









SECRETARÍA DE FOMENTO, COLONIZACIÓN É INDUSTRIA

BOLETÍN

DEL

México.
"INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO"

NÚMERO 27-28

LA

GRANODIORITA DE CONCEPCIÓN DEL ORO EN EL ESTADO DE ZACATECAS

Y SUS

FORMACIONES DE CONTACTO

POR EL

DOCTOR ALFRED BERGEAT

Profesor
en la Universidad de Königsberg

(Con 9 láminas y 15 figuras en el texto)



MÉXICO

IMPRENTA Y FOTOTIPIA DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO
Callejón de Betlemitas núm. 8

1910



INSTITUTO
GEOLÓGICO DE MÉXICO



BOLETÍN NUM. 27-28

SECRETARÍA DE FOMENTO, COLONIZACIÓN É INDUSTRIA

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO

DIRECTOR, JOSÉ G. AGUILERA

LA
GRANODIORITA DE CONCEPCIÓN DEL ORO

EN EL

ESTADO DE ZACATECAS

Y

SUS FORMACIONES DE CONTACTO

POR EL

DOCTOR ALFRED BERGEAT

Profesor
en la Universidad de Königsberg

(Con 9 láminas y 15 figuras en el texto)



MÉXICO

IMPRENTA Y FOTOTIPIA DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO
Callejón de Betlemitas núm. 8

1910

216951

LA GRANODIORITA DE CONCEPCION DEL ORO

EN EL ESTADO DE ZACATECAS

Y SUS FORMACIONES DE CONTACTO

Por el Dr. Alfred Bergeat, Profesor en la Universidad de Koenigsberg

(Con 9 láminas y 13 figuras en el texto).

INTRODUCCION

Concepción del Oro es una población minera situada en la parte extrema del NE. del Estado de Zacatecas, á pocas leguas al Este de la cabecera del Distrito de Mazapil, que, siendo de menor importancia, está indicado en gran número de mapas. Se llega en pocas horas á Concepción por medio de un ferrocarril en buen estado, construído por la «Mazapil Copper-Company» inglesa, que empalma en Saltillo con la línea principal «Laredo-México». Este ramal atraviesa muchas sierras formadas principalmente de caliza mesozoica, cuya monotonía interrumpen á veces los grupos de yucas con sus formas bizarras, y pasa por largas y amplias llanuras, que parecen casi enteramente deshabitadas y que se cubren parcialmente en tiempo de aguas con una infinidad de flores. En los meses sin lluvia el suelo seco y pedregoso ó cubierto por una costra de caliche, produce únicamente una flora capaz de resistir al clima y bastante variada, compuesta de agaves, yucas, cáceas, árbol del Perú, etc. Habiendo visto aquella llanura silenciosa, con sus extendidas sierras, con sus tintas profundas de un crepúsculo tropical de Otoño, el viajero jamás olvidará este paisaje.

Inmediatamente antes de llegar á Concepción el tren atraviesa la sierra del mismo nombre y siguiendo un valle estrecho llega pronto á la población situada á la altura de 2,070 metros. Habiendo cruzado al último una pequeña llanura, nos sorprende encontrarnos de repente en un paisaje alpino, con cerros de formas bastante variadas. El valle mismo representa el corto desagüe por el cual salen á la llanura las aguas, que se juntan en una cuenca no muy extensa pero orográficamente bastante complicada. De las chimeneas de una fundición moderna de cobre se levantan nubes oscuras de humo; la población misma con sus casas multicolores, causa una impresión agradable. Los habitantes, casi exclusivamente mestizos, ganan su vida en las ricas minas de cobre de los alrededores y en la fundición, siendo Concepción, en la actualidad, el centro de una región muy rica en criaderos de metal. La verdadera cabecera de esta región es Mazapil, que ha perdido

mucho de su importancia. Villarello¹ ha publicado algunas noticias sobre la historia minera de la región. Según esas noticias, los españoles extrajeron metales de estos cerros desde el Siglo XVI, y el valor del oro y de la plata extraídos en el curso de 150 años, se calcula en 26 millones de pesos. Habiendo sido los medios de transporte de aquella época sumamente imperfectos, sólo se pudieron explotar los metales preciosos que se encontraron en los afloramientos ricos de los yacimientos de plomo y de cobre. Una de las antiguas minas de oro en las cercanías inmediatas de la ciudad actual, se llamó Concepción del Oro. Se explotó allí el oro aluvial, y además se extrajo del cuarzo de la superficie del criadero cerca de la actual mina de cobre de Catarroyo, cuyos metales aún hoy día son auríferos. La explotación del cobre se tomó apenas en consideración, pero se utilizaron los sulfatos de cobre y fierro naturales empleándolos como «magistral» para la amalgamación de los minerales de plata y hasta se transportaron á Zacatecas. Desde que adquirió la «Mazapil Copper Company,» de Manchester, hace cosa de 20 años, las antiguas minas y estableció también otras nuevas, tomó un nuevo desarrollo la explotación minera por aquellos rumbos. Se establecieron ferrocarriles, caminos, vías de cable de acero; socavones, alumbrado eléctrico, y sobre todo, la gran fundición de cobre. Solamente la mina principal, Aranzazú, produjo ya en el año de 1906, mensualmente, 7,000 toneladas de mineral de cobre de una ley de 5 por ciento y existe la posibilidad de un aumento de producción ya para el porvenir inmediato. La fundición de cobre produce matas que se benefician en Swansea, Inglaterra.

Los alrededores cercanos y lejanos de Concepción del Oro, ofrecen interés geológico y mineralógico por el desarrollo en parte excelente de las formaciones jurásica y cretácica, bajo condiciones tectónicas que recuerdan las de los Alpes. Además, encontramos una intrusión moderna de una roca ígnea con extensos fenómenos de contacto bien visibles en muchos trabajos mineros, por encontrarse precisamente en el contacto ricos criaderos de chalcopirita. Por todas estas particularidades, aquel lugar habría adquirido celebridad geológica y mineralógica, desde hace mucho tiempo, si no hubiera sido difícil el acceso á aquella parte del país por largo tiempo.

Las condiciones estratigráficas y paleontológicas de la Sierra de Concepción y de los alrededores de Mazapil han sido estudiadas con detalle por Carlos Burckhardt, quien publicó sobre ellas varios trabajos importantes para el conocimiento del Mesozoico americano.²

Los criaderos metalíferos de Aranzazú fueron descritos por Villarello en su trabajo geológico-minero, citado arriba.

1 Le minéral d'Aranzazú (Etat de Zacatecas). Guide des Excursions du Xe. Congrès géologique international. Mexico, 1906, num. XXV. (Excursion du Nord).

2 C. Burckhardt, Géologie de la Sierra de Concepción del Oro. Guide des excursions du XI^e. Congrès géologique international. 1906. Excursion du Nord, num. XXIV; Géologie de la Sierra de Mazapil et Santa Rosa. Ibidem num. XXVI; La Faune Jurassique de Mazapil, avec un appendice sur les fossiles du Crétacique inférieur. Bol. del Inst. Geológ. de México, núm. 23. Con 43 láminas. 1906.

Durante mi estancia en México, en el Otoño de 1906, mi amigo el Doctor Burekhardt me hizo la agradable proposición de completar sus trabajos y los del Sr. Villarello por un estudio petrográfico y mineralógico detallado. Del 25 al 27 de Septiembre seguí la parte de la «Excursión del Norte» del Congreso Geológico que visitó, bajo la dirección de Burekhardt, la región de Concepción y Mazapil, y me quedé después en Concepción hasta el 8 de Octubre, para estudiar hasta donde fuera posible las formaciones de contacto y las rocas eruptivas. Las páginas siguientes son el resultado de estos estudios é investigaciones que después hice de un material de varios centenares de muestras de minerales y rocas.

En Concepción fuí recibido muy bien por las autoridades municipales y los empleados de las minas y de la fundición. Por su amable ayuda tengo que dar las gracias al señor Director General Browning. La franca y cordial hospitalidad de que gocé en Aranzazú durante varios días, en la familia del señor Ingeniero Cooper, constituirá para siempre uno de mis recuerdos más gratos. Durante mis estudios, tuve el gusto de recibir varias informaciones por parte del Sr. Dr. Burekhardt y le reitero mis gracias por haberme hecho la proposición de estudiar aquella región.

Respecto á la configuración de la región puede consultarse la carta publicada por mí en el Beilageband XXVIII del Neues Jahrbuch für Mineralogie, etc., que es una copia del plano de Burekhardt simplificado en algunas partes y completado en otras. Además, facilitarán la orientación las vistas escogidas entre mis fotografías y el texto que las acompaña. Las tres cimas más notables cerca de Concepción son el «Picacho del Abra» y el «Picacho de los Angeles,» al Sur (2,734 y 2,830 metros) y al otro lado del valle la elevación dominante de 2,928 metros del Cerro del Temeroso. Aunque dichos cerros se levantan apenas 1,000 metros sobre el fondo del valle, por su bizarra configuración dan á estas montañas un carácter alpino. Están formados por rocas calcáreas. A la montaña eruptiva no le falta cierto atractivo escénico en los detalles, pero ni en sus mayores alturas, que limitan el fondo del valle, alcanza su configuración la variabilidad de la montaña calcárea. Al contacto de la roca ígnea con el Mesozoico, siguen dos de los valles principales, uno á lo largo del camino que va á las minas, subiendo hacia la altura de Aranzazú y formando la continuación natural del valle principal y otro que es el escarpado Cañón del Arco, lleno de masas de pedruzcos, que empieza entre el «Picacho de los Angeles» y el «Picacho del Abra» en el Puerto del Arco y termina abajo en la corriente del Arroyo de la Plata. El Cañón del Almagre situado más al Este, con dirección paralela á aquella, indica una falla y otra el valle de Concepción, por lo menos parcialmente.¹

1 Enumeración de mis excursiones y de los puntos visitados: Por el Puerto de la Laborcilla y el Cerro de los Tajos al «Picacho del Abra,» y por el Cañón del Arco á Catarroyo. Por Cabrestante y Catarroyo á Promontorio y Las Animas (visita de las minas). Estudio de la «Piedra Cargada» cerca de Concepción. Visita á la mina «El Carmen;» subida por la fundición vieja. Ascensión por

RESUMEN DE LAS CONDICIONES ESTRATIGRAFICAS Y TECTONICAS SEGUN C. BURCKHARDT

La interpretación estratigráfica de los depósitos jurásicos y cretácicos en el extremo Noreste del Estado de Zacatecas, se basa en el estudio de Burckhardt, sobre las sierras de Mazapil, situadas al SW. de Concepción. Una de esas sierras, la de Santa Rosa, forma un extendido pliegue ligeramente invertido hacia el Norte, en cuyo flanco septentrional invertido se observa¹ la intrusión de una roca porfírica, determinada por Rosenbusch como dacita. En los alrededores de Mazapil el carácter petrográfico de las capas es en lo general semejante al de las capas de Concepción, pero allí se pudieron subdividir con más detalle, mientras que cerca de Concepción faltan algunas intercalaciones fosilíferas.

Según Burckhardt el número de fósiles es en lo general más pequeño cerca de Concepción que en la Sierra de Santa Rosa. Durante las dos semanas que pasé en esa región no pude dedicar toda mi atención á la estratigrafía y á los fósiles. Pero como casi no salí entonces del terreno levantado por Burckhardt, me es posible designar también la posición estratigráfica respecto á la localidad en donde encontré las rocas estudiadas y que se hallarán mencionadas más adelante.

Burckhardt divide los depósitos jurásicos y cretácicos de la Sierra de Santa Rosa de la manera que consta en el cuadro adjunto.

Es posible que al cretácico superior pertenezcan también las areniscas verdes sobrepuestas á las capas con *Inoceramus*, y las pizarras parduscas y negruzcas que se extienden en la parte más hacia el NE. de la región levantada por Burckhardt, pero que yo no visité. Más adelante se presentará la ocasión de hablar sobre la naturaleza petrográfica y química de los sedimentos en cuanto dispone de muestras.

El rumbo de las capas jurásico-cretácicas es en lo general de NW. á SE. cambiando algo, siendo el echado de las capas muy variado. También sin el conocimiento más detallado de las condiciones estratigráficas el geólogo pronto notará grandes dislocaciones de las capas. Se pueden observar perfectamente bien plegamientos complicados y se reconocen, por ejemplo, ya desde lejos en las calizas con Nerineas grafiticas metamorfizadas por contacto entre el Picacho del Abra y el Picacho de los Angeles.

el flanco occidental del Cañón del Almagre á la mina de La Cruz. Varias investigaciones á lo largo del camino que conduce á las minas de Aranzazú. El camino de Aranzazú á Mazapil. Visita de las minas y de las labores superficiales de Aranzazú; visita de la mina Cabrestante. Excursión á la Loma Pachona y al Cerro de la Cruz desde el Noreste.

1 Estas condiciones muy interesantes han sido ilustradas por Burckhardt con planos y un gran número de cortes; los participantes de la excursión del Norte tuvieron la ocasión de conocerlas bajo su dirección. Véase también Philipp: Ueber junge Intrusionen in Mexiko und ihre Beziehungen zur Tektonik der durchbrochenen Schichtgesteine, nach den Forschungen von E. Böse und C. Burckhardt. *Centralbl. f. Min.*, etc., 1907, 449-460.

CRETACICO	Cretácico superior	Pizarra con <i>Inoceramus</i> .	Pizarras y calizas, 150 á 200 metros.	Turoniano.
	Cretácico medio	b) Calizas con gastrópodos. a) Calizas con amonitas desarrolladas.	Calizas grises con pedernal negro, 400 á 500 metros.	Cretácico medio.
	Cretácico inferior	Capas con <i>Parahoplites</i> .	Margas amarillentas, calizas grises, algunos metros de espesor.	Capas limítrofes entre el Aptiano y el Gault
		<i>Holocidiscus sp</i>	Calizas grises con grandes nódulos de pedernal, calizas azules, 400 á 500 metros.	Cretácico inferior.
Capas con <i>Holcostephanus</i> .		Margas amarillentas con nódulos de óxido de fierro, calizas grises ó azuladas, algunos metros de espesor.	Valanginiano.	
JURASICO SUPERIOR	Portlandiano		Calizas blanquizas margosas con pedernal, 10 metros.	Base del Berriasiano Portlandiano superior.
		a) Banco con <i>Cucullaea</i> . b) Calizas fosforíticas con <i>Perisphinctes</i> . a) Calizas con bivalvos.	Calizas fosforíticas y calizas grises, muy silicosas; calizas negras, 5 á 6 metros.	Portlandiano superior é inferior.
			Calizas rojizas fosforíticas, 1 á 2 metros.	Base del Portlandiano.
	Kimeridgiano	Arcillas con <i>Waagenia</i>	Arcillas apizarradas muy ferruginosas, ordinariamente parduscas, 10 á 30 metros.	Kimeridgiano más alto.
		Capas con <i>Hoplceras Fialar</i> .	Calizas compactas, negras, un metro.	Kimeridgiano superior.
		Banco con <i>Aucella</i> .	Calizas apizarradas, poco fosforíticas, parduscas.	Kimeridgiano superior.
		Capas con <i>Itoceras</i> .	Arcillas y margas apizarradas con nódulos y riñones de calizas, compacta negra, 15 á 30 metros.	Capas limítrofes entre el Kimeridgiano superior é inferior.
		Calizas con <i>Nerineas</i> .	Masas de caliza, muy poderosas, con intercalaciones de margas con bivalvos y bancos de corales. En el techo un banco negro ó rojizo con <i>Trigonia</i> .	

Aquí donde ni prados, ni bosques ni arbustos ocultan al suelo rocalloso, donde falta toda tierra vegetal, y casi toda acumulación de barro por ser los sedimentos pobres en arcilla, y en donde los cerros están revestidos de arriba hasta abajo sólo por grupos de agaves, cáceas bajas y por un chaparral variado, se puede llegar á conclusiones sobre la tectónica de la región, fijándose únicamente en la configuración del terreno, en la clase de la vegetación, en la coloración variada de las capas y su resistencia respecto á la alteración por la atmósfera. Pero los estudios estratigráficos de Burekhardt muestran que al carácter alpino de las montañas calcáreas de Concepción corresponde una tectónica interior tan grandiosa como se suele ver en los Alpes. Mientras que del otro lado de la masa eruptiva, en el camino de Aranzazú á Mazapil, las capas sólo demuestran un fuerte levantamiento, al Este y al Norte del macizo eruptivo, se encuentran invertidas.

El plano y los cortes de Burekhardt demuestran que los depósitos cretácicos y jurásicos de los alrededores de Concepción pertenecen á dos regiones tectónicas, diferentes por su posición y separadas por una falla principal. Una región interior con capas fuertemente inclinadas en forma de cuña obtusa está circundada al Norte, Sur y Este por una zona exterior cuyas capas están menos inclinadas y en gran parte casi horizontales, pero también invertidas; por ejemplo, en el Cerro de los Tajos se encuentra la caliza con Nerineas en posición horizontal sobre el Kimeridgiano, el Portlandiano y las calizas cretácicas.

