

# LOS YACIMIENTOS DE CROCIDOLITA

EN LAS YUNGAS DE COCHABAMBA

(BOLIVIA)

POR

FEDERICO AHLFELD

—over—

LA PLATA  
REPÚBLICA ARGENTINA

—  
1943

## LOS YACIMIENTOS DE CROCIDOLITA

### EN LAS YUNGAS DE COCHABAMBA

(BOLIVIA)

Por FEDERICO AHLFELD

---

Los yacimientos de crocidolita situados en las Yungas de Cochabamba y conocidos desde hace unos cuarenta años, no fueron objeto de investigaciones geológicas con anterioridad al presente trabajo. El autor tuvo en los últimos años dos oportunidades para viajar por la región, donde le fué posible realizar estudios detallados. Los resultados de estas investigaciones son de tan alto interés, que creo que su publicación merecerá alguna atención por parte de los geólogos interesados.

#### UBICACIÓN

Los mapas de las figuras 1 y 2 nos informan sobre la ubicación geográfica de la zona estudiada. Los yacimientos de crocidolita se encuentran en las cabeceras del río Chapare y sus afluentes, sobre el flanco oriental de la Cordillera de Cochabamba. Política-mente la región se halla circunscripta dentro de los límites de la provincia Chapare, del Departamento de Cochabamba. La zona es accesible por medio del camino que parte de Cochabamba, pasa por Sacaba, cruza la Cordillera de Málaga a una altura de 4280 m, y luego de bajar a las Yungas del Palmar, llega a Villa Tunari (San Antonio) y Todos Santos. El flanco Este de la Cordillera de

Cochabamba cae bruscamente hacia las llanuras orientales. Sobre una distancia, en línea recta, de 30 kilómetros que separa el paso de la Cordillera de Málaga y los primeros conos de deyección de la

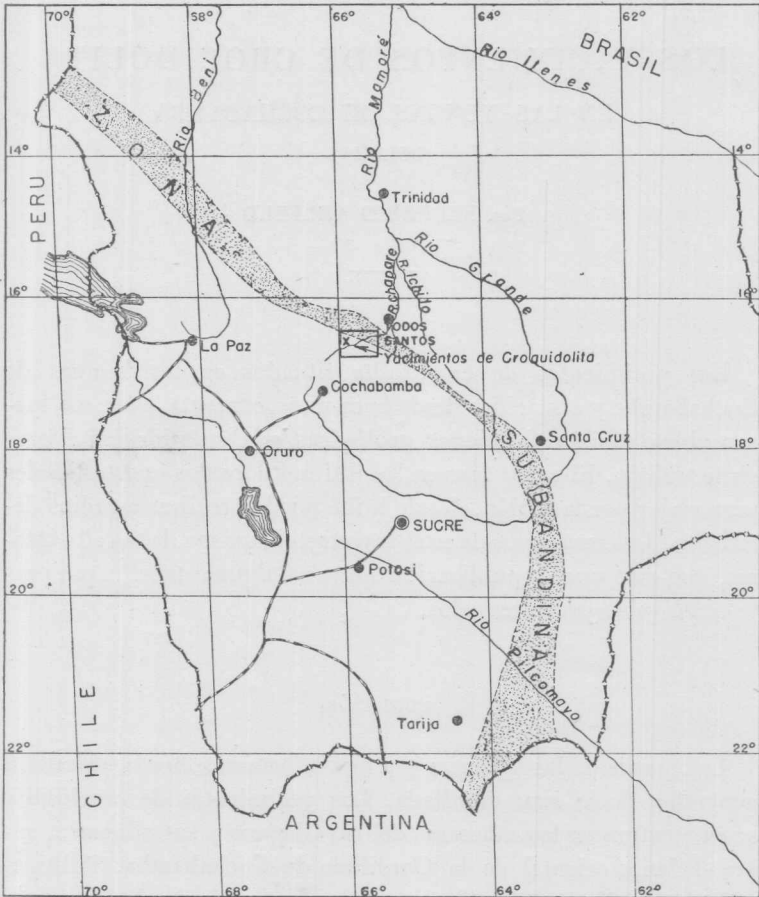


Fig. 1. — Ubicación de los yacimientos de crocidolita

llanura beniana, el desnivel de altitud alcanza a los 4000 metros.

