

LOS SUPUESTOS DEPÓSITOS DE CAOLÍN

DE LA FALDA OCCIDENTAL DEL CORDÓN AMBATO

(CATAMARCA)

Por FÉLIX GONZÁLEZ BONORINO

RESUMEN

En el área de Mutquín-Cerro Blanco-Michango, al pie occidental del cerro del Manchao, Catamarca, aflora, dentro de esquistos y rocas graníticas del basamento, una faja de alteración hidrotermal cuyo componente principal es el cuarzo, acompañado de algo de muscovita (y sericita) y de feldespatos alcalinos. La fracción de naturaleza arcillosa es mucho más escasa de lo que generalmente se ha supuesto; en el mejor de los casos alcanza apenas a 3 por ciento, y predomina en ella una arcilla potásica (hidromica). Los diagramas de difracción de rayos X indican una escasa proporción de material caolínico, dentro de esta fracción arcillosa. El material obtenido por lavado industrial en la planta (ya abandonada) de la mina « San Alfredo », Mutquín, contiene cuarzo, feldespatos alcalinos y sericita (e hidromica) en partes iguales, con vestigios en su parte coloidal de un mineral afín a la caolinita. Sobre el río Siján, donde la silicificación fué más intensa, se explota la roca de alteración por su elevado contenido de cuarzo, separándose por elutriación aérea, entre otras fracciones, un polvo impalpable supuesto rico en caolín, pero que en realidad está formado esencialmente por cuarzo, bastante sericita (¿e hidromica?) y solamente 15 por ciento de material caolínico. La faja de silicificación se formó en una zona de sisa (« shear ») dentro del basamento, probablemente en tiempos preterciarios. Esta asociación de zonas de alteración con fajas de milonitización se encuentra repetida en otros lugares de la misma región.

INTRODUCCIÓN

Entre las localidades de Mutquín y Rincón, provincia de Catamarca, al pie de la falda occidental del cerro del Manchao, existe dentro del basamento cristalino un área de una roca cuarzosa, que se extiende como una faja de rumbo aproximado norte-sur. La roca, que posee una

coloración blanquecina y se desintegra fácilmente en un agregado pulverulento, ha sido considerada hasta ahora rica en caolín, y en ese carácter ha sido objeto de algunas tentativas de explotación. Los trabajos de mayor importancia son los de Mutquín (minas « San Alfredo » y « María Arsenita ») y Michango (minas « Don Luis » y « Doña Cecilia »). También se ha buscado aprovechar su gran riqueza en cuarzo, explotándose con éxito, desde hace varios años, a la altura del río Siján (mina « Cerro Blanco »).

El área en cuestión fué visitada por mí a principios de 1951, en el curso de estudios geológicos regionales en las sierras orientales de Catamarca. Aproveché esa circunstancia para realizar algunos relevamientos de los principales lugares donde se hubiera ensayado la explotación de la roca de alteración, y recoger muestras destinadas a estudios analíticos de laboratorio; las observaciones en el terreno estuvieron limitadas, por falta de tiempo, a alguno de los aspectos geológico-petrográficos críticos de la formación. Lejos de pretender ser un estudio exhaustivo del tema, el presente trabajo tiene como objetivo principal el establecer la verdadera naturaleza petrográfica del material de alteración.

Estos yacimientos han sido visitado anteriormente por varios geólogos, entre cuyos informes, la mayoría inéditos, se destacan los de Beder (1922), Angelelli y Trelles (1937) y Sgrosso (1947). Todos ellos se refieren al contenido de caolín en la roca, aunque en ninguno de ellos — excepto en parte Beder — presenta estudios petrográficos del material cuya explotación se consideraba.

Deseo dejar aquí constancia de la ayuda recibida de las siguientes personas: del doctor Julián A. Fernández, durante el trabajo de campo; del doctor M. Butschkowskyj, del Museo Argentino de Ciencias Naturales « Bernardino Rivadavia », al facilitarme el uso del equipo de rayos X de dicha institución; de la doctora M. E. de Di Lorenzo, de la misma institución, que dibujó una de las figuras; del ingeniero E. E. Galloni y la doctora M. E. J. de Abeledo, por la obtención de la micrografía electrónica, y del señor P. Bordarampé, de A. P. Green Argentina, S. A., a quien debo la medición de un punto de fusión.

Bosquejo geológico del cordón Ambato

(Fig. 1)

Llamaremos por conveniencia cordón Ambato a la unidad orográfica que se extiende entre la cuesta de La Chilca (al SE de Andalgalá) y las cercanías de la ciudad de La Rioja, y que puede ser dividida en los siguientes tramos, de norte a sur: sierras de Huañomil, del Manchao, de Ambato y de Bazán. Las tres primeras se suceden sin solución de

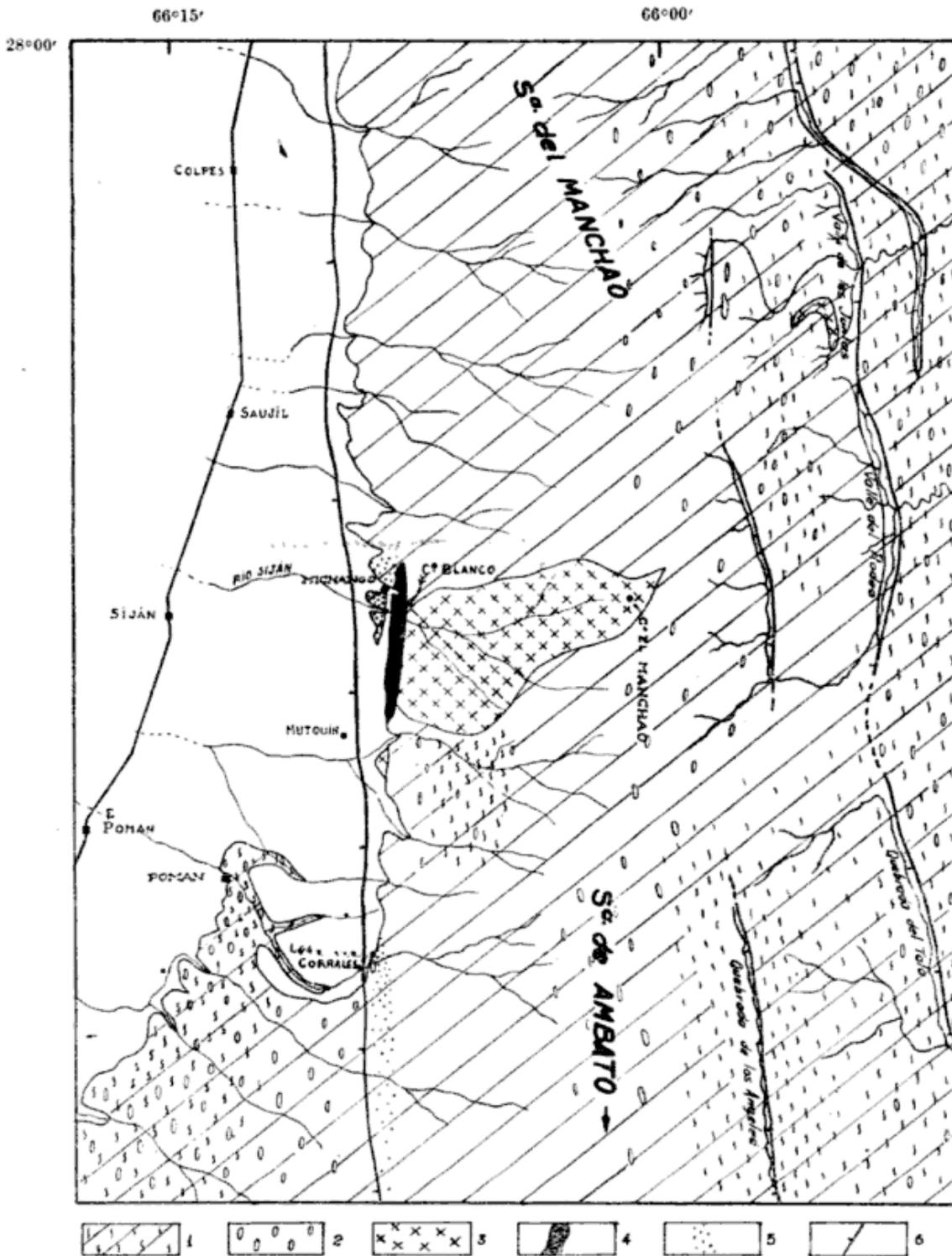


Fig. 1. — Bosquejo geológico de la sierra del Manchao, Catamarca. Referencias : 1, Micacitas y filitas cuarzosas, etc., en partes con inyección magmática intensa (virgulas); 2, Cuerpos graníticos lenticulares, dentro de las rocas metamórficas; 3, Granito de los cuerpos posttectónicos y leptotectónicos; 4, Cuerpo de roca cuarzosa hidrotermal; 5, Zonas de deformación sísmica; 6, Falla, indicando bloque hundido. Escala, 1 : 400.000.

continuidad, terminando la de Ambato en la quebrada de La Cébila. Esta última es una depresión originada por una falla de rumbo sensiblemente meridional, por lo que, dada la dirección casi sudoeste que lleva aquí el cordón corta al mismo oblicuamente. El tramo siguiente se sitúa algo desplazado al oeste, y se extiende hasta la quebrada del Carrizal, frente a Cebollar, que tiene el mismo significado estructural que la anterior; es decir, está determinado por otra falla que transecta oblicuamente al cordón. Esta misma fractura, dicho sea de paso, sigue al norte por el valle de Mazán. Esta disposición « en échelon » de las unidades estructurales del cordón se encuentra insinuada ya más al norte, pues si bien no existe allí una obvia discontinuidad orográfica, a partir de la latitud de Pomán comienza a manifestarse hacia el sur una fractura meridional que coincide con el brusco cambio de rumbo (de sur a sudoeste) del cordón. Tomaremos como el límite entre las sierras del Manchao y de Ambato al punto donde esta falla corta a la línea de cumbres (portezuelo de la Cruz).

Al norte de la latitud $28^{\circ}30'$, el cordón Ambato representa el borde occidental de un haz de sierras desprendido del macizo del Anconquija (González Bonorino, 1950b, 1951); su altura aumenta hacia el sur, culminando en el cerro El Manchao (4300 m s.n.m.), desde donde desciende nuevamente, conservando la sierra de Ambato una altura pareja, cercana a los 3000 metros.

Rocas metamórficas. — El cordón Ambato está compuesto en su mayor parte por esquistos cuarzo-micáceos, generalmente bastante inyectados por material granítico; éste se concentra localmente en cuerpos de reducido tamaño las más de las veces, pero que en dos lugares alcanzan proporciones considerables, a saber, en la sierra de Bazán, al sur de la quebrada de La Cébila, y en el cerro El Manchao. El primer cuerpo es mucho más extenso, aunque sus límites no son bien conocidos; el del Manchao es un stock de 15 kilómetros en su mayor dimensión expuesta.