Fácilmente se reconoce la dislocación principal: se nota ya en las pendientes abruptas al Este del Cerro del Temeroso y del Cerro del Milagro y aparece con claridad en la cercanía inmediata de Concepción. En el block interior en forma de cuña, fuertemente levantado, es menor el ancho de las bandas de formaciones, y la diferencia en la dureza y alterabilidad de la roca, ayudada en segunda línea por el metamorfismo de contacto, produce cierta variación en el aspecto del paisaje, propia de las formas alpinas de la cima calcárea del Cerro del Temeroso (2,928 metros) en el Noroeste, y del hermoso peñasco del Picacho del Abra (2,734 metros). (Véanse las láminas). Las lomas anchas cerca de Concepción situadas al otro lado de la gran falla principal, en la subida al Cerro de los Tajos, forman contraste con estos cerros. En la base de la vertiente Sur, entre el cañón del Almagre y la cima de caliza cretácica del cerro de la Cruz, se observa un grupo de pequeñas colinas calcáreas, por ejemplo, la Piedra Cargada, de la cual hablaremos más adelante varias veces, cuyas capas fuertemente inclinadas se distinguen claramente de la estratificación horizontal en el acantilado que se levanta inmediatamente detrás de ella. Un contraste parecido se observa en el cañón del Almagre en ambos lados de la dislocación, que aquí da vuelta hacia el Sur.

Burekhardt no indica en su plano el curso de esta dislocación principal en el fondo del valle cubierto en lo general por aluviones. Este autor observó al Sureste de la ciudad una falla hasta el otro lado del Cerro de la

Cruz y no me parece inverosímil que ésta continúe todavía más, aunque no se pueda considerarla como un factor tectónico esencial. La dirección de la dislocación como la observó Burckhardt, está marcada claramente por una serie de catas de mineral plumbífero entre el Cañón del Almagre y el Cerro de la Cruz. Una de ellas se encuentra en la Carta bajo el nombre de "Los Diamantes" y otra, que ha producido un poco de baritina, se halla en el Cerro de la Cruz; otras en las cuales encontré willemita, cerusita y pyromorfita, se encuentran en la bajada al Noreste del cerro. Probablemente todas pertenecen á la misma zona de dislocación.

Uno de los fenómenos más notables en la Sierra de Concepción, cuya importancia fué ya discutida por Burckhardt y que también en su plano se expresa claramente, es la relación entre la tectónica de la montaña sedimentaria y de la masa eruptiva. No cabe duda que la línea arqueada de la dislocación principal muestra un paralelismo con esta última. Que la roca intrusiva con su capote sedimentario formaron una sola masa en su conexión primitiva durante la dislocación, lo comprueba el curso bastante regular de la zona de contacto. También el límite de ella demuestra un paralelismo claro con la gran dislocación en cuanto ésta ha podido observarse.

La explicación teórica de los hechos descritos aquí, la intentó Burckhardt de la manera siguiente (véanse sus cortes). Según él el Mesozoico formó un enorme pliegue invertido de tal manera, que el flanco medio tuvo que tomar una posición más ó menos horizontal con inversión de las capas, como lo demuestra el Cerro de los Tajos.

Más tarde la erupción de la granodiorita impulsó hacia arriba á lo largo de la falla principal las capas más profundas y más inclinadas del sinclinal, es decir, la inflexión hacia abajo de aquel flanco medio.

El flanco Suroeste del anticlinal invertido se conservó en parte en las capas mesozoicas fuertemente inclinadas en el camino de Aranzazú al Valle de Mazapil, pero fué completamente destruído por la erosión en otras partes. En su explicación Burckhardt atribuye al magna una fuerza elevadora activa, cuya posibilidad no llegará ninguno de los que durante la excursión al Norte, bajo la dirección de Böse, vieron las condiciones verdaderamente maravillosas del Cerro de Muleros.¹

LA MASA GRANODIORITICA

Sus condiciones geológicas y sus propiedades petrográfico-químicas

La roca que perfora los depósitos jurásicos y cretácicos, en las inmediaciones de Concepción del Oro, se debe designar en lo general como un macizo granodiorítico. Se compone de la gran masa principal, que forma la

1 E. Böse. Excursion au Cerro de Muleros, Guide des Excursions, etc., fasc. XX. Véase Philippi, l. c. p. 450-453.

parte occidental de la región, de varios diques más pequeños en las cercanías de la ciudad, y de inyecciones insignificantes que representan nuevas salidas de magma y atraviesan la masa principal. Ninguno de ellos forma, por lo que se puede ver en la actualidad, un yacimiento aislado é independiente, sino todos representan eslabones de una serie entera de intrusiones eruptivas, como los que Burckhardt observó también en otros puntos cercanos en el mesozoico más al Oeste en la Sierra de la Caja y en la Sierra de Santa Rosa, situadas al Norte y al Sur de Mazapil. Estas rocas fueron determinadas por Rosenbusch como andesitas, dacitas, dioritas y sienitas é indicadas así en el plano publicado por Burckhardt. Particularmente interesante es la masa dacítica bastante extensa de "Las Parroquias," por haber sido impulsada hacia arriba á lo largo del flanco medio de un pliegue. El macizo cercano eruptivo del Cerro Colorado, inmediato á Santa Rosa, está rodeado por criaderos metalíferos y yacimientos de turquesa.¹ Estudios ulteriores más exactos tendrán que determinar las relaciones químicas de todas estas rocas probablemente de parentesco regional.

No dispuse de tiempo suficiente para estudiar los diques algo más lejanos de la región de Concepción y mucho menos los macizos más alejados.

Por sus condiciones geológicas y por su carácter petrográfico, la roca de Concepción debe considerarse como abismal. Seguramente se formaron los afloramientos existentes por la erosión. Con esto no niego de ninguna manera la posibilidad que primitivamente haya tenido lugar una efusión superficial de roca eruptiva, cuyas raíces y partes profundas podrían haber formado la roca intrusiva actual. Para probar lo contrario se podría alegar que en una distancia de varios centenares de metros del límite de contacto, se encuentran grandes blocks de mármoles metamorfizados por contacto que pueden considerarse como restos de la cubierta sedimentaria antigua. Por razones expuestas más adelante, tal vez pueden interpretarse también como inclusiones primitivamente envueltas por la masa eruptiva. La designación de lacolita no conviene á esta masa, porque aquí como en otros casos donde fué empleado este nombre, no se puede probar que la granodiorita fué inyectada entre las capas.

Su bajo es desconocido y la masa tendrá que llamarse simplemente un macizo ígneo (Stock).

La composición mineralógica de la roca de Concepción, en cuanto no está alterada por adición de materia en el contacto con las calizas jurásicas y cretácicas, varía en los detalles entre la de rocas aplíticas de cuarzo y ortoclasa, y mezclas dioríticas oscuras de bastante pyroxena, mica y hornblenda con plagioclasas diferentes pero casi libres de cuarzo. Observé aplitas como *Schlieren*² de inyección dentro del macizo, las variedades mas obs-

1 Véase el análisis más adelante.

2 Estructura brechoide propia de las rocas eruptivas, que muestran blocks ó fragmentos (*Schlieren*) diferentes de la masa de la roca por su estructura, su composición mineralógica ó química, pero que pasan de unos á otros insensiblemente.

curas de la roca como facies marginal y como concreciones ó "Schlieren" en la masa principal. Esta última no tiene tampoco un carácter uniforme, en lo general es una granodiorita porfiroide, gris clara ó verde clara, rica en fenocristales de plagioclasa, que pueden alcanzar hasta un centímetro de tamaño. La plagioclasa predomina, el cuarzo y la ortoclasa abundan casi siempre en la roca de la masa principal; entre los silicatos oscuros se observa casi siempre la biotita así como pyroxena y con menos frecuencia hornblenda. El macizo granodiorítico no es homogéneo químicamente y sin duda hubo disposición á la diferenciación; sin embargo, cerca de Concepción no he encontrado rocas de carácter básico extremo. Hasta las rocas más básicas de la facies marginal, que según mis muestras siempre se distinguen por fenocristales porfíricos de feldespato como la roca principal, pero son más oscuros y de grano más fino, deben considerarse aún como dioritas.

Ninguna diferencia petrográfica profunda existe entre la masa principal en el interior del macizo y la roca periférica. Ciertas particularidades eventuales de las últimas se mencionarán en la descripción microscópica al tratar de los fenómenos endógenos de contacto.

De las localidades siguientes he estudiado y determinado microscópicamente las rocas eruptivas; las granodioritas y dioritas 1-11 provienen del macizo principal y en parte de la zona interior (rocas principales) ó de la cercanía del contacto (facies marginal). Todas son porfíroides.

1. Fundición vieja. Roca principal de grano mediano. Granodiorita de mica y pyroxena con ortoclasa, bastante rica en cuarzo, sin hornblenda (Análisis).

2. Fundición vieja. Roca principal de grano mediano con bastante cuarzo y ortoclasa. Granodiorita de hornblenda y biotita con pyroxena. Contiene una inclusión de grano fino de semejante composición con grandes fenocristales de plagioclasa.

3. Del nuevo socavón principal, al Oeste de Concepción, de una longitud de 30 metros en aquella época. Roca principal de grano mediano. Granodiorita de hornblenda y biotita, rica en cuarzo y ortoclasa.

4. También del socavón principal. Roca principal de grano mediano. Granodiorita micécea de grano mediano y rica en cuarzo y ortoclasa. Al microscopio se observa una formación nueva insignificante de espato calizo y epidote; el feldespato un poco kaolinizado. La roca contiene poca pyrita secundaria y escasa cantidad de cuarzo en las grietas finísimas reconocible en la lámina microscópica (Análisis).

5. El panino del bajo del criadero de chalcopyrita y magnetita en contacto con mármol cerca de Promontorio. Granodiorita micécea de grano mediano, rica en cuarzo y ortoclasa y con un poco de diopsida.

6. Puerto del Arco. Roca marginal á distancia de pocos metros del contacto. Roca de grano bastante fino en la cual partes ricas en mica forman "Schlieren" mientras que otras contienen casi exclusivamente pyroxena y

hornblenda. Contiene mucha titanita, bastante cuarzo y está impregnada desde grietitas con un poco de chalcopirita y pirita. Granodiorita micácea de hornblenda y pyroxena con indicación de una estructura granofírica (Análisis).

7. Puerto del Arco. Roca marginal cerca del contacto. Granodiorita de pyroxena, de grano fino, pobre en mica, con mucho cuarzo y ortoclasa.

8. Puerto del Arco. Inmediatamente al contacto. Diorita de pyroxena y mica de grano fino, con cuarzo.

9. Valle del Arco. Concreción oscura de grano fino, en una roca de la facies marginal. Diorita de hornblenda y mica casi sin cuarzo y pobre en ortoclasa.

10. En el camino de Aranzazú casi enfrente del socavón principal, en el serpenteo del camino. Cerca del contacto, roca marginal. Granodiorita micácea de hornblenda, de grano bastante fino con estructura granofíroide evidente.

11. Un poco más arriba en la localidad rica en vesuviana, antes de llegar al pequeño salto de agua. Diorita micácea de pyroxena, pobre en cuarzo con poca ortoclasa relativamente.

A causa de sus transformaciones ó por su riqueza en inclusiones tendrán que discutirse:

12. Roca marginal, en parte transformada en epidote en el camino de Aranzazú, cerca de la localidad rica en vesuviana (véase arriba). Granodiorita de pyroxena, pobre en mica con pasta fundamental granofírica.

13. De la misma localidad. Roca marginal en su mayor parte transformada en cuarzo, epidote y uralita formando apófisis en la zona de la vesuviana.

14. En la misma localidad. Inyección en una roca de contacto que se compone de espató calizo azul, vesuviana, granate y diopsida. Diorita de pyroxena, muy rica en segregaciones de granate, pobre en mica, casi sin cuarzo, con segregaciones de una plagioclasa fibrosa.

15. Boca del dique de la Piedra Cargada, felsítica y clara, casi incolora. Roca de diopsida y plagioclasa, con granate, y según parece, alterada también por aumento de caliza, sin cuarzo y probablemente con un poco de ortoclasa.

De los afloramientos en forma de diques en la masa principal fueron estudiados:

16. Dique en la granodiorita debajo de la mina Promontorio. Aplita de grano bastante fino, con poca plagioclasa, por lo demás, componiéndose de una mezcla perfecta granofírica de cuarzo y ortoclasa.

17. Inyección en forma de dique como los que atraviesan en gran número con una potencia de unos cuantos centímetros en diferentes direcciones y á poca distancia uno del otro, la granodiorita micácea cerca de Hernández, en la vecindad de la Fundición vieja. Granodiorita de pyroxena de grano bastante fino, rica en ortoclasa y cuarzo, con contenido muy variable de mica y con muchas segregaciones de apatita y titanita.

Para completar estas noticias añado también las determinaciones de Rosenbusch y P. Waitz, reproduciendo literalmente el capítulo respectivo del trabajo de Burckhardt.

DETERMINACIONES DE ROSENBUSCH.

Muestra 1.—De la margen oriental de la masa; camino entre Concepción del Oro y El Cobre (Aranzazú). Láminas relativamente grandes de plagioclasa, cuyos núcleos representan la mezcla Ab 40 An 60, están limitadas de andesina Ab 63 An 37, siguiendo de nuevo zonas de labradorita y andesina. Estos feldespatos y cristales columnares más grandes de diopsida, se hallan en una mezcla de grano fino de labradorita ácida, granos de diopsida, un poco de ortoclasa y maguetita. Se encontró aislada una pequeña inclusión de roca granatífera que provino probablemente de una inclusión de caliza. La roca es una diorita porfiroide de augita.

Muestra 2.—De la misma localidad que la muestra 1.

Esta muestra difiere de la anterior por su mayor contenido de ortoclasa y una pequeña cantidad de hornblenda verde-pardusca y un poco de cuarzo; sin embargo puede considerarse como idéntica con la primera. La alteración de las plagioclasas no permite hacer una determinación más exacta. Entre la primera lámina microscópica y la segunda, hay poco más ó menos la relación que entre las muestras 1 y 2 del Cajón de San José, Mazapil.

Muestra 3.—Al Oriente de El Cobre. Esta muestra ya no se puede determinar, pero seguramente fué en su origen una porfírita sin cuarzo, probablemente de estructura pilotaxítica.

Muestra 4.—De Aranzazú. Esta muestra es una diorita de cuarzo con labradoritas más grandes en una mezcla de grano fino de plagioclasa, cuarzo, un poco de ortoclasa, titanita y mena. El componente obscuro y muy escaso es una anfíbola verde-clara.

Muestra 5.—De Aranzazú. La muestra es una porfírita diorítica de cuarzo, muy pobre en componentes oscuros, con fenocristales de andesina.

Muestra 6.—De Aranzazú. La muestra es diorita porfírica. En una pasta fundamental de grano muy fino, que ya no se puede determinar exactamente, se hallan muchos fenocristales de anfíbola casi incolora. Ningunos fenocristales de feldespato. Muy descompuesta. Mucha calcita.

Muestra 7.—De Aranzazú. Es una diorita micácea de cuarzo. En una mezcla de grano fino de labradorita y cuarzo se hallan labradorita ácida, biotita y cuarzo. La estructura porfírica no está muy marcada.

DETERMINACIONES DE WAITZ.

Algunas rocas que se encuentran en forma de afloramientos aislados en forma de dique al Este de la masa principal y seguramente en conexión con ésta.

San Ignacio. Tiene la misma composición mineralógica que la masa principal, pero predomina más la augita, mientras que hay menos cuarzo. La estructura es netamente porfírica.

Loma al Poniente de Concepción del Oro (afloramiento en forma de dique). La misma roca que la muestra de San Ignacio.

Al pie oriental del Cerro del Banco, al Noroeste de San Ignacio (afloramiento aislado). También en esta roca netamente porfírica predomina la misma composición mineralógica. La augita descompuesta no es tan predominante como en la roca de San Ignacio, sino que predomina algo más el cuarzo. Biotita escasa como en la roca de San Ignacio.

Muestra del Cerro Pitacoche (afloramiento aislado en forma de dique). Roca porfírica, un poco diferente de las ya mencionadas. Desarrollo simultáneo de fenocristales de ortoclasa y de cuarzo (Quartz vermiculé). Feldespato de la pasta fundamental en varillas y en granos irregulares ligados por una base microfelsítica.

De las rocas arriba enumeradas y microscópicamente determinadas, los números 1 (granodiorita micácea de pyroxena) y 4 (granodiorita micácea) de la zona interior de la masa principal, número 6 (granodiorita micácea de hornblenda y pyroxena de la zona marginal), fueron analizadas por el señor Profesor Dr. M. Dittrich, de Heidelberg. Para el análisis de la número 6 se empleó material de las partes de la muestra, que contiene mucha hornblenda de grano fino y menos biotita. Al lado de las cifras encontradas se han colocado las cifras calculadas para las substancias anhidras (I^a IV^a y VI^a). (Véase el análisis adjunto).

	I	I ^a	IV	IV ^a	VI	VI ^a
SiO ₂	61,52	61,62	65,62	66,86	59,50	60,23
TiO ₂	0,78	0,78	0,66	0,67	1,01	1,03
Al ₂ O ₃	16,00	16,08	15,33	15,62	14,78	14,96
Fe ₂ O ₃	2,93	2,93	2,39	2,44	1,93	1,95
FeO	2,05	2,05	1,46	1,49	1,23	1,25
MnO .....	.....	.....	.....	.....	Huellas	Huellas
MgO	2,03	2,03	1,56	1,59	3,09	3,13
CaO	6,72	6,73	3,40	3,46	7,87	7,97
SrO	0,11	0,11	0,05	0,05	0,05	0,05
BaO .....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Na ₂ O	3,09	3,10	2,88	2,93	4,44	4,50
K ₂ O	3,83	3,84	3,78	3,85	3,95	4,00
Li ₂ O .....	.....	.....	0,03	0,03	.....	.....
P ₂ O ₅	0,45	0,45	0,36	0,37	0,89	0,90
CO ₂	0,45	0,45	0,24	0,24	0,18	0,18
H ₂ O	0,16	.....	1,85	.....	{ menos 110° más 110° }	{ 0,89 } { 0,84 }
S	Huellas	.....	0,55	0,56	.....	.....
	100,12	100,12	100,16	100,16	100,15	100,15
			Se deduce O para S 0,27 99,89	0,27 99,89		

Los análisis demuestran que las rocas que contienen mucha mica son más ácidas que las ricas en pyroxena y que las rocas marginales escogidas arbitrariamente, son de carácter más básico.