Las regiones donde se encuentran los yacimientos de crocidolita se hallan entre los 500 y los 2400 m de altura y se distinguen

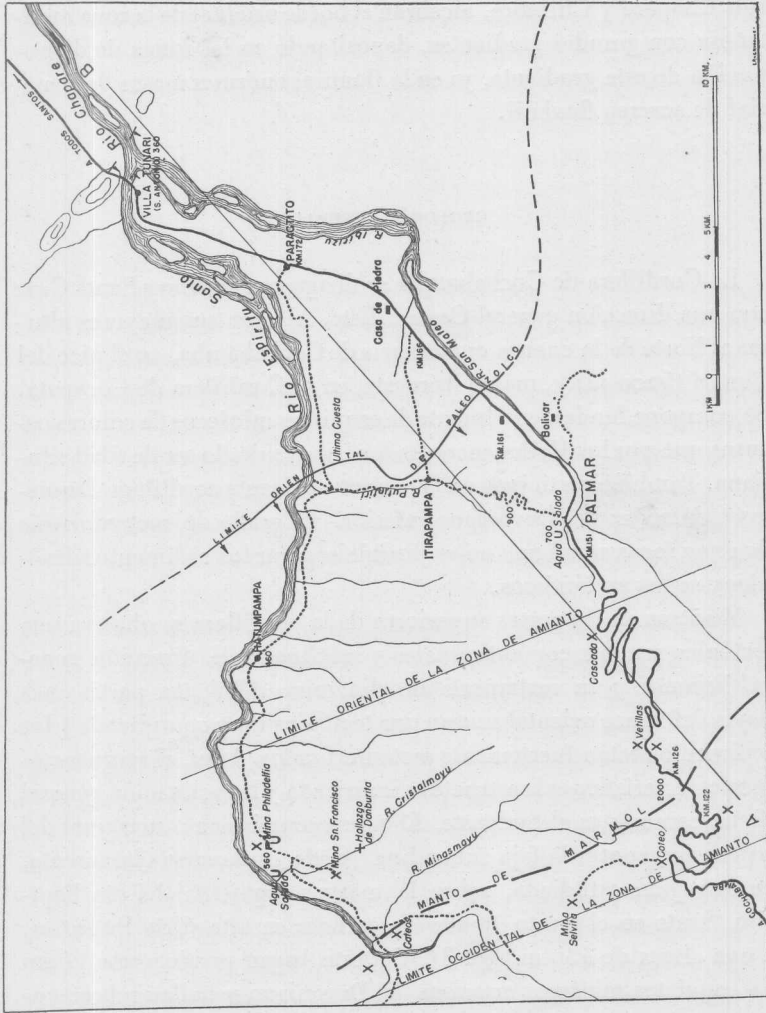


Fig. 2. — Mapa de los yacimientos de crocidolita

por su relieve abrupto y su densa cobertura de bosques subtropicales. Los ríos, de abundante caudal, que forman las cabeceras de los ríos Chapare y Chimore, alcanzan el borde oriental de la zona montañosa con grandes gradientes, depositando en las zonas de disminución de esta gradiente, ya en la llanura, enormes masas de material de acarreo fluvial.

#### GEOLOGÍA GENERAL

La Cordillera de Cochabamba se dirige con rumbo a Santa Cruz con una dirección general Oeste a Este. Alcanza sus mayores alturas al Norte de la cuenca cuaternaria de Cochabamba, en el pico del Tunari (5200 m) y, más al Noroeste, en la Cordillera de Cocapata. Se compone fundamentalmente de esquistos micáceos de colores oscuros que por los fósiles encontrados han resultado ser de edad siluriana. También participan en la estructura de esta cordillera, esquistos y cuarcitas del Devoniano inferior. El grado de metamorfosis de estas rocas es tal que no es posible separar los sedimentos devónicos de los gotlándicos.

