



*FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES*

*UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA*

*TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO  
DE LICENCIADO EN GEOLOGÍA*

*EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO COMO ROCA ORNAMENTAL  
DE LAS VOLCANITAS DEL CERRO COLON (36°57' S, 67°23' O),  
PROVINCIA DE LA PAMPA*

*MARTIN ESTEBAN BUSS JACOB*

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2007

## ÍNDICE

	Página
1. Resumen	2
2. Introducción	3
3. Metodología	5
i. Muestreo	8
4. Antecedentes del magmatismo Choiyoi	10
5. Cerro Colón	14
i. Antecedentes	14
6. Perfiles litológicos	17
7. Descripción de las áreas de interés	22
i. Afloramiento A	22
ii. Afloramiento B	23
iii. Afloramiento C	24
iv. Afloramientos D y E	26
8. Ensayos químicos y físico-mecánicos	28
9. Ensayos de respuesta al pulido	30
10. Discusión de los resultados	31
11. Conclusiones	34
12. Agradecimientos	35
13. Bibliografía	36
14. Anexo	39
i. Planillas de sistematización de datos	38
ii. Estereogramas de fracturación	44
iii. Análisis INTEMIN	47
a. Ensayos físico mecánicos	47
b. Ensayos químicos	49

## RESUMEN

En el presente trabajo se llevó a cabo una prospección geológica en el Cerro Colón, provincia de La Pampa, con el objetivo de evaluar las características de las rocas allí aflorantes para su aprovechamiento como roca ornamental. Los afloramientos corresponden a la Formación Choique Mahuida, ubicados dentro del Grupo Choiyoi. Se expone una metodología de trabajo basada en la confección de planillas de sistematización de datos para rocas ornamentales. En la localidad estudiada, se determinaron tres áreas con posibilidad de extracción de material en bloques de tamaño mínimo comercial. La alta fracturación de los afloramientos impide la extracción de bloques comerciales de exportación, pero las excelentes características físicas, químicas y cromáticas de la roca le confieren un atractivo a la inversión minera.

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo de tesis fue realizado durante el período comprendido entre el 20 de Setiembre de 2005 y el 8 de Marzo de 2007, en el marco de los requisitos necesarios para obtener el grado de Licenciado en Geología en la Universidad Nacional de La Pampa. Tiene por objetivo evaluar la posibilidad de uso de las rocas volcánicas permotriásicas de La Pampa aflorantes en el Cerro Colón, haciendo especial énfasis en la factibilidad de su aprovechamiento como roca ornamental. Se espera aportar conocimientos que contribuyan al crecimiento y desarrollo minero de La Pampa y la industria del pórfido, actualmente con gran auge en provincias vecinas.

En la actualidad, los minerales industriales y las rocas de aplicación han experimentado un intenso desarrollo, producto de un marcado cambio en la política minera del país.

Se consideran rocas de aplicación, a aquellas destinadas a la industria de la construcción. Puntualmente, las rocas destinadas a la ornamentación y revestimiento se distinguen por poseer características texturales y cromáticas que le confieren un aspecto atractivo al ser humano.

El pórfido es una roca de aplicación que puede usarse tanto en la construcción como en la ornamentación. Esta es una denominación comercial que fue dada a una roca piroclástica de textura porfírica, en la que escasos fenocristales se desarrollan dentro de una pasta felsítica vítrea, a veces con fiammes de pómez alargados y deformados, roca más conocida como ignimbrita (Dalponte *et al.*, 2005). Esta roca es originada por flujos piroclásticos densos que se desplazan a altas velocidades por la superficie terrestre, producto del colapso de la parte inferior de una columna eruptiva (Llambías, 2001). El término pórfido, en particular, proviene de la antigua Grecia, de *porphyros*, o púrpura, color característico de esta roca, que era usada para ornamentar y esculpir los santuarios y palacios de la realeza.

El pórfido “comercial” es una roca de gran dureza, que se presenta en cuerpos masivos, fracturados en forma de bloques o lajeados, y es empleada como roca de aplicación en obras viales y civiles, así como en la producción de baldosas, adoquines, elementos para pavimentación (binderi, smoller, bordillos), planchas pulidas para ornamentación y artesanías en general.

El alto crecimiento de la producción de pórfido en nuestro país en la última década ha generado el interés en la búsqueda de nuevos yacimientos. En la actualidad la

extracción de pórfidos para su aprovechamiento con fines ornamentales en la provincia de La Pampa es nula, a pesar de que existen afloramientos de este tipo de roca.

En el oeste de la provincia, siguiendo una faja que cruza el territorio provincial en dirección NO-SE, se encuentran grandes afloramientos de rocas volcánicas silíceas (pórfidos e ignimbritas), pertenecientes al Grupo Choiyoi, de edad permotriásica, dentro del cual destacaremos a la Formación Choique Mahuida (Linares *et al.*, 1980; Llambías, 2001; Llambías *et al.*, 2003). Estudios previos realizados con la intención de evaluar el aprovechamiento de diversos afloramientos de rocas de la provincia han resaltado la calidad de los granitos de Chos Malal, haciendo notar que su explotación sería complicada por la falta de infraestructura en las cercanías de los afloramientos; y la de los pórfidos de la sierra Carapacha Grande, en donde los bloques que se podrían extraer representan poco volumen (Malán *et al.*, 1996; Lorenz y Hilken, 2000; Sotorres y Tullio, 1995). Estos estudios no hacen mención expresa de otros afloramientos factibles de ser explotados como roca ornamental.

## METODOLOGÍA

Las tareas realizadas consistieron inicialmente en una recopilación de antecedentes bibliográficos del área y el análisis visual de imágenes satelitales y fotografías aéreas. Se confeccionó un mapa base en donde se ubicaron los perfiles, las unidades de interés y los puntos de muestreo. Se diseñaron planillas para la toma en forma sistemática de datos, basadas en los trabajos de Muños de La Nava *et al.* (1989), Leynaud *et al.* (1992), Nestiero (1993, 1994), Dalponte *et al.* (2005) y Baltuille & Lopez Lopez (2005). En ellas se incluyó toda la información geológica colectada en las campañas de campo (ver planilla de sistematización de datos).

Los ítems analizados o descriptos en cada afloramiento son los siguientes:

- **ÁREA:** nombre de la localidad, topónimo, zona o región en estudio.
- **AFLORAMIENTO:** denominada con letra imprenta mayúscula comenzando por la A y letras sucesivas en el abecedario.
- **UBICACIÓN:** Coordenadas geográficas, tomadas con receptor GPS, del punto de muestreo.
- **CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA**
  - **DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:** de la roca fresca en campo, con ayuda de lupa de mano.
  - **COLOR:** según carta de colores de Munsell.
  - **ESPESOR:** en metros, de la unidad o capa posible de ser canterada.
  - **RUMBO y BUZAMIENTO:** medido en los contactos o alguna cara plana que represente la superficie de depositación.
  - **LÍMITES:** entre las superficies de depositación. Se diferencian **claro-gradual-difuso-abrupto-irregular**.
  - **ALTERACIÓN:** costra alterada superficial de la roca. **Alta:** mayor a 20 cm de costra de alteración - **Media:** costra entre 2 y 20 cm - **Baja:** costra menor a 2 cm.
  - **MUESTRA:** en caso de toma de muestras, se indica el destino de las mismas y se las rotula con números correlativos acompañados de la letra de la unidad como subíndice.
- **DISCONTINUIDADES**

Según Singewald (1992, en Lorenz & Gwosdz, 2004) es factible el uso del concepto de **Bloque mínimo comercial**, el cual presenta medidas que difieren de las aceptadas para

exportación de rocas ornamentales, con la finalidad de ampliar el rango exploratorio a aquellas rocas que por su fracturación no puedan producir bloques con las dimensiones que requiere el mercado internacional. Se tomaron así, las medidas **1 m x 1 m x 0,40 m** como bloque mínimo comercial para este trabajo.

- JUEGOS DE FRACTURACIÓN: observando, de frente al perfil, los juegos desarrollados en las tres dimensiones X, Y y Z. En el caso de ser medidos, se indica la cantidad de c/u y las medidas de rumbos y buzamientos de los planos de fractura.
- ABERTURA: distancia de separación entre las dos caras de la fractura para c/u de los juegos, expresada en centímetros.
- DENSIDAD DE FRACTURACIÓN: Separación de c/u de los juegos de fracturas. La densidad **Alta** no permite extraer bloques comerciales. La densidad **media** permite la extracción sólo en zonas concretas. La densidad **baja** favorece la extracción de bloques comerciales:

	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>baja</b>	mayor a 1 m	mayor a 0,4 m	mayor a 1 m
<b>media</b>	0,5 -- 1 m	0,4 m	1 – 0,5 m
<b>alta</b>	menor a 0,5 m	menor a 0,4 m	menor a 0,5 m

- HETEROGENEIDADES DE LA ROCA

- VARIACIONES DE COLOR: si existiesen variaciones en la coloración de la roca, se debe indicar la magnitud de la variación y su descripción.
- MEGA CRISTALES - MEGA CLASTOS: estimación cualitativa visual y tamaño promedio.
- VENAS Y VENILLAS: **si-no**, estimación cualitativa visual, orientación (rumbo y buzamiento) y relleno.
- OXIDACIÓN SUPERFICIAL (PÁTINAS): si existiesen, se deben describir y estimar la magnitud visual.
- OTRAS VARIACIONES: en caso de existir cualquier otra heterogeneidad antes no contemplada, se debe realizar una descripción de la misma.

La etapa siguiente comprendió los trabajos de campo, en los que se llevó a cabo la exploración inicial para determinar áreas de mayor interés. Posteriormente a esta determinación, se efectuó un análisis detallado de sus características según la planilla mencionada.

Los datos fueron colectados en dos campañas de campo. La primera de ellas se realizó en agosto de 2005 y durante la misma se determinaron accesos y ubicaron zonas de mayor interés para su estudio. Así, se determinaron tres áreas con mayor perspectiva de extracción de material, según evidencias visuales como alteración, densidad de facturación y magnitud del indicio.

<b>Área</b>	Cerro Colón		
<b>Afloramiento</b>	A		
<b>Ubicación</b>	36°55'59.37"S, 67°20'6.31"W		
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>			
Descripción macroscópica	Roca de grano fino, porfírica, con pasta afanítica, de color verde oliva con tintes negros. 5 – 10 % de fragmentos de cristales de Qz. Bandas oscuras de alteración gris verdosa.		
Color	5 GY 6/1		
Espesor	35 mts		
Rumbo y buzamiento	N 65, 12 N		
Límites	Claros, capas tabulares de entre 5 y 15 cm de espesor		
Alteración	Baja		
Muestras	Petrografía: N° 1 <sub>A</sub> , 2 <sub>A</sub> , 3 <sub>A</sub> , 4 <sub>A</sub> , 5 <sub>A</sub> Ensayos físico-mecánicos: 6 <sub>A</sub> , 7 <sub>A</sub> , 8 <sub>A</sub>		
<b>DISCONTINUIDADES</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
Juegos de fracturación	Horizontal (estratificación) N65, 15 NO N60, 10 NO N85, 5 NO N63, 6 NO N73, 10 NO N60, 14 NO	Vertical (frontal) N20, 60 S N20, 75 S N21, 65 ESE N23, 70 ESE N22, 59 ESE N23, 68 ESE	Perpendicular (oblicua) N290, 86 NE N201, 60 S N197, 90 N194, 90 N191, 85 N N87, 83 N
Abertura	Inferior a 1 cm		
Densidad de fracturas	Alta 5 a 20 cm	Alta 15 a 30 cm	Alta 20 a 80 cm
<b>HETEROGENEIDADES</b>			
Variaciones de color	No se observan importantes. Pequeñas variaciones entre un evento depositacional y otro. Pequeñas bandas de colores más oscuros por alteración		
Megacristales - Megaclastos	Predominio de tamaño de grano fino, con megaclastos de 1 a 2 cm		
Venas y venillas	no		
Oxidación superficial	Costra de alteración de 1 a 2 cm de espesor con coloración más oscura hacia el techo y base de la capa		
Otras variaciones			

Planilla de sistematización de datos

Durante esta campaña se describieron las tres áreas de las que se extrajeron los datos presentados en las planillas (anexo, páginas 39 a 49) y se tomaron fotografías con cámara digital. Cabe aclarar que sólo dos de estas unidades fueron muestreadas para el análisis de sus características físico-mecánicas y químicas por razones operativas.

En la segunda campaña realizada en Diciembre de 2005, se realizó un levantamiento de dos perfiles litológicos, con dirección S-N aproximadamente (ver figura 8), en los cuales se describió la secuencia volcanoclástica.

En la etapa de gabinete – laboratorio se procedió al procesamiento de las muestras, realizado en el Pabellón de Geología “Dr. Augusto Pablo Calmels”, dependencia de la UNLPam. El pulido de las secciones macroscópicas, para la evaluación de la respuesta al mismo, realizado en Santa Rosa, en la marmolería del Sr. Osvaldo Rudolff.

Siguiendo con las tareas de gabinete, se confeccionaron los perfiles litológicos a escalas 1:2600 y 1:1500. Se elaboraron mapas donde se volcaron los datos de los perfiles y las unidades estudiadas en campo, usando el programa ArcView 3.1. Los datos de orientación de fracturas tomados en campo, fueron volcados mediante estereogramas con el software Stereowin 1.2.

Una vez obtenidos todos los resultados, fueron evaluadas las rocas factibles de ser explotadas.

### Muestreo

Se tomaron muestras representativas de cada afloramiento, con las que se realizaron las descripciones petrográficas de la roca sobre secciones microscópicas y muestras de mano. Las muestras para los análisis físicos mecánicos superaron los 3 dm<sup>3</sup> de roca, sin fracturar en forma de bloques, de los cuales se extrajeron las probetas a ensayar para cada uno de los dos indicios muestreados. Para esto, se cortaron en la sala de cortes los bloques de muestras con cortadora sensitiva y cortadora Struers Discoplan Ts, obteniéndose 10 probetas cúbicas de 50 mm de lado para los ensayos de compresión y densidad, y 3 probetas de 4,5 cm de lado por 2 cm de espesor para el ensayo de desgaste Dorry.

El análisis de las características físico mecánicas fue realizado por personal técnico del Instituto de Tecnología Minera, INTEMIN, dependiente del SEGEMAR. Allí se realizaron ensayos de resistencia a la compresión simple según norma ASTM C 170 en condición seca, resistencia al desgaste en máquina Dorry con un recorrido de pista de 1.000 m, peso específico y absorción de agua.

En el mismo Instituto se realizaron análisis semicuantitativos por Fluorescencia de Rayos X, a dos muestras seleccionadas, con el fin de caracterizarlas desde el punto de vista geoquímico. Para esto, se seleccionaron 500 gr de muestra para cada uno de los dos indicios a analizar, en forma de esquirlas. Los análisis se llevaron a cabo utilizando la siguiente metodología analítica: estabilización de las muestras a 105-110 °C, pulverización, preparación de pastillas prensadas con agente aglomerante y posterior barrido semicuantitativo por fluorescencia de rayos X, dispersivo en longitud de onda.

