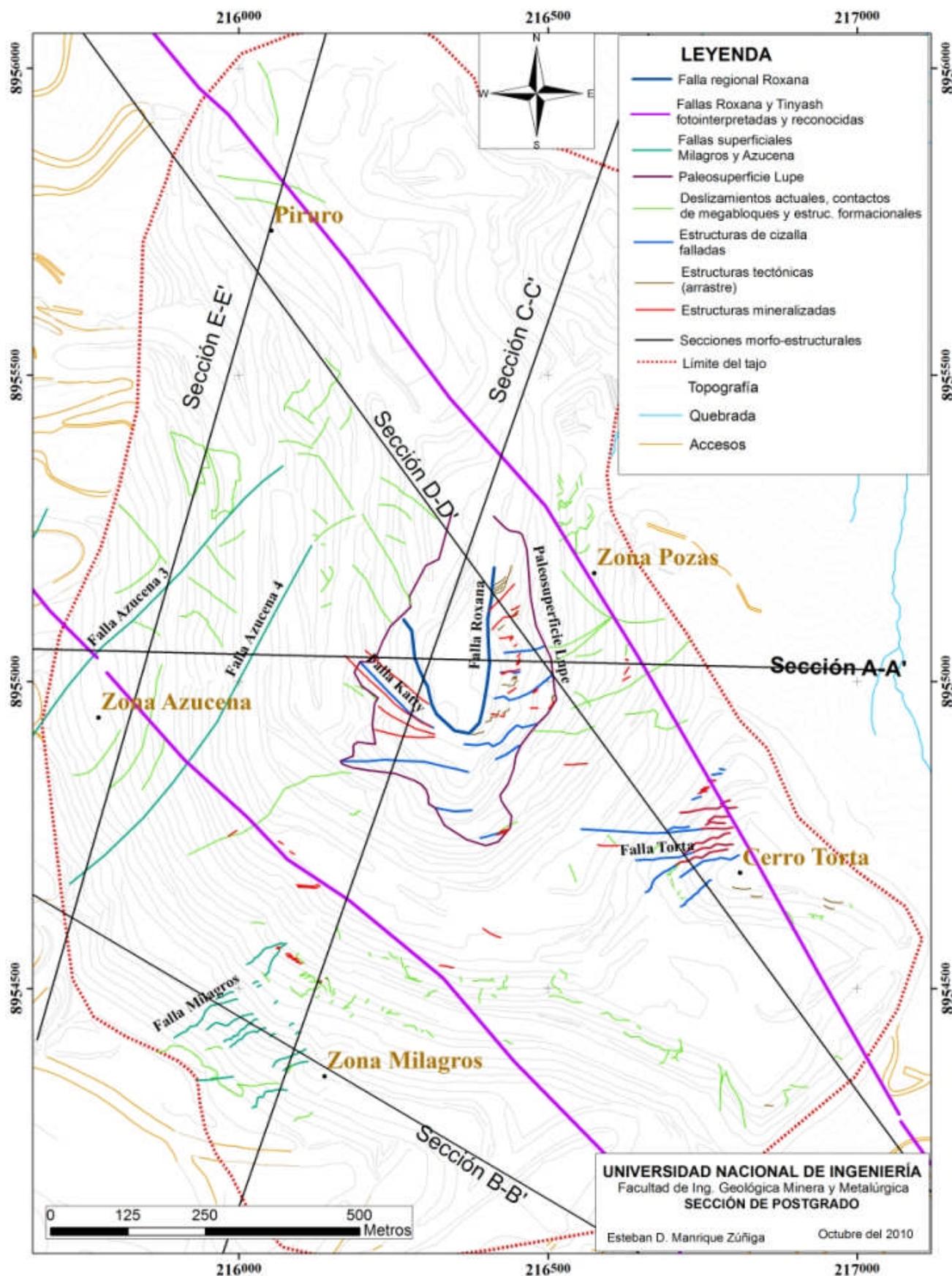


Figura N° 08: Plano estructural y ubicación de secciones morfo-estructurales

3.2.1.1 Falla Roxana

En superficie, a esta falla se le ha hecho un seguimiento desde la parte SE del tajo (Quinquishinca, Corral Viejo) y luego en el sector NW del mismo (Figuras N° 07 y 08; Secciones A-A', C-C' y D-D'). Sobre el depósito mineralizado, en la foto aérea del año 1967 solo se aprecia un tenue lineamiento o reflejo de esta falla (Figura N° 06), su evidencia real ha sido determinada dentro del tajo, es sumamente notoria en las paredes oeste y este (Fotos N° 11 y 13; Figura N° 07), tiene un azimut aproximado de 125°, buzamiento 45° hacia el SW; potencia variable hasta 2 m (Fotos N° 12 y 14). El material de falla contiene brechas con clastos polimícticos y presencia de fragmentos de limolita. En la caja piso predomina el pórfido andesítico argilizado y/o propilitizado; y, en la caja techo predomina toba andesítica con alteración argílica, argílica avanzada y estructuras mineralizadas que terminan abruptamente en la falla. Estas características indican que la falla Roxana corresponde a un sistema de fallas de rumbo que ocasionaron la formación de las estructuras de cizalla del sistema Katty y Torta. El último movimiento corresponde a un esfuerzo contraccional que generó la formación de fallas inversas, evidenciada por estructuras de arrastre y el "pitch"; la imbricación de pliegues, sugiere una falla inversa con un sentido de movimiento hacia el N30°E (Foto N° 13).

En la caja techo de la falla Roxana se ha determinado varias estructuras de arrastre (Fotos N° 13, 15 y 16). Son ondulaciones oblicuas con la cresta aguda dirigida hacia el noreste (imbricación de pliegues); similares estructuras se han ubicado en bancos superiores tanto en material argílico como en la alteración cuarzo – alunita. La presencia de estas estructuras es prueba evidente de dirección y sentido de movimientos, en este caso de movimientos inversos tanto en la fallas Roxana y Katty.

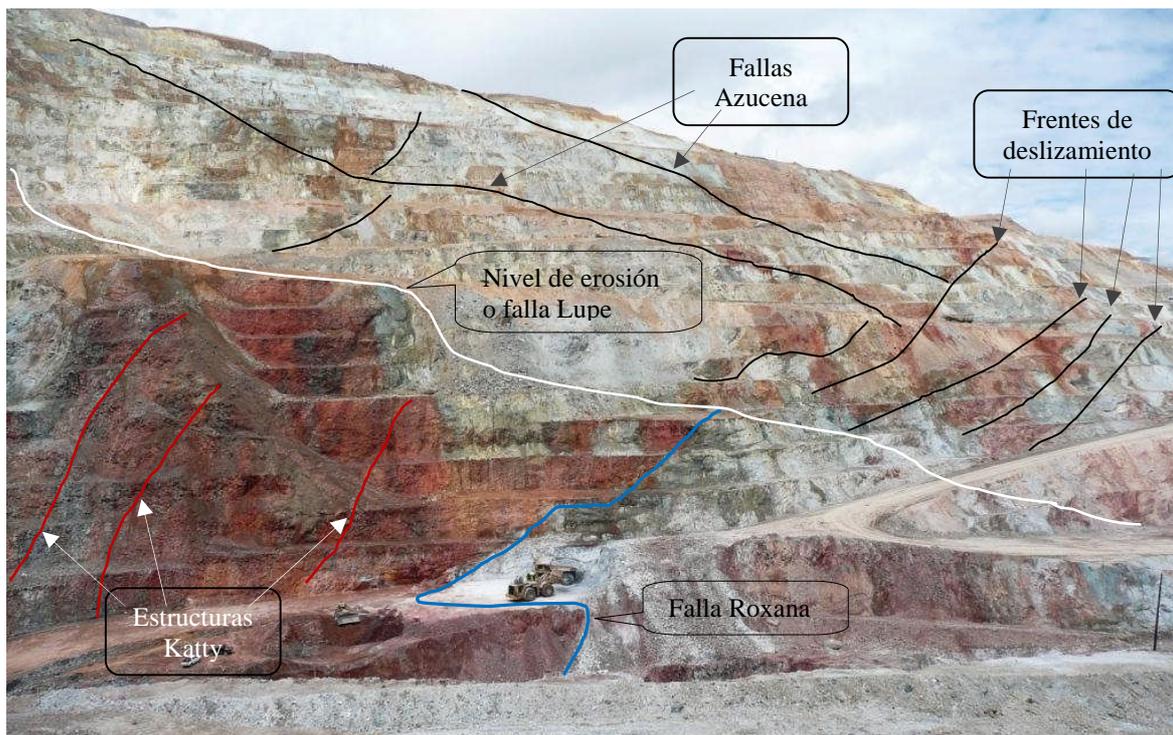


Foto N° 11: Tajo pared W. Fallas Roxana, Katty, Azucena y nivel de erosión. En las estructuras mineralizadas (Paralela a la falla Katty), en la parte superior, se observa una ligera deflexión hacia la derecha, producto del movimiento normal del deslizamiento Azucena.



Foto N° 12: Nivel 3770 (tajo pared W) detalle de Falla Roxana, potencia 2m.



Foto N° 13: Tajo pared E. Falla Roxana (1), Fallas Katty (2); nivel de erosión o falla Lupe (3); deslizamiento actual (4); imbricación de pliegues o estructuras de arrastre que indican un movimiento en dirección NE (5); fallas sub paralelas a Katty (6).



Foto N° 14: Nivel 3750. Detalle de la foto anterior (Falla Roxana)



Foto N° 15: Tajo central nivel 3760. Estructuras de arrastre con ondulación tumbada hacia el NNE (indica dirección de empuje)



Foto N° 16: Tajo central nivel 3790. Estructura de arrastre. La ondulación engloba detritos (milonita) producto de la brecha tectónica previamente silicificada.

3.2.1.2 Falla Tinyash

Esta falla está inferida sobre la foto aérea solo por el lineamiento regional Tinyash. Como producto de la operación minera, la zona de falla está cubierta, motivo por el cual no se puede realizar observaciones ni mediciones actuales (Figura N° 06 y 07). Se considera una falla conjugada de rumbo con la falla Roxana, son fallas sub-paralelas, que generaron estructuras de cizalla Katty y Torta. Estas estructuras sirvieron de ductos para la mineralización del yacimiento Pierina; por asociación de falla conjugada con la falla Roxana y que conjuntamente sufrieron tectonismo post mineralización Pierina, se considera que también sufrió un fallamiento en sentido inverso.

3.2.1.3 Falla Katty

Esta falla se presenta muy bien definida en la pared oeste del tajo (Fotos N° 11 y 13), en el lado sur de la Falla Roxana (caja techo); su continuidad ha sido mapeada también en la pared este. En realidad, se trata de varias fallas subparalelas, con rumbo promedio en dirección E – W y buzamientos alrededor de 70° hacia el sur, no se ha observado cruzar la falla Roxana (Secciones A-A', C-C' y D-D'). Estas fallas han sucedido en estructuras intensamente silicificadas a “*vuggy silica*” zonadas lateralmente a cuarzo - alunita. El fracturamiento ha sido intenso, presenta estructuras de arrastre que determinan un fallamiento en sentido inverso (Fotos N° 15 y 16).

