

## **Capítulo V**

### **ANEXO V-1 GEOLOGÍA**

## MINERA LUMINA COPPER CHILE S.A.

### PROYECTO CASERONES

Tipo de Documento N° 3339-0000-GE-INF-003

### GEOLOGÍA DEL PROYECTO APOYO EIA

AKER KVAERNER	
<input type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	APROBADO EXCEPTO NOTAS
<input type="checkbox"/>	CORREGIR Y REEMITIR EN NUEVA VERSIÓN
_____	_____
Firma Revisor	Fecha

**ARCADIS Geotécnica**  
Eliodoro Yañez 1893  
Providencia, Santiago

APROB. CLIENTE: \_\_\_\_\_  
FECHA: \_\_\_\_\_

#### Preparado para LUMINA

REV.	FECHA	POR	REV.	APROB.	DESCRIPCION
A	21/04/08	SR	MC	CR	Coordinación Interna
B	16/06/08	SR	MC	LS	Revisión y Aprobación Cliente

## PROYECTO CASERONES

### GEOLOGÍA DEL PROYECTO APOYO EIA

#### CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>3</b>
1.1	OBJETIVOS.....	3
1.2	UBICACIÓN Y ACCESOS.....	3
1.3	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	3
<b>2</b>	<b>TRABAJOS ANTERIORES.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>MORFOLOGÍA.....</b>	<b>5</b>
3.1	RELIEVE.....	5
3.2	DRENAJE.....	5
<b>4</b>	<b>GEOLOGÍA.....</b>	<b>6</b>
4.1	GEOLOGÍA REGIONAL.....	6
4.2	ESTRATIGRAFÍA.....	9
4.2.1	<b>Formación La Ternera (Triásico Superior - Lias) (Brüggen, 1950; enmend. Jensen, 1976).....</b>	<b>10</b>
4.2.2	<b>Formación Lagunillas (Jurásico) (JENSEN, 1976).....</b>	<b>13</b>
4.2.3	<b>Miembro Inferior Cocambico.....</b>	<b>15</b>
4.2.4	<b>Miembro Superior Peñasco Largo.....</b>	<b>24</b>
4.2.5	<b>Formación Quebrada Seca (Cretácico Superior) (Muzio, 1980).....</b>	<b>27</b>
4.3	ROCAS INTRUSIVAS.....	31
4.4	DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS.....	33
4.5	ALTERACIÓN HIDROTÉRMICA.....	36
4.6	ESTRUCTURAS.....	38
<b>5</b>	<b>RIESGO GEOLÓGICO.....</b>	<b>41</b>
5.1	TIPOS DE RIESGOS GEOLÓGICOS.....	41
5.1.1	<b>Caídas de Rocas.....</b>	<b>42</b>
5.1.2	<b>Avalancha de Rocas y/o Deslizamientos.....</b>	<b>42</b>
5.1.3	<b>Crecidas o avenidas.....</b>	<b>42</b>
5.1.4	<b>Corrientes de barro.....</b>	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERACIONES SOBRE EL EMPLAZAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA DEL PROYECTO.....</b>	<b>43</b>
6.1	SECTOR DE LA QUEBRADA CASERONES.....	43
6.1.1	<b>Planta.....</b>	<b>43</b>
6.1.2	<b>Pila Rom.....</b>	<b>44</b>
6.1.3	<b>Depósito de arena.....</b>	<b>44</b>
6.2	SECTOR NACIENTES QUEBRADA LA BREA.....	44
6.3	SECTOR TRAMO NW-SW DE LA PARTE BAJA DE LA QUEBRADA LA BREA.....	45

#### ANEXOS

## 1 INTRODUCCION

### 1.1 OBJETIVOS

En el presente informe se entregan los resultados del mapeo geológico realizado por **ARCADIS Geotécnica** en el área designada por Lumina Copper Chile para el desarrollo del proyecto Caserones y que incluye el sector del yacimiento y áreas vecinas donde se instalarán planta, campamento y depósito de relaves y depósitos de estéril, además de toda la infraestructura de apoyo.

### 1.2 UBICACIÓN Y ACCESOS

El área de estudio se encuentra ubicada, aproximadamente, a 130 Km en línea recta, al Sureste de la ciudad de Copiapó, III Región, Chile (**Figura 1**).

El acceso al área es posible desde la ciudad de Copiapó por la ruta C-35 que sigue el curso del río Copiapó pasando por las localidades de Nantoco, Pabellón, Elisa de Bordos, Los Loros , entre otras hasta llegar al Tranque Lautaro (96 Km) en donde se acaba el pavimento y desde ahí se sigue por unos 23 Km hasta llegar al sector de las juntas de los ríos Montosa (SE) y Vizcachas de Pulido (NNE); desde ahí se toma el camino de tierra hacia la localidad de Pastos Grandes (C-535) hasta el Km 15 en donde se empalma el camino de acceso a Caserones (15 Km) por la parte baja del río Ramadillas. Los caminos de tierra se encuentran en estado regular a bueno, al momento de la visita el tramo entre el tranque Lautaro y la entrada al río vizcachas de Pulido, se encontraba en proceso de ensanchamiento y mejora por parte del MOP. Dentro del área, los accesos en vehículo son posibles a través de un camino minero construido para acceder desde el campamento hacia el área de interés económico del proyecto.

### 1.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El mapa geológico-estructural se realizó sobre ortofotos capturadas a escala 1:10.000 y un levantamiento topográfico escala 1:50.000, que cubre la totalidad del área de estudio, los cuales fueron llevados a la escala de trabajo 1:10.000. Toda esta información fue entregada en formato digital (Autocad) por Lumina Copper Chile, en el sistema cartográfico PSAD 56, huso 19.

Para la ubicación en terreno, se utilizó un GPS de mano, calibrado con puntos de referencia extraídos del mapa en cuestión.

Anexo al mapeo geológico, se registraron puntos de control en lugares donde se realizaron observaciones tanto de detalle como generales, dichos puntos se incluyen en el mapa geológico.



- RAMIREZ, M., 2005. Geología Sector Pilas de Lixiviación (HEAP). Proyecto Regalito. Mapa 1:10.000. Regalito Copper Corp.
- ESSAM, Agosto 2007. Estudio Geológico-Estructural Sector Túnel Correa Transportadora. Proyecto Caserones. III Región – Chile.

### 3 MORFOLOGÍA

#### 3.1 RELIEVE

Topográficamente el área presenta grandes desniveles entre las cotas 2.500 a 4.850 m.s.n.m., con pendientes fuertes y abruptas (**Figura 2**). Dada su ubicación fronteriza, en el ambiente de la Alta Cordillera de Copiapó – Vallenar, las cumbres más altas se ubican hacia el este del área hacia el sur del área de estudio. Las laderas que miran hacia el oeste y sur, especialmente en el área de la mina son en general más abruptas que las que miran hacia el norte y/o al este. Las cumbres más altas en el área del proyecto corresponden al cerro Chico de Caserones (4.715 m.s.n.m.), aún cuando inmediatamente al este del área del proyecto y también hacia el SE las alturas de los cerros sobrepasan con facilidad los 5.000 m.s.n.m.

Las laderas son o rocosas, y entonces muy abruptas y prácticamente inaccesibles de modo normal, o son laderas lisas y recubiertas por potentes depósitos de suelos coluviales de grava-arena, en parte arcillosos, con acceso a pie más fácil.

Las quebradas en general, tienen cuencas de recepción en forma de anfiteatro semicircular en sus nacientes, independientes de su tamaño, mientras que algunas, en su mayoría secundarias, tienen nacientes estrechas y lineales en forma de corredor.

El análisis de las imágenes y la topografía el área muestran un claro control estructural del relieve, el que se habría labrado siguiendo los sistemas de fracturas imperantes en el área.

#### 3.2 DRENAJE

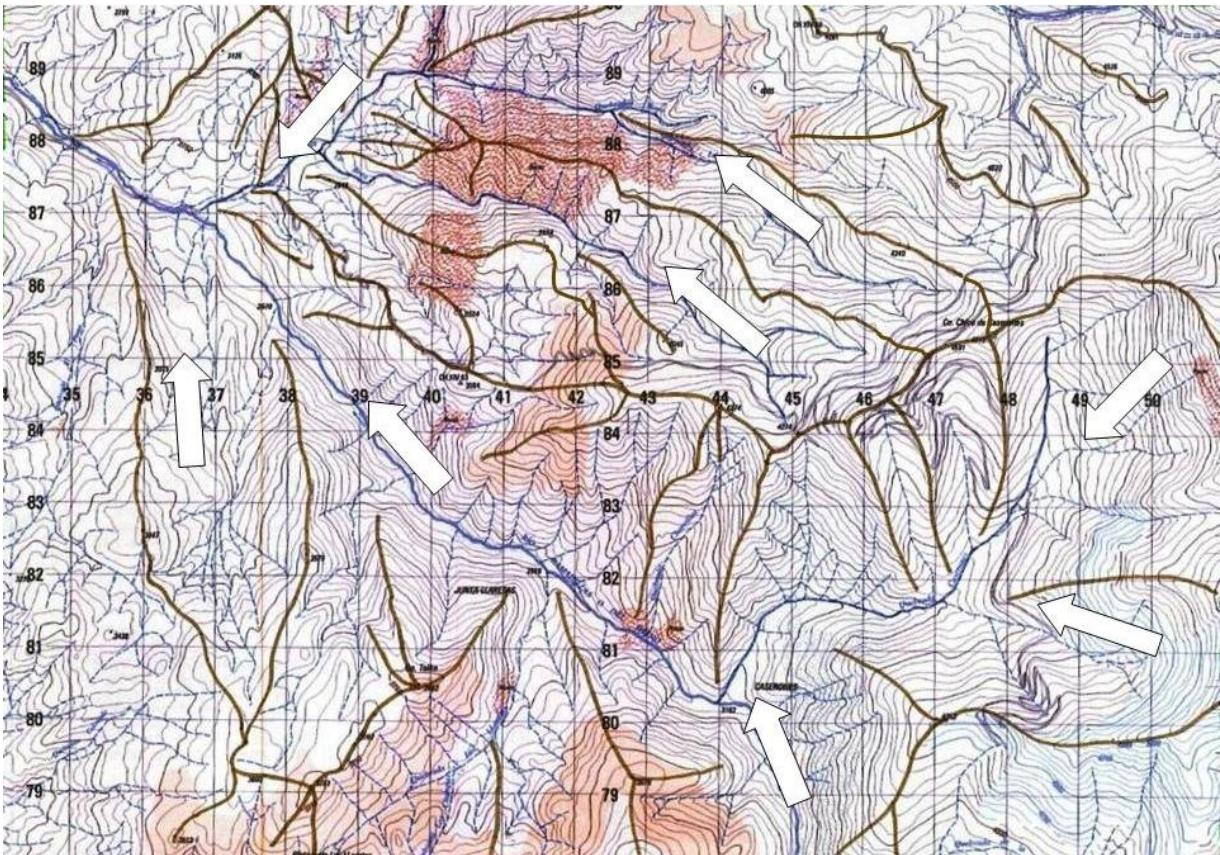
En el área de estudio el drenaje se efectúa principalmente de SE a NW y secundariamente de NE a SW (parte baja de la quebrada La Brea). Las principales vías de evacuación de las aguas superficiales son las quebradas Ramadillas y La Brea (**Figura 2**). Otras quebradas importantes, aunque secundarias, lo son las quebradas Caserones, afluente norte de la río Ramadillas y en donde se ubica, en su parte alta, la mina Caserones, la quebrada Las Lletas, afluente sur de Ramadillas, la quebrada La Escarcha, afluente norte de la Quebrada La Brea.

Los desniveles locales que afectan a los cursos de aguas corresponden una diferencia de 1.100 m para la río Ramadillas en un trayecto de unos 12 Km para el cauce principal, mientras que para la quebrada La Brea el desnivel es de unos 1.500 m para una longitud total de 10 km. La quebrada Caserones tiene un desnivel de 1.300 m para un largo de 7 Km.

Todas las quebradas principales y secundarias presentan un claro control estructural en donde predominan las direcciones NNE y NW a WNW, con algunas quebradas orientadas NS, especialmente en la parte oriental del área.

La mayoría de las quebradas son funcionales sólo durante las épocas de deshielo o durante precipitaciones en forma de lluvia, fenómeno poco frecuente en la zona.

Debido a que la precipitación en el área de estudio ocurre principalmente de nieve en invierno y a veces en los meses de noviembre a enero (efecto del llamado (invierno boliviano), se produce una acumulación importante de agua en las partes altas del área las que escurren superficial y subterráneamente. El escurrimiento subterráneo alimenta a las quebradas Ramadillas y su hoya superior y a la quebrada La Brea, cuya cuenca se ubica enteramente en el área del proyecto, mientras que la cuenca de la río Ramadillas se extiende bastante más al SE del área del proyecto.



**Figura 2.** Esquema morfológico del sector de Caserones.

## 4 GEOLOGÍA

### 4.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Regionalmente en el área de estudio se puede reconocer dos sectores bien diferenciados:

Una zona occidental, relativamente más baja y angosta con pendientes más suaves, compuesta por rocas estratificadas sedimentarias y volcánicas que presentan un manteo general hacia el oeste entre 25° a 30° (**Foto 1**) y,

Una zona oriental, más alta y abrupta (**Foto 2**) que corresponde mayoritariamente a rocas intrusivas paleozoicas y terciarias, en esta zona las plutonitas paleozoicas soportan una cubierta volcanoclástica dispuesta en discordancia de erosión y que conforman “parches” o afloramientos discontinuos sobre el intrusivo paleozoico (**Foto 3**).



**Foto 1.** Panorama de la secuencia de la Formación Lagunillas hacia el sur desde la cuchilla NW de la quebrada La Brea, Se aprecia la actitud regular y monoclinal al w de las capas sedimentarias.



**Foto 2.** Panorama hacia el SE desde la ladera NW de la quebrada La Brea mostrando las secuencias volcanosedimentarias.





**Foto 3.** Vista aérea del sector al este del campamento y al sur de la quebrada La Brea mostrando los parches de afloramientos de la Formación la Ternera sobreyaciendo en discordancia de erosión al granito paleozoico.

El límite entre estos dos sectores lo constituye la quebrada La Brea, la que se emplazó a lo largo del contacto entre las rocas estratificadas y las intrusivas, debido, muy probablemente, a erosión diferencial.

Una serie de estructuras de origen por contracción térmica y/o tectónica (diaclasas, fracturas y fallas) afectan intensamente a las unidades de roca presentes en el área, especialmente a los granitoides paleozoicos (**Foto 4**).

La cubierta de depósitos cuaternarios es importante, tanto como depósitos coluviales de ladera, de fondo de valle y/o depósitos de deslizamientos en masa los que son de origen variado y frecuentes en el área de estudio debido al fracturamiento ya mencionado y al intenso fenómeno de crioclastismo que se advierte en el área, especialmente en el sector Oriental.



**Foto 4.** Panorama de un afloramiento del granito paleozoico en la quebrada Campamento. Vista hacia el NW. Se aprecia el intenso fracturamiento por diaclasamiento que afecta a estas rocas. Al fondo atrás, se observan las secuencias sedimentarias triásicas y jurásicas que sobreyacen a las intrusivas paleozoicas.

