

PRODUCTOS DE ALTERACIÓN

DE

LOS MINERALES MÁFICOS¹ EN ROCAS VOLCÁNICAS

DEL TERRITORIO DEL NEUQUÉN

POR MARÍA MAGDALENA RADICE

Al estudiar las preparaciones microscópicas de algunas rocas del Neuquén² noté una gran abundancia y variedad de productos de alteración de silicatos ferromagnesianos primarios. Estos productos no son peculiares de las rocas de ese territorio nacional, pues también los he observado en cortes delgados de rocas de varias localidades europeas, que forman parte de colecciones didácticas. Sin embargo, en la literatura hay relativamente pocas descripciones de estos productos.

El estudio de los minerales primarios de las rocas magmáticas es de interés por la importancia que tiene la composición mineralógica de las rocas frescas para interpretar las condiciones originarias del magma. En cambio el estudio de los productos de alteración puede ser de utilidad para conocer las transformaciones que la roca ha sufrido después de su consolidación y bajo la influencia de distintos factores, de manera que el estudio de los productos de alteración de ciertos minerales puede ayudar a interpretar la historia geológica de determinadas regiones. Teniendo en cuenta esto, y dado que el geólogo halla más frecuentemente rocas alteradas que rocas frescas, mi profesor, el doctor Enrique Fossa-Mancini, me aconsejó hiciera conocer el resultado de mis observaciones.

La alteración de silicatos ferromagnesianos en rocas del Neuquén ha sido

¹ Empleo el término « máfico » en lugar del más corriente « féfico », pues tal como Holmes (1928, 147) lo señala, el primer término se refiere a los minerales presentes en las rocas, y « féfico » a los constituyentes calculados por el análisis químico.

² Estas rocas y sus correspondientes cortes delgados quedan depositados en el Museo de La Plata. Las excelentes microfotografías reproducidas en las láminas adjuntas han sido obtenidas en los Laboratorios de Ensayos de Materiales de FF. CC. del Estado. Me es grato expresar aquí mi reconocimiento hacia las autoridades de esos Laboratorios, que me permitieron utilizar el moderno instrumental de su laboratorio petrográfico para efectuar tanto los cortes delgados como las microfotografías.

mencionada, entre otros, por A. Fernández (1942), pero siendo el suyo un trabajo de índole geológica, no ha dado mucha extensión a las descripciones petrográficas. Ya para rocas de otras regiones de la Argentina, E. Mórtoles (1923) al describir las rocas alcalinas básicas de la parte meridional del Chubut, se ha ocupado incidentalmente de las alteraciones de los minerales contenidos en esas rocas. También Ph. H. Kuenen (1926) ha mencionado y hecho ligeras descripciones de productos de alteración de olivinas, piroxenos y anfíboles en rocas del sur de Mendoza. P. D. Quensel (1912) y H. G. Backlund (1923) en sus importantes trabajos sobre rocas de la Patagonia austral y de la Cordillera mendocina han prestado bastante atención a la alteración de los minerales ferromagnesianos. Además de los mencionados, hay otros estudios petrográficos que incluyen consideraciones acerca de los productos secundarios de rocas magmáticas argentinas; no conozco, sin embargo, descripciones detalladas de esos minerales de alteración.

El presente estudio está lejos de ser completo. Debe tenerse en cuenta que hay dificultades de dos distintas categorías que siempre se presentan en esta clase de investigaciones y que explican la poca inclinación de los petrografos hacia ellas. Una de estas dificultades procede del reducido tamaño de estos minerales de alteración; así por ejemplo, en los casos de pleocroísmo no he podido indicar cuáles son las direcciones del elipsoide a las cuales corresponden distintos colores, porque la pequeñez de los minerales y a menudo su superposición me han permitido sólo una vez efectuar observaciones con luz convergente (figuras de interferencia); así que supongo que los datos que se encuentran en la literatura han sido obtenidos en casos excepcionales en los cuales las cloritas, las iddingsitas, etc., constituirían cristales mucho más grandes que los que he visto. Otra dificultad depende de la variabilidad de los caracteres ópticos de minerales que a primera vista parecen idénticos. Se notará que en muchos casos, al considerar un producto de alteración, no especifico de qué mineral se trata; ello se debe a que los minerales que he observado presentan a menudo caracteres que no concuerdan con los datos consignados en las obras que he podido consultar.

En cuanto a la nomenclatura de las rocas volcánicas, se tropieza con la conocida discrepancia entre los significados atribuidos a los mismos términos por los petrografos del continente europeo por un lado, y por los ingleses y norteamericanos por el otro. Para que mis palabras sean interpretadas en el sentido que les atribuyo, creo necesario avisar que, de acuerdo con los conceptos modernos, baso la distinción entre ortófiros y traquitas, porfiritas y andesitas, diabasas y basaltos, etc., no en la edad atribuida a la roca sino en el estado más o menos alterado de los feldespatos, del grado de alteración de los minerales ferromagnesianos, porque en éstos a menudo es extraordinariamente más rápida y puede observarse en rocas con feldespatos completamente límpidos.

LOS PRODUCTOS DE ALTERACIÓN DE LAS OLIVINAS Y PIROXENOS EN LAS ROCAS CONSIDERADAS, Y SU DESCRIPCIÓN

I. ESTUDIO DE LOS MINERALES DE ALTERACIÓN

A los doctores J. Frenguelli, A. Leanza y A. Fernández, que gentilmente me entregaron las muestras de rocas, acompañadas de datos geológicos, debo la oportunidad de considerar los productos de alteración de silicatos ferromagnesianos primarios de rocas de las regiones de Piedra Pintada, Sierra de Chacai-Có y Cordillera del Viento, en el Neuquén. En ellas esos minerales se han alterado total o parcialmente originando productos secundarios cuyo número es grande en relación con la escasa cantidad de muestras de que dispuse. Tal como lo indico al ocuparme en detalle de cada roca, en algunos casos de pseudomorfosis completa, sólo por el contorno del agregado del producto de alteración puede determinarse cuál era el mineral originario. Cloritas, iddingsita, serpentinas, calcita, cuarzo, agregados clorítico-serpentinosos y materiales criptocristalinos indeterminados son los productos secundarios transparentes que se han formado; entre los opacos hay espinelas, magnetita, hematita e hidróxidos de hierro. La expresión « productos secundarios » no es quizá la más correcta, pues, como veremos, en ciertos casos más bien parece tratarse de productos originados por reacciones durante la consolidación del magma. Por eso, como de ciertos productos se discute aún su origen, he de emplear el término « alteración » en su más amplio sentido, vale decir sin querer indicar con él un origen u otro, excepto en los casos en que preciso su significado.

El estudio de los minerales de alteración es a veces difícil porque a su estructura frecuentemente microcristalina y a veces criptocristalina se une el hecho de que suelen asociarse varios de ellos, y aún su origen no siempre es determinable por haber desaparecido totalmente el mineral originario. Asimismo, como ocurre con las cloritas y serpentinas, constituyen grupos de minerales que se diferencian entre sí sólo cuando se presentan de manera tal que es posible hacer estudios ópticos y químicos completos, condiciones que no siempre se cumplen en las rocas. Así, por ej., para determinar la composición de una clorita de acuerdo con los datos consignados en un cuadro que figura en un artículo de A. N. Winchell (1926, 288) acerca de las cloritas, cuadro que ha sido reproducido en el conocido manual de los Winchell (1927, 375) habría que determinar 1° el índice de refracción medio con la aproximación de una unidad de la segunda cifra decimal, y 2° la birrefracción, el signo óptico y la dispersión. En nuestro caso estas últimas determinaciones son imposibles debido al color propio del mineral, y en cuanto a la determinación del índice de refracción se necesitaría aislar una cantidad relativamente grande de mineral (lo cual requeri-

ría largo trabajo) y luego efectuar comparaciones con varios líquidos de adecuadas densidades (algunos de los cuales no se logra encontrar actualmente en el comercio). En cuanto al caso de la iddingsita, ella no parece ser una especie mineral perfectamente definida, como lo revela la falta de concordancia entre los datos publicados por distintos autores que se han ocupado en una u otra forma de ella.

II. LA IDDINGSITA

En algunas de las rocas estudiadas sorprende la marcada alteración de la olivina, pues los piroxenos que la incluyen están perfectamente frescos, y las plagioclasas sólo presentan una ligerísima alteración clorítica. La alteración superficial no puede haber sido, entonces, la causa de la formación de la iddingsita; en cambio se presenta como muy probable (por lo menos en estas rocas) el origen deutérico¹ de este mineral. En las superficies más expuestas a la acción de los agentes exteriores, la alteración ha originado preferentemente óxidos de hierro.