Cabe señalar, que por presentar un intenso fracturamiento en estas estructuras silicificadas Katty, se consideran acuíferos importantes para el abastecimiento de agua.

3.2.1.4 Fallas Cerro Torta

En roca QFP, se observa estructuras silicificadas, con rumbo promedio E-W, y buzamiento promedio a 65°S, la distancia entre paralelas es variable, van de 8 a 20 m, falladas (Fotos N° 17 y 18; Sección D-D'), se observan estructuras de arrastre en material intensamente silicificado y milonitizado (Foto N° 18).

Todo esto se observa sobre un megabloque de QFP del Cerro Torta, expuesto sobre el material coluvial (Foto N° 7; Figura N° 07), prueba de que el QFP Cerro Torta se deslizó sobre un material coluvial. El material coluvial en referencia, tiene la misma composición QFP; prueba que en el Cuaternario antiguo hubo un tectonismo contraccional y generó la formación de fallas inversas, expuso el QFP alterado, mineralizado, tectonizado y posteriormente su erosión y finalmente su deslizamiento.

Las medidas estructurales tomadas en Cerro Torta, no serán consideradas para el análisis respectivo, porque todo el bloque ya está movido; sin embargo sirven para determinar los eventos de mineralización relacionados a las intrusiones QFP.

En el Cuaternario antiguo, se generaron movimientos inversos a través de las fallas Roxana, Tinyash y a través de las estructuras Katty y Torta. Ocasionaron la exposición de bloques de caja techo y su consecuente deslizamiento guiado por las fallas Azucena y Milagros.



Foto N° 17: Cerro Torta. Tajo SE nivel 4020 fallas en estructuras mineralizadas ("fidlers") buzantes al sur.



Foto N° 18: Tajo SE, nivel 3990. Estructuras silicificadas intensamente fracturadas por efecto de estructuras de arrastre.

3.2.2 Geodinámica externa

3.2.2.1 Concepto teórico de procesos geodinámicos externos

Los procesos geodinámicos externos, son aquellos guiados principalmente por esfuerzos gravitacionales, efectos de la geodinámica interna que en su momento modificaron la geografía y el relieve terrestre, estos son:

- La tectónica compresiva o extensiva modifico la morfología del la superficie pre-existente;
- Los volcanes, por la dinámica y formas de deposición de sus productos;
- Los sismos, de acuerdo a su intensidad provocan la deformación de la superficie terrestre.

Por efecto de la geodinámica externa, el relieve terrestre va evolucionando en la dinámica del ciclo geográfico mediante una serie de procesos constructivos y destructivos que se ven permanentemente afectados por la fuerza de gravedad que actúa como equilibradora de los desniveles; es decir, hace que las zonas elevadas tiendan a caer y colmatar las zonas deprimidas como en el caso de la mina Pierina y sus alrededores (Quinquishinca, Siguas y Cuncashca).

El proceso puede ser previsible o imprevisible, dependiendo del grado de conocimiento que se tiene sobre la geología del lugar y su funcionamiento natural. La ocurrencia de estos procesos, puede ser ordinarias o extraordinarias, no necesariamente provocan un desastre natural.

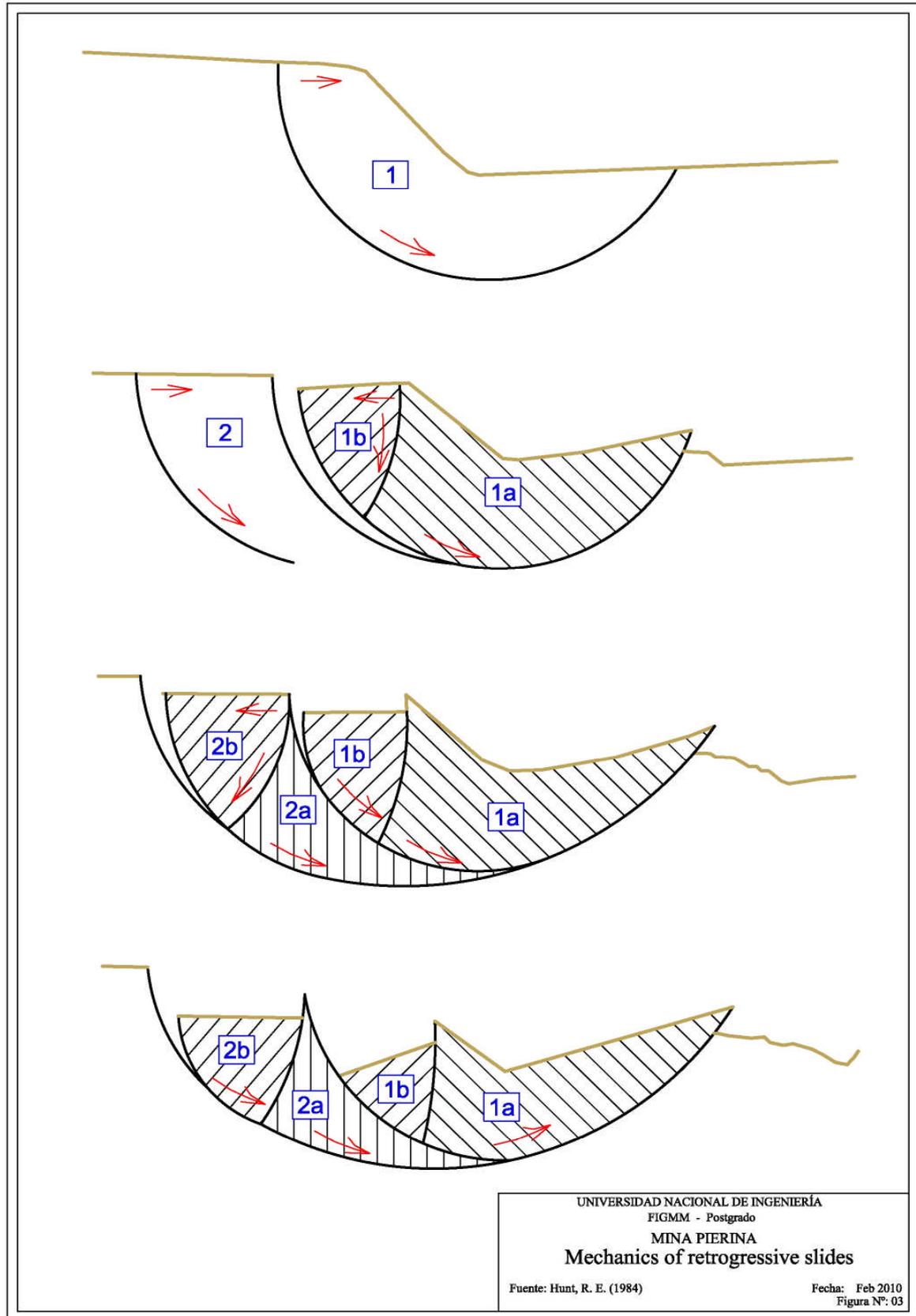
Estos procesos hacen que el relieve transite por otras diferentes etapas ocasionado por factores antrópicos y bióticos.

- Los factores antrópicos, relacionado por la acción del hombre sobre el relieve es muy variable como la agricultura, las construcciones civiles, la minería que es el caso del presente estudio.
- Factores bióticos, efecto sobre el relieve suele oponerse a los procesos del modelado, especialmente considerando la vegetación, sin embargo, existen animales que colaboran con el proceso erosivo tales como los porcinos, caprinos y ovinos.

3.2.2.2 Deslizamientos

Son movimientos superficiales repentinos de taludes verticales o casi verticales que producen movimientos gravitacionales de masas de roca, suelo o suelo-roca que se deslizan sobre una o varias superficies de rotura al superar la resistencia cortante de los planos de deslizamiento, estos movimientos pueden ser rápidos o lentos, dependiendo de la pendiente sobre la cual se desplaza la masa rocosa o suelo (Figuras N° 09, 10; Cuadro 02; Secciones A-A', B-B', C-C', D-D' y E-E').

Figura N° 09: Adaptado de: Mechanics of retrogressive slides according to the Geotechnical Commission of Swedish State Railways. (From Géotechnique, vol. 5, N°. 1, 1955).



Tipo de deslizamientos	Forma	Definición
Desprendimientos	Caída libre Volcadura	Desprendimiento repentino de uno o más bloques de suelo o roca que descienden en caída libre. Caída de un bloque de roca con respecto a un pivote ubicado debajo de su centro de gravedad.
Derrumbes	Planar Rotacional Desparramamiento lateral Deslizamiento de escombros	Movimiento lento o rápido de un bloque de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana. Movimiento relativamente lento de una masa de suelo, roca o una combinación de los dos a lo largo de una superficie curva de falla bien definida. Movimiento de diferentes bloques de suelo con desplazamientos distintos. Mezcla de suelo y pedazo de roca moviéndose a lo largo de una superficie de roca plana.
Avalanchas	De roca o escombros	Movimiento rápido de una masa incoherente de escombros de roca o suelo-roca donde no se distingue la estructura original del material.
Flujo	De escombros	Suelo o suelo-roca moviéndose como un fluido viscoso, desplazándose usualmente hasta distancias mucho mayores de la falla. Usualmente originado por exceso de presiones de poros.
Repteo		Movimiento lento o imperceptible talud debajo de una masa de suelo o suelo-roca

Cuadro N° 02: Tipos de deslizamiento de taludes, adaptado de Hunt (1984). Geotechnical Engineering Investigation Manual. McGraw Hill, New York.

3.2.2.3 Evidencias de procesos geodinámicos externos en Pierina

Los deslizamientos en el área de Pierina siempre han ocurrido ya sea en forma natural o provocados por el hombre. En este caso a tratar, son provocados por el hombre al realizar las operaciones mineras de extracción. Al analizar las alteraciones y estructuras durante el logueo de las perforaciones diamantinas de geotecnia, estos deslizamientos (procesos geodinámicos superficiales) dentro del tajo Pierina fueron evidenciado y

diferenciados de los procesos geodinámicos internos por Manrique y Lozano (2005). Se observó que en la mayoría de las perforaciones había un cambio de alteración brusca y sin zonación; por ejemplo el paso de alteración de “*vuggy silica*” a argílica, o de una cuarzo alunita a argílica; estas probables fallas no coincidían con la proyección de fallas mapeadas en superficie, o la que se suponía falla Lupe. Esta incongruencia motivó una revisión de las estructuras en el tajo.

En el tajo, en el nivel 3830 se ubicó un megabloque fracturado de “*vuggy silica*” (Fotos N° 19 y 20; Secciones C-C' y D-D'), que reposa formando una estructura de carga sobre un material triturado, anguloso, pobremente clasificado, con una pseudoestratificación, típico de un depósito de pendiente (pie de monte). En el mismo nivel, en la pared W, se observa otro cambio brusco de alteración (cuarzo alunita y argílico), formando una superficie irregular, de forma ondulada producto de la carga soportada y deslizada sobre un material argílico (Foto N° 21).

En general, tanto en la pared E y W se observan estructuras de carga, megabloques deslizados sobre un material argilizado (Fotos N° 11, 13, 20, 21 y 22). Estas evidencias indican deslizamientos sucesivos de bloques mineralizados y no mineralizados sobre un material arcilloso o coluvio.