La composición geológica del tramo septentrional del cordón, al norte de la sierra del Manchao, es descripta en otro lugar (González Bonorino, 1950b); aquí nos limitaremos a dar una reseña del tramo entre los paralelos $28^{\circ}00'$ y $28^{\circ}30'$, que comprende casi exactamente a la mencionada sierra (fig. 1).

Las filitas y micacitas cuarzosas inyectadas de la sierra de Huañomil, descripta en nuestro trabajo sobre la Hoja 13e, penetran directamente en la sierra del Manchao conservando su rumbo SSE, es decir, levemente sesgadas respecto a la dirección del cordón. En la parte baja de la falda occidental las rocas metamórficas se encuentran relativamente inalteradas, pero en el resto de la sierra la inyección es intensa, y son numerosos los cuerpos lenticulares de granito y los diques concordantes

de pegmatitas dentro de las migmatitas arteríticas. La inclinación de la esquistosidad oscila en general entre 70° y 25° , siempre al E y ENE; los planos de foliación son paralelos a la estratificación en la parte occidental, no así en la oriental, donde la inyección ha ido acompañada de repliegues o pliegues de arrastre, con desarrollo de esquistosidad de plano axial. En la falda oriental, especialmente al norte del cerro El Manchao, la inclinación de los esquistos inyectados es, bastante consistentemente, de unos 30° .

En la falda occidental norte de la sierra del Manchao, las filitas y micacitas son cuarzo-biotíticas con meta-cristales de moscovita, y color gris verdoso. En la falda opuesta la composición es la misma, pero la segregación del cuarzo por un lado y la mica por el otro origina una estructura bandeada característica, ya descrita en el trabajo arriba mencionado (González Bonorino, 1950b, págs. 17-18). Este bandeo caracteriza, en mayor o menor grado, a toda la falda oriental de la sierra del Manchao y, hasta cierto punto, a las sierras situadas al este (Fariñango, Graciana, Ancasti).

Al pie del cerro El Manchao, entre Saujil y Siján, hay una faja donde los esquistos presentan un aspecto distinto al ordinario: su grano es más fino, y la esquistosidad está desarrollada en dos o más planos oblicuos entre sí. Estas rocas pueden ser consideradas texturalmente como pizarras, aunque de exfoliación prismática o astillosa más bien que lajosa, debido a los referidos juegos de planos de clivaje que se entrecruzan. Otra característica de estas rocas es un bandeo peculiar, que resulta de la alternancia de capas de color gris verdoso azulado con otras de tono gris crema, en general de varios centímetros de espesor; el bandeo se manifiesta especialmente en los lugares desgastados por el agua de los torrentes. Las bandas claras contienen sobre todo cuarzo y sericita, mientras que las oscuras contienen además abundante clorita.

La litología descrita se encuentra a la altura del río Siján; ya en Michango, unos 5 kilómetros más al norte, los esquistos son filitas de grano intermedio entre las micacitas finas propias del complejo en general, y las pizarras descritas; presentan una esquistosidad muy marcada, y frecuentes corrugamientos. Encierran además filones concordantes de rocas graníticas y pegmatíticas, que muestran señales de deformación tectónica.

Al sur del cuerpo granítico del Manchao, la falda occidental está formada por micacitas finas cuarzo-biotítico moscovíticas, generalmente algo bandeadas, pero en mucho menor grado que las de la falda oriental, y que en una extensa área han sido profundamente modificadas por inyección magmática. Esta área migmatítica se extiende desde el granito del Manchao, por la media falda (a la altura de Mutquín) y se continúa (enlazando probablemente por debajo del pie-de-monte) con el

área similar que forma la sierra inmediatamente al este de Pomán, la que a su vez se extiende hacia el sur a lo largo de toda la falda del cordón Ambato, hasta La Cébila.

La parte del complejo metamórfico que puede considerarse como inafectada por la inyección, en la falda occidental de la sierra del Manchao, es la parte superior de la misma, y hasta cierto punto la parte baja a la altura del Mutquín. Aun en estas áreas, sin embargo, los esquistos encierran numerosas venas y filones y diques concordantes de granito y pegmatita. En la falda superior, la inclinación de los esquistos es consistentemente al E o al ENE, alrededor de 30°; en la parte inferior, en cambio, se nota que en partes los esquistos forman suaves estructuras anticlinales de algunas decenas de metros de longitud de onda, como las que existen más al norte, en la sierra de Huañomil (González Bonorino, 1950b, pág. 58). Esto no vale para las zonas migmatíticas, donde la foliación se aproxima a la vertical (Pomán).

A la altura de Pomán, al pie de la falda superior de la sierra (que allí se empina bruscamente luego del ascenso suave hasta Los Corrales) hay una faja de esquistos de grano fino muy similar, y en partes idéntica, a la que se encuentra en el río Siján. Allí encontramos de nuevo la característica alternancia de pizarras verdosas con pizarras (ultramilonitas, véase más adelante) de tonalidades claras, con diversos juegos de planos de clivaje. Lateralmente, estas rocas pasan por gradación a los esquistos filíticos y micacíticos, cuarzosos, propios de la parte alta de la sierra.

En la falda oriental de la parte sur de la sierra de Ambato están las mismas micacitas finas, cuarzosas, bandeadas, de la parte norte; su actitud es fuertemente inclinada al este. A partir del tercio superior de la falda, se extiende una faja de intensa migmatización, cuyo máximo se halla a la altura de la quebrada de Los Ángeles. La inyección disminuye algo hacia la base de la sierra, pero sin desaparecer.

Finalmente, corresponde mencionar algunos pequeños cuerpos de calizas del área migmatítica de Pomán, asociados con fajas finas de anfibolitas.

Zonas de milonitización en la falda occidental. — El significado de estas fajas de facies pizarreña dentro del ambiente de esquistos de metamorfismo relativamente elevado, que hallamos en Siján y en Los Corrales, presenta gran interés, sobre todo por estar relacionado con el origen del cuerpo cuarzoso de Mutquín-Michango. En primer lugar, el pasaje de esta facies a la facies normal es perfectamente gradual, por lo que hay que descartar la posibilidad, atractiva a primera vista, de que se trate de una formación independiente y de menor edad — paleozoica por ejemplo — incluida tectónicamente dentro del basamento cristalino.

Como no puede, por otra parte, suponerse que áreas tan restringidas se hubieran librado de la transformación que afectó todo el resto del complejo, hay que admitir forzosamente que esas rocas han *perdido en gran parte el metamorfismo original*. Que esta explicación es válida salta a la vista al observar el carácter fuertemente tectónico de las pizarras bandeadas. En efecto, la diversidad de planos de clivaje, la cataclasis de los pequeños granos de cuarzo y otros detalles, indican que estas rocas han sido fuertemente deformadas. Las capitas de roca esquistosa gris amarillenta o crema, tienen todas las características de milonitas derivadas de rocas graníticas, especialmente por su composición y sus ásperos planos de esquistosidad. Se trata seguramente de filones y venas concordantes graníticas y/o pegmatíticas, milonitizadas juntamente con los esquistos en que se hallan alojados. Al referirnos a la faja del río Siján, mencionamos la presencia de filones de este tipo, ya algo tectonizados, en la prolongación al norte de la misma (río Michango).

Menos de un kilómetro al norte de Los Corrales, donde se encuentra más desarrollada la faja diafóretica austral, hay un cuerpo granítico de unos 100 metros de espesor, alargado de norte a sur como los muchos que hay en esa región, cuyo borde original está en contacto con los esquistos pizarreños bandeados. El río Los Corrales los corta de través, y permite observar perfectamente la relación entre ambas formaciones — granito y pizarras, — que es sumamente ilustrativa. Pasando la parte central del cuerpo ígneo hacia el este, se advierte que el granito va ganando, en cataclasis, pasando primero a (orto) gneis y luego a milonita; en este punto comienzan a verse las fajas de pizarras verdosas, con abundantes bandas de la roca esquistosa gris crema — ultramilonitas — que van disminuyendo hasta desaparecer.

Es, por lo tanto, evidente que las fajas pizarreñas representan zonas de *sisas*¹ localizadas, que han provocado en las rocas afectadas una diaforesis (metamorfismo retrogresivo) bien evidente. Zonas similares se encuentran en la región de Amanao-Visvis, algunos kilómetros al al noroeste (González Bonorino, 1950a, pág. 28 y sig.), donde la milonitización ha producido exactamente los mismos tipos litológicos².

Las rocas graníticas. — El principal cuerpo intrusivo de la sierra del Manchao es el stock granítico que aflora en la falda occidental del cerro de ese nombre, y que se extiende apenas hasta la falda opuesta. La roca

¹ Usamos y proponemos aquí este término como equivalente de « shear », con el cual comparte el origen (Latín *scissa*, de *scindere*, hendir). La palabra *sisas* (literalmente, corte al sesgo) es más breve y eufónica que otras expresiones en uso (esfuerzo de corte, cizalladura, etc.).

² La ultramilonita gris crema es prácticamente igual a la roca ilustrada en lámina XIII, 1 del trabajo citado.

es un granito gris claro a rosado, de grano mediano a grueso (4-5 mm), con dos micas pero más rico en biotita, con individuos tabulares de microclino que sobresalen algo por su tamaño. El granito encierra numerosas inclusiones de esquistos en las cercanías de los contactos, de distintas dimensiones y más o menos inyectados; los filones y diques de pegmatita y leucogranito son también comunes.

Otros cuerpos menores se encuentran del lado sur de la boca de la quebrada de Mutquín, y en el valle de Las Juntas, al sur del río La Salvia, del lado oriental norte de la sierra del Manchao. La extensión del primer cuerpo nos es desconocida, pues por el oeste está limitado por los depósitos del pie de la sierra; está formado por un granito muy similar, pero de grano algo más fino que el del Manchao. El granito de Las Juntas es una masa semiconcordante compuesta por un granito relativamente grueso, porfiroide, aunque en partes el grano se vuelve más fino. La ubicación y el tamaño de los cuerpos puede ser apreciado en el bosquejo geológico de la figura 1.

Aparte de estos cuerpos, hay dentro de los esquistos y migmatitas de casi toda la sierra una gran cantidad de masas pequeñas (desde pocos metros hasta algunos centenares en longitud), más o menos lenticulares y concordantes con la foliación de las rocas metamórficas. Estos cuerpos son esencialmente idénticos a los que se encuentran más al norte, en la Hoja 13e (cuerpos sintectónicos; ver González Bonorino, 1950 b); son especialmente abundantes en la zona migmática de Pomán.