## ANTECEDENTES DEL MAGMATISMO CHOIYOI

En el Carbonífero y hasta el Triásico inferior se desarrolló una intensa actividad magmática gondwánica en el sector centro y oeste de la República Argentina. Este magmatismo Gondwánico tuvo lugar en el margen suroeste del supercontinente Gondwana, desde su total amalgamamiento en el Carbonífero temprano hasta su desmembramiento final en el Cretácico inferior. La mayor actividad magmática ocurrió

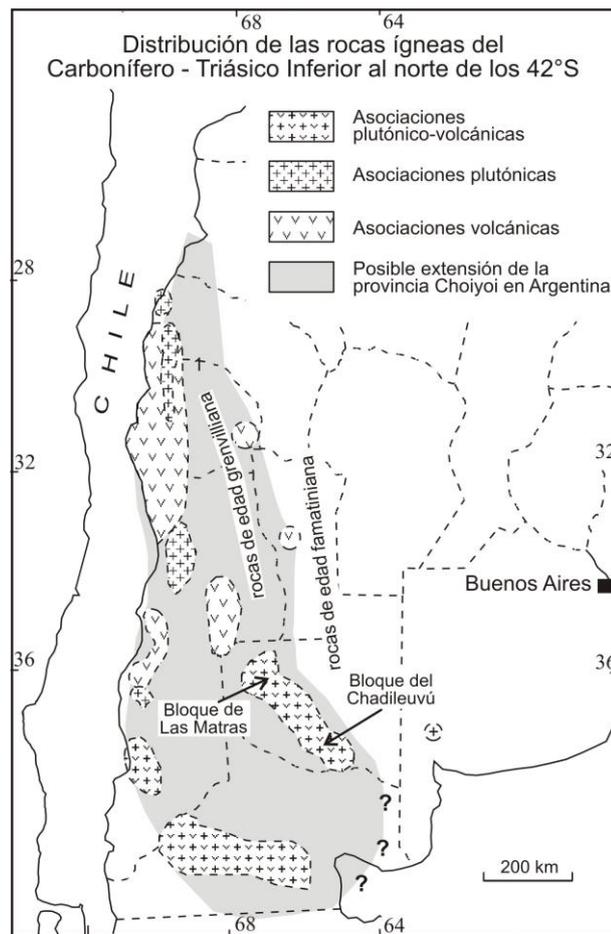


Fig. 1. Detalle de la posible expresión areal del magmatismo Choiyoi en la Argentina

desde el Pérmico superior y hasta el Triásico inferior, tanto a lo largo del cinturón orogénico ubicado en el borde sudoccidental de Gondwana como en el antepaís (Llambías, 1999). Esta actividad magmática es conocida como provincia magmática Choiyoi. Aflora en la Argentina en las provincias geológicas de Cordillera Frontal, donde el magmatismo se divide en una sección inferior andesítica – dacítica y una sección superior dacítica – riolítica, en el Bloque de San Rafael, en las Sierras Pampeanas Occidentales, en Cordillera Principal, en el Macizo Nordpatagónico y en los Bloques de Chadileuvú y de Las Matras.

La distribución del Choiyoi en el antepaís, y más precisamente dentro del territorio de la provincia de La Pampa, se evidencia a lo largo de una faja de rumbo NO-SE que sigue el curso del actual sistema fluvial Atuel-Salado-Curacó atravesando casi la totalidad de la provincia. Las rocas de este magmatismo intruyen y cubren a las unidades de los Bloques de Las Matras y de Chadileuvú (Llambías *et al.*, 2003). En el Bloque de Las Matras, se encuentran tonalitas y trondhjemitas de 1.200 Ma (Sato *et al.*, 1999, 2000), calizas y mármoles ordovícicos de la Fm. San Jorge (Melchor *et al.*, 1999) y areniscas del Carbonífero superior de la Fm. Agua Escondida. En el Bloque de Chadileuvú, un basamento de rocas metamórficas ordovícicas y granodioritas y monzogranitos del Paleozoico inferior, es cubierto por las sedimentitas del Pérmico de la Formación Carapacha (Melchor, 1999).

Criado Roqué (1972) incluyó a las volcanitas félsicas de la provincia de La Pampa dentro del Grupo Sierra Pintada, equivalencia del Choiyoi en el Bloque de San Rafael y extendida a nuestra provincia. Más tarde Llambías (1973), Llambías y Leveratto (1975) y Linares *et al.* (1980) definieron a estas rocas como un extenso “plateau riolítico”, compuesto por ignimbritas, brechas y tobas, desarrollado sobre una amplia faja de orientación NO-SE de aproximadamente 45.000 km<sup>2</sup> y un volumen aproximado de 50.000 km<sup>3</sup>. Se asocian a este magmatismo plutones de leucogranitos que representarían la parte no extruída del magma, alojada en las zonas más superficiales de la corteza. Formalmente, este “plateau riolítico” fue incluido en el grupo Choiyoi por Llambías *et al.* (1993).

Llambías (1975) distinguió dentro de este grupo a las facies volcánicas y plutónicas, separándolo en la Formación Zúñiga, con leucogranitos rosados de grano medio a fino, la Formación Choique Mahuida, compuesta por rocas riolíticas, en forma de ignimbritas de alto grado, domos y depósitos de oleadas piroclásticas y la Formación El Centinela, en la que se distinguen andesitas expresadas como pórfidos andesíticos, ignimbritas de alto grado y domos subvolcánicos.

Llambías *et al.* (2003) reconocieron dos suites dentro del magmatismo Choiyoi en La Pampa: una shoshonítica y otra traquidacítica a riolítica. La primera subyace a la segunda. Los estudios geoquímicos realizados indicaron algunas diferencias entre este magmatismo de ambiente cratónico con el desarrollado en Cordillera Frontal, para el mismo período. Las principales son la deficiencia en CaO y el enriquecimiento en TiO<sub>2</sub> y álcalis de las suites cratónicas comparada con las expresiones de cordillera.

Llambías *et al.* (2003) postularon un origen cortical para este magma, que se alimentaría de rocas calcoalcalinas, favorecido por una tectónica extensional predominante en el borde occidental del Gondwana durante su evolución en el Paleozoico temprano.

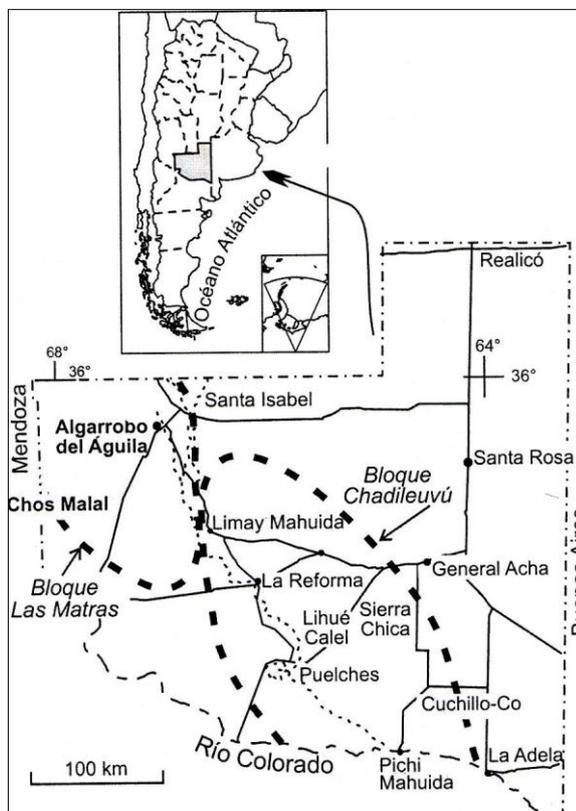


Fig. 2. Desarrollo probable de los Bloques de Las Matras y de Chadileuvú en La Pampa. Simplificado de Montenegro *et al.* (2003).

Las dataciones existentes para diversos afloramientos del Grupo Choiyoi en La Pampa, permiten observar que el magmatismo habría comenzado en el Pérmico temprano, entre los 265 y 270 Ma., extendiéndose hasta el Triásico tardío.

La Formación Choique Mahuida fue incluida dentro de la suite traquidacítica a riolítica por Llambías *et al.* (2003). Se distribuye en forma amplia en el centro y oeste de la provincia, y está compuesta por un conjunto de riolitas de variadas tonalidades y texturas (Linares *et al.*, 1980). Esta formación posee importantes afloramientos en el territorio pampeano (ver figura 3), como por ejemplo en: Cerro Chical Có, Cerro Tralma, Loma Negra, Cerro Colón, Co. La Ramada, Sa. Carapacha Grande, Mayú Quingam, Sierra de Lihué Calel, Sierra Chica, Cerro Las Piletas, Sierra de Choique Mahuida y otras elevaciones menores (Linares *et al.*, 1980).

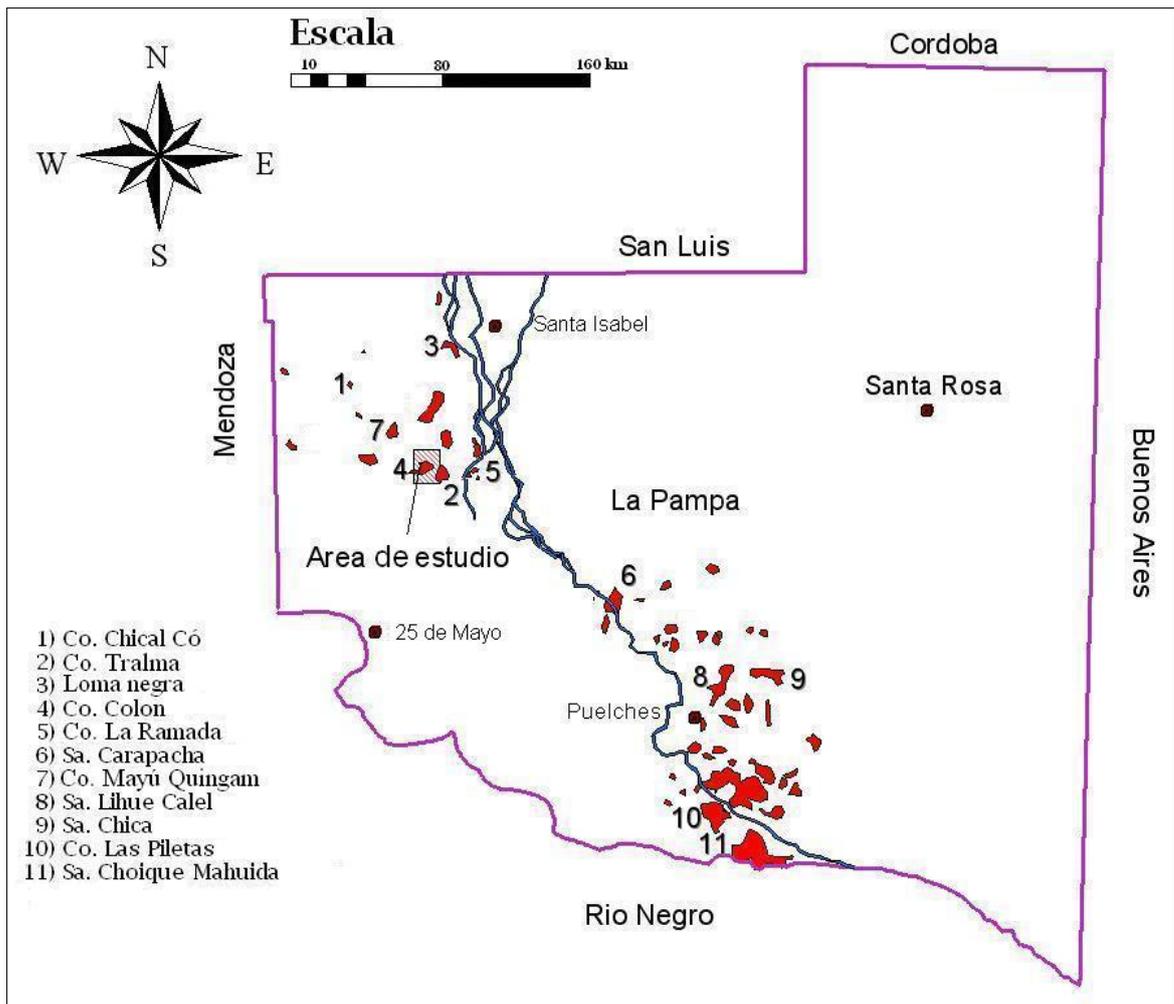


Fig. 3. Afloramientos del Grupo Choiyoi en La Pampa. Simplificado de Rimoldi y Silva Nieto, 1999.

## CERRO COLÓN

El Cerro Colón está ubicado en el centro-oeste de la provincia de La Pampa y tiene una superficie de 25 km<sup>2</sup>. Está integrado por una sucesión de ignimbritas de alto grado, de rumbo E-O, con inclinación de 25° N, presentando intercalaciones de delgados bancos de tobas de grano fino, finamente laminados, muy compactos y densos. El espesor total de la secuencia es de aproximadamente 150 metros (Llambías *et al.*, 2003) y fue datada por el método K-Ar, dando valores de 266± 20 Ma. y 237 ±15 Ma. (Linares *et al.*, 1980).

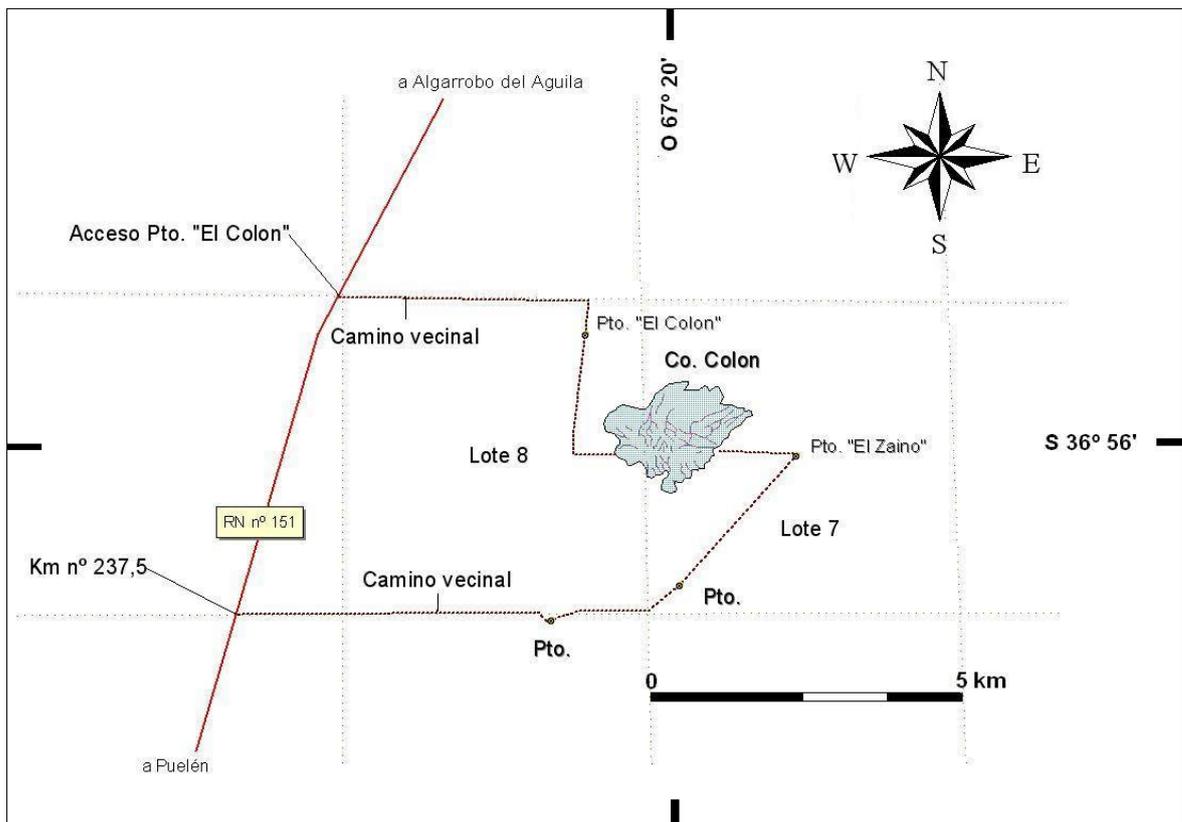


Fig. 4. Detalle de accesos al cerro.

