

# ESTUDIO GEOLOGICO-ECONOMICO DEL DISTRITO MINERO DE PANULCILLO Y REGIONES VECINAS

*Por Eduardo González Pacheco*

## I. SITUACION

El mineral de Panulcillo está ubicado en la provincia de Coquimbo, departamento de Ovalle, comuna de Sotaquí (fig. 1). Se halla situado en la falda oriental del cordón de cerros de Panulcillo, que forman parte de los cordones de la Cordillera de la Costa, a unos 20 kilómetros al norte de Ovalle y a unos 70 de la ciudad de Coquimbo. La altura de los trabajos principales está entre 500 y 600 metros sobre el nivel del mar. La mina Panulcillo comunica con el camino público de Ovalle a La Serena mediante un desvío de 3 kilómetros. Hasta comienzos de este siglo estuvo unido al ferrocarril de Ovalle a Coquimbo por un ramal de 5 kilómetros. Partía este ramal desde el establecimiento de fundición y empalmaba con el ferrocarril longitudinal en la estación de Higuieritas.

En el ferrocarril se transportaban grandes cantidades de minerales desde las Cardas, Cerrillos, Tambillos, Tamaya y otras estaciones.

La zona investigada se extiende entre los siguientes límites:

- a) Por el norte la cuesta de las Cardas.
- b) Por el sur el río Limarí.
- c) Por el oeste el llano de Tongoy.
- d) Por el este el trazado del ferrocarril Longitudinal norte.

Para la planificación geológica de las áreas circundantes al distrito de Panulcillo, se empleó una carta aerofotogramétrica aproximada a escala de 1 : 50.000.

El distrito mismo se planificó a plancheta, usando una escala de 1 : 5.000.

Para el estudio geológico de la mina de Panulcillo nos basamos en los planos de levantamientos interiores de la Central Chile Copper Mining Co., con escala 1 : 500, que redujimos a 1 : 1.000.

## II. HISTORIA MINERA

La zona minera, situada al noroeste de Ovalle, se caracteriza por haber vivido una de las épocas más esplendorosas de la minería: la era del cobre, desde fines de la mitad del siglo pasado hasta comienzos del presente.

a) *Tamaya*

En esta zona floreció el mineral cuprífero más grande que tuvo Chile en el siglo pasado, como lo fué Tamaya. En ese tiempo Chile fué el primer productor de cobre del mundo y gran parte de la producción que lo hizo ocupar aquel lugar provenía de Tamaya, entre los años 1860 a 1885.

Un ferrocarril unía Tamaya con el puerto de Tongoy y un ramal lo hacía empalmar con el ferrocarril de Ovalle a Coquimbo. El ferrocarril subía por la abrupta y dificultosa falda del cerro y llegaba hasta las mismas bocaminas. Hoy día solamente queda el trazado de dicho ferrocarril y llega hasta las ruinas de la que fuera la famosa Tamaya.

Tamaya fué descubierta antes de 1830; pero adquirió cierta importancia solamente en 1833 (Vicuña Mackenna, 1833). En sus principios perteneció a los descendientes de Francisco de Aguirre, dueños de la hacienda Limarí en la cual se encontraba el cerro Tamaya. Aquellos primeros dueños trabajaron superficialmente las vetas de Tamaya.

En 1833, José T. Urmeneta, administrador de la hacienda Sotaquí y de algunas minas pertenecientes a don Máximo Ariztía, empieza a trabajar en Mollacas (1), situada en la falda oriental del cerro Tamaya. En 1842 Urmeneta selló su primer socavón y en 1847 corrió el segundo, que cortó a la veta Tamaya a los 120 metros. Por último, en 1851 rompió la veta principal con un tercer socavón. En 1840 don Ramón Lecaros corrió un socavón; pero no tuvo muy buenos resultados y en 1864 vende el trabajo a Urmeneta. Este último trabajó la mina Pique que fué la mina de mayor producción: alrededor del 50% de la producción total. También trabajó la mina Chaleco en profundidad (Douglas, 1949).

Las otras minas de Tamaya fueron:

- 1) Almagro con 400 varas, longitud medida sobre el rumbo de la veta principal.
- 2) Pizarro, rica en la superficie pero que empobrece en profundidad.
- 3) Chaleco.
- 4) Rosario.
- 5) San José. Las dos últimas más grandes y más profundas que la mina Pique. En ambas se explotó bornita y fué disminuyendo la producción en ellas, gradualmente.
- 6) Dichosa.
- 7) Guías, y
- 8) Murciélago.

La producción total de estas minas, en 1871, fué de alrededor de 1.250 unidades diarias (en el período de mayor apogeo), de las cuales la mitad correspondía a la mina Pique. La ley del mineral variaba entre 12 y 25%.

La obra de mano de toda clase empleada en este mineral era atendida por unas 4.000 personas, lo que correspondía, aproximadamente, a 8.000 habitantes.

(1) En ese tiempo se empezó a conocer el procedimiento de tratamiento de minerales sulfurados, que fué introducido en Chile por Carlos Lambert, metalurgista alsaciano.

Este mineral estuvo en explotación ordenada hasta fines del siglo pasado. Desde ese tiempo comienza a trabajarse solamente por pirquineros. El agotamiento de las minas impedía una explotación económica y en mayor escala.

Hasta 1920 las minas pasaron por una serie de dueños que no hicieron trabajos de importancia. Por último, en 1925, la American Smelting Co. compró las pertenencias de las antiguas minas y corrió el socavón de la Quiroga (labor de 2.800 metros de largo, que cuelga unos 600 metros del afloramiento superior de la veta principal). El socavón comienza en la falda occidental del cerro, en la quebrada Quiroga, y corta todas las vetas, que se encuentran en broceo, presentando delgadas guías mineralizadas.

Actualmente gran parte de las pertenencias han sido adquiridas por la Compañía Minera de Punitaqui, que se ha preocupado de arreglar y desaguar el socavón de la Quiroga.

Tamaya producía entre los años 1860 y 1885 unas 3.000 toneladas anuales de cobre fino, el cual era exportado, casi en su totalidad, a Inglaterra.

A continuación haremos una breve reseña del mineral de Tamaya con datos obtenidos del informe de Douglas (1872) (2).

El yacimiento consiste en tres sistemas de vetas de rumbo N-S. (ver fig. 2).

1) La más occidental corre cerca de la base oeste del cerro. Produjo muy poco cobre.

2) La central es la gran veta Tamaya. Consiste en dos vetas gemelas, de rumbo N-S. con inclinación de 50° al W. La distancia entre vetas alcanza a veces a 9 metros y en otras se unen formando macizos mineralizados. La veta oriental se dejó sin explotar por ser muy pobre. Los caserones más grandes se presentan a intervalos, donde las vetas E. y W. se unen.

3) El tercer sistema de vetas está en la ladera oriental del cerro. Fué trabajada por Urmeneta. Su producción fué pequeña en comparación con la veta central.

La veta central aflora cerca de la cima del cerro y corre como una veta doble por tres o cuatro millas, abriéndose, a veces, al descender el afloramiento por las faldas N. y S. del cerro. La veta no ha sido productiva más allá de estas faldas. En dicha veta se desarrollaron las minas principales de Tamaya.

En los primeros metros bajo el afloramiento se observan minerales oxidados, apareciendo a continuación bronce morados y amarillos, para reducirse en el nivel 146 metros solamente a los amarillos. Los bronce aparecen mezclados con especularita y calcita. La hematita aumenta hacia abajo, haciendo cada vez más pobre el mineral.

En los niveles inferiores presenta una estructura en fajas. De yacente a pendiente se observa el siguiente perfil, sacado de la mina Pique:

- I. Salbanda arcillosa.
- II. Una faja de especularita casi pura.
- III. Una faja de bronce amarillo puro.

---

(2) James Douglas, "Las Minas de Cu en Chile" (1872). Bol. Soc. Nac. de Min. Enero y febrero de 1949.

IV. El resto de la veta consiste en bronce amarillos mezclados con cuarzo, calcita y especularita.

La ley del mineral de la veta varía de caja a caja entre 8 y 10%. Su potencia oscila de 1 a 2 metros, ensanchándose a veces a tamaños mayores. Los minerales más ricos de la mina provenían de caserones enormes, cerca del nivel 110 metros, donde la veta alcanzó 6 metros de potencia. Ese nivel producía bornita con una ley media del mineral de 30 a 35%.

#### b) Panulcillo

Otro mineral de esta zona, que vivió un período de esplendor a fines del siglo pasado y principios de éste, fué Panulcillo. Se encuentra a unos 16 kilómetros al N. E. de Tamaya.

La mina Panulcillo, junto con la mina Cocinera y la Inagotable, fueron trabajadas desde antes de principios de este siglo por la Compañía Minera "Central Chili Copper Mining Co. Ltd.". Esta compañía instaló en Panulcillo un establecimiento de fundición, que aprovechaba como fundentes los minerales piritosos extraídos de la mina. Al mismo tiempo, utilizaba materiales de excelentes propiedades escoriificadoras como es la roca de granate y la caliza marmolizada. La fundición trataba minerales comprados a las minas de los alrededores y minerales propios. Estos últimos no pasaban, en 1873, de 100 toneladas diarias, cuyas leyes fluctuaban entre 4 y 5%. Diez años antes, la mina entregaba 200 toneladas diarias. La fundición consistía en 10 hornos de reverbero y 4 hornos soplete, levantados por Carlos Lambert (hijo). Sólo 3 de los reverberos estuvieron en funcionamiento. En 1873 trataba aquel establecimiento 240 toneladas diarias de carga. El eje producido tenía leyes de 45% de cobre y la producción de eje fluctuaba entre 400 y 500 toneladas mensuales.

El personal que trabajaba en la mina no pasaba de 500 obreros. En años anteriores a 1873 llegaron a trabajar unos 1.300 obreros.

Un ramal del ferrocarril de Coquimbo a Ovalle unía Panulcillo con la estación de Higeritas. Este ferrocarril servía para transportar los minerales desde las estaciones cercanas a la fundición y también para sacar la producción hacia el puerto de Coquimbo.

El mineral comprendía las minas Panulcillo Alto, Panulcillo Bajo y Asunción.

Poco después de la primera guerra mundial, en 1919, se paralizaron los trabajos de la fundición y se suspendieron las actividades mineras debido al broceo del yacimiento en hondura y al bajo precio del cobre después del conflicto. En ese mismo año de 1919, las minas pasaron a poder del Banco Anglo de Coquimbo. Trabajaban entonces en la mina unas 500 personas. Seis años más tarde se encontraban paralizadas todas las actividades organizadas y la mina empezó a trabajarse al pirquén. Años más tarde estos yacimientos cupríferos fueron adquiridos por la Compañía Minera de Tocopilla, la que trabajó la mina Cocinera, tratando en la planta de ella los minerales de los desmontes de Panulcillo, y de la mina Condesa. Así se mantuvo la faena hasta agosto de 1944, fecha en que se paralizó la mina Cocinera

debido a una disminución de las leyes en los minerales y a dificultades en la recuperación metalúrgica (crisis de 1945).

### c) *Incienso*

En la quebrada de Inciense se desarrolló el mineral del mismo nombre. Fué otro de los minerales de importancia, pero de un grado inferior a los anteriores. Su descubrimiento data de fines del siglo pasado.

A comienzos de esta centuria se instaló una fundición cerca de los portales de los socavones de la mina, en la quebrada Inciense. Esta fundición tenía por finalidad tratar los minerales de la mina de ese nombre y de otras de la misma corrida, tales como la Condesa, Pastos Blancos, Esperanza, etc.

Este yacimiento fué trabajado por la Sociedad de Inciense, que llegó a tratar en sus mejores tiempos (1915) unas 10.500 toneladas de mineral anuales, con leyes de 4 a 5% de cobre. Explotó principalmente la zona de cementación donde aparecía calcosina junto con calcopirita.

La mina Inciense, como las minas Esperanza, Pastos Blancos y Condesa, se presentan en un lente de sedimentos metamorfoseados de características algo parecidas al de la mina Panulcillo.

### d) *Atutema*

En el cerro Atutema hubo varias minas, cuyos períodos de mayor producción corresponden a los primeros 20 años del siglo presente. La mina más desarrollada fué la Atutema.

La Atutema pertenece al grupo de minas de San Miguel. Se halla situada a 17 kilómetros al noroeste de Ovalle. Al igual que los minerales anteriores, fué descubierta en el siglo pasado y ha tenido trabajos más o menos organizados hasta después de 1925. En esta fecha se explotaron minerales de 12% de cobre. Pocos años después se paralizaron los trabajos por atierro del pique.

La zona de sulfuros comienza a los 60 metros. Primero aparece calcosina, más abajo cuprita y covelina y, al fin, calcopirita.

La mina Atutema colinda al N. W. con la mina Farellón y al S. E. con la mina Florida.

La veta corre N.O. S.E., dando vuelta al E. en dirección de otra que allí se acerca a la veta principal, pero que no es tan rica como la primera. La veta principal tiene un clavo rico que se extiende por las minas Atutema y Recuerdo hasta la Sorpresa. Las dos primeras están explotadas en la rica parte central, mientras que en la corrida y en el yacente de este clavo sólo están parcialmente explotadas. El clavo se ha comprobado hasta el límite de la pertenencia Romeral de la mina Farellón. Hacia el N.O. S.E. la riqueza disminuye en la veta; pero los trabajos de explotación alcanzan unos 300 metros de largo.

Los minerales de la zona de enriquecimiento secundario se extienden mezclados con el mineral oxidado hasta los planes.

La mina Atutema se ha formado en un filón diorítico alterado que posteriormente se mineralizó.

### III. FISIOGRAFIA

La zona de Panulcillo-Tamaya está constituida por una serie de antiguos niveles de erosión, cuyos restos han dado origen a cordones montañosos que arrancan del cerro Blanco. Los más generalizados corresponden a las siguientes alturas: 600, 900 y 1.300 metros sobre el nivel del mar.

En toda la zona se observa un relieve senil labrado posiblemente durante el Terciario medio.

Los restos de las peniplanicies están cortados hacia el sur por el valle del río Limarí, que forma un valle estrecho labrado en sus propias terrazas. Esta serie de terrazas de rodados fluviales, que aparecen rodeando al valle del Limarí, se han formado por depositación de la carga de rodados acarreados por el río al variar el nivel base de erosión. Las variaciones del nivel base de erosión se producen debido a los movimientos de ascenso y descenso de la costa de esta región, acaecidos durante el Cuaternario.

Hacia el este las peniplanicies han sido cortadas por el valle del estero Incienso que posiblemente fué un antiguo brazo del río Limarí y que ha sido excavado en la roca basal. A consecuencia de un cambio de cauce del río, se ha formado entre éste y el estero una terraza con rodados fluviales. El brazo ha quedado posteriormente aislado del cauce actual del río por un relleno de rodados, que constituye la terraza.

El estero Incienso desagua todas las quebradas situadas al sur de la Cuesta de las Cardas y se une al río Limarí un poco al sur de Ovalle.

El otro estero importante de la región es el Aguada, que desagua las quebradas de Talhuén y de los Patos. Desemboca en el río Limarí cerca del llano de los Cerrillos. La quebrada de los Patos separa el cordón del cerro Atutema del cerro Tamaya, desaguando una serie de quebradas secundarias que corren por las faldas de ambos cerros. La quebrada de Talhuén separa el cerro Atutema del cordón de cerros de Panulcillo y desagua las quebradas que nacen en estos cordones.

La región está atravesada por una serie de cordones montañosos cuyo rumbo se aproxima al N-S. y su altura varía entre 800 y 1.300 metros s. n. m. Estos cordones se desprenden de un núcleo común que está formado por el cerro Blanco. Se distinguen: hacia el S-O. el cordón formado por el cerro El Canelo, que se continúa en el imponente cerro Tamaya de laderas escarpadas, y hacia el S-E. se desprende el cordón formado por los cerros Minillas, Piedra Lisa, Panulcillo, Churuhuaso, terminando finalmente en el cerro Negro, en el cual se encuentran las minas Inagotable y Cocinera. Entre estos cordones montañosos principales aparece un tercero constituido por el cerro Atutema.

Hacia el norte del cerro Blanco se desprende el cordón de cerros de la Viñita y hacia el este el cordón de cerros que forman la cuesta de las Cardas, que unen al cerro Blanco con el cordón de cerros que forman los restos de la antigua peniplanicie de Andacollo, en la cual se distingue muy bien el cerro de La Mesa que presenta su cima en forma de una planicie horizontal.