## 4.2 ESTRATIGRAFÍA

Las unidades estratificadas involucradas en el área consisten en:

- I. Una secuencia volcanoclástica, principalmente andesítica, de color verde a negro en afloramiento, y que en este trabajo se correlaciona con la Formación La Ternera (BRÜGGEN, 1950: enmen. JENSEN, 1976) del Triásico Superior-Liásico sobre la base de similitud de facies, ubicación litoestratigráfica, de relaciones de contacto y continuidad areal con afloramientos asignados a esta unidad en la Hoja La Guardia que se ubica al norte inmediato del área de estudio. El lugar tipo de la unidad se ubica aproximadamente a unos 150 Km hacia el N del área de estudio. Esta unidad sobreyace directamente en contacto depositacional sobre granitoides paleozoicos.
- II. Sobre la unidad anterior sobreyace, en aparente concordancia, una secuencia sedimentaria roja (**Foto 5**) compuesta principalmente por areniscas rojas y conglomerados rojos a rosados, con intercalaciones volcánicas, y que se ubica hacia el oeste de la zona de interés. Esta secuencia ha sido asignada, por similitud litoestratigráfica, al menos en su parte inferior en la quebrada La Brea y Cocambico, a la Formación Lagunillas (JENSEN, 1976) del Jurásico. Hacia el oeste esta secuencia

se continúa en sus niveles superiores en facies continentales rojo-moradas y niveles volcánicos intercalados. El lugar tipo de la formación Lagunillas se ubica en Las Quebradas Cocambico y Peñasco Largo afluentes S de la río Ramadillas.

- III. Una secuencia potente, compuesta por niveles volcánicos, ignimbritas y niveles volcanoclásticos, sobreyace en aparente concordancia sobre la Formación Lagunillas y se continua hacia el oeste hasta la ladera oriental del valle del río Vizcachas de Pulido. Esta unidad de acuerdo con la asignación hecha en la Hoja la Guardia, corresponde a la Formación Quebrada Seca del Cretácico Superior. Una serie de afloramientos dispersos de rocas volcánicas y volcanoclásticas, distribuidos sobre el macizo granítico paleozoico, en la parte más oriental del área de estudio, cerca de la mina, y a los que se asocian cuerpos subvolcánicos dioríticos a microdioríticos, se asimilan a esta unidad.

En la ladera oeste del río Vizcachas de Pulido aflora un cuerpo de granitoides paleozoicos que muestran un aspecto zebrado debido al contraste entre su color gris claro a rosado y el color verde oscuro a negro de un enjambre de diques lamprofíricos que los cortan. Esta masa granitoídica se encontraría en contacto por falla inversa, a lo largo del valle del río Vizcachas de Pulido, con las unidades mesozoicas anteriormente descritas.



**Foto 5.** Panorama de la ladera NW de la quebrada La Brea mostrando la Formación Lagunillas (miembro Cocambico) sobreyaciendo a la Formación La Ternera, parte derecha de la foto. Vista tomada hacia el WNW.

De acuerdo a las observaciones de terreno, estas unidades mesozoicas, se disponen sobre una paleosuperficie irregular labrada sobre los granitoides paleozoicos y son recortadas a su vez por filones de andesíta a microdiorita de edad indeterminada.

#### **4.2.1 Formación La Ternera (Triásico Superior - Lias) (Brüggen, 1950; enmend. Jensen, 1976)**

Esta unidad, en su lugar tipo, ubicado al norte del área de estudio consiste en una secuencia sedimentaria y volcánica de hasta 1.200 m de espesor, apoyada en discordancia de erosión sobre granitoides paleozoicos. Así normalmente se han distinguido en esta unidad tres miembros:

- A. Miembro basal compuesto por facies clásticas sedimentarias dispuestas en discordancia de erosión sobre granitoides paleozoicos, de hasta unos 120 m de potencia.
- B. Miembro medio de más de 1.000 m de espesor y compuesto por volcanitas las que se apoyan, directamente también, sobre los granitoides paleozoicos. Las volcanitas corresponden a lavas andesíticas y andesítico-basálticas y basaltos. Estas rocas, de color gris-violáceo a pardo-verdoso, afaníticas a algo porfíricas, se disponen en coladas de hasta 4 m de espesor, con brechas en su base y techo y con abundantes amígdalas rellenas con calcita y calcedonia. Incluyen, además, delgadas intercalaciones de tobas, areniscas y limolitas.
- C. El Miembro superior corresponde a una secuencia de tobas líticas de lapilli y brechas piroclásticas, de color verdoso que alternan con lavas andesíticas y basálticas y delgadas intercalaciones lenticulares de brechas con fragmentos andesíticos. En la parte superior aparece una delgada Intercalación sedimentaria marina liásica en el sector del río Jorquera.

En el área de estudio las rocas de esta unidad se distribuyen en parches sobre la superficie erosionada del granito y en una línea de afloramiento a lo largo de la quebrada La Brea la que reposa en contacto depositacional sobre el intrusivo paleozoico.

En los afloramientos visitados las rocas que afloran son mayoritariamente andesitas y basaltos principalmente de color negro verdoso oscuro a gris morado oscuro y conglomerados (orto-). Se presentan como lavas andesíticas afaníticas grises y basaltos microcristalinos a afaníticos; son lavas fuertemente vesiculares en su parte media superior y las vesículas se presentan con relleno de zeolita? y a veces calcita (**Foto 6**), las delgadas intercalaciones de tobas ácidas (riodacita a riolitas), de colores gris verdoso y rosado claro, se aprecian en la base de la formación, inmediatamente sobreyaciendo el granito paleozoico (al norte y este del actual campamento) e intercaladas con las lavas andesíticas, más oscuras (**Foto 7**).

Asociados a la secuencia se observan dispuestos netamente sobre el granito paleozoico, niveles de ortoconglomerados monomícticos basales (**Foto 8**) cuyos clastos corresponden exclusivamente a andesitas similares a las de la secuencia, los clastos son grandes y redondeados. El rumbo de los estratos es generalmente NS a N5-10°W/25W. En general, ni las lavas ni los niveles conglomerádicos presentan alteración visible, en cambio los niveles de tobas presentan colores abigarrados entre rojo y verde lo que indica al menos una alteración clorítica de la matriz piroclástica.

Toda esta unidad correspondería, por similitud litológica y ubicación litoestratigráfica similar, al Miembro Medio de la Formación La Ternera.



**Foto 6.** Vista de detalle de un bloque de andesita del miembro medio de la Formación La Ternera en la parte media de la quebrada La Brea. Se observan muy bien las abundantes vesículas y amígdalas, características de esta unidad.



**Foto 7.** Detalle de la textura y aspecto de las tobas intercaladas en la Formación La Ternera. Miembro medio de la unidad. Foto tomada en afloramientos que corta el camino entre el campamento y la mina aproximadamente en el Km 2.



**Foto 8.** Aspecto de detalle de los ortoconglomerados, compuestos por bolones de andesita intercalados hacia la base de la Formación La Ternera (Miembro medio) en el área de estudio. Este nivel se observa a lo largo del camino de acceso a la mina.

Esta unidad se acuña rápidamente hacia el sur del actual campamento, de modo que al sur de éste y al sur del camino de acceso a la mina, esta unidad ya no aflora. Por otra parte hacia el este del campamento actual, es posible observar retazos de afloramientos (andesitas y/o tobas) dispuestos directamente encima del granito tal como se observa e la parte norte de la Quebrada La Brea.

#### **4.2.2 Formación Lagunillas (Jurásico) (JENSEN, 1976)**

Esta unidad corresponde a una secuencia de aproximadamente 1.000 m de espesor la que se apoya concordantemente ya sea, sobre la Formación Lautaro (La Guardia, río Figueroa, río Turbio) o bien sobre la Formación La Ternera, al este del río Vizcachas de Pulido. Es cubierta, concordantemente, por la Formación Quebrada Monardes (Jurásico superior-Cretácico inferior) e Incluye, de acuerdo con lo mapeado en la Hoja La Guardia, dos miembros:

- A. Miembro Inferior (Cocambico): hasta 600 m de conglomerados rojos y brechas conglomerádicas de grano fino a medio, con clastos subredondeados de granitos y riolitas paleozoicas, en una matriz con fragmentos cristalinos de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico. Alternan con areniscas rojas, arcósicas-cuarcíferas, de grano medio, con estratificación cruzada y paralela, figuras de carga y marcas de grietas de barro que indican paleosuelos. Según Jensen (1976), en Quebrada Plaza, el Miembro Cocambico presenta delgados niveles calcáreos de color pardo-amarillento (espantas extraclásticas) con gastrópodos (*Critinella* sp.) de probable origen marino (Corvalán,

in Jensen, 1976). Un nivel calcáreo ocurre, además, en el techo del miembro entre el valle del río Turbio y la ladera oriental del río Figueroa, aguas arriba de la Guardia (3-5 m de “calizas evaporíticas brechizadas”, Soffia, 1989). Según Jensen (1976) este miembro representaría a facies de ambiente transicional a marino- continental (“facies shabkalitoral”).

- B. Miembro Superior (Peñasco Largo): hasta 500 m de coladas andesíticas a andesítico-basálticas, de textura porfírica a intergranular, color gris oscuro a pardo violáceo, con fenocristales de labradorita y olivino subautomórfico, dispuestos en una masa fundamental pilotaxítica. Presentan abundantes amígdalas rellenas con calcita.

En el área de estudio, dentro de los límites definidos para el presente informe, La unidad se presenta algo diferente a como ha sido descrita en la Hoja La Guardia. En efecto, la orientación submeridiana de la unidad y la persistencia y continuidad de las facies litológicas las que afloran en franjas NS, permiten diferenciar una serie de subunidades litoestratigráficas las que se mantienen a lo largo de la franja de afloramientos de la unidad, desde el nacimiento norte de la quebrada La Brea hasta, por lo menos las nacientes de la quebrada Cocambico, al sur del río Ramadillas. Así, aun cuando en este trabajo se mantiene las denominaciones formales para el Miembro inferior Cocambico y Superior Peñasco Largo, estos presentan diferencias notables con la descripción que se hace de ellos en la Hoja La Guardia.

El Miembro Inferior (Cocambico) forma una faja continua de dirección general NS el que corre mayoritariamente a lo largo de la ladera occidental del valle de la quebrada La Brea y la quebrada inmediatamente vecina al oeste; y al sur del campamento actual y hasta la salida de la quebrada La Brea al río Ramadillas, corre en gran parte sobre la ladera oriental de la misma quebrada, prolongándose hacia el sur (**Foto 9**) por las quebradas Cocambico y Peñasco Largo.

El Miembro Superior Peñasco Largo, se extiende desde la ladera occidental de la quebrada homónima hacia el oeste y su prolongación hacia el norte, hasta el contacto en aparente concordancia con la unidad Formación Quebrada seca, en la ladera occidental de las quebrada Los Cachiyuyos por el norte de Ramadillas y en la ladera occidental de la quebrada El Pingo por el sur de Ramadillas

La orientación de las capas es regular con buena estratificación con rumbos entre N5° a 15°W/25°-30°W. En la parte alta y media de la quebrada La Brea, esta unidad se dispone en aparente concordancia sobre las lavas superiores del Miembro Medio de la Formación La Ternera y, a partir de la parte baja de la quebrada La Brea, al sur del campamento actual y hasta la quebrada Ramadilla y más al sur, la base de la unidad reposa directamente sobre el granito paleozoico.

Las facies, de esta unidad, principalmente sedimentarias, conforma una columna litoestratigráfica en la que la secuencia de facies es de abajo hacia arriba del siguiente modo:



**Foto 9.** Vista aérea de la franja NS de la Formación Lagunillas en el sector de las quebradas Ramadillas – La Brea. En amarillo : Miembro Inferior Cocambico. En rojo: Miembro Superior Pastos Largos.

#### 4.2.3 Miembro Inferior Cocambico

- 1a- En la base de la secuencia aparecen unos primeros 2 m de arenisca arcósica gruesa a conglomerádica fina con aspecto de un granito alterado.
- 1b- Sobre las areniscas arcósicas siguen un espesor aproximado de 20 m de areniscas finas y limolitas rojas muy descompuestas y alteradas de modo que no se conservan las capas. Asociadas a la base de las areniscas y limolitas rojas se observa un nivel mal definido de concreciones aragoníticas cerebriformes (**Foto 10**) con tamaños entre 5 a más de 20 cm de eje mayor. En el sector AI Se del actual campamento a la orilla norte del camino que sube hacia la mina se observa sobre la arcosas basales intercalaciones de areniscas calcáreas con fósiles de pelecípodos y gastrópodos (*Turritella* sp.) de indudable origen marino-litoral (**Fotos 11 y 12**) propia de ambiente nerítico-litoral al menos para los primeros metros basales de la secuencia. Este hallazgo de fósiles marinos (hecho por el geólogo Sr. Marcelo Ramírez) confirma los hallazgos de niveles marinos descritos tempranamente por Jensen (1976).

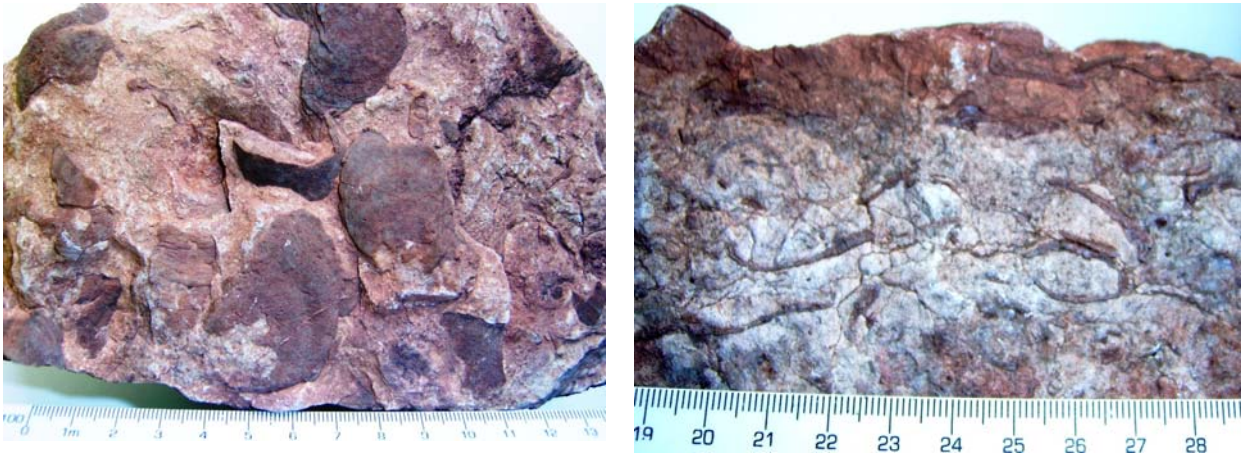




**Foto 10.** Concreción cerebriforme de Aragonita (recuadro). En el panorama general al nw del campamento se indica la ubicación del nivel con concreciones

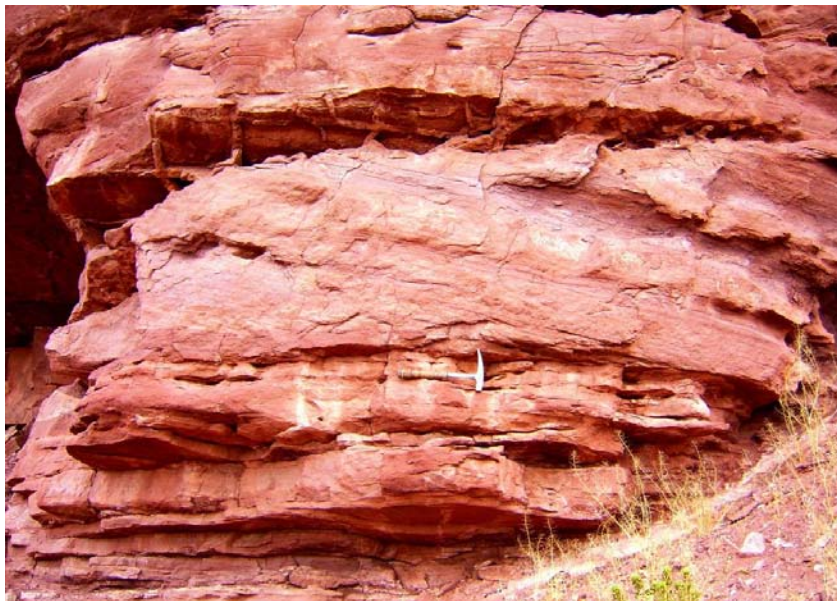


**Foto 11.** Fósiles de Turritella sp. En los primeros metros basales de la Formación Lagunillas en los afloramientos al SW del campamento actual (Cortesía Marcelo Ramírez Mellado).