### Antecedentes

Linares *et al.* (1980) asignaron las rocas del Co. Colón a la variedad textural 1, dentro de los dos posibles tipos que identifican para la Fm. Choique Mahuida. Esta variedad es descrita para riolitas rojas borravino, gris oscuro hasta blanco, con pequeños fenocristales menores a un milímetro, de cuarzo y feldespato, que yacen en pastas afaníticas, raramente vítreas. Poseen fluidalidad marcada, con filetes de flujos continuos y delgados, de 1 a 2 mm de espesor.

Según Llambías *et al.* (2003), estas ignimbritas ricas en líticos, tienen entre 5 y 20 % de cristales, comúnmente de cuarzo y sanidina y en menor proporción plagioclasa y escasa biotita. Se intercalan depósitos lapillíticos finos laminares entre los flujos piroclásticos, atribuidos probablemente a facies eruptivas freatomagmáticas. En la base de la sucesión, aparece una traquidacita con bajo contenido de cristales, compuestos por cuarzo, plagioclasa y sanidina.



Figura 5. Co. Colón. Vista hacia el ONO

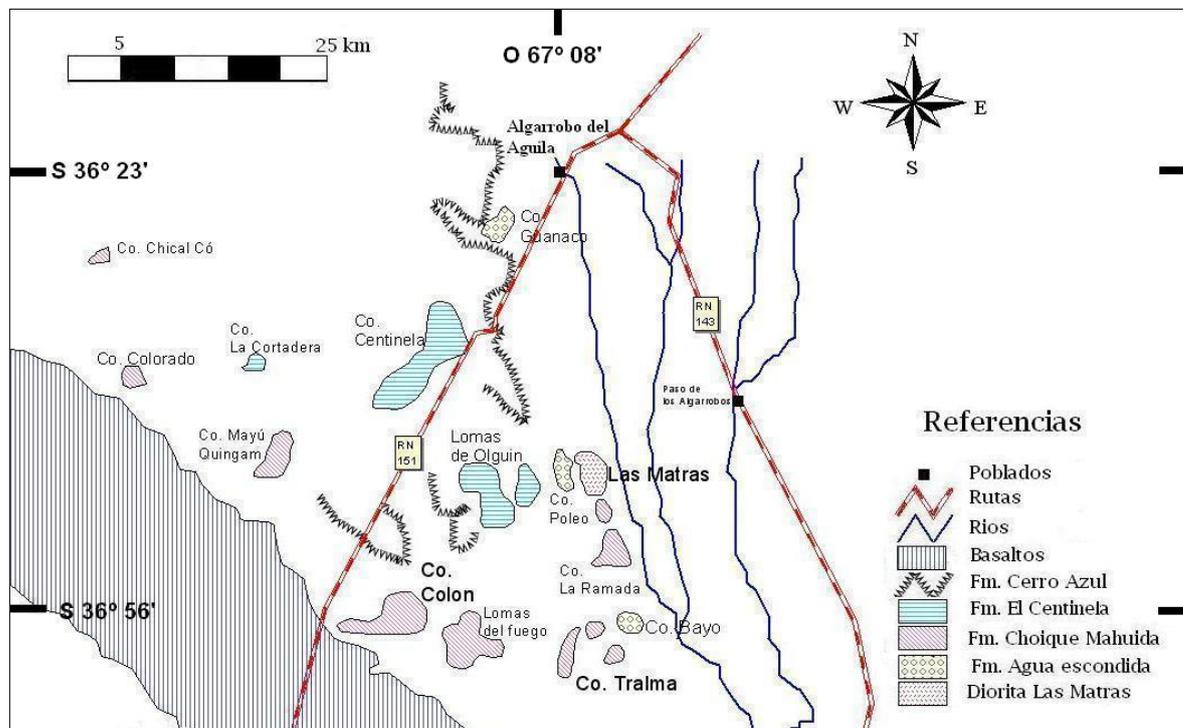


Figura 6. Mapa geológico de la zona en estudio. Simplificado de Melchor y Llambías, 2000.

En el Cerro Colón, estas rocas se expresan como una sucesión de ignimbritas riolíticas de alto grado, con intercalaciones de delgados bancos de tobas de grano fino, finamente laminadas, muy compactas y densas (Melchor y Llambías, 2000). Llambías *et al.* (2003) estimaron el espesor de esta secuencia piroclástica en 150 m, desconociéndose el techo y la base. Los contactos entre los bancos no son fácilmente identificables, dado su similitud entre sí.

Las fiammes son predominantemente laminares, indicando un alto índice de deformación. En la parte más alta del cerro, una ignimbrita gris oscuro de 20 m de espesor muestra una fluidalidad muy marcada, con abundantes pliegues y contorsiones producto del flujo (Melchor y Llambías, 2000).

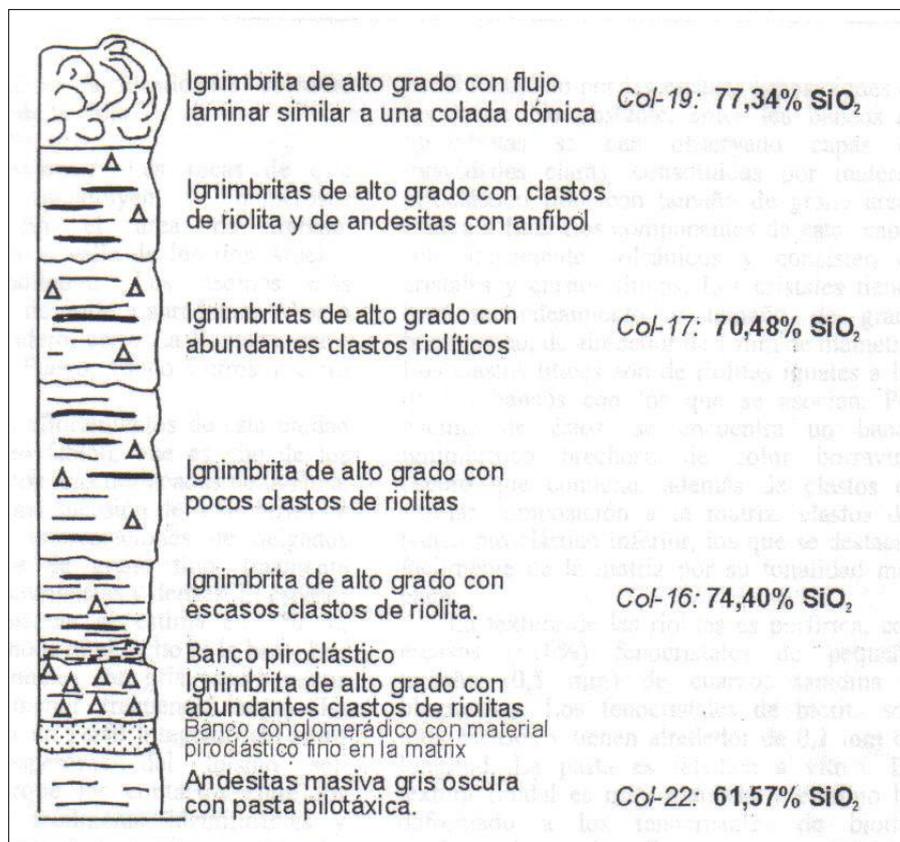


Figura 7. Esquema del perfil litológico en el Co. Colón según Llambías *et al.*, (2003)

## PERFILES LITOLÓGICOS

Los perfiles realizados en el cerro tuvieron una orientación NNO-SSE (figura 8). En el perfil Este A - A', se identificaron seis eventos piroclásticos con un espesor de roca calculado de 300 m y un largo en planta de 1.200 m, en el cual se describe el Afloramiento A. En el perfil Oeste B - B', con un largo en planta de 1.400 m, se reconocieron nueve eventos piroclásticos que se describen más adelante con un espesor total de 540 m, incluyendo el Afloramiento C, donde se detalló la unidad de interés (figura 9).

La secuencia presenta límites claros y ondulados, acuñados a veces entre los diferentes eventos piroclásticos que, por lo general, no difieren en gran medida en sus características haciendo difícil la interpretación.

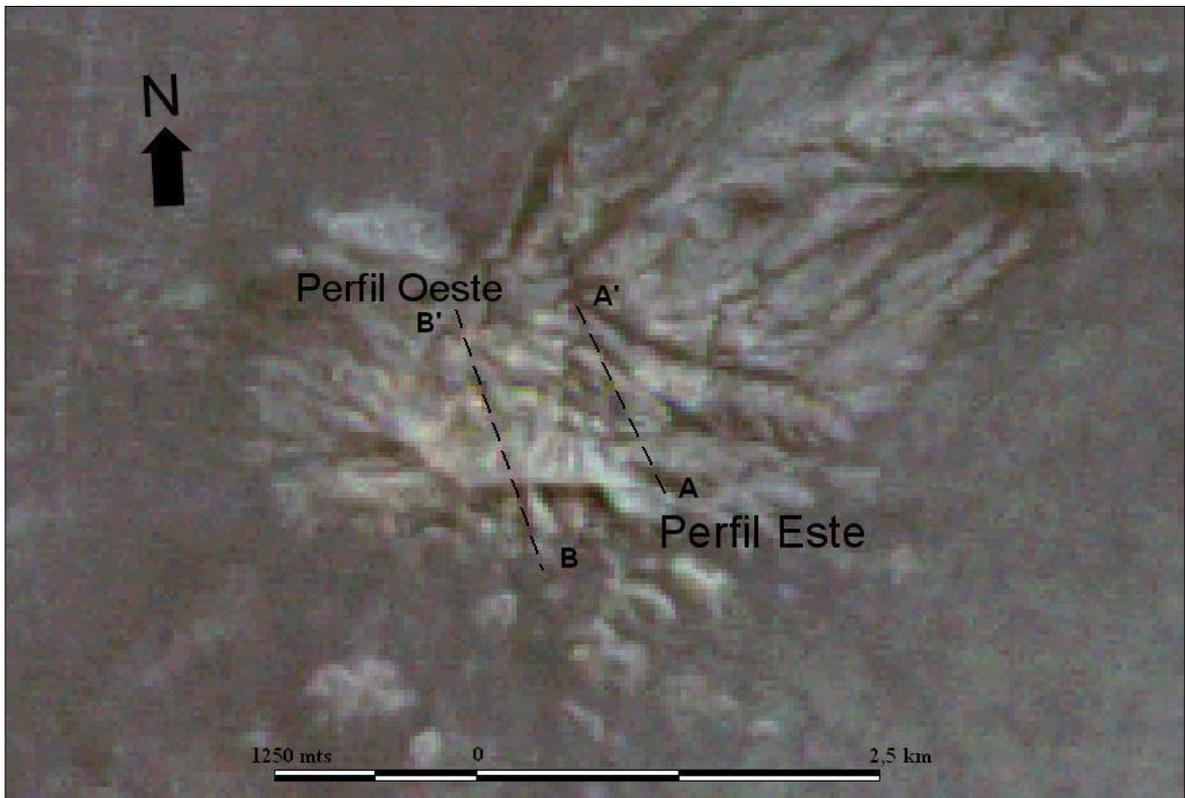


Fig. 8. Imagen satelital mostrando el área aflorante y la ubicación de los perfiles realizados. Los accesos se muestran en la figura 4, página 14.

El perfil A - A' en el sector este del Co. Colón mostró una sucesión que se detalla a continuación, de abajo hacia arriba:

**1:** espesor no determinado de una volcanita porfírica de matriz fina, gris azulada, con abundantes litoclastos de 1 cm promedio, con aparente deformación y meteorización selectiva. La cantidad de litoclastos disminuye hacia el tope, donde se observa la roca afanítica con cristaloclastos de cuarzo y feldespato.

2 (unidad de interés) 35 m de cuerpos tabulares de roca piroclástica de grano fino, de composición riolítica. Los espesores varían entre 15 y 20 cm. Figura 14.

3: 94 m de una ignimbrita de color rojizo (alteración superficial), con litoclastos de roca foliada de alrededor de 5 cm.

4: 55 m de obsidiana de color negro y pequeños cristales de feldespato de 1 mm aproximadamente.

5: 90 m de una ignimbrita masiva, (reognimbrita?) afanítica, con marcada foliación, de color negro a rojizo oscuro. La foliación se pierde hacia el tope del evento.

6: 27 m de roca volcánica gris azulada, con cristales de feldespatos y cuarzo en el orden de 1 a 3 mm.

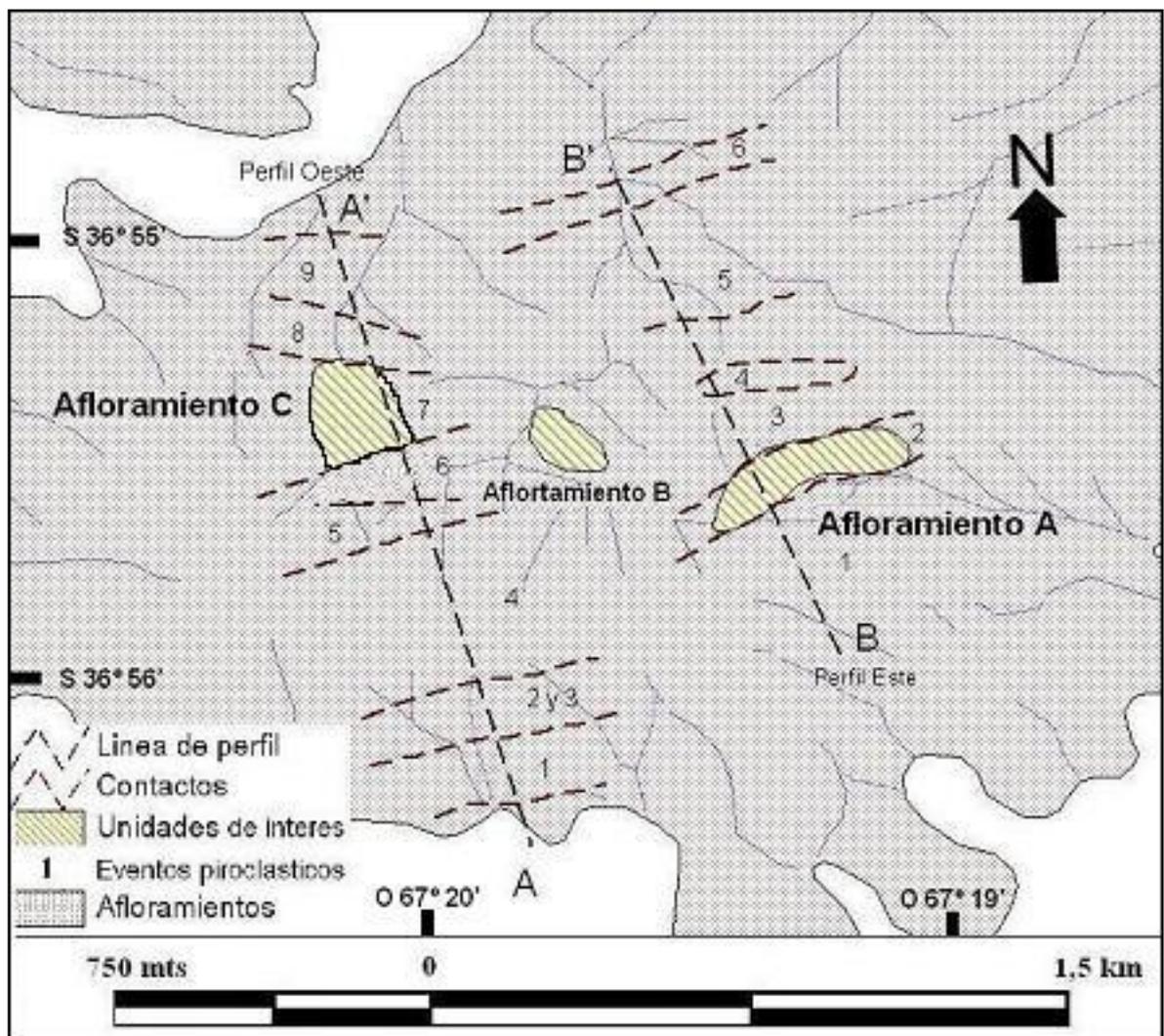


Fig. 9. Detalle de los perfiles levantados, las áreas de interés y la ubicación de los probables contactos entre los distintos eventos piroclásticos.