Mientras en las partes superiores de la cordillera se observa una tectónica sencilla con anticlinales y sinclinales de dirección general Noroeste y un metamorfismo dinámico débil, las partes más bajas del flanco oriental acusan una tectónica muy complicada y los sedimentos están fuertemente metamorfizados. Aquí, el rasgo tectónico característico es la estructura imbricada y la inclinación general de las escamas es al Sudoeste. El sobrecurrimiento marginal del paleozoico contra la faja subandina puede observarse claramente, en la región estudiada, sobre la margen izquierda del río Espíritu Santo en el punto donde desemboca en éste el río Putintira, a una altura de 430 m (fig. 3). En este lugar puede verse cómo los esquistos micáceos arenosos del Devoniano se hallan sobrecurridos sobre areniscas coloradas margosas del Terciario Subandino. El sobrecurrimiento aquí tiene una dirección N 45° O y un buzamiento de 45° al SO.

Llama la atención el hecho de que el bloque paleozoico aquí se

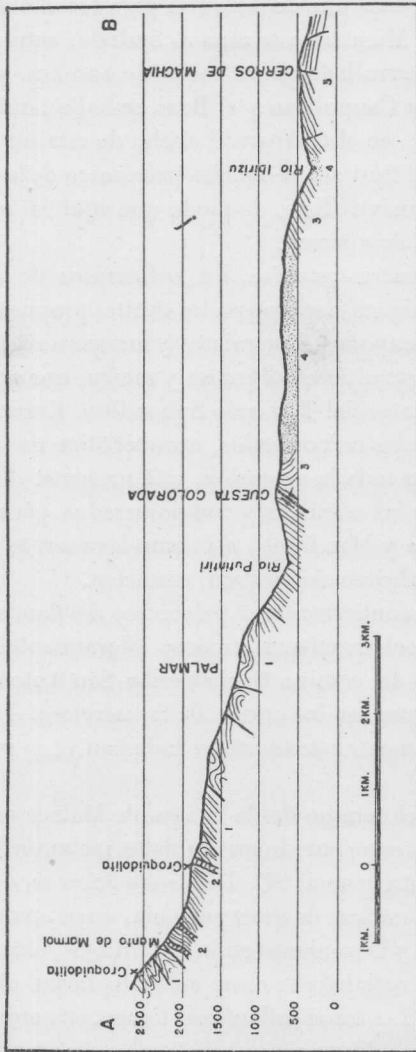


Fig. 3. — Corte geológico esquemático según A-B (véase mapa, Fig. 2). 1, Gotlándico y Devónico inferior; 2, Carbonífero; 3, Terciario Subandino; 4, acarreo fluvial cuaternario.

aproxima muy cerca del borde de la zona montañosa contra la llanura, dejando apenas una angosta faja para los afloramientos de la zona subandina. Mientras esta zona al Sudeste, entre Santa Cruz y Yacuiba, está desarrollada en un ancho de 100 km, y en el Noroeste de Bolivia, en Caupolicán y el Beni, se halla también fuertemente desarrollada, en el Chapare el ancho de esta zona es apenas de 14 km y, más al Sudeste, el macizo paleozoico de la serranía de Imajana salta aún más al Este, de modo que aquí la zona subandina prácticamente desaparece.

En el área de nuestros estudios, los sedimentos de la zona subandina, cuya investigación sobrepasa los límites propuestos del presente trabajo, se componen de areniscas y margas de color amarillo claro y rojo y de estratificación gruesa y media, que acusa similitud con los sedimentos del Terciario Subandino. El horizonte guía con troncos de árboles carbonizados, característico de la zona subandina boliviana en toda la extensión, está presente. Faltan en la región del Chapare las areniscas y conglomerados pérmicos de las formaciones Oquita y Mandiyuti, así como las margas multicolores del horizonte calcáreo-dolomítico, cretácico.

Consideramos a continuación el paleozoico del flanco oriental de la Cordillera de Cochabamba. Hermosos afloramientos se podían observar a lo largo del camino Cochabamba-San Antonio, al poco tiempo de su apertura, en los cortes de la carretera. Durante mis viajes, desgraciadamente estos cortes se hallaban ya en parte cubiertos de vegetación.

Si bajamos por el camino desde la abra de Málaga en dirección al NE, observamos en primer lugar esquistos metamórficos y cuarcitas con buzamiento general SO. Desde los 3200 m de altura comienzan zonas miloníticas de gran potencia, cuyo material pertenece al Gotlándico y Devoniano (esquistos filíticos, cuarcitas, etc.). La zona milonítica más baja se cruza antes de llegar al Palmar, a 1000 m de altura. Las zonas miloníticas tienen, en conjunto, varios centenares de metros de espesor.