Estas apreciaciones en el logueo y el tajo permitieron definir que la llamada Falla Lupe sería un conjunto de fallas que limitan paleo – relieves y planos de deslizamiento que permitieron y permiten el deslizamiento de bloques (Manrique y Lozano, 2005).

Estos deslizamientos fueron observados, descritos e interpretado por Lowel (1996). En la foto interpretada (Figura N° 06), se observa movimientos sucesivos en cubeta por efecto de la rotura circular (Figuras N° 09 y 10); en el caso particular del sector de las fallas Azucena, estas habrían servido de planos laterales para el deslizamiento (Secciones A-A' y E-E'). La evidencia

de estos deslizamientos serían los megabloques ubicados en el nivel 3830 (Foto N° 19, Figura N° 07; Sección C-C') y Piruro (lugar donde se descubrió la mina Pierina).

Los últimos trabajos de mapeo realizados dentro del tajo, es que se sustenta la presente tesis, a parte de los sistemas de fallas producto de la geodinámica interna Tinyash y Mirador reconocida en superficie (Figura N° 06); y, las fallas Roxana y Katty determinadas entre los niveles 3750 y 3820, ha permitido ubicar y analizar otros sistemas de fallas superficiales producto de la geodinámica externa. Se les ha denominado sistemas de deslizamientos Milagros y Azucena, estas fallas han originado distintas formas de rotura que ocasionaron y ocasionan movimientos normales.

Figura N° 10: Modelo geológico del yacimiento Pierina, adaptado de Lowel, D. (1996)

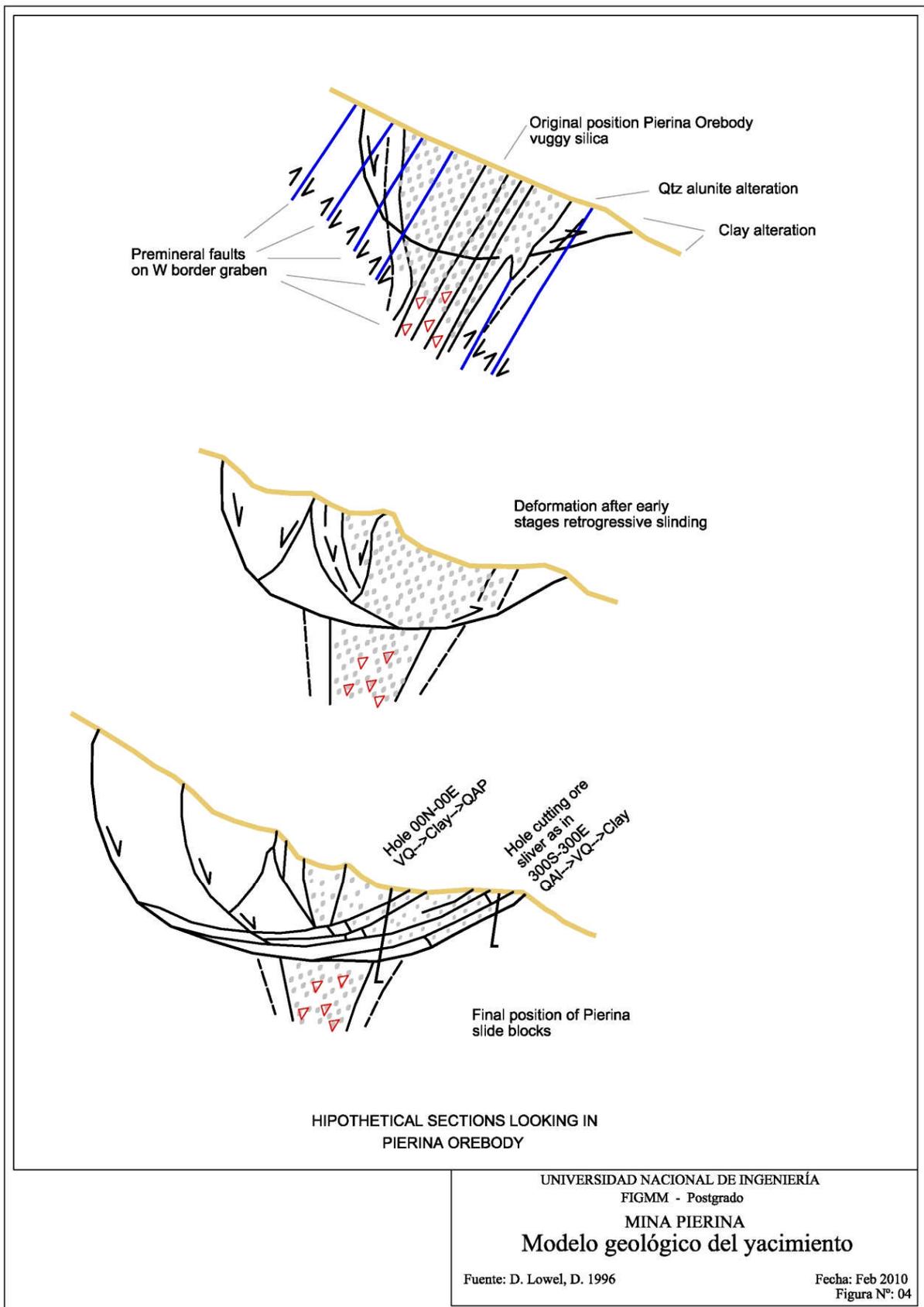




Foto N° 19: Nivel 3830, sección C-C'. Megabloque mineralizado y fracturado (1) sobre un depósito de pendiente (2). El material está conformado por detritos arenosos, angulosos y mal clasificados (propios de un depósito de pendiente)



Foto N° 20: Nivel 3830, sección C-C'. Megabloque mineralizado intensamente fracturado (1) descansa al fondo sobre depósitos de pendiente (2) o paleosuperficie o falla Lupe (3), se observa que el mineral está en contacto con andesita argilizada (4).



Foto N° 21: Pared S-SE del tajo, sección C_C'. Se observa las estructuras de carga, producto de los sucesivos deslizamientos sobre material argílico o paleorelieve Lupe.



Foto N° 22: Nivel 3825, sección D-D'. Pared W del tajo. Se observa megabloques deslizados sucesivos e imbricados, bloques de mineral bordeado soportados por material argílico.

3.2.2.4 Fallas Milagros

En el sector sur del tajo, se ha mapeado decenas de fallas subparalelas de movimientos normales, rumbos predominante SW-NE y buzantes hacia SE (Figura N° 07); esta dirección de buzamiento nos indica el sentido de movimiento de los bloques o dirección de debilidad. Similar a las fallas Azucena, estas han servido y sirven como planos de deslizamientos de megabloques en bancos de minado (Foto N° 23). Uno de los megabloques deslizados sería el cuerpo mineralizado Quinquishinca (Foto N° 26; Figura N° 08; Sección B-B').

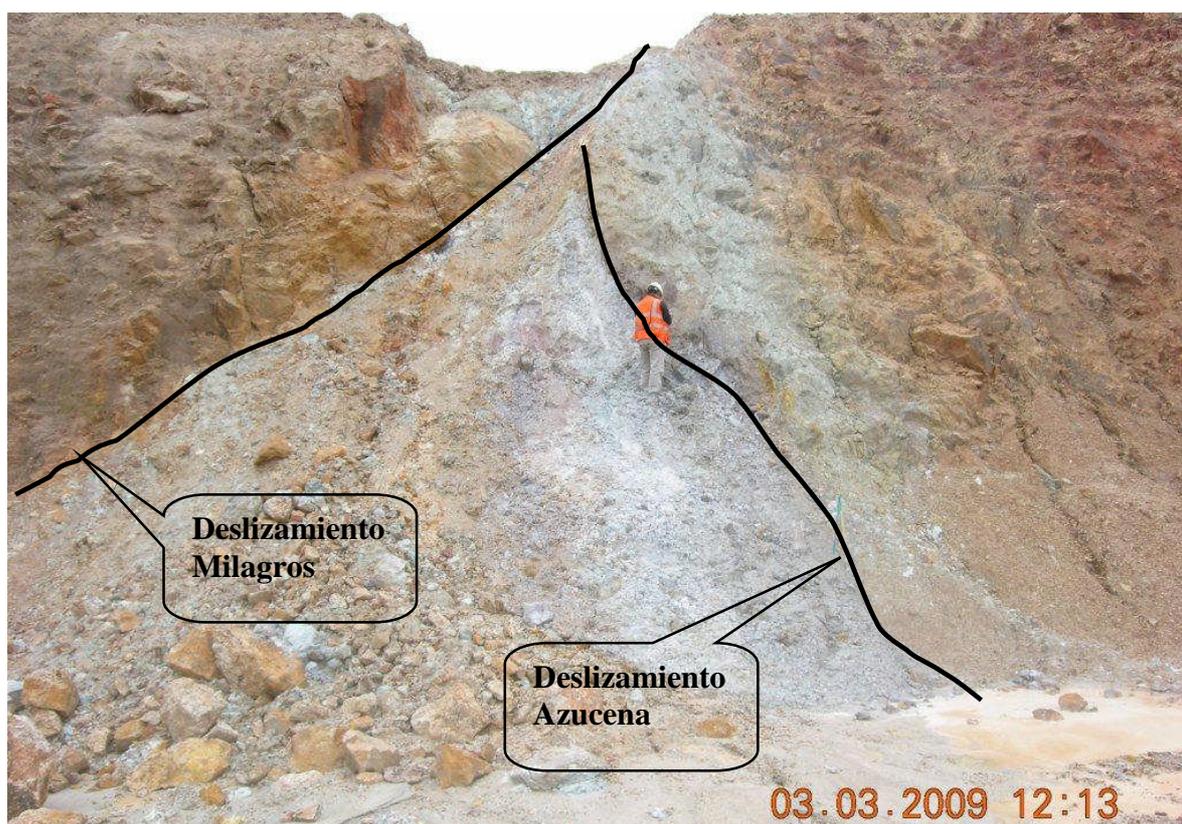


Foto N° 23: Nv4150 Confluencia de dos planos de deslizamiento Milagros (izquierda) y Azucena (derecha).

3.2.2.5 Fallas Azucena

Inmediatamente en el sector W del tajo (actualmente, por las inmediaciones de la faja transportadora de mineral), se han ubicado dos superficies de deslizamiento (A1 y A2) subparalelas de rumbo SSW-NNE, buzando hacia el ESE; Así mismo, en la pared W del tajo, se ha ubicado otras dos superficies de deslizamiento (A3 y A4) sub-paralelas de rumbo SW-NE, buzando hacia el NW (Figuras N° 07 y 08; Secciones A-A', B-B' y E-E'). Estos dos sistemas de deslizamientos, en profundidad están limitados por la paleo-superficie Lupe que han servido y sirven como plano de deslizamiento en dirección aproximado al N28°E (Figuras N° 05, 06 y 07). Tanto en superficie como en talud del tajo, es frecuente encontrar megabloques colgados (Fotos N° 23, 24 y 25), estos megabloques muchas veces están mineralizados y económicamente rentables para la explotación, como es el caso del tajo Norte donde actualmente se realiza el minado.

Así mismo, estas fallas serían algunos bordes de las superficies de deslizamiento que dieron lugar a las geoformas observadas en la foto aérea del año 1967 (Figura N° 06).