La peniplanicie de los 600 metros estaría formada por los pequeños cordones desprendidos del sistema principal, mencionado anteriormente. A esta peniplanicie pertenecen los cerros que forman el mineral de Panulcillo, el cerro Punta-

gudo, el pequeño cordón intermedio, al norte de la quebrada de Panulcillo, y la serie de lomas situadas al este de la mina.

En el cerro de la mina Panulcillo aparece una pequeña falla que no ha tenido mucha trascendencia en la morfología regional.

Hacia el oeste del cerro de la mina, se observa un pequeño bolsón relleno con rodados más antiguos que el acarreo de la quebrada actual; posiblemente su edad es anterior al Cuaternario.

También aparecen restos de la peniplanicie de los 600 metros al oeste del cordón de cerros de Panulcillo y en el cerro Atutema.

La peniplanicie, cuyos restos aparecen a los 900 metros, está representada por una serie de portezuelos que se presentan en el cordón montañoso principal y algunas ramificaciones secundarias que se desprenden de dicho cordón. Esta peniplanicie está muy desarrollada en los cordones montañosos que rodean al cerro Tamaya, en los cuales se observa una gran planicie, que está siendo cortada por el avance de la erosión retrógrada en las quebradas Camarones y Quiroga.

En el cordón del cerro Tamaya se observan pequeños bolsones que han sido rellenados por algunas quebradas.

El cerro Tamaya y el Blanco serían los restos de la peniplanicie de los 1.300 metros a la que también pertenecerían los cerros de Andacollo.

Al S-E. de los cordones montañosos aparecen las terrazas formadas por el río Limarí, originadas por las variaciones del nivel base de erosión, a causa de los ascensos y descensos de la costa de la provincia de Coquimbo, acaecidos en el Cuaternario. Las terrazas están formadas por rodados fluviales arrastrados por el río Limarí y, en parte, por los esteros Ingenio y Aguada.

En el interior de la zona se observa la formación de pequeños bolsones rellenados por material aluvial, muy mal clasificado y sin estratificación.

Se distinguen varios niveles de terrazas. La principal corresponde a un nivel de 400 metros s. n. m. y deja a la vista restos del antiguo relieve regional.

Debido a que la cubierta de rodados no ha sido lo suficientemente potente, han quedado pequeños cerros islas que le dan cierta característica a esta parte del llano. Ha recibido, por esto, el nombre de Cerrillos.

Entre los cerrillos que aparecen en el llano del mismo nombre, cabe mencionar el de El Dorado, que tiene cierta importancia por aparecer en él un pequeño yacimiento de magnetita.

Al oeste del cerro Tamaya se extiende el gran llano de Tongoy, que deja a la vista el antiguo valle formado por el Limarí en su curso anterior.

#### IV. LAS FORMACIONES GEOLOGICAS

(Ver planos Nos. 1 y 2)

La región en estudio, comprendida entre el Limarí y la cuesta de las Cardas, está constituida por dos unidades geológicas bien definidas:

- A. La Formación Porfirítica.
- B. El Batolito Andino.

En los contactos de estas dos formaciones, se observan numerosos diques, algunos diasquísticos, representados por pegmatitas y lamprófiro y otros asquísticos, los dioríticos. También aparecen algunos pseudofilonos formados por restos de sedimentos antiguos muy micáceos.

### A. La Formación Porfírica

Aunque no hemos encontrado antecedentes paleontológicos que permitan dividir esta formación cronológicamente, desde el punto de vista petrográfico se destacan dos grupos que por analogía a lo que se conoce en otras regiones del país los atribuiremos uno al Meso Jurásico y el otro al Suprajurásico (Titoniano-Neocomiano).

1.—*La Formación Suprajurásica.*—Ocupa un área reducida de la zona estudiada. Se presenta en la región del mineral de "El Cobre". El contacto de esta formación con la Meso Jurásica, constituye probablemente la discordancia Málmica. Este contacto aparece pocos kilómetros al este del trazado del ferrocarril Longitudinal.

La formación de "El Cobre" está constituida por capas de brechas y tobas porfíricas muy bien estratificadas. Las brechas presentan cantos del mismo material que el cemento y su origen lo podemos atribuir a una lava de bloque. En esta formación se observa una tectónica muy suave, apareciendo las capas casi horizontales, con una pequeña inclinación hacia el este.

2.—*La formación Meso Jurásica.*—Ocupa la mayor parte del área abarcada por la zona de estudio.

Esta formación está constituida casi en su totalidad por lavas porfíricas, en gruesos mantos, algunos de los cuales, tienen textura fluidal, como ocurre cerca de Tamaya.

La serie porfírica aparece interrumpida por la intrusión del Batolito Andino, que ha producido en ella bastantes alteraciones.

Por efecto de la intrusión, las porfiritas han experimentado una serie de cambios metamórficos.

Al ojo desnudo las lavas porfíricas parecen a veces bastante frescas, pero bajo el microscopio se observan algunas alteraciones. Macroscópicamente se presentan como rocas de color gris oscuro o morado, de textura porfírica, con grandes cristales de plagioclasa tabular y una masa fundamental microcristalina. Algunas estratas presentan grandes fenocristales de labradorita cuya longitud alcanza a 1 cm. El mineral ferromagnésico más corriente parece ser una anfíbola. En general, el aspecto de las porfiritas es muy semejante a las estudiadas en otras regiones de Chile. Debido a la carencia de muestras de porfirita realmente frescas, hemos dejado para el capítulo sobre Metamorfismo, las descripciones microscópicas de algunos cortes de estas rocas. En ellos podemos apreciar su naturaleza y la de las alteraciones.

Una característica que llama la atención en la formación es la ausencia de material piroclástico intercalado entre las capas de porfiritas. Estas rocas son lavas producidas por una efusión muy regular, posiblemente del tipo de grietas.

Otra característica de la Formación, en esta zona, es la serie de lentes de sedimentos metamorfoseados que ella encierra.

Los lentes sedimentarios están constituídos por calizas marmolizadas, a veces granatizadas, rocas córneas y areniscas con feldespatos alcalinos. Los feldespatos alcalinos indicarían la presencia de material piroclástico en los sedimentos, por lo que se infiere una gran actividad volcánica en el período de sedimentación (Meso Jurásico). Por sus características se les puede atribuir un origen lagunar.

En todas estas intercalaciones sedimentarias, se observan manifestaciones de mineralización.

Una descripción detallada de uno de estos lentes la haremos en el capítulo correspondiente al yacimiento de Panulcillo.

### B. *El Batolito Andino*

Forma parte del batolito que corre a lo largo de la costa del territorio chileno, constituyendo el macizo de la Cordillera de la Costa. En esta región aparece representado por afloramientos de macizos aislados y pequeñas cúpulas, formando una parte importante del subsuelo (ver plano N.º 1). El Batolito Andino constituye un cuerpo geológico discordante que atraviesa la formación porfírica. Sus características son muy similares a los afloramientos observados en otras regiones de Chile. A cierta profundidad, debe abarcar gran parte del área de la zona.

En la zona de Panulcillo los afloramientos del batolito aparecen atravesados por 2 sistemas de fracturas principales, cuyos rumbos son N-S. y S-W. Estas fracturas han afectado, al parecer al lente sedimentario,

Los macizos de dioritas más importantes que aparecen en la zona, en cuanto a su extensión y mineralización, son los de Panulcillo y Tamaya. El primero se extiende desde la quebrada Incienso, por el sur; corre en dirección N-W. hasta la quebrada Pejerreyes. Aquí el rumbo del afloramiento cambia a W-E. hasta el estero Ingenio, sigue hacia el norte hasta cerca de la Cuesta de las Cardas. El contacto E. tiene un rumbo paralelo al estero Ingenio y pasa a unos 2 kilómetros al este de él. El macizo de Tamaya se extiende desde el llano de los Cerrillos, sigue en dirección de la quebrada Quiroga; en seguida toma un rumbo N-E. cortando la falda norte del cerro Tamaya, hasta la quebrada de los Patos; sigue el rumbo de ésta hasta la falda poniente del cerro El Canelo, donde el contacto toma el rumbo S-N. hasta quebrada Camarones. Hacia el O. y N-O., se pierde en los rodados del llano de Tongoy.

En general, a juzgar por las alteraciones que experimentan las porfiritas en las diversas zonas de la región en estudio, podemos decir que la intrusión no se encuentra a mucha profundidad bajo la cubierta.

A los macizos anteriormente mencionados, nos referiremos en el estudio petrográfico que haremos a continuación.

#### 1.—*El Macizo de Panulcillo*

Se presenta muy poco diferenciado, y en su mayor parte corresponde a una facie granodiorítica. Esta facie se observa en el cerro Puntiagudo, extendiéndose por las faldas de éste hacia el norte y hacia el sur, hasta el contacto con las porfiritas. Solamente en la base S-E. del cerro Puntiagudo se presenta una facie gábrica.

También se observa una pequeña zona en la cual se ha formado un bolsón aplítico. Se trata de un cerrito bajo que aparece entre las quebradas de la Campana, Condesa y Panulcillo, cerca del contacto con las porfiritas.

Cerca de los contactos del macizo con las porfiritas aparece una serie de filones aplíticos de poca potencia que atraviesan en todas direcciones el afloramiento. Estos filones son muy comunes y se pueden observar en los cortes del camino y del trazado del F. C. Su potencia no pasa más allá de los 20 centímetros.

Además de los filones aplíticos, aparecen en el cerro Punttiagudo varios pseudofilones, restos de los sedimentos depositados en esta zona, anteriores a la intrusión.

Se observan dos especies de pseudofilones:

a) *Seudofilones verdes*, cuya potencia no pasa más allá de 1 metro. Sus rumbos varían entre N-20-W. y N-30-W. La corrida no es muy larga y parecen acuñarse en los extremos.

Macroscópicamente se presentan como una roca de color verde, de grano fino, con manchitas blancas.

Al microscopio se observa una textura granoblástica constituida exclusivamente por cristales de minerales ferromagnesianos, los cuales han sido alterados de modo que toda la muestra aparece de un color café verdoso. Están representados principalmente por hojitas de biotita muy finas y cristales muy finos de anfíbola verde, fibrosa y muy pleocroica, que podría ser una actinolita. Además se observan algunas hojitas de clorita.

La muestra aparece con grandes manchas café debido a un mineral opaco, de cristalización fina, limonitizado. Posiblemente sea pirita, por su forma de cristalizar en pequeños cubos.

También se observan cristallitos de apatita que adoptan formas hexagonales, a veces alargadas.

b) *Los pseudofilones constituidos por lentes de sedimentos granitizados*.—Este tipo de roca se presenta en el contacto de las porfiritas con el macizo diorítico en la quebrada de Panulcillo. El pseudofilón tiene un rumbo N-W. y adopta una forma lenticular. Comienza a aflorar al este de la quebrada El Lazareto, donde se acuña en el interior del macizo; en seguida al N-W., pasa por la quebrada de los Hornos (aquí adquiere su mayor potencia, unos 80 metros más o menos). En este punto está el contacto entre las porfiritas y el macizo. Se introduce nuevamente en la granodiorita cortando la quebrada de Panulcillo, sigue con rumbo N-W. hasta la quebrada de la Verdiona, donde se acuña nuevamente en la granodiorita.

Macroscópicamente se presenta como una roca de color gris salmón, con manchas negras constituidas por cristales aciculares de un mineral negro, posiblemente sea hematita. Su textura es granular de grano grueso. Se observan bastantes granos de cuarzo y cristales tabulares de plagioclasa.

Al microscopio presenta una textura granoblástica, hipidiomorfa, semejando a un mosaico. Se observan ciertas zonas en las cuales los cristales aparecen atravesados por pequeñas agujas negras opacas de hematita. Estas agujas se confunden a veces con los clivajes de los cristales.

En las zonas donde aparecen las agujas, se observa un mineral opaco como relleno entre los cristales, el cual parece ser magnetita.

## Minerales

**Cuarzo.**—Es abundante y aparece en pequeñas inclusiones. Algunos granos presentan agujas de hematita. Muy pocos cristales tienen caras propias. Ocasionalmente aparece como inclusión en las plagioclasas.

**Feldespatos.**—Son tan abundantes como el cuarzo. Están representados por: plagioclasas, que aparecen macladas con leyes de Albita y Karlsbad; microclina, con su enrejado característico, no muy abundante y micropertita. La composición de la plagioclase corresponde a una oligoclase de 25% An y 75% de Ab.

Algunos cristales muestran cierta alteración sericitica y en otros se observan inclusiones de biotita en el interior del cristal. Al parecer la biotita ha segregado el hierro en forma de manchitas de magnetita.

Además de las inclusiones de mica, se observan pequeños cristallitos de cuarzo incluidos poikiliticamente, lo mismo que la mica.

**Minerales Ferromagnesianos.**—Su presencia en la muestra es escasa. Su representante es una mica café, bastante pleocroica, con fuerte absorción, se trata de biotita. Aparece muy difundida entre los minerales leucocráticos.

Como accesorios se observan cristales pequeños de granate con estructura zonar y granitos de magnetita. El granate lleva inclusiones de magnetita.

c) **Las Aplitas.**—Constituyen el cerrito Blanco y los delgados filones que aparecen en los contactos del macizo.

En el cerrito Blanco se observan ojos de cuarzo ligados a cristales prismáticos de turmalina, hasta de tres centímetros de largo. También aparecen algunas manchitas de verdiones y limonitas en un pequeño picado, cerca de los ojos de cuarzo y turmalina.

Los feldespatos corresponden principalmente a ortoclase.

Las aplitas presentan a veces algunas hojitas de minerales ferromagnesianos representados por pequeños cristales de mica y anfíbola.

En la zona aplítica encontramos manifestaciones neumatolíticas que se ponen a la vista por la formación de manchas con cristales negros de turmalina.

### *La Diorita de Panulcillo*

Forma la mayor parte del macizo de Panulcillo. Aparece constituyendo las partes bajas de la zona, salvo en el cerro Puntagudo, donde forma su núcleo. Los límites entre los cuales se extiende casi corresponden a los del macizo de Panulcillo, menos en las pequeñas zonas en las cuales aparece una diferenciación a gabro y en el cerrito aplítico.

Petrográficamente podemos clasificar esta roca como una diorita de biotita y hornblenda. Su descripción es la siguiente:

#### *Diorita de Biotita y hornblenda*

Macroscópicamente se presenta como una roca de color claro, de textura granular de grano grueso, estructura bandeada. Sus minerales principales son: feldespatos, biotita, anfíbola y en menores proporciones, cuarzo.

Al microscopio se observa una textura granular hipidiomorfa, con algunos cristales idiomorfos. La mineralización es bastante densa. Los minerales ferromagnesianos tienen la tendencia a orientarse en fajas.

Se notan efectos cataclásticos con granulamientos en los bordes de los cristales y encorvamientos de las maclas de albita.

Los cristales de feldespatos también tienen una tendencia a orientarse en fajas, al parecer en la dirección del torbellino magmático.

Los efectos cataclásticos observados en la muestra se podrían explicar como resultado del rozamiento de la masa magmática, todavía en estado plástico, con las paredes de la roca encajadora.

### *Minerales*

*Feldespatos.*—Están representados por plagioclasas, las cuales aparecen macladas con leyes de Albita y Karlsbad. Su composición corresponde a una oligoclasa.

En general los cristales aparecen frescos; aunque hay algunos algo alterados a sericita y caolín.

Debido al efecto cataclástico, muchos cristales tienen los planos de macla curvados y los bordes granulares.

También se observan cristales de ortoclasa, pero son bastante escasos y su porcentaje es muy reducido para tener cierta importancia.

*Cuarzo.*—Es algo escaso. Se presenta en cristales pequeños alotriomorfos, aparece rellenando los intersticios dejados por la cristalización de los feldespatos y minerales ferromagnesianos. Los granos llevan algunas inclusiones negras.

*Ferromagnesianos.*—Están representados por una anfíbola verde y biotita.

La anfíbola es de color verde, bastante pleocroica. Algunos cristales se presentan alterados a clorita y epidota, siendo la primera la más generalizada.

Los cristales son de formas irregulares y tamaños variables, y están orientados en fajas. Generalmente aparecen con manchitas de magnetita.