El perfil **B – B'** en el sector oeste del Co. Colón, se describió una secuencia piroclástica que de abajo hacia arriba está compuesta por:

**1:** 61 m de roca volcánica, color pardo claro, con abundantes litoclastos de entre 1 y 2 cm que ocupan alrededor del 15 %.

**2-3:** 60 m de ignimbrita con bloques líticos de hasta 50 cm de diámetro con estructura foliada que disminuyen en su cantidad y tamaño hacia el techo del evento.

**4:** 183 m de brecha ignimbrítica grano-decreciente con grandes bloques foliados mayores a 1 m. Hacia la cima del cerro, el evento culmina con una roca de intenso desarrollo de foliación milimétrica, de aspecto vítreo, determinada por la alternancia de bandas claras y oscuras, en ocasiones plegadas. Rumbo y buzamiento de la foliación en el techo: N 25, 18 NO; N 25, 15 NO; N 40, 8 NO

**5:** 31 m de cuerpos tabulares de tobas masivas, grises, con 15 % de cristaloclastos félsicos, blancos. Se observa meteorización selectiva de algunos piroclastos que dejan cavidades en la roca, rodeadas de un halo de coloración rojiza. Estos bancos varían su espesor de 5 a 15 cm. Rumbo y buzamiento de la laminación: N73, 20 N.

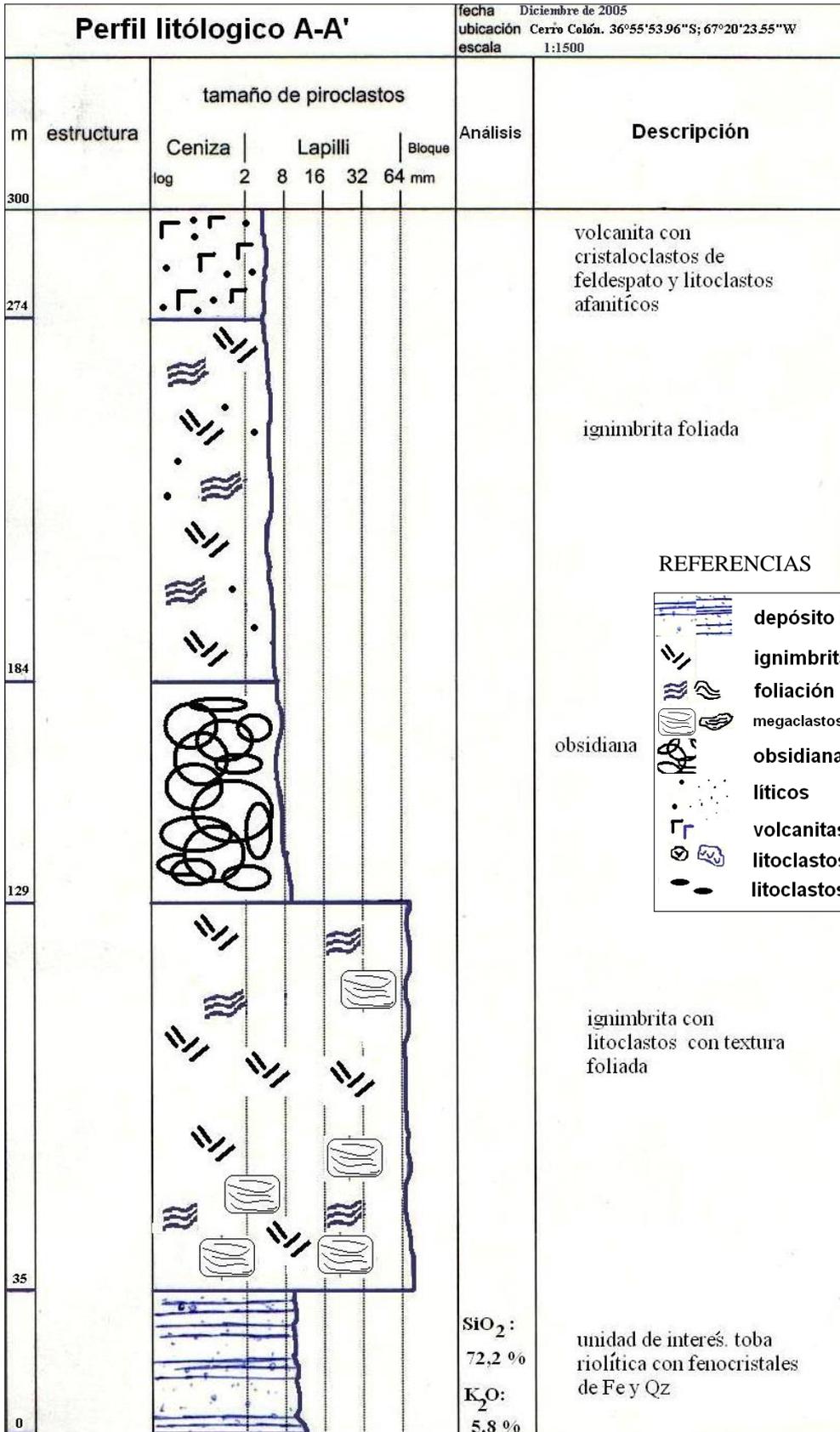
**6:** 20 m de una volcanita gris oscura de composición traquidacítica, con grosera estratificación en bancos, debido a sus cambios texturales. En la base, los litoclastos están ovalados exhibiendo aparente deformación. Los líticos pertenecen a una volcanita afanítica y componen el 20 % aproximadamente de la roca.

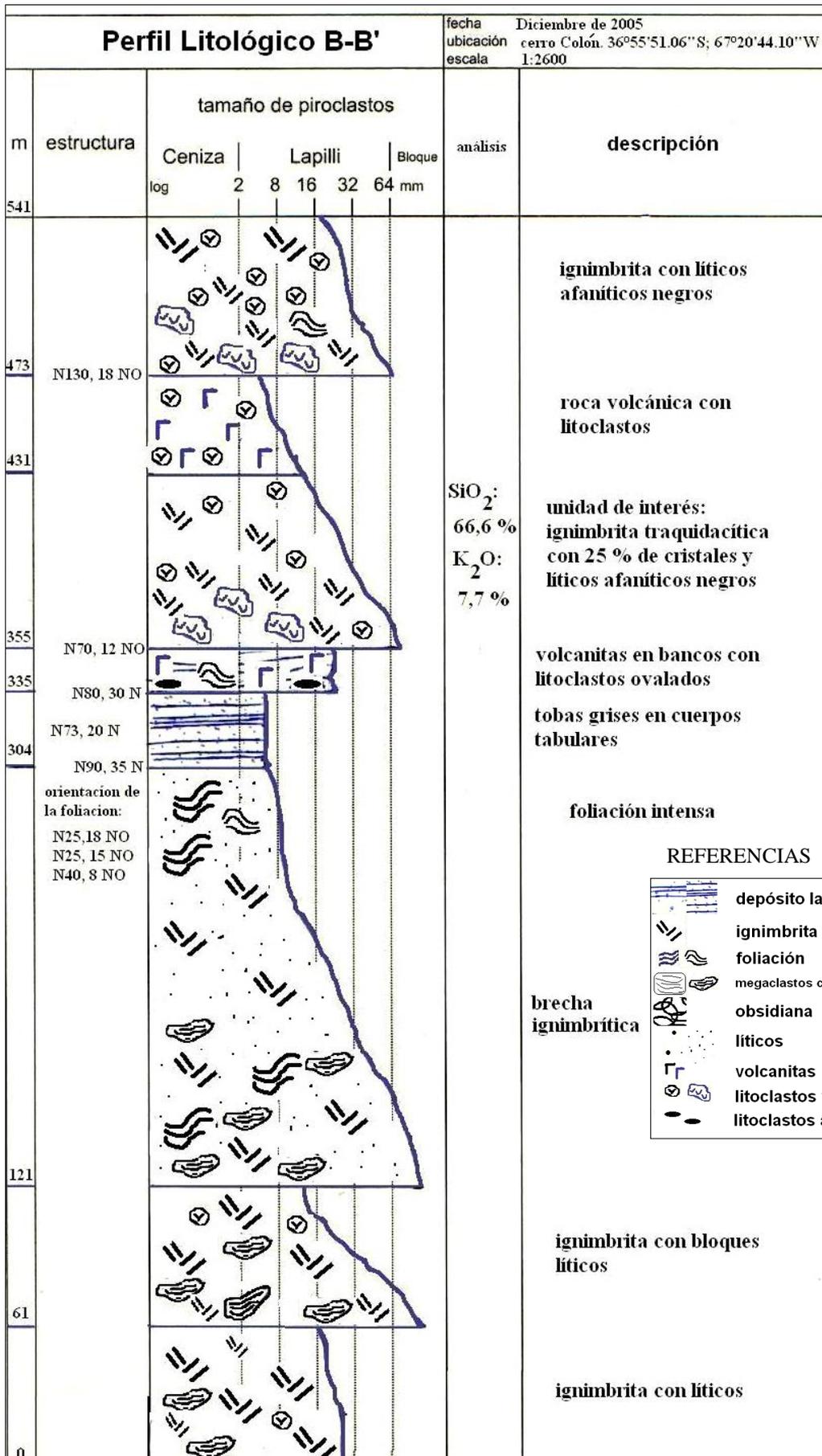
**7:** (unidad de interés) 76 m de volcanita de composición traquidacítica gris azulada, con gran cantidad de cristaloclastos de cuarzo y feldespatos, de entre 1 y 3 mm de diámetro. Los litoclastos pertenecen a una roca afanítica negra y llegan a sobrepasar los 5 cm de diámetro.

**8:** 42 m de volcanita porfírica, con 15 % de cristaloclastos, inferiores a 2 mm. En la base se observan litoclastos afaníticos negros ovalados.

**9:** 68 m de ignimbrita con cristales de feldespatos y litoclastos afaníticos negros. Los líticos ocupan alrededor del 5 - 10 %, de entre 1 y 15 cm de diámetro. Los cristaloclastos ocupan el 25 % en volumen, son equigranulares y de composición cuarzo – feldespática.

PERFILES





## DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS DE INTERÉS

En la figura 9, se demarcan las áreas determinadas con mejor aptitud, denominadas Afloramiento A (45.000 m<sup>2</sup>), Afloramiento B (19.000 m<sup>2</sup>) y Afloramiento C (32.000 m<sup>2</sup>). El detalle de la ubicación de los perfiles se acompaña en la misma figura con los probables contactos entre los distintos eventos piroclásticos.

### **Afloramiento A. Toba riolítica.**

Macroscópicamente, esta roca se presenta en forma de cuerpos tabulares de 15 a 20 cm de espesor, con una textura porfírica de grano fino y coloración gris oliva, gris verdoso pálido a gris oscuro, con tintes negros. Los límites entre capas son claros y rectos, presentando tenues variaciones de color entre un evento y otro (Figuras 14 y 15).



Fig 14. Fotografía del afloramiento A.

Se reconocen pequeños cristales inmersos en una pasta afanítica, compuestos por cuarzo y feldspatos, estos últimos subhedrales, en el orden de 1 a 3 mm de longitud. En la roca se observa un bandeo semiparalelo difuso de bandas claras félsicas y otras más oscuras y vítreas.

De la observación microscópica surge que la roca tiene textura microporfírica, con 10 % de fenoclastos, compuestos esencialmente por cuarzo euhedral, equigranular, y en menor proporción feldespato con alteración sericítica. La plagioclasa también está presente con formas subhedrales.

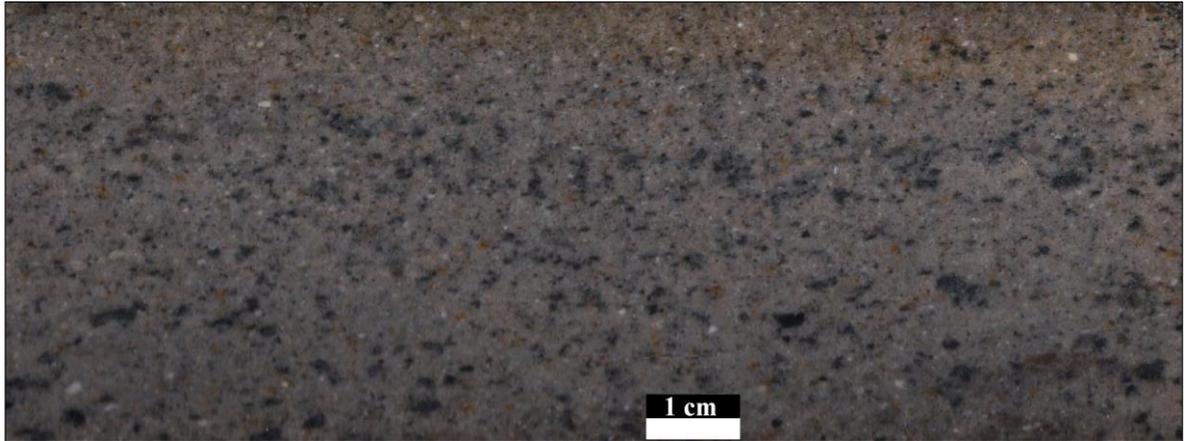


Fig. 15. Detalle de la roca en sección pulida

Los vitroclastos presentan texturas de desvitrificación y los líticos pertenecen a rocas de texturas microgranulares y traquíticas.

Se identificaron agregados microgranulares de clorita, calcita y óxidos. La pasta es microgranular, de composición predominantemente cuarzo feldespática, con texturas esferulíticas y desvitrificación parcial.

El espesor de esta unidad se calcula en 35 m, con rumbo y buzamiento de N 65, 12 N. La alteración es baja y la fracturación impide obtener un bloque mínimo comercial (Singewald, 1992, en Lorenz y Gwosdz, 2004). Esta unidad fue muestreada para realizar ensayos físico-mecánicos, químicos y petrográficos. Del estudio de la orientación de las fracturas se desprende el diagrama de densidad que se muestra en la figura 21 y el estereograma en el anexo (página 44). Estas fracturas tienen una abertura inferior a 1 cm. La alteración superficial de la roca está compuesta por una costra de 1 a 2 cm de espesor, en el techo y la base de cada capa. Se observan megaclastos de 1 a 2 cm de diámetro.

### **Afloramiento B. Ignimbrita riolítica.**

Esta roca es de color gris oscuro a gris verdoso pálido, con textura porfírica y aspecto brechoso. Una pasta afanítica de aspecto vítreo botroidal engloba un 10 % de fenocristales de vidrio, cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa con tamaño variables entre 1 y 3 mm de longitud (figura 16).

Microscópicamente la textura porfírica de esta roca muestra un 5 % de fenoclastos, compuestos por feldespato potásico con formas subhedrales a euhedrales, plagioclasa alterada, y cuarzo en menor proporción. Los litoclastos son predominantemente ignimbriticos y los vitroclastos se presentan desvitrificados.

La pasta es afanítica, vítrea, con texturas perlíticas o botroidales. Alternan los agregados microgranulares radiados de sílice y las esferulitas.