Actualmente, en este sector, aparte de encontrar megabloques mineralizados económicamente rentables, presenta serios problemas para las operaciones mineras, justamente por lo inestable del terreno ocasionan deslizamientos inminentes, cuyo tema se analiza más adelante.

Así mismo, realizando exploraciones en Pierina y alrededores, se han ubicado otras zonas deslizadas como en Quinquishinca, Siguas, y dique Cuncashca.



Foto N° 24: Lado W de la faja Nv4030-Megabloque deslizados sobre coluvio.



Foto N° 25: Tajo W, Nv3900, cruce carretera nueva-rampa chancadora-Megabloque alterado a sílice-arcillas sobre roca porfirítica intensamente argilizada.

3.2.2.6 Deslizamiento Quinquishinca

Esta zona se ubica a 1.2 Km al SE del tajo Pierina, está representado por la presencia de un megabloque alargado de aproximadamente 700x70 m, con una orientación SE-NW (Fotos N° 26, 27 y 28; Sección B-B'), presenta canales de brecha hidrotermal, gradando a una alteración cuarzo – alunita. Esta área fue estudiada y perforada por Manrique y Lozano (2005), no se encontró continuidad de alteración en profundidad. En el lado NE del megabloque, por donde cruza la carretera, se nota un cambio brusco de alteración brecha hidrotermal a argílico, el cambio está definido por un espejo de falla (Fotos N° 28 y 29). En el extremo SE del mismo, por el cerco perimétrico, también se ubican clastos polimícticos de rocas alteradas, soportados parcialmente por arena arcilloso; estos materiales no profundizan, son superficiales, muestra que es un relleno (Foto N° 30).

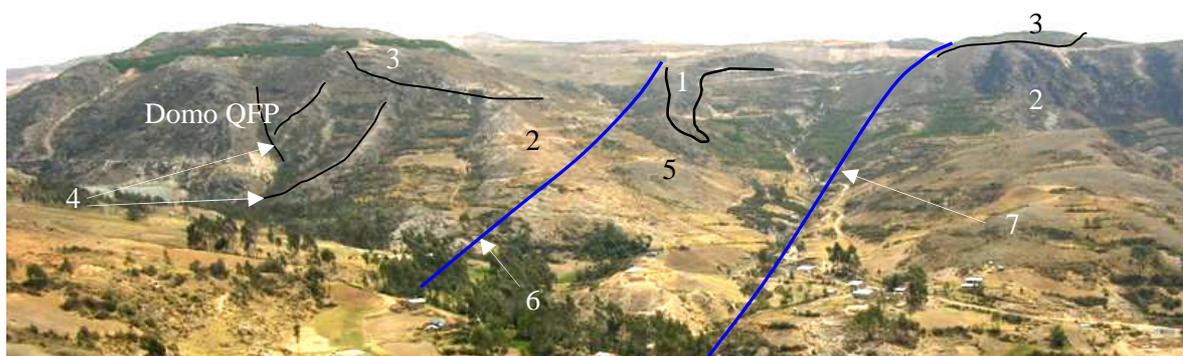


Foto N° 26: Quinquishinca, mirando al NW, megabloque Quinquishinca (1), toba andesítica (2), toba dacítica (3), planos de contacto (4) entre flujos QFP, depósito de pendiente (5), Falla Tinyash (6), Falla Roxana (7).



Foto N° 27: Quinquishica. Canal de brecha hidrotermal sobre material argílico y coluvio.



Foto N° 28: Quinquishinca. Canal de brechas hidrotermal en contacto definido con material agílico oxidado, se observa plano de delizamiento.



Foto N° 29: Quinquishinca. Canal de brecha hidrotermal.



Foto N° 30: Depósito de pendiente. Un banco de conglomerado polimítico, clastos (QFP, Vuggy, piroclastos argilizados) subredondeados a angulosos, soportados en una matriz de detritos arcillas y óxidos terrosos.

3.2.2.7 Deslizamiento Siguas

Ubicado a 3.3 Km al SSW del tajo, en el lado S de “*Leach Pad*”, en las áreas denominadas TS26 y TS27 (botadero de turba). Al realizar trabajos geológicos para geotecnia, aparte de mapeo se excavaron varias calicatas y trincheras (Manrique, 2006). En ella se observó:

- Cerro Siguas (Foto N° 31), un megabloque deslizado; el material constitutivo del cerro es tobas seudoestratificadas de composición andesítica.
- Lado S del cerro Siguas (Foto N° 32), se observa paquetes de tobas de composición andesíticas seudoestratificados, deslizados sobre depósito coluvial. Los coluvios están conformados por arenas, guijarros y bloques mal clasificados, son clastos polimícticos de composición andesítica y riolítica.



Foto N° 31: Cerro Sigwas. Secuencia pseudoestratificada de piroclasto andesítico-
En la cumbre, presenta flujo de lava autobrechada y englobando clastos de riolita.



Foto N° 32: Calicata en el lado sur del cerro Siguas; plano de deslizamiento sobre material coluvial (superficie indicada por la picota)



Foto N° 33: Lado oeste del "Leach pad". Megabloque de flujo andesítico deslizado sobre rocas sedimentarias de la Fm. Carhuaz (E. Manrique/set. 2006)

3.2.3 FOTO INTERPRETACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS EN EL ÁREA DE LA MINA PIERINA

En la foto aérea SAN del año 1967 (Figura N° 06), se observa que las quebradas drenan hacia el noreste (tributarios del Río Santa); la morfología tiene una pendiente que predomina hacia el noreste, lugares donde se ubican los parajes Cerro Torta, Zona Azucena, Zona Pozas y Piruro (donde se descubrió el yacimiento Pierina). Al sur se ubica otra área con una pendiente en dirección sursureste, lugar donde se encuentra la Zona Milagros. Al noreste, se aprecian tres geoformas de deslizamiento, dos de formas elongadas de orientado S-N (Piruro) y SO-NE que miden aproximadamente 500x300 y 500x350 m respectivamente, y la tercera de aproximadamente 600x500 m erosionada (Zona Pozas). En su frente norte de las dos primeras geoformas se observan lineamientos sub-paralelos de orientación noroeste-sureste, las cuales son “estructuras” silicificadas deslizadas.

Al preparar un acceso hacia la parte baja del tajo, debajo de una de estas estructuras se encontró material coluvial de bloques y guijarros (Foto N° 34). De la misma forma, al preparar otros accesos al tajo y a medida que se avanza con el minado se descubren bloques y megabloques englobados en material argílico o detrítico (Foto N° 35; Figura N° 06). Estos bloques y/o megabloques algunos son mineralizados con buena ley de oro; el presente estudio, analiza y reinterpreta el proceso ocurrido en este lugar y lugares aledaños a la mina que puedan reportar cantidades apreciables de mineral económico. Como se puede apreciar y delimitar el material deslizado dentro del tajo, se estima que la potencia promedio del material deslizado alcanza más de 100 m (Sección E-E’).



Foto N° 34: Sector norte del tajo (debajo del In pit N); megabloque de cuarzo-alunita deslizado sobre material coluvial y guijarros.

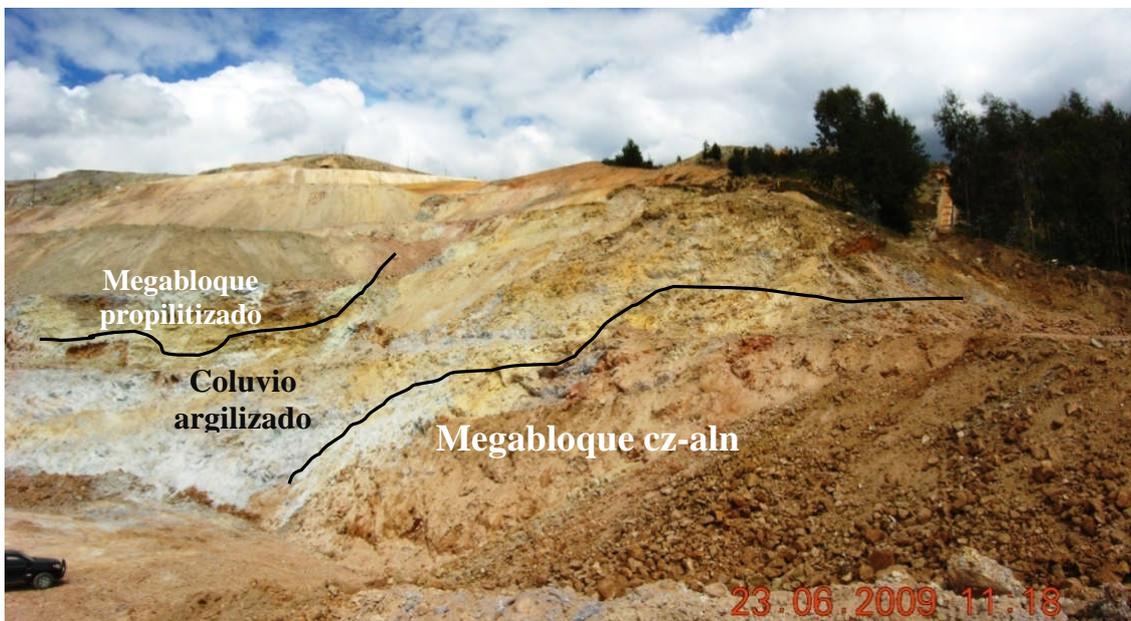


Foto N° 35: Sector NNE del tajo, en la pared, megabloques fracturados limitado por material argílico.

3.2.4 ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN

La alteración en Pierina es típicamente de un proceso hidrotermal de alta sulfuración ocurrido entre 14.1 y 14.7 Ma (Strusiewicz, 2000). Se ha producido por efecto de fluidos hidrotermales transportados a través de estructuras de cizalla (fallas) Katty y Torta. La alteración en las estructuras es pervasiva, se hace pervasiva y extensa en las tobas de composición dacítica, se observa en la figura correspondiente, la presencia de alteración como parches, es el efecto de los deslizamientos post-mineralización que varió la forma del cuerpo mineral inicial (Figura N° 11). A estas estructuras, por su importancia en el proceso de alteración y mineralización y ubicación, se describe independientemente.

3.2.4.1 Estructuras Katty

Estas estructuras se ubican muy bien definidas entre los niveles 3750 a 3800, tienen rumbo promedio E-W, buzando un promedio de 70°S; son más prominentes en la pared oeste del tajo (Foto N° 10; Figura N° 08), en el lado sur de la Falla Roxana (caja techo, Secciones A-A', C-C' y D-D); su continuidad ha sido mapeado también en la pared este. Son estructuras intensamente silicificadas a "*vuggy silica*" zonadas lateralmente a cuarzo - alunita. Se considera que han servido de "*feeders*" para la alteración y mineralización del yacimiento Pierina.

Estas estructuras al ascender y pasar los niveles 3800, la alteración en contacto con las tobas de composición dacítica se hacen más intensas y extensas con valores de oro mayores a 1 g/t. Así mismo, se observa variación en la mineralización, en los niveles más bajo (3760- 3790) se presenta cristales de enargita en cavidades y purverulenta en fracturas, interpretadas como producto del fracturamiento de las estructuras y consiguiente arrastre y trituración o milonitización (Fotos N° 14 y 15). Si bien es cierto que los valores de oro en estas estructuras son mayores a 1 g/t, no es minable por la presencia de sulfuros. En las partes superiores, cuando intercepta a las tobas

dacíticas la silicificación es más pervasiva, extensiva y oxidada; el contenido de oro es mejor diseminado y minable (Fotos N° 3 y 19).