En el cuadro siguiente los análisis están reducidos á proporciones moleculares, y al lado de éstas en por cientos. No fué tomado en cuenta el contenido de agua y el Fe_2O_3 fué considerado como 2 FeO.

	I		IV		VI	
SiO_2	1,0202	66,80	1,1067	72,14	0,9972	64,77
TiO_2	0,0097	0,64	0,0084	0,55	0,0126	0,83
Al_2O_3	0,1568	10,27	0,1528	9,96	0,1464	9,51
FeO.....	0,0652	4,27	0,0502	3,27	0,0417	2,71
MgO.....	0,0503	3,29	0,0394	2,56	0,0775	5,03
CaO.....	0,1200	7,85	0,0617	4,02	0,1421	9,23
SnO.....	0,0011	0,07	0,0005	0,03	0,0005	0,03
Na_2O	0,0499	3,27	0,0472	3,08	0,0723	4,69
K_2O	0,0407	2,66	0,0408	2,66	0,0425	2,76
Li_2O}.....	.....	.....	0,0010	0,06	.....	.....
P_2O_5	0,0032	0,21	0,0026	0,17	0,0063	0,41
CO_2	0,0102	0,67	0,0056	0,36	0,0004	0,03
S.....	.....	.....	0,0174	1,14	.....	.....
	1,5273	100,00	1,5843	100,00	1,5395	100,00

De esto resulta según el método de Osann:

	s	A	C	F	a	c	f	n	m	Serie
I.....	67,44	5,93	4,84	11,14	5,5	4,0	10,5	5,5	6,8	γ
IV.....	72,69	5,80	4,05	5,83	7,5	5,0	7,5	5,3	10,0 ¹	γ
VI.....	65,60	7,45	2,06	14,94	6,0	1,5	12,5	6,2	5,2	β

Las tres rocas analizadas ocupan en el sistema de Osann² los siguientes lugares: I. Corresponde al tipo de la granodiorita de Brush-Creek (s 68,5 a 5,5 e 4,5 f 10); IV está entre Dypvik (s 72 a 7, c 5, f 8) y Silver Wreath (s 73, a 7,5 e 6, f 6,5); VI encuentra su lugar al lado de la diorita Ascutney II (s 66, a 7, c 3,5, f 9,5) comparándolo con los análisis comunicados por Osann, llama la atención el valor bajo para m, en I y VI, correspondiendo á un contenido muy alto de cal.

Entre las rocas estudiadas en detalle, tanto de la zona interior como de la marginal, existen tantas diferencias en composición mineralógica y estructura, diferencias no muy importantes por cierto, que probablemente ningunas de las láminas estudiadas es igual á otra de la misma roca.

A esta variabilidad mineralógica debe corresponder indudablemente

1 El contenido de cal de esta roca con relación á la cantidad de biotita, es menor que en las otras dos. No corresponde completamente á la ecuación $A + C = \text{Al}_2\text{O}_3$; porque $A + C = 9,85$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 9,96$. Esta diferencia depende quizá del grado de la exactitud del análisis y de que el feldspato de la roca está un poco kaolinizado.

2 Versuch einer chemischen Klassifikation der Eruptivgesteine. Ueber die Definition von Diorit un Gabro. *Tscherm. Min. petr. Mitt.* 22, 1903, especialmente p. 432-433.

una variabilidad de la composición química, como se puede ver en los análisis dados antes.

Rocas más básicas y otras bastante ácidas, especialmente con un contenido de cal y fierro muy variable, participan en la composición de la zona interior y marginal. En vista de esta falta de homogeneidad del magma, llama la atención la ausencia aparente de lamprofiros verdaderos y de productos muy básicos de diferenciación. Tampoco he encontrado una roca que pudiera designar con certeza como porfiritita. También á las rocas de la zona marginal, en cuanto demuestran diferencias reconocibles de estructura en comparación con la roca principal de la zona interior, falta la pasta fundamental característica de porfiritas, con idiomorfia pronunciada de sus componentes, aunque esta puede estar indicada á veces más claramente que en las rocas de la zona interior. Estructura fluidal no se observa en ninguna parte. No puedo negar la posibilidad que ciertas inclusiones en los feldespatos y pyroxenas sean vidrio. Pero es seguro que no hay vidrio ni en el cuarzo, ni en la pasta fundamental y por lo menos al fin de la consolidación las rocas están completamente cristalizadas.

Con la distinción de una zona interior y marginal del macizo no queremos decir, que cerca de Concepción, una masa que se designa como roca principal y normal, esté rodeada por todas partes de una zona de diferenciación periférica. Al contrario, parece que se encuentra muchas veces inmediatamente del contacto una roca que no difiere esencialmente de las rocas de la zona interior en cuanto á su estructura, composición mineralógica y color. Según mis experiencias se pueden observar mejor las rocas marginales especialmente en el camino de Aranzazú. Allí se distingue frecuentemente por su estado fresco; el ancho de la zona marginal puede alcanzar en casos excepcionales algunos decámetros, pero es generalmente muy pequeño. Las rocas de la zona interior están por lo general muy alteradas y principalmente sus componentes oscuros están muchas veces descompuestos de modo que llegan á ser indeterminables. Esto sucede naturalmente sobre todo en las rocas que se encuentran cerca de los criaderos cargados de sulfato y ácido sulfúrico.

El estudio microscópico muestra que la plagioclasa forma el elemento predominante de la roca. Forma fenocristales idiomorfos hasta de un centímetro de largo en una pasta fundamental completamente cristalina y de grano más ó menos fino, que se compone de plagioclasas idiomórficas de individuos idiomórficos hasta hipidiomórficos de hornblenda ó pyroxena, ó biotita, ó de dos, mas raras veces de los tres de estos silicatos, con una mezcla de ortoclasa y cuarzo. Estas son las segregaciones últimas y ligadas de una estructura semejante á la microgranítica, pero la ortoclasa demuestra generalmente mayor tendencia á la idiomorfia que el cuarzo. Sin embargo no hay ninguna diferencia notable de edad entre estos dos minerales. Estructura granofírica se observa sólo excepcionalmente en la pasta fundamental de las rocas principales, con más frecuencia en la de las rocas

marginales. Fierro titanado (ilmenita, magnetita, titanita, jergón y apatita, se presentan en cantidades variables). En su ocasión hablaremos de componentes secundarios.

La plagioclasa se observa en placas gruesas según M. Gemelos según la ley de Karlsbad son frecuentes. En un gemelo aislado observé P, x, M, T y l. Maclas múltiples según la ley de la Periclina se encuentran también con frecuencia. Las plagioclasas se acumulan en grupos hasta de un centímetro de diámetro compuestos de numerosos individuos.

La solidificación de plagioclasa comenzó después de la segregación de los metales accesorios más antiguos, etc., y aparentemente antes de la de los silicatos oscuros; seguramente se hizo al principio con mucha más rapidez que la de los últimos, porque estos se encuentran solamente en la forma de microlitos ó de muy pequeños individuos, como inclusiones en la plagioclasa. Por lo demás no hay gran diferencia de edad entre la plagioclasa y la mica, la hornblenda y la pyroxena; la segregación de la plagioclasa continuó durante toda la consolidación de la roca, lo que comprueba el hecho de que las zonas superficiales ácidas del mineral (que se sobreponen una sobre otra con poca precisión), todavía toman parte en la formación de la mezcla eutéctica de cuarzo y feldespato. A veces algunos individuos contienen muchos gránulos de fierro esparcidos y de vez en cuando se encuentra una acumulación compacta de microlitas de los otros silicatos dentro de determinadas zonas de crecimiento. Muy frecuentes son unas cavidades alargadas, arredondadas, tubiformes y á menudo ramificadas, en cuya pared muchas veces se observa una reflexión total y que probablemente contendrán gas. Inclusiones aisladas de líquidos con burbuja móvil se pueden distinguir con seguridad en la plagioclasa. Todos los feldespatos encierran partículas mínimas pardas de naturaleza indeterminable; no se puede probar la existencia de inclusiones de vidrio. Los fenocristales grandes de plagioclasa son relativamente pobres en inclusiones.

La estructura zonal muy frecuente revela, que durante el crecimiento en la zona del eje b, se ha desarrollado mayor número de caras. La estructura zonal se nota claramente, no sólo en la doble refracción sino también en la refracción de la luz. Ordinariamente es perceptible, ya en el núcleo, un repetido cambio entre zonas básicas y las que son un poco más ácidas, pero las diferencias en el ángulo de extinción son aquí de pocos grados; la zona periférica consiste al contrario de una plagioclasa mucho más ácida que forma alrededor del núcleo un borde muchas veces delgado con extinción ondulada entre nicols cruzados. También los núcleos de la plagioclasa poseen muchas veces un contorno ondulado que se puede tomar por una consecuencia de una reabsorción temporal. De numerosas observaciones sobre ángulos de extinción que se han hecho en los cortes de la zona simétrica de maclas múltiples y de gemelos de Karlsbad, resulta como proporción de mezcla, para el núcleo de las plagioclasas, el labrador $Ab_1 An_1$: solamente en raros casos se observan mezclas más básicas. Un corte $\perp c$ tuvo como án-

gulo de extinción respecto al plano de contacto de los gemelos 15° . En el límite entre la zona exterior ácida de la plagioclasa y de la ortoclasa, la primera es siempre más refringente que la segunda; en el contacto con cuarzo su refracción es aproximadamente igual á la de este último. La plagioclasa del dique (N^o 17, p. 10), de Hernández, se quebró en parte durante la consolidación de la roca; los fragmentos se cementaron de nuevo por la plagioclasa de la zona marginal más ácida. Tales fenocristales están atravesados por vetillas de plagioclasa que tienen una extinción simultánea con la última. Generalmente las zonas marginales de crecimiento tienen la composición aproximada de una andesina $Ab_6 An_4$, pero seguramente se trata en parte de mezclas un poco más ácidas aún.

La línea de contacto entre la superficie de la plagioclasa y del cuarzo, es frecuentemente ondulada é irregular, y los cortes del feldespato están entonces menos claramente limitados paralelos á la laminación de gemelos, que verticalmente á ella. El tamaño de las plagioclasas es algunas veces más pequeño que $0.{}^{\text{mm}}06$ de diámetro. En varias láminas microscópicas se observan numerosos individuos pequeños, anchos y de contornos no muy marcados que á veces tienen el mismo ángulo grande de extinción en el núcleo y la misma zona periférica ácida que los fenocristales grandes; sin embargo en algunas rocas estos pequeños feldespatos de la pasta fundamental parecen ser andesina sola. Su formación, como la de las zonas ácidas, es más ó menos simultánea de la plagioclasa, con la fase del eutéctico de cuarzo-ortoclasa; pero se distinguen de estos dos minerales siempre por su mayor tendencia á la idiomorfia.

La plagioclasa está generalmente bastante fresca y en parte sin indicios de una descomposición; y en este sentido se distingue con frecuencia de la ortoclasa más ó menos kaolinizada. Más adelante hablaremos de su transformación en epidote. Junto con el kaolín se encuentra también espato calizo como producto de la descomposición de la plagioclasa.

El feldespato de potasio parece encontrarse solamente en forma de ortoclasa. Esta no forma nunca fenocristales antiguos, sino es siempre sólo un componente de la pasta fundamental y está íntimamente ligado en ésta con más ó menos cuarzo. Como elemento de la pasta fundamental raras veces tiene dimensiones mayores. No se puede fijar un límite de edad entre los dos minerales. La estructura granofírica que se observa principalmente en rocas de la zona marginal, indica que la solución madre del magma se consolidó eutécticamente. La ortoclasa no falta en ninguna lámina microscópica y forma un componente esencial de la roca, lo que se ve también en los análisis. Así como la plagioclasa también la ortoclasa encierra cavidades de forma irregular. Estas se ordenan en series, principalmente en las ortoclasas de varias rocas marginales, y estas series en haces que frecuentemente están ordenados casi paralelos al eje c. No se pudo aclarar la naturaleza de estas inclusiones, las que añadidas á la mayor descomposición dan á las secciones de ortoclasa un aspecto más turbio que la plagioclasa.

Seguramente son isotrópicas y es posible que sean burbujas de gas. De la determinación del coeficiente de refracción de luz ≥ 1.55 resultó que el producto de descomposición semejante á mica es en efecto kaolín y no muscovita.

La cantidad de cuarzo está mucho más sometida á variaciones que la de la ortoclasa. A veces falta por completo, pero en lo general es un componente esencial. En mayor cantidad se encuentra el cuarzo en las variedades de rocas que son ricas en mica, mientras que en ciertas rocas de la zona marginal es donde escasea más. No siempre su solidificación significa solamente el fin de la consolidación de la roca; aislados se observan también claramente fenocristales de cuarzo mas antiguo, en parte en forma de cristales bipiramidales completos de algunos milímetros de diámetro. Así se observan granos de cuarzo en la roca marginal número 6 (véase p. 9) que están encerrados completamente en hornblenda, de manera que no cabe duda que su edad es mayor. Parece probable que tales fenocristales en parte fundidos en un lado sean inclusiones heterogéneas. El cuarzo es muy rico en inclusiones líquidas que atraviesan á veces el mineral juntándose á lo largo de caras encorvadas. Burbujas móviles son muy frecuentes: á su lado se observa en el líquido cristales de apariencia isotrópica, incoloros de forma cúbica ó en láminas y pequeños granos opacos. Como lo demostró un experimento, no desaparecen las burbujas al calentar; por esto el líquido sólo en parte podría consistir en ácido carbónico. Además, en ciertos lugares del cuarzo aparecen esparcidas numerosas partículas pardas é indeterminables. El cuarzo es por lo demás pobre en inclusiones.

Entre los silicatos oscuros la biotita es la más frecuente, ya en el aspecto macroscópico de las rocas, aparece muchas veces como fenocristal porfirico en la forma de laminitas de crucero hexagonal ó de columnas. Su pleocroísmo es fuerte, la absorción // b y c fuerte, a amarillo parduseo. La bisectriz a está inclinada hacia OP imperceptiblemente; el ángulo de los ejes es pequeño. Entre la biotita y la hornblenda y la pyroxena no existe ninguna diferencia muy marcada de edad, pero siendo ellas ligadas entre sí, la biotita aparece preferentemente como el componente más antiguo. Se observa en láminas gruesas, hasta en forma de columnas y á veces también en forma de esqueleto de cristalización. Muchas veces la biotita se liga genéticamente con hornblenda que la envuelve ó que forma intercalaciones más ó menos delgadas, paralelas á la base de la mica. Frecuentemente se observa, que los cruceros de la hornblenda van paralelos con los de la biotita, pero esto no es regla. Lo mismo diremos en cuanto á la pyroxena. Un notable revestimiento de la mica por pyroxena se presenta macroscópicamente en una muestra de diorita micácea de pyroxena con cuarzo, encontrada en el contacto inmediato del Puerto del Arco (N^o 8, véase p. 10). Se observa en ella mucha biotita parda oscura en pequeñas varillas hexagonales; allí donde por alteración está aislada de la roca se encuentran naturalmente cavidades del tamaño correspondiente. El mineral está revestido

primeramente de una costra fina de plagioclasa y después de otra formada principalmente de pyroxena verde, de modo que todo en conjunto, presentándose con un ancho de pocos milímetros se parece, observado con la lente, á veces á una escarapela tricolor. Las cavidades que se formaron por la descomposición de la mica aparecen tapizadas con pyroxena. En la misma roca se observan también coronitas de pyroxena al rededor de plagioclasa. Laminitas de biotita y microlitas en forma de plaquitas alargadas del mineral aparecen como inclusiones en la plagioclasa y ésta por su parte atraviesa también la mica. Un contorno alotriomórfico de esta última con ortoclasa y cuarzo demuestra que su segregación ha continuado hasta en la última época de la consolidación del magma; nada nos indica que las combinaciones genéticas arriba mencionadas sean motivadas por una transformación. La biotita envuelve muy frecuentemente minerales negros de fierro, formando al rededor de ellos al parecer, á veces una costra delgada, jergón, apatita, titanita y un mineral prismático en forma de la red de sagenita, en cuyo centro se observa á veces un cristalito de jergón. Una transformación del mineral en clorita no es rara, así como en agregados incoloros, que al microscopio muestran estructura fibrosa y que tienen la refracción y doble refracción del mineral.

La hornblenda verde forma individuos bien definidos solamente en partes de la zona prismática; respecto á los otros componentes es alotriomórfica ó hipidiomórfica, algunas veces con formas profundamente onduladas ó en forma de esqueleto de cristalización. La intensidad del tinte cambia en la misma lámina microscópica y hasta en el mismo individuo. Su pleocroismo es el común a pardo claro, b verde pardusco, c verde azulado, $c > b > a$.

El mayor ángulo de extinción observado era de 23° . Gemelos según $\infty P \infty$ son frecuentes. De los productos más antiguos de la primera consolidación, la titanita muestra sus relaciones conocidas con la hornblenda; muchas veces está envuelta por ella y ligada con ella.