Fig. 16. fotografía panorámica de la unidad del afloramiento B.

Esta unidad presenta un espesor calculado en 26 m, con límites claros y ondulados. La alteración es baja y la fracturación es densa a media, favoreciendo en sectores la posible extracción del bloque mínimo comercial (diagrama de densidad de fracturación en figura 21). La abertura entre fracturas es inferior a 2 cm. No se observan variaciones de color. Se distinguen pequeñas venillas y miarolas.

### **Afloramiento C. Ignimbrita traquidacítica**

Este afloramiento fue descrito en tres sectores, llamados C, D y E, detallándose para cada uno de ellos la planilla de sistematización de datos. Se define el nombre de Afloramiento C para la unidad litológica descrita en dichos sectores (figura 17)

Se trata de una roca ignimbrítica de composición traquidacítica, de aspecto granular, de color gris oliva a gris verdoso azulado (figuras 17 y 18). Macroscópicamente esta roca contiene alrededor del 25 % de cristales visibles. Estos cristales están compuestos principalmente por dos tipos de feldespatos y cuarzo, rodeados por una pasta afanítica vítrea de color negro.

Se destacan los litoclastos a nivel de afloramiento con dimensiones que sobrepasan los 5 cm de longitud, pertenecientes a una roca de color negro, de grano fino, totalmente afanítica. Las fracturas aparecen rellenas por epidoto y en general, la roca presenta porosidad visual del 3 %.

Al microscopio, la proporción de fenocristales ronda el 25 %, del cual el cuarzo ocupa un 8 % aproximadamente, con formas subhedrales redondeadas. El resto lo

componen cristales de feldespato, probablemente sanidina, plagioclasa y mafitos en menor medida. La biotita se presenta alterada y en escasa proporción.



Fig. 17. Fotografía panorámica del afloramiento C

Los litoclastos son afaníticos. La alteración está representada por agregados granulares de clorita y epidoto. La matriz es microcristalina felsítica.

Este afloramiento presenta un rumbo y buzamiento promedio de N 80, 25 N, con límites claros y acuñados. Se observan abundantes megaclastos de una roca afanítica negra



Figura 18. Corte pulido muestra 12, afloramiento C

de hasta 10 cm de diámetro. La densidad de fracturas es variable, desde baja hasta alta según el juego considerado. El diagrama de densidad de fracturas se presenta en la figura 21. Las fracturas tienen una abertura inferior a 2 cm, generalmente rellenas con epidoto. La alteración superficial del afloramiento es de tipo catafilar, generando costras de hasta 3 cm de espesor.

### **Afloramiento D y E. Ignimbrita traquidacítica.**

Estos afloramientos pertenecen a la misma unidad litológica que el afloramiento C y fueron descritos en este sector debido a la buena exposición de sus rocas. Macroscópicamente la roca es de color gris oliva, de aspecto granular y textura porfírica. Presenta gran cantidad de cristaloclastos de 1 a 3 mm de longitud, compuestos por feldespatos y cuarzo principalmente (figuras 19 y 20). La pasta es afanítica, vítrea, gris a



Fig. 19. Fotografía panorámica del la unidad correspondiente, al afloramiento D y E

negra, y presenta litoclastos afaníticos negros mayores a 5 cm de longitud, que se destacan a nivel de afloramiento.

Bajo el microscopio se observa un 28 % de cristaloclastos compuestos por feldespatos y cuarzo. Los fenocristales son de tamaño homogéneo, entre 1 y 3 mm de longitud. El cuarzo es subhedral a anhedral y presenta texturas de engolfamiento. El feldespato potásico, presumiblemente sanidina, presenta incipiente alteración sericítica. La plagioclasa es escasa. Los litoclastos pertenecen a rocas con texturas traquíticas, eutaxíticas.

La pasta es afanítica de composición cuarzo feldespática, con texturas esferulíticas y parches de alteración clorita-epidoto.

Los límites son claros y ondulados, la fracturación va de media a baja, permitiendo la extracción en sectores del bloque comercial mínimo. La abertura de fracturas es inferior a 2 cm y generalmente se encuentran rellenas con epidoto.

La densidad de fracturación es variable, llegando a ser baja en sectores. El diagrama de densidad de fracturación se muestra en la figura 21.

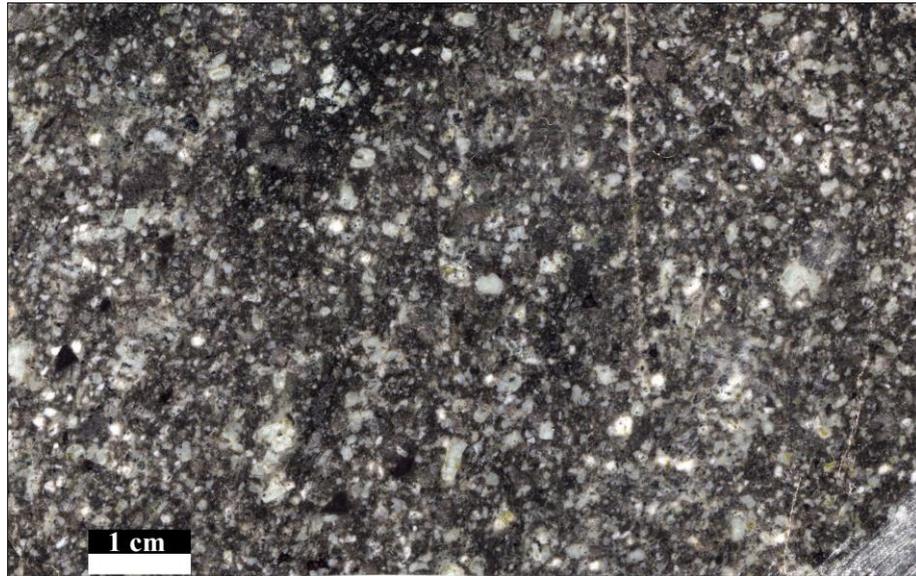
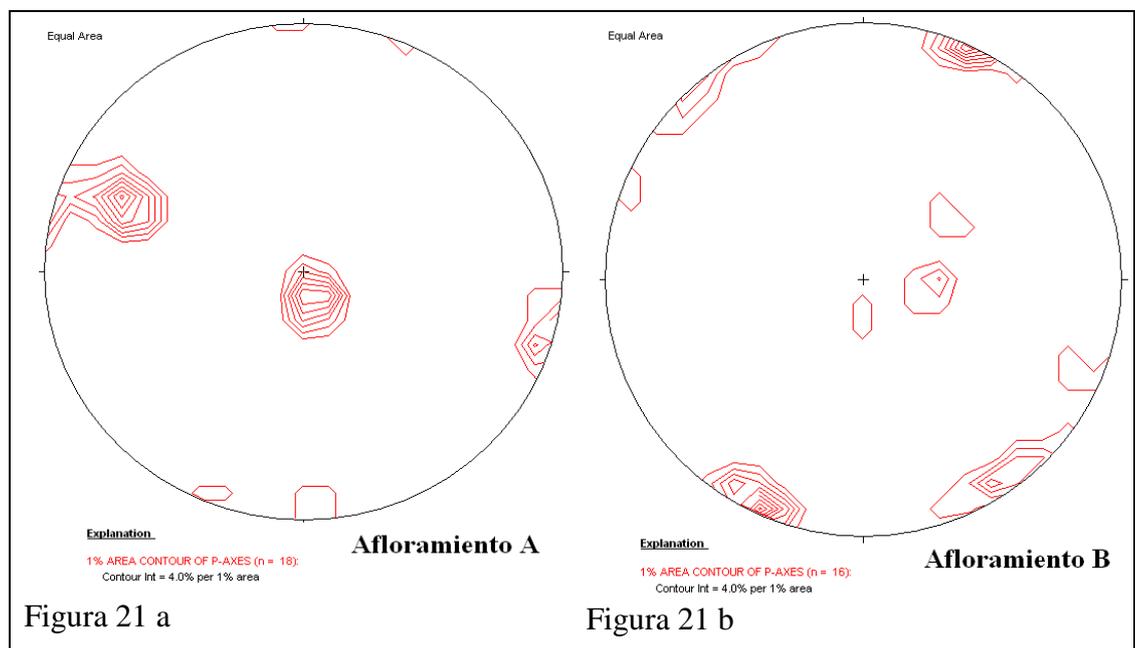


Figura 20. Fotografía sobre la superficie pulida en la muestra 14 – 15, correspondiente a los afloramientos D y E

Las planillas de colección de datos de cada afloramiento se encuentran en el Anexo (páginas 39 a 49). Allí se describen las principales características de los 5 afloramientos seleccionados con mejores características de potencial ornamental.



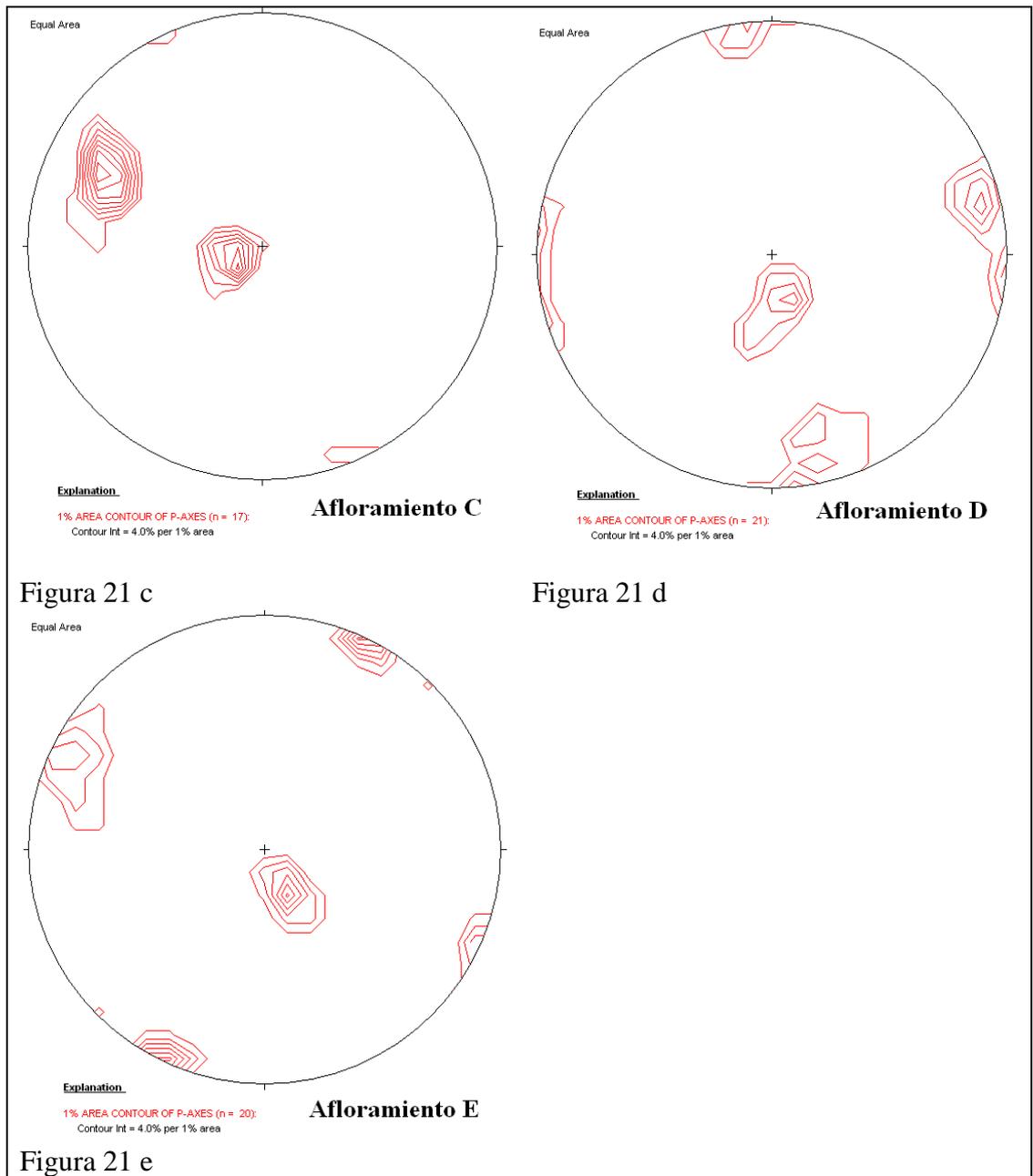


Fig. 21, a, b, c, d y e. Diagramas de densidad de fracturación para los afloramientos en estudio.

## ENSAYOS QUÍMICOS Y FÍSICO - MECÁNICOS

Tanto los ensayos químicos como los ensayos físico - mecánicos fueron realizados en dependencias del INTEMIN. La muestra A representa el Afloramiento A, y la muestra C representa a la unidad litológica correspondiente a los Afloramientos C, D y E, en el sector más occidental del Cerro. La Tabla 1 expresa los resultados de los ensayos químicos por Fluorescencia de Rayos X sobre las muestras de las dos localidades seleccionadas en el cerro. Los valores se encuentran expresados en porcentaje en peso (g/100g).

<b>Analito (g/100 g)</b>	<b>Muestra A</b>	<b>Muestra C</b>
SiO <sub>2</sub>	72,2	66,6
TiO <sub>2</sub>	0,19	0,46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,4	18,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,20	3,20
MnO	0,12	0,06
MgO	0,08	0,07
CaO	2,40	1,90
Na <sub>2</sub> O	0,19	0,18
K <sub>2</sub> O	5,80	7,70
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09	0,13
ZnO	0,02	0,08
PbO	< 0,01	0,02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,02
NiO	0,01	0,01
ZrO <sub>2</sub>	0,01	0,07
CoO	0,01	0,02
BaO	0,10	0,24
SrO	0,06	0,06
Rb <sub>2</sub> O	0,02	0,03
SO <sub>3</sub>	0,06	0,07
Pérdida por calcinación a 1000 °C	1,60	0,80
<b>Totales</b>	<b>99,61</b>	<b>99,72</b>

Tabla 1. Análisis químicos por FRX correspondientes a las muestras "A" y "C"

A partir de los resultados de los análisis químicos, se construyó un diagrama TAS (Le Maitre, 1989) en el que fueron introducidos los valores de álcalis total (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O % en peso) versus los valores de SiO<sub>2</sub> (figura 22). Se observa que las rocas correspondientes al afloramiento A, en el sector oriental del cerro, corresponden a una roca riolítica y por su

parte, las rocas del sector oeste del cerro en los afloramientos C, D y E pertenecen al campo de las traquidacitas.