Estructura de la sierra. — La sierra del Manchao es, como todo el cordón Ambato, un bloque de basamento volcado hacia el este; en ciertas áreas de la falda oriental se encuentran restos de la peneplanicie terciaria — disecada y algo rebajada por cierto, pero todavía mostrando la notable regularidad que caracteriza a dicha superficie de erosión. Ello se observa especialmente en la parte norte, donde pasa a la sierra de Huañomil.

Una falla longitudinal de algunos miles de metros de rechazo corre al pie occidental del cordón, siendo la principal de todas la que corta el basamento en la región. La falla no es, sin embargo, una sola y única a todo lo largo de toda la sierra; la que viene del norte, pasando el cerro El Manchao va perdiendo rechazo, no tanto por descenso del bloque como por el ascenso gradual, hacia el sur, de otro bloque que acaba por hacerse el principal, formando de ahí en adelante la sierra de Ambato. La falla anterior se desvanece poco más al sur del portezuelo de la Cruz, y otra situada más al oeste ocupa su lugar, aunque su orientación es algo oblicua respecto a la primera (fig. 1).

El hecho que la falla pase muy cerca de la zona de milonitización debe ser considerado esencialmente como una coincidencia. Ni la falla

tiene nada que ver con la milonitización (ya que esta última es mucho más antigua), ni la zona de sisa puede haber determinado en la localización de la falla, pues es de extensión reducida comparada con ésta. Sin embargo, existe la posibilidad de que una serie de zonas similares, alineadas en un rumbo favorable, pueda influir en la localización de una falla regional. Si ése es el caso con la presente falla de la sierra del Manchao, no lo sabemos.

Del lado oriental, la sierra del Manchao, está limitada por varias fallas — de mucho menor importancia que la anterior — que fragmentan el bloque en varios cordones subparalelos, constituyendo las cumbres de Humaya, Los Talas, Las Juntas, Potrero de Los Segura, Choya, Los Ángeles, Fariñango, etc. Todos estos bloques están volcados hacia el este. Considerando a estas sierras como elementos subsidiarios de la sierra del Manchao, ésta estaría limitada al este por el río del Valle. En un sentido más restringido, sin embargo, tomaremos como límite la serie de valles tectónicos de (N a S) Huañomil (Humaya), Las Juntas-El Rodeo, y El Tala. Otras fallas meridionales cortan la falda oriental, entre las cuales es la principal la de Los Ángeles.

Características generales del cuerpo cuarzoso. — El cuerpo de cuarzo hidrotermal tiene un rumbo entre N-S y NNW-SSE, una longitud de casi 10 kilómetros, y un ancho visible de cerca de 1,5 kilómetros en su

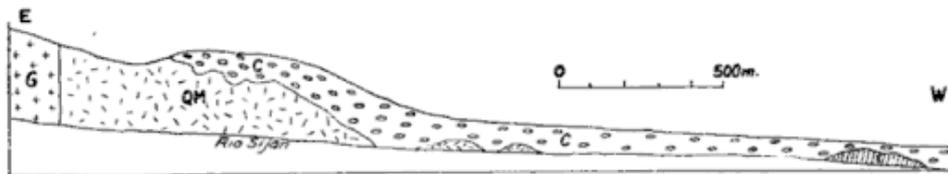


Fig. 3. — Perfil geológico a lo largo del río Siján, Cerro Blanco : E, esquistos miloníticos ; QM, roca cuarzosa ; C, sedimentos aluviales cuaternarios

parte media. Se halla ubicado en parte entre el stock granítico del Manchao y los esquistos metamórficos, pero hacia los extremos penetra exclusivamente en estos últimos. Los contactos son en general rectos y verticales (figs. 2 y 3); el contacto oriental es el único bien visible, pues el opuesto, que aflora en un nivel inferior, se encuentra en gran parte cubierto por detritus de falda y depósitos de pie-de-monte. Debido a su menor resistencia a la erosión, tiende a dar formas deprimidas.

Litología de la formación. — La composición de este cuerpo no es igual en toda su extensión. En los extremos, o sea en las áreas de Michango y de Mutquín, el material tiene el aspecto de una roca intensamente alterada, pero que en partes conserva restos de la textura y la composición originales. En la parte media, en cambio, la roca es un

agregado de cristales de cuarzo, que no deja ver ningún resto que revele la antigua existencia de una determinada roca en ese lugar. Las características petrográficas generales de todo el cuerpo son el tono de coloración blanquecina, su deleznablez — especialmente marcada hacia los extremos — y la presencia de una fracción fina, pulverulenta, que ha sido generalmente considerada hasta ahora como compuesta, al menos en su mayor parte, de caolín. La roca de la parte central es intrínsecamente muy dura, pero su intensa fisuración hace difícil obtener fragmentos de más de 10 ó 20 centímetros. La roca se rompe con relativa facilidad a los golpes de pico, dando origen a fragmentos desde algunos centímetros hasta una arena muy fina, además de un polvo que se mantiene en su mayor parte adherido a las partículas mayores. La roca presenta extensas manchas ferruginosas. Hacia los extremos del cuerpo, sobre todo cerca del contacto, se advierte la existencia de áreas remanentes de rocas ígneas (granopegmatitas) y metamórficas (esquistos inyectados) que conservan todavía la mayoría de sus caracteres originales.

La composición mineralógica de las distintas partes del cuerpo es similar, pero las proporciones varían. La roca de la parte media consiste en más de 95 % de cuarzo, siendo el resto principalmente muscovita fina y algo de feldespato potásico. En los extremos, el cuarzo sigue predominando, pero existe una buena proporción de albita, feldespato potásico y moscovita. Con las laminillas más finas de moscovita (sericita), se encuentran probablemente intercaladas otras de hidromica, reconocible al microscopio previo un proceso de fraccionamiento granulométrico. Además, con la ayuda de métodos más refinados, puede comprobarse la presencia, en las fracciones más finas, de una pequeña cantidad de caolinita, según podrá verse más adelante.

En la descripción de las partes de explotación o explotadas en un tiempo, daremos más detalles acerca de la petrografía de este notable cuerpo.

MINA « CERRO BLANCO »

El material de la parte media del cuerpo, donde la proporción de cuarzo es mayor, es explotada como fuente de este mineral a la altura del río Siján. En este lugar, el río corta al cuerpo cuarzoso y deja al descubierto una buena extensión de la roca. El establecimiento minero se encuentra a 12 km al este de Siján, al que está unido por un camino de tierra. A unos 5 km de la mina, este camino cruza la ruta provincial entre Mutquín y Michango; la distancia entre Cerro Blanco y Mutquín es asimismo de unos 12 km. El establecimiento se halla a unos 1.800 metros s. n. m., o sea a más de 900 metros sobre Siján. Esto asegura un

clima templado agradable, relativamente frío en invierno, no siendo raras las nevadas. No se conocen datos de precipitaciones, pero puede calcularse por la vegetación que ellas deben ser del orden de los 400 mm anuales.

Fisiografía. — La explotación está limitada a un amplio frente de cantera ubicado sobre la margen izquierda del río (fig. 4); el campamento se levanta sobre la margen opuesta, sobre una serie de terrazas ubicadas dentro de la concavidad de un meandro del río. Del lado convexo, como es usual, la ladera es empinada, formando un paredón en el que aflora la roca cuarzosa (fig. 2). El filo que bordea la quebrada por

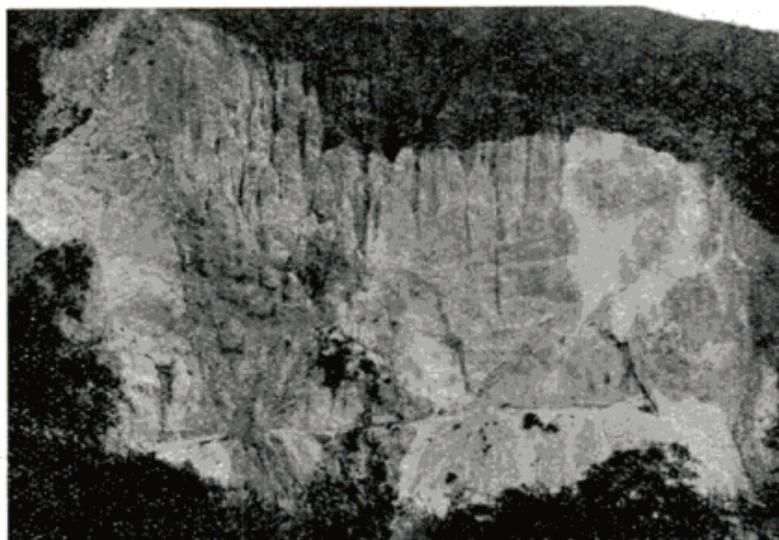


Fig. 4. — Cantera de material cuarzoso en « Cerro Blanco », río Siján. Nótese las dos canaletas clasificadoras. Entre éstas, pero a la izquierda, se ve un área más oscura, formada por material ferruginoso. Al pie de los desmontes corre el río Siján.

el sur, es una cresta más o menos aguda hasta casi la altura de la cantera, donde se ensancha simultáneamente con la aparición de los fanglomerados modernos, en forma de una superficie redondeada que testimonia una antigua terraza.

Las terrazas del lado norte son, en las inmediaciones del campamento, cinco. Las tres inferiores están restringidas al área abarcada por el arco del meandro; sobre ellas se asientan respectivamente, la planta, la casa-administración, y las antiguas viviendas para obreros. La cuarta terraza es la más importante en desarrollo, pues se extiende aguas abajo coronando la barranca del río. La quinta, y más elevada, es un remanente de poca importancia, situado aguas arriba del campamento.

En el lugar donde el camino cruza el río, aguas abajo del campamento, atraviesa una garganta formada por causa de la consistencia algo mayor de la roca cuarzosa, la cual ha representado el papel de un nodo fijo en la evolución del meandro.

Geología

En la quebrada del río Siján, que corta al cuerpo transversalmente, aflora éste en una extensión de 650 metros, hasta el contacto oriental, donde se apoya en el granito del stock del Manchao. Hacia el oeste, la roca cuarzosa se oculta debajo de los fanglomerados aterrizados, pero prolongando algo sus afloramientos en la base de las barrancas del río. La erosión ha formado sobre el material blando del cuerpo una superficie muy irregular, sobre la que más tarde se depositó el fanglomerado (fig. 3; ver también Beder, 1922, primera fotogr.). La misma erosión provocó la desaparición del material cuarzoso del lado norte del río Siján, quedando apenas restos elevados que en la actualidad forman afloramientos en la base de la barranca, unos 50 metros aguas abajo de la toma de la acequia, al este del campamento. Aguas abajo de la garganta los afloramientos se hallan, en cambio, sobre la ladera opuesta, faltando por completo en la del sur; ello se debe a que se trata aquí de la otra semionda del meandro, con concavidad opuesta.