La pyroxena es una diopsida ordinariamente verde clara, con pleocroismo casi imperceptible. El mayor ángulo de extinción medido era 43° . Nunca se observó pyroxena rómbica. La diopsida forma á veces el componente obscuro principal. Gemelos según $\infty P \infty$ son muy frecuentes. Respecto á sus relaciones de edad con los otros silicatos vale lo que hemos dicho de la biotita y anfíbola. Una vez fué observada una combinación genética paralela con anfíbola, en la cual los dos minerales mostraban los grandes ángulos de extinción de 43° , respectivamente 18° y cruceros paralelos; el plano de extinción es pues $\infty P \infty$. También observé una combinación con plagioclasa, donde los cruceros de la pyroxena estaban paralelos á la laminación de maclas de la plagioclasa.

Una variación notable presenta la pyroxena en algunos puntos del contacto del Puerto del Arco; este cambio pertenece tal vez á los fenómenos endógenos de contacto, pero ya lo mencionaremos aquí. Macroscópicamente se observa allí pyroxena verde azulada en vez de gris verde. En la lámi-

na aparecen muchos de estos individuos de un color verde claro, con manchas en formas de nubes y más ó menos de color verde de pasto; otros son enteramente de este color. En el primer caso la extinción será irregular porque con la intensidad del color se aumenta el ángulo de extinción algunos grados. El mayor ángulo observado $\epsilon : \epsilon$ fué de cerca de 45° ; por esto se distingue bien este mineral de la amfibola. El pleocroismo de las partes coloridas es muy pronunciado a y b verde acercándose á verde azulado, ϵ verde amarillento. Al lado de la pyroxena de color más vivo, se nota en la misma lámina también la común de un verde claro. Entonces aparece perfectamente en individuos mayores, mientras que los de color más vivo forman los pequeños fenocristales y granos.

En las inclusiones básicas ampliamente distribuídas (compárese p. 22) los silicatos oscuros están muchas veces íntimamente ligados entre sí con minerales metalíferos, apatita y titanita, ofreciendo de esta manera otras concreciones básicas mínimas dentro del agregado feldespático.

En las rocas hay comúnmente jergón, magnetita, ilmenita, titanita, apatita, pero su cantidad está parcialmente en cierta relación con las de uno ú otro silicato oscuro. Así se observan cristalitos de jergón con muchas caras con mucha frecuencia en las variedades de rocas ricas en cuarzo y biotita; los granitos y esqueletos de cristales de titanita verde-amarillento ó rojizo se encuentran á veces en gran cantidad en las muestras más básicas y ricas en amfibola. La titanita forma frecuentemente costras sobre la ilmenita y la atraviesa, siendo en lo general más moderna que ésta. No podría darse una prueba de que la titanita se ha formado por transformación de la ilmenita. Una gran parte del mineral metalífero es magnetita, que en la lámina se conoce fácilmente por sus cristales octaédricos, que se pueden separar en cantidad considerable del polvo de la roca, por medio del imán. La apatita es aún más antigua que la ilmenita y la atraviesa; es abundante en las rocas ricas en amfibola. Con frecuencia contiene las conocidas inclusiones en forma de polvo. El notable efecto de pleocroismo de estas inclusiones es correspondiente á los ejes de la elasticidad de la apatita η pardo, ϵ azul oscuro, $\epsilon > \eta$ y por eso está en contraposición con el carácter negativo del mineral que las envuelve. No se puede determinar la naturaleza de estas inclusiones que forman nubes en la apatita. Aun con un aumento de 1,200 veces se manifiestan sólo en forma de un polvo más ó menos densamente acumulado. Los cristales microscópicos de la apatita tienen á veces una forma cristalográfica excelente $\infty P, P, OP$ aparentemente también $2P_2$.

PYRITA. Se halló en la roca número 4 rica en mica. Parece que allí se formó de magnetita. No se puede demostrar que no es de formación primaria, pero esto parece probable por estar la roca atravesada de grietas capilares conteniendo pyrita.

Es dudosa la presencia de ortita, que creí haber observado en la granodiorita de amfibola y biotita del Socavón principal (N^o 3).

Los "Schlieren" de inyección y diques

A los primeros pertenecen las aplitas. Estas se encuentran muchas veces en los depósitos en forma de diques que á veces tienen solamente pocos centímetros de espesor; una muestra de Promontorio consiste en una mezcla de grano fino de cuarzo y ortoclasa con estructura de granito gráfico, con plagioclasa en cantidad insignificante, poca magnetita y vestigios de un silicato oscuro, indeterminable por su descomposición.

En Hernández, cerca de la Fundición Vieja, se encuentran inyecciones poco potentes en forma de diques de una roca de estructura de grano bastante fino y de composición variable en la misma muestra; en una muestra se observan partes ricas en mica, otras ricas en pyroxena y entonces sin biotita. Los fenocristales de plagioclasa demuestran el carácter brechoide y la cementación nueva (mencionados en la p. 15).

De los diques eruptivos en la montaña calcárea, estudié detenidamente sólo el de la Piedra Cargada al Sur de Concepción. Demostrando aquella roca una metamorfosis de contacto endógena muy intensa, hablaremos de ella más adelante.

En la Loma Pachona, cerca de San Ignacio, encontré una roca porfírica muy alterada y atravesada por vetas de epidota. Esta roca atraviesa la caliza cretácica, y en su superficie se observaron todavía los moldes en forma de los fenocristales de cuarzo destruidos, y aparentemente también de feldespato; además contiene placas hexagonales y columnas de mica.

En la pasta fundamental de grano fino hay además de los minerales ya citados, plagioclasa en fenocristales de casi un centímetro de tamaño. Me parece que es una granodiorita micácea porfírica ó tal vez una porfírita micácea con cuarzo. Al otro lado del cerro de la Cruz descubrí, en extensión muy limitada, una roca porfírica clara muy alterada; esperando encontrar mejor material no recogí una muestra de este lugar.

Inclusiones en la Granodiorita

Encontré en la roca eruptiva inclusiones de dos clases: por una parte son masas de roca de granate, cuyo material primitivo serán sin duda fragmentos de caliza arrastrados por el magma, pero que deben su naturaleza actual á la adición de sustancias nuevas por él (Enclaves polygènes, según Lacroix). Por otra parte son inclusiones de naturaleza eruptiva de la composición mineralógica del magma, pero de grano más fino y más cargadas de elementos oscuros, inclusiones que se llaman generalmente "Segregaciones básicas." (Enclaves homogènes plésiomorphes, según Lacroix).

Cerca de la Fundición Vieja encontré una inclusión que representa una roca de granate con ortoclasa (lám. VIII, fig. 4). En la superficie drúsica se observan cristales de granate pardo-rojizo, ∞O , $2O2$, y menos frecuentemente cristales mal formados, así como masas compactas de ortoclasa y aparentemente también un poco de plagioclasa fibrosa. La lámina microscópica de una de estas inclusiones muestra una notable combinación zonal de granate con ortoclasa en gran parte kaolinizada. Esta última aparece en laminas paralelas, que imitan en forma de conchas el contorno dodecaédrico ó sustituye dentro del cristal de granate casi completamente la substancia de éste, dando así origen á una especie de perimorfosis. La ortoclasa demuestra en parte gemelos según la ley de Karlsbad. Cuarzo se encuentra solamente en cantidad insignificante. Como componentes se observan también epidota y minerales de fierro. No cabe duda que aquí se efectuó la reabsorción de un fragmento de caliza y que por la adición de fierro magnético y de substancias feldespáticas resultó una nueva cristalización de lo disuelto, tratándose pues en el sentido de Lacroix de una inclusión exopoligénica.

En otra muestra de granate pardo y ligado con feldespato se observan fenocristales de amfibola; ésta forma columnas fibrosas con OP no muy claro y pirámides lisas. La misma naturaleza tiene una roca parda de granate del Valle del Arco, íntimamente ligada con feldespato, y conteniendo cristales de granate de más de un centímetro de tamaño. También del Puerto del Arco provienen dos muestras de roca de granate, en cuyas cavidades se observan con la lente cristallitos de chabasita, además de desmina, epidota y feldespato. Este último según sus estrías parece ser por lo menos en parte plagioclasa.

Las inclusiones básicas oscuras no son raras en la masa principal eruptiva. Sin duda, no son fragmentos de una roca más antigua; tampoco son partes del mismo magma consolidadas anteriormente, porque no están netamente separadas de la masa principal. Su composición mineralógica corresponde á la de la roca que los envuelve; es decir, donde ésta por ejemplo contiene amfibola ó pyroxena, estos silicatos se presentan también en la inclusión; donde la masa principal contiene mucha titanita, este mineral se encuentra también en cantidad considerable en la inclusión. Dentro de la roca normal estas inclusiones representan una acumulación, especialmente de segregaciones de primera consolidación, estando por eso ricos en minerales de fierro, titanita y apatita. Los silicatos oscuros forman en parte aglomeraciones en una especie de pasta de plagioclasa. No faltan los grandes fenocristales de plagioclasa ni los de biotita. En cantidad menor se encuentra cuarzo y ortoclasa en mis dos láminas microscópicas. Respecto á estas inclusiones se trata, pues, de concreciones en el magma que deben haberse formado por acumulaciones locales más compactas de los centros de cristalización.

Criaderos en la Granodiorita

VETAS DE TURMALINA

Al Oeste de la mina de fierro "El Carmen" encontré muchos fragmentos de vetas de turmalina. Su espesor tiene el ancho de un palmo. En su cercanía inmediata se encuentra sobre magnetita y minerales de cobre, una masa extensa de mármol metamorizado por contacto, encontrándose por esto con ellas también blocks de magnetita. La turmalina (♠ color de sepia ó azul de añil, † pardo claro) forma masas de estructura fibrosa radial ligadas con cuarzo y atravesadas por este mineral. No se pudo probar la presencia de estaño; tampoco existieron en tiempo de mi visita indicios de una ley de oro de estas vetas, cosa que no sería imposible.

SEGREGACIONES DE CUARZO, ORTOCLASA, HEMATITA Y CHALCOPYRITA

Así como las vetas de turmalina, también estos minerales deben haberse formado por pneumatolisis. En el camino de Cabrestante á la mina del Promontorio, encontré en la granodiorita segregaciones drúscas angostas de hematita, cuarzo (R, — R, ∞ R), un poco de granate verde pardusco junto con feldespato, que según su hábito cristalográfico y refracción, debe designarse como adularia, y un cristal aislado de chalcopyrita $\frac{3P}{2}$, $-\frac{4P}{2}$, transformado parcialmente en limonita por descomposición. El cuarzo está revestido de calcedonia estalactítica. La presencia del granate verde pardusco semejante al de los criaderos cercanos de contacto y seguramente un granate de fierro, cal y alúmina, comprueban que la reabsorción de un fragmento de caliza dió origen á la formación de dichos cristales. Realmente estas cavidades drúscas demuestran en parte una forma angular muy marcada, que podría explicarse por la disolución de fragmentos de caliza.

LA VETA DE COBRE «EL PLACER» DE ARANZAZÚ Y LA TRANSFORMACIÓN DE LA GRANODIORITA EN EPIDOTA Y URALITA

La única veta importante conocida en el macizo de la granodiorita cerca de Concepción, es la veta "El Placer" explotada cerca del contacto de Aranzazú en la granodiorita. Tiene una dirección más ó menos perpendicular al límite de contacto; fué cortada al otro lado por el socavón principal, siendo sin duda de formación más moderna que los criaderos de contacto.

El relleno de la veta demuestra una estructura maciza y consiste, según las muestras colectadas, en chalcopyrita, pyrita, bastante arsenopyrita, un poco de galena, cuarzo, un poco de litomarga y mucho espato calizo. En drusas se observan también esfenoides poco claros de chalcopyrita. Es no-

table la transformación del panino por agencias que produjeron la matriz. Esta roca se transformó en una masa quebradiza, verde sucia, con pirritas diseminadas, que al microscopio consiste en su mayor parte en amfibola fibrosa y uralítica, con un poco de cuarzo y de espato calizo. Al lado de ella se reconoce un poco de epidota y gran cantidad de apatita con cristallitos de jergón y de titanita, sin duda de restos de la granodiorita. La estructura de la roca se ha borrado completamente. Sin embargo, con esto no terminó la transformación del panino. En otras muestras se nota que la uralita misma puede haber sido reemplazada casi completamente por menas, cuarzo, y sobre todo por espato calizo. Fragmentos de esta clase los encontré entre los otros metales; se distinguen por la coloración sucia de su espato calizo, pero demuestran por lo demás la misma estructura maciza y los mismos minerales que las otras muestras. Los agregados en parte radiales primitivamente formados de uralita se distinguen claramente con la lente; al microscopio aparecen como masas de espato calizo fibrosas, parduscas y turbias. Además se observa todavía la titanita y la apatita. La veta "El Placer" no es pues en parte otra cosa que una granodiorita muy alterada á lo largo de una grieta y sustituida metasomáticamente por combinaciones nuevas. Otra parte de las menas tiene el aspecto de un relleno de veta macizo común de galena pirritosa.

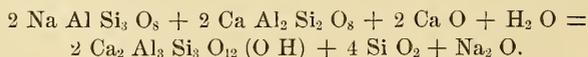
La formación de epidota, acompañada de la de cuarzo y también de uralita se observa con frecuencia y se tendrá que referir en menor escala á las mismas causas que la transformación del panino á lo largo de la veta "El Placer." La descripción siguiente se basa principalmente en una roca encontrada in situ en el camino de Aranzazú, cerca de la localidad de la vesuviana inmediata al salto de agua. (N^{os} 12 y 13).

La transformación de la roca en epidota, etc., no es aquí seguramente un producto de alteración por la atmósfera; evidentemente tuvo lugar bajo la adición de substancia, á lo largo de grietitas finas, transformándose no solamente algunos de los componentes aislados, sino partes enteras de la roca en combinaciones nuevas. No he observado aquí pseudomorfosis verdaderas de la epidota según feldespatos ú otro mineral; la forma de los agregados de epidota y de los individuos que los componen, no tiene nada que ver con la de los silicatos desaparecidos en parte ó completamente.

En lo general se trata solamente de una formación poco considerable de epidota en la plagioclasa. Sin duda tiene su origen en grietas y á menudo está acompañada por una impregnación de pirita. En las mismas grietas se formó á veces también cuarzo, que como mineral más reciente, falta muchas veces. El depósito de la epidota en sistemas de grietitas en el feldespato produce á veces formas de esqueletos de la primera con una extinción uniforme. A veces se observa también que la formación de epidota, está limitada principalmente á un solo cristal macleado de plagioclasa.

En la localidad arriba indicada, partes enteras de la roca están sustituidas de cierta manera por epidota y en consecuencia muestran manchas

verdes ó aparecen uniformemente verdes en pequeños fragmentos siendo bastante ricas en pirita. El feldespato está atravesado por grietas numerosas y es muy turbio; está sustituido y atravesado por epidota verde amarillento, que forma individuos ó agregados en parte fibrosos, de límites irregulares, sin ser influenciados por la forma y los contornos de los granos feldespáticos. La diopsida ha sido reemplazada por haces fibrosos de uralita verde azulada; al lado de éstas que todavía muestran con bastante claridad la forma de los fenocristales de diopsida primaria, se observan en las partes más compactas de la epidota, haces poco compactas de amfibola verde azulada, formando á veces una especie de fieltro, seguramente originado también por un cambio de moléculas de la substancia pyroxénica. Su pleocroismo es: α verde olivo, β verde pardusco, γ verde azulado obscuro; absorción $r > \beta > \alpha$ contemporánea con la epidota en un mosaico de cuarzo; este es bastante rico en inclusiones líquidas, en las que se hallan al lado de una burbuja, á veces cristalitas en parte cúbicos. El cuarzo encierra restos de feldespato y haces de uralita. La titanita no ha sufrido ninguna transformación, y por esto se encuentra también en este mosaico de cuarzo. Todo este fenómeno se debe considerar como la consecuencia de un cambio molecular, bajo la influencia de agencias que adicionaron materias. No se puede hablar de una corrosión de la roca, á la cual hubieran sustituido otras sustancias; porque dentro de la última yacen en situ las pseudomorfosis de la uralita y las titanitas bien conservadas. Como materias añadidas han de considerarse cal y fierro. El origen de la cal no es dudoso principalmente en la cercaña inmediata del contacto; la adición del fierro está comprobada por la presencia de pirita, y también probable por la coloración intensa de la epidota. Suponiendo que durante el proceso químico la cantidad de alúmina se haya quedado igual como en tantas otras transformaciones, y que la base ha sido una plagioclasa de la composición $Na_1 Ab_1$, entonces podría explicarse la formación de la epidota libre de fierro por el esquema siguiente:



De este modo resulta la precipitación de ácido silícico libre, que se quedó enteramente ó en parte como cuarzo, y la de sosa sobre cuyo paradero nada nos indica la lámina. Pero es posible que la chabasita de la cual hablaremos más adelante, esté en relación genética con el proceso descrito. En una lámina de una roca marginal impregnada de epidota de la localidad de la vesuvianita, el feldespato está atravesado por un mineral sólo reconocible por un aumento fuerte de menor refracción y doble refracción, lo considero como una zeolita (chabasita?). Es un producto de transformación del feldespato, del cual se pudiera haber formado bajo la adición de ácido silícico y quizá también de sosa.

Mencionaremos todavía que el aspecto microscópico de la diorita transformada en parte en epidote, recuerda algunas pizarras de epidote de los Alpes.

En las rocas epidotíferas nunca se pudo comprobar una formación de kaolín de importancia, por lo cual se hubiera podido concluir que es un fenómeno acompañante de la formación de epidote. El kaolín es al contrario cerca de Concepción, siempre un producto más moderno de transformación.