**Foto 12.** Muestra con fósiles de pelecípodos indet. sp. Vista desde arriba y vista lateral. Muestra recolectada en el mismo lugar que las muestras de *Turritella* sp.

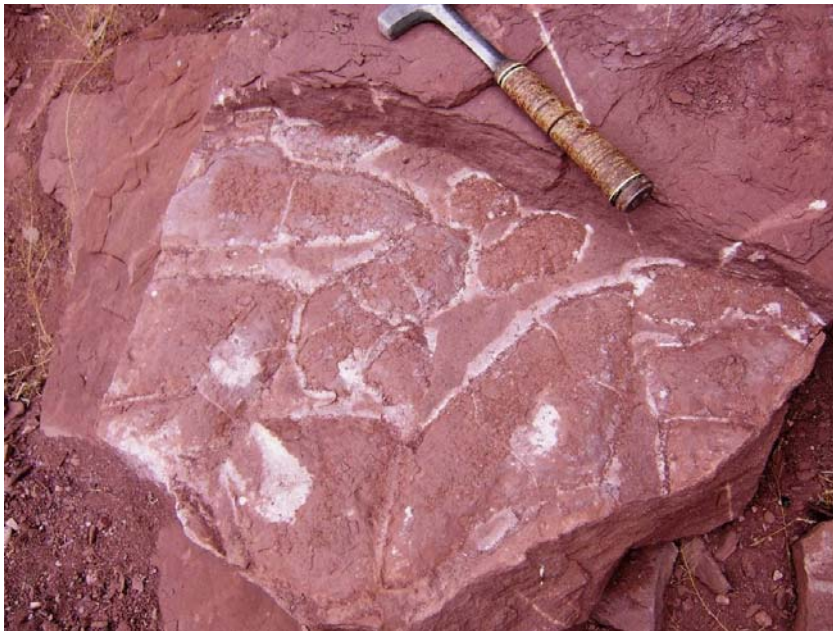
- 1c- Siguen hacia arriba una intercalación de toba riolítica de color gris claro a verde con alteración rojiza y espesor de unos 5 m, sobre estas tobas siguen areniscas rojas medias,
- 1d- 35 a 40 m de areniscas rojas medias a gruesas bien estratificadas, que en los primeros 15 a 20 m muestran intercalaciones en lentes y/o paleocanales de conglomerados y brechas en tamaños de 4 a 10 cm, en la parte superior de este nivel abunda la estratificación entrecruzada, figuras de load casta y grietas de barro (**Fotos 13, 14 y 15**) estas estructuras sugieren la permanencia de un ambiente de “sabkha” litoral propia de una zona sub a supralitoral.



**Foto 13.** Detalle de estratificación cruzada en el nivel 1d de la Formación Lagunillas en la ladera NW de la quebrada La Brea.



**Foto 14.** Detalle de marcas de carga "Load Casts" en el nivel 1d de la Formación Lagunillas en la ladera NW de la quebrada La Brea. Se aprecia que la dirección de las marcas es EW.



**Foto 15.** Grietas de barro en el nivel 1d de la Formación Lagunillas en la ladera NW de la quebrada La Brea.

- 1e- Sobre las areniscas rojas siguen 125 a 135 m de ortoconglomerados rojos, en parte blancos por alteración, con buena estratificación (**Foto 16**) y tamaños de clastos entre 4 a 20 cm (**Foto 17**), la matriz corresponde a litarenita gruesa. Se trata de rocas bien cementadas y duras al golpe del martillo. Los clastos corresponden a rocas volcánicas (andesitas), piroclásticas (riolitas) y sedimentarias (lutitas y/o areniscas rojas), no se observan clastos de rocas intrusivas. Hacia arriba los conglomerados culminan en un espesor variable entre 0 a 40 m de areniscas rojas gruesas con muy buena estratificación (**Foto 18**).



**Foto 16.** Panorama de detalle de una cornisa de ortoconglomerados sobre la ladera NW de la quebrada La Brea. Se ve claramente la estratificación monoclin al W. Vista hacia el N.



**Foto 17.** Foto de detalle del Nivel 1e de ortoconglomerados, mostrando la granulometría de estos niveles y el carácter redondeado a subredondeado de los clastos.



**Foto 18.** Detalle de la estratificación y rumbo y manteo de las areniscas rojas del nivel 1e. Vista tomada en la divisoria NW de la quebrada La Brea.

1f- Sobre los conglomerados continúan 20 a 30 m de de rocas volcánicas andesíticas de color gris a gris oscuro pardo, muy fracturadas, que corresponden a lavas porfíricas en la base de cada colada. Hacia el techo de cada colada se van haciendo más vesiculares y amigdaloidales (**Foto 19**) para terminar en una parte superior brechosa (**Foto 20**), característicamente las amígdalas presentan abundante calcita. Este nivel volcánico controla estructuralmente la morfología de la ladera E de la quebrada La Brea. Al oeste inmediato de la quebrada la Brea y la ladera este de la quebrada Peñasco Largo, esta última al oeste de la quebrada Cocambico.



**Foto 19.** Panorama de detalle de una cornisa de lavas andesíticas en la cuchilla de la ladera W de la quebrada La Brea. Vista hacia el N.



**Foto 20.** En el mismo lugar de la foto anterior. Se ilustra el aspecto de la parte superior brechosa de las coladas.

1g- Siguiendo al nivel volcánico aparecen en el fondo de la quebrada al oeste inmediato de La Brea y más definidamente en el fondo del valle y parte de la ladera occidental de la quebrada Peñasco Largo un espesor mal expuesto de areniscas rojas que en los primeros 4 metros basales son gruesas a medias, en parte conglomerádicas con niveles fanglomerádicos; hacia arriba pasan a areniscas rojas finas a muy finas, meteorizadas y cubiertas por un coluvio rojo que impide en gran parte la observación en conjunto de las capas sin embargo, en los pocos lugares donde aparecen los afloramientos más altos, se aprecian capas de no más de 20 cm de espesor bien estratificadas (estratificación centimétrica a milimétrica). Los niveles basales, más gruesos, muestran estructuras sedimentarias variadas tales como paleocanales (Foto 21), diques sedimentarios originados por compactación diferencial y por relleno pasivo desde arriba (**Foto 22**) y estratificación entrecruzada (**Foto 23**). La potencia de este nivel se ha estimado en unos 80 m.



**Foto 21.** Ejemplo de Paleocanales en la base de las areniscas rojas sobre las lavas en el Miembro Inferior Cocambico de la Formación Lagunillas. Vista hacia el SW. Cuchilla entre las Quebradas Cocambico y Pastos Largos.



**Foto 22.** Ejemplo de dique sedimentario con relleno pasivo desde arriba. Mismo lugar de foto anterior.





**Foto 23.** Ejemplo de estratificación entrecruzada en la base de las areniscas rojas sobre las andesitas en el Miembro Inferior Cocambico. Afloramiento en la parte más alta de la ladera W de la quebrada La Brea al NW del Campamento actual.

El espesor total de esta columna para el Miembro inferior Cocambico, es de unos 300 a 315 m aproximadamente.

Hacia el oeste, a partir de la ladera occidental de la quebrada Peñasco Largo y quebradas correspondientes al norte de Ramadillas, y hasta la ladera occidental de las quebradas El Pingo y Los Cachiyuyos, se dispone una secuencia volcanosedimentaria más oscura, correspondiente al Miembro Superior Peñasco Largo de la Formación Lagunillas.

#### 4.2.4 Miembro Superior Peñasco Largo

Una columna levantada entre las quebradas Peñasco Largo y El Pingo muestra de este a oeste y en sucesión litoestratigráfica normal de abajo hacia arriba:

- 2a- Un espesor estimado en 75 a 90 m de una secuencia volcánica andesítica con características similares a las intercalación volcánica del Miembro Inferior Cocambico. Las lavas presentan abundante calcita y los niveles brechosos o de brechas volcánicas, son más abundantes. Este nivel es bastante regular y tiene una buena continuidad areal. Hacia el oeste y arriba de las lavas continúan
- 2b- 200 m de un paquete de areniscas y conglomerados, en parte fanglomerados, de color pardo morado, distinto del color de las facies sedimentarias del Miembro inferior Cocambico, este espesor es cubierto por un importante acarreo coluvial, por aflorar en las laderas oeste de las quebradas, sin embargo a lo largo del camino de acceso a la entrada al proyecto, es posible apreciar afloramientos de esta secuencia sedimentaria. (**Fotos 24 y 25**). Sobre este nivel se disponen en discordancia (aparentemente angular) los niveles basales de la Formación Quebrada Seca. Una serie de estructuras sedimentarias así como el aspecto general de estos niveles sedimentarios sugieren para este miembro una sedimentación en ambiente continental de llanura aluvional con cursos de agua entrelazados.



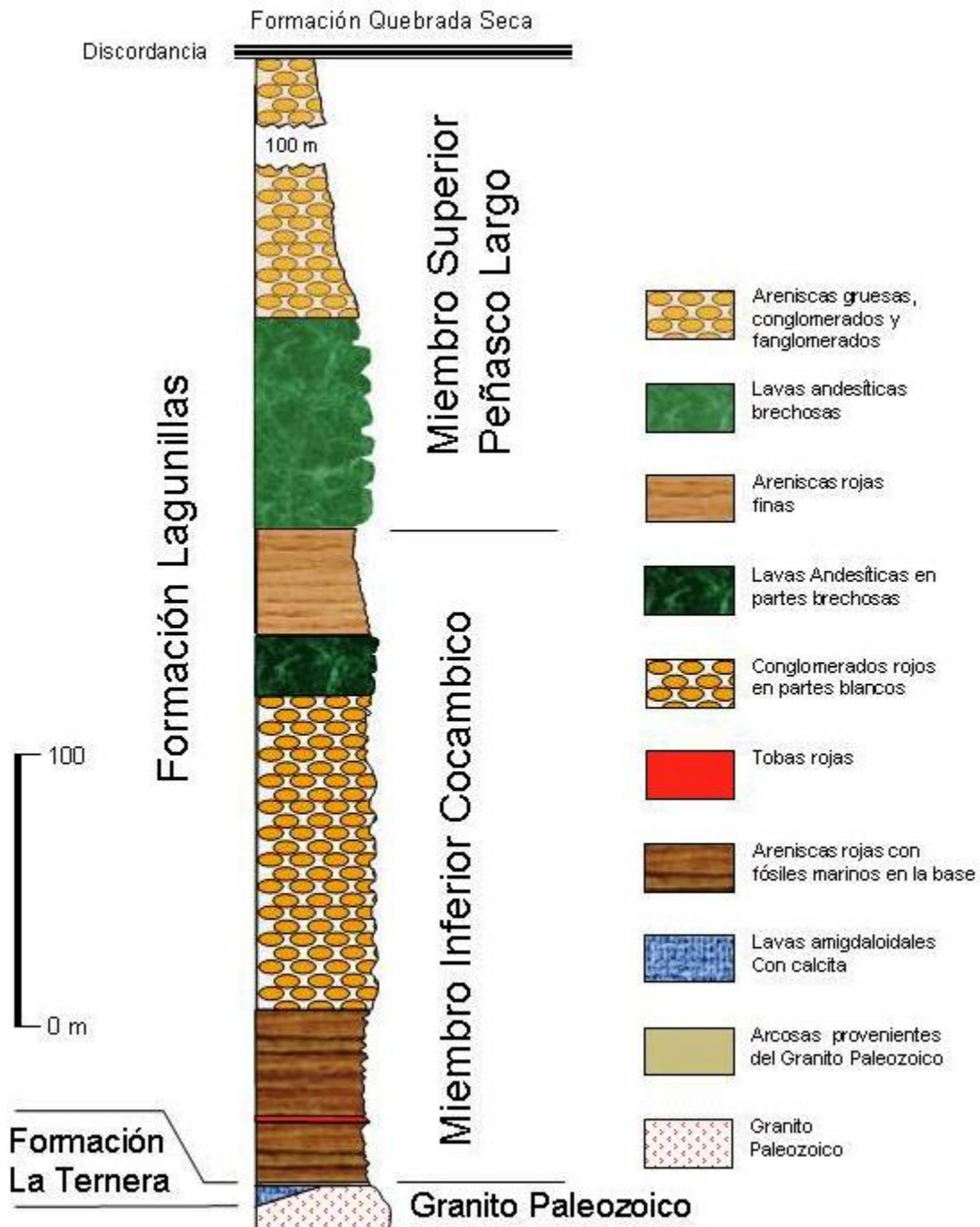
**Foto 24.** Panorama de la ladera W de la quebrada El Pingo mostrando parte del Miembro Superior de la Formación Lagunillas. El contacto con la Formación Quebrada Seca sobreyacente se ubica por debajo del nivel blanco (toba ignimbrítica) que se observa en la parte superior Izquierda. Vista hacia el SW.



**Foto 25.** Vista de detalle de los afloramientos de areniscas y conglomerados en el afloramiento que cruza el camino de acceso al Proyecto caserones al W de la salida de la quebrada El Pingo.. se aprecia el carácter marcadamente más angulosos que los clastos del Miembro Inferior.

El espesor total del miembro Superior Peñasco Largo es de unos 300 m aproximadamente.

En la **Figura 3** siguiente se ilustra la columna virtual de la Formación Lagunillas en el sector de estudio.



**Figura 3.** Columna Litoestratigráfica Virtual de la Formación Lagunillas en el sector del Curso Inferior del Río Ramadillas.

Las sedimentitas arriba descritas son en general regular a bien seleccionadas, de carácter polimíctico, el color rojo de las rocas se debe en gran parte a la presencia de limonita tanto en la matriz como formando un cemento entre los granos y clastos junto con calcita.

El Miembro Inferior Cocambico de la Formación Lagunillas puede ser considerado como depositado en un ambiente sublitoral a supralitoral, los fósiles presentes en la base del miembro, las estructuras presentes en algunos niveles y el exceso de relleno calcítico de las amígdalas de las rocas volcánicas intercaladas, indican depositaciones en condiciones subacuáticas, también en parte es posible visualizar en algunos momentos de la depositación condiciones de depositación eólica y de desecamiento en un ambiente de “sabhka” litoral. De un modo general, las estructuras sedimentarias visibles en este miembro, tales como paleocanales y figuras de carga sugieren claramente un aporte del material desde el WSW.