Sobre el origen de la iddingsita se han emitido diversas opiniones; para muchos (Artini, Brauns, Iddings, etc.) se forma por acción de los agentes exteriores, mientras que para otros autores (Ross y Shannon, Rogers y Kerr, Edwards, etc.) es un mineral deutérico. Iddings (1892, 188-390) describió en 1892 una alteración superficial de la olivina, cuyos caracteres coinciden con los de la iddingsita, nombre éste dado por Lawson en 1893 (1893, 1-59) a un nuevo mineral que consideró característico de la «carmeloíta», andesita augítica de Carmelo Bay, California. Pero Lawson no la consideró pseudomórfica de la olivina, de la que quedaría separada tanto por su composición química como por sus caracteres ópticos; dice: «It may be an original separation from the magma but little altered» (1893, 35). Desde entonces no ha habido acuerdo en cuanto a su origen; Ross y Shannon (1925) que estudiaron detalladamente a la iddingsita se inclinan a aceptar que ella se produce por reacciones en el magma durante el enfriamiento final, aunque reconocen que no siempre puede rechazarse su origen secundario por alteración meteórica de olivinas. Hay que hacer notar que Kispatic ha mencionado a la iddingsita como resultado de la alteración del hipersteno.

Así como no hay acuerdo entre distintos autores en lo referente al origen de la iddingsita, tampoco existe uniformidad en los muchos otros datos relativos a este mineral. Lo único no discutido es que cristaliza en el siste-

¹ Sederholm ha propuesto este término para designar los procesos que determinan cambios de composición de los minerales, procesos que tienen lugar en la continuación directa de la consolidación del magma, y que así quedan diferenciados de los cambios secundarios por alteración superficial. Deutérico equivale a los términos «paulopost» y «penecontemporaneous» de los autores de habla inglesa (Holmes, 1928, 77).

ma rómbico, como la olivina y el hipersteno; a veces ha sido considerado como una especie mineral bien distinta, y en otras ocasiones la consideraron una variedad de serpentina. Tampoco hay coincidencia en cuanto a la composición química de la iddingsita, nombre éste que según algunos sería sinónimo de *bowlingita*; Lawson, su descubridor, la consideró un silicato hidrato de hierro, calcio, magnesio y sodio. Según J. D. Dana (1914, VII) es un silicato anhidro de hierro, calcio y magnesio. Esper S. Larsen (1921, 227, 268) da la siguiente fórmula: $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Posteriormente Ross y Shannon (1925) han dado la fórmula $\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, con sustitución parcial del MgO y del Fe_2O_3 por CaO y Al_2O_3 respectivamente; es la composición que desde entonces admiten la mayoría de los autores, aunque otros la aceptan con reservas.

En cuanto a los caracteres ópticos son variables. El color más frecuente parece ser el pardo, pero se han mencionado iddingsitas de color amarillo, verde, rojo. El pleocroísmo va desde tonos pálidos de amarillo y verde hasta tonos de verde y pardo. Es siempre biáxica y generalmente negativa, pero a veces positiva; según Ross y Shannon el ángulo de los ejes ópticos varía entre unos 25 y 90 grados. Para la refracción se tienen, según los mismos autores, los siguientes datos:

$$n_p = 1,608 \text{ hasta } 1,792$$

$$n_m = 1,650 \text{ hasta } 1,846$$

$$n_g = 1,655 \text{ hasta } 1,864.$$

La birrefracción, en las muestras estudiadas por Ross y Shannon, varía entre 0,035 y 0,072; Weinschenk (1907, 189) indica 0,025. De acuerdo con los datos consignados por Larsen (1921, 131, 177, 191, 195) para γ y α , la birrefracción sería de 0,04 para una iddingsita negativa, y de 0,047, de 0,044, y de 0,042 para tres variedades de iddingsitas positivas.

III. MINERALES DE ALTERACIÓN EN ROCAS DE PIEDRA PINTADA

1. Dolerita, en un dique al Oeste de la Escuela n° 4.

El doctor J. Frenguelli me ha informado que este dique es una apófisis del lacolito de Cerro Grande; está constituido por una dolerita bien cristalizada, de estructura ofítica bien evidente en algunas partes de la preparación. Los minerales que la constituyen son plagioclasas, piroxenos (algunos por su color parecen tener titanio o manganeso), olivina, iddingsita, ilmenita, magnetita. Todos los minerales están afectados por acciones mecánicas, presentan extinción ondulada. El ángulo máximo de extinción simétrica de las plagioclasas, medido en secciones perpendiculares a (010), alcanza un valor de 34°, esto permite determinarla como una *labradorita media* de composición próxima a Ab_4An_6 . A lo largo de las grietas de esta labradorita ha penetrado sustancia clorítica.

Los cristales algo corroídos de olivina quedaron incluidos en general en los piroxenos. Luego la olivina casi siempre ha desaparecido por completo, y ha quedado una pseudomorfosis de iddingsita, pero el mineral originario es revelado por los contornos y las fracturas características de la olivina aún bien visibles. Sorprende tal comportamiento de la olivina incluida en los cristales de piroxeno, pues éstos han permanecido perfectamente frescos (lám. I, fig. 1). Esa iddingsita presenta un ligero pleocroísmo del amarillo claro al pardo amarillento. Tiene clivajes en ángulo recto, sólo visibles en algunas secciones bien delgadas. En los bordes o en el interior de muchos cristales de iddingsita hay cristales que parecen ser de cromita. En algunas partes la iddingsita es bien fibrosa, en otras más bien escamosa; pero todo el conjunto de la iddingsita no siempre extingue por completo en toda la superficie porque entre las fibras paralelas entre sí suele haber como islas de fibras no tan regularmente dispuestas; en estos islotes se observa polarización de agregado. Las secciones basales (no pleocroicas) dan la figura de interferencia de los minerales hiáxicos. El pasaje de la olivina fresca a la iddingsita es brusco, no hay estadios de transición. A menudo se observa claramente que las fibras de la iddingsita están dispuestas longitudinalmente en las grietas que eran de la olivina. Cuando ésta comienza a alterarse adquiere un color amarillento pardusco claro, como el que dan los óxidos de hierro, pero con luz reflejada esos cristales así teñidos no presentan los colores que suelen tener dichos óxidos.

A veces en un mismo individuo de olivina, aparece al lado de la alteración en iddingsita otra en una sustancia de color oscuro, negruzco, quizá clorítica. Algunas olivinas incluidas en feldespato se han alterado dando óxidos de hierro; esta producción de óxidos de hierro es frecuente en las porciones de la preparación que corresponden a la superficie más alterada de la roca. Allí también abunda una clorita, a veces asociada con los óxidos de hierro.

Lo que antecede corresponde al aspecto normal de la roca relativamente fresca. Un corte delgado correspondiente a la parte exterior, rojiza por alteración, de la misma muestra anterior, presenta, como ya el aspecto exterior lo hacía suponer, una gran cantidad de hematita que como pigmento colorea la roca, y ha penetrado a lo largo de las grietas de los minerales. Aquí es mucho más frecuente que en la roca fresca la alteración de la olivina con formación de óxidos de hierro. Se observa también, aunque en menor cantidad, la iddingsita con los mismos caracteres que en el otro corte efectuado en roca fresca.

2. **Dolerita**, en la ladera meridional del Cerro Mesa.

El doctor A. Leanza ha tenido la gentileza de entregarme esta muestra y de informarme que ella corresponde a la dolerita que se presenta en la ladera meridional del Cerro Mesa, y que constituye una apófisis del lacolito de

Cerro Grande. Tiene la misma composición mineralógica primaria e igual estructura que la dolerita precedentemente estudiada.

A menudo hay cristales de olivina muy próximos entre sí que aparecen alterados unos en una clorita y otros en iddingsita. Esta es pleocroica del amarillo algo verdoso al pardo amarillento y constituye pseudomorfo de la olivina o rellena las grietas de ésta o reviste su contorno. A veces tiene un sistema de líneas de clivaje bien marcadas, perpendicularmente a (010) de la olivina, aunque también se observan otros individuos con el clivaje más marcado paralelamente a (010) de la olivina, y otro mucho menos visible perpendicular a éste. La diferencia de índice de refracción en distintas direcciones es tan marcada que se observa que el clivaje principal es bien visible paralelamente al plano de vibración del polarizador, pero girando la platina ese clivaje llega a hacerse invisible cuando queda perpendicular al plano de vibración del polarizador; el fenómeno es tan marcado como en el caso de la calcita. En algunas casos se nota fácilmente que las láminas de iddingsita son paralelas a las grietas de la olivina.