Junto con la anfíbola, aparece la biotita en cristales tabulares, de color café, con fuerte absorción. Da la impresión que la biotita ha ido reemplazando a la anfíbola, cuando ésta está cloritizada. Se observan cristales grandes de biotita formados por agrupamientos de pequeños cristales con diferente orientación óptica. También aparece con inclusiones de magnetita.

*Accesorios.*—Están representados por magnetita que aparece ligada a los ferromagnesianos. Muy pocos granitos de magnetita han cristalizado junto a los feldespatos.

También aparecen algunos granitos de titanita de color gris.

### *El Gabro de Panulcillo*

Forma una pequeña parte del macizo de Panulcillo. Aparece en la base sur del cerro Puntiaquedo, constituyendo una pequeña zona gábrica, diferenciada del macizo eruptivo primitivo, junto a la quebrada de Panulcillo. Se extiende en una faja de unos 500 metros de largo que comienza cerca del cruce de la quebrada de Panulcillo con la quebrada Verdiona, y continúa al S-E., en dirección de la

quebrada de Panulcillo. El ancho de la faja es muy irregular y su máxima amplitud no pasa de los 100 metros.

Podemos explicar su origen como producto de una diferenciación magmática.

Petrográficamente clasificamos esta roca como un gabro de augita. Su descripción es la siguiente:

### *Gabro de augita*

Macroscópicamente se presenta como una roca de color gris oscuro, de textura granular de grano grueso, con bastantes cristales tabulares de plagioclasas y cristales prismáticos de minerales ferromagnesianos, anfíbola y piroxena.

Al microscopio se observa una textura granular hipidiomorfa constituida por cristales de feldespatos muy desarrollados y en menores proporciones minerales ferromagnesianos.

### *Minerales*

*Cuarzo*.—Es muy escaso, solamente aparece en pequeños cristales aislados y su presencia es como accesorio.

*Feldespatos Potásicos*.—Están representados por ortoclasa, cuyos cristales aparecen con una serie de grietas en las cuales se observa formación de caolín. Algunos cristales presentan cerca de los bordes una textura grafo-granítica, que a veces suele formarse en gran parte del cristal. Es rara en la muestra y aparece en cristales aislados.

*Feldespatos calcosódicos*.—Están representados por plagioclasa, cuya composición corresponde a una andesina de 60% de Ab y 40% de An. Son los feldespatos más abundantes. Aparecen en cristales muy bien formados, maclados, con leyes de Albita y Karlsbad.

En los puntos de unión de los cristales de plagioclasa con la ortoclasa se ha formado myrmekita.

Se nota en algunos cristales cierto agrietamiento y manchitas de caolín, pero en general, están frescos.

Algunos cristales llevan inclusiones poikilíticas de apatita.

*Minerales Ferromagnesianos*.—Están representados por: biotita, anfíbola y piroxena.

La biotita es una mica de color café, con fuerte absorción, biaxial, negativa según cortes perpendiculares al eje c. Aparece relacionada con manchas negras de magnetita y con los otros ferromagnesianos. Se observan crecimientos entre los cristales de plagioclasas, dando la impresión de rellenar los huecos entre los cristales. A veces aparece en gránulos irregulares envolviendo a pequeños cristales de plagioclasa. Contiene pequeños cristales de apatita.

La anfíbola tiene su representante en la hornblenda, que se presenta de color verde, bastante pleocroica (sus colores varían de verde oscuro a verde claro). Los cristales están agrietados y con inclusiones de magnetita. Algunos cristales presentan manchas de color verde oscuro que son más pleocroicas que el resto.

La piroxena, está representada por una augita. Aparece en menores proporciones que la anfíbola. Tiene una coloración café, poco pleocroica y birrefringencia mediana.

Como accesorios se observan cristales de magnetita, cuya mayor concentración se nota en las zonas donde existen minerales ferromagnesianos.

También existen cristales pequeños de apatita hexagonales o en prismas cortos. Estos se encuentran como inclusiones en los cristales de mica y feldespatos.

## 2.—El Macizo Diorítico de Tamaya

Contrastando con el macizo de Panulcillo, éste aparece muy diferenciado, presentando varias facies magmáticas.

Las diversas facies las podemos explicar por el proceso de la diferenciación magmática.

El magma se ha ido diferenciando a medida que se acerca el techo de la intrusión, formando una facie pegmatítica en el contacto con la roca cobertiza y aumentando en minerales básicos (plagioclasas cálcicas y ferromagnesianos) a medida que nos acercamos al núcleo. Este aparece constituido por gabro.

Las facies presentes en el macizo de Tamaya son las siguientes:

- a) Facie pegmatítica.
- b) Facie granítica.
- c) Facie gábrica.

### *La Facie Pegmatítica*

Aparece formando el techo de la intrusión, constituyendo los filones que se presentan en el contacto directo del macizo intrusivo con la roca cobertiza. El contacto mismo de la pegmatita y la roca encajadora no aparece bien nítido, como los otros filones.

A continuación haremos una breve reseña sobre la formación de la pegmatita.

La génesis de la pegmatita ha suscitado muchas discusiones entre los diversos petrólogos, los que han elaborado varias teorías para su explicación.

Existen tres teorías principales para explicar la formación de la pegmatita. La primera sostiene que fué depositada por secreción lateral de una solución acuosa. La segunda expresa que ella es una verdadera roca ígnea que representa el último estado de la intrusión. La última teoría sugiere que se formó por una serie de reemplazos, en la roca encajadora de la intrusión.

Nos inclinamos por la tercera de estas teorías.

### *Descripción de una muestra de la facie pegmatítica de Tamaya*

*Descripción macroscópica.*—A la simple vista se presenta como una roca de color rosado claro, de textura granular de grano grueso, constituida principalmente por feldespato y cuarzo. Aparece con manchas verdes en forma de ojos o de pequeñas guiecillas de epidota.

Se distinguen cristales tabulares, brillantes de feldespatos, de color rosado,

granos de cuarzo de brillo craso, ojos de epidota cristalizada en prismas alargados y algunas agujas de anfíbola.

*Descripción microscópica.*—Al microscopio se observa un textura granular hipidiomorfa, formada por granos de cuarzo, cristales de feldespatos, algunos de los cuales presentan textura grafo-granítica y cristales de epidota y anfíbola.

### *Minerales*

*Cuarzo.*—Es muy frecuente en la muestra. Aparece en cristales bien desarrollados con bastantes inclusiones negra en fajas. Algunos son idiomorfos presentando cortes hexagonales.

Forma con los feldespatos la textura grafo-granítica por entrecrecimiento de los cristales. En la textura grafo-granítica los granitos de cuarzo tienen igual orientación.

*Feldespatos.*—Están representados por: ortoclasa, oligoclasa y micropertita. El feldespato más común es la oligoclasa. La oligoclasa tiene maclas de Albita, pero no todos los cristales están maclados.

La ortoclasa también es muy frecuente, aparece en cristales idiomorfos, que a veces están algo alterados a sericita y caolín.

La microclina se presenta con la textura de enrejado que la caracteriza. Sus cristales son bien desarrollados; pero no son frecuentes en la muestra.

En algunos feldespatos se nota una cristalización simultánea con el cuarzo en un entrecrecimiento grafo-granítico. Los granitos de cuarzo que aparecen entrecruzados con los de feldespato se extinguen simultáneamente. La textura grafo-granítica está bien difundida en la muestra, constituyendo gran parte de ella. En el centro de los cristales que presenta el entrecrecimiento grafico se ha formado un pequeño cristal de feldespato, a partir del cual ha cristalizado el entrecrecimiento grafico en forma de abanico.

*Minerales Ferromagnesianos.*—Están representados por epidota y anfíbola. La epidota es un mineral formado con posterioridad a la cristalización de los feldespatos. Forma guías o pequeñas manchas que atraviesan los cristales de feldespato, cuarzo y los agregados grafo-graníticos.

La anfíbola es escasa. Aparece en cristales pequeños aislados, parcialmente reemplazados por epidota.

Los ferromagnesianos son poco frecuentes en la muestra y su importancia es secundaria.

Como accesorios, se observan muchos granitos de magnetita, diseminados en la muestra. Algunos cristales de magnetita han sido, al parecer, reemplazados parcialmente por epidota.

### *La Facie Granítica*

Abarca una gran área que se extiende por las faldas norte y N-O. del cerro Tamaya. Ocupa una gran faja paralela al contacto con las porfiritas que va desde la quebrada Quiroga hasta la quebrada de los Patos.

Se halla en el contacto del macizo gábrico con las porfiritas del cerro Tamaya. Su presencia en la parte marginal del macizo eruptivo la podemos explicar como una diferenciación magnética y además una granitización de la roca cobertora; producida por los componentes hiperfusibles del magma. Es decir, una explicación algo similar a la formación de la pegmatita.

Petrográficamente podemos clasificar esta roca como un granito de micropertita y anfíbola, cuya descripción haremos a continuación.

### *Granito de micropertita y anfíbola*

Macroscópicamente se presenta como una roca de color grisáceo con textura granular de grano grueso. Se distinguen: granos de cuarzo, cristales tabulares de plagioclasa y agujas de minerales ferromagnesianos.

Al microscopio se nota una textura granular hipidiomorfa, con grandes cristales de feldespato que aparecen con caras propias.

La roca, en general, se presenta alterada, predominando una alteración sericitica y una cierta epidotización.

### *Mineralogía*

**Cuarzo.**—Aparece en gránulos pequeños que están rellenoando los huecos entre los cristales de feldespatos. En los granos se observan inclusiones negras muy pequeñas y en algunos se distinguen cristalitas de epidota. Es menos frecuente que los feldespatos.

En la mayoría de los cristales se observan crecimientos a expensas de los granitos que los rodean; estos cristales no tienen caras propias.

El cuarzo lo encontramos en dos generaciones: una primaria, que rellena los huecos dejados por la cristalización de los demás minerales y la otra, de origen hidrotermal, que lo presenta recrystalizado y reemplazando parcialmente a los otros minerales.

**Feldespatos.**—Son muy abundantes en la muestra, se presentan con maclas y sin ellas. Los cristales más grandes aparecen maclados con leyes de Albita y Karlsbad.

Los feldespatos potásicos están representados por micropertita y ortoclasa. Estos están parcialmente sericitizados; pero se observan varios cristales frescos.

Los feldespatos sódicos están representados por plagioclasas cuya composición es aproximadamente de  $Ab_{70}$  y  $An_{30}$  que corresponde al límite entre oligoclasa y andesina. Constituyen los cristales más desarrollados de la muestra, se encuentran maclados y están en gran parte alterados a sericita.

**Minerales Ferromagnesianos.**—Están representados por hornblenda y epidota.

La hornblenda aparece de un color verde, pleocroica y birrefringencia mediana. Algunos cristales se presentan algo epidotizados.

Además de la hornblenda, se observa formación de agujas de actinolita de color verde claro, que aparece con manchas irregulares de mineral opaco.

La epidota se presenta como un producto de alteración de los minerales ferromagnesianos. También aparece como inclusiones en los feldespatos.

Como mineral accesorio se observa un mineral opaco, que aparece en cristales y pequeñas guiecillas. Este mineral está parcialmente reemplazado por epidota. Se trataría de magnetita.

### *La Facie Gábrica*

Constituye la mayor parte del macizo de Tamaya, del cual aparece formando el núcleo. Se extiende desde la quebrada de los Patos hacia el oeste, continúa en la planicie situada al norte del cerro Tamaya y sus afloramientos siguen hacia el oeste formando el cordón de cerros situados al poniente de la quebrada de Camarones, perdiéndose por último en los rodados del llano de Tongoy.

Su origen lo podemos explicar como resultado de la diferenciación magmática.

Petrográficamente podemos clasificar esta roca como un gabro de augita. Su descripción es la siguiente:

### *Gabro de augita*

Macroscópicamente se presenta como una roca de color gris oscuro, con textura granular de grano grueso. Al ojo desnudo, se distinguen cristales tabulares de plagioclasa y muchos cristales prismáticos de color verde oscuro, posiblemente anfíbolos y piroxenas.

Al microscopio, la roca presenta una textura granular hipidiomorfa, con cristales muy bien formados, algunos de los cuales aparecen con caras propias. Está constituida por feldespatos y minerales ferromagnesianos.

### *Minerales*

*Feldespatos.*—Están representadas por plagioclasas calcosódicas, cuya composición es de 55% de An y 45% de Ab, que corresponde a una labradorita. Todos los cristales aparecen maclados, con leyes de Albita y Karlsbad.

Algunos están atravesados por pequeñas grietas, las cuales son rellenadas con inclusiones verdosas y negras que al parecer son alteraciones del cristal. Las inclusiones verdosas son de clorita y las negras, pintitas de magnetita.

En los bordes de algunos cristales se observan indicios de textura grafo-granítica, que presenta granitos de cuarzo de igual orientación óptica.

*Minerales Ferromagnesianos.*—Están representados en esta muestra por: anfíbola, piroxena y biotita.

La anfíbola es de color verde, pleocroica y de birrefringencia mediana. Por sus características parece tratarse de una hornblenda. Los cristales están cloritizados en los bordes y en pequeñas grietas que los atraviesan. Las partes cloritizadas llevan manchitas negras de magnetita.

En los bordes cloritizados de los cristales de anfíbola se observa un reemplazo de clorita verdosa por biotita de color café y fuerte absorción.

La biotita es de color café con fuerte pleocroísmo. Aparece en cristales aislados junto a los de anfíbola, a la que a veces reemplaza parcialmente.

La piroxena es mucho menos frecuente que la anfíbola y su composición pa-

rece corresponder a una augita. Se presenta de un color verde grisáceo, débilmente pleocroica.

*Cuarzo*.—Es raro, se halla en algunos cristales aislados y en los granitos que forman la textura grafo-granítica. En los cristales aislados aparece con algunas inclusiones oscuras.

*Accesorios*.—Se observan bastantes manchas oscuras de minerales opacos, posiblemente sea magnetita. Están relacionados con los ferromagnesianos, especialmente con la biotita.

También se observan cristales pequeños, en cortes hexagonales o en forma de prismas alargados, de apatita, que a veces se presentan como inclusiones en los feldespatos.

### C.—*Metamorfismo*

Los fenómenos de metamorfismo afectan a la mayor parte del área de la Formación Porfírica Meso Jurásica. Entre estos fenómenos podemos distinguir dos bien caracterizados. Uno, en el cual el agente de metamorfismo primordial es la temperatura (metamorfismo termal), y el otro, en que el vapor de agua ha desempeñado un papel de gran importancia (metamorfismo hidro-termal).

#### 1.—*Metamorfismo termal*

Se observa en una pequeña extensión en los alrededores del yacimiento de Panulcillo. Debido a este cambio metamórfico se han originado dos nuevas facies por alteración de las porfiritas. Estas son las siguientes: la *metaporfirita* y la *porfirita granitizada*.

##### a) *La metaporfirita*

Estas rocas son porfiritas metamórficas, cuyas características son muy semejantes a las porfiritas anteriormente descritas. Por lo tanto, por formar una misma unidad geológica, las describiremos como una variedad metamórfica de ellas. Se hallan rodeando el lente sedimentario de Panulcillo (ver plano N.º 3), como una aureola metamórfica que le sirve de roca encajadora. Su mayor extensión la alcanza hacia el poniente del lente, abarcando un área de unos 500 metros de ancho por 3 kilómetros de largo, en dirección N-S. Hacia el oriente del lente aparece como una delgada faja de unos 50 metros de ancho, que encaja a los sedimentos en una extensión de 1,5 kilómetros, para desaparecer a unos 800 metros al sur del contacto con el batolito. La continuación de esta faja la constituye una porfirita granitizada, la que describiremos en el párrafo siguiente, por presentar características muy particulares.

Macroscópicamente se presentan como rocas de color gris oscuro, de textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa de hasta 2 mm. y masa fundamental afanítica a microcristalina.

Al microscopio se nota una textura porfírica, con fenocristales de feldespatos y masa fundamental de textura pilotaxítica o intersertal, a veces panalotriomorfa

de grano fino, constituida por cristales pequeños de feldespato, de anfíbola, gránulos de mineral opaco, posiblemente magnetita y uno que otro cristalito de cuarzo.

### Minerales

*Feldespatos.*—Están representados por plagioclasas calcosódicas. Constituyen el mayor porcentaje de la muestra. Aparecen formando los fenocristales y gran parte de la masa fundamental. Los fenocristales están, a veces, corroídos por la masa fundamental y semidestruídos; otras veces aparecen recristalizados, dando el aspecto de una placa de porcelana quebrada a la cual se han unido los pedazos para formar un cristal original. Las plagioclasas se presentan macladas con leyes de Albita y Karlsbad. Algunos planos de macla están desviados debido a la recristalización incompleta.