A una altura de 2500 m, cerca del kilómetro 121, a partir de Cochabamba, el camino ingresa en una zona compuesta de sedimentos calcáreos y margosos, de unos 3 km de espesor. En un cor-

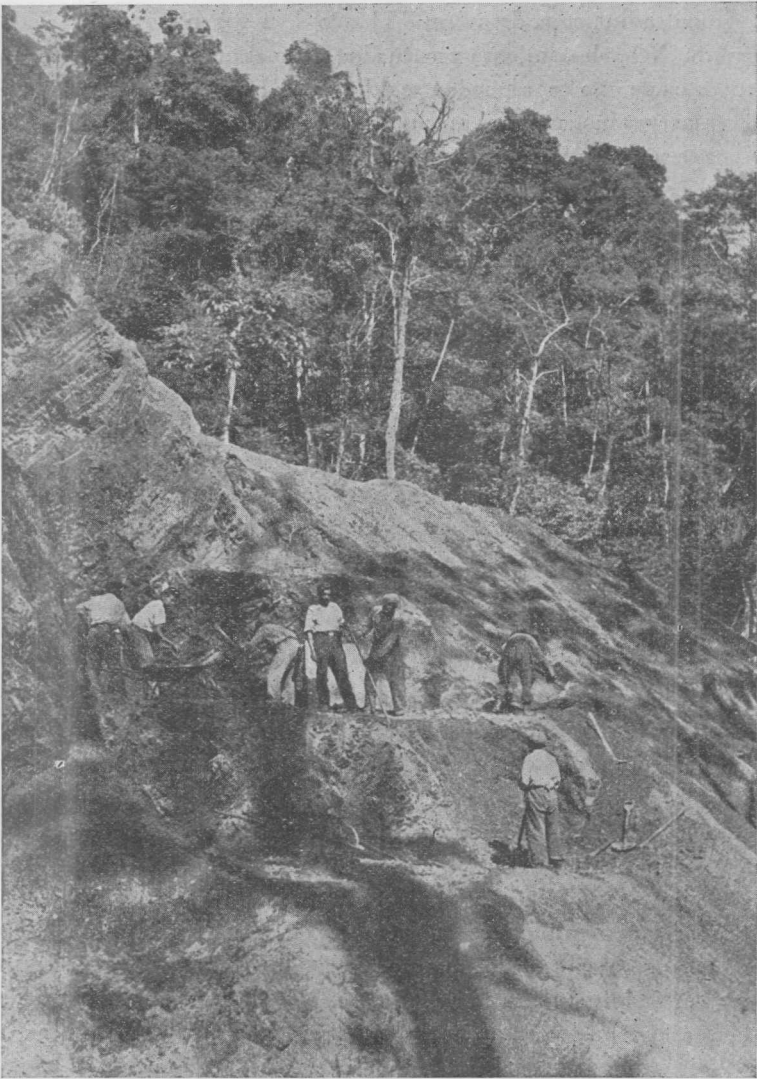


Fig. 3. — Tajo abierto de la mina « San Francisco »

te del camino, cerca del kilómetro 126 y a 2000 m de altura se encuentra una capa de mármol blanco de 2 a 4 m de potencia con rumbo NO y buzamiento acentuado (véase el mapa, fig. 2). Afloramientos de esta capa pueden seguirse al SE y al NO, observándose las escarpas lustrosas del mármol en medio del bosque. Hacia el NO la capa se extiende en dirección al río Espíritu Santo, que cruza cerca de la desembocadura del río Minas Mayu. El mármol forma bloques sueltos entre rodados de pizarras plásticas oscuras. Se trata de una caliza silíceas, completamente recristalizada por el efecto de la metamorfosis dinámica. Tiene grano grueso redondeado entremezclado con granos de cuarzo. Observé cristales de augita negra en la caliza impura, cerca de la capa de mármol. Además de esta capa de mármol, se observan a lo largo del camino varios mantos calcáreos impuros, margas y arcillas rojas. En el punto de arranque del sendero a Minas Mayu (kilómetro 117) se encuentran milonitas que, además de contener inclusiones de caliza, contienen silicatos de color verde manzana ricos en monóxido de hierro.