Frecuentemente hay minerales opacos (espinelas y magnetita) en el interior o en el borde de la iddingsita. La olivina fresca queda a menudo separada por grietas de la iddingsita; el pasaje de un mineral al otro es brusco. Muchas veces a los lados de las líneas que constituyen los rastros de las fracturas del peridoto se ha formado sustancia clorítica, de color verde oliva, y que también aparece en las grietas de la olivina fresca o de la que recién comienza a alterarse. En algunos casos parece insinuarse entre la iddingsita un poco de clorita. A menudo se observa olivina alterada total o parcialmente en sustancia clorítica, de color verde oliva, ligeramente pleocroica del verde reseda al verde pardusco. Una clorita también se ha depositado sobre muchas plagioclasas, revistiéndolas como un velo delgado.

3. Dolerita, ladera occidental del Cerro Mesa.

Aquí se trata de otra apófisis del lacolito de Cerro Grande, que constituye un filón-capa en la ladera occidental del Cerro Mesa, a 1015 m de altura. Ese filón-capa es el más espeso (tiene como máximo 2 m de espesor) de una serie que se intercala en las capas liásicas del Cerro Mesa (comunicación del doctor Frenguelli). Sus componentes primarios son: labradorita, augita, magnetita y quizá ilmenita; no hay olivina fresca. Se diferencia de las dos rocas anteriormente descritas por el tamaño algo menor de sus componentes y por la estructura más fluidal. Además aparece en abundancia un mineral fibro-lamelar verdoso, que no extingue perfectamente; es tricroico en amarillo verdoso, verde rojizo y verde azulado. Parece que a medida que adelanta la alteración adquiere un color rojizo. Lo creo un producto de alteración del piroxeno, por la forma y por hallarse a veces en continuidad con éste.

La olivina antes existente y algunos de los cristales de piroxeno se han

alterado originando otro mineral fibro-lamelar, ligeramente pleocroico del amarillo rojizo al pardo rojizo, mucho más turbio y más oscuro que la iddingsita de la roca descrita anteriormente. La forma del contorno y los vestigios de fracturas permiten distinguir los casos en que este mineral (una serpentina ferrífera) está originada por alteración de la olivina. Además cuando es éste su origen, el producto de alteración tiene fibras y láminas más pequeñas y dispuestas más o menos paralelamente. En cambio la serpentina ferrífera formada a expensas del piroxeno presenta sus fibras y láminas cruzándose casi en ángulo recto y no constituye un agregado tan fino (lám. I, fig. 2).

Hay gran cantidad de magnetita en cristales octaédricos en los bordes o en el interior de la serpentina ferrífera. A veces ésta presenta partes algo verdosas, allí la birrefracción disminuye, parece que hay clorita. Eso mismo se ve a lo largo de las fracturas, en muchas de las cuales se distingue bien una fibrosidad que se ha desarrollado perpendicularmente a los planos de las fracturas; en estos casos parece ser crisotilo.

Hay veces en que se ha originado probablemente iddingsita. Aunque el color de ésta es igual o muy parecido al de la serpentina ferrífera, se diferencia por su mayor limpidez y por un pleocroísmo marcado, que va del amarillo pardusco claro al pardo rojizo, y su extinción es completa y recta. A veces se observan dos sistemas de líneas de clivaje. Hay casos en que un mismo cristal de olivina se han alterado en parte en iddingsita y en parte en serpentina.

También se observa que en esta roca la clorita aparece no sólo sobre las plagioclasas sino también rellenando intersticios.

4. **Andesita**, Piedra Pintada (Muestra coleccionada por el doctor J. Frenquelli).

Está compuesta por plagioclasas, magnetita y apatita como componentes primarios; los minerales secundarios más abundantes son calcita, calcedonia, y un mineral semejante a ciertas cloritas. Las plagioclasas, que predominan, se presentan en cristales de dos tipos. Unos constituyen la pasta, son pequeños, alargados, maclados según la ley de la albita; en la mayor parte de los individuos las maclas no son muy numerosas. En las secciones perpendiculares a (010) el ángulo máximo de extinción simétrica de estas plagioclasas llega a 27°, por lo tanto es una *andesina básica* próxima a una labradorita. Muchos cristales de andesina están frescos o se han alterado muy poco con formación de calcita, otras veces se ha depositado sobre ellos un velo de sustancia parda, pleocroica, fibrosa, que en algunos casos se mezcla con la calcita. Otras plagioclasas se destacan de las anteriores por su mayor tamaño, ellas se presentan macladas según las dos leyes de la albita y de Carlsbad; por falta de secciones adecuadas en el único corte de que dispuse me ha sido imposible establecer de qué plagioclasa se trata; todas

se presentan dobladas o con fracturas, en algunos casos con un ligero desplazamiento de las partes. En un caso he observado la formación de fracturas paralelas con apariencia de clivaje que se cortan con ángulos de aproximadamente 70° y 110° , determinando rombos cuyas diagonales menores son paralelas al alargamiento del cristal; en esa parte se comprueba una marcada extinción ondulada, al girar la platina la onda oscura se desplaza paralelamente a uno de los sistemas de fracturas. En las grietas de estas plagioclasas ha penetrado la misma sustancia parda pleocroica ya mencionada. Por alteración de los fenocristales se ha originado calcita y calcedonia. A menudo hay un aspecto curioso porque la calcita casi siempre se presenta como en manchas, muchas veces limitadas netamente por grietas o líneas de clivaje, que separan partes frescas de las transformadas en calcita. La alteración se presenta tanto en el interior como en los contornos, pero cuando se presenta en el interior suele estar relacionada con grietas. Asociada con la calcita está esa sustancia fibrosa o fibrosa-radiada, que a veces aparece rellenando grietas. La pasta de esta roca presenta estructura fluidal muy marcada; en la pasta son frecuentes los cristales de magnetita y apatita. Es muy abundante en esta pasta una sustancia pardusca que a primera vista parece limonita, pero que observada con atención deja ver la fibrosidad y el pleocroismo de la sustancia parda fibrosa que reviste ciertos cristales de plagioclasa.

Llama la atención la presencia de minerales que no pueden ser primarios pero que no se pueden atribuir con seguridad a la alteración de uno u otro mineral; podría pensarse en que procedieran de olivinas, pero no siempre se presenta la forma del peridoto o sus fracturas características, que son los caracteres que podrían guiarnos, ya que se trata de alteraciones que han hecho desaparecer por completo el mineral primario; a veces quizá se trate de alteraciones de un piroxeno que pueden dar productos secundarios iguales o muy parecidos a los de las olivinas. Si en esta roca había olivina (como lo hacen suponer la forma y las fracturas que presentan algunas asociaciones de productos de alteración que ahora se observan) ella se ha alterado originando calcita, sílice (depositada en forma de cuarzo), magnetita, ilmenita, un agregado oscuro, terroso y otro agregado fibroso hasta fibroso-radiado de un mineral que se asemeja a ciertas cloritas en todo salvo el color que es pardo amarillento, y cuyo pleocroismo no siempre es observable con facilidad porque a veces la fibras se entrecruzan a manera de fieltro; en algunas partes el pleocroismo es bien visible, va del pardo amarillento claro al pardo amarillento oscuro, con la mayor absorción paralelamente al alargamiento de la fibras. El color de este agregado en luz transmitida puede hacer pensar en que estuviera teñido por hematita, pero con luz reflejada no se presenta el color rojo característico de ésta, sino un color pardo amarillento con manchas más oscuras, y que no es constante, pues girando la platina del microscopio varía la intensidad de la coloración. Este agregado se presenta de preferencia rodeado por la calcita, o a lo largo de los vestigios

de antiguas fracturas de la olivina. Aunque en algunos casos es posible pensar que el peridoto ha sido el mineral originario, ello no siempre es posible porque no aparecen la forma ni las fracturas características de ese ortosilicato.

El mismo mineral de alteración es muy abundante en los intersticios entre las plagioclasas de la pasta, allí a menudo no es tan evidentemente fibroso-radiado, y tiene color más claro, forma manchas de contorno irregular y muchas veces está íntimamente mezclado con calcita.