Ciertos fenocristales están parcialmente alterados a sericita y caolín; otros presentan inclusiones de agujas finas verdosas de actinolita y de pequeños granitos de magnetita. Su composición de  $An_{50} Ab_{50}$ , que corresponde al límite entre andesina y labradorita.

En la masa fundamental los feldespatos parecen formando pequeños cristales tabulares, la mayoría de los cuales se presentan maclados. Su composición es parecida a la de los fenocristales. Los cristales de feldespatos de la masa fundamental aparecen rodeando a la anfíbola.

*Cuarzo.*—Es raro y aparece en la masa fundamental en cristales pequeños con bastantes inclusiones.

*Minerales Ferromagnesianos.*—Están representados por dos variedades de anfíbola:

Una anfíbola de color verde, bastante pleocroica (los colores varían del blanco al verde), birrefringencia moderada a alta. Aparece en pequeños cristales en la masa fundamental y está ligada a manchas de mineral opaco (posiblemente magnetita). Sus características ópticas son:

$$\begin{aligned} 2V &= -66^\circ \\ Z : c &= 14^\circ \end{aligned}$$

Estas características la asemejan a una hornblenda común. A veces se presenta como un conjunto de cristales pequeños en una pseudomorfo de un cristal mayor de forma hexagonal. En los bordes del cristal hexagonal reemplazado por los cristalitos de anfíbola, aparece una hilera de granitos de magnetita, los cuales a veces están en el interior.

La otra variedad de anfíbola cristaliza en agujas pequeñas de color verde y aparece diseminada en la muestra, tanto en la masa fundamental como en los fenocristales. Sus características corresponden a una actinolita. Esta anfíbola es posterior a la formación de la roca.

*Accesorios.*—Se encuentran formando manchas oscuras de mineral opaco, diseminado en toda la muestra. Posiblemente se trata de magnetita. Los cristales de mineral opaco son muy irregulares en cuanto a tamaño y forma.

También aparecen algunos granitos de titanita de color gris, pero son muy escasos.

### b) *La porfirita granitizada*

Esta roca se observa en la zona de contacto de la porfirita encajadora del lente sedimentario de Panulcillo, por el oriente, con el afloramiento del batolito de diorita andina. Abarca un área bastante reducida, que se extiende desde unos 100 metros al norte del cruce del camino a la Condesa, hasta el contacto con el afloramiento del batolito, cerca de la quebrada de Panulcillo. Por el oriente, se extiende hasta la quebrada de los Hornos y por el poniente, hasta el contacto con los sedimentos.

La altura máxima que alcanza esta capa de rocas, sobre el batolito no pasa más allá de los 100 metros.

Macroscópicamente se presenta como una roca de color gris, de grano medio a grueso, atravesada por guicillas aplíticas. Aparecen algunos granos de feldespatos más grandes que le dan el aspecto de textura porfírica. Se observan unos cristalitas tabulares, brillantes de plagioclasas, cristales de cuarzo y gránulos negros de magnetita.

Al microscopio, la muestra presenta una textura granoblástica en la cual aparecen algunos cristales más desarrollados, cuyos bordes están redondeados, al parecer corroídos por la masa fundamental. Estos restos de cristales prominentes de la muestra, dan la impresión de haber constituido los fenocristales de una textura porfírica, que primitivamente tuvo la roca. La muestra está constituida por granos de cuarzo, feldespatos alterados y epidota.

### *Los Minerales*

*Cuarzo.*—Es abundante en la muestra, muy difundido en todo el campo. Forma con los feldespatos una especie de mosaico. Los cristales aparecen con inclusiones negras, pero que no tienen ninguna orientación determinada. Los granos en general, no tienen gran variación en cuanto a tamaño; en cuanto a su forma, se observan algunos con caras propias.

*Feldespatos.*—Son muy abundantes, forman gran parte de la masa y los restos de los fenocristales, que están bastante alterados principalmente a caolín y sericita. Su composición parece corresponder a una andesina.

Algunos cristales están maclados con leyes de Albita y Karlsbad.

Los feldespatos, que constituyen los restos de la masa fundamental, se presentan casi en su totalidad alterados. Algunos de ellos aparecen sin macla. La composición de los feldespatos de la masa corresponde a la de los restos de los fenocristales, o sea, una andesina.

*Minerales Ferromagnesianos.*—Su representante es la epidota, bastante frecuente en la muestra. Parece que se halla ligada a cristales de un mineral opaco, posiblemente sea un óxido de fierro. Se trataría de una epidota ferrífera, de color verdoso. A veces ha reemplazado al mineral opaco. En la muestra parece consti-

tuir guías, que la han atravesado. Al parecer, la epidota es el producto de alteración de los minerales ferromagnesianos.

Como accesorio aparece un mineral opaco, diseminado en la muestra en forma de cristales de diverso tamaño, que parece ser magnetita.

En general, la muestra da la impresión de haber tenido textura porfírica, cuya masa fundamental ha sufrido una metamorfosis con agregado de sílice, alteración y destrucción de los fenocristales, sericitización y caolinización de los feldepatos, acompañada de una epidotización de los ferromagnesianos.

En resumen, podemos decir que en esta zona la porfiritita ha sufrido una fuerte granitización. Se nota, en este fenómeno metamórfico, la gran influencia que ha tenido la temperatura (metamorfismo termal), que ha desempeñado un papel muy importante.

## 2. *Metamorfismo hidrotermal*

Afecta a gran parte de las porfiritas Meso Jurásicas que aparecen formando el techo de la intrusión diorítica. Las alteraciones más frecuentes, observadas en esas rocas son: silicificación, propilitización y sericitización.

A continuación describiremos algunos cortes de porfiritas en las cuales podemos apreciar las alteraciones.

### a) *Porfiritita silicificada* (muestra PN 1, 2, 3, 4, 5, y 8)

Este tipo de rocas aparece en el Cerro Blanco y se extiende hacia el sur, hasta la altura de la quebrada Pejerreyes, por el mismo cordón de cerros.

Macroscópicamente se presenta como una roca de color gris claro a blanco, a veces con un leve tinte morado; textura porfírica, con grandes fenocristales de plagioclasa tabulares y una masa fundamental microcristalina, que lleva muchos granitos de cuarzo. Se observan pequeñas drusas de cuarzo, que portan hojitas de especularita.

Al microscopio, notamos una textura porfírica, con masa fundamental pilotaxítica a traquítica y fenocristales tabulares de plagioclasa; restos de minerales ferromagnesianos; bastante magnetita y hematita en gránulos irregulares, repartidos entre los cristalitos de feldespato de la masa fundamental.

## *Minerales*

*Feldespatos.*—Los fenocristales de plagioclasa se encuentran maclados según las leyes de Albita y Karlsbad. Están algo alterados a sericita y caolín. Algunos fenocristales tienen caras propias y, en parte, están corroidos por la masa fundamental. Su composición corresponde a una andesina de  $Ab_{65} An_{35}$ .

En la masa fundamental hay pequeños cristales tabulares de plagioclasa que se encuentran maclados según leyes de Albita y Karlsbad. Por sus características ópticas su composición debe ser muy semejante a la de los fenocristales, o sea, corresponden a una andesina.

Entre las tablitas de plagioclasa de la masa fundamental, se observan algunos restos de ferromagnesianos y cristalitas muy finos de magnetita y limonita.

*Ferromagnesianos*.—Son muy escasos y se muestran completamente alterados. En algunos cortes aparecen cristales de anfíbola transformados en una serpentina fibrosa con un ligero tinte verdoso.

Como minerales originados por reacción, en el metamorfismo, tenemos:

*Cuarzo*.—Aparece formando fenocristales y pequeños granitos en la masa fundamental.

*Calcedonia*, se encuentra junto al cuarzo una cristalización muy fina (cripto-cristalina). Este conjunto, forma en algunas muestras, gran parte de la masa fundamental; en otras, en cambio, aparece en pequeñas manchas aisladas.

*Especularita*, también ha cristalizado junto al cuarzo en las drusas, formando pequeñas hojitas, visibles al ojo desnudo.

En algunas muestras, se observa formación de pequeños cristales de epidota, originada posiblemente por alteración de los minerales ferromagnesianos. Se halla asociada a gránulos de mineral opaco, que a veces rodean a los cristales de epidota. Al parecer, el mineral opaco es piritita originada por propilitización de los ferromagnesianos.

En resumen, tenemos que la porfirita en esta zona ha sufrido un metamorfismo hidrotermal. En este proceso ha habido gran influencia del vapor de agua y en menor grado de los sulfuros alcalinos. El metamorfismo estaría representado por la silicificación de la porfirita, la formación de epidota y la especularita.

Posiblemente la andesina, en especial la de la masa fundamental, proviene de una plagioclasa más cálcica, en la cual se ha producido una pequeña lixiviación de la cal. Esto se pudo observar en algunos fenocristales que han recristalizado a partir de un conjunto de cristales más pequeños de plagioclasa más cálcica.

#### b) *Porfirita propilitizada*

Estas rocas aparecen en el cordón del cerro de la Piedra Lisa, que es la continuación del cordón del Cerro Blanco. La alteración propilitica se continúa un poco hacia el S-E. por el cordón de cerros de Panulcillo. Este tipo de alteración es muy notoria en el cerro de la Piedra Lisa. Se observa en este cerro una serie de fracturas de gran extensión, que han sido mineralizadas, formándose vetas.

En las muestras se nota una alteración muy fuerte debido a que fueron sacadas cerca de las fracturas.

Macroscópicamente se presenta como una roca de color gris oscuro; de textura porfírica, con fenocristales tabulares de plagioclasa y anfíbola y una masa fundamental microcristalina. Las muestras aparecen bastante epidotizadas, algunas de ellas con *pintas de verdiones* y cristales de magnetita.

Al microscopio se observa una textura porfírica con masa fundamental pilotaxítica y fenocristales de feldespatos, anfíbola y epidota.

La característica que más llama la atención, en algunas muestras, es el aspecto de los feldespatos que aparecen con un tinte rosado.

## Minerales

**Feldespatos.**—En los fenocristales están representados por plagioclasas alcalinas, cuya composición corresponde a una albita de  $An_{10}$  y  $An_{90}$ . Los feldespatos de la masa fundamental tienen una composición muy parecida.

Los fenocristales aparecen agrietados con cierta alteración sericitica y otras inclusiones. Se presentan maclados según las leyes de Albita y Karlsbad. Algunos han recrystalizado dando la impresión de estar parchados.

En la muestra PN-72, las plagioclasas aparecen con un tinte rosado y se han alterado a serpentina verde fibrosa, que se ha formado en el interior de los cristales. La serpentina parece ser antigorita cuya composición es  $3 MgO \cdot 2 SiO_2 \cdot 2 H_2O$ . La serpentización se observa en los fenocristales y en la masa fundamental. Este fenómeno se repite en menor grado en la muestra PN-69.

La masa fundamental está formada por pequeños cristales de plagioclasa, cuya composición corresponde a una albita de  $An_{10}$   $Ab_{90}$ . Entre los cristales de plagioclasa, aparecen diseminados pequeños granitos de magnetita y guías limonitizadas. La magnetita parece haberse formado junto con la roca y no provenir de una mineralización posterior.

En general, se observa una albitización de los feldespatos originada por soluciones de sulfuros alcalinos.

**Ferromagnesianos.**—Están representados por una anfíbola verdosa, bastante pleocroica, cuyas características ópticas le asemejan a una hornblenda común. A veces se notan cristales grandes, al parecer formados por recrystalización de un conjunto de pequeños cristallitos. En algunas muestras los ferromagnesianos aparecen muy alterados con formación de clorita y limonita.

Algunos minerales ferromagnesianos aparecen alterados y rodeados por un borde de mineral opaco, posiblemente pirita.

Los minerales originados por reacción serían:

La epidota, se ha formado por alteración de los feldespatos. Es muy abundante en la muestra PN-69; en ella los cristales alcanzan gran desarrollo.

La serpentina, originada por alteración de los feldespatos y ferromagnesianos.

La sericitita, se ha producido por la alteración de los feldespatos.

También parece que parte de la magnetita se ha formado por reacción.

En algunas muestras se han formado cristales de zoisita.

**Accesorios.**—Están representados por magneita, apatita, cristales hexagonales que tienen un alto relieve, y titanita en gránulos pequeños y muy escasos.

Vemos que la porfirita ha sufrido en esta zona una fuerte alteración hidrotermal, caracterizada por la formación de epidota y serpentina, y una propilitización, representada por la albitización de los feldespatos. La propilitización se ha debido a la acción de los sulfuros alcalinos.

### c) Porfirita sericitizada

Este tipo de roca se observa en el cerro Tamaya. La porfirita se alteró cuando se formaron las vetas de Tamaya. Su extensión está limitada al cerro Tamaya y sus alrededores en la aureola del batolito. La alteración aumenta en la cercanía

de las vetas, haciéndose más notable a cierta profundidad, como puede observarse en las muestras sacadas en el socavón de la Quiroga.

Macroscópicamente se presenta como una roca de color gris claro, textura porfírica con fenocristales tabulares de feldespatos y masa fundamental microcristalina. Las muestras aparecen caolinizadas superficialmente. También se observan algunas guicillas y pequeñas manchitas epidotizadas.

Al microscopio se nota una textura porfírica con masa fundamental granular y fenocristales de feldespatos alcalinos. Los feldespatos están completamente caolinizados y sericitizados, observándose apenas los contornos de ellos, que aparecen bosquejados en la zona de sericitización. Las maclas son apenas visibles, lo que hace muy difícil la determinación de la composición de la plagioclasa por métodos ópticos corrientes.

La masa fundamental está formada por un mosaico de cristalitos tabulares de feldespatos y granitos de cuarzo. Los feldespatos aparecen también aquí muy sericitizados y caolinizados.

El cuarzo de la masa fundamental lleva muchas inclusiones, constituyendo un verdadero mosaico de granos pequeños. A veces los cristales tienen caras propias; pero por lo general sus características son alotriomorfas.

La epidota, aparece en cristales irregulares, a veces pseudo hexagonales. Es bastante pleocroica y tiene birrefringencia alta. Su presencia se debe a una alteración hidrotermal. Seguramente la cal de la epidota proviene de los feldespatos.

La sericita es el principal mineral de alteración. Aparece en forma de agregados prismáticos, a veces aciculares. Reemplaza completamente a los feldespatos de los fenocristales y de la masa fundamental. A veces forma guías, en las cuales se observa formación de cristales de muscovita. La sericita es un mineral incoloro y con fuerte birrefringencia.

También se observan algunos cristales de mineral opaco que han sido limonitizados. La limonita aparece ensuciando a los cristales que rodean a los minerales opacos.

Al parecer, la roca primitiva sufrió una granitización incipiente (metamorfismo termal) y una fuerte alteración hidrotermal, la que sericitizó y caolinizó a los feldespatos, los cuales han desaparecido parcialmente. Esta alteración hidrotermal dió origen también a la epidota.

Vemos aquí la gran influencia que ha tenido el agua y los sulfuros alcalinos. En estado gaseoso, han producido esta fuerte alteración de las porfiritas, con agregado de sílice y álcalis.

## V.—TECTONICA

(Ver planos Nos. 1 y 2)

La estructura tectónica predominante en toda la región es un anticlinal, cuyas alas estarían formadas por los cordones montañosos, de los cerros de Panulcillo y Tamaya.

El ala oriental del anticlinal tiene un rumbo N. 20° W. e inclinación 50° al E.

y está constituida por los cerros Negro, Churuhuaso, Panulcillo, etc. La estratificación es muy notable en esta ala, especialmente en el cerro Negro.

El ala occidental, de rumbo N-W. e inclinación 60° al W., es bastante potente y comprendería el cerro Atutema y el cordón del cerro Tamaya.

El eje del anticlinal, de rumbo más o menos N-W., corre casi paralelo a la quebrada Talhuén, en la cual se habría formado la cima del pliegue (ver perfiles, plano N.º 3). El eje buza un poco hacia el norte, como puede verse en los afloramientos de las estratas de porfirita.