El Miembro Superior Peñasco Largo presenta un carácter marcadamente más continental que el miembro inferior, lo que sugiere un alejamiento de la línea de costa hacia el N-NW.

#### **4.2.5 Formación Quebrada Seca (Cretácico Superior) (Muzio, 1980)**

Esta unidad corresponde a una secuencia volcánoclastica con una potencia de a lo menos 1000 m de espesor que, a nivel regional, aparece dispuesta en discordancia sobre lavas y areniscas de las formaciones Quebrada Monardes (al oeste y norte del área de estudio, IRIARTE et al., 1999). En el área de estudio ella se ubica en la parte más occidental del área en el cuarto inferior de la Río Ramadillas conformando un potente manto de rocas volcánoclasticas subhorizontales a levemente inclinadas hacia el W y sobreyaciendo al Miembro Superior de la Formación Lagunillas (**Foto 24**). Sus afloramientos se extienden en orientación submeridiana entre la ladera W de la quebrada El Pingo y el Río Vizcachas de Pulido en donde se encontraría en contacto por falla inversa con el macizo granítico paleozoico que constituye el Pilar Tectónico de Montosa (IRIARTE et al., 1999).

Un conjunto de afloramientos de rocas andesíticas y cuerpos hipabisales dioríticos asociados, brechas volcánicas y rocas clásticas gruesas, que afloran en forma discontinua sobre el granitoide paleozoico en las nacientes de la quebrada La Brea y La Escarcha (**Foto 26**), así como en la ladera sur de la río Ramadillas al oeste de El Tambo (**Foto 27**) se han asignado, por similitud litológica, a esta unidad.



**Foto 26.** Complejo volcánico de lavas andesíticas, intrusivos dioríticos asociados y brechas volcánicas al NW del sector de la mina. Vista aérea hacia el NE.



Ubicación de los conglomerados basales de la secuencia volcanoclástica de la ladera sur de Ramadillas

**Foto 27.** Panorama de la secuencia volcanoclástica sobre la ladera S de Ramadillas. Vista hacia el E. Se indica ubicación de los conglomerados mostrados en Foto 28 siguiente.

Los afloramientos ubicados en la río Ramadillas en el sector antes del Tambo presentan características geológicas y depositacionales que permiten inferir la existencia previa a la depositación de los niveles volcanoclásticos, un valle o quebrada de orientación submeridiana y desaguando hacia el norte. Los productos de acumulación clástica debajo de las volcanoclastitas (**Fotos 28 y 29**) así lo indican. En efecto, los niveles basales de la secuencia en la ladera sur de Ramadillas muestran haberse depositado sobre una paleopendiente importante y dirigida hacia el NNW, de modo que los niveles clásticos basales aparecen en la ladera norte de Ramadillas al nivel de la quebrada actual.



**Foto 28.** Panorama de detalle de la base de la secuencia volcanoclástica de la margen sur de Ramadillas mostrando el nivel basal de ortoconglomerados gruesos sobre el granitoide paleozoico. Vista al ESE.

Estos niveles corresponden a niveles conglomerádicos muy gruesos con bloques redondeados de granito que sobrepasan los 0.5 m<sup>3</sup> cementados en una matriz de arena gruesa a microconglomerádica (**Foto 30**). Todo el aspecto del materia, aparece como haber sido depositado por procesos de alta energía y con un fuerte retrabajamiento por agua. De acuerdo con lo anterior, es posible sugerir que este rasgo paleofisiográfico así como otros que se han observado sobre la superficie del granito, sugieren la probable acción de erosión glacial o periglacial sobre el granito paleozoico durante el Pérmico Medio a Superior considerando las edades radiométricas obtenidas para este intrusivo.



**Foto 29.** Detalle de los ortoconglomerados basales en el lado norte de Ramamdillas. Se aprecia el redondeamiento de los bloques mayores y lo scas de la matriz de arenisca gruesa a microconglomerádica. Vista al norte de afloramiento al nivel del río.



**Foto 30.** Panorama del afloramiento de los ortoconglomerados basales en la ladera norte del río Ramadillas. Se observa el gran grosor de los bloques basales y su rápida disminución de tamaño hacia arriba. Se aprecia la inclinación hacia el NW. Vista tomada hacia el NE. Nótese el tamaño de algunos bloques comparado con el caballo y jinete.

La Formación Quebrada Seca presenta un miembro inferior compuesto por areniscas, conglomerados, brechas volcánicas, ignimbritas y lavas traquíticas y un miembro superior esencialmente volcánico andesítico los afloramientos al este del área de estudio citados más arriba se incluirían en el miembro superior. La edad radiométrica más antigua obtenida en la Hoja La Guardia (IRIARTE et al., 1999) corresponde a una datación K/Ar en anfíbola de 72 Ma en tobas cercanas a la base. Otras edades para esta unidad de 65+/- 2; 64,4+/-2,7; 58,8+/- 2 han sido obtenidas por los mismos autores en la prolongación norte de la unidad en el sector del río Pircas Coloradas (Iriarte et al., 1999) lo que está de acuerdo con la asignación de esta unidad al Cretácico Superior.

#### 4.3 ROCAS INTRUSIVAS

En el área se distinguen al menos tres grupos de rocas intrusivas, que además serían de edades distintas:

Un primer grupo constituido por granitos a sienogranitos de grano grueso, en el que se distinguen el denominado Granito Caserones, del Carbonífero Superior, que incluye granitos de biotita y anfíbolos de colores rojos a rosado-naranja, equigranulares, hipidiomórficos y de grano grueso a los que se asocian facies subordinadas de microgranito, y el Granito El Colorado, descrito como un leucogranito rosado de biotita y muscovita de grano medio a grueso. Edades radiométricas obtenidas en estos granitoides más al norte (Iriarte et al., 1999) dan valores entre 260 y 270 Ma las que los ubican en el Pérmico (Paleozoico Superior).

Un segundo grupo lo constituyen afloramientos de monzogranitos de color claro gris a gris rosado con cuerpos porfídicos epizonales asociados, que varían de dioríticos a cuarzo-dioríticos a veces con textura brechizada, este conjunto correspondería a la extensión norte de un amplio batolito terciario que se extiende más hacia el sur y al cual se asocian varios prospectos de edad Mioceno Superior. Intruyendo al cuerpo principal se reconocen pequeños cuerpos de porfidos dacíticos.

Asociados a este grupo en el área de la mina aparecen diques y sills y un probable cuello volcánico con autobrechas relacionadas, todas reconocibles hacia el oriente del área de estudio, en torno al futuro rajo de la mina Caserones. El cuerpo cuarzo-diorítico, de textura microfanerítica, del sector de la mina presenta xenolitos de los granitoides paleozoicos, lo que demuestra la posterioridad de estos cuerpos intrusivos para los cuales existe una edad (comunicación oral Sr. Luis Serrano, 2008) de 25 Ma.

Un tercer grupo lo constituyen una serie de cuerpos subvolcánicos o “necks” y diques andesítico-dioríticos (microdioríticos) asociados (**Foto 31 y 32**), de hasta 15 m de espesor y de textura homogénea y algunos filones más ácidos.

Son reconocibles en toda el área de estudio y especialmente en la parte superior (nacientes de las quebradas La Brea y La Escarcha. Asociadas a estos cuerpos hipabisales afloran lavas andesíticas. La edad de estos cuerpos intrusivos y lavas asociadas es estimada Cretácico Superior y se han asignado a la Formación Quebrada Seca transitoriamente.





**Foto 31.** Panorama hacia el WNW desde el camino a la mina. Vista tomada hacia la ladera NW de la quebrada La Brea mostrando la secuencia de la Formación La Brea cortada por un filón andesítico presumiblemente de edad Cretácico Superior.



**Foto 32.** Vista de detalle de un sistema de diques andesíticos intruyendo a los ortoconglomerados en la cuchilla de la ladera NW al norte del campamento.

A los intrusivos hipabisales mayores de este conjunto se podrían asociar algunos depósitos de lavas andesíticas que los rodean, especialmente en la parte de las nacientes de las quebradas La Brea y La Escarcha. Estos cuerpos hipabisales se presentan alineados en dirección NS a NE-SW, probablemente a lo largo de una estructura mayor no reconocida en terreno. Singularmente en los bordes orientales de estos, se han reconocido zonas de alteración hidrotermal con desarrollo incluso de brechas hidrotermales.

#### 4.4 DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

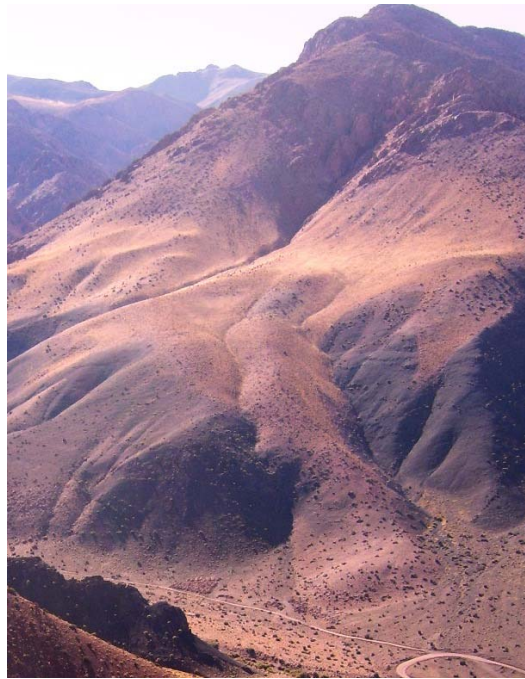
En el área se reconocen una variedad de depósitos no consolidados que conforman la cubierta cuaternaria actual. Entre ellos se distinguen principalmente:

- **Escombros de falda**, estos depósitos conforman una parte importante de toda la superficie del área, se trata de depósitos coluviales proximales (**Foto 33**), depositados en laderas constituidos por material fino a grueso con poca participación, en general, de arcillas, las que están presentes en baja proporción, principalmente debido a la remoción de éstas por el agua durante la época de deshielo, estos depósitos se encuentran en equilibrio metaestable y en algunas ocasiones sobrepasan los 30° de inclinación. En los cortes e caminos en muchas ocasiones se puede observar la alternancia de materiales finos y gruesos lo que típico de coluvios en estado de soliflucción. Algunas veces estos depósitos conforman en superficie verdaderos planos o corredores de avalanchas y otras veces aparecen cortados por canaletas de erosión producto del hielo, sobre todo en las partes más altas.



**Foto 33.** Panorama general del área de la mina Caserones mostrando la cubierta coluvial sobre el monzogranito. Vista hacia el norte.

- **Deslizamientos en masa.** Son menos frecuentes pero se observan en algunos sectores, por ejemplo sobre la ladera oriental de la quebrada La Brea, en donde, aguas arriba del actual campamento, se pueden apreciar como estos materiales se han derramado sobre los afloramientos más orientales de la Formación La Ternera, cubriéndola parcialmente (**Foto 34**). Un deslizamiento en masa más importante se aprecia en el lugar en donde se plantea construir el futuro campamento de construcción (**Foto 35**) en la ladera N del río Ramadillas.



**Foto 34.** Deslizamiento en masa antiguo y en parte rodado, en la ladera SE de La Brea, aguas arriba del campamento. Se aprecia el lóbulo frontal terminal sobre depósitos del fondo del valle.



**Foto 35.** Deslizamiento en masa en la ladera norte de ramadillas. La línea punteada marca el lugar desde donde se desplazó el material. Obsérvese la superficie superior ondulada característica de remoción en masa.

- **Conos de deyección**, son conos pequeños estrechos de alta pendiente y de espesores considerables en la parte baja del cono en su salida a las quebradas de las que son tributarios (**Foto 36**), la mayoría de ellos han sido cortados por avenidas en el cauce principal al que salen (**Foto 37**), algunos de ellos se pueden observar a lo largo de la río Ramadillas y al menos uno de cierta importancia en el sector de la quebrada La Brea cercano al campamento.



**Foto 36.** Panorama de detalle de los conos de deyección en la parte alta de la río Ramadillas, Aguas arriba del sector de El Tambo. Se aprecia el espesor decamétrico de los depósitos



**Foto 37.** Panorama general del sector del Tambo hacia el norte. Se aprecia a la izquierda la quebrada Caserones y a la derecha la río Ramadillas, en ella se advierte claramente una canaleta de erosión que corta a los conos de deyección y a la terraza del sector de El Tambo, la que fue causada por una crecida o aluvión.

- **Depósitos de fondo de valle**, constituyen el fondo plano de las quebradas principales tales como la río Ramadillas y La Brea, además de otras menores; corresponden a depósitos aterrazados, de variada composición granulométrica, la que acentúa el carácter episódico torrencial de estos depósitos que ocurren principalmente durante crecidas del cauce que contienen, son materiales altamente porosos y permeables y poco resistentes a la erosión causadas por avenidas y/o aluviones como se puede apreciar en el sector de la quebrada Caserones en donde se plantea construir la planta y edificios de administración (**Foto 37**).

#### 4.5 ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

La alteración hidrotermal presente en el área se limita a la mitad oriental y afecta principalmente a los granitoides (**Fotos 38 y 39**), las zonas de alteración presentan fuerte silicificación y sericitización, además de hematitización en algunos sectores. La alteración se relacionaría a los intrusivos dioríticos y cuarzodioríticos presentes en el área y se desarrolla en amplias aureolas de zonación típica de las alteraciones hidrotermales reconociéndose casi exclusivamente en los lugares visitados, limitadas áreas de suave alteración filica (cuarzo sericita pirita) y alteración propilítica en menor ocurrencia general. La alteración filica no presenta ningún tipo de vetización (tipo stockworks), rasgo común en áreas donde esta alteración se ha reconocido como intensa. Debe destacarse que las alteraciones hidrotermales son de desarrollo poco claro en rocas graníticas y consecuentemente no son simples de determinar, caracterizar y cuantificar.



**Foto 38.** Ejemplo de alteración hidrotermal al W del cerro Chico de Caserones. A la izquierda nacientes de la quebrada La Brea y a la derecha la quebrada La Escarcha. Panorama al W. El morro en primer plano corresponde a un cuerpo microdiorítico hipabisal.



**Foto 39.** Otra vista de una zona de alteración hidrotermal. Vista hacia el NW. Esta zona de alteración se ubica en la vertiente NE de la río Ramadillas, aguas debajo de El Tambo. En este caso se trata del granito Terciario afectado por alteración hidrotermal.

La alteración fílica esta controlada claramente por las estructuras, ocurriendo en general a través de la brechización de la roca

El control post fracturas de la alteración fílica, corrientemente como sobreimposición a la alteración potásica, es un evento que pareciera estar documentado en Caserones, no esta claramente establecido en al menos en tres de los sondajes revisados en la zona en este trabajo. Si se puede establecer un fuerte control litológico y estructural de la alteración fílica, ocurre relacionada a zonas de fallas y de intenso fracturamiento.

La alteración sericítica se ha definido en Caserones como dos ocurrencias, halos en “Vetillas D” ( o vetillas QSP) y de estilo “Pervasiva” donde destruye completamente la textura original de las rocas intrusivas, incorporando un agregado en general de gruesa textura de sericita-cuarzo ( y muscovita) y ocasionalmente trazas de turmalina

La relación de la alteración sericítica (fílica) a las estructuras y a las vetillas D indican que solamente se ha preservado los niveles mas profundos de esta alteración

Las vetillas D en superficie se muestran con limonita y cuarzo y gruesos halos sericiticos con pirita-limonita finamente diseminadas. Ninguna de estas características se reconoce en las zonas visitadas.