Hay otra alteración en que el origen olivínico parece más evidente, en este caso se ha originado además del carbonato una sustancia pardo-grisácea oscura, de aspecto terroso, que es blanquecina con luz reflejada y que forma a veces como manchas, en otros casos se extiende por toda la superficie del cristal alterado, en cuyas fracturas o bordes se han depositado gran cantidad de cristallitos de magnetita (lám. II, fig. 1). Parece ser calcita que a veces sorprende por el aspecto fibroso que presenta, y en cuyo interior hay gran abundancia de pequeños granos oscuros que contribuyen a acentuar el color pardo grisáceo de la alteración, y que vistos con luz reflejada son blancuzcos, dan idea de ilmenita alterada en leucoxeno. En los contornos de algunas de estas pseudomorfofis, o en los vestigios de grietas del mineral originario, o en su interior, aparece también, a veces, el producto fibroso-radiado pardo antes descrito.

5. **Porfirita**, Norte del Cerrito Roth.

El doctor A. Leanza, que recogió la muestra, me ha informado que ella procede de la porfirita que se presenta en el camino a Piedra del Águila, al N. del montículo que él ha llamado Cerrito Roth, situado al S. del Cerro La Pintada (o Colorado). Las plagioclasas de esta roca, que están algo alteradas, aparecen aún más turbias por la deposición de velos de limonita y de clorita; la alteración dificulta la observación de las trazas de los planos de macla y* en consecuencia la medición de los ángulos de extinción simétrica de las plagioclasas. Hay muchos cristales de magnetita y quizá de cromita, y unos escasísimos cristales que parecen de piroxeno; su reducido tamaño impide asegurarlo. Parecen frecuentes las pseudomorfofis de olivina en minerales de color pardo sucio, a veces algo verdoso, que no es uniforme en toda la superficie; donde es algo más claro parece ser pleocroico del pardo amarillento oscuro al pardo verdoso. Esas partes más claras, pardo amarillentas, son más pleocroicas que las porciones más oscuras y turbias, llegan al mismo color pardo verdoso que éstas. El pasaje de las partes más turbias a las más transparentes y claras es muy gradual. El material de estas pseudomorfofis, con nicoles cruzados, se revela como un mineral criptocristalino, cuyo color de interferencia está enmascarado por la intensa coloración propia. En su interior o en los bordes aparecen cristales opacos de magnetita y de una espinela. Este material criptocristalino parece ser una sustancia clorítica.

Otras pseudomorfosis son más claras y en agregados fibroso-radiados, pero en ninguna de ellas he observado los contornos ni los vestigios de las grietas características de la olivina; en gran parte es alteración de las plagioclasas, en particular de los cristales de mayor tamaño.

IV. PRODUCTOS DE ALTERACIÓN EN ROCAS DE LA SIERRA DE CHACAI-GÓ

1. **Porfirita**, Cerro Keli-Mahuida (Colorado).

Debo esta muestra a la cortesía del doctor A. Fernández, que me manifestó que ella procede de una brecha de corrimiento al NW. del Cerro Keli-Mahuida.

Se presenta holocristalina, muy alterada. El mineral primario más abundante es una plagioclasa que por su ángulo máximo de extinción simétrica, medido en secciones perpendiculares a (010), que da un valor de 20° , puede determinarse como *andesina*. No hay anfiboles, piroxenos ni micas; las olivinas se han alterado completamente. Las plagioclasas tampoco han escapado a la alteración; además se presentan cubiertas por un velo de limonita y en otros casos de clorita. La roca debe haber sufrido presiones bastante considerables, pues las plagioclasas aparecen frecuentemente con grietas transversales o con las líneas de macla dobladas. Esta roca se ha originado de un magma bastante rico en gases que al escapar determinaron la formación de cavidades que ahora aparecen rellenas con una clorita y otras veces por calcita, también mezclada con clorita. La misma clorita se ha depositado también en los intersticios que quedaban entre los cristales de otros minerales.

La estructura de la pasta es fluidal, pero no es muy evidente; hay cierta irregularidad en la disposición de los cristales alargados y estrechos de plagioclasas. Éstos a veces se han orientado tangencialmente alrededor de los antiguos cristales de olivina, hoy completamente desaparecidos y reemplazados por una clorita.

Por el aspecto del mineral de alteración podemos suponer que en esta roca existía olivina. El peridoto se ha alterado totalmente produciendo una separación de óxido de hierro en forma de pequeños cristales de sección poligonal de espinela, y en algunos casos de sílice que cristalizó como calcedonia o como cuarzo en el interior de la pseudomorfosis. El resto de la pseudomorfosis es un agregado muy fino, de color pardo amarillento claro, cuyo pleocroísmo es difícil de observar por su poca intensidad; en el momento de máxima absorción el color llega al pardo amarillento algo más oscuro. El color no está distribuido uniformemente, hay como manchas más claras o más oscuras, las partes más oscuras son de color verde musgo y pasan a veces insensiblemente a las pardas, mientras otras veces se observan zonas pardas en medio del verde. Las partes verdes son débilmente pleocroicas desde un verde amarillento a otro verde más fuerte, con un tinte

oliváceo ; presentan polarización de agregado y tienen entre nicoles cruzados el aspecto de una clorita.

El color verdoso, que en las pseudomorfosis de olivina aparece generalmente subordinado, es en cambio predominante en los rellenos de cavidades. Aquí es evidentemente una clorita en finísimos agregados fibroso-radiados, en la que se destacan partes coloreadas de pardo rojizo (como las recién descritas) con fibras perpendiculares a grietas que presenta la masa de clorita, forman así como viboritas que se destacan sobre el fondo verdoso. El pasaje de las partes verdosas a las pardas a veces es gradual, otras veces es brusco. En este caso la deposición de estos minerales secundarios debe haberse efectuado por capas sucesivas, por cuanto se nota un borde delgado verde que tapiza la pared de la cavidad originaria ; luego viene una delgada zona amarillenta y más adentro una asociación aparentemente irregular de partes verdosas y amarillentas de contornos netos y contorsionados.

El relleno de las cavidades de la roca adquiere en algunas partes un color verde más intenso, y en otras se hace mucho más clara, descolorida, y con menor birrefracción. Las fibras que quedan en contacto con la pared de la cavidad son perpendiculares a ella. En algunas partes los agregados fibroso-radiados son más grandes, tienen fibras intensamente pleocroicas del amarillo verdoso muy claro hasta el verde amarillento, la birrefracción es mucho mayor que la de la clorita, llega a colores de interferencia de segundo orden. Presenta los caracteres de la antigorita, pero el color verde es demasiado intenso para poder referirla a este mineral, así que me inclino a creer que sea algún término pobre en alúmina de la serie de las cloritas.

En muchos casos se ve que la sustancia verde ocupa todo el lugar que queda entre los cristales de plagioclasas, lo cual puede hacer pensar en dos posibilidades : una de que se haya formado por alteración de minerales originariamente interpuestos entre los feldespatos, o bien que se deba a una transformación de la masa fundamental. En los cortes estudiados no he hallado indicios para dar preferencia a una hipótesis más bien que a la otra. Aquí también se observan zonas de distinta intensidad de coloración de las fibras, dispuestas perpendicularmente a los contornos.

Algunas cavidades de la roca se rellenaron con calcita y entre ésta también aparece la clorita en agregados fibroso-radiados o en esa forma de viboritas con fibras transversales, y a veces también la clorita en agregados de mayor tamaño.

2. **Porfírita**, Cerro Charahuilla (Muestra coleccionada por el doctor A. Fernández).

Está constituida por plagioclasas, mucha clorita, magnetita y hematita diseminadas, y algo de apatita ; además hay que considerar los productos de alteración de las olivinas o piroxenos preexistentes. Las plagioclasas se presentan en cristales de dos generaciones : los pequeños forman parte de

la pasta fundamental que encierra a los fenocristales; estos dos tipos de cristales de plagioclasas determinan una estructura porfirica bien notable; en la pasta las plagioclasas aparecen en cristales alargados, orientados en todas direcciones, turbios por velos de hematita, limonita o clorita. El aspecto turbio dificulta la medición de los ángulos de extinción simétrica de las plagioclasas de la pasta medidos en secciones perpendiculares a (010), cuyo valor máximo alcanza a 22°, se trata pues de una *andesina*. Los fenocristales de plagioclasa están algo corroídos, se presentan maclados según las leyes de Carlsbad y de albita-Carlsbad; he observado también uno zonado, y entre las superficies de separación de una capa y otra de este cristal ha penetrado una clorita. Casi todos están agrietados, a veces tienen extinción ondulada; las fracturas han sido ocupadas en algunos casos por hematita.