Esto es, de modo sucinto, lo que podemos adelantar en cuanto a plegamientos. Un estudio más detallado habría tenido algunos inconvenientes debido a la dificultad para encontrar una capa llave, cuyos afloramientos se presenten en diversas partes de la zona. Mediante esta capa, se habría podido reconstruir el plegamiento existente, tomando los rumbos e inclinaciones de esta capa en los diversos afloramientos. Para este efecto, se pudo haber tomado como capa llave una estrata de porfirita que presentaba grandes fenocristales de labradorita, cuyos afloramientos se pudieron observar en varios puntos; pero no lo suficiente como para determinar las formas del anticlinal.

Otra característica tectónica observada en la zona fué la ausencia de grandes fallas que tuvieron alguna influencia estructural y de cierta importancia regional. Salvo la pequeña falla que aparece interrumpiendo las estratas sedimentarias de Panulcillo y cuya existencia no ha tenido trascendencia morfológica regional, ni aun en la mineralización, pues es posterior a ella.

También se observa una zona de fractura en el cerro de la Piedra Lisa, las cuales tampoco tienen mucha influencia en la tectónica regional.

El núcleo del anticlinal ha desaparecido, en gran parte, barrido por la erosión. En su lugar, se ha formado una quebrada.

Las alas del anticlinal han sido cortadas por la intrusión del batolito de diorita andina.

## VI.—ALGUNAS MANIFESTACIONES DE MINERALIZACION EN LA ZONA DE PANULCILLO

Haremos a continuación una breve reseña de manifestaciones de mineralización en algunos picados observados en la zona de Panulcillo.

Las manifestaciones más importantes las encontramos en el cerro de la Piedra Lisa y en la quebrada de la Verdiona.

En el cerro de la Piedra Lisa, se observa una zona de fracturas y de fuerte alteración hidrotermal. El batolito de diorita parece formar aquí una cúpula, que se pone de manifiesto por un filón diorítico y un pequeño afloramiento en el nacimiento de la quebrada de las Cañas.

La zona fracturada ha presentado una roca fácil para mineralizar, especialmente en las corridas de las fracturas, según las cuales se han formado algunas vetas.

Las vetas observadas en el cerro de la Piedra Lisa corresponden a tres sistemas de fracturas principales, cuyos rumbos son: E-W., N-W. y N-E.

La veta más importante aparece en un pequeño portezuelo ubicado en el na-

cimiento de la quebrada del Rincón, en ella se ha hecho algunos picados de los cuales se observan las siguientes características:

Rumbo veta: E. W. e inclinación  $60^\circ$  al S.  
Potencia: 4 metros

La veta aparece constituida por guías arcillosas, porfirita alterada, pedazos de roca epidotizada y pintitas de verdiones.

Otra veta importante es la que aparece en el nacimiento de la quebrada de las Casas y cuyas características son:

N.  $60^\circ$  E. e inclinación  $70^\circ$  al S. E.  
Potencia: 1,5 metros.

La salbanda sur se presenta muy arcillosa. Aparece formada por una faja de unos 10 centímetros de mazacote. La veta se compone de porfirita alterada atravesada por guías arcillosas, apareciendo cerca de las cajas algunos verdiones. La veta ha sido cortada por un filón lamprofírico de rumbo N.  $60^\circ$  W/  $60^\circ$  S. W. de unos 2 metros de potencia. Se observan verdiones en ambos lados de él.

En la Verdiona, se han hecho algunos reconocimientos en la misma corrida de sedimentos de la lente de Panulcillo. Estos reconocimientos ofrecen algunas perspectivas.

El reconocimiento más importante corresponde a la mina Verdiona, cuyas características son las siguientes:

Rumbo veta: N.  $30^\circ$  W. e inclinación  $70^\circ$  al E.  
Potencia: 2 metros.

La veta está constituida por roca alterada y brechosa con bastante verdiones. La roca encajadora es una arenisca metamorfoseada y muy micácea.

En esta veta se han corrido dos chiflones, uno de ellos de unos 15 metros de profundidad.

En el desmonte, se observan pedazos de arenisca micácea esquistosa con abundantes verdiones, limonita y pequeñas guías de epidota. También aparece roca alterada, blanqueada y trozos de una brecha de cemento calcáreo. En algunas muestras del desmonte se observan pintitas de pirita, junto a las manchitas de verdiones.

Hacia el norte, se observan picados en la misma corrida de la veta.

Estos indicios de mineralización merecen un estudio más detallado.

## VII.—YACIMIENTO DE PANULCILLO

(Ver plano N.º 3)

### a) Posición Geológica

El yacimiento de Panulcillo está íntimamente ligado con el lente de sedimentos metamorfoseados y en especial, con la roca de granate.

Con la intrusión del batolito de diorita andina se ha producido en el distrito una serie de fenómenos, derivados del metamorfismo, que han alterado la formación

sedimentaria primitiva y la roca encajadora, representada por las porfiritas. Estos fenómenos del metamorfismo han facilitado la mineralización de los sedimentos.

### 1.—*El lente de sedimentos metamorfosados*

Los sedimentos de Panulcillo forman un lente muy alargado, de unos 8 kilómetros de corrida por unos 500 metros de potencia. Su rumbo es aproximadamente N-S. con una inclinación de unos 70° al este.

Su formación se debió, posiblemente, a la acumulación de sedimentos en una laguna antepuesta a la antigua costa.

Aparece representado por tres clases de sedimento. El más importante de éstos es una caliza que se presenta granitizada, pues siendo ésta una roca fácilmente reemplazable, ha sufrido un mayor metasomatismo y una fuerte mineralización. Los otros sedimentos están representados por una roca córnea y una arenisca metamorfosada rica en feldespatos alcalinos.

La caliza forma lentes alargados dentro de la roca córnea. Se distinguen tres lentes, de los cuales el de mayor importancia económica es el central. Este tiene unos 1.400 metros de largo por unos 50 de potencia. En él se han desarrollado la mina de Panulcillo y los 3 grandes rajos abiertos: Caracoles, Mina Nueva y Rosario.

Un poco al norte de este lente aparece otro más pequeño, también mineralizado, pero su importancia fué mucho menor. En él se desarrolló la mina Asunción (en la actualidad se encuentra aterrada e inundada).

Hacia el sur del lente de la mina Panulcillo aparece otro de una extensión similar al Central. En este último no se observa el mismo grado de granatización como en los anteriores. Aquí la caliza se presenta marmolizada, con formación de calcita y la mineralización es tan pobre que no se desarrollaron minas de importancia.

Rodeando a los lentes de caliza, aparece la roca córnea. Su extensión no es muy grande. Ella corresponde a una roca de biotita.

También se observa cierta mineralización en este sedimento; pero en menor escala que en la caliza. En algunas partes la mineralización de esta roca ha tenido importancia, por ejemplo en la estocada del rajo Cadena, donde se efectuaban trabajos de exploración, en la época de nuestra visita.

La arenisca metamorfosada, es el sedimento de mayor extensión. Abarca unos 6 kilómetros de los 8 del lente. Parece haber tenido una menor resistencia a la erosión, pues ocupa las partes más bajas de la zona. En este sedimento, se puede observar cierta influencia del volcanismo, que se manifiesta en la gran cantidad de feldespatos alcalinos presentes en algunas muestras. Esto se podría explicar por la presencia de material piroclástico.

### 2.—*La roca de Granate*

Aparece constituyendo gran parte de los lentes de caliza.

Las calizas por ser sedimentos fáciles de atacar por soluciones mineralizadoras ácidas, ha sido una roca reemplazada rápidamente y muy fácil de mineralizar. Se

presentan dislocadas por una serie de fracturas que han desviado a los bloques resultantes, poniéndolos en contacto con rocas de distinta naturaleza.

La caliza debió ser un sedimento muy irregular por su origen lagunar, debido a esto, se habría presentado, en ciertas zonas, como una marga, la cual por influencia de los flúidos mineralizadores, de la presión y temperatura, se ha transformado parcialmente en roca de granate. Una descripción de ella es la siguiente:

Macroscópicamente, se presenta como una roca de color café rojizo, de grano medio a grueso, a veces muy grueso con cristales hasta de 2 cm. La roca aparece bastante cristalizada con los cristales muy bien formados. Está atravesada por guías de anfíbola que portan gránulos de pirita y calcopirita.

Al microscopio se observa una textura granoblástica, constituida principalmente por granate que ocupa un 80% de la muestra y por cristales de anfíbola fibrosa, la cual aparece formando guías que llevan minerales opacos. También se observan algunos cristales de calcita.

### *Mineralogía*

*Granate.*—Aparece en cristales redondeados que tienen algunas caras propias. Es un mineral isótropo, cuyo color varía entre gris claro e incoloro (el color gris se debe seguramente a las impurezas). A veces tiene colores irisados. Su índice de refracción es bastante alto. Los granos varían bastante en cuanto a tamaño, agrupándose en grandes zonas granatíferas. Los huecos entre los cristales de granate son rellenados por la anfíbola. Algunos cristales de granate presentan estructura zonar.

*Anfíbola.*—Está representada por una anfíbola fibrosa, muy pleocroica. Su color es verde claro, a veces casi incolora. Por sus características parece ser una actinolita.

Al parecer, la anfíbola ha ido rellenando los intersticios dejados al cristalizar el granate; en ciertas zonas da la impresión de un pequeño reemplazo del segundo.

La anfíbola se presenta íntimamente ligada a los minerales opacos. Muy pocos cristales de mineral opaco aparecen en contacto directo con el granate; en cambio, son frecuentes los que están rodeados de anfíbola.

Los cristales de anfíbola aparecen a veces con manchas café de limonita provenientes de la alteración de la pirita.

Los minerales opacos han cristalizado entre las fibras de anfíbola.

No toda la roca de granate se mineralizó, como puede observarse en las diversas labores de la mina. Se ha mineralizado en mayor grado la roca que lleva guías de anfíbola.

### 3.—*La roca córnea*

Se presenta encajando a los lentes de caliza. Su extensión es reducida. Tiene un rumbo aproximadamente N. S. con inclinación 70° al E. En corrida no tiene más allá de 800 metros. A veces aparece en delgadas estratas atravesando los lentes de caliza y da la impresión de ser filones.

Lo mismo que la roca de granate, está atravesada por una serie de fracturas transversales.

También se presentan algunos bolsones mineralizados; pero de menores dimensiones que aquellos observados en la roca de granate y con una mineralización diferente.

Petrográficamente podemos clasificar a este sedimento como una roca córnea de biotita.

### *Roca córnea de biotita*

Macroscópicamente se presentan como rocas de color gris oscuro a café grisáceo, de grano fino, a veces aparecen indicios de porfiroblastos. Algunas muestras están completamente silicificadas, llevando manchas de roca de granate o de una roca verdosa de escapolita. Por lo general, cerca del contacto con la roca de granate las muestras aparecen con pintitas de mineral, especialmente pirita y a veces calcopirita.

Al microscopio se observa una textura granoblástica a porfiroblástica, de grano fino, variando el tamaño de los cristales entre 0,02 y 0,2 mm. Está constituida por granitos de cuarzo, feldespatos, clorita y biotita. También se han formado algunos fenocristales de plagioclasas, por recristalización.

En la muestra se distinguen guías en las cuales la cristalización es más gruesa y en ellas aparecen muy desarrollados los minerales ferromagnesianos,

### *Mineralogía*

**Cuarzo.**—Es el mineral más abundante de la muestra, aparece en granos cuyo tamaño fluctúa entre 0,02 y 0,2 mm. Forman una especie de mosaico junto con los granitos de feldespatos. Algunos granos han recristalizado y llevan líneas de inclusiones. Se observan algunas guicillas en las cuales los granitos no llevan muchas inclusiones; los cristales aparecen formando un mosaico, presentándose algunos idiomorfos. Estas guías, generalmente están asociadas a cristales de mineral opaco, posiblemente pirita, la cual ha mineralizado a la roca a partir de estas guías. No se observan fenocristales de cuarzo en formación como los de plagioclasas.

**Feldespatos.**—Están representados por plagioclasas alcalinas, cuya composición es de  $An_{10}Ab_{90}$ . La composición se pudo determinar solamente en algunos cristales bien formados y en los porfiroblastos en formación. El porcentaje de los feldespatos en la muestra es menor que el del cuarzo.

Los cristales más grandes y especialmente los fenocristales en formación se presentan maclados con leyes de Albita y Karlsbad. Los fenocristales de plagioclasa aparecen con los planos de maclas desviados. Al cristalizar éstos, no han podido expulsar a las inclusiones que aparecen manchándolos.

También se observan algunos fenocristales de microclina con su enrejado característico; pero son muy poco frecuentes en la muestra.

**Minerales Ferromagnesianos.**—Están representados por cristallitos de biotita café y clorita verde, que aparecen diseminados en la muestra rellenando los huecos entre los cristales de cuarzo y feldespatos. También se observan cristales alargados, muy desarrollados de estos minerales, formando guías más o menos paralelas.

Generalmente van asociados a inclusiones de minerales opacos. Junto a estos minerales se han formado algunos cristales muy desarrollados de epidota, de color café verdoso y birrefringencia alta.

Al parecer los cristales grandes de minerales opacos que parecen ser sulfuros se han localizado en estas guías o fajas de minerales de ferromagnesianos.

La biotita es la más abundante de los ferromagnesianos. Se presenta de color café, bastante pleocroica, con fuerte absorción, formando pequeñas hojitas. Los cristalitas de biotita se han ido uniendo para dar lugar a uno mayor, delgado.

La clorita es casi tan frecuente como la biotita. Se presenta de color verde, con fuerte pleocroísmo, birrefringencia débil. Aparece en cristales grandes en las guías de ferromagnesianos, junto a minerales opacos a los cuales parece reemplazar parcialmente. También es muy abundante en cristalitas, como manchitas, diseminados en toda la masa de la roca.

La epidota existe en menor proporción que los minerales anteriores. Se presenta en cristales grandes en las guías ferromagnesianas y junto a los granos grandes de mineral opaco. También se ha formado fuera de estas guías al lado de cristales de mineral opaco, al parecer reemplazándolo.

*Los minerales opacos.*—Aparecen con cristales grandes en las guías de minerales ferromagnesianos y granitos finos diseminados en la masa. Los últimos parecen ser de magnetita y su origen lo debemos buscar en el sedimento, en forma de limonita o de magnetita. En cambio, los cristales más grandes son en gran parte sulfuros (pirita, calcopirita y bornita) y han sido introducidos posteriormente al metamorfismo de la roca.

De una muestra de roca córnea silicificada, sacada cerca de una fractura en la cual aparece escapolita, se obtuvo la siguiente descripción microscópica:

La muestra presenta una textura granoblástica y se puede observar en ella una parte silicificada, constituida por granitos de cuarzo y feldespatos con recristalización incipiente y otra parte oscura formada por cristales bien desarrollados de escapolita asociada a granate. El contacto entre estas dos partes es muy irregular y en él se observa una zona alterada con limonita y epidota.

La roca con escapolita atraviesa la silicificada mediante guicillas. Los flúidos portadores de cloro han ido reaccionando con los feldespatos de la roca córnea dando origen a la escapolita.

En la parte silicificada se observan además de cuarzo, cristales de escapolita en formación, cristalitas de epidota y zoisita y limonita.

Según hemos visto en las descripciones anteriores, la roca córnea está constituida por: cuarzo, albíta, microclina, biotita, clorita y epidota. Por estos minerales que la caracterizan podemos ubicar estos sedimentos en la facie "Rocas Verdes" (Greenschists), subfacie de biotita y clorita.

Con estos antecedentes, clasificamos el sedimento como un esquisto cuarzo-feldespático (Turner, 1948, pág. 94).

#### 4.—*La arenisca metamorfoseada*

Constituye la mayor parte del lente de Panulcillo abarcando 7 kilómetros de los 8 que tiene la corrida de sedimentos. Se presenta en el contacto E. del macizo

de granodiorita de Panulcillo con las porfiritas, apareciendo bastante granitizada en la zona del contacto.

La faja de areniscas alcanza su mayor potencia cercana a los 800 metros, en la zona de Panulcillo. Más al norte disminuye la potencia a unos 500 metros, la que se mantiene más o menos constante hasta la quebrada Pejerreyes, lugar en el cual se acuña el lente (ver plano N.º 1).

Por ser un sedimento rico en feldespatos, de fácil alteración y reemplazo, en algunas zonas se ha mineralizado, como en la mina Asunción de Panulcillo y en las minas de la Verdiona.

A continuación, haremos una descripción de una muestra característica de este tipo de roca.