Este horizonte calcáreo se halla tan fuertemente metamorfizado, que es difícil reconocer su naturaleza primitiva. No se encuentran fósiles en su seno; si existían, han sido destruidos por la recristalización de los sedimentos. Por esta razón es difícil determinar la edad de este horizonte calcáreo. Probablemente, se trata del Carbonífero superior, pues el carbonífero típicamente desarrollado ha sido encontrado por O. Schlagintweit en la zona subandina de los ríos Maniqui y Beni, 250 km al Noroeste de nuestra región y existe también, según referencias, en el corte del río Yapacani, al Oeste de Santa Cruz y 140 km al ESE del río Chapare.

Como se ve del perfil (fig. 3), el supuesto Carbonífero se encuentra enclavado en bloques imbricados del Devoniano. No se conoce su extensión en sentido Sudeste. Hacia el Noroeste aflora en unos 20 km de longitud hasta llegar al río Espíritu Santo, a lo largo del cual está expuesto en un ancho de 4 km, entre los ríos Minas Mayu y Cristalmayu. Más al NO la densa vegetación tropical impide observar su continuación.

En la zona estudiada faltan intrusiones de rocas plutónicas así como metamorfismo de contacto. La metamorfosis dinámica, ex-

traordinariamente intensa, denuncia fuertes presiones y movimientos que tuvieron lugar de Oeste a Este. El sobrescurrimiento marginal del paleozoico sobre el Terciario Subandino nos demuestra que estos fenómenos de presión lateral se hallaron relacionados con la origénesis andina terciaria.

El metamorfismo dinámico sumamente fuerte en el flanco oriental del bloque paleozoico de la Cordillera de Cochabamba, entre los ríos Chapare e Ichilo, fenómeno único en toda la zona subandina boliviana, tiene su origen en la presencia, al Este de esta región, de una cuña del antiguo escudo brasileño, muy avanzada hacia el Oeste. Sedimentos precámbricos pertenecientes a la antigua masa brasileña están expuestos en las orillas del río San Miguel a una distancia de solamente 140 km del borde de los Andes en Buena Vista. Es de suponer que los antiguos sedimentos se extienden aún más al Oeste, debajo del aluvión del piedemonte andino, y que opusieron resistencia al plegamiento andino dirigido al Este. La existencia de tal cuña ha ocasionado no solamente el cambio de dirección de los Andes en la línea Arica-Santa Cruz a 18° latitud Sud, sino que ha creado también dos cuencas de sedimentación diferentes, una al Norte en la cual se observa la trasgresión marina del Carbonífero superior, y otra al Sud en la que falta el Carbonífero.

#### LOS YACIMIENTOS DE CROCIDOLITA

Los yacimientos de crocidolita se encuentran distribuídos dentro y en la inmediata proximidad del área de extensión de los sedimentos calcáreos y margosos de edad probablemente carbonífera. A causa de la escasez de afloramientos debido a la existencia de bosques tupidos, no se conoce todavía el área total de extensión de los yacimientos y se puede esperar con el tiempo nuevos hallazgos.

El límite Sud del área mineralizada actualmente conocida, se encuentra entre los kilómetros 117 y 140 del camino Cochabamba-San Antonio y el límite Norte cerca del río Espíritu Santo. En conjunto, la zona mineralizada, con una extensión de 15 km en dirección SE-NO y un ancho de 9 km, comprende un área de unos

135 km<sup>2</sup> aproximadamente. En el mapa de la figura 2, están indicados los yacimientos conocidos hasta la fecha.

Consideraremos a continuación en particular algunos de los yacimientos.

En el kilómetro 122, a una altura de 2100 m, observé un interesante afloramiento en un corte del camino a San Antonio. Pizarras oscuras fuertemente comprimidas del Devónico se hallan en una angosta zona de dirección NO reemplazadas por crocidolita microfibrrosa de un color azul gris a azul oscuro. La textura pizarrosa primitiva, se ha conservado perfectamente bien. Restos de areniscas incluidas en la pizarra no han sido reemplazadas por la crocidolita. En los planes de dislocaciones de la pizarra, la crocidolita demuestra estructura fibrosa, con fibras largas y está acompañada por talco.