En el área del Proyecto Caserones se reconoce el desarrollo de alteración hidrotermal en amplias aureolas de zonación de las alteraciones potásica, fílica y propilítica, típicas en secuencias proximales a distales de los depósitos de Cobre Porfídicos.

La alteración potásica y fílica tienen presencia en la parte central del yacimiento y la alteración propilítica hacia la periferia del núcleo del pórfido cuprífero. En la parte central, donde se presenta la alteración de manera mas intensa, el desarrollo de la zonación se

muestra acompañada de intensa vetización, stockworks característico y el control de la alteración esta claramente relacionada a estructuras y brechización de la roca.

El fuerte control estructural (y litológico) se manifiesta en la alteración filica por su emplazamiento en las brechas permeables en particular a lo largo de zonas relacionadas a fallas. También lo parece manifestar la alteración propilítica (clorita-epidota-magnetita-calcita-pirita) que ocurre relacionada a los mismos conductos. La alteración sericitica por otra parte parece estar relacionada mas estrechamente a control litológico que estructural, que son el foco para la alteración sericitica en los diques dacíticos que son de naturaleza resistente a la alteración y donde se aprecia la conservación de biotita secundaria.

Los procesos supérgenos han creado condiciones locales para formar exposiciones que dan a las rocas aspectos blanqueados, en nucleos limitados y aislados.

Los minerales de alteración en caserones incluyen biotita-epidota-magnetita-turmalina-feldespatos potásicos-muscovita-clorita-silica y pirofillita.

#### 4.6 ESTRUCTURAS

En toda el área se observan una serie de fracturas y o fallas que afectan a las rocas allí presentes. Sin embargo las diferentes orientaciones del fracturamiento regional se manifiestan con mayor intensidad en la superficie cubierta por los granitoides paleozoicos, los que muestran un fuerte e intenso fracturamiento polidireccional el que es resultante de la superposición de sistemas de fracturas regionales, asociadas a fallas, sobre un estilo de fracturamiento propio de los granitoides paleozoicos y debido más probablemente a al diaclasamiento intrínseco durante el enfriamiento del intrusivo, exagerado posteriormente por fenómenos de erosión diferencial (crioclastismo, glaciares, etc.) que acentuaron e incluso abrieron las diaclasas en superficie.

Así mientras que en el intrusivo se pueden distinguir numerosos sistemas de fracturamiento en las rocas estratificadas adyacentes sólo se ha podido determinar algunos sistemas de fracturas a los que se asocian fallas.

Estos sistemas son:

- NS/90° con variaciones de hasta 15° hacia el este u oeste, mientras que en el granito alcanza frecuencias de hasta 10 f/m, en las secuencias estratificadas su frecuencia disminuye a 1-2 /m.
- N65° a70°W/90 con inclinaciones de hasta 85° hacia los lados, las densidades de fracturas son del orden de 1 a 2 /m en las rocas estratificadas este sistema se presenta controlando la dirección de muchas quebradas principales, entre ellas las quebradas Ramadillas, La Brea , en su parte alta, asociadas a este sistema ESSAM (2007) ha descrito fallas con estrías de falla en el rumbo (subhorizontales) y además la presencia de vetillas alineadas de cuarzo, baritina limonita con espesores de hasta 20 cm.

- N40 a 60°E/55° W a 90°, este sistema se reconoce tanto en los intrusivos como en las rocas estratificadas y presenta algunas fallas de rumbo asociadas, aún cuando predominan las fracturas y/o diaclasas.
- Finalmente un sistema EW/90° 80°S que se manifiesta claramente en algunos sectores de la parte mas baja del sector de afloramientos de los intrusivos paleozoicos. En algunos casos los trabajos de exploración y de accesos para el proyecto han puesto en evidencia este sistema al despejar la cubierta coluvial, como sucede, por ejemplo, en el sector de las Siete Curvas (**Foto 40**). En las nacientes de la quebrada Cocambico ha sido detectada una falla de rumbo dextral perteneciente a este sistema.



**Foto 40.** Detalle de una falla EW (general) en la zona de las siete curvas, y que ha sido puesta en evidencia por la construcción del camino de acceso a la mina. La falla tiene una componente en el rumbo importante y además aparece con una componente claramente inversa. Foto tomada hacia el SE.

Las estructuras más importantes detectadas a nivel regional corresponden al sistema EW. En efecto, además de la falla de la siete Curvas, la falla de las nacientes Cocambico se muestra como una estructura importante ya que el desplazamiento en sentido dextral, es de aproximadamente unos 200 a 300 m, el que además iría acompañado de un alzamiento relativo del bloque sur. En las nacientes de la quebrada Cocambico los efectos de esta estructura es que altera en las cercanías de su traza la inclinación de los niveles sedimentarios de la Formación Lagunillas, los que de una inclinación monótona y repetitiva de 25° al W pasan en corto trecho a adoptar una inclinación vertical (**Foto 41**), para después retomar la misma actitud de 25° al oeste, al sur inmediato de las nacientes de la quebrada (**Foto 42**). Por otra parte se observa un claro desplazamiento en el que el nivel de lavas del base del Miembro superior Pastos Largos se enfrenta hacia el sur con el nivel de conglomerados del Miembro inferior Cocambico lo que indica un desplazamiento relativo hacia el oeste del bloque sur lo que habría producido el cambio de inclinación de las capas del bloque norte en la parte más cercana a la zona de falla.

El examen de terreno del área así como el análisis de las imágenes GOOGLE de alta resolución disponibles para la zona, muestran que esta estructura no afectaría a las rocas de la Formación Quebrada Seca, al menos hasta donde alcanza este estudio, por lo tanto es



posible sugerir que la edad de este fallamiento EW sería al menos post Jurásico y pre Cretácico Superior.



**Foto 41.** Panorama de detalle de la secuencia clástica desmiembro Inferior Cocambico de la Formación Lagunillas en las nacientes de la quebrada Cocambico. Se aprecia el fuerte manteo de las capas (actitud subvertical) contrario a la actitud general de manteos entre los 25° a 30° lo que indica un fuerte arrastre hacia el W (movimiento dextral). Vista al S.



**Foto 42.** Panorama del fondo de la Quebrada El Pingo desde el portezuelo con la quebrada Cocambico, mostrando como los niveles clásticos del miembro inferior Cocambico, descansando sobre el granito paleozoico, retoman su actitud de manteo normal de 25° al W en el bloque sur de la falla EW, de desplazamiento principal dextral.

## 5 RIESGO GEOLÓGICO

El riesgo geológico en el área de estudio muestra poca variabilidad en los tipos de ocurrencia, aún cuando con grados diferentes de probabilidad de cada ocurrencia, aún considerando que se trata de un área morfoestructuralmente poco variable.

Se puede decir, que de modo general, es posible desestimar la ocurrencia de algunos tipos de riesgo geológico más conocidos, tales como riesgo volcánico y en menor grado desplazamientos bruscos del terreno (fallas). Fenómenos de tipo volcánico están restringidos a sectores al norte de Copiapó y al sur de Santiago, es decir en los tramos del borde sudamericano en donde la actual inclinación de la placa de Nazca subductante es de unos 28°-30°. En el sector que se ubica nuestra área de estudio la placa de Nazca se hunde con un ángulo mucho menor (22°) lo que, de acuerdo con la Geología y Geofísica, no permitiría la actividad volcánica, tal como se conoce en otros sectores de la Cordillera de Los Andes.

Desde el punto de vista de la sismicidad el área se presenta como un macizo rocoso competente, por lo que su comportamiento frente a una sollicitación tectónica (terremoto) tendería a ser solidaria, con poco campo para el desarrollo de las ondas Raleigh (superficiales) al no existir una cubierta de depósitos inconsolidados importante. Por otra parte los sistemas de fracturamientos y/o fallas existentes corresponden a sistemas que no han evidenciado desplazamiento durante el Cuaternario y gran parte del Mioceno Superior. La magnitud o energía necesaria para activar los sistemas de fallas antiguas o los sistemas EW (cenozoicos) serían de tal magnitud que no viene al caso preocuparse de ellos ya que su probabilidad de ocurrencia sobrepasa la escala histórica y por lo menos no tienen posibilidad de ocurrencia actual o cercanamente futura.

Así, los riesgos geológicos con probabilidad de ocurrencia en el área corresponden principalmente a fenómenos de origen puntual y localizado tales como caída de rocas, flujos gravitacionales (corrientes de barro) y/o crecidas violentas de los cauces con desarrollo de avenidas y/o aluviones durante precipitaciones excepcionalmente anormales en la Cordillera de Los Andes con una isoterma anormalmente elevada por arriba de los 3.000 m. Así las probabilidades de ocurrencia de fenómenos de riesgo son originados principalmente por factores climáticos más que geológico-estructurales.

El factor sísmico está siempre presente y es un elemento coadyuvante al momento de desencadenarse el evento de riesgo climático. Históricamente en el área no se conocen sismos de intensidad superior a 5 y/o superficiales.

### 5.1 TIPOS DE RIESGOS GEOLÓGICOS

Los tipos de riesgos geológicos observables y deducibles de la morfología actual en el área de proyecto son:

### **5.1.1 Caídas de Rocas**

Este fenómeno corresponde a la caída individual o conjunta, en forma de agregados separados, de fragmentos de rocas mayores que gravas, y que pueden alcanzar a bloques, de tamaños incluso de algunos metros cúbicos de volumen. En este fenómeno intervienen: la calidad del macizo rocoso (fracturamiento), la intensidad de intemperización, la simple inestabilidad gravitacional de los fragmentos de rocas o bloques en cuestión, y el agua, que al debilitar o fluidizar el sustrato de apoyo de éstos, contribuye a la pérdida de estabilidad. Algunos bloques en equilibrio metastable pueden ser también desestabilizados como consecuencia de un sismo de magnitud mayor a 5. La ocurrencia de este tipo de fenómenos está relacionada a zonas de fuerte pendiente, siendo más probables durante épocas de lluvias anormales y/o sismos de gran intensidad, el riesgo es de alta probabilidad a certeza en la zona debido a lo abrupto del relieve, sobre todo en la mitad oriental del área.

### **5.1.2 Avalancha de Rocas y/o Deslizamientos**

Este fenómeno consiste en la remoción en masa violenta de grandes volúmenes de rocas desagregadas (regolito o coluvio) del sustrato rocoso y /o de acumulaciones de material fino desde las laderas por intemperización, este tipo de procesos se generarían especialmente en laderas de fuerte pendiente donde se encuentran volúmenes importantes de materiales o suelo en equilibrio metaestable sobre las laderas. En general estas condiciones se dan en gran parte del área, siendo la causa principal de ocurrencia de este fenómeno sismos de alta intensidad o por efectos de precipitaciones anormalmente altas (invierno boliviano) directamente sobre el área; sismos locales de gran intensidad (>5) pueden coadyuvar al efecto deslizamiento.

### **5.1.3 Crecidas o avenidas**

Estas están relacionadas directamente con las precipitaciones y por lo tanto dependen directamente del factor climático. Corresponden a flujos de gran volumen de agua torrencial que afectan un cauce preexistente modificándolo substancialmente durante su ocurrencia (inundación temporal de la llanura aluvial y terrazas del valle, cortes o erosión de laderas del cauce, modificación del curso original, redistribución de los sedimentos, etc.). Este tipo de evento se puede producir en cualquier parte a lo largo del trazado de las quebradas principales y algunas de las secundarias toda vez que estas tienen valles con gran cantidad de depósitos coluviales en laderas de alta pendiente. Este tipo de riesgo tiene una probabilidad de ocurrencia alta y constituye un riesgo histórico.

### **5.1.4 Corrientes de barro**

Las corrientes de barro se generan especialmente en zonas climáticas desérticas (áridas a semiáridas o desiertos de altura) con escasa cubierta vegetacional y con abundante material regolítico o iluvial a disposición para ser fluidizado. Las precipitaciones deben ser anormalmente altas para la zona involucrada, al igual que en el caso de las crecidas. En el caso de las corrientes de barro éstas se producen por la sobresaturación del material inconsolidado en zonas de cierta pendiente lo que ocasiona la fluidización de éste y el deslizamiento gravitacional de éste pendiente abajo, el que se produce normalmente

siguiendo la topografía de los cauces y quebradas hasta el curso principal en donde coalescen en una masa de gran volumen que fluye violentamente aguas abajo hasta fuera de la zona de origen del flujo. Este tipo de puede suceder eventualmente en el área en las zonas de alteración hidrotermal en donde abundan materiales de tipo arcillosos (caolín, sericita, limonita, etc.) sin embargo estos eventos tienen una probabilidad de ocurrencia media y no serían de gran magnitud dado lo estrecho de las quebradas, sin embargo se descarta de antemano cualquier tipo de construcción en los fondos de quebradas, ya que se trata de un riesgo histórico y que por lo tanto ocurrirá de nuevo alguna vez.

## **6 CONSIDERACIONES SOBRE EL EMPLAZAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA DEL PROYECTO**

En el área de estudio se pueden distinguir tres sectores principales de emplazamientos para las obras de infraestructura y auxiliares para el desarrollo del proyecto, haciendo la excepción del Open Pit. Estos sectores son:

- Sector de la Quebrada Caserones
- Sector nacientes quebrada La Brea
- Sector tramo NW-SW de la parte baja de la quebrada La Brea

### **6.1 SECTOR DE LA QUEBRADA CASERONES**

#### **6.1.1 Planta**

La planta se ubicará principalmente en la parte media a alta de la quebrada Caserones al sur inmediato del Open Pit proyectado para la mina y sobre ambas laderas del valle de la quebrada Caserones (**Figura 4**).

En este sector, existe un importante espesor de coluvio que demandará importante remoción de material suelto. Este material corresponde en general a coluvios de rocas intrusivas provenientes desde las partes altas de las laderas. Se estiman que los espesores del coluvio pueden alcanzar hasta 20 a 30 m de altura. Para la mayoría de las instalaciones de la planta no se prevén riesgos geológicos de importancia, a excepción de eventuales caídas de roca, otros tipos de riesgo geológico tales como corrientes de barro, avenidas o aluviones se descartan por considerarlos de muy baja o nula probabilidad de ocurrencia. En el sector más bajo de de las instalaciones de la planta (Administración y Gerencia, Bodega geología, Sala eléctrica, piscinas, entre otros) y, entre), por el hecho de ubicarse en parte sobre el cauce en el sector de confluencia con la quebrada que es afluente principal de la quebrada Caserones, se prevé un riesgo de ocurrencia de avenidas o aluvión. Este tipo de riesgo, de acuerdo con la observación en terreno es un riesgo declarado y con una probabilidad de ocurrencia (estimada) de 1 evento cada 20 años aproximadamente. Este tipo de eventos estaría asociado a precipitaciones de tipo lluvia abundantes en poco tiempo, con una isoterma 0° excepcionalmente alta, a un fuerte incremento de la temperatura local durante la época de deshielo que originen una rápida fusión de la nieve acumulada en invierno.

### 6.1.2 Pila Rom

El área de ubicación de la Pila Rom es en la parte más alta de la naciente principal de la quebrada Caserones, en el valle al E de donde se ubicará el Open Pit (**Figura 4**). El sitio corresponde a la parte más baja de un anfiteatro circular asimétrico con laderas W y N muy abruptas y laderas E y S más suaves. El fondo del valle está actualmente ocupado por material coluvial de granulometría variable y que corresponde a depósitos coluviales lobulares procedentes en su mayor parte de la laderas E.