La gran semejanza de estos fenómenos de transformación con los de á lo largo de la veta "El Placer," descrita arriba, no deja duda de que también ellos han de referirse á la influencia de sustancias que subieron de un foco profundo después de la erupción y consolidación de la granodiorita.

FILONES DE COBRE CON TURMALINA CERCA DE CATARROYO

En la granodiorita micácea de la mina Catarroyo observé además de una impregnación fuerte de la roca con piritas, filones de pirita y chalcopyrita con feldespato, con ganga cuarzosa y turmalina parda. La presencia de este mineral puede considerarse como prueba segura para la conexión íntima entre estas formaciones de vetas y el magma granodiorítico más profundo. De estos criaderos insignificantes, cuyo espesor apenas llega á pocos milímetros, sólo una pequeña cantidad se encontró sobre el terrero de esta mina reciente y por esto no hubo ocasión para estudiar con exactitud estos criaderos de cobre con turmalina que en otros lugares ofrecen tanto interés mineralógico.

LÓS FENOMENOS DE CONTACTO

Sumario

Cerca de Concepción del Oro, una roca bastante rica en ácido silícico atraviesa calizas ó por lo menos capas, que consisten en su mayor parte de caliza y ha sufrido á lo largo del límite de contacto algunas alteraciones de estructura, así como una alteración química en parte muy intensa, mientras que el panino sufrió una metamorfosis de contacto en todas partes por recristalización y con frecuencia por adición intensa de sustancias nuevas.

Los fenómenos endógenos de contacto son los siguientes:

1. La formación de una facies marginal especial en el límite del "stock" de la granodiorita. No tuvo lugar en todas partes, y consiste en lo general solamente en cambios pequeños de la estructura y composición normal de las rocas, de los cuales ya hemos hablado arriba. Como un fenómeno notable de la influencia endógena sobre las rocas por la cercanía del contacto describiremos todavía una roca singular de plagioclasa

2. De una clase completamente diferente son las alteraciones endógenas causadas por adición de cal. Conducen á la segregación de granate y de diopsida, y según parece también, de otras particularidades mineralógicas de algunas rocas. Fueron observados en la roca del dique de la "Piedra Cargada," cerca de la Estación de Concepción.

En lo general tuvo lugar una adición intensa de cal á la granodiorita consolidada á lo largo del contacto inmediato. Esto causó que una zona ciertamente muy estrecha, la roca eruptiva se haya transformado en roca de granate, de manera que ella y la roca granatífera formada de la caliza, exteriormente no se pueden separar. La zona de granate del "stock" de la granodiorita será descrita detenidamente más adelante.

La metamorfosis exógena de contacto se expresa por los fenómenos siguientes:

1. La caliza se encuentra transformada en mármol á lo largo del contacto y las calizas más ricas en ácido silícico en roca córnea con wollastonita. A esto se agrega la formación macroscópica y microscópica, á veces en masa de granate, wollastonita, diopsida, vesuvianita, epidota, mas raras veces de zoisita y hornblenda, y en algunos puntos de dipiro. En lo siguiente examinaremos si el origen de estos minerales, conforme á una opinión muy común, puede ser explicada solamente por un cambio molecular de substancia de las rocas, ó si está relacionado con una adición de substancias provenientes del magma.

2. Además, se han formado á lo largo del límite de contacto en todas partes, á veces en masas grandes, chalcopirita y pirita, en algunos puntos también hematita y maguetita, blenda y más raras veces cobre gris con cuarzo. Se demostrará que estos minerales son poco más ó menos de la misma edad que los silicatos arriba citados, y que han de referirse á una transformación de substancias del magma á la caliza, en algunos puntos enorme.

Como una consecuencia de la intrusión de la granodiorita se puede considerar la formación de las vetas de cobre arriba mencionadas, que no solamente se presentan en la periferia del "stock" eruptivo, sino pasan en parte también á las capas calcáreas vecinas, y son más modernas que las formaciones de contacto arriba citadas en el párrafo 2. En cuanto al origen de los numerosos criaderos metasomáticos de galena y blenda en parte á mayor distancia de la roca eruptiva, sólo se puede suponer por ahora que estén en relación causal con esta roca.

De lo dicho resulta, que en el capítulo siguiente tendremos que ocuparnos de los fenómenos de una emigración de substancias que tuvo lugar en ambas direcciones, tanto de la granodiorita hacia la caliza, como de esta última hacia la granodiorita.

Fenómenos endógenos de contacto

VARIACIONES NO CAUSADAS POR ADICION DE SUBSTANCIAS

Los cambios de las rocas no originados por una adición de sustancias consiste en que ésta en el contacto llega á ser en parte de grano más fino y semejante á la porfrita, y que por el aumento de los componentes obscuros toma á veces un aspecto lamprofirico. La penetración granofírica de enarzo y ortoclasa parece ser más frecuente en las rocas marginales que en la granodiorita normal; de mis observaciones no puedo deducir con seguridad que estas rocas de contacto contengan más pyroxena que la granodiorita. Tal vez se debería mencionar la presencia de pyroxena verde de pasta (véase página 18) en algunas muestras del Valle del Arco. Pero me parece dudoso su carácter primario; al contrario, no me parece imposible que esta coloración esté en relación con los procesos que después del principio de la consolidación de la roca han conducido, en las cercanías inmediatas, á una formación intensa de granate y al origen de la zona de granate (véase arriba).

Más adelante se demostrará que también las diopsidas contenidas en la zona de granate no completamente reabsorbidas, tienen una intensa coloración verde.

La localidad de plagioclasa notable que se encuentra cerca del Salto de agua, antes de llegar á Aranzazú merece una descripción más extensa (Lámina VIII, figura 1). Allí un camino corta las rocas por casualidad precisamente en el límite de contacto y así se abrió una localidad rica en minerales que ya hace mucho hubiera llamado la atención en otras partes. La transformación muy intensa de la roca conducía á la formación de vesuviana parda, de mármol azul y de granate de diferentes colores. Más adelante hablaremos de la vesuviana. En algunos puntos se halla también roca de granate y diopsida. Estas formaciones de contacto están impregnadas por inyecciones de roca eruptiva, que de por sí ha segregado mucho granate, y que en parte está transformada en roca de epidota, como ya lo mencionamos arriba. De una de estas inyecciones, que se compone de una mezcla de grano fino de plagioclasa, ortoclasa, poco cuarzo, poca mica y mucha pyroxena, y que contiene además de mucho granate pardo obscuro y claro, verde y rojo de salmón, también mucha titanita, colecté muestras de agregados de plagioclasa fibrosa, íntimamente ligadas con el resto de la roca, y sin duda segregaciones de ella. El mineral que yo había tomado antes por wollastonita, está pues en relación íntima con la roca eruptiva que pasa en algunos lugares á una masa fibrosa y lustrosa de feldespato.

En la plagioclasa fibrosa (así la llamo para distinguirla de las plagioclasas normales de la roca principal), se encuentran diseminados como se ve aun macroscópicamente, granos y cristales perfectos de diopsida (caras reconocidas: ∞P , $\infty P \infty$, $\infty P \infty$), y granitos de granate. Pero además ten-

go muestras compuestas casi enteramente de plagioclasa fibrosa maciza, íntimamente ligada con granate de varios colores, generalmente color de breya y que casi se podría llamar roca de plagioclasa y granate, si fuera más extensa y de mayor potencia. La diopsida se encuentra en cantidad muy pequeña, la plagioclasa se encuentra en forma de drusas y el interior de éstas está relleno principalmente con calcita, y á veces se observa con la lente un pequeño dodecaedro pentagonal de pirita.

Después de haber disuelto el espatocalizo se pueden aislar algunos cristales de plagioclasa que penetran en las drusas. Las estrías paralelas á la extensión longitudinal se muestran alrededor de los individuos prismáticos ó en forma de láminas ó varillas y por esto no corresponde á la laminación de maclas, sino á la estructura fibrosa que se observa también en los planos de fractura. Así es que los extremos de los cristales presentan una estructura finamente drúsica, que sin embargo no permiten ni con una amplificación de diez veces la determinación de las caras de los individuos de 1 á 2 milímetros visibles en las drusas. Por lo demás, las fibras prismáticas de tamaño de sólo fracciones de milímetro no están paralelamente ligadas. Los agregados ó pseudocristales que se forman de este modo tienen en los cortes transversales una forma generalmente rectangular y alcanzan un tamaño mayor de un centímetro.

No pudo hacerse un análisis del mineral por haber sido imposible encontrar material puro para este fin; pues las fibras están atravesadas por varios silicatos y sobre todo por numerosas lamelas finísimas de ópalo y de una substancia zeolítica. Una astilla casi libre de silicatos oscuros tiene un peso específico de 2.52-2.53. Al soplete el mineral humedecido con HF muestra una reacción muy viva de Na. En astillas delgadas se funden sólo las esquinas y el ácido clorhídrico no lo ataca notablemente. El índice de refracción del rojo es para n_1 y γ_1 más pequeño que 1.552 y casi igual á 1.544.

Una lámina muestra las relaciones íntimas del mineral con la diorita de pyroxena limítrofe, que lo envuelve á veces. La plagioclasa fibrosa encierra numerosos granos y cristalitas de diopsida y titanita, á veces individuos de plagioclasa normal que se reconocen por su lamelación de gemelos y á veces también cristalitas de jergón. Se encuentra epidota como producto de alteración del mineral. Los agregados fibrosos ligados en forma de cuñas tienen una extinción casi uniforme y no se distinguen de las plagioclasas normales que las envuelven ó con las cuales están ligadas de alguna manera, por su refracción y doble refracción. La estructura fibrosa se observa en la lámina por medio de hendeduras más ó menos claras atravesadas á su vez por grietas más pequeñas. Esta se ve claramente entre nicols cruzados. Entonces se observa que los agregados de plagioclasa no son compactos, sino que encierran á lo largo de las fibras otras dos substancias que son de menor refracción que el mineral y que presentan además entre sí, una diferencia clara de refracción. El mineral de menor refracción es completamente hialino, sin crucero regular y enteramente isotrópico. Es sin du-

da ópalo que aun se nota macroscópicamente en las grietitas de los agregados, bajo la forma de una capita delgada azulada. Está acompañado por una pequeña cantidad de espato calizo. El segundo mineral tiene una doble refracción muy débil y sólo puede ser una zeolita, probablemente chabasita, cuya presencia puede comprobar en esta localidad. Encontré en una muestra compuesta de granate, plagioclasa y diopsida, cristales (R) de este mineral de tamaño de 0.75 mm. más ó menos; su refracción es entre 1.446 y 1.510 (chabasita = 1.49). Habiendo pensado al principio en la presencia de fluorita, sujeté tanto estos cristales como la plagioclasa fibrosa al soplete á la reacción del fluor, pero con resultado negativo. Esta chabasita se funde rápidamente al soplete en un vidrio ampolloso. La plagioclasa está bien separada por sus caras de las inclusiones de ópalo y zeolita.

Según las indicaciones anteriores acerca de la refracción de la luz, el mineral es una oligoclasa ó una oligoclasa-andesina de la misma composición que las zonas marginales ácidas de los fenocristales normales de plagioclasa de la roca eruptiva. Sólo aparentemente no está de acuerdo con esto el peso específico bajo de 2.52-2.53, pues la zeolita (chabasita peso esp. 2.1) y el ópalo (2.2) que lo atraviesan en todas partes, han de rebajar notablemente el peso del agregado (plagioclasa $Ab_{60}An_{40} = 2.68$). Tomando estas plagioclasas por cristales simples y no por agregados de individuos ligados casi paralelamente, la falta de laminación común de gemelos llamaría mucho la atención. Es cierto que en partes se observa que los agregados orientados de distinta manera se ligan y se atraviesan de una manera que se basa quizá en alguna ley. La extinción se hace aproximadamente paralela y vertical á la dirección del crucero principal que es al mismo tiempo la dirección longitudinal de los individuos. Paralela á esta está también el plano del eje óptico y en la lámina que estudié, igualmente paralela la dirección de la elasticidad máxima del éter, de lo cual resulta que los individuos están alargados en la dirección del eje α .

Sin duda esta oligoclasa-andesina se cristalizó del magma mismo y puede ser considerada igual á la plagioclasa de la roca como una de las últimas segregaciones de ésta. El carácter drúsico del agregado recuerda formaciones miarolíticas.

Por último, mencionaremos una observación notable: en la citada roca del apófisis, una de las plagioclasas normales en lamelas está transformada en una brecha y cementada de nuevo en las grietitas por un sistema de extinción uniforme de fibras de plagioclasa más recientes y del ópalo ligado con ellas. El sistema corresponde completamente á la inyección de la plagioclasa ácida en grietitas de núcleos más básicos y más antiguos de plagioclasa en la roca de Hernández mencionada en la pág. 16.

Una muestra encontrada abajo de la mina El Carmen en el contacto inmediato, que no se presta para una lámina por el estado alterado, deja ver en polvo al microscopio y á la lente, la plagioclasa fibrosa en gran cantidad, ligada con hornblenda azul-verdosa, granate pardo, epidota y cuarzo. Este

último se liga con feldespato, formando así una especie de granito gráfico. El agregado presenta una segregación de una granodiorita con mica y hornblenda muy rica en cuarzo é igualmente alterada.

Transformaciones de la roca eruptiva por adición de cal

SEGREGACIONES DE GRANATE Y DIOPSIDA

Las segregaciones á veces frecuentes de granate y quizá también en parte de diopsida, se explican por una absorción de materia por el magma eruptivo. Se observan casi únicamente en el contacto inmediato en donde se presenta el granate de cuando en cuando en gran cantidad en las rocas marginales. El granate forma entonces intercalaciones y granos irregularmente limitados y ligados de una manera sinuosa con los elementos de la roca limítrofe, así como cristales y grupos de cristales. Su color cambia aun en la misma muestra; por ejemplo, las inclusiones de granate en la roca de la apófisis en la localidad de la vesuviana, la cual contiene la plagioclasa fibrosa, son en gran parte pardo negruzcas, en parte también de color pardo claro (en este caso individuos de estructura zonal ó granos, tienen muchas veces un núcleo más obscuro y una costra clara) ó también verdes ó rojo claros. Sin duda estas inclusiones de granate no pueden considerarse como fragmentos de caliza con agrupación molecular cambiada y metamorfizados por el contacto, sino que se formaron de las partes del magma por las cuales fué reabsorbida antes la caliza. Esto resulta de los fenómenos siguientes: Muchas veces, aunque no siempre, las inclusiones muestran contornos cristalográficos. Los fenocristales de forma irregular y sinuosa no pueden ser fragmentos fundidos exteriormente por tener muchas veces en su totalidad una estructura concéntrica zonal, formando el núcleo de la masa las partes más oscuras y probablemente más ricas en hierro. El granate se muestra como una segregación verdadera de la roca y se adapta á su tejido. En donde está ligado con la plagioclasa fibrosa se observa á veces una estructura ofítica, formando entonces el feldespato el tejido de varillas y el granate la masa que rellena los intersticios; pero además se ve que se atraviesan mutuamente y de una manera irregular, de lo cual resulta que ambos tienen más ó menos igual tiempo de consolidación siendo la formación del granate contemporánea con las últimas segregaciones ácidas del feldespato (véase arriba). Tampoco observé en masas mayores de granate la forma angulosa de los fragmentos. Nunca tampoco parecen ser formados de granate solo; al lado del espato calizo aquí también en forma de segregación y como tal incluyendo granos de granate y de diopsida, se encuentra en ellos además feldespato. Entonces el granate está limitado por caras más ó menos claras (∞O , $2O2$) de los minerales ligados con él. También los pe-

queños granos de granate diseminados en la diorita encierran diopsida, feldespato y apatita, por lo cual la consolidación del magma está satisfactoriamente comprobada.

La reabsorción de la caliza por el magma y su influencia en las segregaciones minerales, pudo estudiarse de un modo excelente en la roca del dique de la Piedra Cargada. Esta última atraviesa desde Concepción en dirección meridional todo el valle aquí amplio, hacia la pared escarpada originada por la falla principal antes mencionada y formada en calizas jurásicas y cretácicas. La Piedra Cargada misma consiste de bancos delgados y levantados pertenecientes á una caliza gris mesocretácica con bancos y nódulos de pedernal y está atravesada por un dique eruptivo arqueado á lo largo del cual la caliza ha sido transformada en roca de granate y á veces también en masas de wollastonita en filones. De estas formaciones de contacto hablaremos más adelante. El dique mismo parece tener pocos metros de potencia, á veces solamente un metro; hubo dificultad de determinar su espesor, porque como lo muestra el estudio microscópico, parece ser transformado tan completamente en granate á lo largo del contacto, que no se puede observar un límite claro entre él y la roca de granate formada de la caliza; lo mismo sucede generalmente en los alrededores de Concepción entre la granodiorita y las formaciones de roca de granate, originadas por el metamorfismo de contacto (véase adelante). La roca eruptiva causa en el paisaje la impresión de una felsita rojo-clara ó verde clara, pero tiene una dureza notable y mayor lustre. Una de las láminas muestra una transformación casi completa en granate; otra muestra macroscópicamente poco distinta de la primera es en lo esencial todavía una roca de feldespato que sin embargo ha sido transformada por la absorción de cal. (Lám. VIII, fig. 2). Los caracteres más notables de esta última roca son al microscopio una segregación abundante de un granate claro y una diopsida incolora distinta respecto á su carácter, de la pyroxena común que se presenta en la zona interior del macizo.

La estructura microscópica de la roca mencionada al último, recuerda algo la de una traquita y parece ser porfírica. Consiste en mucha plagioclasa ácida, diopsida, granate y titanita; raras veces se observa un granito opaco de mena, aisladamente también jergón. La presencia de ortoclasa no es enteramente segura; cuarzo, apatita, mica y hornblenda no han podido observarse.