#### *Arenisca metamorfoseada feldespática (muestra Pn-4)*

Macroscópicamente se presenta como una roca de color café oscuro, de grano medio a grueso. Presenta textura en fajas, alternando fajas blancas de feldespato y cuarzo y negras de minerales ferromagnesianos, principalmente hojitas de biotita. Entre los minerales blancos se distinguen cristales tabulares de feldespatos y granitos de cuarzo.

Al microscopio, la muestra tiene una textura granoblástica, observándose en ciertas fajas un mayor desarrollo de los granos. Los cristales aparecen formando un mosaico constituido por granos de cuarzo con inclusiones, cristalitas de feldespato, hojitas de biotita y gránulos de magnetita.

#### *Mineralogía*

**Cuarzo.**—Es mucho menos frecuente que los feldespatos. Se presenta en cristales de formas poliédricas con bastantes inclusiones negras. Algunos cristales tienen caras propias.

**Feldespatos.**—Son muy abundantes y constituyen gran parte de la muestra. Lo mismo que los cristales de cuarzo tienen los contornos poliédricos. Están representados por plagioclasas macladas con leyes de Albita y Karlsbad. Las plagioclasas llevan bastantes inclusiones de magnetita y algunos cristales aparecen con fajas de alteraciones a sericita. Su composición corresponde a una oligoclasa. Algunos cristales no se presentan maclados. Los cristales de feldespato aparecen formando un mosaico y muy pocos de ellos tienen caras propias.

**Minerales Ferromagnesianos.**—Están representados por biotita que aparece en cristales tabulares de dimensiones variables, los cuales están orientados en una determinada dirección, la cual podría corresponder a los planos de esquistosidad.

La biotita se presenta de color café con un ligero tinte verdoso, bastante pleocroica, con fuerte absorción y birrefringencia alta. Algunos cristales están manchados con inclusiones de magnetita, a la cual parecen a veces reemplazar.

La magnetita aparece diseminada en la muestra en forma de inclusiones dentro de los cristales de feldespatos y cuarzo. También se han formado cristales grandes que aparecen entre los anteriores.

En la zona de Panulcillo, la arenisca metamorfoseada presenta una facie

marginal, de corta extensión, caracterizada por un sedimento arenoso muy rico en cuarzo y en granate y que además porta lentecitos de roca con mucha magnetita.

Este sedimento, al parecer, se ha formado en la playa de la laguna a muy corta distancia de la orilla.

Abarca un área bastante reducida que se extiende desde la quebrada de Panulcillo hacia el sur en una corrida N-S. de uno y medio kilómetros y que se va acuñando gradualmente para cerrarse a unos 100 metros al norte de la quebrada de Panulcillo Alto (ver plano N.º 2).

A continuación describiremos una muestra característica de este tipo de sedimento.

#### *Muestra Pn-7, Pn-34*

Macroscópicamente se presenta como una roca de color café morado, que aparece con manchitas lenticulares de magnetita. Está formada casi exclusivamente por cuarzo y lleva hojitas blancas brillantes de muscovita.

Al microscopio, se observa una textura granoblástica, constituida por un mosaico de granos de cuarzo, cristales de granate anisótropo, gránulos irregulares de magnetita y hojitas de muscovita. Los cristales de feldespatos son muy raros.

#### *Mineralogía*

*Cuarzo.*—Constituye la mayor parte de la muestra, donde aparece formando un mosaico. Los cristales llevan bastantes inclusiones negras y en algunos se observan cortes hexagonales. Algunos cristales han recrystalizado, esto se pone de manifiesto por la corrida de inclusiones que aparecen en sus bordes. El tamaño de los granos fluctúa entre 0,2 y 0,4 mm.

*Granate.*—Es muy abundante en la muestra. Se presenta en cristales incoloros con algunas inclusiones. Algunos cristales aparecen con caras propias.

El granate es anisótropo y no tiene pleocroísmo. Sus características ópticas, son:

$$\begin{aligned} 2V &= + 77^\circ \\ z : C &= 3^\circ \end{aligned}$$

o sea, su extinción es casi recta.

El tamaño de los cristales fluctúa entre 0,15 y 0,5 mm.

*Muscovita.*—No es frecuente, más bien rara. Se presenta en cristales tabulares, algunos muy bien formados, es incolora, de birrefringencia alta, su extinción es prácticamente paralela a las trazas de clivaje. Algunos cristales han dejado en su interior granitos de cuarzo.

*Minerales opacos.*—Están representados por gránulos de magnetita. Algunos cristales son muy finos y están diseminados en la muestra, otros en cambio, están desarrollados y dejan en el interior cristallitos de granate.

## b) Estructura

El yacimiento de Panulcillo se encuentra en una faja lenticular de calizas, intercaladas en el lente sedimentario que corre por la cima del cerro de Panulcillo. La corrida total de la faja de calizas que forman el yacimiento alcanza a 1 kilómetro con un rumbo aproximadamente N-S. (ver plano N.º 2) y manteo al este.

El yacimiento mismo está constituido por una serie de bolsionadas irregulares de mineral, que se han localizado cerca de los contactos de las estratas de caliza granitizada con las de roca córnea.

Los lentes de caliza están cortados por una falla transversal que aparece en el portezuelo de Panulcillo Alto. Esta falla tiene poca importancia en la fisiografía regional y se ha producido mucho después de la mineralización de los sedimentos. La corrida de la falla es E-W. con unos 70º de manteo al sur y presenta, en el socavón, una brecha serpentizada, cuya potencia fluctúa entre 0,6 y 1,5 metros.

Solamente ha tenido importancia económica la sección de calizas situadas al norte de la falla; en la sección del sur no se ha formado ningún clavo de importancia. Esto se debe a la fuerte granatización que presenta el sector norte de la falla, siendo muy escasas las zonas granatizadas al sur de ella.

El rumbo general de las capas sedimentarias mineralizadas es N-S. con un manteo de 70º al este.

Las corridas sedimentarias que están reconocidas por labores subterráneas, especialmente las calizas, presentan una serie de fracturas (ver plano N.º 4), algunas de las cuales aparecen con brechas de fracturas cuyas potencias fluctúan entre 0,1 y 0,4 metros. Todas estas fracturas son postminerales y, al parecer, se han producido por pequeñas tensiones al deslizarse las capas sedimentarias entre sí, según los planos de estratificación.

Se distinguen varios sistemas de fracturas. Los más importantes son los de rumbo N-W. y E-W.

No aparecen indicios de actividad filoniana que haya interrumpido la formación sedimentaria.

De las observaciones efectuadas, deducimos que los clavos de mineral, solamente se han formado por reemplazos en la roca de granate, siendo muy pobre la mineralización en la caliza marmolizada pura.

Las fracturas por las cuales han ascendido las soluciones mineralizadoras corresponden a los planos de estratificación.

Posteriormente a la mineralización se han producido deslizamientos según los planos de estratificación, formándose las brechas de fractura, cuya potencia fluctúa entre 0,2 y 0,4 metros.

Los clavos de mineral observados en la roca de granate solamente se han formado en aquellas partes en las cuales aparecen guías de minerales ferromagnesianos, especialmente anfíbola. Esta ha tenido gran importancia en la mineralización de la roca granate, según se desprende de las observaciones efectuadas en la mina.

De los primitivos clavos mineralizados, solamente quedan los grandes rajos, en las cuales se observan todavía algunos pilares como muestra del mineral que ocupó estos caserones.

La dureza de la roca ha permitido conservar la estructura primitiva del yaci-

miento el cual aparece atravesado por un sinnúmero de galerías y rajos irregulares distribuidos a lo largo de la estrata de roca granatizada.

La magnitud de los caserones hace pensar en las grandes dimensiones de los clavos y la cantidad de mineral extraído de ellos. Los caserones se asemejan a un estrecho desfiladero rocoso, con paredes muy escarpadas, unidas por puentes naturales.

El bolsón de mineral más grande ha sido el que ocupó el rajo San Gregorio.

### 1.—Descripción de la mina de Panulcillo

La mina de Panulcillo la podemos dividir en dos secciones separadas por la falla transversal que pasa por el portezuelo de Panulcillo Alto. Estas secciones serían la norte y la sur. La sección norte es la más importante y en ella se han desarrollado la mayor parte de los laboreos de la mina. La sección sur es de menor importancia, tiene algunas labores de explotación como el socavón San Pedro y el Santa Ana. Las demás han sido solamente de reconocimiento.

A continuación, haremos una breve descripción de los laboreos de la sección norte en la cual se explotó la parte más rica del yacimiento.

La mina se desarrolló mediante dos socavones principales: el San Gregorio y el Mina Nueva, siendo más importante el primero. Este, por estar a un nivel mucho más bajo (colgando gran parte del yacimiento), permitió extraer a muy bajo costo el mineral de los frentes. El socavón Mina Nueva (cota 665 metros sobre el nivel del mar) fué trabajado por la mina Panulcillo Alto la que desarrolló la sección sur y explotó principalmente minerales oxidados. Para este fin abrió los grandes rajos al sol, como son los rajos Caracoles, Mina Nueva y Rosario. La producción de los rajos Mina Nueva y Rosario era extraída por el socavón.

El socavón San Gregorio (cota 565 metros sobre el nivel del mar) tuvo por finalidad extraer principalmente los minerales sulfurados (pirita y calcopirita). Este socavón cuelga 150 metros desde la cima del cerro Panulcillo. Teniendo en cuenta que la parte útil del yacimiento no profundiza más allá de los 180 metros, se ve la importancia de él. El socavón tiene un desarrollo de unos 1.000 metros en dirección N-S. De él se desprenden galerías laterales de reconocimiento, algunas de las cuales se han corrido a lo largo de la falla grande como son las cortadas 11 y 8 en el sector San Pedro y la cortada 33 cuyo frontón está corrido en esa falla (ver plano N.º 4).

Sobre el socavón San Gregorio, se ha desarrollado la parte más importante de la mina. La mayor parte de los laboreos situados sobre el nivel del socavón consisten en rajos, chimeneas y buzones, lo que da al yacimiento un aspecto de conejera.

Estas labores mineras son en casi su totalidad inaccesibles en la actualidad, debido a los derrumbes interiores y corridas de saca.

Además de los socavones mencionados anteriormente la explotación se auxiliaba por medio de piques verticales exteriores como el Santa Isabel, corrido por la mina Panulcillo Alto y que comunicaba con el nivel Piojos. Otros piques importantes fueron el Golschmith y el Peters, cuya finalidad era la explotación de las secciones Cocina e Infierno. También se corrieron piques verticales interiores,

como el Comunes que comunicaba el socavón Mina Nueva con el nivel 30, el Viejo, cuyo fin fué el reconocimiento y explotación de las zonas situadas bajo el nivel del socavón San Gregorio. Este pique comunicaba el San Gregorio con los niveles 30, 60, 90 y 120 metros. El pique Viejo fué de gran importancia por las posibilidades del reconocimiento de los niveles inferiores. Como auxiliar del pique Viejo se corrió el Español, situado a unos 70 metros al norte del anterior y comunicaba el socavón San Gregorio con el nivel 30.

A los 100 metros de la entrada del San Gregorio, se trazó el pique Uno cuyo fin fué la explotación de la sección del mismo nombre, pero no dió resultados por el broceo en profundidad.

Bajo el nivel del socavón se desarrollaron 3 niveles: el 30, el 60 y el 90. El nivel 30 comprende 2 secciones: la norte y la sur. La sección norte tiene un desarrollo de 100 metros y la sur de 200 metros. La sección norte comunica con el pique Español mediante una pequeña estocada; también comunica con el San Gregorio por medio de una chimenea. La sección sur comunica con el pique Comunes. En esta parte se hicieron algunos sondajes de reconocimiento.

El nivel 60 también tiene 2 secciones, la norte con unos 100 metros de desarrollo y la sur con 150 metros. La sección norte comunica con el nivel 30 por medio de una chimenea.

El nivel 90 solamente se desarrolló en la sección con una longitud de 150 metros. Este nivel fué corrido principalmente en la estrata de roca córnea mineralizada, según se desprende de los sondajes 20 y 30.

A 500 metros al norte del portal del socavón San Gregorio se desarrolló la mina Asunción, en un lente de calizas completamente granatizado, ubicado en la misma corrida de sedimentos. Esta mina tuvo bastantes reconocimientos; pero los resultados no fueron muy halagüenos. La mina fué desarrollada por dos piques verticales: el Viejo Asunción y el Nuevo. Además de estos piques se corrió el socavón Asunción que comenzaba a unos 50 metros al sur de la quebrada de Panulcillo y comunicaba con los dos piques. Entre los piques se desarrollaron cuatro niveles: Tillys 54, 74, 98 y 122.

Parece que el socavón Asunción tenía por finalidad comunicar con la mina Panulcillo; pero debido a dificultades posteriores se paralizó este trabajo y se corrió el socavón San Gregorio.

## 2.—Descripción de los rajos principales de la mina Panulcillo

El yacimiento fué explotado por dos minas, la de Panulcillo Bajo y la de Panulcillo Alto. Estas minas siguieron el sistema de explotación por hundimiento, dejando así grandes caserones.

Los rajos más importantes están desarrollados a lo largo del contacto oeste de la estrata de roca de granate.

A continuación, haremos una breve descripción de los rajos más importantes de la mina. Comenzaremos por los situados más al norte (ver plano N.º 5).

1) *Rajo Cocina*.—Comprende varios rajos pequeños que se designan: Cocina Norte, Cocina Nuevo, Cocina Infierno y Cocina Viejo. Estos están comunicados entre sí por labores irregulares y pequeñas chimeneas. A veces aparecen separados

solamente por grandes pilares o cogotes, que han servido de camino de acceso a los mineros.

El rajo se ha desarrollado a lo largo de la caja O. del yacimiento en una zona en la cual se ha producido un enriquecimiento secundario. En el borde O. del rajo se observa uno de los planos de estratificación de la caliza, el cual presenta una brecha de unos 0,3 metros de potencia, apareciendo la superficie de ella con estrías de deslizamiento según el plano de estratificación. Esto indica que se ha producido un movimiento entre las capas de sedimentos el que ha sido posterior a la mineralización. En algunas partes, se observa, en esta caja, la roca córnea muy silicificada y en otras aparece algo mineralizada con pirita.

En el borde este del rajo aparece roca de granate estéril que limita la mineralización hacia el este.

El rajo se extiende en una faja de unos 60 metros de largo por unos 20 de ancho.

El límite inferior del rajo está en el extremo inferior de la zona de cementación.

Hacia el sur la sección se continúa en una serie de rajos más pequeños como el 28 y 28 chico.

2) *Rajo 29.*—Constituye junto con el 28 y 28 chico un bolsón de importancia. Sus características son algo parecidas al rajo Cocina; pero su mineralización es más pobre, pues se ha desarrollado en un nivel inferior al rajo Cocina, precisamente en el extremo de la zona de cementación. Hacia abajo se termina la explotación en este rajo, porque se llega a la zona de broceo, con muy baja ley en cobre.

3) *Rajo Cadena.*—Es la continuación del rajo Cocina y está desarrollado en el mismo nivel que este último. Según informes antiguos se encontró aquí una bolsónada de mineral de muy buena ley, el cual todavía se puede apreciar en los pilares y restos de la saca. Al igual que el 29, este rajo se desarrolló en el contacto con la roca córnea y cerca del límite inferior de la zona de cementación. También aparece en este punto la roca córnea algo mineralizada.

Estos se prolongan hacia arriba en labores que comunican con el rajo abierto Caracoles. Este último tiene unos 200 metros de largo por unos 50 de ancho y fué abierto para explotar la zona de mineral oxidado.

4) *Rajo San Gregorio.*—Este rajo se desarrolló en el clavo más grande de la mina y es por esto el caserón de mayores dimensiones que existe en la mina. Por su magnitud recibe el nombre de Catedral. Tiene una longitud de unos 160 metros, por unos 40 de ancho y una altura de 50 metros sobre el nivel del socavón, prolongándose hacia abajo, en el sector del pique Viejo, hasta el nivel 30 (en este sector el techo no tiene más de 20 metros sobre el socavón San Gregorio). La explotación se ha llevado mediante el sistema de hundimiento, dejando gran parte del rajo lleno con saca. Lo mismo que en los rajos más al norte el bolsón mineralizado se ha formado cerca de la caja O. del yacimiento. Al llegar al nivel 30 la mineralización disminuye notablemente y se brocea en pirita.