En este sector se advierten riesgos declarados de probables deslizamientos en masa (probables flujos de detritos y/o corrientes de barro) de importancia menor y/o caídas de roca desde las laderas N y W que podrían contaminar la Pila Rom. El emplazamiento y desarrollo de la Pila Rom interrumpirá el flujo normal de aguas de deshielo desde la parte alta del anfiteatro. Lo que deberá ser previsto con anticipación. Para evitar la formación de un embalse aguas arriba de la pila.

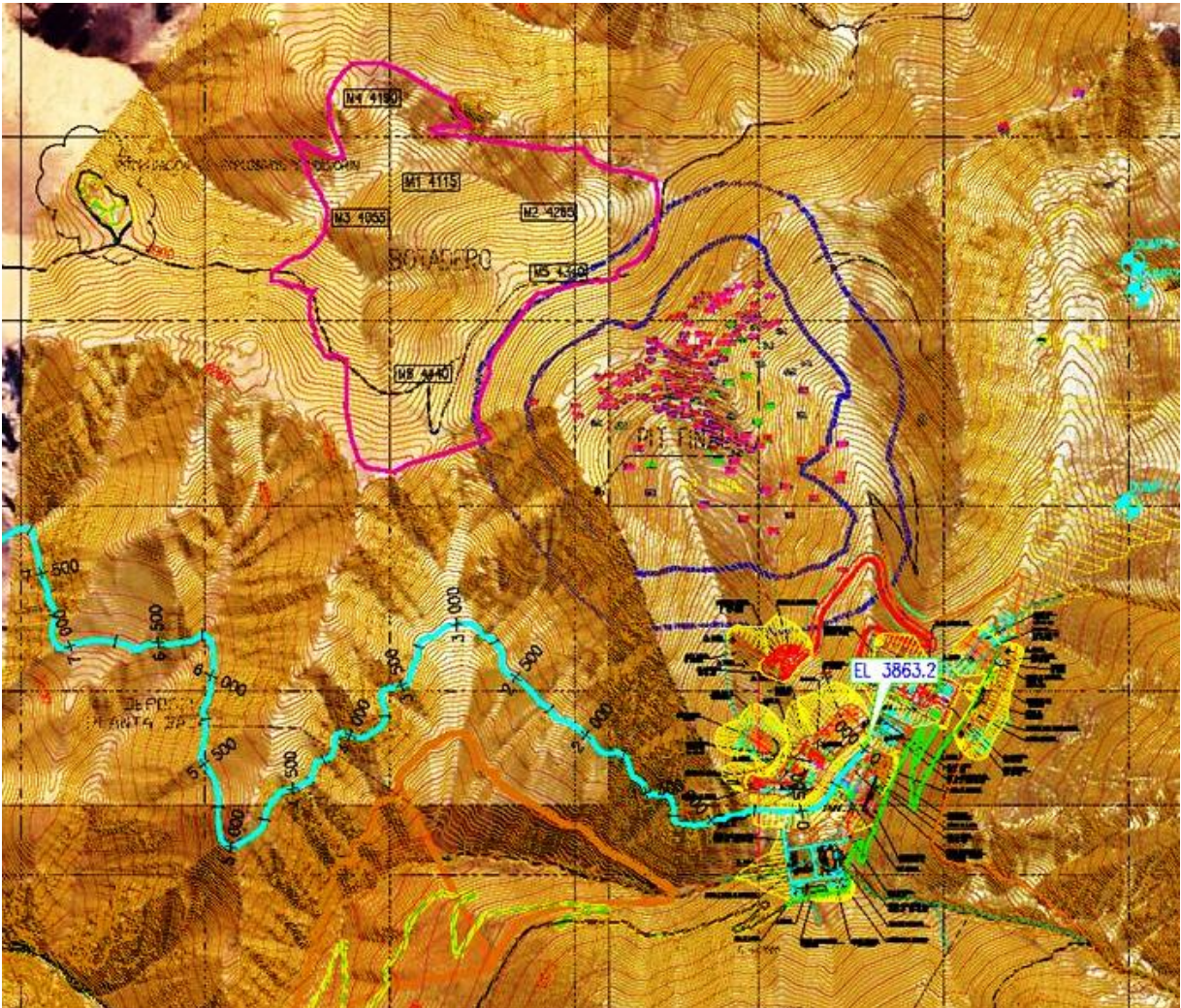
### 6.1.3 Depósito de arena

El emplazamiento del Depósito de Arena está contemplado en la parte baja de la quebrada Caserones hacia el norte de la localidad El Tambo. En este sector la quebrada presenta su perfil más abrupto y con una quebrada secundaria de orientación NS que presenta evidencias claras de deslizamientos en masa y de flujos de detritos ocasionales. El fondo de la quebrada en este sector corresponde mayoritariamente a un “talweg” originado por las crecidas o aluviones que han fluido aguas abajo por la quebrada. Los riesgos que presenta este sitio son nuevamente procesos de remoción en masa de los depósitos coluviales ubicados en la parte alta (nacientes) de la quebrada NS que impactarían el frente del depósito en su borde norte y la caída de bloques de roca desde las paredes este y oeste de la quebrada secundaria ya mencionada. Aún cuando las cantidades de agua a acumularse en la parte alta de esta quebrada serían menores comparativamente hablando, se debe considerar la alta pendiente local (850 a 900 m de desnivel vertical en menos de 2.3 Km de recorrido horizontal).

## 6.2 SECTOR NACIENTES QUEBRADA LA BREA

En este sector se emplazará un depósito de estéril que ocupará las cabeceras de las dos quebradas principales de la quebrada La Brea (**Figura 4**). La naciente de la quebrada La Escarcha, ubicada más al N y la naciente de la quebrada La Brea más al sur. El sector corresponde a nacientes abiertas cuyas laderas principales miran hacia el NW y que profundizan rápidamente para transformarse en quebradas profundas con laderas de roca expuesta a unos 2 a 2,5 Km aguas abajo desde el emplazamiento contemplado. En el sector de emplazamiento existe una cubierta considerable (2 a 15 m) de depósitos coluviales de ladera, con un topografía relativamente más suave que la de otros sectores del área, los que se asientan sobre rocas intrusivas. En el sector aparecen en superficie zonas de alteración hidrotermal que al presente están siendo evaluadas. En este sector, en general no se advierten riesgos geológicos que puedan ser considerados tener alguna importancia. Se ha podido observar que el escurrimiento de aguas en esta parte es esencialmente subterránea la que aflora en las quebradas respectivas bastante más abajo que los límites considerados para estos depósitos, por lo tanto se estima que el emplazamiento de estos depósitos de

estéril no afectará al escurrimiento natural de las aguas de las nacientes de la quebrada La Brea.



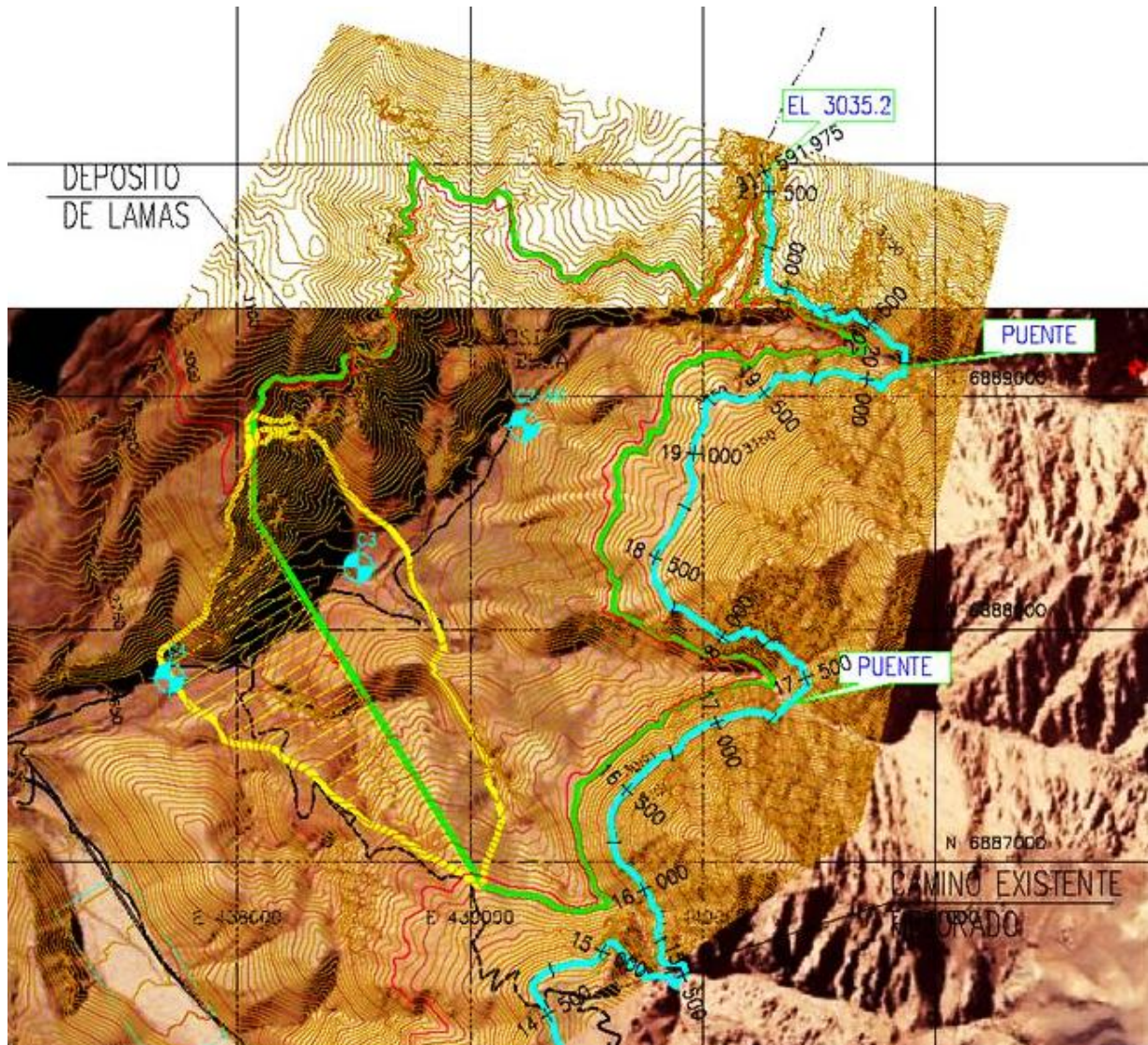
**Figura 4.** Ubicación de la planta, depósito de arena y depósito de estériles respecto de la mina Caserones.

### 6.3 SECTOR TRAMO NW-SW DE LA PARTE BAJA DE LA QUEBRADA LA BREA

El depósito de relaves (lamas) está previsto ubicarlo en la parte baja de la quebrada La Brea, desde aproximadamente la confluencia de las quebradas La escarcha y La Brea hasta casi un kilómetro antes de la desembocadura de la quebrada La Brea a la río Ramadillas (**Figura 5**). En este sector se debe distinguir una ladera SW-E del depósito de relaves en donde los depósitos se apoyarán principalmente sobre el granito paleozoico y afloramientos de la Formación La Ternera cubiertos parcialmente por coluvios cuaternarios, y la ladera NW en donde los depósitos del depósito de relaves se depositarán principalmente sobre afloramientos monocinales al W (30°) de la Formación Lagunillas. Esto implica riesgos de infiltración de las aguas del depósito de relaves hacia aguas debajo de la río Ramadillas.

Estas infiltraciones se producirán a través de los planos de estratificación de la Formación Lagunillas a menos que se adopten medidas de impermeabilización en la ladera NW.

Respecto de los riesgos geológicos inherentes al área no se observan riesgos mayores o distintos a probables crecidas o aluviones a lo largo de las quebradas La Escarcha y La Brea además de una quebrada secundaria de orientación NS de cierta importancia. Este riesgo será minimizado por la obligatoriedad de ejecutar trabajos de desviación de las aguas provenientes de aguas arriba del futuro depósito de relaves.



**Figura 5.** Ubicación del tranque de relaves en la quebrada La Brea.

## ANEXOS



**ANEXO 1**  
**LIBRETA DE TERRENO**

### LIBRETA DE TERRENO DEL PROYECTO CASERONES

FECHA	GPS	FOTO	FR./FA./FIL.	OBSERVACIONES
24-03-08				Viaje Santiago-Copiapó. Retiro material Chilexpress
25-04-08				Subida Caserones. Inicio trabajos.
	Mirador 1			Visión general
	Camino 1			Visión general
	Ang-1	1-2 y 3-4		Por el camino a Angela (Angélica), vista hacia la otra ladera mostrando el coluvio . 2 panoramas.
	RT3	5 a 10		Estaca roja, desde ahí panorama, se ve un contacto. 6 fotos en panorama de W a N.
	RT3 otro	11 a 14 y 15-16		Por el camino bajando otra estaca RT3 se toman 4 fotos en panorama de nuevo similar al anterior, vista de W a N. probable fuente hidrotermal antigua cerca de la quebrada. Otro panorama hacia el E (2 fotos) desde RT3 otro, hacia el E-SE.
		17		Otra foto hacia el fondo de la quebrada con coluvios sueltos. Siempre por el camino.
	SUB 1	18		Foto hacia el sur. Mostrando secuencia sobre el granito.
	CAM 2	19 a 23		Panorama al SE mostrando secuencia sobre el granito paleozoico y contacto granito terciario.
		24 y 25		Foto de detalle afloramiento brecha hidrotermal. Panorama de intrusivo microdiorítico y zona de la brecha hidrotermal
26-03-08	CAM 4	26 a 29		Vista hacia el NW a NE, mostrando secuencia hacia la ladera W de la quebrada La Brea (4 fotos)
	ANTENA CASERONES	30 a 38 y 39 a 43		9 fotos en panorama de S a N pasando por el W. 5 fotos panorama de NE a S pasando por el E.
	CAM 5	44 y 45		Hacia el W-NW mostrando intrusivo microdiorítico, con andesitas grises sobre el intrusivo rosado paleozoico. Foto general/foto detalle
	CAM 6			
	CAM 7	46 a 48 y 49		Panorama (4 fotos) Hacia sector de El tambo. Desde SE a SW por S.
	CAM 8	50 a 53		Panorama (4 fotos) hacia la cuenca de la quebrada.
	CAM 9		N65°W/90°	Bajando , lado derecho camino (8-10m) dique color rojo, afanítico, en parte brechoso, muy duro. Ancho 10-12 m.
	CAM 10	54		Foto detalle litología: toba piroclástica (toba de lapilli gruesa) con matriz fundamental fina y alterada a color verde, se ven gotitas de cuarzo. Espesor aprox. 3m
	CAM 11	55		Foto detalle de los ortoconglomerados basales por el camino que corta película de unos 3 m de espesor de conglomerados basales sobre el granito Pz. Las capas mantean hacia el NW25° (Paleocuenca?). Clastos exclusivamente de andesita gris microcristalina gris oscura a verdosa.
	CAM ORUGA 1			Tobas otra vez por la loma.
	CAM 12	56 y 57		Fotos hacia la quebrada La Brea. Se ven los sedimentos sobreyaciendo al granitoide paleozoico. 1 foto general/ 1 foto detalle.