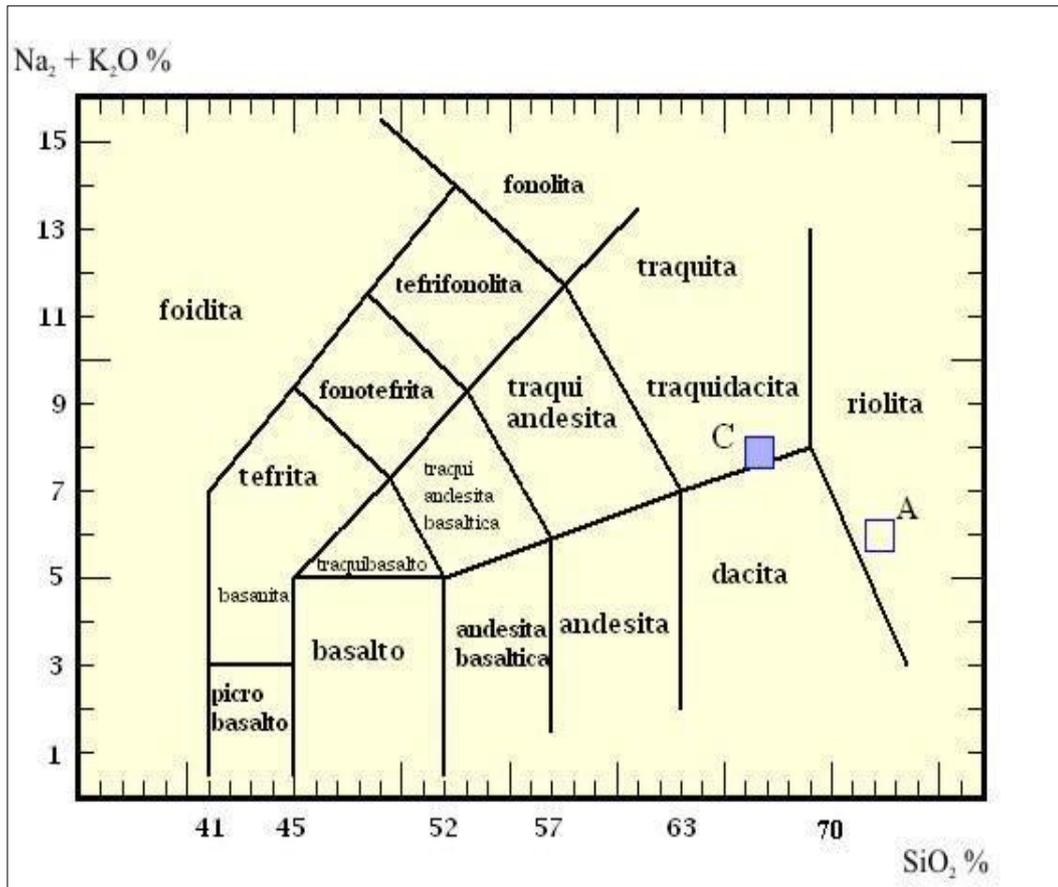


Fig. 22. Diagrama TAS (Le Maitre, 1989) mostrando la clasificación de las muestras según sus características químicas.

La Tabla 2 muestra el resumen de los resultados logrados para los ensayos físico – mecánicos sobre las muestras analizadas. Con fines comparativos, se incluyen en la misma los análisis de dos pórfidos actualmente explotados.

Ensayo	Unidades	Muestra A	Muestra C	Pórfido Santa Cruz	Pórfido Sierra Chata, Chubut
<b>Resistencia a la compresión</b>	Promedio $\sigma_f$ (MPa)	254,80	273,50	130,2	190
	Desviación Standard ( $\delta$ )	19,33	40,72		
<b>Desgaste</b>	(mm)	0,38	0,53	0,86	1,3
<b>Densidad</b>	Promedio (g/cm <sup>3</sup> )	2,64	2,65	2,6	2,57
<b>Absorción</b>	Promedio (%)	0,08	0,25	0,73	4,2
<b>Porosidad abierta</b>	Promedio (%)	0,21	0,65	1,8	

Tabla 2. Ensayos Físico- Mecánicos para las muestras “A” y “B” y comparación con dos pórfidos patagónicos de las provincias de Santa Cruz y Chubut, Argentina.

El detalle de los ensayos puede verse en el anexo (pág. 47).

## ENSAYOS DE RESPUESTA AL PULIDO

Las figuras 15, 18 y 20 muestran el detalle de las secciones pulidas sobre tres muestras seleccionadas de los Afloramientos A y C del Cerro Colón. Estos ensayos permitieron comprobar la afinidad de la roca al tratamiento de pulido, y las características cromáticas y visuales que este proceso le otorgaba (figura 23). Todas las muestras ensayadas se pulieron sin problemas, destacándose la muy buena tendencia de la roca al pulido en superficie lisa.



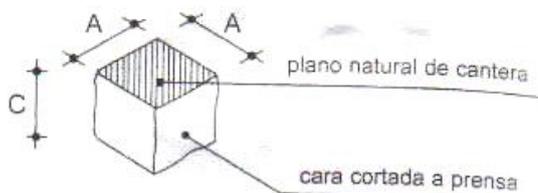
Figura 23. A y B: secciones pulidas en el premoldeado de yeso. C: detalle de la sección pulida de una muestra tomada en la parte superior del cerro Colón (S 36° 56' 05.8'', W 67° 20' 37.1'')

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

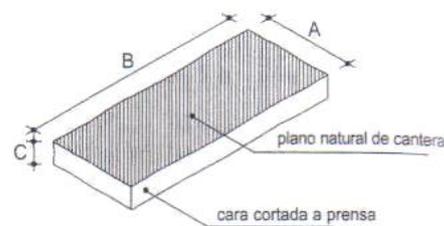
El Cerro Colón está ubicado aproximadamente a 5 Km de la Ruta Nacional N° 151, pavimentada, que comunica la provincia de Mendoza con el Valle del Río Negro. A la vera de esta ruta, se encuentra el gasoducto de Transportadora Gas del Norte y el tendido de línea eléctrica. Estas características viales y de servicios, aportan valor a la ubicación del Cerro, ya que una posible explotación dispondría de los principales servicios necesarios para la instalación de un campamento minero. La presencia de agua en la zona se limita a tajamares y salitrales. Las localidades más cercanas, Puelén y Algarrobo del Águila, cuentan con este servicio, pero su distancia supera los 40 Km. Los accesos se muestran en la figura 4, presentando relativa dificultad. Los afloramientos son accesibles por el norte, sin importantes desniveles topográficos. Para acceder por el acceso sur, la topografía es un obstáculo a sortear, debido a la presencia de lomadas rocosas, conocidas como Lomas Amarillas, que dificultan el tránsito en vehículo pesado hasta el cerro.

Frattari & Stenico (2001) describen una variada gama de elementos constructivos y técnicas arquitectónicas que emplean a este material, por ejemplo:

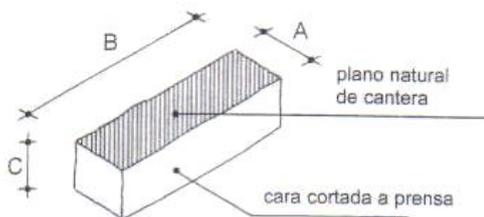
ADOQUIN



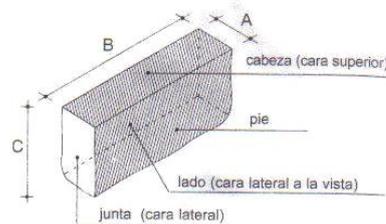
BALDOSA



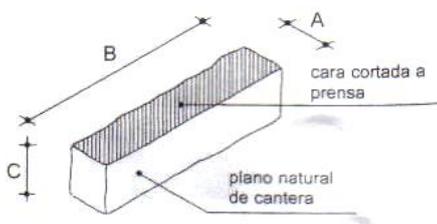
BINDERI



BORDILLO



SMOLLERI



	Dimensiones			Usos
	Lado A	Lado B	Lado C	
Adoquin	4 – 20 cm		4 – 20 cm	Trafico peatonal y vehículos ligeros y pesados
Binderi	10 – 12 cm	15 – 30 cm	5 – 15 cm	Pavimentaciones
Smoller	4 – 8 cm	15 – 40 cm	6 – 10 cm	Pavimentaciones de alta pendiente
Baldosa	10 – 50 cm	Libre		Revestimientos, peatonal, trafico vehicular
Bordillo	5 – 15 cm	Libre		Bordes para paredes, gradas, etc

A la multiplicidad de elementos constructivos que se ejemplifican debemos agregar la variabilidad de dimensiones que estos elementos soportan, adaptándose a las necesidades existentes y aumentando cada vez mas la posibilidad de uso de las rocas en estudio. A esta variedad de elementos, no debemos olvidar la utilización de esta piedra para la fabricación de planchas pulidas para ornamentación.

Las rocas del Cerro Colón fueron evaluadas teniendo en cuenta 3 principales características:

- Posibilidad de extraer bloques o lajas comerciales según su fracturación, exposición y volumen
- Características estéticas
- Características físicas y químicas

En las áreas denominadas Afloramientos A, B y C se encontraron las mejores exposiciones de las unidades litológicas con potencial ornamental (figura 9). Todos los asomos pertenecen a la Fm. Choique Mahuida, dentro de la provincia magmática Choiyoi.

En el afloramiento A se identificó una roca tobácea de colores grisáceos con tonalidades verdes y tintes negros. Las características químicas de esta roca indican una composición riolítica, con altos valores de SiO<sub>2</sub> y K<sub>2</sub>O en particular. En este afloramiento, la posibilidad de extracción de material se limita a un bloque tabular con dimensiones variables, que rondan los 0,6 m x 0,3 m x 0,20 m (figura 14). La exposición es buena ya que se encuentra dentro de una quebrada a la que se accede sin dificultad por el este. Si tomamos aproximadamente 4,5 hectáreas calculadas para este afloramiento, con un espesor explotable de 6 m, tenemos un volumen superior a 270.000 m<sup>3</sup> equivalentes a 712 tn de roca aproximadamente.

Esta roca tiene muy buena respuesta al pulido, por lo que es apta para la fabricación de planchas pulidas de 0,60 m x 0,30 m para revestimiento y ornamentaciones.

En cuanto a las características físico-mecánicas, es importante destacar el elevado valor de resistencia a la compresión simple, superando ampliamente los valores citados para un pórfido comercial de Santa Cruz y otro de Chubut, Argentina. Los bajos valores de absorción y porosidad abierta indican buenas prestaciones para el uso en el exterior de las construcciones. El valor de desgaste Dorry es suficientemente bajo para ser usado como material de alto tránsito. Se desprende de este análisis, que las características físicas del material son aún superiores a las de otros que actualmente están en el mercado.

Las rocas del afloramiento B son descritas como una ignimbrita riolítica de aspecto brechoso. Esta unidad sólo fue muestreada para análisis petrográficos, por lo que carece de datos sobre sus características químicas y físicas. Los datos de fracturación determinan densidades media a alta, con orientaciones de fracturas que complican la extracción de bloques.

Por último, las rocas del afloramiento C presentan quimismo dentro de las composiciones traquidacíticas a dacíticas, con altos valores de  $K_2O$ . Los resultados de los ensayos físico- mecánicos permiten comparar estas características con otros materiales, como el pórfido patagónico de Sierra Chata, Chubut, observándose que las características ensayadas se encuentran próximas e incluso mejorando los valores provenientes de un material actualmente en producción. Del análisis de la fracturación se desprende la posibilidad de obtención de bloques tabulares de roca de 1 m x 1 m x 0,4 m, que por sus características cromáticas y su respuesta al pulido la colocan en buena posición a nivel comercial. Con un área aflorante de 3,2 has y un frente de explotación de 6 m, se pueden obtener como mínimo 190.000 m<sup>3</sup> de roca equivalentes a 500 tn del material. Estéticamente, esta roca se asemeja a un granito comercial (figuras 18 y 20), con texturas granulares, por lo que su ubicación en el mercado es de alta factibilidad.

## CONCLUSIONES

1. A partir de este estudio, se seleccionaron 3 sectores con mayor potencial para la extracción de roca con fines ornamentales: afloramiento A, afloramiento B y afloramiento C. Este último incluye a los afloramientos D y E.
2. En todos los casos, estéticamente estas rocas difieren notablemente de los “pórfidos” comerciales actualmente en el mercado nacional.
3. El afloramiento A presenta características de fracturación que podrían favorecer la extracción de bloques de pequeño tamaño para la fabricación de baldosas y elementos de pavimentación y revestimiento. Es probable que la depositación en forma subparalela de los distintos pulsos piroclásticos pueda contribuir a producir lajas mediante fracturación inducida con prensas oleodinámicas. La roca presenta características excepcionales para el pulido de planchas, así como también ostenta muy buenos valores de resistencia a la compresión, resistencia al desgaste y absorción de agua.
4. El Afloramiento B presenta una densidad de fracturación media a alta, que impediría la extracción de bloques. No se realizaron ensayos físicos y químicos sobre esta unidad. Las características cromáticas y texturales son interesantes.
5. El afloramiento C está compuesto por una roca piroclástica de composición traquidacítica, con abundantes cristales, lo que le da un atractivo singular. Este afloramiento es el más interesante de la prospección, dada la posibilidad de extracción de bloques de mayor tamaño en relación a los otros dos. Se recomienda realizar mayores trabajos exploratorios, como perforaciones con extracción de testigos.
6. La calidad de la roca, los accesos al cerro, la disponibilidad de servicios de infraestructura a corta distancia del indicio, y la ausencia de riesgos ambientales de gran envergadura justifican la apertura de un frente de cantera piloto en los afloramientos A y C descritos.
7. Se entiende que la metodología de trabajo utilizada aquí basada en la confección de planillas de sistematización de datos pueda ser usada como modelo para estudios de evaluación de yacimientos de rocas ornamentales.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de La Pampa.

A la Dirección de Minería de la provincia de La Pampa por el financiamiento, el apoyo logístico y el interés en la realización del trabajo.

Al tribunal evaluador, Elsa Sotorres, José Malán y Walter Bertotto, por las correcciones y por la muy buena predisposición.

A Mercedes, Horacio y Soledad.

A Sandra.

A mis compañeros y amigos de siempre.

A todos los que alguna vez les importó.

## BIBLIOGRAFÍA

- Baltuille Martín, J.M. y López López, M.T., 2005. Propuesta de un protocolo para la racionalización y el desarrollo de una política nacional de Rocas y Minerales Industriales. La ficha-tipo del ANARMIN de España. Actas del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, Argentina, t-4, 653-659. ISBN 987-595-009-6.
- Criado Roqué, P., 1972. Bloque de San Rafael. En : Leanza, A.F. (Ed.): Geología Regional Argentina, p. 283-303. academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- Dalponde, M., P. Espejo y M.L. Yañes, 2005. El recurso “pórfido” en la provincia de Río Negro. VIII Congreso Argentino de Geología Económica. Actas: 89-96. Ciudad de Buenos Aires.
- Dalponde, M., P. Espejo y M.L. Yañes, 2005. Catálogo de pórfidos de la provincia de Río Negro. Serie Contribuciones técnicas. Recursos Minerales N° 27. Instituto de Geología y recursos Minerales. SEGEMAR. 121p. Buenos Aires.
- Frattari, A. y F. Stenico, 2001. El Pórfido. Arquitectura y Técnica. 127 p. Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.p.A. Italia.
- Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M. J., Sabme, P. A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A. R. y Zanettin, B., 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell, Oxford.
- Leynaud, F., H. Millone y D. Jerez, 1992. Evaluación de yacimientos de rocas ornamentales (granitos). Metodología sistemática de investigación. IV Congreso Nacional, I Congreso Latinoamericano de Geología Económica. Actas: p 439-446. Córdoba.
- Linares, E.; E. Llambías y C. Latorre, 1980. Geología de la Provincia de La Pampa, república Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 35 (1): 87-146.
- Llambías, E. J., 1973. Las ignimbritas de la Sierra de Lihuel Calel, provincia de La Pampa. Actas 5° Congreso Geológico Argentino, 4: 55-67. Buenos Aires.
- Llambías, E.J., 1975. Geología de la provincia de La Pampa y su aspecto minero. Convenio provincia de La Pampa-Universidad Nacional del Sur, Informe inédito, 38 p. Santa Rosa. En: Biblioteca de la Dirección de Minas de La Pampa.
- Llambías, E., 1999. Las rocas ígneas gondwánicas. I. El magmatismo gondwánico durante el Paleozoico superior - Triásico. En: Caminos, R. (Ed.): Geología Argentina, Instituto

- de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 29(14): 349-376, Buenos Aires.
- Llambías, E.J., 2001. Complejos magmáticos triásicos al norte de los 40°S. En: Artabe, A.E., Morel, E.M. & Zamuner, A.B. (Eds.) El Sistema Triásico en la Argentina. Fundación Museo de La Plata “Francisco Pascasio Moreno”, La Plata, pp. 55-68
- Llambías, E., 2001. Geología de los cuerpos ígneos. Instituto Superior de Correlación Geológica INSUGEO. Serie Correlación Geológica 15. Ediciones Magna Publicaciones. Tucumán.
- Llambías, E.J. y Leveratto, M.A., 1975. El plateau riolítico de la provincia de La Pampa, Republica Argentina. 2<sup>do</sup> Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Buenos Aires, Actas 1, 99-114.
- Llambías, E.J., Kleiman, L.E., Salvarredi, J.A., 1993. El Magmatismo Gondwánico. In: Ramos, V.A., (Ed.), Geología y Recursos Naturales de Mendoza, Relatorio, XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Mendoza), pp. 53-64.
- Llambías, E., S. Quenardelle y T. Montenegro, 2003. The Choiyoi Group from central Argentina: a subalkaline transitional to alkaline association in the craton adjacent to the active margin of the Gondwana continent. *Journal of South American Earth Sciences* 16: 243-257.
- Lorenz, W. y U. Hilken, 2000. El potencial económico de los recursos minerales de la provincia de La Pampa. Cooperación técnica 94.2254.4 Cooperación Geológica Argentino-Alemana. Tomo I y II. Santa Rosa - Hannover.
- Lorenz, W. Y W. Gwosdz, 2004. Manual para la evaluación geológica técnica de recursos minerales de construcción. 301 Tabellen / hrsg. Von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Staatlichen Geologischen Diensten in der Bundesrepublik Deutschland. Stuttgart: Schweizerbart .
- Malán, J.M., E.E. de Elorriaga, E.E. Mariño & M.A. Fernández, 1996. Estudio geológico-económico preliminar del yacimiento granítico del área Chos Malal, provincia de La Pampa. VI Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Actas: 143-150. Santa Rosa.
- Melchor, R.N., 1999. Redefinición estratigráfica de la Formación Carapacha (Pérmico), Provincia de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54 (2), 99-108.
- Melchor, R.N., A.M.Sato, E.J. Llambías y H. Tickyj, 1999. Documentación de la extensión meridional del terreno Cuyania/Precordillera en la provincia de La Pampa. XIV Congreso Geológico Argentino, Actas I, 156-159.