3.2.4.2 Estructuras Cerro Torta

Según descripción anterior, el megabloque deslizado de QFP ubicado por encima del nivel 3960 (Figura N° 08, Sección D-D'), se describe porque representa el proceso de mineralización. Se aprecia estructuras de cizalla sub-paralelas (Fotos N° 17 y 18; Figuras N° 07 y 08) con características de alteración similares a las estructuras Katty, la distancia entre paralelas es variable, van de 8 a 20 m. El contenido de oro en este caso es bajo o no minable, generalmente contiene alrededor de 0.01 g/t Au. La ubicación inicial de este megabloque cobra importancia, porque nos indicaría la continuidad de estas estructuras en profundidad y litologías atravesadas.

3.2.4.3 Depósitos Cuaternarios con mineral

En particular, en la mina Pierina (Figura N° 04), en el lado norte del cerro Torta y en el extremo norte de la pared este del tajo, se ha determinado depósitos coluviales conformados por guijarros, arenas, arcillas y bloques, pobremente clasificados, no compactados, pseudo-estratificados de alteración y composición predominante de material QFP. Al igual que el QFP aflorantes en distintos lugares de la mina. Varias muestras tomadas de calicatas ubicadas en el extremo norte, pared E del tajo, reportaron valores bajos en contenido de oro, alrededor de 80 ppb, excepto una muestra con predominancia de clastos de vuggy con óxidos reportó 300 ppb de oro. Estos resultados son similares a los valores de oro encontrados en el cerro Torta, una prueba que corrobora la procedencia de estos coluvios cuando el QFP estuvo alterado y expuesto a la erosión.

En ocasiones anteriores, en el sector norte del tajo, en el lugar denominado Yarcoc, se ha minado coluvios con valores económicos en contenido de oro. Es evidente que este material coluvial provino de la erosión de los macizos mineralizados de toba dacítica.

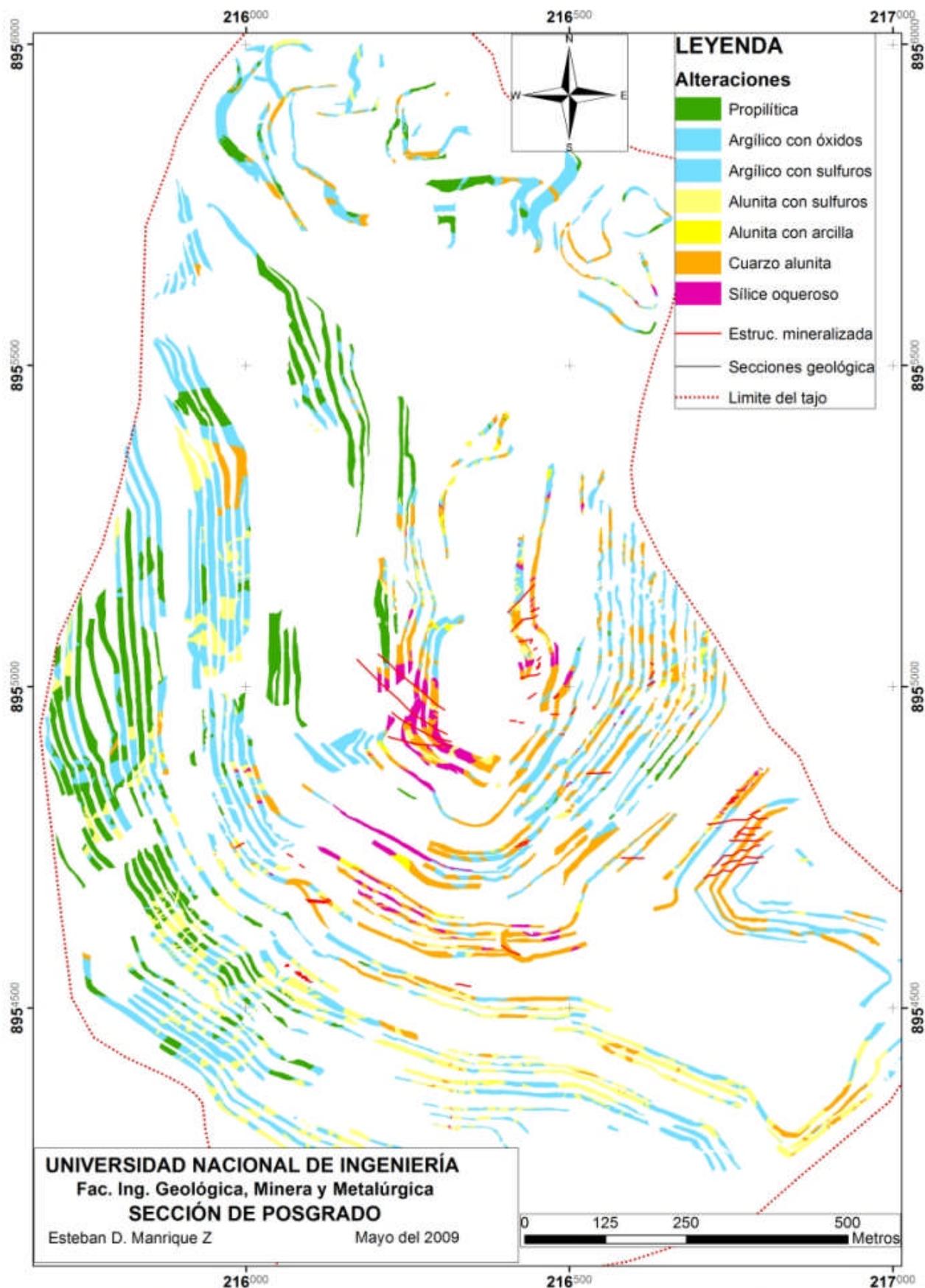


Figura N° 11: Se observa una distribución de alteraciones dispuestas de forma irregular, producto de los deslizamientos sucesivos post mineralización Pierina

3.2.5 GEOTECNIA DEL TAJO PIERINA

3.2.5.1 Descripción morfo estructural de las secciones estructurales

Del tajo, para realizar el análisis estructural correspondiente, se ha preparado cinco secciones morfo estructurales ubicadas convenientemente. En ellas se observa datos importantes sobre la ubicación de las fallas, deslizamientos y sus implicancias en la geodinámica externa, de acuerdo al material sobre la cual han ocurrido y ocurren los deslizamientos. Se conoce por reporte bibliográfico elemental (González de Vallejo, 2002), por experiencia de geotecnista especialista en tratamiento de rocas y suelos (Carlos Vallejo, comunicación oral), que, para conservar la estabilidad de taludes, es de vital importancia considerar el ángulo de reposo de talud en las construcciones civiles y mineras, esto depende del tipo de material en la cual se va a ejecutar la obra y se debe tener las siguientes consideraciones (Cuadro N° 03):

Tipo de material	Ángulo de talud
En suelos	<30°
En suelo muy compacto o roca muy fracturada	30° a 40°
En roca dura o competente	>40°

Cuadro N° 03: Relación de estabilidad de talud con ángulo de reposo.

En las secciones del tajo se observa que el cambio de pendiente de los taludes está limitada por la paleo-superficie Lupe, caso secciones A-A' y C-C'; el valor promedio de los ángulos de talud medidos en cada uno se presenta en los siguientes cuadros (Cuadros N° 04):

		Perfil A-A'		
		Ángulo de talud		Descripción
		Pared W	Pared E	
Sobre paleosuperficie Lupe		27°	30°	Material argilizado, presencia de megabloques, suelos coluviales
Debajo de paleosuperficie Lupe		40°	40°	Roca muy fracturada
		Perfil C-C'		
		Ángulo de talud		Descripción
		Pared S		
Sobre paleosuperficie Lupe		29°		Material argilizado, presencia de megabloques, suelos coluviales
Debajo de paleosuperficie Lupe		40°		Roca muy fracturada

Cuadro N° 04: En el tajo Pierina, variación del ángulo de reposo según estabilidad de talud, depende del material que lo componen (medidos en las secciones A-A' y C-C')

En estos cuadros se puede apreciar que el ángulo de talud de los bancos es igual o menor que 30°, propio de material blando, en este caso disturbado y que el ángulo de talud de los bancos ubicados por debajo de la superficie Lupe 40° talud característica para bancos de roca fracturada.

Estas características descritas, son pruebas evidentes para definir que todo el material ubicado sobre la paleosuperficie Lupe ha sido movido de su posición inicial y su tratamiento geotécnico debe ser considerando parámetros para roca blanda o suelo.

En este estudio y en todas las secciones se tiene estas consideraciones para graficar la forma de los planos de deslizamiento; circular en caso de las deslizamientos Milagros y circular o plana para las deslizamientos Azucena.

3.2.5.2 Deslizamientos superficiales (Cartografía y descripción)

Los deslizamientos en la zona esta activa (geodinámica externa), gracias a la inestabilidad que provocó los movimientos durante en Neógeno en el sector de la Cordillera Negra (geodinámica interna). La inestabilidad está controlado por el tipo de rocas, dúctiles o blandas. Se ha determinado tres zonas potencialmente vulnerables en el proceso del minado (Figura N° 12):

Zona A: Zona deslizamientos Azucena

Zona B: Zona deslizamientos Milagros

Zona C: Zona pozas de sedimentación.

3.2.5.2.1 Zona A: sector de los deslizamientos Azucena

En este sector se tienen mapeadas dos sistemas de deslizamientos, una tienen un rumbo general en dirección SSW-NNE (A1 y A2), buzando hacia el ESE; y los otros, tienen rumbo SW-NE (A3 y A4) sub-paralelas, buzando hacia el NW; o sea buzamientos opuestos (Figura N° 08; Secciones A-A', B-B' y D-D').

Estos planos de deslizamiento con buzamientos opuestos y convergentes han originado planos en cuña, por lo tanto debilidad de deslizamiento en dirección NNE (Sección A-A'); las evidencias de deslizamientos sería la ubicación del cuerpo Piruro y la presencia de megabloques aislados soportados arcillas o coluvio (Fotos N° 22, 24 y 25; Sección E-E').

3.2.5.2.2 Zona B: sector de los deslizamientos Milagros

Son una serie de planos sub-paralelos de movimientos normales, rumbos predominante SW-NE y buzando hacia SE; los continuos deslizamientos a través de estos planos ocurren generalmente en temporada de lluvias. Por lo tanto la construcción de bancos de minado paralelos al rumbo de las fallas o en el pie de talud siempre producen y producirán deslizamientos (Secciones B-B' y C-C')

3.2.5.2.3 Zona C: sector pozas de sedimentación en el tajo

En este sector, la mayor parte del material es arcilloso, se encuentran colgadas megabloques de distinta composición (bloques QFP, andesíticos propilitizados, brecha de cuarzo – alunita, etc.) en matriz arcilloso o arcilla – detritos. Este tipo de material es totalmente inestable y ocasionan frecuentes deslizamientos (Figura N° 12; Foto N° 37; Secciones A-A' y E-E').