Originariamente también debieron existir fenocristales de olivina, hoy completamente alterados, y sólo reconocibles por el contorno y las fracturas. En el vidrio de la pasta ya ha comenzado el proceso de devitrificación.

Los productos de alteración de la olivina son agregados fibrosos finos clorítico-serpentinosos, de color amarillo verdoso, tricroicos en amarillo pardusco claro, pardo claro y amarillo verdoso. Aún se observan vestigios de las grietas de la olivina; a veces los bordes de esas grietas están delimitados por un material verde, pleocroico del verde amarillento al verde esmeralda intenso y de baja birrefracción como las cloritas típicas, y que tiene las fibras perpendiculares a las grietas. Este agregado de minerales amarillos y verdes en conjunto tiene numerosas inclusiones de apatita y también aparece a veces una clorita de aspecto menudamente globular, de color verde, pleocroica del verde amarillento al verde esmeralda intenso. Esta alteración clorítico-serpentinosa a menudo ha dejado en libertad óxidos de hierro que se han depositado en forma de magnetita o de hematita en el interior, las grietas o los bordes de la alteración. En un caso he observado que esa alteración también encierra calcita.

Se presenta además una pseudomorfosis de olivina en un mineral opaco, que visto con luz reflejada al girar la platina presenta una sola vez cada 360° una serie de puntos con brillo metálico de color blanco. Para obtenerse este efecto se requiere que exista un gran número de caras planas de orientación uniforme que reflejen simultáneamente la luz; ésto puede ocurrir o en una asociación paralela de cristalitos o bien a lo largo de varias superficies de clivaje de un mismo cristal, superficies que han determinado escalones microscópicos durante el pulimento del corte delgado. Esos puntos en conjunto dan el aspecto de una red; en algunos casos han desaparecido por completo los vestigios de grietas de la olivina, pero en otros casos aún se observan. Por otra parte las hileras de puntitos brillantes parecen ocupar el lugar de las grietas del peridoto. Entre esas líneas brillantes (que están sobre delgadas bandas que con luz reflejada son de color cobrizo) quedan lugares opacos, de color algo rojizo con luz reflejada, aunque negros con luz transmitida, otras veces algo blanquecinos (con luz reflejada). Estas pseudomorfosis de la oli-

vina en ese mineral opaco encierran feldespatos y en algunos casos un mineral verde, quizá una clorita, es pleocroica del verde oscuro ligeramente amarillento al verde esmeralda intenso. En otras preparaciones sin cubre-objetos, como la representada en parte en la lám. II, fig. 2, se ha comprobado que el mineral opaco bajo una punta de acero deja una raya roja, que confirma que se trata de hematita. En otros casos también se ha obtenido raya blanca terrosa (bajo el microscopio), indicando que en este caso debe haberse formado leucoxeno y que la sustancia originaria era, por lo menos en parte, ilmenita.

Hay otra alteración de la olivina que vista con luz transmitida, en sección, tiene color que va del amarillo rojizo al pardo negruzco, es de aspecto micáceo, muy pleocroica del rojizo amarillento al pardo oscuro. Presenta un sistema del líneas de clivaje perpendiculares a las aristas más largas de la sección del antiguo cristal de olivina; tiene extinción recta, birrefracción elevada, me parece una variedad de iddingsita. Al lado de ésta hay una olivina en alteración, que en parte ya ha originado el mineral opaco descrito, y el resto es de la supuesta iddingsita. Además aparece cuarzo, seguramente secundario, por deposición de la sílice libre.

3. Basalto, Cerro Charahuilla.

El doctor A. Fernández ha tenido la gentileza de entregarme esta muestra y de informarme que este basalto constituye coladas dentro de los sedimentos del Dogger.

La roca tiene una pasta muy menuda y con bastante vidrio que ha comenzado a devitrificarse, y hay cristales muy finos y alargados de plagioclasas y abundantes cristales delgados y bastante largos de augita. La medición de los ángulos de extinción simétrica de las plagioclasas es muy dificultosa en esta roca por el tamaño reducido que ellas tienen y por la falta de secciones adecuadas en los cristales menos pequeños. De los pocos que he podido medir sólo uno dió ángulos simétricos, y su valor, unos 35° , nos indica que esta plagioclasea es una labradorita media o un miembro de la serie algo más rico en cal; esto está confirmado por el índice de refracción bastante mayor que el del bálsamo. También hay numerosos cristales de magnetita, y clorita muy diseminada, constituyendo un velo que cubre toda la superficie de la sección.

En las antiguas cavidades de la roca aparecen agregados fibroso-radiados de calcedonia, agregados que a menudo no están completos, pues han interferido los varios que se formaron a veces en una misma cavidad. Algunos de estos agregados están turbios por gran cantidad de inclusiones tan pequeñas que no es posible determinarlas. La calcedonia se presenta en fibras con extinción recta y con la particularidad de que en un mismo agregado el alargamiento ora es positivo ora es negativo. A veces se observa que todas las fibras tienen alargamiento negativo en la parte central de un agregado fibro-

so-radiado, como también en la parte más exterior, mientras que en el medio tienen alargamiento positivo, sin que se observe la menor diferencia hasta que se pone un compensador. Las variedades de sílice anhidra fibrosa (según Cayeux (1916, 200) y Michel-Lévy no pueden ser consideradas como especies minerales sino como modalidades del retículo fundamental del cuarzo) son cuatro: calcedonita, pseudocalcedonita, cuarcina y lutecita; ellas han sido objeto de estudio por parte de mineralistas de la escuela francesa y pueden diferenciarse entre sí por ciertos caracteres ópticos. Las tres primeras tienen extinción recta, y la lutecita oblicua; la calcedonita y la cuarcina son ópticamente positivas y la pseudocalcedonita es negativa. En nuestro caso lo único que puede asegurarse es que no se trata de lutecita, pues siempre la extinción de las fibras es recta; pero no es posible decir de qué otra variedad de sílice anhidra fibrosa se trata, debido al carácter óptico variable de las fibras. Rogers y Kerr (1942, 188) mencionan casos en que la calcedonia se presenta en capas concéntricas alternativamente positivas y negativas, sin que se conozca de qué depende este fenómeno. Cayeux (1916) ilustra casos de asociación de dos variedades de sílice fibrosa anhidra, pero en el material observado parece que ésto no ocurre, por cuanto los agregados fibroso-radiados son homogéneos. En consecuencia, en nuestras preparaciones no me ha sido posible aplicar los criterios de estos mineralistas para determinar qué variedad de calcedonia constituyen los agregados fibroso-radiados.

En algunos casos las cavidades están tapizadas por cristales de un mineral isométrico, muy probablemente analcima, que a veces constituye una parte del relleno de la cavidad, pero siempre está en contacto con la pared de ésta. También se presenta rellenando totalmente las cavidades.

Además de los mencionados se destaca un mineral que ha resultado de la alteración de otro preexistente, que no siempre es posible identificar, aunque en algunos casos parece tratarse de olivina (por el contorno y las fracturas características), pero otras veces más bien se pensaría en un piroxeno. Dicha alteración ha originado una sustancia fibrosa, verde y ligeramente pleocroica del amarillo verdoso claro al verde amarillento. Ella tiene fibras a veces encorvadas y haciendo ángulos de aproximadamente 90° con los contornos o con las fracturas del antiguo mineral. Esas fibras a veces no guardan un orden aparente en su disposición, pero en otros casos son paralelas entre sí. Algunas pseudomorfosis vistas con gran aumento, muestran un borde que puede ser de crisotilo y que también aparecen en el interior, distinguiéndose por las finas fibras paralelas entre sí y perpendiculares a las grietas. El resto del agregado probablemente sea antigorita, que en algunos casos encierra núcleos de una clorita turbia en fibras entrecruzadas a manera de fieltro.

4. **Basanita**, Cerro Caichihue.

El doctor A. Fernández, que me proporcionó la muestra, me dijo que este basalto constituye un dique que atraviesa el Neocomiano. Es rico en vidrio que ha comenzado a devitrificarse. La pasta tiene abundantísimos cristallitos de plagioclasas que se han mantenido frescas; su ángulo máximo de extinción simétrica en secciones perpendiculares a (010), que da un valor de 35°, indica que esta plagioclasa es una *labradorita media*. Los otros minerales presentes son augita (pocos cristales), abundante olivina, algunos de cuyos cristales están ligeramente corroídos. Además se observan muchas secciones de nefelina con contornos irregulares; los cristales de nefelina a veces están fracturados y sus trozos presentan distinta orientación óptica, aunque en luz ordinaria parecen constituir individuos continuos.