En el extremo E. del rajo aparece roca de granate estéril con muy poco ferromagnesiano y algunas pintitas de pirita. Hacia el norte y a un nivel un poco superior, el rajo San Gregorio se prolonga en los rajos Pajas Cinco e Inferno. El primero hacia el N-E. y el segundo al N-O., en la caja O. del yacimiento, siguiendo la bolsónada de mineral.

El rajo está atravesado por varias fracturas brechosas, todas ellas son post-minerales y su influencia en la mineralización está restringida a pequeños enriquecimientos secundarios locales.

Este rajo comunica con el extremo sur inferior del Caracoles.

Sobre el bolsón mineralizado del rajo San Gregorio y a corta distancia hacia el sur, se encuentra el último gran clavo de mineral. Este fué explotado en la parte superficial por la mina Panulcillo Alto, que trabajó el rajo abierto Mina Nueva; al igual que en el Caracoles, se explotó en éste, mineral oxidado.

Bajo el nivel del socavón Mina Nueva se desarrolló una serie de rajos, en la zona de cementación, de cierta importancia, pero que no podemos describir en detalle por encontrarse aterrados. Entre estos rajos se distinguen: el 4, el 5, Piojos y Comunes. Para extraer la explotación de éstos existían piques verticales o chimeneas que comunicaban con el socavón San Gregorio.

La mineralización parece terminar hacia el sur con el bolsón del rajo Comunes. Este ha sido de cierta importancia y su explotación ha alcanzado hasta el nivel 30. El rajo Comunes se desarrolló en la caja E. del yacimiento. En esta sección del yacimiento, aparece una serie de fracturas brechosas que han desviado los bloques de caliza granatizada, haciendo cambiar continuamente la dirección de las labores de explotación. Estas fracturas no son visibles en la superficie y adquieren importancia a medida que aumenta la profundidad.

En el portezuelo de Panulcillo Alto, al norte de la falla grande, se desarrolló el rajo abierto Rosario, que explotó la zona de mineral oxidado. Se prolongó hacia abajo hasta el socavón Mina Nueva. Estuvo comunicado con el socavón San Gregorio mediante el pique Comunes.

Desde el rajo Comunes hacia el sur, desaparece la roca de granate y la caliza se presenta marmolizada, disminuyendo notablemente la mineralización. Solamente aparecen algunas manchas con pirita.

En la caliza marmolizada que aparece al sur de la falla grande, se observan pequeñas manchas granatizadas, algo mineralizadas con pintas de pirita y calcopirita. En estas zonas granatizadas, se han hecho algunos reconocimientos; pero los resultados han sido negativos. Los que han tenido mayor éxito han sido el socavón San Pedro, del cual se extrajo una pequeña cantidad de minerales, y el socavón Santa Ana.

De todos los reconocimientos, se observa un broceo del yacimiento al llegar a la caliza marmolizada, apareciendo solamente manchitas y ojitos aislados de pirita.

### c) Mineralización

El relleno de los clavos o bolsonadas de mineral está constituido por una masa (la principal del yacimiento) que consiste en una mezcla sólida de pirita de fierro común, magneto-pirita, granate con guías de anfíbola verde fibrosa, calcopirita y pequeñas cantidades de magnetita, a veces abundantes hojitas de mica. En algunos rajos, como en el Cocina, aparecen también cobre nativo de cementación y yeso, cerca de las fracturas.

En la parte superficial del yacimiento, en la zona de oxidación, se han formado carbonatos de cobre, algo de sulfatos, silicatos y a veces cubiertos por una delgada

capa de sílice coloidal, y algunas pequeñas cantidades de sulfuros de otros metales, de menor temperatura, como son la galena y blenda (esto es en la parte inferior de la zona de oxidación). Todo este conjunto de minerales constituyen la mena, la cual se presenta extremadamente dura y difícil de quebrar.

En todo el yacimiento, la mineralización es muy similar.

La roca de granate está constituida por cristales isótropos de granate, unidos por un cemento formado también por cristales más pequeños del mismo material.

En un perfil en la caja occidental del yacimiento, en la parte inferior de uno de los rajos abiertos de explotación, Douglas (Bol. Soc. Nac. de Min., enero de 1942), encontró lo siguiente, de oeste a este:

A) Salbanda arcillosa café.

B) Una faja de galena, con un poco de plata, de espesor variable.

C) Masa principal del yacimiento, que consiste en una mezcla sólida de piritas de hierro comunes, piritas magnéticas y granate, con piritas de cobre y una pequeña cantidad de blenda negra.

La pirita de los niveles superiores aparece bastante limonitizada, igualmente en la zona superficial.

En los rajos al sol se observan fajas limonitizadas por descomposición de la pirita, especialmente cerca de las salbandas arcillosas.

En el sector sur del yacimiento, en los socavones de San Pedro y Santa Ana se presentan bastantes romboedros de calcita atravesados por guías negras, formadas por hojitas de especularita, cuyo tamaño fluctúa entre 1 y 2 centímetros.

Bajo el microscopio estos minerales tienen las siguientes características:

*La roca de granate.*—Presenta textura granoblástica constituida por cristales de granate isótropo, de color café, el cual presenta caras propias y en algunos cristales se observa estructura zonar. Los cristales llevan bastantes inclusiones y algunos parecen fracturados, rellenándose las pequeñas fracturas con anfíbola fibrosa. El tamaño de los cristales varía desde 0,1 mm. hasta 2 cm.

*La anfíbola fibrosa* (actinolita).—Aparece atravesando a la roca de granate. Se presenta en cristales aciculares o prismáticos muy alargados. Tiene clivaje perfecto según el pinacoide, y vistos en cortes según la base, el clivaje se cruza formando el enrejado típico de las anfíbolas, según el ángulo de  $116^\circ$ . Su color es verde pálido a amarillento, no presenta un pleocroísmo muy marcado y varía desde Z: verde pálido a X: amarillento. El índice de refracción es bastante alto y su birrefringencia es fuerte. En partes se presenta algo serpentizada, dejando manchas de limonita.

La anfíbola ha ido rellenando las grietas entre los cristales de granate.

*La pirita.*—Es muy frecuente en las muestras. La formación de pirita está íntimamente relacionada con la anfíbola fibrosa. Se ha observado que el reemplazo ha sido mayor en aquellas partes donde se han formado las guías de anfíbola. Parece que la anfíbola fuera más permeable a los flúidos mineralizadores por su estructura fibrosa.

La pirita se presenta en cristales muy desarrollados, con mal pulimento, isótropos, de color blanco amarillento, en algunas muestras aparece cristalizada en cubos.

La pirita aparece reemplazando a la anfíbola, los cristales se han ido desarro-

llando entre las fibras de la anfíbola. También se observa un reemplazo de la ganga por piritita. Este comienza en las grietas de los cristales de granate; pero los gránulos son poco desarrollados. El reemplazo ha comenzado, al parecer en forma de guiecillas que se han ido juntando. Estas guías generalmente tienen las dimensiones de las fibras de la anfíbola.

Algunos cristales de piritita han reemplazado a romboedros de calcita, presentando la primera cara según el romboedro.

En las muestras estudiadas al microscopio, se observa que hacia abajo va aumentando la piritita, en cambio disminuye gradualmente la calcopiritita, hasta el nivel 30 donde prácticamente no aparece esta última.

*La calcopiritita.*—Se presenta en forma de cristales irregulares, alargados, de color amarillo, anisótropos. Algunos cristales aparecen maclados.

Los cristales de calcopiritita rellenan grietas en la roca de granate o reemplazan a la calcita en las guías de esta última, que atraviesan la roca de granate. En este caso la calcopiritita cristaliza conservando las caras del romboedro al cual ha reemplazado. También aparece cristalizando entre las fibras de la anfíbola.

En algunas muestras, parece que la calcopiritita ha empezado a reemplazar a la piritita. En éstas se presenta en cristalitas incluidos en la última. Al parecer, la calcopiritita es más nueva que la piritita.

En otras muestras la calcopiritita aparece relacionada con la magnetita, la cual se presenta en manchitas que llevan cristalitas de calcopiritita, al parecer reemplazándola.

La calcopiritita presenta en la zona de los rajos grandes (zona de cementación) un enriquecimiento secundario a bornita, calcosina y cobre nativo.

*La magnetita.*—Aparece en gránulos pequeños aislados que no presentan caras propias. Es escasa en el yacimiento y aparece en algunas muestras en forma de manchitas irregulares, junto a cristales de calcopiritita.

La composición del mineral de Panulcillo, según un análisis dado por Kuntz (1925), es la siguiente:

Fe	18%
S	7 a 8%
CaCo <sub>3</sub>	20%
Cu	4 a 5%

El resto está constituido por SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO y otras impurezas.

El agua subterránea ha desempeñado un papel importante en los fenómenos de enriquecimiento secundario. El nivel del agua subterránea lo podemos ubicar según observaciones, en el terreno, a unos 50 metros de profundidad, con pequeñas variaciones, que no tienen influencia en la mineralización.

Debido a estos fenómenos de enriquecimiento secundario, se puede observar en el yacimiento tres zonas muy bien caracterizadas, siguiendo un perfil longitudinal por él, desde su afloramiento al sol hasta el nivel 30. En el perfil se distinguen las siguientes zonas:

I. *Zona de Oxidación.*—Se extiende desde su afloramiento al sol hasta una profundidad de unos 50 metros. Presenta los minerales de color constituidos por:

carbonatos y sulfatos de cobre y fierro, pintas de silicatos de cobre, limonita y otros óxidos de fierro.

*II. Zona de Cementación.*—Se prolonga desde los 50 metros hasta unos 120 metros de profundidad. En esta zona, se explotaron los minerales más ricos. La ley en cobre alcanzó a 20%; pero cortientemente se explotó mineral de 10%.

En esta zona, se han formado los minerales típicos de enriquecimiento secundario como son la bornita, la calcosina y en algunas partes el cobre nativo. La pirita ha ido en aumento desde la zona de oxidación, presentándose aquí, en algunas partes, en grandes manchas que pueden observarse en los techos de los rajes.

La calcopirita ha alcanzado en esta zona su mayor desarrollo, disminuyendo gradualmente a medida que aumenta la profundidad.

También aparece representada la magnetita en pequeños granitos, muy poco frecuentes.

En esta zona, se han formado guicillas de mica verde (biotita) que a veces aparece en pequeños ojos, en los cuales los cristales están muy desarrollados. Se observan hojitas hasta de 5 centímetros.

También se han formado en esta zona grandes cristales alargados de yeso, hasta de 10 centímetros de largo. Estos cristales aparecen siempre cerca de las fracturas.

*III. Zona primaria.*—Comienza un poco más arriba del nivel del socavón San Gregorio (el socavón cuelga 150 metros desde el sol). En esta zona aumenta considerablemente la pirita y disminuye la calcopirita. La ley en cobre baja de 4%. La disminución de la calcopirita es tan notable que al llegar al nivel 30 la ley en cobre se reduce bruscamente.

En el nivel 30 desaparece en gran parte la roca de granate, apareciendo la caliza marmolizada con algunas pintas aisladas de pirita. En este nivel empieza a brocearse el yacimiento, según se desprende de los planos de los laboreos antiguos y de algunos informes de sondajes. Bajo el nivel 30 la roca se ha mineralizado muy poco, parece que esta anomalía se debe a la falta de roca de granate y especialmente anfíbola.

Al parecer, el yacimiento se ha broceado mucho antes de llegar al contacto con el batolito de diorita andina.

#### d) *Génesis del yacimiento de Panulcillo*

Después de haber descrito en forma más o menos detallada las distintas unidades geológicas de la región y de haber dado una breve descripción de las minas, aprovecharemos estas observaciones para poder interpretar y llegar a enunciar una hipótesis sobre la formación del yacimiento de Panulcillo.

En cuanto a su posición geológica, vimos en capítulos anteriores, que el yacimiento está localizado en sedimentos intensamente metamorfoseados, relacionándose en forma directa con las calizas granatizadas.

El conjunto de rocas ubicadas sobre la cúpula del batolito, que se está levantando, va a sufrir una serie de cambios y alteraciones producidas por los fenómenos de metamorfismo.

En algunas rocas, como los sedimentos, estos fenómenos van a producir mayores cambios que en las porfiritas.

El lente sedimentario intercalado entre las capas de porfiritas, por su naturaleza (materiales de fácil reemplazo) y su forma de depositación, han presentado un medio más permeable a los flúidos mineralizadores que las porfiritas encajadoras del lente.

Los planos de estratificación de los sedimentos, con un manto próximo a la vertical y además pequeños agrietamientos, sirvieron de camino de ascenso a los flúidos mineralizadores.

Los sedimentos más permeables como las calizas (carbonato de cal con impurezas arcillosas) se mineralizaron más intensamente.

Las calizas, por ser un sedimento lagunar poco regular, en cuanto a su composición y depositación, van a sufrir una serie de cambios a lo largo de su corrida, según sea la cantidad y naturaleza de las impurezas que tengan presente. Las zonas en las cuales la caliza ha estado formada por carbonato puro se van a transformar, por el metamorfismo termal, en un mármol de aspecto sacaroideo. Al microscopio, este mármol aparece constituido por un mosaico de cristales de calcita. A veces la calcita ha alcanzado bastante desarrollo y se pueden observar romboedros hasta de 5 centímetros de lado. En las zonas en las cuales el sedimento es una marga calcárea, por transformación metamórfica ha dado origen a la roca de granate y es ésta la que ha tenido la mayor importancia en la formación del yacimiento.

Los otros sedimentos que forman el lente como la roca córnea y la arenisca metamórfica, han sido menos permeables y por esto su mineralización ha sido más pobre. En algunas partes, estas acumulaciones de mineral tienen ciertas posibilidades, por ejemplo en el reconocimiento que se ha seguido en la estocada del Cadena y los picachos en la Verdona.

Podemos suponer que la intensa mineralización del lente sedimentario se produjo a consecuencia de la introducción gaseosa. Debemos suponer que esta fase gaseosa estaba integrada por los siguientes componentes, aproximadamente:  $H_2O$ ,  $H_2S$ ,  $HCl$ ,  $Cl$ ,  $NaCl$ ,  $FeCl_3$ ,  $SiCl_4$ ,  $B_2O_3$ ,  $CuCl_2$ ,  $PCl_5$ , ya que sus restos los encontramos en el yacimiento o en los alrededores de éste, formando las siguientes especies mineralógicas: pirita, anfíbola, calcopirita, turmalina, titanita y apatita.

La concentración de vapores, o sea de los elementos fácilmente volátiles en el magma, puede ser muy variable y por lo tanto lo serán los resultados producidos por ellos.

Según Fenner (1940, pág. 610) la mineralización se puede producir por la colección, transporte y depositación de los componentes metálicos del magma, mediante los hiperfusibles (elementos fácilmente volátiles), los cuales se adaptan especialmente para estos fines. La causa principal que retiene los componentes volátiles en el magma, es la presión. Por disminución de la presión se van a separar aquellos componentes susceptibles de ser volatilizados.

Según Muñoz Cristi, la sobrecarga que pudo haber tenido la diorita andina, en la región en estudio, oscila entre 3.000 y 4.000 metros, aproximadamente. Si un magma llega a emplazarse a tal profundidad, es posible el desprendimiento

de una fase gaseosa, de acuerdo con cifras dadas por Fenner y L. C. Graton (C. Ruiz, Bol. Soc. Nac. de Min., noviembre de 1943). El primero se basa en ciertos valores experimentales obtenidos por Goranson, quien ensayó la fusibilidad del vapor de agua en un vidrio granítico fundido, en función de la temperatura y la presión obteniendo los siguientes resultados a una temperatura de 900° C.

Presión en Atms.	Equivalente en Kms. de roca.	% de H <sub>2</sub> O que puede disolverse
493	2,0	3,75
750	3,0	5,00
1974	7,5	8,15
3948	15,0	9,35

Por otra parte, según Graton, un magma granítico típico, debe contener aproximadamente los siguientes porcentajes de volátiles: H<sub>2</sub>O... 4%; Cl... 1%; F... 1%; otros volátiles 0,5%.

De acuerdo con la sobrecarga de rocas que hemos supuesto existía sobre el techo de diorita andina, parece evidente que desde el primer momento deben haberse liberado grandes cantidades de estos elementos. A esto se debe agregar que la roca de sobrecarga va a ofrecer una serie de planos de estratificación y clivaje que disminuyen notablemente la resistencia al escape de los gases.