FECHA	GPS	FOTO	FR./FA./FIL.	OBSERVACIONES
27-03-08		58 y 59-60		Foto (1) en la mañana desde el campamento hacia el W. Fotos en panorama (2) hacia el Sur por el camino: se ve planta experimental.
	Perfil 1	61, 62, 63 y 64, 65, 66	SS: N15°W/30°W	Capas de alternancia de conglomerados finos y areniscas gruesas en capas de 5 a 12 cm de espesor, bien estratificadas, de color rojo a pardo claro. Clastos de hasta 4 cm (aprox. 5-10%), la mayor parte entre 0.5 y 1 cm. Son fragmentos de andesita, litarenitas, cuarzo, etc. redondeados a subredondeados. <b>MTA. 1-C.</b> fotos 8-) afloramientos, Fotos (3) detalle litología por la cuchilla de la loma al norte del filón andesítico, formarían la espalda occidental de la cuchilla frente al campamento.
	Perfil 2	67 a 69 y 70 a 73 y 74,75		En la cuchilla mirando hacia el campamento fotos en panorama hacia el E (3) y después otro panorama hacia el N-NE y S para ilustrar perfil. Fotos (2) de detalle panoramas.
	Perfil 3	76, 77 y 78		Coladas de andesita vesicular porfirica con fenox P1g y Ferromag. Estos últimos alterados Hematita-Limonita. <b>Mta. 2.</b> Fotos (2) afloramientos y una detalle textura.
	Perfil 4	79, 80 y 81 a 83 y 84 y 85, 86 y 87, 88	SS: N5°W/28°W  Fract: NS/90° 1-2xm N65°W/90 1 a2xm N40°E/68°SE 1xm	Detalle ortoconglomerado con SS media a gruesa. Clastos conglomerado 1.5 a 15 cm, promedio 4-6 cm. Redondeados a subredondeados. Matriz de arenisca gruesa (15-20%), clastos de 10-15 cm =5 a 10%. Frg. De riolitas, andesitas, pelitas, areniscas, granitos muy alterados, etc.), color rosado claro con niveles más claros intercalados (+QZ?). sobre ellos sigue una cornisa tipo enlosado de color rojo a café oscuro de areniscas rojas medias a finas con SS bien marcada. Fotos(2) detalle ortoconglomerado. Foto (3) panorama afloramientos. Foto(1) panorama general hacia el S. Fotos (2) cornisa arenisca. Fotos (2) detalle SS.
	Perfil 5	89,90, 91		Andesitas como las de abajo, pero más fenox, duras. Son las andesitas de arriba de los conglomerados <b>MTA. 4-C.</b> Foto hacia el este y abajo (conglomerados), foto hacia el sur (panorama) y foto hacia el norte (conglomerados cortados por filón)
	Perfil 6			Andesita microcristalina negra, granuda y muy dura. Más arriba de las andesitas vesiculares pseudoestratificación muy marcada. <b>MTA. 5-C</b>
	Perfil 7	92 a 96		Desde aquí hacia el norte siempre en andesitas . fotos (5) en panorama general desde E a SSW por Sur.
	Perfil 8	97, 98, 99.		Panorama al Sur general (1) en primer plano areniscas rojas (losas) intercalación de andesita. Foto (1) hacia el SE camino cruzando sedimentos sobre andesitas triásicas. Fotos hacia el campamento
	Perfil 9	100, 101, 102, 103		Foto (1) aspecto lava. Foto (1) yo a caballo. Fotos (2) panoramas afloramientos de lavas.
	Perfil 10	104, 105, 106, 107, 108 y 109 a 112		Fotos detalle (3) andesita intrusiva Fotos panorama mostrando intrusivo andesítico cortando conglomerados . otra vista de lo mismo panorama (4). Frente a quebrada de Roco.
	Perfil 11	113, 114, 115, 116-117 y 118, 119		En lavas andesíticas de color rojo a pardo morado que corresponden a la base de la secuencia de areniscas rojas y conglomerados. <b>MTA.6-C.</b> andesita porfíricas y vesiculares (foto 1, andesita roja)(foto2 andesita verde).Detalle lava, espesor

FECHA	GPS	FOTO	FR./FA./FIL.	OBSERVACIONES
				coladas aprox. 1-2 m. está sobre otras lavas más grises de color gris verdoso pero menos vesiculares. Fotos (3) panorama hacia el norte mostrando andesitas rojas sobre las verdes. Fotos (2) detalles colada roja
	Perfil 12	120, 121 y 122 a 125		En andesitas gris pardas sobre el granito paleozoico. Fotos (2) hacia el SSW mostrando granito debajo de la secuencia. 1 es de detalle. Fotos (4) en panorama de E a S.
	Perfil 13	126 a 129 y 130,131		<b>MTA. 7-C</b> andesita gris morada en parte vesicular y alterada, directamente sobre el granito paleozoico. En la panorámica se ve en color oscuro a la base de la secuencia y sobre el granito. Debajo de ella se ve una superficie plana inclinada de color claro (superficie granito?) Fotos (4) en panorama. Foto (2) detalle andesita.
		132, 133 y 134 a 136 y 137 a 139 y 140, 141		Fotos varias entre un gps y el otro. Panoramas de afloramiento y generales hacia el sur y hacia el wsw hacia el filón que intruye a los conglomerados
	Perfil 14	142, 143, 144, 145		En la base de la secuencia oscura (andesítica) debajo de conglomerados y arenisca roja (foto 1) Panorama de afloramientos. Fotos 3: detalle. <b>MTA 8-C</b> :andesita gris verde oscuro, probablemente microcristalina en las bandas más verdes
	Perfil 15			Estamos en areniscas gruesas (casi granito) muy inmaduras (maicillo?) sobre las volcanitas inferiores basales , en el inicio de la secuencia roja arenosa 1 m en el escombros de falda en forma regular , y no más allá afloran concreciones cerebriformes constituidas de fibras de aragonito (calcitizado?) de color gris oscuro. Se trata de un nivel muy abundante. <b>MTAS. 11-12-C</b> Arenisca gruesa cuasi granito. <b>Mtas. 13-14-C.</b> Aragonita cerebriforme.
	Perfil 16	146		Afloramiento de toba gris claro con color alteración rojizo. Foto afloramiento (1). <b>MTA 15-C.</b>
	Perfil 17	147, 148, 149, 150		Afloramientos en Qda. Al S. de las concreciones cerebriformes y frente al campamento, areniscas rojas conglomerádicas bien estratificadas con pasadas y canales de conglomerados (brechas) arena media a gruesa (aprox. 35 a 50%) con clastos tamaño conglomerado fino (4 mm) a medio (20 a 30%, con clastos de hasta 10 cm (10%) a veces formando canales. Fotos (3) detalle y una general afloramiento. <b>MTA. 16-C.</b> Clastos angulosos a subredondeados entre litoclastos de arenisca roja.
	Perfil 18	151 a 169		<b>Mtas. 17-18-19-C.</b> areniscas rojas en parte finas a gruesas con SS fina (centimétrica) y Abundante SS entrecruzada, grietas de secamiento y figuras de carga. Muchas estructuras sedimentarias. Fotos varias de SS entrecruzada, load casts y grietas de barro.
		170 a 172 y 173 y 174-175		Desde el campamento hacia el W y NW varias fotos en panorama y solas de la secuencia.

FECHA	GPS	FOTO	FR./FA./FIL.	OBSERVACIONES
5-05-08	CAS 1	176, 177	SS o flujo: N15°E/42°W Fracturas: N30/45°E/75- 80°SE  N35°W/72°NE	Por el camino en donde el valle de Ramadillas cruza un afloramiento masivo manteniendo unos 50° al W espesor de 35-50 m <b>MTA.20-C.</b> parece una riolita porfírica CT?. SS o flujo forma capas muy marcadas de 5 a 10 cm de espesor +/- regulares. La densidad es de 20xm. hay un sistema de fracturas con densidades de 2 a 3xm son rugosas, largas y abiertas, relleno detrítico. Otro sistema de fracturas con densidades de 3 a 4 xm, cerradas, planas e irregulares, corta a las otras. Foto(1):flujo o SS sistema f. 2, Foto (1) Fracturas sistema 1 N30-35°E
	CAS 2	178, 179, 180, 181		Secuencia de brechas volcánicas y conglomerados brechosos con intercalaciones volcánicas negras. Al parecer el material se ve muy fresco en los clastos incluso hay clastos de tobas ignimbríticas con ferromagnesianos muy negros (sin alteración). El material es netamente angular a veces subredondeado (clastos menores) y con mala clasificación. Hay clastos desde 0,5 mm hasta 25 a 30 cm. <b>MTA. 21-C</b> corresponde a los niveles que se ven más claros y marcados en la foto Google. <b>MTA 21-Cb</b> tomada 200 m por camino más cerca de la mina. En efecto aparecen tobas de lapilli grueso a tobas de piroclastos gruesos o bloques. MTAS. 21-Cc y 21-Cd : la primera es una ignimbrita o toba roja y la segunda corresponde a andesita verde oscuro que son facies intercaladas con las tobas. Fotos (3) panorama hacia la mina, foto(1) panorama de ladera ahí mismo para ilustrar muestras. a unos 500 m + cerca de la mina
	CAS 3	182-183 y 184		Buen lugar para el campamento fotos (3) panorama hacia el ENE
5-05-08	CAS 4	185, 186		Altura 2462 m, en el final del camino en la entrada a Ramadillas (error +/- 7 m). Al lado de las areniscas rojas de la ladera norte de la quebrada. afloramiento al nivel de la quebrada. Foto (1) panorama del afloramiento Foto (1) desde ahí mismo hacia el W : cornisa de conglomerados
	CAS 5	187 a 190		En ladera SW de Ramadillas a unos 100 m + aguas arriba panorama (4) mostrando como las areniscas rojas descansan sobre el granito además muestra diaclasas subparalelas a la superficie del granito
	CAS 6	191, 192, 193		Fotos (3) filones en el lado SE de la quebrada ramadillas.
	CAS7	194 a 196 y 197		Panorama (3) por el río Ramadillas hacia el SE-S mostrando una secuencia volcánica gris verdosa en la base a gris rojiza hacia arriba. Al menos una parte de ella afloraría en la ladera NW (paleorrelieve?) Atrás se ve el intrusivo que para mí es Terciario (1).
	CAS 8	198, 199, 200, 201 a 206, 207 a 211, 212		En la quebrada Ramadillas en la quebrada que baja desde la secuencia volcánica oscura 8verde y roja del lado sur. Se trata de una secuencia gris verdosa a rojiza volcanoclástica (a confirmar) que rellena un paleorrelieve en el granito paleozoico (llega hasta la quebrada Ramadillas misma y atraviesa en partes hasta la ladera norte de ella) con una paleo pendiente de sur a norte. En la base de la secuencia aparece una secuencia clástica compuesta por ortoconglomerados pardo rojizos con clastos de hasta más de 0,5 m3 de granito paleozoico (los más grandes), todos redondeados en

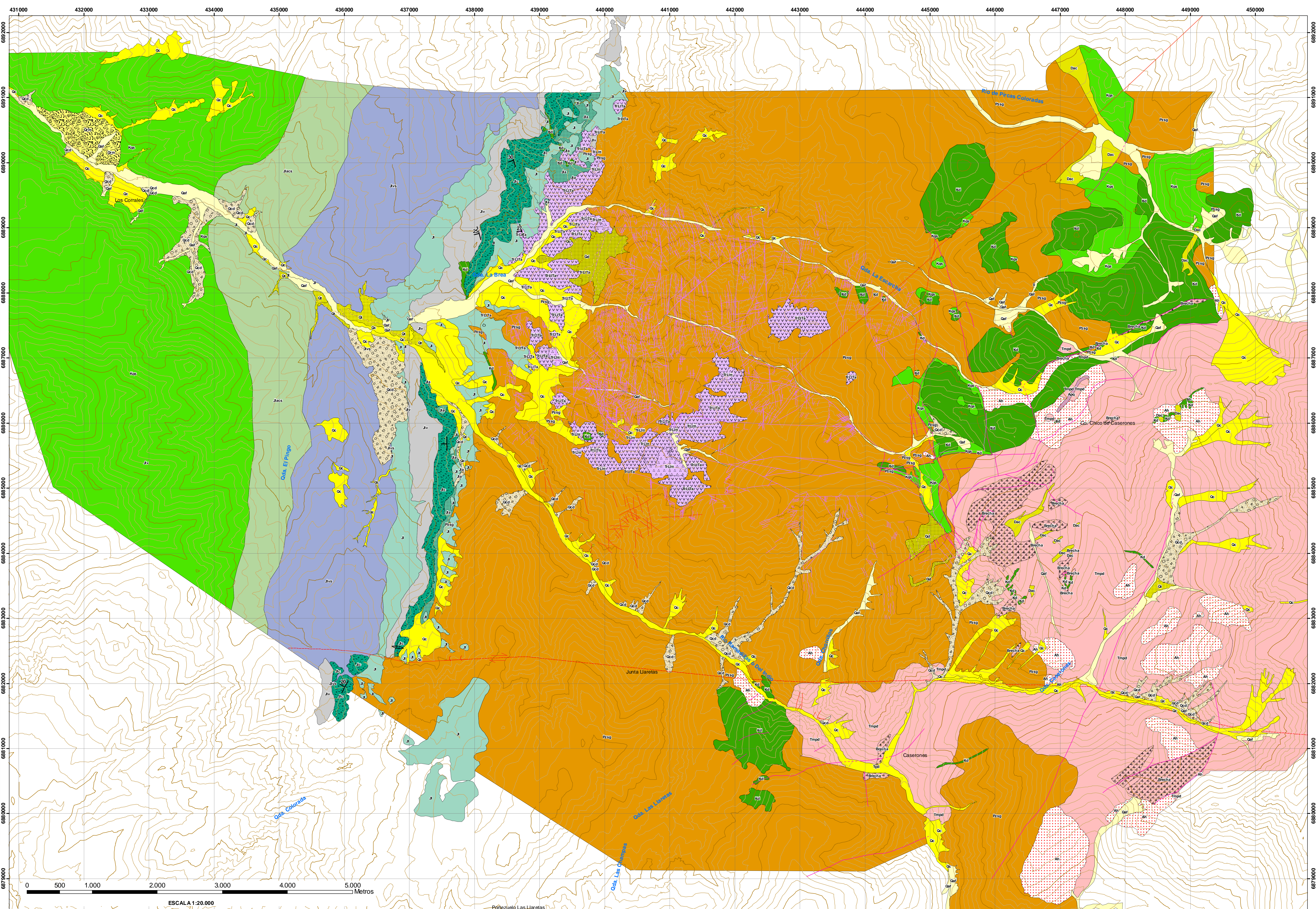
FECHA	GPS	FOTO	FR./FA./FIL.	OBSERVACIONES
				el conglomerado se aprecian también clastos volcanoclasticos y hasta sedimentarios (areniscas), la matriz es una arcosa gruesa parda (hematita/limonita) con mucho cuarzo redondeado y de grano grueso. <b>MTA. 22-C</b> matriz del ortoconglomerado. foto (1) panorama antes GPS. Fotos (2) aspecto panorama afloramientos ortoconglomerados lado N Ramadillas. Fotos (6) detalles de la litología de los ortoconglomerados en la ladera actual del río. Fotos (5) panorama hacia el Sur mostrando ortoconglomerados basales y secuencia volcánica gris verde. Foto (1) detalle de los ortoconglomerados al otro lado del río.
	CAS 9			<b>MTA. 23-C</b> : granito paleozoico muy alterado zona mapeada
	CAS 10	213-214		Al E de El tambo , en escombrera de granito blanco (terciario?) con pátina epidota en planos de fractura y aspecto muy fresco, Predomina el Qz y Feldespato Plg. Hay venillas con halos rosados en los bordes (alteración potásica?), desde aquí fotos (2) hacia el NW para mostrar alteración. <b>MTA.24-C</b> . Facies de intrusivo terciario.
	CAS 11			Muestreo al intrusivo terciario. <b>MTA. 25-C</b> en realidad parecen pórfidos andesito-dacíticos alterados, son muy claros y con ferromagnesianos lixiviados. No es el granito paleozoico alterado.
	CAS-12"			En toda la salida de la quebrada Los Caseroenes a ramadillas sector el Tambo : afloramiento de pérfido dacítico gris verdoso fuertemente bandeado. <b>Mta. 26-C</b> .
		215		Foto (1) abandonando sector de El Tambo.
	CAS 12	216, 217		En el acarreo de la secuencia gris verde y roja en la zona del paleorrelieve, <b>MTAS. 27-28-29-C</b> . muestras de la base de la secuencia del paleorrelieve. Fotos de la base de los ortoconglomerados sobre el granito en la zona del paleorrelieve.marcan el paleorrelieve. Lado sur de la quebrada Ramadillas.
		218 a 221		Varias fotos (4) regresando, de ejemplos de filones en el granito paleozoico y demostrando intrusión pasiva. Varias fotos (4) areniscas rojas sobre el granito a la salida de Ramadillas.
7-05-08		226 a 228 y 229		Temprano en la mañana en la quebrada Ramadillas panorama (3) de las cornisas de ortoconglomerados en la ladera S de la quebrada Ramadillas. Foto (1) Vista hacia el E de la quebrada ramadillas.
	CAS 13	230 a 233 y 234 a 237	SS: N20°E/20°W	Secuencia de lavas arriba de los conglomerados y areniscas superiores rojas, potencia estimada en 50 m. <b>MTAS. 30-31-32-C</b> . parte inferior porfírica/amigdaloidal y parte superior brechosa con cemento calcáreo fotos (4) de las lavas desde el punto hacia el NW a NE por N, mostrando la secuencia al lado del campamento. En la parte al w de la quebrada la Brea se ve un antiguo derrumbe. Fotos (4) desde el punto hacia el S-y WSW mostrando la secuencia como continua hacia el sur entre la quebrada Cocambico (límite granito/secuencia) y Peñasco Largo (más al W), mostrando otra secuencia sobre las últimas areniscas rojas que siguen sobre las andesitas del cordón entre Cocambico y Peñasco Largo.