En una pasta fundamental de grano muy fino yacen generalmente granos fundidos exteriormente de plagioclasa, granos y cristales de granate y cristales que parecen pyroxena, pero que consisten sólo en parte de este mineral, componiéndose más bien de pyroxena y plagioclasa íntimamente ligadas. Casi eutéctica es la estructura de la pasta fundamental formada generalmente de feldespato; la roca en su totalidad no permite reconocer diferencias notables en la edad de los componentes, si no se toman en cuenta los fenocristales de plagioclasa.

El feldespato es en su mayor parte plagioclasa. La composición química de la roca nos lleva a la conclusión de que existe también la ortoclasa. Tanto los individuos grandes como los feldespatos de la pasta fundamental, son turbios por inclusiones microscópicas á veces netamente arregladas en series.

Los fenocristales se distinguen de los de la granodiorita normal y de las rocas marginales, por la falta casi completa de una estructura zonal y por la ausencia de una zona marginal más ácida, y por último, por el ángulo más pequeño de extinción de las lamelas, la que asigna á este feldespato su lugar en la serie de composición de la andesina. Varillitas de plagioclasa sólo se encuentran en número reducido; pertenecen, según se ha podido observar por su ángulo de extinción, á unas composiciones más ácidas. Por lo demás el feldespato forma entre los nicols cruzados un agregado de individuos coposos irregularmente limitados en general de extinción ondulada y aproximadamente con la refracción del bálsamo de Canadá (1.54). Algunos feldespatos que pudieran tomarse por ortoclasa porque no presentan laminación de gemelos, dejan reconocer individuos atravesados granofíricamente.

La diopsida es incolora en la lámina microscópica. Se presenta en individuos radiados aislados y en agregados de éstos, es muy pobre en inclusiones más antiguas, sobre todo de menas, y se distingue por estos caracteres de la pyroxena de la granodiorita, mientras que recuerda la de las rocas de contacto. Entre los individuos diseminados en gran cantidad por la pasta fundamental y los fenocristales de diopsida hay todas las transiciones de tamaño. La mayor cantidad del mineral se presenta en forma de granitos cuyas dimensiones bajan á veces hasta ser microlíticas y que á veces se juntan formando grupitos y acumulaciones encerrando así diopsidas grandes ó formando agregados, que imitan la forma de fenocristales de pyroxena, si son de algún tamaño mayor. De estas acumulaciones existen transiciones hasta formas particulares de crecimiento que poseen exteriormente la forma de cristales de diopsida, pero que sólo en parte consisten de varillas de extinción común ó de otros cortes transversales de este mineral, el cual está íntimamente ligado en estructura eutéctica con feldespato. La participación de la diopsida en estos pseudocristales puede ser muy pequeña y á veces mucho menor que la del feldespato. Estas formaciones de esqueletos y cristales atravesados recuerdan perfectamente una estructura de contacto. Los fenocristales grandes formados de este modo presentan muchas veces gemelos según $\infty P \infty$ y están limitados por caras terminales. Se trata según la forma de los cortes de una pirámide aguda $2P$ de la forma de fassaíta. En los pseudocristales descritos la pyroxena comprueba la fuerza directiva mayor de la agrupación molecular; la substancia feldespática que la atraviesa posee una estructura alotriomorfa granulosa de la pasta fundamental de feldespato. Hay que mencionar la presencia de inclusiones de líquidos con burbuja móvil en la pyroxena.

Es muy común la titanita; se encuentra por lo general en la forma de

acumulaciones de granos turbios, forma también coronitas alrededor del feldespato y de la pyroxena y se observa por último de vez en cuando como inclusión en dichos minerales.

El granate incoloro se presenta generalmente bajo la forma de granos sinuosos de figura irregular y de cristales más ó menos bien limitados. Sólo en parte muestra una anomalía óptica clara. Atraviesa del mismo modo la pyroxena que el feldespato. La suposición de que haya provenido del último ó de la pyroxena no está justificada. Se encuentra de preferencia bajo la forma de granos sinuosos en el feldespato, pero entonces este último no está alterado en su superficie y no muestra ni grietas ni canales de conducción por medio de los cuales la transformación haya podido tener lugar. Algunos granos de granate están envueltos concéntricamente por una cinta feldespática delgada ópticamente uniforme y además se observan también agregados de granate que están atravesados por feldespato y pyroxena. Este granate tiene por lo tanto, como las inclusiones de granate arriba descritas, la misma edad que la plagioclasa ó es un poco más antiguo. Como se segregó en una grieta rellena de matriz á consecuencia de la reabsorción del panino calcáreo, resulta que toda la roca, incluso los fenocristales de plagioclasa y á lo más con excepción de la titanita y de los otros componentes accesorios muy escasos, ha de haberse formado en la grieta del filón.

La roca de la Piedra Cargada estudiada microscópicamente fué analizada por el Prof. Dr. Dittrich obteniendo los resultados siguientes:

	XVa.	XVb.	XVa.	XVβ.	VI
SiO ₂	54,60	55,51	0,9040	58,01	64,77
TiO ₂	0,89	0,91	0,0111	0,71	0,83
Al ₂ O ₃	14,56	14,81	0,1425	9,14	9,51
Fe ₂ O ₃	1,04	1,06	0,0065	0,0198	0,42Fe ₂ O ₃ }
FeO	0,49	0,50	0,0068	1,27	0,43FeO } 2,71
Mn O	0,06	0,06	0,0008	0,05	.....
Ca O	15,79	16,05	0,2815	18,06	9,23
Sr O	0,09	0,09	0,0009	0,06	0,03
Mg O	4,68	4,76	0,1159	7,44	5,03
Na ₂ O	3,63	3,69	0,0585	3,75	4,69
K ₂ O	2,09	2,12	0,0222	1,42	2,76
P ₂ O ₅	0,16	0,16	0,0011	0,07	0,41
S	huellas	.....	.....	.....	.....
H ₂ O	1,64	.....	.....	.....	CO ₂ 0,08
	99,72	99,72	1,5583	99,98	100,00

XVa. Composición absoluta de la roca.

XVb. La misma calculada según la substancia anhidra.

XVa. Relaciones moleculares.

XVβ. Las mismas calculadas en cifras por ciento.

En VI se indican los por cientos moleculares del análisis de la roca marginal del Puerto del Arco, la cual entre las tres muestras de roca que fueron analizadas de la masa principal de la granodiorita, se distinguió por el menor contenido de ácido silíceo, así como por un contenido muy alto de cal. En la roca del dique de la Piedra Cargada la proporción de cal es casi doble. Como lo demostraremos más adelante el panino de la Piedra Cargada es muy pobre en alúmina y fierro, contiene poca magnesia y además en las partes exentas de pedernal, un poco de cuarzo; el titanio se encuentra en huellas. Por una reabsorción del panino debe haberse alterado un poco el contenido de magnesia y ácido silíceo del magma y muy poco el contenido de alúmina, fierro, titanio, substancias alcalinas, etc., mientras que el contenido de cal alcanzó tal cantidad que hay que presumir que aproximadamente el 10 por ciento de la roca actual consiste en material reabsorbido del panino. Deduciendo estos 10 por ciento de las proporciones moleculares de CaO y calculando entonces los componentes restantes de nuevo en por cientos, obtenemos los números siguientes que se acercan mucho á los de la prueba VI:

SiO ₂	64,45
TiO ₂	0,79
Al ₂ O ₃	10,15
Fe O.....	1,41
Mn O.....	0,05
Ca O.....	8,96
Sr O.....	0,07
Mg O.....	8,27
K ₂ O.....	1,58
Na ₂ O.....	4,16
P ₂ O ₅	0,08
Suma.....	99,95

En este análisis sería $A=5,74$; el valor n sería en la roca $=7$, así pues, muy distinto del de las otras rocas analizadas (5.5—5.3—6.2).

Los cálculos ejecutados aquí, que presumen para la matriz un contenido todavía muy alto de cal, son ciertamente muy arbitrarios; pero también es claro que los números para SiO₂, Al₂O₃ y MgO alcanzarían una altura inverosímil si se calculara una reabsorción todavía más intensa de CaO. El valor indicado arriba MgO = 8.27 es probablemente demasiado alto para que se pudiera explicar su altura por la reabsorción de MgO, la cual tomando en cuenta el contenido poco considerable de magnesia del panino, sólo podría haber sido muy baja. El valor de Al₂O₃ = 10.15 corresponde al contenido bastante uniforme de alúmina de las granodioritas examinadas y el valor $n=7$ probablemente conforme con la composición original del magma, indicaría un magma más básico si se pudiera deducir de los análisis citados arriba para la región de Concepción, que la acidez de las rocas disminuye con el aumento de n . El carácter básico original del magma es

también por esto muy probable, porque un poco de ácido silíceo del panino debe haber sido reabsorbido seguramente.

De los por cientos moleculares para SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , FeO , MgO , K_2O y Na_2O se puede, en vista de la composición mineralógica sencilla de la roca, calcular con alguna aproximación la proporción por ciento de los componentes principales feldespato: granate y diopsida. Tomando entonces en cuenta las cantidades completas de SiO_2 y $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ obtenemos la distribución siguiente:

	SiO_2	$\text{Al}_2\text{O}_3 +$ Fe_2O_3	CaO	$\text{MgO} +$ FeO	K_2O	Na_2O
Ortoclasa (2 Or).....	8,52	1,42	... ..	.....	1,42	..... 11,36
Albita (2 Ab.).....	22,50	3,75	.....	.....	.....	3,75 30,00
Anortita (An).....	3,84	1,92	1,92	.....	.....	..... 7,68
Diopsida.....	15,74	.....	7,87	7,87	.....	..... 31,48
Granate.....	7,41	2,47	7,41	.....	.....	..... 17,29
	<u>58,01</u>	<u>9,56</u>	<u>17,20</u>	<u>7,87</u>	<u>1,42</u>	<u>3,75 97,81</u>

Quedaría un resto de 0.86 CaO que estaría en parte combinada a la titanita.

En este cálculo las proporciones moleculares referentes a granate y anortita fueron determinadas al último, de modo que es posible que los números encontrados para la anortita sean un poco bajos; resultaría para la plagioclasa $\text{Ab} : \text{An} = 60 : 7.68$ ó $\text{Ab}_{80} \text{An}_{20}$. De todos modos este resultado no está en desacuerdo con el del examen microscópico, porque también así se comprueba la presencia de una mezcla ácida de plagioclasa.

En la roca de la Piedra Cargada los diques delgados macroscópicamente visibles de diopsida y granate presentan un fenómeno muy curioso. En las grietas finas se pueden determinar con la lente granate y prismas de diopsida, ambos incoloros. En la lámina examinada se observa una grieta microscópica de esta clase. Entre el granate y la diopsida que rellenan la grieta y las que se encuentran en la roca del dique no hay ninguna diferencia aparte de la anomalía débil del granate del dique. En donde la grieta atraviesa un cristal de plagioclasa se puede ver fácilmente que éste, a pesar de la potencia mínima de la grieta, de 0.15 mm. solamente ha sido transformado en granate. Hay que admitir que agentes semejantes al carácter del magma alterado por adición de cal, magnesia y probablemente ácido silíceo, circularon más tarde por segunda vez en las grietas de la roca.

LA TRANSFORMACION DE LA GRANODIORITA EN ROCA DE GRANATE

(LA CINTA DE GRANATE)

Como ya lo mencionamos hubo en la roca del dique de la Piedra Cargada una transformación, aunque en pequeña escala, de la plagioclasa en granate a lo largo de grietas finas con granate y diopsida. Tal transformación

se observa muchas veces en un grado más intenso en donde la granodiorita ó sus modificaciones marginales se encuentran en el límite de la caliza. Principalmente se trata de caliza con Nerineas, que se transformó casi siempre en una roca de granate, frecuentemente de muchos metros de ancho por lo general amarillo-verdosa y atravesada de diopsida, wollastonita, cuarzo, espato calizo y menas. Con esta roca de granate se encuentra tan íntimamente ligada la que se formó de la roca eruptiva y que llamaremos aquí cinta de granate, así como con la diorita misma, de modo que se puede obtener con frecuencia una muestra de las tres zonas de rocas, tanto más que según mis observaciones la cinta de granate es de un ancho de unos cuantos centímetros.

En su totalidad, así como en su detalle, el límite de contacto es muy irregular, lo que se ve tanto en las minas como en las muestras en pequeña escala. En estas se ve cómo la diorita penetra á veces de un modo sinuoso ó bajo la forma de pequeños apófisis en la roca de granate; aun en las proporciones mínimas de la lámina se puede comprobar á veces una verdadera impregnación de la roca del contacto por material eruptivo. En algunos lugares, diques enteros de roca han sido transformados en roca de granate, como por ejemplo: varias inyecciones delgadas observadas cerca de un manantial en la bajada del Puerto del Arco á Catarroyo (fig. 1.) ó en el Puerto del Arco mismo, en donde tales diques de roca de granate se levantan de la caliza transformada como arrecifes de cuarzo.

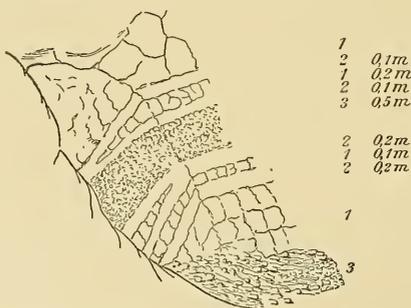


Fig. 1.—Corte en la boca-mina del socavón cerca del manantial en el Valle del Arco. 1. Granodiorita. 2. Granodiorita transformada en roca de granate. 3. Roca de granate granulosa. Escala 1 : 60.

El límite entre la roca eruptiva y su cinta de granate es por lo general muy bien marcado. Puede volverse poco claro en los detalles por la circunstancia de que la transformación en granate haya avanzado en grietas finas desde el último hacia la diorita coloreando la roca con tintes rojizas ó verduscas. Sin embargo, las láminas examinadas de la diorita encontrada en el límite inmediato del granate no dejan reconocer transformaciones notables en comparación con la roca no alterada, no tomando en cuenta aquí las particularidades de estructura y de composición mineralógica caracte-

rísticas para la facies marginal. Es cierto que hay que recordar la coloración viva de verde de muchas pyroxenas de las rocas marginales (comp. p. 27) la que se repite en los restos de pyroxenas observables en la cinta de granate. La plagioclasa es aquí mucho más rica en partes turbias opacas, pero es completamente fresca hasta la cinta de granate dejando aparte una formación ocasional y secundaria de kaolín. A lo largo de la cinta de granate se encuentran granos de granate esparcidos en la diorita fresca.

La cinta de granate es por lo general una roca muy compacta y dura que deja reconocer macroscópicamente fenocristales más claros y angulosos, en una pasta fundamental ordinariamente amarillo-verdosa recordando una formación de epidota. Estos corresponden según su alineamiento, forma, tamaño y número á los fenocristales porfíricos de plagioclasa de la roca fresca limitrofe tan perfectamente, que nadie puede dudar de su origen ni de su significación. Perdieron sin embargo el lustre de la plagioclasa, muestran solamente indicaciones incompletas de crucero, no presentan lamina-ción de gemelos y consisten según el examen microscópico, de granate casi incoloro. En la pasta fundamental verde se observa con la lente en algunas muestras restos de pyroxena ú hornblenda, pero nunca de mica. Depósitos con algo de chalcopirita se encuentran en la cinta de granate y en la roca de granate limitrofe como formación contemporánea y en la diorita colindante á veces como impregnación.

Láminas que provienen de la cinta de granate muestran el hecho sorprendente que la roca eruptiva ha sido transformada casi sin restos y sin transiciones en roca de granate de grano fino, con adiciones secundarias de diopside incolora, wollastonita, cuarzo y espato calizo. El examen se basa principalmente en material del Puerto del Arco, pero la cinta de granate en la mina Jaime en Arauzazú muestra un carácter microscópico muy semejante.

El feldespató desapareció en todas las preparaciones á pesar de que estas provienen de una distancia de sólo unos milímetros de la roca fresca. En su lugar entró granate en granos que deja reconocer una estructura zonal muy bien definida causada por la finura del grano y no por el color ó por consiguiente por la composición química. Esta estructura zonal recuerda enteramente la de las plagioclasas (lám. VIII, fig. 3). A pesar de esto no pretendo que haya una relación entre los dos fenómenos, porque la plagioclasa de la diorita no presenta la estructura zonal en lo general con tanta frecuencia y con tanta perfección como estas pseudomorfosis. Creo que no es imposible reconocer en dicha estructura zonal varios períodos de la transformación centripetal. Así se ven en una lámina algunas zonas de wollastonita finamente cristalina. Ya durante el proceso de la transformación tuvo lugar un fracturamiento de los cristales de plagioclasa de modo que se formaron desde algunas zonas granate y wollastonita en grietas. Las diferentes zonas se distinguen en estas pseudomorfosis no solamente por el tamaño de los granos del granate casi totalmente isotropo, sino también por la di-

ferente compacidad de inclusiones mínimas que originan una coloración, parda turbia del mineral. Estas también con la mayor amplificación todavía se parecen á un polvo finísimo sucio más ó menos denso, que puede hacer opaco el mineral ó algunas zonas de él; su naturaleza no se puede reconocer ni con una amplificación de 1200 veces. Estas zonas turbias aparecen blancas á la luz reflejada. Probablemente se trata de burbujas de gas y líquido; por lo menos reconocí en un granate verdaderas cavidades relativamente grandes y numerosas que según el margen obscuro causado por la reflexión total estarán rellenas de gas. Mencionaré aquí que todos los minerales transparentes de la cinta de granate son más ó menos ricos en ampollas.