Mientras los yacimientos que se hallan a grandes alturas carecen de importancia económica, los principales yacimientos se encuentran más abajo en la cuenca del río Espíritu Santo. Comienzan aquí desde la desembocadura del río Minas Mayu en el Espíritu Santo, a una altura de 600 a 800 m. No conozco personalmente las ocurrencias de crocidolita de Minas Mayu. Según referencias afloran aquí potentes zonas de pizarras devónicas crocidolitizadas de la manera ya descrita arriba.

Unos 3 km río abajo, desemboca del lado sur, en el río Espíritu Santo, el arroyo Cristalmayu. Cerca de la confluencia de ambos ríos se encuentran dos yacimientos importantes. Uno de ellos, la mina Philadelphia, se encuentra a 560 m de altura sobre la margen sur del río Espíritu Santo y unos 500 m río abajo de la confluencia mencionada. Aquí, el amianto fué descubierto ya hace muchísimos años por viajeros que utilizaban el antiguo camino de herradura de Cochabamba a Todos Santos. El extenso tajo abierto por el cual se explota el yacimiento ofrece las mejores posibilidades para estudiarlo. La roca encajonante está compuesta de pizarras arenosas, probablemente devónicas, bien estratificadas, con bancos de cuarcitas grises, duros. Abundan las dislocaciones en todas direcciones. La crocidolita se presenta en una distribución muy irregular. En parte forma el relleno de fracturas que cortan

los estratos a direcciones diferentes y en parte se encuentra en los planes de estratificación de las pizarras, de tal manera que el yacimiento tiene las características de un « stockwerk ». Las vetas de crocidolita, generalmente, tienen un ancho de 2 a 10 cm, pero también se observan ensanchamientos locales, los llamados bolsones, donde el mineral alcanza hasta 50 cm de ancho.

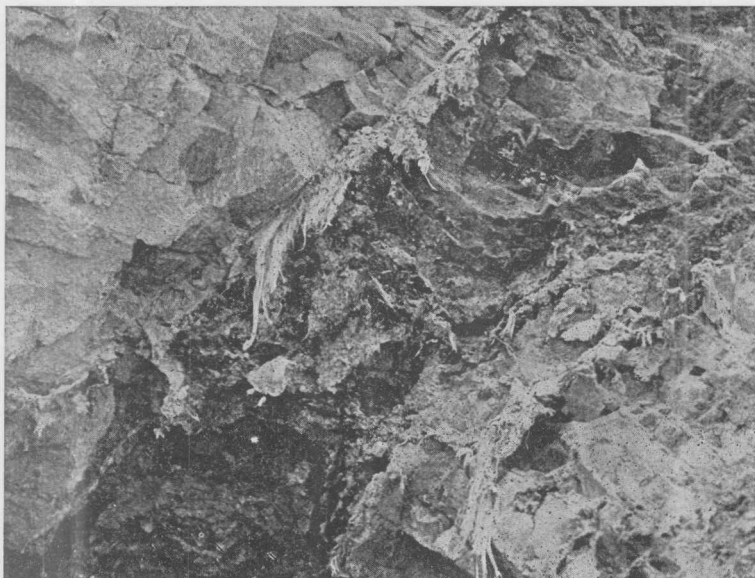


Fig. 4. — Crocidolita de fibra larga como relleno de dislocaciones entre pizarra oscura y arenisca clara. Mina « San Francisco »

La crocidolita se presenta en diferentes conformaciones. Algunos filones contienen crocidolita microfibrosa, compacta, muy tenaz, de color gris azulado sucio. Donde estas vetas cortan capas de arenisca cuarcítica, se observa bajo el microscopio que la cuarcita a lo largo de los hastiales se halla impregnada de agujas de crocidolita de 0.5 a 2 mm de longitud. Esta impregnación alcanza hasta una profundidad de 10 cm en la roca encajonante. Otras « vetas » contienen crocidolita de fibra larga. La dirección de las

fibras es muy irregular; generalmente forman un ángulo agudo con las salbandas. Otras « vetas » contienen una masa enredada



Fig. 5. — Crocidolita de fibra larga. Mina « San Francisco »

de crocidolita de fibra corta, 0.5 a 2 cm de longitud. De especial interés es la ocurrencia de cristales prismáticos de crocidolita, hasta de 6 cm de longitud, en el mineral compacto, microfibrroso. Los cristales se componen de crocidolita de fibra larga,

la dirección de cuyas fibras es paralela al eje del cristal. Asociada con la crocidolita se observa algo de piritita; además hay cuarzo lechoso o ahumado, íntimamente asociado con fibras de crocidolita.