De los cristales de olivina unos pocos permanecieron inalterados, otras veces se depositaron óxidos de hierro en sus grietas, pero en general ha habido transformación total o casi total en un agregado lamelar de color amarillo pardusco, pleocroico del amarillo claro al pardo amarillento y que frecuentemente contiene inclusiones de minerales opacos. Conserva a veces los vestigios de las fracturas de la olivina, y sus láminas son perpendiculares a dichas fracturas. Esas fibras tienen extinción recta y están regularmente dispuestas, de modo que muchas veces la extinción es total en cada uno de los antiguos trozos de olivina separados por grietas y hoy transformados en antigorita probablemente.

Pero no toda la olivina se ha alterado en la forma descrita, pues rodeando restos de olivina aparece también una sustancia de aspecto clorítico, ligeramente pleocroica, que aparece mucho más turbia que la supuesta antigorita. En algunos casos se ve un pasaje gradual de clorita a serpentina, a menudo ésta constituye dentro de la masa clorítica bandas delgadas bien pleocroicas, con la mayor absorción en la dirección del alargamiento de las fibras. Además con nicoles cruzados es evidente la extinción paralela, mientras que los restos del cristal aún no transformados en serpentina tienen extinción de agregado. Hay casos en que la clorita está finamente asociada con la serpentina, pero en otros casos hay como manchas de clorita, sin que aparezcan estados de transición entre la clorita y la serpentina.

La misma serpentina amarilla pardusca y pleocroica del amarillo claro al pardo amarillento se ha originado por alteración de piroxenos. La serpentina formada de esta manera se reconoce por la forma del agregado y la disposición de las láminas que lo constituyen, que están dispuestas en dos direcciones aproximadamente perpendiculares entre sí. Frecuentemente esta serpentina se presenta con manchas de color pardo verdoso, turbias, de sustancia clorítica indistinguible de la que se presenta formada a expensas de la olivina.

5. Basalto, Cerro Caichihue.

El doctor A. Fernández, que me entregó esta muestra, me ha informado que este basalto constituye diques que atraviesan los estratos del Neocomiano.

Los minerales primarios presentes son plagioclasas (*labradorita media*), olivina, augita y magnetita. Además había originariamente una pasta intersticial, ahora en parte devitrificada. Por alteración de la olivina se han originado cuatro productos: iddingsita, una clorita, serpentina y material criptocristalino.

En un caso particularmente interesante (lám. III, fig. 1) por alteración de un cristal de olivina se han formado iddingsita, una clorita y el material criptocristalino. La iddingsita tiene color amarillo verdoso y es pleocroica del amarillo verdoso al pardo verdoso, y presenta dos sistemas de líneas de clivaje perpendiculares entre sí, uno de los cuales es mucho más marcado que el otro. La extinción es recta, la birrefracción varía algo en un mismo cristal. Hay pequeños cristales de mineral opaco incluidos en la iddingsita, preferentemente cerca del borde o de los clivajes.

La iddingsita pasa bruscamente a un fino agregado criptocristalino, pardo amarillento, turbio, que no extingue nunca, donde también aparece algo de clorita. Este agregado tiene índice de refracción menor que el de la iddingsita, y en él se reconocen vestigios de trazas de clivaje, y en algunas partes aún existen láminas más grandes con aspecto de iddingsita.

Finalmente, en el conjunto que estoy considerando, se destaca ya con el solo polarizador, una clorita verde olivácea en pequeños agregados fibroso-radiados, pleocroica entre un amarillo claro y un verde oliva, que como la iddingsita y el agregado pardo amarillento encierra cristales opacos. Supongo que la primitiva olivina se alteró primero en iddingsita, que luego se transformó en el agregado pardo amarillento, que también he observado en otros cristales que fueron de olivina. Luego un estado aún más adelantado de descomposición estaría representado por el agregado fibroso-radiado de clorita, mineral que en partes se insinúa en el otro agregado. Pero en otros casos la alteración inicial ha sido en clorita, y también hay un ejemplo de de un cristal de olivina que se ha transformado en parte en clorita, en parte en serpentina, y el resto ha quedado inalterado.

En el resto de la roca la alteración más abundante es en serpentina, en la que a menudo hubo penetración de clorita, que da un aspecto turbio y donde ella existe también la birrefracción es menor. Las láminas de esa serpentina (*antigorita*), que tienen color amarillo pardusco, son pleocroicas hasta el pardo amarillento, con la mayor absorción en la dirección del alargamiento de las fibras. Estas a veces constituyen un agregado irregular, pero en otras hay extinción por partes cuyas fibras están igualmente orientadas. Las láminas de serpentina son a veces perpendiculares a las trazas de los planos de fractura, pero en la mayoría de los casos hacen ángulos variables

con esas trazas. Entre las láminas de antigorita aparecen cristales de minerales opacos, que por lo menos en parte son de magnetita. Frecuentemente queda olivina fresca separada por grietas del resto alterado. Parece que la alteración comenzó por la superficie y penetró a lo largo de las grietas de la olivina. La cantidad de sustancia clorítica es también más abundante en los bordes y fracturas. La alteración comienza siendo un leve enturbiamiento pardusco donde se insinúan apenas las fibras, cuya orientación óptica no coincide con la de la olivina fresca. Ya en este estado inicial se nota la presencia de clorita en forma de puntitos de baja birrefracción.

V. MINERALES DE ALTERACIÓN EN ROCAS DE LA CORDILLERA DEL VIENTO

Andesita, extremo meridional de la Cordillera del Viento, cerca del puesto del Cudró.

La muestra fué recogida por el doctor J. Frenguelli, procede de una de las coladas que él ha observado debajo del Liásico en el extremo sur de la Cordillera del Viento, a ambos lados del camino de Chacay-Melehué a Andacollo.

Está constituida principalmente por plagioclasas, algo turbias y dispuestas en distintas direcciones, cruzándose a menudo entre ellas. Numerosas mediciones de ángulos de extinción simétrica de las plagioclasas me han permitido determinarlas como *andesina ácida* (ángulo máximo de extinción simétrica 17°), por lo tanto la roca es una andesita, aunque su aspecto exterior hace pensar en un basalto. Hay también un piroxeno (augita?) cuyos cristales están penetrados por las plagioclasas. Además por la forma de ciertos agregados pseudomórficos parece haber existido olivina, aunque no siempre es posible asegurar que el mineral ahora presente haya sustituido al peridoto. El mineral de sustitución es una clorita que en el corte delgado presenta color verde hierba, es pleocroico entre el verde amarillento y el verde manzana, o bien entre el amarillo pardusco y el verde oliva. El color de esta clorita en general no es uniforme en toda la superficie de un agregado pseudomórfico, a menudo el color es más claro en el interior y más acentuado hacia los bordes. Cruzando los nicoles se comprueba que tiene birrefracción muy baja, a veces se percibe color de interferencia anómalo (azul lavanda) cuando no está enmascarado por el color propio del mineral. Tiene alargamiento positivo. Con los nicoles cruzados se observa también que la parte exterior, más verde, tiene las fibras perpendiculares a los contornos del mineral originario, en tanto que la parte central, más clara, a veces casi incolora, corresponde a agregados desordenados. Quizá sea pennina.

La misma clorita a veces aparece ligeramente turbia, esta apariencia puede ser debida en parte a la alteración del feldespato que ella reviste, notándose un ligero enturbiamiento también en las plagioclasas no cloritizadas.

La clorita, normalmente verde, adquiere en ciertos puntos un color pardo avellana, con pleocroísmo desde el amarillo pardusco al verde oliva.

La clorita parece además que ha sustituido a muchos cristales de piroxeno; hace pensar así la forma del contorno, a veces los vestigios de clivajes, y el hecho de que en algunos casos los cristales de piroxeno pasan insensiblemente a clorita.