La pasta fundamental de la diorita porfírica ha sido sustituida por una mezcla de granate, por lo general con diopsida, mas raras veces con wollastonita y frecuentemente con cuarzo, espatocalizo y un poco de apatita. El granate, la diopsida y la wollastonita son más ó menos contemporáneos; la formación de granate puede haber empezado un poco antes de la cristalización de los otros silicatos. El cuarzo y el espatocalizo son un poco más recientes perteneciendo sin embargo al mismo proceso de formación mineral. No se pudo decidir con seguridad si á veces el cuarzo sustituyó al espatocalizo.

Los silicatos no están distribuidos de un modo regular en la pasta fundamental. Los individuos de granate tienen aquí un tamaño muy variable; tanto en granos muy finos, como netamente cristalino, el mineral se presenta también drúsico y entonces no raras veces con anomalía óptica; esto último acontece en el mismo individuo, á veces en el núcleo, otras veces en la zona exterior. Con frecuencia cristales bastante grandes de granate muestran una estructura conchoide de capas delgadas, de refracción muy distinta y de diferencias claras en el color, las cuales provienen de un grado distinto de doble refracción. Partes claras de granate pobres en inclusiones muestran con más frecuencia la anomalía que las opacas. Para la explicación de las últimas no hay indicios, sin embargo se puede decir que en estas rocas los granates anormales son los más recientes.

En varias preparaciones se encuentran cantidades mayores de pyroxena y á veces también de hornblenda. La pyroxena es de dos clases; en una de las láminas consiste aparentemente sólo de restos uniformes corroidos de la pyroxena diorítica; en otra se encuentran al lado de individuos uniformes grandes, también corroidos y más ó menos transformados, numerosos granos y agregados de una diopsida recién formada. La pyroxena diorítica más antigua y los restos de hornblenda del mismo origen que se encuentran al lado de ella, se distinguen por su color verde ó amarillo en la lámina, por las inclusiones escasas de menas negras y por la corrosión indudable del resto de los silicatos que componen la cinta granatoide. Estas inclusiones verdes no siempre pueden determinarse y distinguirse, faltando en ellas una limitación exterior marcada. Considero como hornblenda los individuos

con crucero bien definido con ángulo de extinción pequeño y con un pleocroismo claro que demuestra tintes pardos, azul verdosos, amarillos vivos y amarillos verdosos, distinguiéndose así de la anfibola diorítica no alterada. La pyroxena se reconoce con seguridad por el ángulo de extinción muy grande y por un crucero menos aparente; es de color amarillo verdoso ó presenta la coloración verde nebulosa característica para muchas pyroxenas de la zona diorítica marginal ya antes mencionada. Es muy intensa sobre todo cerca de la periferia del grano y casi incolora en otras partes. Como los feldespatos transformados en granate, también los restos de pyroxena y hornblenda han sido fracturados repetidas veces durante la transformación y se presentan en ciertos casos como fragmentos del mismo fenocristal de tamaño considerable. La corrosión engendra muchas veces formas muy irregulares sinuosas en la lámina ó una separación en pedazos aparentemente aislados, cuya relación mutua dentro del resto de la masa de silicatos se puede comprobar todavía por su orientación óptica común. La extinción de la pyroxena verde hierba se determinó en un caso como $C:c = 53^\circ$, no pudiéndose tratar pues de aegirina.

En una lámina muy rica en wollastonita la transformación de la hornblenda verde presenta los detalles siguientes. Las zonas marginales del mineral se rellenan en partes con polvo opaco, el margen mismo presenta fenómenos de reabsorción y en el lugar de la hornblenda entra una mezcla de granate y wollastonita que recuerda por su refracción muy distinta de éstos dos minerales el aspecto de una esponja muy porosa. En el interior se forman partes irregulares de granate por las cuales la hornblenda aparece como perforada por polilla. El mineral de hierro contenido en la anfibola se encuentra completamente reabsorbido por el granate. La reabsorción de la pyroxena verde es muy semejante. En una lámina aparentemente exenta de hornblenda se ve cómo en una sección transversal de pyroxena ejecutada paralelamente al plano de simetría, se desarrollan con preferencia en partes más intensamente coloridas, varillitas opacas tanto paralelas al eje c , tanto inclinadas en relación con él bajo 75° más ó menos. En su cercanía la pyroxena ha sido transformada en granate que forma en ella cuadros más ó menos rectangulares en parte contiguos entre sí. En una lámina que proviene de la cinta de granate de la mina Jaime se encuentran al lado de pseudomorfosis de granate según feldespato, también otras en las cuales la transformación engendró primero un agregado de partículas rectangulares de granate compacto turbio, isotropo y después en los intersticios granos de granate anómalos y más claros. Ya no se puede reconocer cuál es el mineral transformado en este caso. Ni en la hornblenda ni en la pyroxena se pueden comprobar siempre grietas por las cuales pudieran haber penetrado los agentes que formaron el granate. A veces yacen restos de pyroxena diorítica verde más antigua, en medio de acumulaciones con límites rectangulares de granate y granos más modernos de diopsida; los antiguos restos muestran en su orientación común todavía su relación,

mientras que los individuos modernos de diopsida forman un agregado irregular. En tanto que las pyroxenas no están coloridas de verde y no muestran fenómenos notables de reabsorción no se puede distinguir siempre netamente la pyroxena diorítica más antigua de la diopsida recién formada. Hay que mencionar que la última nunca encierra minerales de hierro y es incolora ó de un verde muy claro. No se puede resolver si los agregados ya mencionados de granos más ó menos bien limitados y angulosos, casi exclusivamente formados de diopsida y á veces encerrando también apatita, no pueden ser explicados en parte por una desagregación molecular de hornblenda.

En una muestra rica en restos de hornblenda amarilla verdosa parece faltar enteramente la diopsida más reciente; en su lugar se observa aún macroscópicamente wollastonita. En la lámina se ve que es más ó menos contemporánea con el granate; quizá su cristalización empezó un poco más tarde que la del último. La dirección de la extinción concuerda generalmente con la dirección de las fibras, el plano óptico de los ejes está perpendicular á la extensión longitudinal de los individuos. Secciones octogonales semejantes á las de la pyroxena dejan reconocer tres direcciones de cruceo muy bien marcadas, de las cuales ninguna se encuentra paralela al eje óptico de elasticidad. La wollastonita es pobre en inclusiones; á veces se observan agrupaciones de cavidades en parte con una burbuja. Como producto de transformación de la wollastonita se observan agregados de un carbonato en fibras finas que según el examen microscópico no parece ser espatocalizo, sino más bien aragonita.

La apatita no es muy rara en las rocas de la cinta de granate. Se presenta en individuos de tamaño mayor que en la roca eruptiva y por eso ha sido seguramente transformada. Los cristales prismáticos no tienen límites muy claros, pero dejan reconocer en parte con claridad el corte transversal exagonal; el carácter negativo, el eje único, la fuerte refracción y la doble refracción débil no dejan en duda la naturaleza del mineral. Este está relleno de ampollas relativamente grandes.

Al lado de la diopsida se presenta á veces mucho cuarzo con ó sin espatocalizo é íntimamente ligado con el granate. Rellena en él, por decirlo así, drusas, cuyo núcleo puede ser también granate. El cuarzo y el espatocalizo pertenecen al mismo proceso de formación que los silicatos. El cuarzo encierra inclusiones de líquido con burbuja muy móvil y granitos y cristallitos con caras bien limitadas ($\infty O, 2O_2$) de granate. Calentando ligeramente la burbuja desaparece temporalmente, lo que demuestra que las primeras contienen por lo menos en parte ácido carbónico líquido.

El señor profesor Dr. M. Dittrich ha analizado una muestra de la cinta de granate que colinda con la diorita de pyroxena y mica, cuarcífera y de grano fino (núm. 8) del puerto del Arco y que se ha formado por la transformación de esta última roca; la muestra presenta la diorita no alterada y fresca y la cinta de granate. Fenocristales de plagioclasa frescos, blancos y

prismas de pyroxena azul-verdosa son los componentes característicos de la roca eruptiva; además se encuentran, reconocibles á la simple vista, los cristales alargados de mica con su cinta de pyroxena y plagioclasa (véase p. 18). Con la lente se reconocen fenocristales de granate. Muy bien marcado es el límite de la cinta de granate. Sin un estudio detenido se podría creer que se trataba de una zona de descomposición en la roca colorida de verde por una formación cuantiosa de epidota, también se ha conservado la estructura de la roca. Se ven las pseudomorfosis según feldespato claras compuestas de granate compacto, entre ellas (á la lente) la pasta fundamental algo drúsica por efecto de la disolución y principalmente compuesta también de granate amarillo-verdoso y en ella todavía con bastante claridad las pseudomorfosis según pyroxena igualmente compuestas de granate y en parte de restos bien conservados de pyroxena azul-verdosa. De biotita no se observa ni huella. La cinta de granate tiene un ancho de sólo 3 cm.; á mayor distancia de la roca fresca la roca granatífera ya no muestra la estructura de la diorita ni las pseudomorfosis. Según esta muestra no cabe duda que la cinta de granate realmente es una diorita transformada.

Al microscopio la roca se compone de granate principalmente de color pardo claro ó verde claro, en parte en pseudomorfosis claras muy bien limitadas según cristales de plagioclasa, con una estructura zonal muy notable que recuerda perfectamente la estructura conchoide de este último mineral, de bastante cuarzo, de diopsida y un poco de espato calizo. De esta muestra se ha tomado la sección representada en la lámina VIII, fig. 3. El resultado de su análisis fué:

	A	B	
	Análisis total	Insoluble en HCl (calculado)	Soluble en HCl
SiO ₂	41,49	32,78	8,71
TiO ₂	0,42	0,14	0,28
Al ₂ O ₃	11,68	2,58	9,10
Fe ₂ O ₃	11,14	1,19	10,46
FeO	0,46	—	—
MnO	0,12	—	0,12
CaO	30,80	4,61	26,19
MgO	1,73	1,58	0,15
K ₂ O }	0,82	0,10	0,12
Na ₂ O }		0,10	
P ₂ O ₅	0,03	—	0,03
S.....	huella	—	—
Pérdida al rojo.....	1,25	} H ₂ O = 1,08 CO ₂ = 0,17 (calculado).	
	99,44		

Suponiendo que la muestra pudiera contener productos secundarios de descomposición supliqué al señor profesor Dr. Dittrich, que lavara el polvo con ácido clorhídrico caliente antes de comenzar el análisis. El tratamiento con el ácido tuvo la consecuencia inesperada que una parte bastante

grande del polvo mismo fué disuelta. En el análisis anterior fueron mencionados en B el producto de la disolución y el residuo; el tratamiento fué continuado hasta que el HCl diluído (1 : 4) y en varias veces renovado ya no mostraba coloración.

El residuo deja reconocer al microscopio astillas angulosas de diopsida y granos de granate.

Como lo demuestran los análisis el contenido de magnesia del polvo ha cambiado muy poco por la lixiviación, lo que concuerda con la resistencia de la diopsida al ácido clorhídrico. El granate al contrario ha sido destruído en su mayor parte.

Para poder juzgar de la adición de materia y quizá también de su disminución durante la formación de la cinta de granate, se debería saber si algunos componentes químicos han conservado su cantidad durante la transformación de la roca y cuáles fueron éstos. Si se pudiera suponer que, como en muchos otros procesos de transformación, la cantidad de alúmina no haya cambiado y que la granodiorita transformada haya poseído la composición de la roca VI muy semejante que proviene también del Puerto del Arco (p. 9), entonces el cuadro siguiente podría demostrar los cambios de las proporciones entre los porcentos de peso de alúmina y de los otros componentes esenciales.

	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
VI.	1,00	4,02	0,13	0,08	0,53	0,21	0,30	0,27
							0,57	
A.	1,00	3,55	0,95	0,04	2,63	0,15	0,03	

La proporción del ácido silícico habría entonces quedado aproximadamente la misma, un aumento considerable lo muestra el contenido de cal y también el contenido de Fe₂O₃ habría aumentado mientras que la cantidad de MgO habría cambiado aparentemente poco; las substancias alcalinas habrían desaparecido por completo. Este resultado corresponderá probablemente en lo general á la realidad, aunque estaría justificada la suposición de una adición tanto de alúmina como de ácido silícico. Pues sin tal adición no se puede concebir el origen de la roca granatífera inmediata precedente de calizas bastante puras, ni el de las formaciones de wollastonita en partes bastante considerable, de las cuales hablaremos más adelante. Comparando el análisis con la composición mineralógica de la roca resulta que el granate debe ser un granate de cal, alúmina y fierro.

La transformación de la granodiorita y el origen de la roca granatífera formada de la caliza é íntimamente ligada con la cinta de granate fueron seguramente contemporáneos; debe haberse producido cuando la roca eruptiva se había consolidado por lo menos ya en gran parte. Esto lo indica la estructura de la cinta de granate con sus pseudomorfofisis según plagioclasa,

sus restos de hornblenda y pyroxena y la extensión del fenómeno ocasionalmente visible a lo largo de las grietitas capilares de la roca eruptiva. La adición de materia tuvo lugar desde abajo y del lado, principalmente desde la caliza; sin adición de cal la cinta de granate no podría haberse formado, y esta provenía desde la caliza, está comprobado por el hecho de que tales formaciones faltan lejos del contacto, es decir, en el interior del macizo de granodiorita.

La estructura de la cinta de granate recuerda en muchos puntos las rocas de contacto; no se puede reconocer una serie determinada de la edad de los minerales participantes. El límite entre ella y la roca eruptiva es muy marcado y al mismo tiempo los componentes de la roca fueron destruidos casi sin dejar resto; el feldespato desapareció por completo, y lo mismo la biotita, el cuarzo de la roca y la titanita. La hornblenda y la pyroxena resistieron mayor tiempo a la reabsorción ó transformación; la apatita ha sido recrystalizada.

La diorita no muestra fusión en ninguna parte del contacto; ni en las cercanías inmediatas a la cinta de granate se puede reconocer formación de vidrio en sus feldespatos. Para eso sería necesaria la alta temperatura de fusión del labrador Ab_1An_1 (1415-1426°).¹ La presencia del cuarzo y de la wollastonita ponen un límite mucho más bajo a la temperatura que predominaba al tiempo de la formación de los minerales. Ambos son componentes primarios de la cinta de granate y no pseudomorfosis; el cuarzo se forma sólo a temperaturas más bajas de 800°,² la wollastonita sólo abajo de 1180°.³ Respecto al límite inferior de la temperatura necesaria para este proceso daría algún indicio la falta completa de silicatos primarios hidratados, principalmente la epidota.⁴ La formación de la cinta de granate no se tendrá que referir a soluciones sino a una penetración de gases; no se encuentran pruebas como p. e. una estructura en capas de los macizos para la influencia de agua líquida cuya existencia sería concebible hasta una temperatura de 365° bajo una presión simultánea de 200 atmósferas (correspondiente al peso de una cubierta de caliza de una potencia de 800 m.). Con seguridad se puede decir que exhalaciones enormes de ácido carbónico deben haber acompañado la formación de granate; de cada metro cúbico de la caliza transformada deben haberse producido en números redondos 1,200 kg. de CO_2 .

1 Day and Allen, The isomorphism, and thermal properties of the feldspars. *Am. Jour. of Sc.* 19, 1905, p. 93-142.

2 Day and Sheperd, The lime-silica series of minerals. *Am. Jour. of Sc.* 22, 1906, p. 265-302; Die Kalkieselsreihe der Minerale. *Min. petr. Mitt.* 26, 1907, p. 169-232.

3 Allen and White, On wollastonite and pseudo-wollastonite, polymorphic form of calcium metasilicate; with optical study by Fred. Eugene Wright. *Am. Jour. of Sc.* 21, 1906, p. 89-108.

4 Mencionaré aquí que Specia (El dinamometamorfismo e la minerogenesi. *Atti R. Accad. d. Scienze di Torino.* 40, 1904-1905. Adun. del 7 maggio 1905) en vano ha tratado de obtener la síntesis de la wollastonita de calcita y ácido silícico gelatinoso a temperaturas entre 100° y 200° durante siete días.

Los fenómenos exógenos de contacto

OBSERVACIONES GENERALES

Dándole á la idea de los fenómenos exógenos de contacto la concepción más amplia, describiré en las páginas siguientes, conforme á la subdivisión dada en p. 26, las transformaciones de los sedimentos con ó sin adición de materia, así como todas las formaciones de minerales de la cercanía del contacto en los sedimentos y procedentes con toda seguridad ó con gran probabilidad de la roca eruptiva. El capítulo siguiente se ocupa pues en la verdadera metamorfosis de contacto y la formación de los criaderos de menas.

En la región que estudié los sedimentos se componen casi únicamente de calizas. Su impureza consiste esencialmente en ácido silícico distribuido en la roca, unas veces concentrado en concreciones de pedernal, otras veces como arena cuarzosa, en algunos casos en cantidad muy considerable. En las numerosas rocas de contacto estudiadas, no he podido demostrar la existencia del ácido fosfórico bajo ninguna forma, tan considerable en varias capas no alteradas del Jurásico superior. Magnesia, fierro y alúmina no desempeñan un papel importante en los sedimentos, como lo demostrarán los análisis que se dan más adelante; margas y calizas dolomíticas no las he encontrado en las cercanías de Concepción.¹

De acuerdo con la falta casi completa de alúmina en los sedimentos se debería esperar como producto de contacto únicamente mármol y silicatos de cal libres de alúmina. Realmente la wollastonita es muy frecuente en algunas partes alrededor de Concepción, pero el granate más ó menos rico en fierro forma el mineral de contacto más importante y se encuentra á veces en masas grandes. De esto resulta que la metamorfosis debe haber tenido lugar bajo una adición considerable de materia. Diopsida, vesuvianita, dipyro y epidota son otros minerales de contacto; en algunos casos raros he encontrado también hornblenda y zoisita. En un capítulo especial dispondremos hasta qué grado, según una opinión bastante generalizada, los silicatos se han formado por una transposición molecular de la materia contenida en la caliza ó hasta qué grado fué necesaria para su formación una adición de materia procedente de la roca eruptiva.