Foto N° 37: Pared E. Sector Pozas de sedimentación (izquierda) y cerro Torta (derecha). Se observa variedad de colores producto de los diferentes tipos de alteración y ordenamiento caótico. Es evidente la presencia de planos de deslizamiento paralelos y activos (21.05.2009).

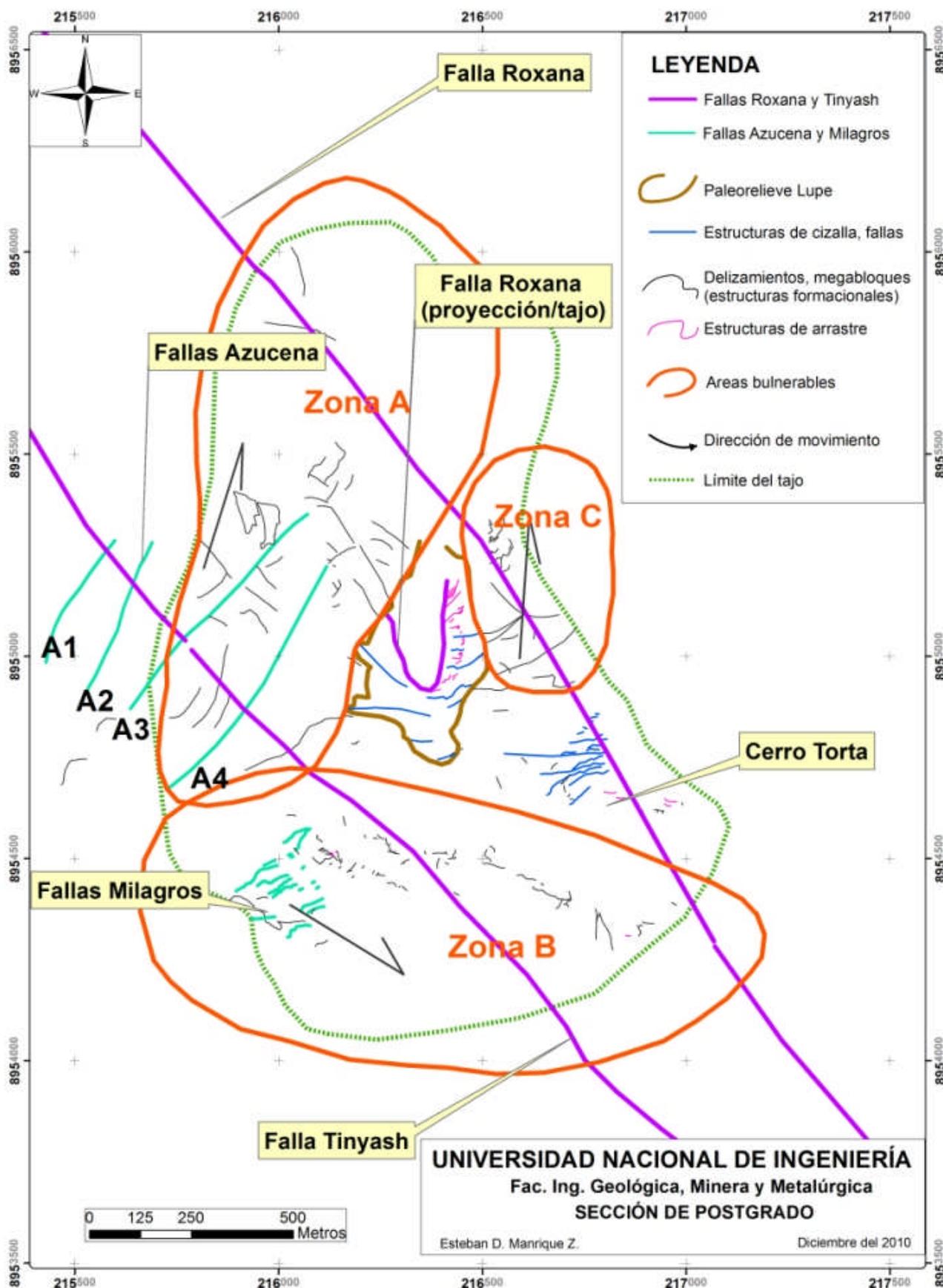


Figura N° 12: Ubicación de zonas de vulnerabilidad en el tajo Pierina

CAPITULO 4: MODELO GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO

La mineralización en Pierina se produjo entre 14.1 y 14.7 Ma; posteriormente, sucedieron hasta tres nuevos eventos tectónicos: Mioceno medio (10 Ma), Mioceno superior (7 Ma) y la fase del Cuaternario antiguo (2 Ma) que modificaron la posición inicial del yacimiento, disturbando y exponiéndolo hacia la superficie, provocando así su inestabilidad y deslizamiento en dirección de la pendiente propicia (Figura N° 13).

Lowel (1996), aplicando los procesos geodinámicos externos, diseñó un depósito mineralizado afectado por deslizamientos (Figura N° 10). Manrique y Lozano (2005), después del logueo de testigos de geotecnia y revisión superficial del tajo, diseñaron un nuevo modelo del yacimiento Pierina (Figura N° 13; Secciones C-C', D-D' y E-E') afectado por deslizamientos de pendiente.

Ahora, de acuerdo a la descripción estructural, litología y mineralización, se deduce que la mineralización en Pierina ha sido a través de estructuras de cizalla producidas por las fallas Roxana y Tinyash. Asimismo, tanto la falla Roxana y las estructuras de cizalla buzando hacia el lado sur, por lo tanto los fluidos mineralizantes provienen del lado sur, restringidos por rocas de composición andesítica y flujos dómicos QFP y alcanzando su máxima mineralización y diseminación en tobas de composición ácida (Figuras N° 05 y 13)

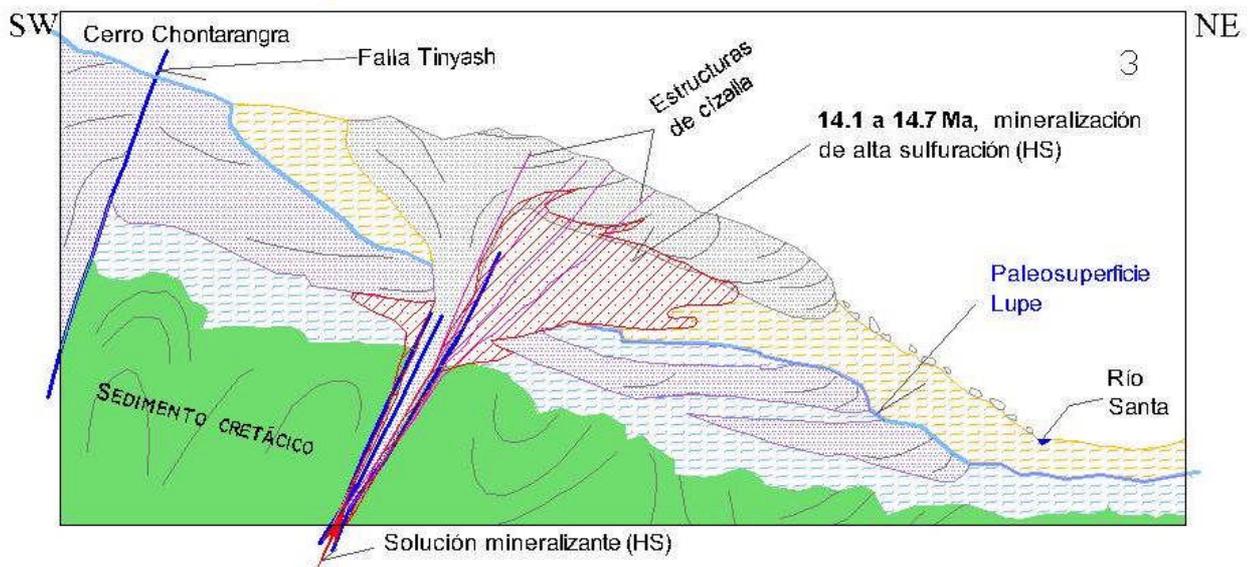
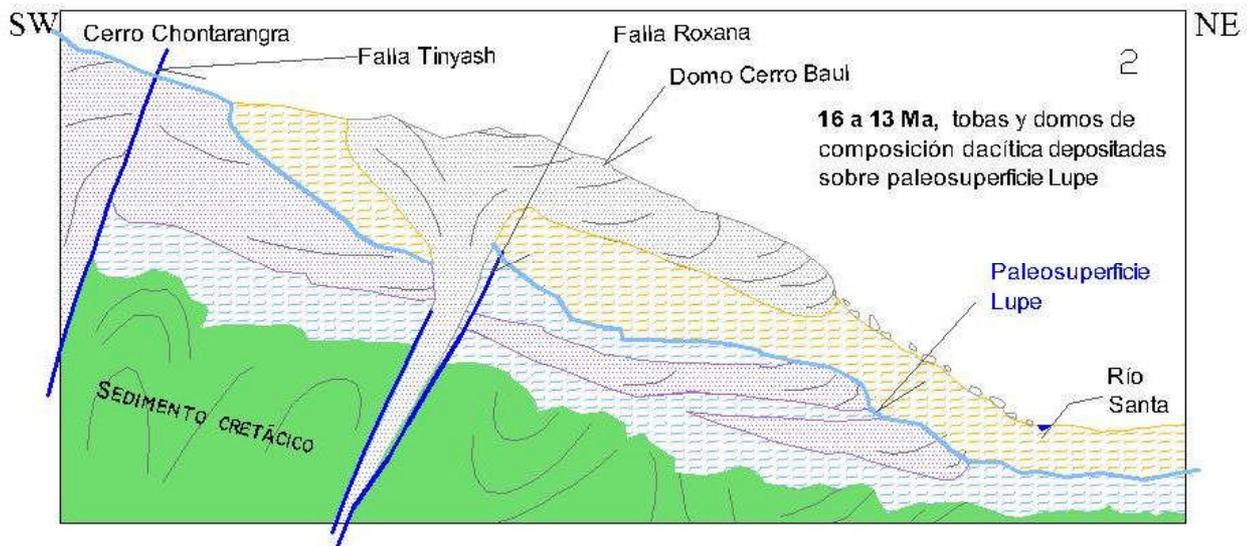
Con la definición estructural de la falla Roxana, de extensión regional con rumbo andino y buzando hacia SO; la ubicación de estructuras mineralizadas Katty, Torta y cuerpos mineralizados en el techo de la falla Roxana –que es la ubicación lógica y natural de yacimientos de la naturaleza Pierina- nos sugieren explorar en el lado SO de la falla Roxana.

Se tiene conocimiento de otros prospectos en desarrollo ubicados al lado SO de la falla regional Roxana. Entre otros, el Prospecto Huarangayos ubicado

alrededor de 10 Km al NO de Pierina (pórfido de Au-Cu), Alto Ruri ubicado alrededor de 15 Km al SE de Pierina (alta sulfuración) y San Luis ubicado a 27 Km al NO de Pierina (baja sulfuración).

El conocimiento geológico de Pierina, el desarrollo de los prospectos citados nos permiten sugerir que la Cordillera Negra es un blanco potencial para las exploraciones mineras.