Finalmente, en el corte que estudié, la misma clorita se presenta dos veces de una manera particularmente llamativa, una vez asociada con calcita y otra vez sin otros minerales. En ambos casos la forma del agregado es aproximadamente elíptica; esta clorita tiene en conjunto, en el corte delgado, un color verde manzana, pero no uniformemente distribuido, hay un aspecto de moaré por la existencia de bandas estrechas color verde hierba encorvadas y dispuestas en diversas direcciones, que se destacan sobre un fondo más claro, de color verde sumamente pálido, a veces casi incoloro; éste agregado está representado en la lámina III, figura 2. Las bandas de color verde más acentuado son pleocroicas del verde amarillento claro al verde oliva pálido, y están constituidas por fibras dispuestas paralelamente entre sí y con extinción recta. El material que constituye la parte más clara del agregado es pleocroico desde el verde amarillento pálido al verde manzana claro. Todo el agregado tiene birrefracción muy baja, entre nicoles cruzados el color es gris bastante oscuro. Con la ayuda de la lámina de yeso se comprueba que tanto las bandas que por su color más intenso se destacan del resto, como el fondo sobre el cual se asientan, están formados por fibras de extinción recta y alargamiento positivo. Tiene pues las mismas características que la clorita que ha sustituido a otros minerales de la roca. Todos los minerales que rodean a esta masa de clorita están fuertemente coloreados por el mismo color de aquélla; en su mayor parte, por la forma muy alargada y bastante estrecha, parece tratarse de cristales de plagioclasa.

Hay, como dije, otra masa con iguales características que la descripta pero asociada con calcita que aparece hacia los bordes de esa masa de clorita, y que es criptocrystalina, bastante turbia por impurezas y en cuyo interior también aparecen pequeños grupos de fibras de clorita.

Tanto en el caso de esta clorita pura como en el de la asociada con calcita, la forma general del agregado, aproximadamente elíptica, hace pensar que representa el relleno de una cavidad. Pero en contra de esta idea está la disposición de los otros minerales, especialmente plagioclasas, que se han colocado tangencialmente alrededor del contorno de la actual masa cloritica; es como si ésta hubiera sustituido a un mineral preexistente, quizá algo corroído, lo que le habría dado esa forma más o menos elíptica, sin contornos cristalinos. Así hay un ejemplo de un cristal redondeado de piroxeno atravesado por plagioclasas y en parte cloritizado. A las dos posibilidades indicadas: que la clorita sea el relleno de una antigua cavidad, o que ella haya sustituido a otro mineral, puede agregarse una tercera. En efecto, también podría ser el resultado de la transformación de un mineraloide por

devitrificación. Efectivamente, la transformación de vidrio volcánico en clorita ha sido observada por Hugé y por Loewinson-Lessing (según Rosenbusch, 1927, 606). En nuestro caso pienso que es muy probable este origen de la clorita porque ésta se presenta muy frecuentemente en toda la roca en agregados de forma poligonal, a menudo con ángulos entrantes, y rodeados por cristales de los otros minerales; la forma de esos agregados da idea de que ellos han sustituido al primitivo vidrio intersticial. Hacia los bordes de esos agregados las fibras de clorita son perpendiculares a los contornos, mientras en el interior están dispuestas sin un orden aparente.

En general se admite que las cloritas se originan por alteración de alúmino-silicatos ferromagnesianos. Pero también está comprobado que pueden formarse a partir de los feldespatos: un ejemplo se tiene en la pennina de la diabasa de Taylor's Falls, EE. UU., estudiada por Winchell (1900, 559). El origen de las cloritas por transformación del vidrio es menos conocido, como también su formación por metamorfismo dinámico. A este fenómeno ha atribuido Fossa-Mancini (1920) el origen de una clorita muy ferrífera que reviste superficies de estratificación o de fracturación de una caliza gris del Cássaro (Monte Namporaia, provincia de Luca, Italia), intercalada entre esquistos arcillosos. Fossa-Mancini atribuye la formación de esta clorita a la fricción producida por el deslizamiento de los estratos alternantes de caliza y arcillas.

VI. CONCLUSIONES

Los productos de transformación de los silicatos ferromagnesianos pueden diferenciarse en dos grupos: unos son el resultado de reacciones que tienen lugar en el período de consolidación del magma (*deutéricos*) y otros productos son verdaderamente *secundarios* por cuanto proceden de la acción de agentes exteriores sobre la roca magmática ya perfectamente consolidada. Mis observaciones indican que en ciertas rocas volcánicas del Neuquén la alteración (en sentido lato) de los piroxenos y de las olivinas puede originar minerales (*deutéricos* o *secundarios*) iguales o muy parecidos. En este resultado deben influir: 1° las proporciones en que están presentes algunos elementos comunes a ambos grupos de minerales primarios, y 2° la acción de determinados agentes de alteración. Así, por ejemplo, en algunas de las preparaciones observadas he notado que las olivinas y los piroxenos se han transformado en la misma variedad de serpentina o en iguales agregados aparentemente cloríticos, o en otros clorítico-serpentinosos, pero el estudio petrográfico no me ha proporcionado datos acerca de las acciones que pueden haber causado estas transformaciones. Es posible que un estudio de los afloramientos sirva para aclarar el asunto.

A veces es difícil reconocer cuál fué el mineral primario que se ha alterado completamente. Esto ocurre especialmente cuando faltan los contornos y las fracturas o clivajes característicos; a veces ayuda en estos casos la

orientación que presentan las fibras de serpentina, que se distribuyen en dos sistemas perpendiculares entre sí cuando el mineral originario era un piroxeno.

He hallado pseudomorfosis de olivina en hematita y en iddingsita; no he visto pseudomorfosis de piroxenos en esos dos minerales. La iddingsita observada debe ser deutérica, ya que los piroxenos en que estaba incluida la primitiva olivina han permanecido perfectamente frescos.

La investigación de las causas a que puede atribuirse la similitud de los productos de alteración de olivinas y piroxenos es un asunto que puede resultar de interés para químicos y geólogos. Aquéllos, en el laboratorio, podrían establecer en qué grado influye la variación de composición química en los minerales que como las olivinas, por ej., son soluciones sólidas de dos términos extremos, es decir, averiguar qué relación hay entre la composición primaria y la transformación, y cuáles son las condiciones necesarias para que tengan lugar esas reacciones. Esto llevaría a un mejor conocimiento de las características del magma y de las condiciones en que se realizó su consolidación. Los geólogos podrían guiarnos con sus observaciones de campaña investigando los probables agentes que en distintos casos determinaron la transformación, y la influencia que iguales agentes han ejercido sobre distintos minerales primarios para originar, a partir de ellos, los mismos productos. Mis observaciones me hacen suponer que esa influencia es grande.

Summary. — This paper deals with some alteration products of ferromagnesian minerals in certain andesites, porphyrites, basanites, basalts and dolerites. It seems probable that the alteration of different primary minerals (olivines or pyroxenes) may lead to identical serpentinous, chloritic or chloritic-serpentinous, aggregates. However, in the thin sections observed, the hematite and iddingsites appear to be derived only from olivine. The microscopical study shows that this iddingsite is a deuteric mineral.

La Plata, 16 de marzo de 1943.

OBRAS CITADAS

- ALOISI, P., *I minerali delle rocce e la loro determinazione per mezzo del microscopio*, Milano, 1929.
- ARTINI, E., *Le rocce*, Milano, 1929.
- *I minerali*, Milano, 1934.
- BACKLUND, H. G., *Der magmatische Anteil der Cordillera von Süd-Mendoza*, en *Meddelanden Fran Abo Akademis Geologisk-Mineralogiska Institut*, n° 3, 1923.
- BRAUNS, R., *Il regno minerale*, Milano.
- CAYEUX, M. L., *Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires*, en *Mémoires pour servir à l'explication de la Carte Géologique détaillée de la France*, Paris, 1916.