FECHA	GPS	FOTO	FR./FA./FIL.	OBSERVACIONES
	CAS 14		Fil N55°W/90-85°W	Filón andesítico cortando secuencia. Ancho 1 m. andesita verdosa microcristalina como siempre.
	CAS 15	238, 239, 240, 241 y 242	SS : N22°E/20°W	Secuencia roja. afloramiento basal. Areniscas conglomerádicas rojas gruyesas a fanglomerados rojos ploidmíticas, los clastos corresponden mayoritariamente a la andesita infrayacente, que es muy amigdaloidal, hay drusas calcáreas abundantes vetillas de calcita. Supeustamenet el cemento es calcáreo. Siguen después areniscas rojas más finas. También hay estructuras de diques sedimentarios sincrónicos con la sedimentación t otros más tardíos (compactación y rotura). Otras estructuras Fotos (2) paleocanales, la primera EW la segunda WSW-ENE. Foto (1) filón sedimentario de relleno desde arriba pasivo de orientación N45E.
	CAS 16			Nueva colada andesítica porfírica amigdaloidal sobre las areniscas conglomerádicas, despues areniscas rojas finas. Fotos (2) panorama hacia el S-SW mostrando continuación secuencia. Foto (1) Detalle de las lavas.
	CAS 17	246	SS : N20°E/20°W	En secuencia roja fina en ladera W de quebrada Peñasco largo (la de la planta). <b>MTAS. 33-34 y 35-C</b> facies más finas entre bancos de arena media de 35 a 50 cm de espesor (cada 5 a 10 m) hacia arriba siguen un nivel de concreciones silíceas y las facies rojas pero más finas (s/afloramientos). Foto (1) aspecto parcial de la secuencia
	CAS 18	247, 248-249-250 a 252 y 253		Panorama hacia el SSE y SW (1 y 4) x S, del fondo de la quebrada Cocambico y de la quebrada Peñasco Largo (los animales) y se ilustra la secuencia sobre el granito. Foto (1) de ahí mismo hacia el S: detalle mostrando niveles rojos intercalados en las lavas. Entonces el que vimos en Cas 16 (sí es intercalación).
	CAS 19	254 a 257		Panorama (4) del fondo de la quebrada Cocambico con la secuencia de lagunillas sobre el granito paleozoico fotos hacia el S y SW.
	CAS 20	258 a 261 y 262 a 265 y 266 a 271		Arriba de las nacientes de Quebrada Cocambico y Peñasco Largo (la de la entrada). Estamos en las areniscas rojas basales sobre el granito , hacia el sur , en las nacientes de la quebrada El Pingo, se observan las areniscas rojas y los conglomerados sobre el granito m hacia el E/SE se observa la superficie inclinada del granito con areniscas rojas encima. Entre el CAS 19 (areniscas rojas superiores) y el CAS 20 (areniscas rojas inferiores) pasaría una falla dextral (EE) que llegaría hasta el sector de El Tambo por lo menos. Fotos (4 y 4) panoramas hacia el N y NE. Fotos (6) panorama de E a SW x S mostrando como la cornisa roja se deposita sobre el granito.
	CAS 21	272		Portezuelo donde pasaría la falla dextral Foto (1) probable traza de la falla.
	CAS 22	276 a 280		Fotos de los conglomerados deformados por la falla: casi verticales Fotos (5) hacia el Sur en el lado norte del desplazamiento dextral
	CAS 23			En la quebrada Cocambico en donde los ortoconglomerados y la secuencia lagunillas aún presentan su manto normal.
	CAS 24	281		Foto (1) hacia las nacientes de la Quebrada Cocambico.

FECHA	GPS	FOTO	FR./FA./FIL.	OBSERVACIONES
	CAS 25	282 y 283 a 286		Fotos (1 y 4) secuencia de arenisca roja basal sobre el granito
		287-288, 289, 290, 291, 292, 293, 294 a 297, 298, 299, 300		De regreso al campamento: Varios panoramas se la secuencia en detalle y generales.
8-05-08	CAS 26	301, 302, 303	N12°W/90° → EW/90°	En quebrada al lado S del campamento : problema de falla en filón en este punto (lado sur qda.) el filón andesítico tiene un rumbo que cambia debajo de un arbolito fotos (3).
	CAS 27	304, 305	N60°W/87°NW	Filón Ladera norte que también dobla en la quebrada. fotos(2)
	CAS 28	306 a 309		Desde aquí en todo el promontorio de las andesitas sobre los conglomerados y bajo las areniscas rojas superiores fotos (4) en panorama hacia el S y SW mostrando secuencia Lagunillas. Estamos en andesita y la punta entre La Brea y Ramadillas es la misma andesita
		310, 311		Panoramas tomados entre GPS hacia el E y otra al NNE
	CAS 29	321 a 316 y 317, 318		Estamos en un promontorio constituido por bloques de andesita gris verde fina (probablemente un cuerpo hipabisal) desde aquí se toman fotos (5 en pan +1 detalle panorama) de la ladera SE de La Brea mostrando panorama general. Foto(1) hacia el paquete volcánico alterado
	CAS 30	319 a 325, 326, 327		En capas de andesitas grises moradas de la secuencia sobre los conglomerados (el cototo de la foto anterior es de esta unidad) desde aquí panorama (7 fotos) al E y SW x S panorama general. <b>MTA. 36-C.</b> Andesita. Fotos (2) detalles del cototo y filones que cortan conglomerados
	CAS 31	328 a 331 y 332-333		En la punta del cototo volcánico alterado, corresponden a las lavas debajo de las areniscas rojas superiores que afloran en el sector del portezuelo al W, bastante disminuidas, el morro hacia atrás corresponde a l nivel andesítico basal del miembros superior de la formación Lagunillas que se extiende en la quebrada que queda hacia el W inmediato a la qda. La Brea Fotos (4) en panorama de S a W mostrando la secuencia y las areniscas rojas superiores y el cototo. Fotos (2) hacia el norte mostrando continuación de la secuencia Lagunillas.
	CAS 32	334 a 348, 349	Rumbo: N30°E/27°W	En el portezuelo se confirma la existencia del nivel basal de arenisca rojas superiores con SS entrecruzada muy bonota y típica de ambiente de playa y que están sobre las andesitas sobre los conglomerados. Se tarta de intercalaciones finas de areniscas rojas gruesas y finas bien seleccionadas y alternancia mas o menos rítmica. Con algunos niveles mas conglomerádicos. El material es principalmente de origen volcánico. SS entrecruzada bien definida y de bajo ángulo. A veces los clastos alargados se disponen // a la SS, en general redondeados a subangulares el cemento es calcáreo. Varias fotos en panorama y/o detalles (15). 1 foto hacia continuidad s de las areniscas rojas.



FECHA	GPS	FOTO	FR./FA./FIL.	OBSERVACIONES
	CAS 33	350 a 353		Panorama (4) hacia el S y SW mostrando la secuencia volcánica (miembro superior y formación Quebrada Seca) con granito detrás. Se aprecia un nivel blanco (ignimbrita?). debajo se ve la secuencia de areniscas rojo morado del miembro superior de Lagunillas.
	CAS 34	354 a 356		Bajando por la quebrada grande donde se ubicaría el campamento se ve un lugar mas abierto arriba en la quebrada para campamento ( 3 fotos)
		357, 358 y 359 a 361 y 362		Fotos 2 saliendo de la quebrada grande hacia Ramadillas por el lugar del campamento. Se ve la secuencia roja morada del miembro superior de Lagunillas. Fotos en panorama (3) otra sola desde el camino donde dejamos los animales hacia el campamento
9-05-08	CAS 35	363 y 364-365		Fósiles al lado norte del camino de acceso a al mina. Varias muestras sin número. Foto(1) contra el sol hacia el E mostrando bloque de granito paleozoico incluido en las andesitas de La Ternera Fotos (2) paisaje desde ahí hacia el NNW.
		366 a 370 y 371		Desde la loma de las concreciones aragoníticas cerebriformes panorama (5) hacia el E-SE (campamento) en primer plano a la derecha afloramiento de arcosas sobre lavas de la Ternera. Foto (1) de detalle de la arcosa.
		372 a 374		Desde el camino principal de salida fotos (3) en panorama general desde el E al S.
		375 a 378		Desde el camino hacia la mina fotos hacia el N-NE mostrando granito y su relación con Lagunillas y la ubicación de las capas con fósiles Panorama (4)
		379-380		Desde el camino principal panorama de detalle hacia el SSE-S (2 fotos)
		381, 382		Desde planta experimental fotos hacia el norte Panorama general y detalle secuencia sobre granito
	CAS 36	383, 384, 385, 386 y 387 a 390 y 391, 392		Por el camino saliendo después e la entrada en la parte media de la serie roja morada del miembro superior de lagunillas en afloramiento por el camino varias fotos de detalle de la litología que es arenisca media a gruesa con pasadas de conglomerados gruesos subangulosos, a veces clastos flotantes . se observa SS entrecruzada y canales de erosión. Hay imbricación de los clastos mayores . principalmente material volcánico. A pesar de todo no se parecen a la secuencia roja del miembro inferior, son más grises. <b>MTA. 37-C.</b> fotos (10) algunas en panorama detalle
Regreso a Santiago				



### SIMBOLOGÍA

- Fallas
  - Falla indica desplazamiento en perfil
  - Falla indica desplazamiento en perfil
  - Falla indica desplazamiento en perfil
  - Falla indica desplazamiento en perfil
  - Falla indica desplazamiento en perfil
  - Falla indica desplazamiento en perfil
  - Falla indica desplazamiento en perfil
- Fracturas (ESSAM, 2007)
- Fracturas (WARREN PRATT, 2005)
- Estratos subvolcánicos
- Rumbo y maneco de estratos, indicando valores de maneco medios
- Flechas

### LEYENDA

**CUATERNARIO**

- Qaf Cauces fluviales actuales y depósitos aterrazados asociados
- Qc Depósitos de suelos coluviales (escombros de fallas, conos de deyección coalescentes, etc.)
- Qi Depósitos aterrazados antiguos cortado por los depósitos del cauce actual
- Qcd Depósitos de conos de deyección identificados
- Qd Depósitos de probables deslizamientos
- Qrm Remoción en masa antiguas

**FORMACIÓN QUEBRADA SECA**

- Kqs Lavas, tobas, brechas, y conglomerados continentales: CRETÁCICO SUPERIOR?

**JURÁSICO**

**MIEMBRO INEROR**

- Jacs areniscas y conglomerados superiores
- Jvs lavas andesíticas superiores
- Jas areniscas rojas medias a finas
- Jv rocas volcánicas andesíticas amigdaloidales
- Jc Formación Lagunillas: conglomerados rojos
- Ja Formación Lagunillas: areniscas rojas

**FORMACIÓN LA TERNERA**

- TrLit Formación La Ternera: lavas andesíticas y niveles de tobas riolíticas
- TrLit Formación La Ternera: lavas andesíticas
- TrLit Formación La Ternera: niveles de tobas riolíticas

**ROCAS INTRUSIVAS**

- Tpd Pírfidos dacíticos
- Apq Aplita (WARREN PRATT, 2005)
- Brecha Brechas hidrotermales (WARREN PRATT, 2005)
- Tmpd Monzogranitos y pírfidos dacito andesíticos asociados (en el área de la mina)

**CRETÁCICO SUPERIOR**

- Kd Intrusivos hipabísales de microdiorita a andesita y filones asociados

**PALEOZOICO**

- Pzsg Granitos rojos y sienogranitos paleozoico (glutón Pirca Colorada (?)
- Ateración hidrotermal

Sistema de Coordenadas: Universal Transversal de Mercator (UTM) en metros.  
 Datum: PSAD56.  
 Huso: 19.  
 Elipsoide Internacional de 1924.

**AKER SOLUTIONS**

APROBADO

APROBADO EXCEPTO NOTAS

CORREGIR Y REMITIR EN NUEVA VERSIÓN

Firma Revisor \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

REFERENCIAS	PLANOS	DESCRIPCIÓN	Nº	FECHA	DISEÑO	REVISO	JEFE PROJ.	DESCRIPCIÓN	REFERENCIAS	Nº	FECHA	DISEÑO	REVISO	JEFE PROJ.	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	FECHA	FIRMA
																S. RIVANO	JUNIO 08	
																F. SEPÚLVEDA	JUNIO 08	
																C. RIVEROS	JUNIO 08	

**ARCADIS GEOTECNICA**

DESCRIPCIÓN: **CÍA. MINERA LUMINA COPPER CHILE S.A. PROYECTO CASERONES MAPA GEOLÓGICO**

FECHA: JUNIO 2008	Nº DE PROYECTO: 3339	ESCALA: 1:20.000	REVISIÓN: B
NÚMERO: 3339-0000-GE-PLA-001			