En la superficie de este yacimiento, la crocidolita, por alteración, se halla convertida en limonita terrosa o en una masa talcosa deleznable.

Unos 2 km al sudoeste de este yacimiento, a una altura de 700 m y sobre el margen occidental del arroyo Cristalmayu, se encuentra otro yacimiento interesante, explotado en la mina « San Francisco ». En el tajo abierto de la mina (fig. 4) se observan capas de pizarras oscuras arenosas, alternando con capas de areniscas amarillo-claras, bien estratificadas y fuertemente dislocadas. Su buzamiento es al SO. Estas pizarras rodean, amoldándose a ellos, duros bancos de areniscas cuarcíticas claras, fuertemente fracturadas. Entre estas cuarcitas y las pizarras plásticas oscuras, se encuentra un relleno de 1 a 3 cm de ancho de crocidolita, la dirección de cuyas fibras es paralela a la superficie de dislocación (fig. 5). El largo de las fibras alcanza aquí hasta 1 m (fig. 6). El asbesto es de un bello color azul claro y de intenso brillo sedoso. A menudo el asbesto forma interestratificaciones de 2 cm de espesor entre las areniscas y las pizarras en cuyo caso las fibras acusan una orientación irregular. Se observa, además, que los bancos de arenisca se hallan cruzados en todas direcciones por angostas vetillas de crocidolita.

Otros yacimientos existentes se parecen a los descritos, pero no se hallan abiertos; su descripción carece de interés.

#### MINERALOGÍA DE LA CROCIDOLITA Y SUS MINERALES ASOCIADOS

Dos análisis, que debo a la amabilidad del doctor W. Brendler (Hamburgo) y un tercero, que tomo de Hintze (*Handbuch der Mineralogie*) muestran, respectivamente, la composición de la crocidolita de Bolivia y del asbesto azul de la provincia del Cabo, en Africa del Sur; nos sirven para notar la gran diferencia de la composición química de ambos tipos de crocidolita.

Análisis 1 : asbesto de fibra larga, explotación a tajo abierto de la mina Philadelphia en Cristalmayu.

Análisis 2 : crocidolita densa microfibrosa, de la misma mina.

Análisis 3 : asbesto azul, Africa del Sur.

	1	2	3
SiO <sub>2</sub> .....	54.68 %	55.16 %	52.11 %
TiO <sub>2</sub> .....	ind.	—	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	3.90	3.10	1.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	13.98	14.02	20.62
FeO.....	7.40	7.93	16.75
MnO.....	0.21	0.09	—
MgO.....	12.25	11.78	0.77
CaO.....	1.27	0.98	—
Na <sub>2</sub> O.....	5.55	5.92	—
K <sub>2</sub> O.....	0.46	0.60	—
H <sub>2</sub> O.....	0.72	1.07	—
Suma.....	100.42	100.65	98.42

Mientras que la crocidolita sudafricana tiene un alto contenido de Fe, y pequeñas cantidades de Mg, la proporción de estos elementos en el mineral boliviano es a la inversa. Desde el punto de vista técnico la crocidolita boliviana se distingue por una serie de propiedades desfavorables. La resistencia a la ruptura de las fibras es fuertemente variable. Mientras las variedades de fibra corta acusan una apreciable resistencia a la ruptura por tracción, los tipos de fibra larga son menos resistentes. También la resistencia a altas temperaturas y a los ácidos es menor en la crocidolita boliviana, que en la sudafricana. Por esta razón el valor comercial de la crocidolita boliviana es menor.

En cuanto a los minerales asociados, su conocimiento es importante para la solución del problema relativo a la génesis de la crocidolita, tema que será tratado con detalle al final de este trabajo. Como se tiene dicho, asociados al asbesto en los mismos yacimientos sólo se encuentra algo de pirita, cuarzo y talco. Cerca de la mina Philadelphia se encuentran en las pizarras fracturas rellenas con hematita. El río Cristalmayu corta en su parte inferior vetillas de ankerita. Dos kilómetros río arriba de su confluencia con