Tres formaciones petrográficas representan la geología de la mina «Cerro Blanco» e inmediata vecindad: el granito, la roca cuarzosa, y los depósitos aluviales aterrizados del río Siján. Alrededor de 1 km al oeste se encuentra la faja de esquistos milonitizados de que hemos hablado en la parte introductora, la que está separada de los afloramientos de la roca cuarzosa por el relleno de sedimentos aluviales modernos aterrizados.

El granito, que está separado del cuerpo cuarzoso por un plano de contacto neto y prácticamente vertical, forma parte del stock del Manchao, y es la más antigua de las tres unidades mencionadas; sus características petrográficas han sido descritas más arriba. El contacto está bien expuesto al este del campamento, y en él se puede comprobar que las dos formaciones conservan sus caracteres hasta el mismo plano de separación, aunque en el granito se advierte una mayor alteración superficial ferruginosa que en el resto del cuerpo; los feldespatos han perdido también su brillo, por reemplazo sericítico parcial; esta alteración es menos intensa que lo que el aspecto general de la roca parece indicar.

Petrografía del cuerpo cuarzoso. — Los principales componentes de esta roca son: cuarzo, mica y feldespato potásico. Visto al microscopio, el cuarzo se presenta como un agregado de cristales irregulares en forma y tamaño; en unas áreas de la sección delgada, los cristales alcanzan hasta más de 2 mm, mientras que en otras no pasan de unos pocos micrones (fig. 5). Entre los mayores, algunos presentan contornos rectos paralelamente a las caras prismáticas, indicando un cierto grado de idio-

morfismo, visible además en secciones basales que muestran contorno exagonal. Las áreas de grano grueso, que son las predominantes, forman también venas que cruzan a las de grano más fino; en dichas venas el cuarzo suele presentar estructura de peine, o sea que sus cristales más o menos prismáticos están orientados con su eje mayor aproximadamente normal a las paredes de la vena. En otras partes esta estructura está reemplazada por otra que puede ser denominada de pseudo-mortero, en que los agregados más gruesos están separados por los más finos, que también se introducen en especies de grietas en los primeros. Las

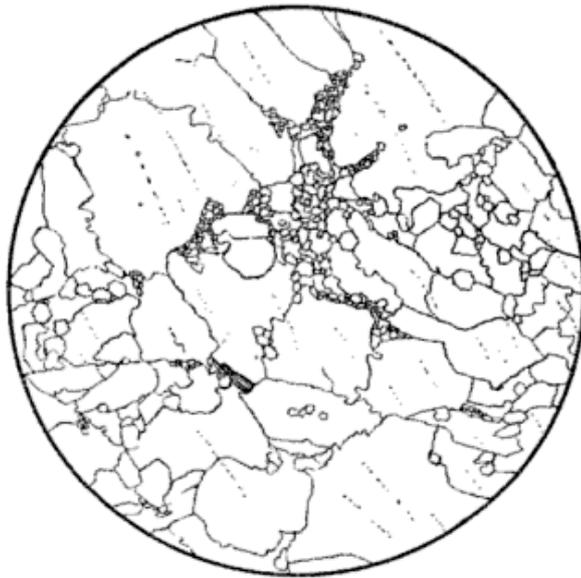


Fig. 5. — Aspecto microscópico de la roca cuarzosa hidrotermal de Cerro Blanco, río Siján. El cuarzo forma casi la totalidad de la roca; hay también escasos librillos de moscovita, y algo de sericita mezclada con el cuarzo de grano fino. Algunos individuos de cuarzo presentan un relativo idiomorfismo. $\times 100$. Dibujado por la doctora M. E. de Di Lorenzo.

áreas de grano fino muestran, en muchas partes, un material pulverulento opaco, blanquecino a la luz reflejada. Los granos de cuarzo mayores también llevan en su interior inclusiones pulverulentas y líneas de inclusiones fluidas; en las áreas con textura cataclástica se notan, en granos aislados, laminillas de Boehm. Los planos de inclusiones fluidas forman juegos paralelos, y representan superficies de rotura parcialmente soldados, pero que constituyen planos de debilidad por los que la roca sufre su característica fragmentación.

La moscovita se presenta en cristales o librillos, generalmente algo radiales, y también en agregados más irregulares y finos de grano. Los individuos mayores se encuentran asociados con las áreas de cuarzo grueso, mientras que la sericita forma agregados mezclados con el cuarzo microgranular. Los librillos más grandes miden alrededor de 0,3 mm, y los más pequeños tienen, en su mayoría, entre 10 y 50 micrones. Los primeros pueden mostrar manchas ferruginosas pardo-amarillentas en los bordes, pleocroicas, que indican la presencia de iones férricos. La proporción de mica es variable, pero no pasa de 5 %.

Tratamiento del material — El material es seleccionado primero en la propia cantera, mediante canaletas clasificadoras, mediante la cual se obtienen tres fracciones: una mayor de 25 mm, que se descarta; otra de 12 a 4 mm, que se despacha a los centros de consumo, y una tercera

menor de 4 mm, que experimenta ulterior tratamiento en la planta. Este último consiste esencialmente en un zarandeo, generalmente por una malla de 30 (0,8 mm), seguido por una elutriación por aire en una serie de dos embudos de ventilación y un juego de mangueras, obteniéndose al cabo del tratamiento tres productos comerciales, a saber; 1, «arena», 2, un polvo grueso designado por «Cao-R», y 3, un polvo fino, «Cao-F», que se obtiene de las mangas filtrantes. La «arena» consiste de granos aislados de cuarzo mezclados con agregados del mismo mineral, entre 0,2 y 0,5 mm en su mayoría, pero con una considerable proporción de partículas menores, hasta 0,05 mm o menos. También hay laminillas de moscovita y partículas de feldespato, sobre todo entre los granos más finos. El polvo «Cao-R» está formado por partículas entre 0,1 y 0,015 mm, de las cuales el 10 % aproximadamente corresponde a mica sericítica y feldespato potásico.

Composición de la fracción fina. — La observación microscópica del material industrial más fino, «Cao-F» (que constituye alrededor del 8 % del total de material tratado) muestra un elevado porcentaje de cuarzo en partículas muy finas, menores de 5 micrones; el resto está formado por laminillas de mica sericítica de hasta 15 micrones, algunos gránulos de calcita y partículas de refracción más baja que el cuarzo y también algo menos birrefringente, que en parte corresponden a feldespato, y en parte — a estar con los datos químicos y de rayos X — a un mineral caolínico. El índice mayor de la sericita es: $\gamma = 1.593 \pm 3$.

El diagrama de difracción de rayos X (lám. I, 1 A) muestra esencialmente cuarzo; la presencia de sericita se manifiesta en las líneas 2,57 A (muy débil) y 1,50 A (apenas visible). La línea más intensa de la mica, en 3,35 A, no es discernible, pues coincide aproximadamente con la principal del cuarzo. Una línea difusa en 7,0 y otra en 2,34 A, indican la presencia de un mineral caolínico, que de acuerdo con los datos ópticos debe tratarse de un tipo intermedio entre caolinita y halloysita, o sea del tipo denominado «fire clay» por Brindley (1951). Este mineral tiene los índices de refracción intermedios también entre los de aquellos minerales, según hemos podido comprobar en otros casos, y en agregados donde aparece mezclado con cuarzo o feldespato — siendo las partículas de pocos micrones como en el presente caso del material «Cao-F», se hace muy difícil distinguirlo.

El análisis químico (Tabla I) concuerda con los resultados del examen con rayos X. En efecto, si atribuimos todo al potasio a la sericita e hidromica, el resto del aluminio a la caolinita, y lo que queda de la sílice al cuarzo, se obtiene la siguiente composición aproximada:

Cuarzo.....	59 %
Sericita e hidromica.....	25 %
Caolinita.....	16 %

De acuerdo con este resultado, y teniendo en cuenta que la fracción « Cao-F » forma alrededor de 8 % del material tratado en la planta, este último contendría apenas 1,3 % de mineral caolínico.

TABLA I

Composición química de la fracción « Cao-F », en bruto. Mina « Cerro Blanco »

SiO ₂	77,00
Al ₂ O ₃	15,90
Hierro.....	tr.
MgO.....	0,12
CaO.....	0,60
Na ₂ O.....	0,13
K ₂ O.....	1,83
H ₂ O +.....	4,42
H ₂ O -.....	0,53
	100,53

(Análisis por F. González Bonorino)

Fusibilidad, en cono pirométrico equivalente : 20 (1530° C).

En vista de la presencia de esta proporción de mineral caolínico en la parte más fina separada en la planta, es interesante establecer si, por medio de ulteriores lavados, se podría obtener de la misma una fracción coloidal más rica en caolín. Con este objeto, se separó por decantación una parte de diámetro menor de 1 micrón (en diámetro hidráulico equivalente), cuya composición fué estudiada por diversos métodos. El resultado — por cierto inesperado — revela que los componentes arcillosos (hidromica y caolinita) son menos abundantes en esta fracción que en el material « Cao-F » en bruto. El diagrama de difracción (lám. I, 1 B) muestra casi exclusivamente cuarzo, aunque la escasa intensidad de las líneas, que es la consecuencia del finísimo tamaño de las partículas, no permite manifestarse a los componentes que se encuentran en pequeña cantidad. Para conocer la relación SiO₂/Al₂O₃, hemos hecho un análisis químico parcial que dió como resultado un valor de 6,4 (SiO₂, 65,2 %; Al₂O₃, 10,3 %) para dicha relación, contra 4,85 en la muestra entera de material « Cao-F ». Esta concentración de sílice en la fracción más fina se debe al tamaño finísimo de los cristales de cuarzo que forma el polvo blanco que ocupa las fisuras de la roca cuarzosa como se ha descrito más arriba. Además de cuarzo, en esta fracción menor de 1 micrón, hay también caolinita y quizás algo de hidromica.

Visto por medio del microscopio electrónico, este material presenta el aspecto de la lámina I, 2. En ella se ven algunas laminillas de contornos exagonales pertenecientes a caolinita (*k*), junto a otros cristales cuya identificación es insegura, pero que deben ser de cuarzo y de hidromica.

YACIMIENTO DE MUTQUÍN

(Fig. 6)

En el extremo austral del cuerpo cuarzoso, a corta distancia de la localidad de Mutquín, se han realizado labores mineras de cierta importancia, destinadas a explotar el supuesto contenido de caolín de ese material. Estas labores corresponden a las minas « San Alfredo » y « María Arsenita », situadas en pertenencias contiguas. La mayor parte de los trabajos se efectuaron en la primera de ellas, donde además se ha instalado una costosa planta de concentración por lavado. Estas minas no llegaron nunca a la etapa de producción; luego de algunos ensayos de concentración, en los cuales se obtuvo un cierto número de toneladas de « caolín » lavado, los trabajos se suspendieron en 1944, ostensiblemente por dificultades financieras de la compañía « Quijo Huasi », propietaria de las minas. Estas han pasado, en la actualidad, al control del Banco de la Nación Argentina, con el que la citada empresa había contraído obligaciones.