- Melchor, R.N. y E.J. Llambías, 2000. Hoja Geológica 3766-I Santa Isabel, provincia de La Pampa. Programa Nacional de Cartas Geológicas 1:250.000, Servicio Geológico Argentino. Informe inédito, 41 pág.
- Montenegro, T, S. Quenardelle, y E.J. Llambías, 2003. Estudios termométricos de granitoides de Algarrobo del Águila, provincia de La Pampa. Revista Asociación Geológica Argentina. Vol.58, no.4, p.643-652.
- Muños de La Nava, P., J.A. Romero Escudero, I. Rodríguez Suárez, E. García Romero, A. Crespo Rosa, F. Carrion Moles y M.P. Garbayo Martinez, 1989. Metodología de investigación de Rocas Ornamentales: granitos. Boletín Geológico y Minero, Vol. 100-3, (433-453).
- Nestiero, O., 1993. Rocas ornamentales – propuesta de caracterización tecnológica. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas V : 33-40. Mendoza.
- Nestiero, O., 1994. Rocas ornamentales: propuesta de clasificación ornamental. Encuentro Internacional de Minería, Actas I: 137-140. Buenos Aires.
- Nestiero, O., 1994. Rocas ornamentales – Aseguramiento de calidad. Encuentro Internacional de Minería, Actas I: 133-136. Buenos Aires.
- Sato, A.M., Tickyj, H., Llambias, E.J., Sato, K., 1999. Rb-Sr, Sm-Nd and K-Ar age constraints of the Grenvillian Las Matras pluton. Central Argentina. Actas II South American Symposium on Isotope Geology. Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 34, 122-126.
- Sato, A.M., H. Tickyj, E.J.Llambías y K. Sato, 2000. The Las Matras tonalitic-trondhjemitic pluton, Central Argentina: Grenvillian age constraints, geochemical characteristics, and regional implications. Journal of South American Earth Sciences 13, 587—610.
- Sotorres, E y J. Tullio, 1995. Estudio de los recursos mineros de la provincia de La Pampa, región oriental y central. Dirección de minas de La Pampa y Facultad de Ciencias Humanas, UNLPam.

## ANEXO

### Planillas de sistematización de datos

Área	Cerro Colón		
Afloramiento	A		
Ubicación	36° 55' 59.37" S, 67° 20' 6.31" O		
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>			
Descripción macroscópica	Roca de grano fino, porfírica, con pasta afanítica, de color verde oliva con tintes negros. 5 – 10 % de fragmentos de cristales de Qz. Bandas gris verdosas de alteración.		
Color	5 GY 6/1		
Espesor	35 m		
Rumbo y buzamiento	N 65, 12 N		
Límites	Claros, capas tabulares de entre 5 y 15 cm de espesor		
Alteración	Baja		
Muestras	Petrografía: N° 1 <sub>A</sub> , 2 <sub>A</sub> , 3 <sub>A</sub> , 4 <sub>A</sub> , 5 <sub>A</sub> Ensayos físico-mecánicos: 6 <sub>A</sub> , 7 <sub>A</sub> , 8 <sub>A</sub>		
<b>DISCONTINUIDADES</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
Juegos de fracturación	Horizontal (estratificación) N65, 15 NO N60, 10 NO N85, 5 NO N63, 6 NO N73, 10 NO N60, 14 NO	Vertical (frontal) N20, 60 S N20, 75 S N21, 65 ESE N23, 70 ESE N22, 59 ESE N23, 68 ESE	Perpendicular (oblicua) N290, 86 NE N201, 60 S N197, 90 N194, 90 N191, 85 N N87, 83 N
Abertura	Inferior a 1 cm		
Densidad de fracturas	Alta 5 a 20 cm	Alta 15 a 30 cm	Alta 20 a 80 cm
<b>HETEROGENEIDADES</b>			
Variaciones de color	No se observan importantes. Pequeñas variaciones entre un evento depositacional y otro. Pequeñas bandas de colores más oscuros por alteración		
Megacristales - Megaclastos	Predominio de tamaño de grano fino, con megaclastos de 1 a 2 cm		
Venas y venillas	no		
Oxidación superficial	Costra de alteración de 1 a 2 cm de espesor con coloración más oscura hacia el techo y base de la capa		
Otras variaciones			

Área	Cerro Colón		
Afloramiento	B		
Ubicación	36° 55' 53.96" S; 67° 20' 23.55" O		
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>			
Descripción macroscópica	Roca masiva, porfírica, con pasta afanítica, 5 – 10 % de cristales de feldespatos tabulares blancos alterados, de hasta 3 mm. Filetes de flujo sobre las superficies erosionadas.		
Color	5 GY 4/1 verde azulado		
Espesor	30 m		
Rumbo y buzamiento	N 90, 17 N N 80, 27 N		
Límites	Ondulados, claros		
Alteración	Baja		
Muestras	Petrografía y respuesta al pulido: N° 9 <sub>B</sub> , 10 <sub>B</sub> , 11 <sub>B</sub>		
<b>DISCONTINUIDADES</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
Juegos de fracturación	Horizontal (estratificación) N90, 10 N N180, 20 O N325, 31 O N15, 23 O	Vertical (frontal) N21, 85 E N25, 78 O N66, 85 O N56, 85 O N50, 85 O N43, 86 E	Perpendicular N290, 87 S N291, 88 N N297, 85 N N296, 85N N300, 86 N N293, 90
Abertura	Inferior a 2 cm		
Densidad de fracturas	Media	Media-Alta	Media-Alta
<b>HETEROGENEIDADES</b>			
Variaciones de color	No se observan		
Megacristales - Megaclastos	No. Se distinguen litoclastos de ignimbritas con filetes de flujo		
Venas y venillas	Se observan, en proporciones muy pequeñas, inferior al 1 %		
Oxidación superficial			
Otras variaciones	Miarolas. Inferior al 1 %		

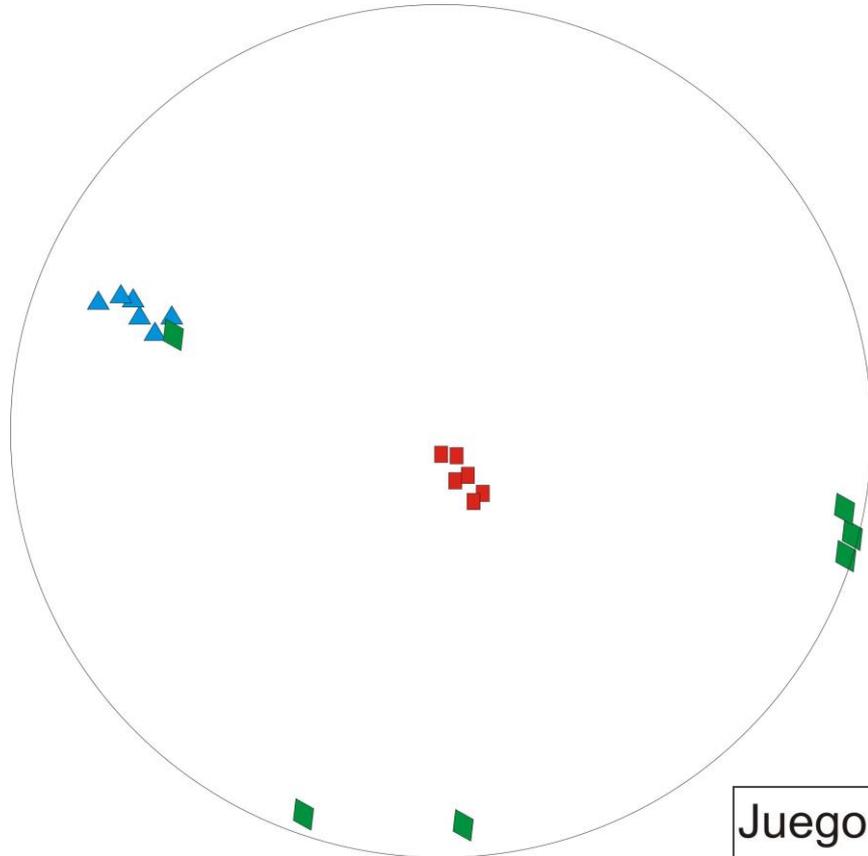
Área	Cerro Colón		
Afloramiento	C		
Ubicación	36°55'51.06" S; 67°20' 44.10" O		
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>			
Descripción macroscópica	Roca porfírica, con cristales de feldespato blanco y Qz (30 %) en pasta afanítica gris oscura. Abundantes litoclastos de textura afanítica, gris oscuro a negros, angulosos a subredondeados, de varios cm a pocos mm de diámetro, que componen el 5 – 10 % de la roca.		
Color	N 4		
Espesor	76 m		
Rumbo y buzamiento	N 80, 25 N		
Límites	Claros, acuñados		
Alteración	Baja ,tipo catafilar		
Muestras	Petrografía y respuesta al pulido: N° 12 <sub>C</sub> , 13 <sub>C</sub>		
<b>DISCONTINUIDADES</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
Juegos de fracturación	Horizontal (estratificación) N330, 18 NE N350, 10 NE N348, 5 ENE N355, 10 E N340, 12 E	Vertical (frontal) N35, 75 E N22, 60 SE N16, 70 E N22, 58 E N8, 60 E N25, 58 SE	Perpendicular N20, 54 E N23, 66 E N28, 64 E N31, 69 E N30, 68 E N65, 88O
Abertura	Inferior a 2 cm		
Densidad de fracturas	Alta	Alta	Alta
<b>HETEROGENEIDADES</b>			
Variaciones de color	No se observan		
Megacristales -Megaclastos	Si. Roca afanítica negra, de hasta 10 cm de diámetro		
Venas y venillas	Se observa el juego de fracturas “perpendicular” relleno generalmente con epidoto. Rumbo predominante N90		
Oxidación superficial	Baja		
Otras variaciones			

Área	Cerro Colón		
Afloramiento	D		
Ubicación	36° 55' 53.9" S; 67° 20' 52.7" O		
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>			
Descripción macroscópica	Roca de grano fino, porfírica, con abundantes cristales (45 %) blanquecinos, de Qz y Fe. Abundantes litoclastos afaníticos gris-negros de grano fino, de hasta 10 cm de diámetro, 2 cm en promedio, sin distribución regular.		
Color	5 G Y 6/1		
Espesor	76 m		
Rumbo y buzamiento	N75, 18 N		
Límites	Claros, ondulados		
Alteración	Media, costra de alteración importante, de aspecto rojizo oxidado, tipo catafilar.		
Muestras	Petrografía y respuesta al pulido: N° 14 <sub>D</sub>		
<b>DISCONTINUIDADES</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
Juegos de fracturación	Horizontal (estratificación) N65, 16 NNO N85, 15 N N70, 15 N N71, 24 N N287, 30 N N280, 28 N	Vertical N90, 90 N68, 66 NNO N83, 84 S N82, 73 N N80, 85 S N67, 81 N N76, 69 N	Perpendicular (en sentido de la quebrada) N2, 90 N339, 85 E N10, 88 E N6, 88 E N351, 82 O N345, 78 O N348, 85 O
Abertura	Inferior a 2 cm		
Densidad de fracturas	Alta	Alta (muy variable)	Media - Baja
<b>HETEROGENEIDADES</b>			
Variaciones de color			
Megacristales -Megaclastos	Litoclastos de hasta 10 cm de diámetro, (10 %) roca afanítica negra, ídem afloramiento C		
Venas y venillas	Micro venillas de dirección N-S, rellenas con epidoto, de 2 mm de ancho		
Oxidación superficial			
Otras variaciones			