el río Espíritu Santo y sólo a 800 m de la mina « San Francisco », el río corta un banco de varios metros de ancho de dolomita blanca a gris clara de grano fino y con alto contenido de Mg, cuya superficie se halla fuertemente triturada y convertida en una masa arcillosa. También se ha formado yeso secundario. La investigación, realizada por el autor, de esta dolomita, ha dado una serie de minerales raros altamente interesantes. La dolomita y sus residuos arcillosos se hallan, localmente, piritizadas. En algunos lugares se encontraron, incrustados en los restos arcillosos de la dolomita, cristales planos y gruesos, de color gris azulado claro, lechoso o ahumado, cuyo tamaño alcanza hasta los 2 cm. Son transparentes o traslúcidos, y en secciones delgadas demuestran estar llenos de numerosas partículas microscópicas de magnesita. El doctor Herzenberg, de Oruro, que tuvo la amabilidad de analizar estos cristales, pudo determinar que se trataba del borosilicato bastante raro danburita,  $\text{CaB}_2(\text{SiO}_4)_2$ . Todos los cristales acusan formas sencillas y hábito tabular grueso. En otra oportunidad publicaré una descripción cristalográfica y mineralógica de este nuevo yacimiento de danburita.

Además de la danburita, en el lecho del río Cristalmayu, encontré rodados de un mineral traslúcido, verde claro, que el doctor Herzenberg determinó como boracita ferruginosa. Por último, he observado en fracturas de la dolomita, pequeñísimos cristales de turmalina casi negra. La procedencia de todos estos boratos es, por el momento, desconocida.

#### GÉNESIS DE LOS YACIMIENTOS

La ausencia absoluta de rocas eruptivas y de minerales metamórficos de contacto en la región investigada, excluye de antemano la posibilidad de una génesis de la crocidolita por metamorfosis de contacto. A pesar de los pocos yacimientos reconocidos, podemos más bien admitir una posible relación entre la formación de la crocidolita y los sedimentos calcáreos y margosos. Contribuye a ello de que en otras zonas subandinas, donde también es evidente

un intenso dinamometamorfismo, pero donde no existen las rocas calcáreas y ricas en magnesia como en el Chapare, no se presentan yacimientos de crocidolita.

La ocurrencia de crocidolita en las superficies de sobrescurrimientos entre paquetes de rocas de propiedades físicas diferente como, por ejemplo, entre areniscas duras y compactas y pizarras plásticas, cual nos enseña en su forma típica la figura 5, demuestra que el mineral debe su génesis al dinamometamorfismo. Las presiones han debido ser muy altas, las temperaturas probablemente no fueron elevadas.

El calcio, magnesio, hierro y sodio, necesarios para la formación de la crocidolita, sólo han podido ser de origen hidrotermal. Ca, Fe y Mg se encuentran abundantes en el horizonte calcáreo-dolomítico, de edad carbonífera. En la margen del río Espíritu Santo, entre la hacienda Hatumpampa y la confluencia con el río Cristalmayu, brotan de la superficie numerosos manantiales ferruginosos que depositan hidróxido de hierro. El sodio ha sido probablemente también transportado al lugar por acción termal. Aún hoy día podemos observar en toda la zona subandina, manantiales de aguas frías ricas en cloruro de sodio, posiblemente relacionadas con la roca madre del petróleo. En nuestra zona se presenta el río Cachimayu (Río de Sal) que desemboca cerca de El Palmar en el río San Mateo. Contiene numerosos manantiales salinos que en la actualidad se hallan tapados. Una otra vertiente de aguas salobres concentradas existía hace poco en el río Cristalmayu cerca de su confluencia con el río Espíritu Santo. Un último manantial más débil se encuentra a unos 600 m al sur del campamento de la mina Philadelphia, en pizarras del Devónico.

La formación de pirita, que ha sido observada en las « vetas » de crocidolita de la mina Philadelphia, así como en impregnaciones en la dolomita del río Cristalmayu, debe relacionarse también con las aguas termales alcalino-sulfurosas que brotan en toda la zona subandina, especialmente cerca de los anticlinales del Devónico y que tienen estrecha relación con los manantiales de petróleo y las vertientes de aguas frías salobres.

Haciendo un resumen sobre la génesis de los yacimientos de crocidolita podemos decir que ellos deben su origen al dinamometamorfismo que ha tenido lugar durante la orogénesis andina del Terciario, en asociación con el transporte hidrotermal de calcio, magnesias, hierro y sodio.