Mucho se ha escrito sobre este yacimiento; la mayoría de los trabajos son informes mineros inéditos, en los que la geología recibe un tratamiento superficial. El informe más extenso, entre los que conocemos, es el de Sgrosso (1947), que incluye un buen número de análisis químicos efectuados en los laboratorios de la entonces Dirección de Minas y Geología (hoy Dirección Nacional de Minería). En todos los trabajos, sin embargo, las condiciones geológico-petrográficas del yacimiento son tratadas en forma por demás superficial. En el presente estudio me refiero exclusivamente al área de la mina « San Alfredo », y tiene como objeto sobre todo señalar algunas de las relaciones genéticas, y analizar la naturaleza mineralógica del material, problema que tiene incumbencia directa en el valor económico del yacimiento. La mina « María Arsenita » posee la misma clase de material que « San Alfredo », de modo que todas las conclusiones obtenidas se aplican igualmente a la primera.

Ubicación. — Las pertenencias mineras de « San Alfredo » se encuentran al pie de la falda occidental de la sierra del Manchao, a unos 2 km al este de la población de Mutquín, Departamento Pomán, a una altura de cerca de 1600 m s. n. m. Comprende dos pertenencias que forman un cuadrado con sus lados orientados en dirección NE-SW y NW-SE, respectivamente, con una superficie de 36 Ha. Se llega hasta el lugar desde Mutquín, por medio de un camino de menos de 1 km. El arroyo seco llamado del Abra divide estas pertenencias de las de la mina « María Arsenita ».

Geología

La mayor parte del área de la mina y alrededores está cubierta por acumulaciones de antiguos fanglomerados; la erosión fluvial posterior, que recortó estos depósitos por medio de numerosos cauces de flujo temporario, dejó al descubierto, en la parte baja de las faldas, a las rocas del basamento de la sierra. La escasa consistencia de estas rocas, sin embargo, hace que con frecuencia los afloramientos se encuentren más



Fig. 7. — Mina « San Alfredo ». Mutquín. Vista hacia el sur, mostrando la trinchera abierta en una faja de la roca cuarzoso blanquecina, en ambiente de esquistos (E) más o menos alterados.

o menos disimulados por una delgada cubierta de detritus que cae de la falda.

Aparte de la cubierta cuaternaria, hay solamente dos formaciones representadas, lo mismo que en el río Siján: el basamento cristalino, constituido por esquistos inyectados y filones de pegmatita, y la roca cuarzosa que forma el yacimiento. De acuerdo con nuestros estudios regionales, el cuerpo granítico del Manchao no llega hasta el área de la mina, sino que termina a algunos kilómetros al este o noroeste.

A diferencia del yacimiento del río Siján, en Mutquín la roca cuarzosa presenta numerosas áreas remanentes del basamento, consistentes en esquistos más o menos inyectados y filones de granopegmatitas, en

distinto grado de alteración. La roca metamórfica puede ser observada en la parte noreste del yacimiento, donde forma la caja de una estrecha faja de material cuarzoso (fig. 7). Se trata de un esquisto cuarzo-filítico, bandeado, idéntico al que forma la falda de la sierra al este del cuerpo cuarzoso; muestra algunas venillas paralelas de cuarzo con y sin feldespato. La alteración de esta roca es visible, y se trata principalmente de silicificación. En otros lugares del mismo yacimiento hay relativa abundancia de filones granopegmatíticos, o de venas de la misma composición que inyectan a los esquistos. La roca cuarzosa que encierra restos de esquistos está en general mucho más pigmentada por limonita que en las partes donde hay rocas granopegmatíticas. Éstas están también bastante alteradas, pero muestran todavía sus cristales de cuarzo y de mica sin mayores modificaciones. Los remanentes de esquistos presentan un rumbo constante en su foliación, que es NNW-SSE, e inclinación vertical.

La roca cuarzosa de alteración forma el sustrato de las lomas en la mayor parte del área situada entre las labores más nororientales y el vértice austral de las pertenencias. El estudio de su composición está basado en las observaciones hechas en cuatro de las principales labores, convenientemente elegidas para dar una idea general del conjunto. Estas labores son designadas en este trabajo con las letras A, B, C y D, lo que permite su ubicación en el mapa adjunto (fig. 6).

Labor A (fig. 8). — Comienza en una trinchera recta de rumbo N51°E (magnético), y una longitud de 95 metros. A esta distancia, penetra en galería dentro de la roca cuarzosa ferruginosa que allí predomina; en los primeros 50 metros conserva aquel rumbo y tiene 5 chimeneas, continuando en dirección algo variable por unos 50 metros más.

La mayor parte de la labor (fig. 8, *b*) atraviesa la roca de alteración incoherente, ferruginosa, de grano fino pero heterogéneo, plástica (dejando sentir entre los dedos los granos de cuarzo), cruzada por fajas más arcillosas.

Hacia el fondo de la galería (fig. 8, *a*), la roca presenta bandas de color blanco, que son del mismo material que el ferruginoso, pero sin pigmentación. Además, existe otro bandeo, algo más hacia afuera, originado por crecimiento de cristales aciculares de sulfatos sobre las paredes y techo de la galería, o sea que se trata de un bandeo puramente superficial causado por la disposición de los cristales blancos sobre el fondo pardo-rojizo de la roca. Este bandeo, lo mismo que el anterior, es transversal a la galería, o sea de rumbo aproximado N-S. Dentro de la misma roca ferruginosa se distingue una especie de estratificación, determinada por leves variaciones, por ejemplo, en la proporción de material fino (« arcilloso »), y que corresponde por su rumbo e

inclinación a la foliación de los esquistos menos alterados. Esta pseudoestratificación, que es sin duda un remanente de la foliación de las rocas metamórficas que fueron alteradas, sirvió de control a la infiltración ferruginosa y por ello determinó el bandeado mencionado en primer término, y quizá también a la cristalización de los sulfatos.

Según dijimos, tanto el material ferruginoso como el de tono blanquecino tienen la misma textura y composición. Se trata de un agregado de granos de cuarzo, subangulosos a subredondeados, tamaño entre 1 y 3 mm en su gran mayoría, rodeados por una matriz de grano fino y textura terrosa, blanquecina, con venillas y manchas rojizas en el material blanquecino, o de color pardo-rojizo hasta rojo vivo en el material ferruginoso. Esta especie de matriz forma alrededor de 50 % de la roca;

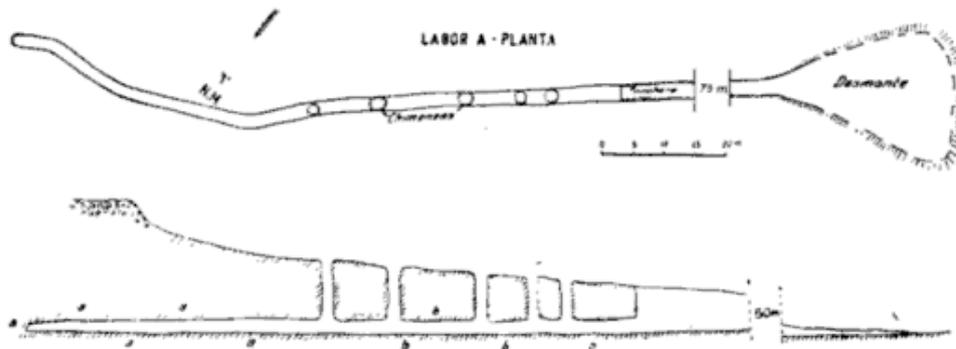


Fig. 8. — « San Alfredo », Mutquin. Planta y corte longitudinal de la labor A
Ver explicación en el texto

observada con la lupa, se nota que su grano no es homogéneo, existiendo todas las transiciones entre los fragmentos cuarzosos discretos y los componentes más finos de la matriz. Hay además fajas o zonas delgadas donde el material pardusco contiene poco cuarzo grueso, y es bastante plástico cuando húmedo.

Examinando la fracción más fina al microscopio, se comprueba que está formada en más de 95 % por cuarzo en granos finísimos, siendo los 10 % restantes calcita en agregados de finísimos cristales, y laminillas de sericita e hidromica (en una laminilla se midió α' obteniéndose 1,545). El carbonato es algo más abundante que el material micáceo-arcilloso.

El material gredoso, de color pardo rojizo, es esencialmente igual al blanquecino, diferenciándose sólo por su pigmentación ferruginosa secundaria. En consecuencia, predomina el cuarzo en forma absoluta, en granos de pocas decenas de micrón unidos por una matriz del mismo mineral, finísima, con algunas laminillas de sericita (o hidromica).

Labor B. — Esta labor se encuentra en el fondo de la trinchera situada en la cabecera del largo terraplén de desmonte que se extiende paralelamente y al NW de la labor A (figs. 6 y 7). La trinchera tiene

rumbo N-S, y una longitud de unos 40 m, siendo de 6 a 11 m de ancho. Esta labor abarca en toda su anchura una faja de roca de alteración blanquecina, entre paredes de esquisto relativamente poco alterado. En su extremo norte, al nivel del piso, se abre la labor B, una galería de poco más de 20 m (fig. 9). Los otros dos socavones que arrancan de la misma labor, uno de 4,5 m y otro de 3 m, no tienen importancia, penetrando en el mismo material que el socavón principal.

La galería B atraviesa dos tipos de roca de alteración, una blanca y otra de tono ferruginoso. La roca blanca muestra en partes la textura gruesa original de granopegmatita,

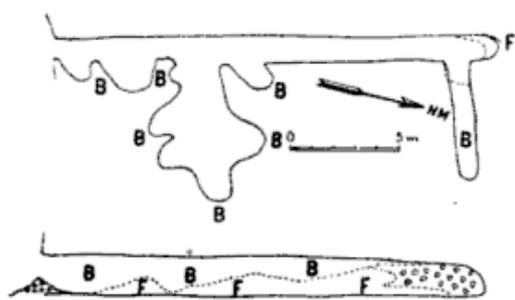


Fig. 9. — « San Alfredo », Mutquín. Planta y corte longitudinal de la labor B. B, material blanquecino; F, material ferruginoso.

relativamente bien conservada; el feldespato es casi en su totalidad albita (An_5 ; $\alpha' = 1,529$, $\gamma' = 1,539$), maclada, medianamente alterada; hay también una pequeña proporción de feldespato potásico. La alteración de la roca consiste en reemplazo del feldespato y del cuarzo por agregado de mica (sericita y moscovita fina), y es menos intensa

que lo que parece a simple vista por la fácil disgregación de la roca y el polvo blanquecino que cubre las superficies.