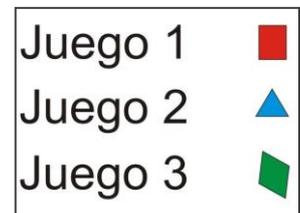
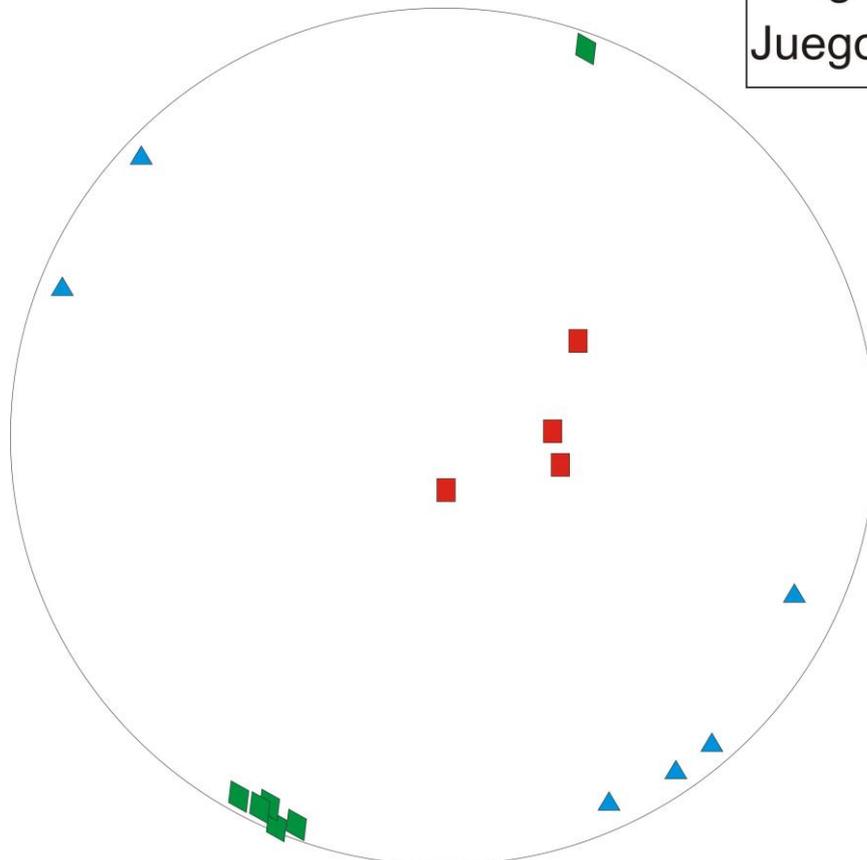
Área	Cerro Colón		
Afloramiento	E		
Ubicación	36° 55' 49.42" S; 67° 20' 49.79" O		
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>			
Descripción macroscópica	Ídem afloramiento D. Aparente menor proporción (5%) de litoclastos, aunque de mayor tamaño. Predominan de 3 cm de longitud.		
Color	5 G Y 6/1		
Espesor	76 m		
Rumbo y buzamiento	N60, 17 NO		
Límites	Claros, ondulados		
Alteración	Baja en general, media en sectores mas expuestos.		
Muestras	Petrografía, respuesta al pulido, ensayos físico-mecánicos: N° 15 <sub>E</sub>		
<b>DISCONTINUIDADES</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
Juegos de fracturación	Horizontal (estratificación) N55, 15 NO N58, 26 NO N57, 25 NO N60, 12 NO N75, 16 NO N56, 10 NO	Vertical (2juegos) N115, 86 N113, 90 N115, 90 N135, 90 N115, 90 N117, 87 S N120, 81 S	Perpendicular N20, 85 SE N34, 80 SE N22, 70 SE N27, 76 SE N10, 65 SE N23, 90 N27, 85 SE
Abertura	Inferior a 2 cm. predominan las diaclasas cerradas		
Densidad de fracturas	Variable. Aumenta hacia la parte superior del afloramiento	Variable. Ídem.	50 cm aproximadamente
<b>HETEROGENEIDADES</b>			
Variaciones de color			
Megacristales -Megaclastos	Sí. Roca afanítica negra. Ídem anteriores.		
Venas y venillas	Diaclasas de dirección N y NE, rellenas con epidoto		
Oxidación superficial			
Otras variaciones			

Estereogramas de fracturación de afloramientos

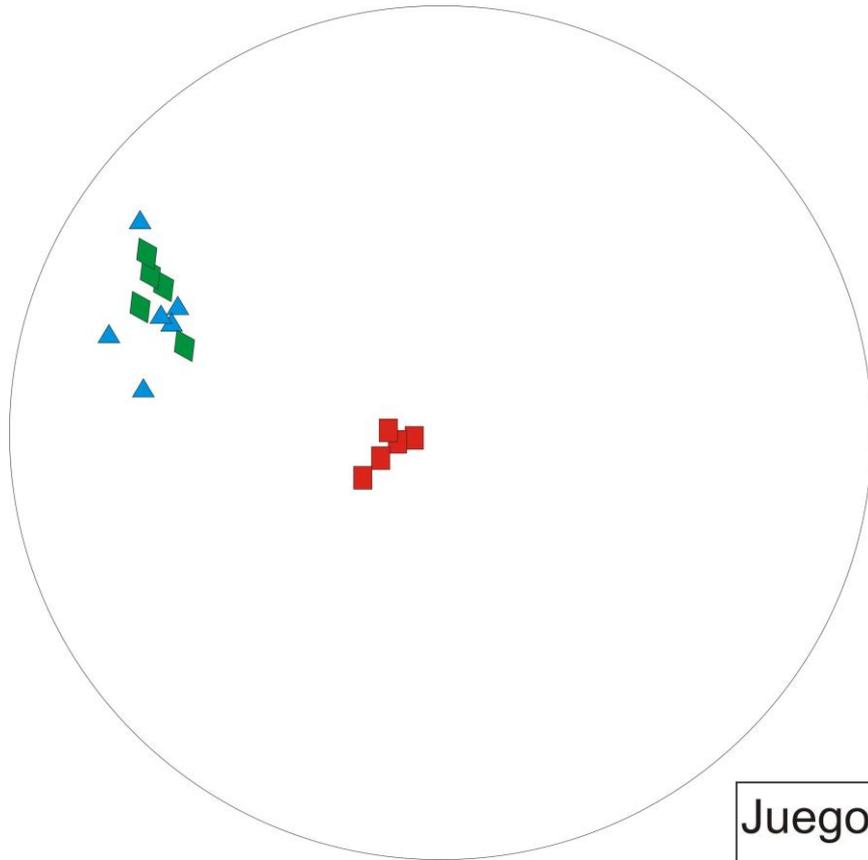
Afloramiento A



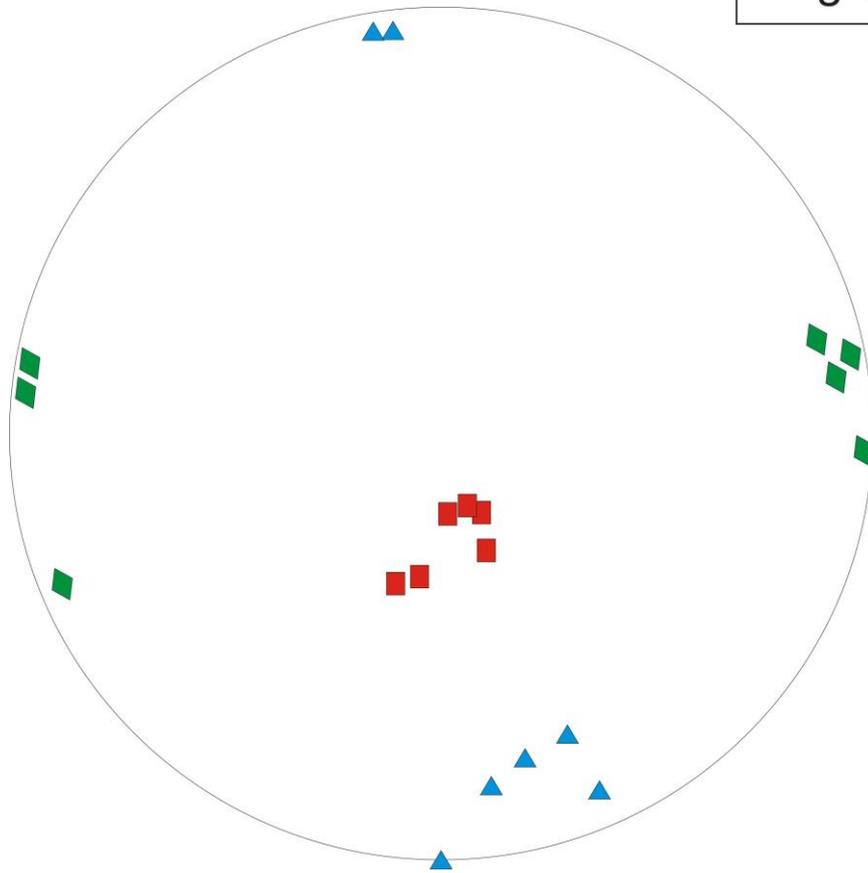
Afloramiento B



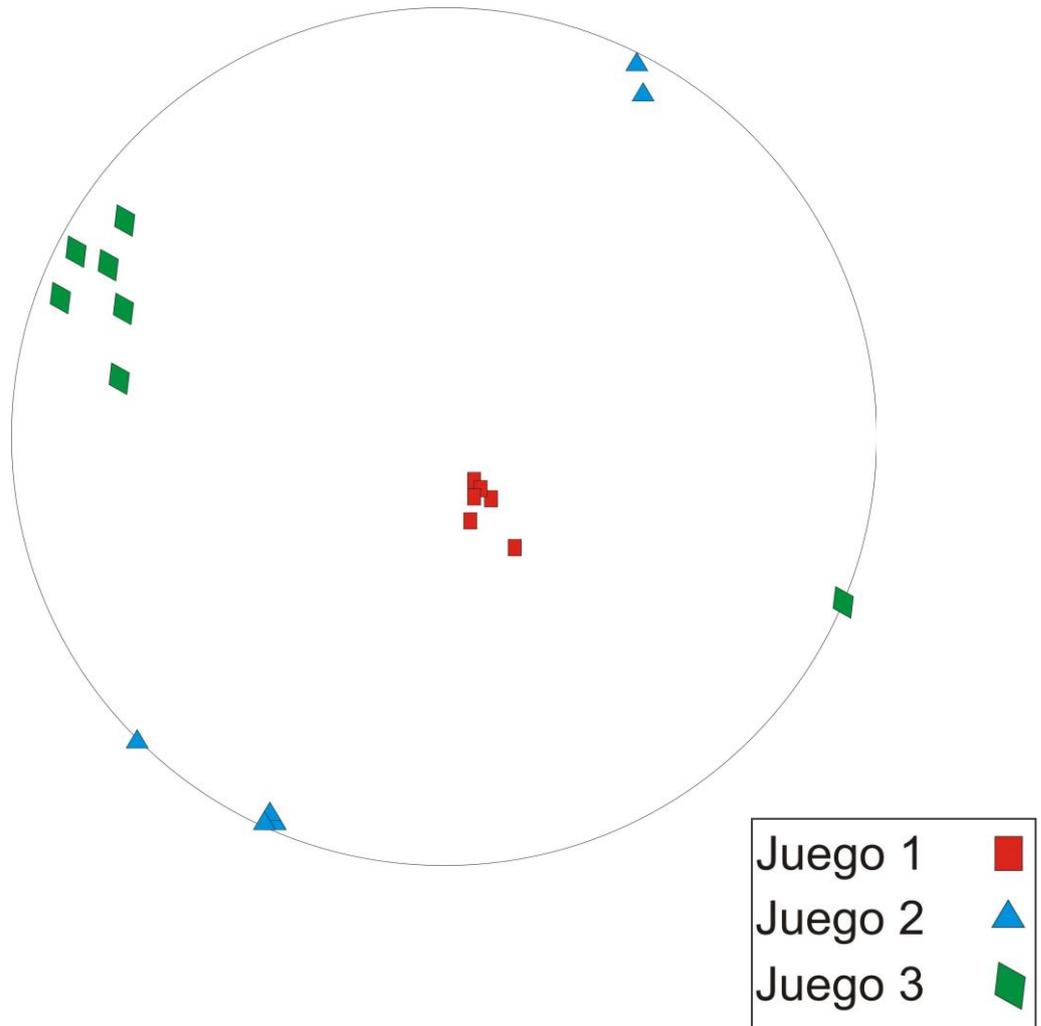
Afloramiento C



Afloramiento D



Afloramiento E



## Análisis INTEMIN

### *Ensayos físico mecánicos*

Resistencia a la compresión: según norma ASTM C 170

Desgaste a la abrasión en máquina Dorry

*Resultados obtenidos:*

#### 1. Determinación de la resistencia a la compresión

Los ensayos de las probetas recibidas se realizaron según el procedimiento de la norma ASTM C170-94, en condición seca.

<b>Muestra N° 4856-00001</b>				
<b>Submuestra N°</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Tensión (MPa)</b>
<b>4856 – 01 – 1</b>	51,2	50,3	50,0	<b>264,24</b>
<b>4856 – 01 – 2</b>	50,8	49,7	50,2	<b>226,25</b>
<b>4856 – 01 – 3</b>	50,2	50,1	50,4	<b>266,24</b>
<b>4856 – 01 – 4</b>	50,9	50,4	50,4	<b>243,97</b>
<b>4856 – 01 - 5</b>	49,2	49,8	50,0	<b>273,28</b>

<b>Promedio <math>\sigma_f</math> (MPa)</b>	<b>254,80</b>
<b>Desviación Standard (<math>\delta</math>)</b>	<b>19,33</b>

<b>Muestra N° 4856-00002</b>				
<b>Submuestra N°</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Tensión (MPa)</b>
<b>4856 – 02- 1</b>	50,5	51,7	50,6	<b>243,91</b>
<b>4856 – 02- 2</b>	49,2	50,3	49,5	<b>279,40</b>
<b>4856 – 02 – 3</b>	51,5	52,0	51,0	<b>241,87</b>
<b>4856 – 02 – 4</b>	51,0	51,7	51,6	<b>*</b>
<b>4856 – 02 - 5</b>	51,4	51,9	49,7	<b>328,84</b>

<b>Promedio <math>\sigma_f</math> (MPa)</b>	<b>273,50</b>
<b>Desviación Standard (<math>\delta</math>)</b>	<b>40,72</b>

\* No se consideró para el cálculo por presentar la probeta una discontinuidad que indujo la rotura en forma anticipada.

## 2. Determinación de la resistencia a la abrasión

El ensayo se efectuó utilizando el método de desgaste Dorry con un recorrido de pista de 1.000 m. Los resultados se muestran en el cuadro siguiente:

IDENTIFICACIÓN	PROBETA	DESGASTE (mm)	
Muestra A	I	0,36	<b>0,38</b>
	II	0,39	
Muestra B	I	0,53	<b>0,53</b>
	II	0,54	

## 3. Determinación de la densidad relativa y absorción

Muestra	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Absorción %	Porosidad Abierta %
A - 1	2,64	0,06	0,16
A - 2	2,65	0,03	0,08
A - 3	2,65	0,10	0,25
A - 4	2,64	0,10	0,25
A - 5	2,64	0,12	0,32
<b>Promedio</b>	<b>2,64</b>	<b>0,08</b>	<b>0,21</b>
B - 1	2,66	0,21	0,56
B - 2	2,64	0,31	0,82
B - 3	2,65	0,22	0,59
B - 4	2,64	0,24	0,67
B - 5	2,64	0,25	0,63
<b>Promedio</b>	<b>2,65</b>	<b>0,25</b>	<b>0,65</b>

### *Ensayos químicos*

#### Análisis semicuantitativo por Fluorescencia de Rayos X

#### *Resultados obtenidos:*

#### 4. Análisis semicuantitativo por FRX

El análisis se llevó a cabo utilizando la siguiente metodología analítica:

Estabilización de las muestras a 105-110 °C y posterior barrido semicuantitativo por fluorescencia de rayos X, dispersivo en longitud de onda, empleando como método de preparación de muestras prensado con un agente aglomerante.

Los resultados se muestran en el cuadro siguiente:

<b>Analito</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>Analito</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
SiO <sub>2</sub> (g/100g)	72,2	66,6	NiO (g/100g)	0,01	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/100g)	14,4	18,0	CaO (g/100g)	2,40	1,90
MnO (g/100g)	0,12	0,06	MgO (g/100g)	0,08	0,07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/100g)	2,20	3,20	BaO (g/100g)	0,10	0,24
CoO (g/100g)	0,01	0,02	SrO (g/100g)	0,06	0,06
TiO <sub>2</sub> (g/100g)	0,19	0,46	Na <sub>2</sub> O (g/100g)	0,19	0,18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/100g)	0,09	0,13	K <sub>2</sub> O (g/100g)	5,80	7,70
ZrO <sub>2</sub> (g/100g)	0,01	0,07	Rb <sub>2</sub> O (g/100g)	0,02	0,03
ZnO (g/100g)	0,02	0,08	SO <sub>3</sub> (g/100g)	0,06	0,07
PbO (g/100g)	< 0,01	0,02	Pérdida por calcinación a 1000 °C (g/100g)	1,60	0,80
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/100g)	0,04	0,02	<b>Total</b>	<b>99,61</b>	<b>99,72</b>

Personal interviniente: Bertín Ortega, Eduardo Ojeda, Roberto Cravero, Federico Carlín y María Beatriz Ponce