Secuencia formacional y de erosión del Yacimiento Pierina



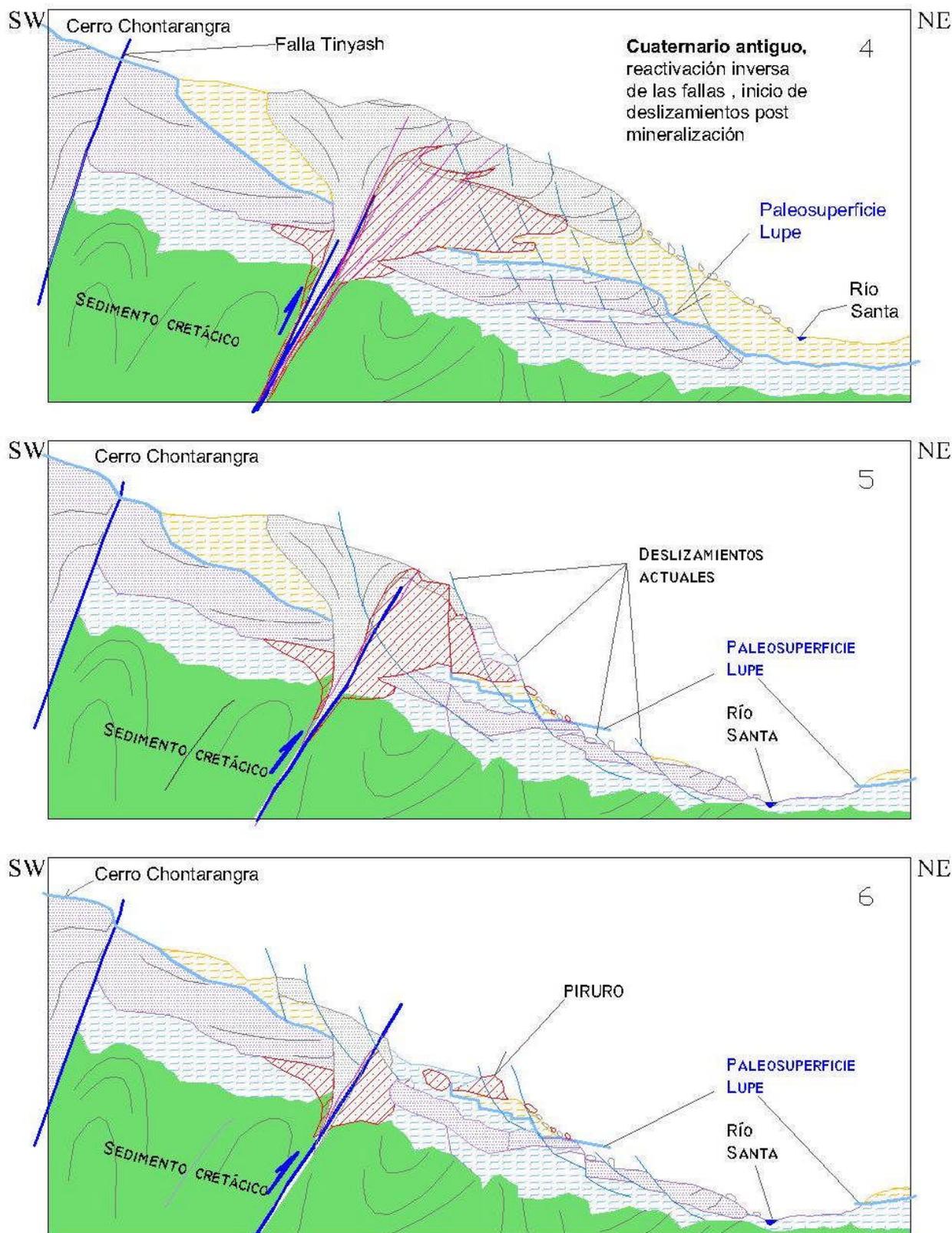


Figura N° 13: modelo geológico del yacimiento Pierina (modificado de E. Manrique/C. Lozano enero del 2006).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Las rocas volcánicas en el área de estudio se han depositados en tres etapas:
 - De 46 - 23 Ma, de composición andesítica, tobas, lavas y flujos dómicos.
 - De 16 - 13 Ma, tobas; y domos QFP de 15.42 - 14.09 Ma, ambos de composición dacítica.
 - La tercera, de composición andesítica, reconocida y ubicada estratigráficamente.
2. Los movimientos Neógenos en la Cordillera Negra produjeron dos sistemas de fallas de extensión regional Roxana y Tinyash, estas generaron las fracturas de cizalla Katty y Torta.
3. La mineralización de Pierina ha sido a través de las fracturas de cizalla.
4. El yacimiento Pierina se formó en el techo de la falla Roxana (lado SO de la falla).
5. Los proyectos de exploración - entre otros- se ubica en el lado SO de la falla Roxana.
6. El último movimiento regional corresponde al Cuaternario antiguo, modificó la geometría y posición inicial del yacimiento Pierina.
7. Los deslizamientos post mina Pierina, en los sectores Milagros y Azucena son efectos de la inestabilidad ocasionada por los movimientos Neógenos.
8. Los deslizamientos han sido reconocidos por la presencia de megabloques colgados, por cambios bruscos en la alteración, por las estructuras de carga sobre material plástico, presencia de arcillas y material coluvial entre otros.
9. La presencia del megabloque Piruro, es el resultado de los deslizamientos ocurridos en el sector Azucena (A1, A2, A3 y A4).
10. Sobre una foto aérea se ha observado tres geoformas de deslizamiento, una de ellas corresponde al megabloque Piruro (lugar donde se descubrió el yacimiento Pierina).

11. Los deslizamientos preexistentes se reactivan, son dinámicas e inestables, producen constantes deslizamientos durante las operaciones mineras.
12. La potencia promedio del material deslizado alcanza más de 100 m.
13. La falla Roxana y las estructuras de cizalla buzan hacia el lado sur, por lo tanto los fluidos mineralizantes provienen del lado sur, restringido por rocas de composición andesítica y flujos dómicos QFP, alcanza su máxima mineralización y diseminación en tobas de composición ácida.
14. En las secciones del tajo se observa que el cambio de pendiente de los taludes está controlado por la competencia de los materiales estables y deslizados.
15. Todo material ubicado sobre la paleosuperficie Lupe, tiene un comportamiento de roca blanda o suelo, por lo tanto los estudios y análisis posterior debe ser como tal; por ejemplo, un análisis estructural o microtectónico no sería aplicable, porque todo el material está movido por deslizamientos formacionales de talud y actuales provocados por las operaciones mineras; mientras tanto, para los materiales ubicados debajo de la paleosuperficie, debe ser considerado para rocas muy fracturadas.
16. Por la inestabilidad del tipo de rocas dúctiles o blandas, se ha determinado tres zonas potencialmente vulnerables:
 - Zona A: deslizamiento Azucena, representado por los deslizamientos Azucena, que genera planos que convergen en cuña y producen deslizamiento en dirección NNE; ocasionó el desplazamiento del megabloque Piruro y otros aislados.
 - Zona B: deslizamiento Milagros, representado por los deslizamientos Milagros, son activos, uno de los megabloques deslizados es el megabloque Tinyash.
 - Zona C: pozas de sedimentación, formado por material arcilloso, megabloques polimícticos colgados en matriz arcilloso o arcilla – detritos. Este tipo de material es totalmente inestable y ocasionan frecuentes deslizamientos.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a las conclusiones anteriores, las recomendaciones son:

1. Como el yacimiento Pierina se ubica en techo de la falla regional Roxana (lado SO de la falla), y que el último movimiento es inverso, es de suponer que más estructuras y cuerpos mineralizados se ubiquen en el lado SO de la falla; por lo tanto explorar en este sector.
2. Para un mejor reconocimiento de las estructuras mineralizadas (*feeders*) y su importancia económica, construir un túnel exploratorio desde el nivel 3750 en dirección N – S. La longitud será por lo menos 400 metros, según datos geológicos que se obtenga.
3. Continuar con estudios geotécnicos en detalle para prevenir posibles deslizamientos inesperados.
4. Prevenir las construcciones civiles evitando las zonas vulnerables.
5. Con más estudios detallados sobre la geodinámica externa ubicar la posición inicial del Cerro Torta para programar un blanco de exploración.

REFERENCIAS CITADAS

- Bishop, A. (1955). The use of slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*, vol. 5(1), 7 – 17 pp. London
- Campbell, K.V. (2007). Pierina Pit Study. Callejón de Haylas, Huaraz, Perú. Report N° 1: Review of Lupe paleosurface and associated geological features. Report de Earth Resource Surveys Inc. para Minera Barrick Misquichilca S.A., 24 p., draft version.
- Compositional Relationships of Chururo, Huaraz and Cordillera Blanca Groups, Huaraz Districs. Informe interno MBM S.A, 17 p.
- Dávila, S. (1989). Estudio Geodinámico de la Cuenca del Río Santa, Departamentos: Ancash – La Libertad. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Dirección de Geotecnia, 9 planos.
- Gaboury, F. (2001). Geology, alteration and mineralization of the Pierina gold deposit and surroundings. Part of the Pierina 1999, 2000 Exploration Project. Reporte para Minera Barrick ABX / Minera Barrick Misquichilca S.A., 102 p.
- Garay, E., Volkert, D., McEwan, C. (1999). Pierina Au-Ag deposit, Cordillera Negra, north-central Perú: Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores, 1, (ProEXPLO´99) Lima, 1999, Primer volumen de monografías de yacimientos minerales peruanos: historia, exploración y geología. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, Lima, 23 – 25 p.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Educación, Madrid, Cap. 9, 430 – 486 p.
- Hock, E. y Bray, J. W. (1981). Rock slope engineering. Institution of Mining and Metalurgy. London.
- Hunt, R. E. (1984). Geotechnical Engineering Investigation Manual. Ed. Mc Graw – Hill Book Company. Volumen I.
- Lowel, D. (1996). Obsevation of the Pierina geology. Report to: Steve Zahory, June 19, 4 p.
- Lavenu, A. (1988). Etude tectonique et néotectonique del Altiplano et de la Cordillère orientale des Andes boliviennes. ORSTOM, Travaux et Documents microfichés, Paris. 28, 420 p.