Esta fase gaseosa se ha percolado por las aberturas de la roca, reaccionando al mismo tiempo con los minerales de ella, y al encontrar un medio permeable unido a condiciones físicas adecuadas en una zona poco distante de la intrusión, precipitará las sustancias que acarrea.

A continuación haremos una breve reseña de los fenómenos del metamorfismo en las rocas de la zona de Panulcillo y los nuevos minerales formados.

*En las porfiritas.*—En el cordón del cerro Blanco y las zonas adyacentes hasta un poco al norte del cerro de la Piedra Lisa, se observa una fuerte silicificación de la roca, especialmente de la masa fundamental, con formación de un agregado muy fino de calcedonia y cuarzo. En la zona fracturada del cerro de la Piedra Lisa, la porfiritita aparece serpentinizada y epidotizada, presentando una recristalización y albitización de los feldespatos. En los alrededores del yacimiento se observa el fenómeno muy extendido de la formación de anfíbola fibrosa (actinolita).

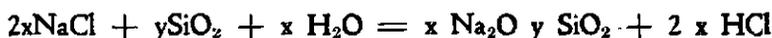
*En los sedimentos.*—En la caliza se va a formar granate isótropo, anfíbola fibrosa y mica. En la roca córnea, van a recristalizar algunos feldespatos y se va a formar mica y clorita. En los contactos entre la roca córnea y la de granate se va a producir escapolita. En la arenisca, se va a formar granate anisótropo y magnetita.

Otros minerales introducidos en esta zona son: pirita, calcopirita, turmalina, magnetita, hematita, indicios de galena y blenda, titanita y apatita.

Según Ruiz (1943) los minerales se habrían formado de la siguiente manera:

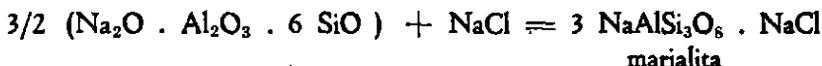
La serpentina se formaría por la reacción del vapor de agua recalentado sobre los minerales ferromagnesianos. La composición química de la serpentina (antigorita) es  $H_4Mg_3Si_2O_{10}$ .

La albitización de las plagioclasas la podemos interpretar por la introducción del cloruro de sodio, que reacciona junto con el vapor de agua y la sílice de las rocas. Fenner (1940, pág. 610) ha dado las siguientes reacciones:



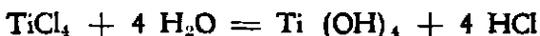
El  $x Na_2O$  y  $SiO_2$  reacciona con las plagioclasas, aumentando su acidez. También la albitización se puede interpretar por lixiviación de la cal.

La escapolita común o dipirita, mezcla isomorfa de Marialita y Meionita, puede formarse por los cloruros introducidos o por el HCl liberado en la ecuación de formación de titanita, apatita y turmalina. Los gases clorurados reaccionarían con las plagioclasas de la roca según la ecuación siguiente:

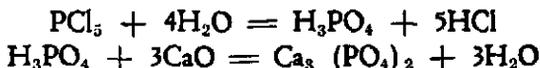


La formación de anfíbola fibrosa debe llevarse a cabo bajo la influencia única del vapor de agua recalentado sobre los minerales ferromagnesianos y la cal (de las calizas de granate y de la cal lixiviada de los feldespatos en los meta-porfíritos).

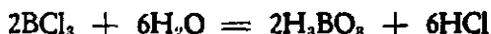
La titanita puede formarse por la reacción entre el tetracloruro de titanio y el vapor de agua, según indicaciones de la ecuación siguiente:



La apatita se habría formado por la reacción del ácido fosfórico con la cal de las rocas. El ácido fosfórico se formaría por la reacción del pentacloruro de fósforo con el vapor de agua, se verificarían las reacciones siguientes:

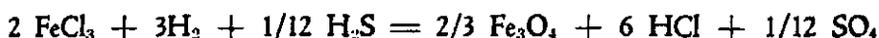


La turmalina ( $4H_2O \cdot Na_2O \cdot 4FeO \cdot 3B_2O_3 \cdot 7Al_2O_3$ ) se formaría bajo la acción del ácido bórico, que se volatiliza por la influencia del vapor de agua. La presencia del ácido bórico se podría explicar al suponer que el boro se volatiliza en forma de  $BCl_3$  y que éste, por reacción con el vapor de agua, origina el ácido bórico, según la ecuación siguiente:

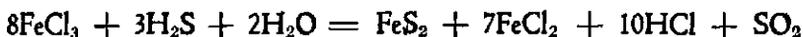


La magnetita la podemos explicar por la reacción del tricloruro de hierro y el vapor de agua. Eso sí que aquí necesitaríamos un medio reductor, pues sin este medio se produciría hematita. El medio reductor se puede derivar de una

concentración apreciable de  $H_2S$  (en nuestro caso muy abundante). La reacción más probable sería la siguiente:

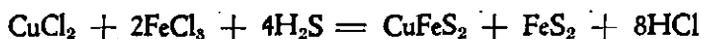


La pirita, que en nuestro caso constituye junto con la calcopirita el mineral más importante, se puede formar por reacción del tricloruro de hierro, con el ácido sulfhídrico y vapor de agua. La reacción sería del tipo siguiente:



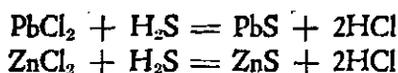
Esta reacción se forma a  $450^\circ$  y en un medio ácido, la reacción comienza a partir del momento en que el  $H_2S$  comienza a predominar sobre el HCl.

La calcopirita es de formación semejante a la pirita, se puede originar por la reacción entre el cloruro cuproso, tricloruro de hierro y el ácido sulfhídrico. La reacción sería la siguiente:



El equilibrio de la reacción se desplaza hacia el lado derecho con una alta concentración del  $H_2S$  y disminución del HCl, según la ley de acción de las masas. En nuestro caso, vamos a tener un hecho favorable como es la absorción del HCl por la cal. El cloruro de cal formado puede ser lixiviado posteriormente.

La galena y blenda se van a formar en las partes más alejadas del contacto con el batolito, pues necesitan una baja temperatura para que la reacción se verifique hacia el lado derecho. Las ecuaciones de formación son muy parecidas a las anteriores:



El granate se ha originado por reemplazo de las calizas y ha tenido gran importancia en la formación del yacimiento. Lo podemos explicar por el metamorfismo de una caliza no magnesiánica impura (Harker, 1932).

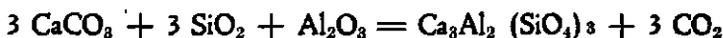
El análisis de este mineral en el laboratorio arrojó el siguiente resultado:

SiO <sub>2</sub> . . . . .	38%
CaO . . . . .	34,7%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	20,18%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	5,32%
MgO . . . . .	0,75%
pérdidas por calcinación . . . . .	0,20%
MnO . . . . .	1,02%
<b>Total</b> . . . . .	<b>100,17</b>

Esta composición corresponde más o menos a una grosularia de fórmula  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  con algunas impurezas de hierro manganeso y magnesio.

Una caliza magnesiánica con cierta cantidad de impurezas arcillosas puede dar origen a una roca de granate.

La ecuación de formación de la grosularia sería la siguiente:



Una alta temperatura desplaza la reacción hacia el lado derecho. Una presión elevada desplaza el equilibrio hacia el lado izquierdo, pues se hace más difícil la descomposición del  $\text{CaCO}_3$  y expulsión del  $\text{CO}_2$ . Según Bowen, a 1 atmósfera de presión se empieza a formar el silicato a  $470^\circ \text{C}$ ., pero si la presión sube a 700 atmósferas, la reacción empieza a verificarse solamente a  $750^\circ \text{C}$ .

A continuación, enumeraremos la serie de fenómenos hidrotermales puros, en los cuales el HCl en conjunto con el vapor de agua han jugado un papel preponderante.



Esta ecuación reversible explica, en parte, el arrastre neumatólitico de la sílice, lo cual puede provenir de la misma fuente magmática o bien de la lixiviación de las rocas inmediatas. Según la ley de acción de masas tenemos:

$$\text{Si Cl}_4 = \frac{(\text{HCl})^4 \cdot (\text{SiO}_2)}{(\text{H}_2\text{O})^2}$$

o sea, la reacción de izquierda a derecha es favorecida por una concentración grande de HCl además de una fuerte presión y una alta temperatura.

Si cambian las condiciones, la reacción se verifica de derecha a izquierda y se va a producir la depositación de  $\text{SiO}_2$ . Con esto podemos explicar el origen de las zonas silicificadas, que aparecen tanto en la roca córnea como en las rocas de los alrededores.

El ciclo hidrotermal se cierra con la formación de epidota, clorita y sericita a base de los miembros ferromagnesianos presentes en las rocas metamórficas.

### Paragénesis

Los minerales cuya formación acabamos de mencionar, en el terreno se presentan en las siguientes condiciones:

*La piritita.*—Es la más abundante de todos, reemplaza a la calcita, que rellena los intersticios entre los cristales de granate, y a la anfíbola fibrosa, depositándose entre las fibras. A veces forma ojos hasta de 10 centímetros. En la zona de oxidación, aparece fuertemente limonitizada.

*La calcopiritita.*—Se encuentra asociada a la piritita, cristalizando a veces en

grietas de la piritita. Aparece reemplazando a la anfíbola y a la calcita. Al parecer, es un poco posterior a la piritita.

La calcopirita ha sufrido un enriquecimiento secundario en cobre, empezando los bordes de los cristales a ser reemplazados por bornita y ésta a su vez por calcosina terminando el ciclo de enriquecimiento con la formación de cobre nativo y no  $\text{Cu}_2\text{O}$  como podría esperarse de las ecuaciones teóricas de reacción.

El ciclo de enriquecimiento se puede esquematizar como sigue:

Calcopirita.

Bornita.

Calcosina.

Cobre nativo.

La calcopirita se presenta aquí como un mineral primario y ascendente.

Los otros sulfuros que aparecerían en la zona inferior de oxidación, como la galena y manchitas de blenda, parecen haberse depositado posteriormente a la calcopirita. Pero la falta de muestras representativas de estos sulfuros no nos ha permitido establecer la paragénesis de ellos.

La anfíbola fibrosa se presenta en guías que aparecen rellenando los huecos entre los cristales de granate. Su cristalización parece ser posterior al mineral de granate.

La piritita está asociada a la anfíbola y es posterior a ella, al igual que la magnetita, hematita y calcopirita.

La magnetita, como la hematita, es bastante escasa y se presenta en cristales pequeños, generalmente aislados. Su relación con la piritita y calcopirita no aparece muy clara; pero, en todo caso, es posterior a la formación de la roca de granate y al parecer, anterior a la calcopirita.

La hematita es posterior a la formación de la calcita a la cual aparece atravesándose como puede observarse en algunos romboedros de ella sacados en los cavones San Pedro y Santa Ana.

La calcita, que cristaliza junto al granate se ha formado simultáneamente con él.

La biotita aparece en guías o en ojos junto a la anfíbola. Su depositación ha sido simultánea a la de la anfíbola.

La turmalina, que aparece en los alrededores del yacimiento, se presenta asociada al cuarzo y según se desprende de las observaciones en el terreno, su cristalización ha sido simultánea.

La escapolita se ha formado posteriormente a la silicificación de la roca córnea y es anterior al parecer a la formación de los sulfuros.

La epidota, la clorita y sericita, que aparecen en las porfiritas encajadoras del yacimiento, son posteriores a la silicificación de esta roca.

En cuanto a la titanita y apatita, aparecen como minerales accesorios de la roca encajadora y son raros. Se presentan en pequeños cristales aislados y podemos estimar que son posteriores a la formación de la actinolita y anteriores a la escapolita.

Resumiendo, tenemos la siguiente paragénesis: granate, calcita, anfíbola fibrosa (actinolita), biotita, titanita, apatita, turmalina, cuarzo, escapolita, mag-

netita, hematita, pirita, calcopirita, galena, blenda, epidota, clorita y serpentina.

Es evidente que el metamorfismo de los sedimentos se verificó sin mucha adición de sílice, lo cual quedaría demostrado por la falta de cuarzo libre en el interior de la mina, ya sea en forma de guías o de pequeños ojos. Además, la roca de granate se termina en profundidad y aparece una caliza marmolizada. Si hubiera habido adición de sílice, se habría formado wollastonita por la reacción entre la cal liberada del carbonato y la sílice de adición. En el proceso, se han sobrepasado las condiciones críticas de presión y temperatura, óptimas para la formación de wollastonita, como lo demuestra la formación de granate.

Las pequeñas zonas silicificadas que aparecen como manchas en la roca córnea, son de formación anterior a la mineralización de la roca, pues en algunas zonas como en el nivel 90 se observan muestras mineralizadas con ganga bastante silicificada.

En la primera etapa del metamorfismo, vamos a tener una gran presión hidrostática y una alta temperatura con muy poco agregado de gases.

En este período, se comienza a marmolizar la caliza pura por el escaso desprendimiento de  $\text{CO}_2$ ; pero a medida que empieza a disminuir la presión se va a descomponer el carbonato y deja un flujo libre. Este flujo, por efecto de la temperatura reinante va a tender a formar un silicato fusible tomando la sílice y la alúmina de las impurezas arcillosas de la caliza. Este silicato formado será el granate. Al mismo tiempo que disminuyen la presión y la temperatura, empieza el escape de los gases. El agua de éstos va a reaccionar con el fierro y magnesio de la marga calcárea y dará origen a la anfíbola y a los ojos de biotita. Inmediatamente después y a consecuencia del descenso de temperatura y presión, comienzan a reaccionar los diferentes gases clorurados y sulfhídricos, produciéndose la escapolita, magnetita, hematita, pirita, calcopirita, etc.

Se distinguen claramente dos etapas del proceso las cuales, según Barrel (Joseph Barrel, prof. Paper 57, U.S. del Survey, 1907) se podría designar como:

1.<sup>a</sup> *Etapas de metamorfismo de contacto* (metamorfismo termal). Da por resultado la recristalización de los sedimentos con la formación de la roca córnea, mármol y roca de granate (o de otro silicato de cal). Esta es producida por la primera onda de metamorfismo y se verifica a elevada temperatura con muy poca adición gaseosa.

2.<sup>a</sup> *Etapas de metasomatismo de contacto*.—En la cual las emanaciones magmáticas agregan constituyentes a las rocas alteradas. En esta última se agrega hierro, azufre y sílice.

Según Barrel, las zonas de contacto pueden tener desde media milla a una y aun más de espesor.

Claro está que estas etapas no están del todo tan separadas y es posible que en la primera haya habido un metamorfismo neumatolítico incipiente.

La formación de los minerales debe haberse verificado entre 400 y 600° C. La temperatura en el contacto, de acuerdo con la composición del magma, fluctúa entre 800 y 900° (Bowen, 1928, pág. 298).

Desde el punto de vista genético, podemos clasificar entonces el yacimiento de Panulcillo como un depósito metasomático (Lindgren, 1933) que se ha for-

mado a alta temperatura y se ha mineralizado por emanaciones desprendidas del macizo intrusivo.

Es interesante recordar en la descripción que hace Douglas del mineral de Panulcillo, la existencia de galena plátosa y blenda (minerales de baja temperatura) en la parte superior del yacimiento a pesar de estar relativamente cerca del contacto con el macizo granodiorítico (250 a 300 metros). Desgraciadamente en el estudio realizado en 1949 no se pudo encontrar muestras de estos minerales en las partes accesibles de mina, con el fin de establecer sus relaciones con los otros sulfuros.

Haciendo un breve resumen de los fenómenos que se han producido después de la intrusión, tenemos las siguientes etapas:

1) Deslizamiento de las capas de sedimentos, del techo de la intrusión según sus planos de estratificación y pequeños agrietamientos producidos a consecuencia de los movimientos relativos entre capas.

2) Metamorfismo de los sedimentos con formación de roca córnea y marmolización con granatización del lente de caliza (etapa del contacto metamórfico).

3) Formación de la metaporfirita y mineralización con anfíbola y biotita.

4) Mineralización con escapolita, turmalina, titanita, apatita y cuarzo.

5) Mineralización con magnetita, hematita, pirita y calcopirita.

6) Mineralización con epidota, clorita y sericita. Las etapas de mineralización más intensa han sido la 2, 3 y 5; las 4 y 6 tienen muy poca importancia directa.