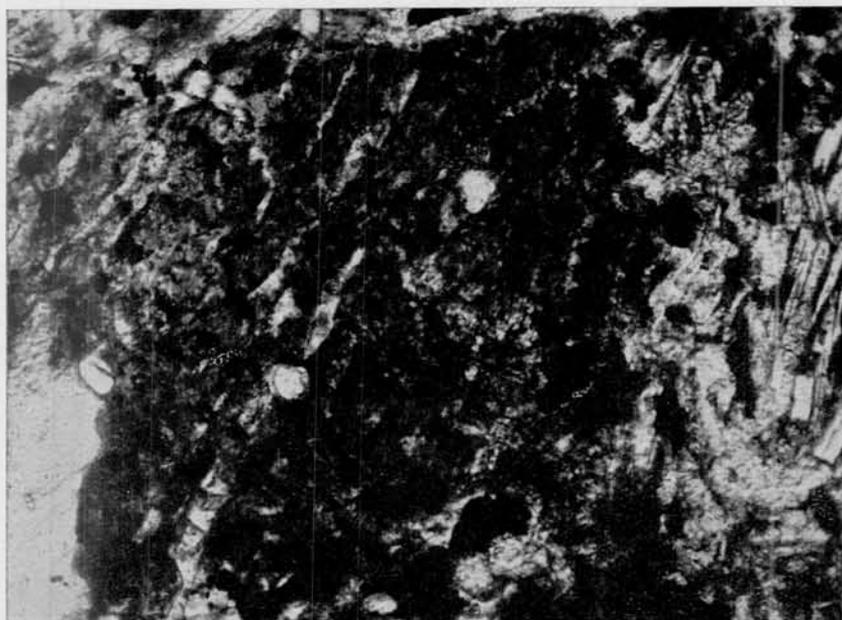
- DANA, E. S., *A textbook of Mineralogy*, New York, 1932.
- DANA, J. D., *The system of Mineralogy*, Appendix I, New York, 1914.
- EDWARDS, A. B., *The formation of iddingsite*, en *The Am. Mineral.*, XXIII, 277-281, 1938.
- FERNÁNDEZ, A., *La serie jurásica de la parte central y meridional de la Sierra de Chacabuco y sus relaciones con los terrenos que la soportan. Estudio estratigráfico y tectónico, en Tesis del Museo de La Plata (inédita)*, La Plata, 1940.
- FOSSA-MANCINI, E., *Sul rivestimento clorítico di certi calcari e sulla probabile esistenza di un metamorfismo d'attrito*, en *Bolletino de la Società Geologica Italiana*, XXXIX (1920), 177-188, Roma, 1921.
- HOLMES, A., *The nomenclature of Petrology*, London, 1928.
- IDDINGS, J. P., *Microscopical Petrography of the eruptive rocks of the Eureka District, Nevada*, in ARNOLD HAGUE, *Geology of the Eureka District Nevada*, en *U. S. Geol. Survey*, Monog. XX, Appendix B, 335-436, Washington, 1892.
- LARSEN, E. S., *The microscopic determination of the nonopaque minerals*, en *U. S. Geol. Survey*, Bull. 679, Washington, 1921.
- LAWSON, A. C., *The Geology of Carmelo Bay*, en *Univ. of California*, Bull. of the Dep. of Geology, I, 1-59, Berkeley, 1893.
- MÓRTOLA, E., *Algunas rocas alcalinas básicas del Territorio del Chubut*, en *Physis*, V, 40-47, Buenos Aires, 1921.
- *Las rocas alcalinas básicas del sur del Chubut*, en *Dir. Gen. de Minas, etc.*, Bol. 34, ser. B, Buenos Aires, 1923.
- *Roches alcalines de la Patagonie*, en *Congrès Géologique International. Comptes rendus de la XIII^e session*, en Belgique, 1922, fasc. III, 1635-1649, Liège, 1926.
- QUENSEL, P. D., *Geologisch-petrographische Studien in der patagonischen Cordillera*, en *Bull. of the Geological Institution of the Univ. of Upsala*, XI, 1-114, Upsala, 1912.
- ROGERS, A. F. y KERR, P. F., *Optical Mineralogy*, New York, 1942.
- ROSENBUSCH, H., *Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien*, Bd. I, zweite Hälfte, Stuttgart, 1927.
- ROSS, C. S. and SHANNON, E. V., *The origin, occurrence, composition and physical properties of the mineral iddingsite*, en *Proc. U. S. National Museum*, LXVII-7, 1-19, Washington, 1925.
- WEINSCHENK, E., *Die gesteinsbildenden Mineralien*, Freiburg im Breisgau, 1907.
- WINCHELL, A. N., *Structural and petrographical Geology of the Taconic and Archaean*, en *The Geology of Minnesota*, final Report, vol. V, St. Paul (Min.), 1900.
- *Chlorite as a polycomponent system*, en *Am. Journ. Sci.*, XI-64, 283-300, New Haven, 1926.
- WINCHELL, N. H. and A. N., *Elements of optical Mineralogy*, II part, New York, 1927.



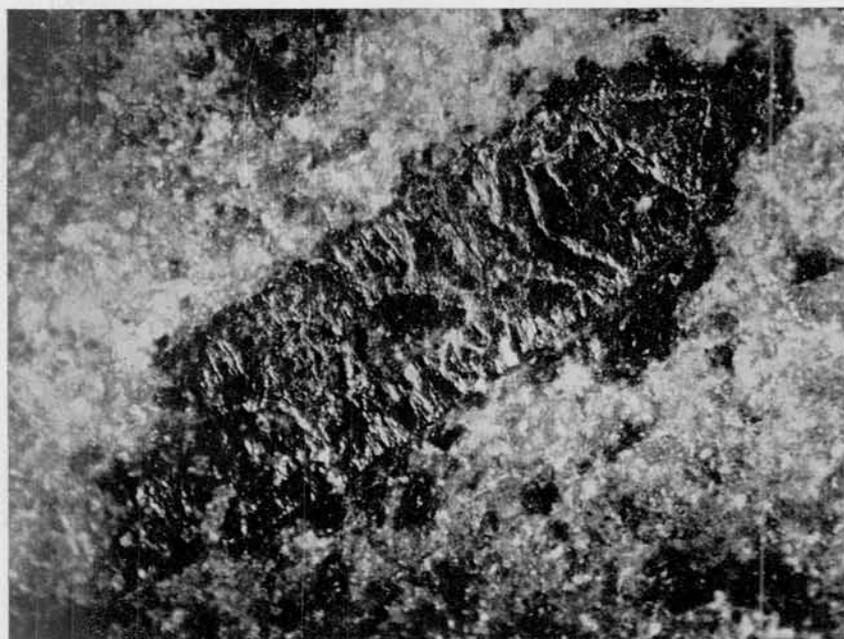
1. Plagioclasas, piroxenos e iddingsita que sustituyó a olivina en la dolerita de un dique al W de la escuela n° 4 de Piedra Pintada. Con el solo polarizador. $\times 87$



2. Serpentina ferrífera que sustituyó al piroxeno en la dolerita de la ladera occidental del Cerro Mesa. Con polarizador solamente. $\times 87$



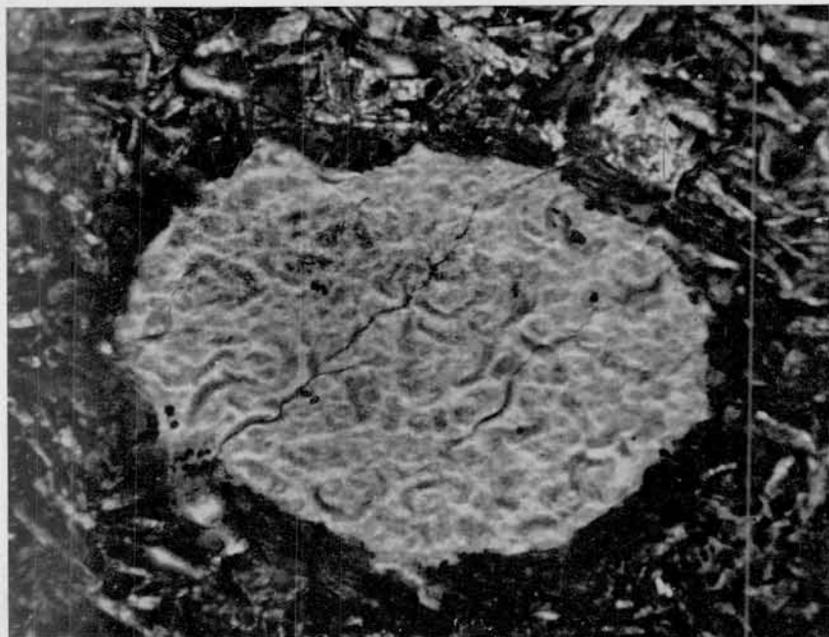
1. Calcita fibrosa (con numerosas inclusiones probablemente de ilmenita alterada en leucoceno y también de apatita) que sustituyó a la olivina, en una andesita de Piedra Pintada. Con el solo polarizador. $\times 122$.



2. Sustitución de la olivina por hematita; sobre el fondo rojizo se destacan puntos brillantes determinados por las superficies de clivaje de la hematita; observado en una porfirita del Cerro Charahuilla. Microfot. con luz reflejada, con epicondensador Zeiss. $\times 122$.



1. Iddingsita (partes más claras con clivajes marcados), una clorita (oscura, en el centro y a la izquierda) y un agregado clorítico-serpentinoso que han sustituido a una olivina de contorno hexagonal, en un basalto del Cerro Caichihue. Con el solo polarizador. $\times 132$.



2. Agregado de clorita, probablemente originado por transformación de vidrio, en un basalto del extremo sur de la Cordillera del Viento. Alrededor de aquél hay plagioclasas dispuestas tangencialmente. Con el solo polarizador. $\times 34$.