- McPhie, J., Doyle, M., Allen, R. (1993). Volcanic Textures. A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. Centre for Ore Deposit and Exploration Studies University of Tasmania, 198 p.
- Manrique, E. y Lozano, M. (2005). Exploraciones en el proyecto Pierina Sureste. Reporte a Ludwick W., diciembre 20, 29 p.
- Manrique, E. y Lozano, M. (2005a). Logueo de perforaciones diamantinas "Mina Pierina". Memorándum a William Ludwick, marzo 24, 7p.
- Manrique, E. y Lozano, M. (2005b). Reporte mensual de Exploraciones "Agosto". Memorándum a William Ludwick, octubre 7, 7 p.
- Manrique, E. (2006). Geología geotecnia, TS26 y TS27. Informe a Callupe W., Medina, M. & Monteagudo, I., noviembre 29, 6 p.
- Manrique, E. (2006). Geología geotecnia, Cuncashca. Informe a Monteagudo, I., Callupe W., Medina, M. septiembre, 8 p.
- Prieto, J., y Castelli, J.C. (2007). Marco tectono estratigráfico regional del distrito Pierina. GEOVECTRA, presentación Power Point para Minera Barrick Misquichilca S.A.
- Richards, J.P. (2000). Lineaments revisited. SEG Newsletter, 42, pp. 1, 13-20.
- Sébrier, M., Blanc, J. L., Cabrera, J., Mégard, F., Vivier, G. (1983). Nuevos datos sobre la estratigrafía y la tectónica de la cuenca de Huancayo. V Congreso Peruano de geología: libro de resúmenes. Sociedad Geológica del Perú, Lima, 11 p.
- Sébrier, M., Lavenu, A., Fornari, M. & Soulas, J., (1988). Tectonics and uplift in central Andes (Peru, Bolivia and northern Chile) from Eocene to present. *Geodinamique*, 3, 85 - 106 p.
- Soulas, J. P. (1975). La chaîne andine du Péru Central: chronologie, orientation et style des phases tectoniques du Tertiaire supérieur. Aperçu sur la tectonique quaternaire. *Bull, IFEA*, t. IV, n° 3-4, 127 - 156 pp.
- Steimann, G. (1929). *Geologie von Peru*. Winter Ed., Heidelberg, 448 p.
- Tessier, A.C. (2000). Pierina research project. Structural, stratigraphic and litogeochemical interpretation of the Pierina deposit: Ancash Perú. Reporte para Minera ABX Exploraciones S.A., 81 p, 1 apéndice.

- Turner, A.K., and R.L., Schuster (Eds.), (1996). Landslides: Investigations and Mitigations. Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, National academy Press, 673 pp.
- Strusievicz, O.R., Clark, A. H., Lee, J. W., Farrar, E. March and April (1998). Laser-probe $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ Age Data for Hydrothermal Systems in the Callejon de Huaylas District, Ancash, Northern Peru. Reports for Minera ABX Exploraciones, 9+6 p.
- Strusievicz, O.R. (2000). New Ar-Ar age data for igneous rocks and associated hydrothermal alteration in the Callejon de Huaylas area, Ancash, Peru: an integrated model for the igneous and metallogenetic activity across the Cordillera Negra and Cordillera Blanca. Report for Minera ABX Exploraciones S.A. 32 p.
- Vallejo, C. (2010).- comunicación personal.
- Wilson, J.J. (1963). Cretaceous stratigraphy of central Andes of Perú. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 47, 1-34.
- Wilson, J., Reyes, L., y Garayar, J. (1985). Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhudaz y Huari. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Serie A: Carta Geológico Nacional, boletín n° 60, 7 planos.*

ANEXOS

Relación de fotos:

Foto N° 1: Lado E del Cerro Cuncashca. Contacto fallado y discordante entre rocas sedimentarias (izquierda) y volcánicas piroclásticas de composición andesítica (derecha). Las fallas son concordantes a la estratificación de las rocas sedimentarias, sub vertical que ha desplazado la base conglomerádica de las tobas. Los clastos son ortocuarcitas redondeadas; intenso fracturamiento en las rocas piroclásticas rellenas con óxidos anómalos en contenido de oro (enriquecimiento secundario).

Foto N° 2: Detalle de la Foto anterior. En el contacto de rocas sedimentarias y rocas volcánicas, presencia de clastos de ortocuarcita, redondeados y fracturadas. Las fracturas y cavidades rellenas con óxidos de aspecto terroso.

Foto N° 3: En lado NE del Cerro Chontarrangra. Se nota claramente dos frentes de domo - lava (superior izquierda y baja derecha con bloques suspendidos). El bloque de la parte inferior tiene como base a todas de composición andesítica intensamente argilizada.

Foto N° 4: Cerro Chontarrangra. Sector NE del domo, cerca de la faja transportadora. Evidencias de flujos dómicos sucesivos.

Foto N° 5: Detalle de la foto anterior. Entre domos, brecha milonítica monomíctica soportada. Domos y brecha inalterados.

Foto N° 5: Detalle de la foto anterior. Entre domos, brecha milonítica monomíctica soportada. Domos y brecha inalterados.

Foto N° 6: En la pared SW del tajo, vista hacia el S. Nivel 4040, contacto de flujos de pórfido dacítico (QFP) debajo de toba dacítica.

Foto N° 7: Tajo SE, nivel 4010, pórfido dacítico (PD) sobre coluvio.

Foto N° 8: Tajo Central nivel 3900, Contacto fallado milonitizado entre toba andesítica (piso) y toba dacítica (techo). La mayor concentración de oro está en la toba de composición dacítica.

Foto N° 9: dique de riolita con estructura "flow banding"

Foto N° 10: Siguas. Frente de flujos lávicos; los clastos de color blanco corresponden a riolita (Ri) aflorantes al WSW de este punto.

Foto N° 11: Tajo pared W. Fallas Roxana, Katty, Azucena y nivel de erosión. En las estructuras mineralizadas (Paralela a la falla Katty), en la parte superior, se observa una ligera deflexión hacia la derecha, producto del movimiento normal del deslizamiento Azucena..

Foto N° 12: Nivel 3770 (tajo pared W) detalle de Falla Roxana, potencia 2m.

Foto N° 13: Tajo pared E. Falla Roxana (1), Fallas Katty (2); nivel de erosión o falla Lupe (3); deslizamiento actual (4); estructura de arrastre un movimiento en dirección NE (5); fallas sub paralelas a Katty (6).

Foto N° 14: Nivel 3750. Detalle de la foto anterior (Falla Roxana)

Foto N° 15: Tajo central nivel 3760. Estructuras de arrastre con ondulación tumbada hacia el NNE (indica dirección de empuje)

Foto N° 16: Tajo central nivel 3790. Estructura de arrastre. La ondulación engloba detritos (milonita) producto de la brecha tectónica previamente silicificada.

Foto N° 17: Cerro Torta. Tajo SE nivel 4020 fallas en estructuras mineralizadas ("fidlers") buzantes al sur.

Foto N° 18: Tajo SE, nivel 3990. Estructuras silicificadas intensamente fracturadas por efecto de estructuras de arrastre.

Foto N° 19: Nivel 3830, sección C-C'. Megabloque mineralizado y fracturado (1) sobre un depósito de pendiente (2). El material está conformado por detritos arenosos, angulosos y mal clasificados (propios de un depósito de pendiente)

Foto N° 20: Nivel 3830, sección C-C'. Megabloque mineralizado intensamente fracturado (1) descansa al fondo sobre depósitos de pendiente (2) o paleosuperficie o falla Lupe (3), se observa que el mineral está en contacto con andesita argilizado (4).

Foto N° 21: Pared S-SE del tajo, sección C_C'. Se observa las estructuras de carga, producto de los sucesivos deslizamientos sobre material argílico o paleorelieve Lupe.

Foto N° 22: Nivel 3825, sección D-D'. Pared W del tajo. Se observa megabloques deslizados sucesivos e imbricados, bloques de mineral bordeado soportados por material argílico.

- Foto N° 23: Nv4150 Confluencia de dos planos de deslizamiento Milagros (izquierda) y Azucena (derecha).
- Foto N° 24: Lado W de la faja Nv4030-Megabloque deslizados sobre coluvio.
- Foto N° 25: Tajo W, Nv3900, cruce carretera nueva-rampa chancadora-Megabloque alterado a sílice-arcillas sobre roca porfirítica intensamente argilizada.
- Foto N° 26: Quinquishinca, mirando al NW, megabloque Quinquishinca (1), toba andesítica (2), toba dacítica (3), planos de contacto (4) entre flujos QFP, depósito de pendiente (5), Falla Tinyash (6), Falla Roxana (7).
- Foto N° 27: Quinquishica. Canal de brecha hidrotermal sobre material argílico y coluvio.
- Foto N° 28: Quinquishinca. Canal de brechas hidrotermal en contacto definido con material agílico oxidado, se observa plano de delizamiento.
- Foto N° 29: Quinquishinca. Canal de brecha hidrotermal.
- Foto N° 30: Depósito de pendiente. Un banco de conglomerado polimítico, clastos (QFP, Vuggy, piroclasto argilizados) subredondeados a angulosos, soportados en una matriz de detritos arcillas y óxidos terrosos.
- Foto N° 31: Cerro Sigwas. Secuencia pseudoestratificada de piroclasto andesítico- En la cumbre, presenta flujo de lava autobrechada y englobando clastos de riolita.
- Foto N° 32: Calicata en el lado sur del cerro Sigwas; plano de deslizamiento sobre material coluvial (superficie indicada por la picota)
- Foto N° 33: Lado SSW del dique Cuncashca. Los deslizamientos en la zona están refrendados por uno de los megabloques deslizados (E. Manrique/set. 2006)
- Foto N° 34: Sector norte del tajo (debajo del In pit N); megabloque de cuarzo-alunita deslizado sobre material coluvial y guijarros.
- Foto N° 35: Sector NNE del tajo, en la pared, megabloques fracturados limitado por material argílico.
- Foto N° 37: Pared E. Sector Pozas de sedimentación (izquierda) y cerro Torta (derecha). Se observa variedad de colores producto de los diferentes tipos de alteración y ordenamiento caótico. Es evidente la presencia de planos de deslizamiento paralelos y activos (21.05.2009).

Relación de figuras:

Figura N° 01: Plano de ubicación y accesos.

Figura N° 02: Plano geológico regional (Wilson, 1963)

Figura N° 03: Geología estructural representando fallas inferida por INGEMMET y determinadas por el suscrito (Falla Tinyash y Falla Roxana).

Figura N° 04: Plano litológico del Yacimiento Pierina.

Figura N° 05: Secuencia volcánica depositada en la mina Pierina y alrededores (E. Manrique Enero 2007).

Figura N° 06: Geomorfología. Fotointerpretación de las diferentes estructuras.

Figura N° 07: Plano de geología estructural.

Figura N° 08: Plano estructural y ubicación de secciones morfo-estructurales.

Figura N° 09: Adaptado de: Mechanics of retrogressive slides according to the Geotechnical Commission of Swedish State Railways. (From Géotechnique, vol. 5, N°. 1, 1955).

Figura N° 10: Modelo geológico del yacimiento Pierina, adaptado de Lowel, D. (1996)

Figura N° 11: Se observa una distribución de alteración dispuestos de forma irregular, producto de los deslizamientos sucesivos post mineralización Pierina.

Figura N° 12: Modelo geológico del Yacimiento Pierina (Modificado de E. Manrique/M. Lozano enero del 2006)

Figura N° 13: Ubicación de zonas de vulnerabilidad en el tajo Pierina

Relación de cuadros:

Cuadro N° 01: Depositación cronológica del volcanismo en Pierina y alrededores.

Cuadro N° 02: Tipos de deslizamiento de taludes, adoptado de Hunt (1984).

Geotechnical Engineering Investigation Manual. McGraw Hill, New York.

Cuadro N° 03: Relación de estabilidad de talud con ángulo de reposo.

Cuadro N° 04: En el tajo Pierina, variación del ángulo de reposo según estabilidad de talud, depende del material que lo componen (medidos en las secciones A-A' y C-C')

Secciones morfo-estructurales:

Sección A-A'
Sección B-B'
Sección C-C'
Sección D-D'
Sección E-E'