La facies pardo-rojiza o ferruginosa presenta un aspecto similar a la del socavón A; se trata de una masa de grano fino, de color blanco con áreas de tono pardusco o rojizo por impregnación, que encierra granos de cuarzo de hasta 2 ó 3 mm. En algunas partes estos últimos son poco abundantes, y la masa fina adquiere, cuando húmeda, un aspecto de greda arcillosa. La observación microscópica demuestra que también está formada por pequeños granos de cuarzo, envueltos en una masa fina formada principalmente de cuarzo, muy pigmentado; hay además gránulos de carbonato de calcio. En ciertos lugares del socavón se encuentran también esquistos bandeados, con alteración moderada, en fajas poco extensas. Hacia el extremo del socavón, la mezcla de áreas ferruginosas con una matriz blanquecina comunica a la roca un aspecto brechoso.

Labor C. — Ésta consiste en un corto (25,6 m) socavón horizontal, situado en la falda de la loma detrás de las antiguas casas-habitaciones, unos 30 m al SSE de la planta (fig. 10). También encontramos aquí material ferruginoso y material blanquecino; la labor entra en este último, pero luego pasa a la roca coloreada. El material blanco es de grano más fino que el de las labores anteriores; se desmenuza en una masa pulverulenta conteniendo trocitos mayores, los que a su vez se desha-

cen a la presión de los dedos. A simple vista, se nota la presencia, tanto en el polvo como en los fragmentos friables, de escamitas de moscovita, de menos de 0,5 mm en su gran mayoría. Al microscopio, el material blanco muestra alrededor de 50 % de feldespato, la mayor parte albita, con algo de microclino, en fragmentos de diámetro entre 0,05 y 0,3 mm en su mayoría, enturbiados por alteración alofánica y sericítica. El cuarzo, en fragmentos de tamaño similar, forma unos 35 % del total; el resto es moscovita en laminillas de tamaño diverso, y aislados cristales de apatita. En una laminilla de moscovita se midió el valor de $\gamma = 1,598$.

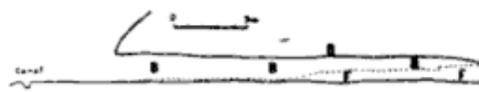


Fig. 10. — « San Alfredo », Mutquín. Corte longitudinal de la labor C. B, material blanquecino; F, material ferruginoso.

Labor D. — Ésta consiste en un grupo de descarpes hechos cerca del ángulo sur de las pertenencias, del otro lado de la loma en que se encuentra el socavón C (fig. 6). El material de alteración forma allí también la base de las laderas, donde por efecto de la menor pendiente la erosión ha dejado al descubierto una extensión mayor de dicha roca. En los descarpes predomina el material blanquecino, pero hay también áreas ferruginosas; en varios lugares hay remanentes de esquistos y de granopegmatitas.

El material blanco es similar al de la labor anterior, pero apreciablemente más heterogéneo en su textura; se rompe en fragmentos de tamaño más variado, la mayoría de los cuales (que miden en general no más de 2 cm) muestran una textura consistente en individuos de cuarzo, anedrales, entre los que se interponen cristales de albita, más pequeños, y alguno que otro de feldespato potásico; hay, además, laminillas de moscovita, de hasta más de 2 mm. En las fisuras que separan a los fragmentos se acumula un material pulverulento, formado por gran cantidad de sericita en laminillas bastante grandes, además de albita y cuarzo en granos pequeños. Este material fino cubre a los fragmentos de la roca más fresca también, y le comunica una apariencia más alterada de lo que en realidad es. Este relleno de fisuras puede alcanzar espesores de varios milímetros; desmenuzado entre los dedos, se tiene la impresión de una ligera untuosidad, pero se nota la presencia de granos de mineral (cuarzo y feldespato). La presencia de abundante mica blanca es fácilmente comprobable a simple vista.

Composición del material extraído por lavado. — El examen microscópico del material fino extraído por lavado durante el ensayo de la planta de concentración, muestra un agregado de grano bastante heterogéneo de cuarzo, albita y sericita, en proporciones similares. Las lamini-

llas de mica alcanzan a 0,5 mm y son por lo tanto visibles a simple vista; los granos de cuarzo y albita miden alrededor de 0,1 mm como máximo. Un análisis granulométrico, hecho por el método de la pipeta, dió el siguiente resultado:

Composición granulométrica del material procedente del lavado en la planta de la mina « San Alfredo »

Mayor de 0,050 mm.....	1,3 %
0,05-0,02 mm.....	22,7
0,02-0,008 mm.....	61,7
0,008-0,004 mm.....	9,6
0,004-0,002 mm.....	2,7
Menor de 0,002 mm.....	2,0
	100,0

Las fracciones más finas fueron examinadas cuidadosamente al microscopio. En todas ellas, el componente predominante es un mineral micáceo, cuyas escamitas se isorientan al sedimentarse en una suspensión. La fracción menor de un micrón está formada casi exclusivamente por este mineral, cuyas propiedades ópticas, medidas en un agregado, son las siguientes:

$\alpha = 1,528 \pm 3$; $\gamma = 1,561 \pm 3$; $\gamma - \alpha = 0,033$; $2V$ negativo, muy pequeño.

Estas propiedades corresponden a cierta variedad de hidromica, caracterizada por contener capas alternadas de montmorillonita, y a la que pertenece la bravaisita y otras (Grim, Bradley y Brown, 1951).

El material de la mina « San Alfredo » ha sido estudiado también, recientemente, por M. E. Jiménez de Abeledo y E. E. Galloni (1952), quienes analizaron dos muestras — una de la roca sin tratar, y otra del « caolín » lavado en la planta — por medio de métodos químicos, microelectrónicos, roentgenográficos y térmicos. Aunque no se aclara de qué parte del yacimiento proviene la muestra en bruto, por su composición (cuarzo, illita y poca caolinita; Abeledo y Galloni, *loc cit.*) debe proceder de una de las dos primeras labores, A o B. Del producto del lavado en planta, estudiaron dos fracciones, de 1 a 2 micrones y menor de 1 micrón, respectivamente. Según dichos autores, los diagramas de difracción de rayos X de la fracción menor de micrón, revelan « principalmente illita, con montmorillonita o tal vez clorita »¹. Los demás métodos de análisis conducen a la misma conclusión, o sea que se trata de una especie de hidromica de capas mixtas (illita con intercalaciones de

¹ De acuerdo con los datos sobre espaciados que me fueran gentilmente facilitados por el ingeniero Galloni, parece haber en esta fracción una pequeña cantidad de caolinita y de cuarzo.

capas montmorilloníticas en su estructura) ¹. La composición química de esta fracción; que reproducimos en Tabla II, coincide con la de las hidromicas en general, y en especial con el mineral de Sarospatak, Hungría, como señalan los autores. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que no se trata de un material enteramente puro.

TABLA II

Composición química de la fracción menor de 1 μ . Material lavado « San Alfredo » Mutquín (según Abeledo y Galloni, 1952)

SiO ₂	50,70	CaO.....	1,40
Al ₂ O ₃	32,23	Na ₂ O.....	—
Fe ₂ O ₃	1,92	K ₂ O.....	7,25
FeO.....	0,48	H ₂ O.....	5,45
MgO.....	1,90	TiO ₂	0,12
		Total.....	101,45

Según Abeledo y Galloni, diagrama de difracción de la parte 1-2 micrones del material lavado muestra cuarzo e illita en primer término, quizá montmorillonita y vestigios de caolinita. Esto está de acuerdo con su aspecto microscópico, que es el de agregados iso-orientados con refringencia y birrefringencia intermedia entre cuarzo e hidromica. La proporción de hidromica es, sin embargo, bastante mayor que la del cuarzo.

En resumen, el material obtenido por lavado en la mina « San Alfredo » no contiene más que 3 a 4 por ciento de minerales arcillosos, entre los cuales predomina en forma absoluta la hidromica, acompañada al parecer por una pequeña cantidad de un mineral caolínico.

YACIMIENTO DE MICHANGO

En la parte norte del cuerpo cuarzoso se han efectuado también algunas tentativas de explotación. Lo mismo que en Mutquín, se ha querido aprovechar la fracción supuestamente caolínica del material, cuyas características son casi idénticas a las de la mina « San Alfredo ». Remontando la quebrada de Michango, a unos 1000 metros de la localidad de ese nombre, se encuentran los primeros afloramientos de la roca cuarzosa; un camino carretero conduce a una cantera situada del lado sur del valle, luego de lo cual abandona a este último para dirigirse hacia el sur faldeando las lomadas de la parte baja de la falda de

¹ Sin embargo, según informe verbal de dichos autores, el tratamiento del material con etil-glicol no produjo la expansión propia de las hidromicas de capas mixtas.

la sierra, pasando por algunas labores pequeñas abiertas en los cortes del camino, para terminar en la labor principal (figs. 11 y 12) después de un recorrido de unos 2700 metros desde Michango.

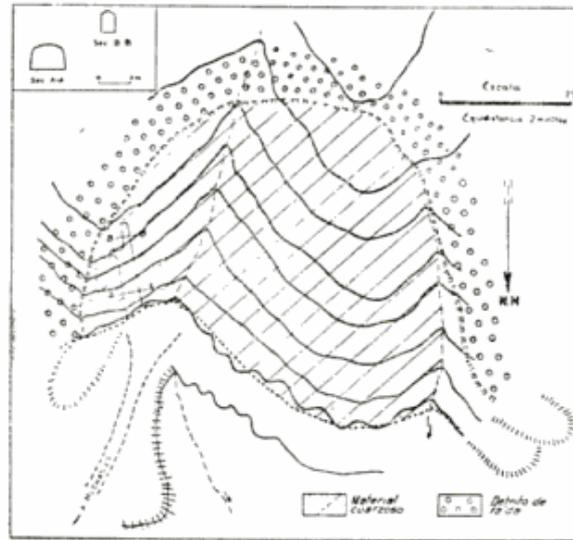


Fig. 11. — Bosquejo topográfico-geológico de la mina propiedad de « La Calera Argentina », Michango

En este lugar, el material se presenta de coloración blanca, deleznable, casi sin manchas ferruginosas, y está cubierto en general por detritos de falda poco espesos. La labor allí abierta consiste en una galería de



Fig. 12. — Socavón abierto en el material cuarzoso blanquecino, unos dos kilómetros al sur de Michango. Este material tiene características similares a las del de la mina « San Alfredo », en Mutquín.

17 metros, de la que se han extraído alrededor de 100 toneladas en bruto. En el momento de nuestra visita los trabajos estaban abandonados. El material extraído era pasado, al parecer, por un tamiz de 1 cm, de-

sechándose el grueso y fletando el fino; el destino de este material no nos es conocido. La mina, propiedad de La Calera Argentina S. A., es arrendada por un vecino de Siján, quien ha iniciado la instalación de una planta de lavado.

En el interior de la galería, el material cuarzoso se presenta como una red de guías entrecruzadas de material pulverulento, blanco, que encierra áreas de tonalidad algo más oscura y más compactas. El examen microscópico de la fracción pulverulenta demuestra que más de la mitad está formada por cuarzo, alrededor de 40 % por albita, poco feldespató potásico, y el resto de muscovita (o sericita), posiblemente mezclada con algo de hidromica. Como se ve, su composición es análoga a la del material de Mutquín. La observación directa no revela tampoco aquí la existencia de caolín, aunque es probable un análisis cuidadoso revele su presencia en la fracción más fina, tal como ocurre en Mutquín.

CONSIDERACIONES ACERCA DE LA NATURALEZA Y EL ORIGEN DEL CUERPO CUARZOSO DE MUTQUÍN-CERRO BLANCO-MICHANGO

En todos los trabajos sobre este depósito se menciona explícitamente la presencia de caolín (caolinita) en considerable cantidad. Beder (1922) calculó su proporción en 8.9 % en Cerro Blanco, y 17 % en Mutquín. El mismo autor afirma haber observado cristales de aquel mineral bajo el microscopio (Beder, *loc. cit.*, págs. 50-51), pero no presenta ningún dato óptico comprobatorio. Angelelli y Trelles (1937) y Sgrosso (1947), dan por sentada la presencia de caolín como componente arcilloso principal, sin mediar comprobación. Los análisis químicos, de los cuales Sgrosso (*loc. cit.*) presenta un número relativamente elevado, están hechos sobre material heterogéneo, y por ello es difícil o imposible deducir de ellos la composición mineralógica. De todos modos, el análisis de la fracción fina de Mutquín, al parecer lavada, da una proporción probable de álcalis bastante elevada (Ver anál. E-42; en todos esos análisis los álcalis están dados por diferencia). Es de lamentar que los análisis mencionados pierdan casi todo su valor, además, por la falta de caracterización petrográfica y geológica de las muestras, cuya ubicación exacta tampoco es mencionada en el informe.

El llamado análisis « racional », que se basa en la solubilidad del caolín en ácido sulfúrico concentrado caliente (véase Sgrosso, *loc. cit.*), no tiene valor porque está probado que otros minerales, como sericita y en especial todas las arcillas, se disuelven también parcialmente en esas condiciones, en mayor o menor proporción según su grado de dispersión.

El presente estudio demuestra que la mayor concentración de mineral caolínico se encuentra en la parte media del cuerpo (río Siján), y que la misma asciende a menos de 1,5 % de la roca, mientras que en Mutquín y (probablemente) Michango el caolín aparece apenas como vestigios. Esta comprobación tiene importancia a la vez teórica y económica.

Considerando primero el aspecto teórico, vemos que se hace necesario una revisión de las ideas sobre el origen del cuerpo cuarzoso. Las opiniones de los autores anteriores no han sido todas coincidentes. Beder (1922, pág. 55) y Angelelli y Trelles (1937) favorecen la hipótesis del origen hidrotermal, mientras que Sgrosso (1947) sostiene que el cuerpo ha sido originado por fenómenos supergénicos, es decir, por alteración meteórica de una masa granítica. Dadas la forma y la extensión del cuerpo, y la nitidez y verticalidad de sus contactos, no puede haber duda que la primera idea es la única plausible. El estudio petrográfico presentado en el presente trabajo confirma el origen hidrotermal, y excluye toda posibilidad de meteorización. La formación de este cuerpo puede ser descrito como una extensa e intensa silicificación hidrotermal de esquistos y de rocas graníticas, a lo largo de una zona de deformación sisante («shear zone»). La silicificación estuvo acompañada por formación de algo de mica blanca (incluyendo hidromica) y escaso feldespato potásico; en las áreas donde la acción fué menos intensa — hacia los extremos del cuerpo — hay también bastante albita, posiblemente residuo retransportado de la roca reemplazada.

Ha sido opinión general entre los geólogos que se ocuparon de este cuerpo, que su formación ha estado condicionada a la presencia de una masa granítica. También se ha querido relacionar este fenómeno con la invasión de pegmatitas graníticas asociadas al stock del Manchao. La primera idea parece estar ligada con la suposición falsa de que el caolín es uno de los constituyentes principales del cuerpo¹. La asociación cuarzo moscovita-feldespato, además de las características geológicas, demuestra que el proceso tuvo lugar a temperaturas relativamente elevadas, dentro de la escala hidrotermal. Es una de las conclusiones geológicas fundamentales del presente estudio, que *la silicificación afectó prácticamente sin discriminación a rocas ígneas y metamórficas*, estando en gran parte, en realidad, emplazada en esquistos, si bien éstos bastante inyectados y penetrados por filones granopegmatíticos. En la parte media del cuerpo (río Siján), donde el reemplazo ha sido más intenso, éste ha afectado paralelamente al stock granítico y a los esquistos, pero no es posible establecer, por la composición o la textura de la roca, dónde ha

¹ Sin embargo, la relación genética granito-caolín corresponde en realidad a la meteorización, no a la alteración hidrotermal.

reemplazado al granito y dónde al esquisto. Donde el proceso ha sido menos intenso, quedan en cambio remanentes de la roca original. Una diferencia entre el reemplazo de uno y otro tipo de roca consiste en la pigmentación ferruginosa. Con el reemplazo de los esquistos, el hierro liberado y oxidado fué llevado hacia arriba por las soluciones. Más tarde, a medida que la denudación avanzaba las aguas circulantes obraron en sentido inverso, aunque con mucha menor rapidez, trasladando el hierro (posiblemente en forma de sulfatos) hacia niveles inferiores. En este proceso es fácil que las soluciones se hayan dispersado abarcando áreas no ocupadas previamente por rocas metamórficas, sobre todo en lugares donde éstas y las graníticas se encuentran más o menos mezcladas. De todas maneras, la impregnación ferruginosa será siempre más intensa allí donde predominaron los esquistos.

La menor intensidad del reemplazo hacia los extremos del cuerpo es una consecuencia de la menor temperatura, que se manifiesta también por la mayor proporción de cuarzo fino. A esto se debe el aspecto más «arcilloso» del material de Mutquín y Michango, pues el cuarzo microgranular, sobre todo por estar mezclado con sericita, es más fácilmente disgregable.

La relación entre este fenómeno de reemplazo hidrotermal y la formación sisante, mencionada al principio, está sustentada por los siguientes hechos. A la altura del río Siján, la roca cuarzosa está limitada por esquistos milonitizados de un lado, y granito con bastante cataclasis por el otro. En la faja de milonitización de Los Corrales (págs. 37-38), poco al este de la línea de máxima deformación, hay una estrecha zona de alteración muchísimo más débil y reducida que la de Mutquín-Siján, pero con las mismas características fundamentales. Otro ejemplo lo encontramos fuera de la Hoja, en la zona de milonitización de Las Vizcachas, sobre el río Visvis (González Bonorino, 1950a, pág. 28). A pocos metros de la desembocadura del río Atajo en el Visvis, del lado derecho de la garganta elaborada en filonitas, hay un cuerpo de una veintena de metros de espesor, alargado de N a S y paredes verticales, compuesto por una roca blanda, de color pardo rojizo (ferruginosa), cuyos componentes principales son cuarzo en agregados compactos y tamaño muy diverso, hasta mayores de un puño, en una matriz blanda de cuarzo microgranular y sericita. Como se ve, la analogía entre este cuerpo y ciertas partes del de Mutquín, es completa. En los tres ejemplos mencionados, es interesante notar, la roca de reemplazo se ha formado algo al este del eje de deformación.

El hecho que la roca cuarzosa presente una evidente cataclasis, hace pensar que su formación se produjo antes que la deformación sisante se desvaneciera totalmente. En Cerro Blanco en particular, la cataclasis se manifiesta en extinciones onduladas y fragmentarias, y en los ya

mencionados planos paralelos de inclusiones fluidas, que, como se sabe, se interpretan como planos de rotura soldados. Sería interesante efectuar un estudio estadístico de la orientación de dichos planos, para establecer si realmente la cataclasis de la masa cuarzosa ha sido determinada por los mismos movimientos que originaron la milonitización de las rocas del basamento. Dicho sea de paso, a esta cataclasis debe el yacimiento de cuarzo gran parte de su valor económico, pues al facilitar la fragmentación de la roca, reduce considerablemente el empleo de la molienda.

Con respecto a la época en que este proceso tuvo lugar, nada puede decirse en concreto. Beder (1922, pág. 55) sugiere que el ascenso de las soluciones estuvo condicionado a la presencia de las fallas terciarias al pie de la sierra. Nosotros creemos, sin embargo, que estos fenómenos hidrotermales son anteriores a la elevación de los bloques de montaña. Considerando la antes apuntada conexión entre el reemplazo hidrotermal y las zonas de deformación sisante, siendo éstas de edad preterciaria (González Bonorino, 1950a, pág. 53) puede pensarse lo mismo del primero. La relación con la fracturación terciaria es menos evidente, y en todo caso sería más bien indirecta, por lo que ella puede haber estado en partes controlada por las zonas de deformación más antigua. Existe la posibilidad de que la silicificación haya estado relacionada con el ciclo eruptivo-metalogénico mioplioceno, bien representado en la Hoja Capi-litas con fenómenos de alteración hidrotermal (González Bonorino, 1950 a), pero nos inclinamos a creer que se trata de un fenómeno más antiguo.

En cuanto a las consecuencias prácticas que se derivan de este estudio, ellas son obvias, y se pueden resumir de la manera siguiente: *la roca del cuerpo cuarzoso de Mutquín-Cerro Blanco-Michango no tiene valor económico como fuente de arcilla de alto punto de fusión.* Mezclada con las debidas proporciones de arcilla, etc., la fracción más fina puede servir posiblemente para ciertos tipos ordinarios de productos cerámicos.

CONCLUSIONES

1. Al pie de la falda occidental de la sierra del Manchao, entre Mutquín y Michango, existe una faja de alteración hidrotermal, en la cual rocas graníticas y metamórficas han sido transformadas en un agregado fino de cuarzo, con algo de mica fina y feldespatos alcalinos. Hacia los extremos de esta faja — que se extiende de N a S por unos 10 km — la alteración ha sido menos intensa, y quedan numerosos restos de las rocas del basamento sólo parcialmente alteradas. El cuarzo es en parte de grano muy fino, y como su textura es pavimentosa se

desgrana con relativa facilidad, originando, junto con la sericita, un polvo blanquecino que ha sido erróneamente considerado, en general, como rico en caolín.

2. El material de este cuerpo cuarzoso se explota por su elevado contenido de sílice a la altura del río Siján (mina « Cerro Blanco »), obteniéndose además, por elutriación aérea, un polvo impalpable de grano menor en general a 10 micrones, que se comercia como material caolínico. Este polvo está compuesto principalmente, por cuarzo (unos 60 %) con alrededor de 25 % de sericita (y quizá hidromica), y una menor (15 %) proporción de un mineral caolínico, difícil de identificar al microscopio por sus índices de refracción similares a los del cuarzo, pero que es revelada por el diagrama de difracción de rayos X, y sugerida asimismo por el análisis químico. La fracción de grano menor de 1 micrón, correspondiente a este material más fino, separada por sedimentación, tiene una proporción de cuarzo aún mayor que aquel polvo, demostrando la imposibilidad de aislar una fracción más o menos pura de material arcilloso por los métodos corrientes basados en el tamaño de las partículas.

3. El material extraído por lavado en la mina « San Alfredo », Mutquín, consiste en partes aproximadamente iguales de cuarzo, albita y mica blanca. La fracción menor de 2 micrones, que constituye apenas 2 % del total del material lavado, está formada principalmente por *hidromica*, identificada por sus propiedades ópticas, y también por estudios con rayos X, químicos, etc., de Abeledo y Galloni. La fracción 1-2 micrones contiene además una apreciable cantidad de cuarzo. El caolín es prácticamente inexistente, salvo por una pequeña proporción que indicaría los diagramas de rayos X en las fracciones menores de 2 micrones.

4. El material de los yacimientos del área de Michango, en el otro extremo del cuerpo de alteración, es esencialmente idéntico al de Mutquín.

5. En consecuencia, la faja de alteración de Mutquín-Cerro Blanco-Michango no contiene caolín en cantidad comercial, y serán inútiles todos los esfuerzos que se hagan para explotar ese material como fuente de ese material.

6. El origen del cuerpo cuarzoso es típicamente hidrotermal; no se trata, como han sostenido algunos autores, de una simple alteración de rocas graníticas, sino de un intenso reemplazo hidrotermal de rocas de distintas clases : esquistos cuarzo-micáceos, esquistos inyectados, granito, pegmatitas. Las soluciones ascendieron a lo largo de planos de sisa originados por una deformación que transformó a granitos y esquistos en milonitas. La faja de silicificación, bien definida en general, no coincidió exactamente, sin embargo, con la zona de mayor

deformación sisante. Se conocen otros ejemplos de asociación de alteración hidrotermal con zonas de deformación milonitizante, uno en la falda de la misma sierra, al este de Pomán, y otro más al norte, al oeste de Andalgalá. No existe ninguna relación directa entre la silicificación y la tectónica terciaria del basamento.

Finalmente, es interesante señalar que la perpetuación del mito de la existencia de caolín comercial en esta formación, con la consiguiente disipación de dinero y esfuerzo en empresas destinadas desde un principio al fracaso, hubiera podido ser evitada mediante un estudio petrográfico serio. Considerando que los yacimientos en cuestión se cuentan entre los más visitados por técnicos y especialistas de distintas clases que han debido informar de una manera u otra sobre su valor, resulta evidente la necesidad de que todo estudio minero vaya precedido de una investigación mineralógica, más o menos detallada según sea la dificultad del problema, pero siempre en manos de personas competentes.

Abstract. — A zone of intense hydrothermal replacement in the crystalline basement of sierra de Ambato, NW Argentina, is described. The zone extends N-S for about 10 Km, cutting across granitic and metamorphic rocks. Silicification has been the dominant process; subordinate quantities of sericitic mica and of alkali feldspar were formed along with quartz. Replacement was strongest in the middle part of the alteration strip, which is there bounded by sharp contacts; alteration becomes less pronounced towards the ends, where relics of unreplaced schists and pegmatites are common. The white, quartzose alteration rock crumbles down easily into a sandy and powdery aggregate, which was long considered to be largely composed of kaolin, and on that account an exploitation was unsuccessfully attempted. A geologic and petrographic study, complemented by X-ray and chemical analyses, shows that the fine-grained fraction, down to less than 1 micron, is composed mainly by quartz in the middle part of the alteration zone, with only subordinate sericite and kaolinitic clay in the finer grades. The material at the end parts, which was supposed to be more kaolinic, consists of quartz plus a variable amount of albite and minor sericitic mica. The fraction less than a few microns is made up largely of hydromica (apparently of a mixed-layer type), rather pure in the colloidal grades, but contaminated by quartz and kaolinitic clay in the fraction coarser than 1 micron. The formation of this replacement body is related to that of a shear zone in the basement, whereby schists as well as granitic rocks have been milonized to a variable extent. Similar examples of close spacial relationship between shear zones and hydrothermal replacement are known from the same area.

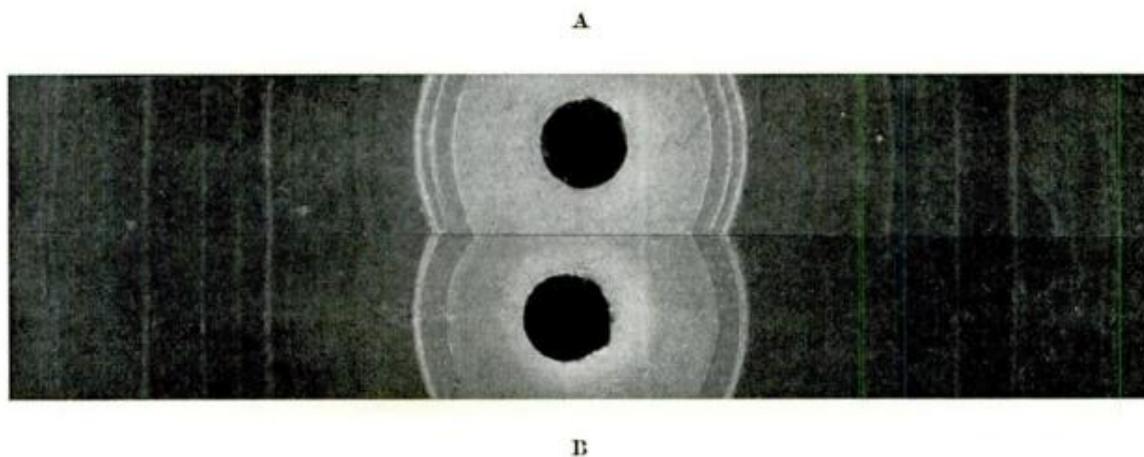


Fig. 1. — Diagramas de difracción de rayos X del material industrial de grano fino (« CaO F »), del yacimiento de « Cerro Blanco », río Siján : A, Material en bruto. Principalmente cuarzo, con algunas líneas de sericita (o hidromica) y de caolinita-halloysita. FeK α , γ ; B, Fracción menor de 1 micrón. Hay un refuerzo de las líneas del cuarzo respecto a las de los demás componentes. FeK α . Diám. cám. 57,3 mm.

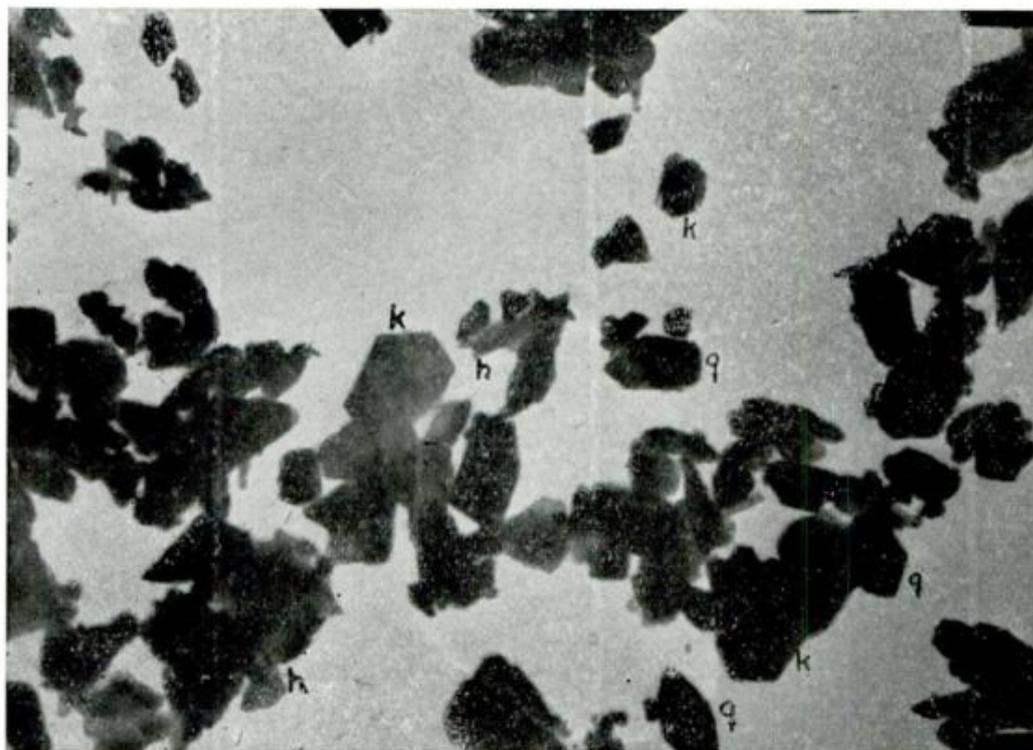


Fig. 2. — Electromicrografía de la fracción menor de un micrón (en radio equivalente) de la fracción más fina separada por ventilación en la mina « Cerro Blanco », río Siján : k, caolinita ; q, probable cuarzo ; h, hidromica?). Tomada por E. E. Galloni y M. E. J. de Abeledo. $\times 4.000$

LISTA DE LOS TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ABELEBO, M. E. J. DE, y GALLONI, E. E. 1952. *Estudio de arcillas argentinas. II. El material arcilloso en Mutquín, Catamarca.* — Ciencia e Investigación, 8, 5, pp. 232-233.
- ANGELELLI, V. y TRELLES, R. 1937. *Informe de la zona caolinica comprendida entre la Aguada de Mutquín y la quebrada de Siján.* — Informe inéd. n° 75, Dir. Min. Geol., Bs. As.
- BEDER, R. 1922. *Estudios geológico-económicos en la Provincia de Catamarca.* — Bol. 31, Dir. Min. Geol. Hidrogeol., Bs. As.
- BRINDLEY, G. W. 1951. *The kaolin minerals*, en « X-ray identification and crystal structures of clay minerals », edit. G. W. Brindley, Londres.
- GONZÁLEZ BONORINO, F. 1950a. *Geología y petrografía de las Hojas 12d (Capillitas) y 13d (Andalgaldá), Catamarca.* — Bol. 70, Dir. Gral. Ind. Minera, Bs. As.
— 1950b. *Descripción geológica de la Hoja 13e (Villa Alberdi), Tucumán.* — Bol. 74, Dir. Nac. Minería.
- GRIM, R. E., BRADLEY, W. F. y BROWN, G. 1951. *The mica clay minerals*, en « X-ray identification and crystal structures of clay minerals », edit. G. W. Brindley, Londres.
- SGROSSO, P. 1947. *Informe sobre el yacimiento de caolín de Mutquín, Catamarca.* — Informe inéd., Dir. Gral. Industria Minera, Bs. As.

Departamento de Geología.

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Buenos Aires.