Las calizas más ó menos ricas en cuarzo arenoso, pertenecientes principalmente al Portlandiano, muestran una metamorfosis completamente distinta de la de las calizas con pedernal, por lo demás casi puras del Cretácico y del Jurásico; esto se puede decir por lo menos de la zona de contacto no colindando inmediatamente con la roca eruptiva, donde ambas de igual

1 Nos permitimos observar que en los trabajos citados de Burckhardt se hace constar que tanto en Mazapil como en Concepción del Oro se encuentran muchas capas arcillosas y margosas en la serie neojurásica; estas rocas se hacen notables por dar lugar siempre á una depresión característica en el terreno. (Nota de los traductores E. Böse y C. Burckhardt.)

manera han sido transformadas en roca de granate ó de vesuvianita. Fuera de esta zona la metamorfosis de la primera conduce á la formación de piedra córnea de wollastonita rica en cuarzo, la de la última á mármoles con un contenido de silicatos. Tenemos pues que discutir en lo siguiente varias clases de rocas de contacto.

La extensión de la metamorfosis de contacto no se puede limitar muy claramente, porque se pierde poco á poco con la distancia de la roca eruptiva. Como ya lo mencionamos antes (p. 6) sólo la parte del sistema de capas que según Burekhardt fué impulsada hacia arriba por la granodiorita, ha sido metamorfozada en parte. Burekhardt habrá limitado bien en su carta la zona de la metamorfosis visible; esta desaparece pues á una distancia de sólo unos 300 metros del macizo eruptivo; pero se debe tener en cuenta que varias veces como p. e. en la región del Picacho del Abra debajo de la roca sedimentaria se encontrarán á poca profundidad masas eruptivas y que la distancia del gran macizo principal no es necesariamente la del verdadero foco de la metamorfosis.

Probablemente todos los sedimentos de la región de Concepción son bituminosos y por esto teñidos más ó menos de gris, negro ó pardo. El grado de esta coloración no necesita corresponder de por sí á la cantidad de los hidrocarburos existentes, sino que podría depender de su clase especial y color. También calizas casi negras dieron con el tratamiento con ácido clorhídrico sólo un residuo pequeño carbonoso al lado del contenido del cuarzo generalmente poco considerable. El efecto de la atmósfera ha blanqueado muchas calizas primitivamente bituminosas y esto tanto más cuanto menos compacta es su estructura. Esto se refiere principalmente á las calizas del Portlandiano superior ricas en arena de cuarzo, en los afloramientos superficiales casi áspero-terrosos y en parte completamente blancos. El verdadero contenido de carbón en las calizas fué hecho visible y conservable por la metamorfosis de contacto, transformándose el hidrocarburo en grafito. La formación de la grafito es en Concepción un fenómeno que pertenece á la zona de contacto exterior; en los productos de metamorfosis de contacto más intensa, especialmente en donde ésta había tenido lugar con adición considerable de materia, no pude comprobar la presencia de carbón ó sólo en cantidades pequeñas. La formación de grafito tiene que referirse claramente á un proceso de destilación semejante á aquél que en las cercanías de rocas eruptivas transforma la lignita y la hulla en antracita. Este fenómeno da en la zona de contacto un color intensamente negro á muchas calizas que en lo general no llaman la atención por su color y que hasta son de color completamente claro en sus afloramientos superficiales. Esto se refiere á las capas del Portlandiano y á muchas capas de la caliza con Nerineas, lo que se observa perfectamente en el lado Sur del Picacho del Abra, donde tal capa en un pliegue fuertemente arqueado se hace visible desde lejos (lám. V, fig. 1).

Más cerca del contacto se observa una repartición en ondas y cintas del

contenido del carbón antes de que la caliza pase á mármol blanco. La coloración profundamente negra de algunas capas como p. e. de las calizas del Portlandiano ricas en wollastonita cerca del Picacho del Abra, no corresponde de ninguna manera á un contenido alto de grafito; en la mayor parte de los casos este contenido es muy pequeño como se puede comprobar calentando al rojo el residuo no disuelto en el ácido clorhídrico.

Todas las rocas de contacto tienen un contenido de pirita ó pyrrhotita, aunque en lo general muy pequeño. Las acumulaciones de mayor importancia de minerales de cobre y fierro, etc., que serán descritas aparte se encuentran por lo común más cerca al contacto.

Además de las transformaciones químicas y mineralógicas de las rocas, tendremos que mencionar también cambios mecánicos notables que se han producido durante la recristalización, probablemente como consecuencia de la presión de la roca eruptiva hacia arriba.

LA NATURALEZA QUIMICA DE LOS SEDIMENTOS NORMALES

Para poder seguir exactamente el proceso químico de la metamorfosis de contacto, es decir, una transformación de la cubierta de rocas metamorfizadas no sólo á consecuencia de cambios moleculares, sino también por una adición de materia por parte del magma, sería necesario comparar la composición química de determinadas capas de naturaleza normal con su producto de transformación, y todavía en este caso se tendría que suponer que una capa sedimentaria dentro de una extensión limitada tuviera una composición química poco variable, suposición no siempre justificada. Es cierto que cerca de Concepción el carácter de las capas en las diferentes formaciones es bastante distinto en parte, pero no me ha sido posible seguir determinado horizonte verticalmente poco extenso por todos los estados de la metamorfosis de contacto. En la cercanía del contacto series enteras de capas me parecían perder los caracteres necesarios para su reconocimiento, y dentro de la zona más ó menos potente de la transformación más intensa en el lugar de todos los sedimentos se encuentra una masa de silicatos de cal hasta de 80 m. de ancho y ya no se puede hablar de una serie de capas. Esta insuficiencia de la observación no es de tanta importancia porque dentro de complejos de capas bastante potentes, la naturaleza de los sedimentos casi todos calcáreos, es muy monótona y deja presumir una composición química bastante constante. Como ya lo mencioné no he encontrado rocas dolomíticas ó arcillosas cerca de Concepción. Pero varias capas son ricas en ácido silícico, otras al mismo tiempo en ácido fosfórico.

A continuación doy algunos análisis que fueron hechos de muestras de caliza escogidas arbitrariamente y que confirman lo dicho.

Caliza con Nerineas gris-obscura de la pendiente oriental del Picacho del Abra. Se disuelve fácilmente en ácido clorhídrico diluído dejando un residuo negro-pardusco. Análisis del Sr. Ayudante Dr. Zimmermann:

SiO ₂	3,20	3,19
Al ₂ O ₃	0,81	0,83
Ca CO ₃	95,67	95,73
Mg CO ₃	0,77	0,81
Fe ₂ O ₃	huella	.....
P ₂ O ₅	huella	.....
	<u>99,95</u>	<u>100,06</u>

En otra muestra de la caliza con Nerineas de la misma región encontró el Dr. Zimmermann:

SiO ₂	1,18	1,20
Al ₂ O ₃	0,70	0,69
Ca CO ₃	96,57	96,54
Mg CO ₃	1,55	1,49
Fe ₂ O ₃	huellas	.....
	<u>100,00</u>	<u>99,92</u>

Caliza gris-pardusca del Cretácico medio cerca de Mazapil, de la cual se ha quitado el pedernal mencionado más adelante. Disolviéndola con ácido clorhídrico quedan cristallitos mínimos de cuarzo que encierran substancia carbonosa. Analizada por el Dr. Zimmermann, dió:

SiO ₂	2,90	2,92
Fe ₂ O ₃	} 1,07	1,04
Al ₂ O ₃		
TiO ₂		
CaCO ₃	95,82	95,81
MgO.....	0,50	0,51
	<u>100,29</u>	<u>100,28</u>

Caliza apizarrada gris-pardusca cristalina de grano grueso del horizonte con *Waagenia* (Kimmeridgiano) con una impresión de *Perisphinctes* del Puerto de la Laborcilla. Análisis del Prof. Dr. Dittrich:

SiO ₂	20,54
Al ₂ O ₃	1,23
Fe ₂ O ₃	0,26
CaO.....	42,49
MgO.....	0,53
P ₂ O ₅	0,14
Pérdida al rojo (de esta 33,99 CO ₂).....	34,56
	<u>99,75</u>

Notable es el contenido pequeño de fósforo, fierro y magnesia y la gran cantidad de ácido silícico. Tratando 13.2 gr. de la misma roca con ácido clorhídrico, obtuve 21.4 por ciento de residuo seco, que calentado al rojo

perdió 0.4 por ciento. El pequeño resto que quedó después de calentar el residuo con ácido fluorhídrico, fué fundido con KHSO_4 lavado con agua fría y dió al hervir cantidades claras de ácido titánico, el que pudo comprobarse por H_2O_2 y en la perla de sal de fósforo con toda seguridad.

Una muestra de las calizas margosas, apizarradas, blancas del Portlandiano superior del Puerto de la Laborcilla, dió igualmente un residuo bastante cuantioso colorido de negro-pardusco por carbón que consistió casi únicamente de ácido silícico con un poco de alúmina y óxido de hierro.

El contenido de ácido fosfórico de las capas normales alcanza según Burekhardt¹ en tres horizontes del Jurásico superior, una cifra tan alta que aquellas rocas pueden ser llamadas fosforíticas. El horizonte fosforítico inferior pertenece, cerca de Mazapil, más allá de la montaña, al Kimeridgiano superior; un análisis ejecutado por el Dr. v. Vigier dió 0.93 por ciento de P_2O_5 . Otros dos horizontes más importantes se encuentran en el Portlandiano; v. Vigier encontró en ellos hasta 23.54 por ciento de P_2O_5 . Burekhardt cita además los análisis de muestras de la llamada caliza fosforítica roja (I) y de la gris (II) de la región de Mazapil, ejecutados por J. Bush. El color rojo de la primera proviene de impregnaciones con óxido de hierro. Es característico para esta clase de rocas que ambas son ricas en fósiles. La caliza roja posee una estructura singularmente nodular que debe su origen en parte á rifones de caliza de grano grueso, intercalados en una pasta fundamental de grano más fino. Las rocas son bastante ricas en carbón; una caliza fosforítica negra llena de conchas de *Aucella* dió al ser tratada por ácido clorhídrico un residuo carbonoso en forma de hojitas exagonales, probablemente grafito.

Bush encontró las composiciones siguientes:

	I		II ²
H_2O	0,81		0,37
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	36,59	$\text{P}_2\text{O}_5 = 16,76$	$41,18 \text{ P}_2\text{O}_5 = 18.87$
CaCO_3	19,66		26,45
CaFl_2	5,03		6,55
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$	0,65		0,43
Substancias orgánicas.....	0,58		1,10
Componentes no determinados.....	5,09		1,23
Residuo insoluble.....	32,09		22,69
	100,00		100,00

El residuo considerable se compone sin duda en su mayor parte de cuarzo.

Las calizas fosforíticas de la región de Concepción contienen, según C. Castro y F. Urbina:

1 BUREKHARDT. Sobre las rocas fosforíticas de las Sierras de Mazapil y Concepción del Oro, Zacatecas. *Pavergon. Inst. Geol. de México.* 2, 1907. pág. 63-67.

2 El Sr. Dr. Burekhardt me confirma que en el trabajo original se encuentra un error de imprenta, siendo el contenido verdadero de CaFl_2 6,55 y no 8,55 como se indica allí.

Puerto de la Laborcilla.....	16,08	P ₂ O ₅
Cerro del Temeroso.....	6,78	,,
Valle del Almagre.....	8,06	,,
Aranzazú.....	3,26	,,

Mencionaré aquí que no he encontrado bajo ninguna forma el alto contenido de fosfato de calcio y de fluoruro de calcio de estas rocas en el estudio microscópico de las rocas de contacto (véase abajo).

MÁRMOL EPIDOTÍFERO

A lo largo del camino de Aranzazú la zona de roca de granate del contacto inmediato en donde éste no está cubierto por acarreo y toba calcárea, parece ser poco potente. La caliza con Nerineas demuestra allí una transformación intensa en un mármol azulado ó verdoso claro, con un grano hasta de un centímetro, cuyo tamaño cambia hasta en una misma muestra. En donde contiene segregaciones de pedernal como especialmente en la parte superior del camino más allá del salto de agua, estas se han transformado en granate verde. Estas intercalaciones de roca de granate cuyas dimensiones cambian mucho y disminuyen hasta la de cintas finísimas, son en partes despedazadas como en un material plástico, arqueadas y los fragmentos son movidos (láms. V, fig. 2 y VI, fig. 2). Sin duda esta transformación mecánica ha tenido lugar durante la recristalización de la caliza, pues no la he visto en ninguna parte fuera de la zona de contacto cerca de Concepción, mientras que arrugamientos, plegamientos y despedazamientos, no son de ninguna manera raros cerca del contacto. En el presente caso, el mármol mismo que encierra las inclusiones de roca de granate despedazadas no muestra indicios de los efectos de tensiones ó presiones. Es tan uniformemente granulado y homogéneo, que sólo la posición cambiada de las inclusiones deja reconocer que aquí ha tenido lugar un efecto mecánico durante la formación del mármol. Este efecto proviene seguramente del magma ascendente.

Para encontrar la causa de la coloración de verde más intenso, en partes del mármol, disolví primero grandes cantidades de él en ácido clorhídrico y obtuve un residuo en forma de polvo, compuesto principalmente de epidota, muy poco granate, individuos aislados de plagioclasa, dodecaedros pentagonales así como hojitas rectangulares y varillas de pirita, y por fin grandes cantidades de esqueletos de ácido silíceo. Traté de nuevo cantidades de mármol con ácido acético y entonces quedaron en lugar de los esqueletos numerosos cristales de tamaño microscópico, de un mineral incoloro. Este último forma prismas y grupos de prismas de un aspecto algo fibroso, lo que quizá se puede referir á un crucero paralelo al eje longitudinal. Estos cristales encierran en algunos casos grafito. Tratando el residuo con acetileno tetrabromado pude aislar un polvo bastante puro, perfectamente blanco, compuesto de estos cristalitos, mezclados con muy poca epidota.

ta y de un peso específico aproximadamente de 2.65. A veces los individuos son fusiformes, pero otras veces muestran un perfil claramente octagonal alargado y permiten reconocer, no obstante sus aristas arredondadas, á veces caras, que interpretadas como formas del sistema monoclinico, se podrían designar como ∞P , $\infty P\infty$, $\infty P\infty$, OP y como pirámides planas ó domas. El carácter óptico de la zona principal se mostró en estas observaciones generalmente como positivo, pero frecuentemente también como negativo, la doble refracción es bastante fuerte; el mineral tiene dos ejes ópticos con una extinción aparentemente recta; el plano de los ejes está perpendicular á la extensión longitudinal de los prismas; los ejes muestran una dispersión clara. Sólo excepcionalmente los individuos alcanzan una longitud de $0.{}^{\text{mm}}3$, por lo general su tamaño es apenas de $0.{}^{\text{mm}}05$. La determinación más exacta de la refracción es impedida por la circunstancia de que los cristallitos están claramente destruidos en su superficie por la acción del ácido acético y cubiertos de una película de ácido silícico amorfo, de modo que aparecen ser de menor refracción que el bálsamo de Canadá. Considerando sus propiedades ópticas tomo el mineral por wollastonita; esto indica también su comportamiento con relación á la influencia de los ácidos, especialmente del ácido acético.¹ El peso específico demasiado bajo se explicaría por el ácido silícico amorfo pegado en el mineral. Las plagioclasas escasas y defectuosamente desarrolladas poseen para α y ϵ una refracción mayor que el bálsamo de Canadá. El espato calizo del mármol muestra la laminación de gemelos según $-\frac{1}{2}R$.

Como lo demuestra una piedra rodada, estas rocas epidotíferas se encuentran también en la zona de las calizas con Nerineas gráficas metamorfizadas del Valle del Arco. Al microscópio este mármol muestra en lo general una estructura alotriomorfo-granuda, pero también numerosos individuos intercalados de espato calizo de forma prismática. Especialmente en estos últimos ha tenido lugar un enriquecimiento en carbón, por lo cual se logra separar de la roca tales prismas por medio del ácido acético como fenocristales difícilmente atacables. La caliza contiene además de pirita bastantes prismas de epidota imperfectamente desarrollados. El mineral incoloro, hasta en granos aislados, raras veces es un poco verdoso; demuestra una doble refracción fuerte sin colores de interferencia, anómalos, el plano de los ejes ópticos está vertical á la zona principal, la dispersión no es notable. No obstante su falta de coloración el mineral no debe considerarse por esto como clinozoisita, sino como epidota sin fierro ó pobre en fierro.

¹ Wollastonita de Perheniemi se descompone bastante pronto en el ácido acético diluido caliente; en ácido acético frío se disuelve completamente después de algunos días, quedando un residuo de esqueletos de ácido silícico. Respecto á la descomposición del mismo mineral por sulfato de fierro y sulfato de cobre véase *Centrabl. f. Min.* etc. 1909, p. 163 y 167.

CALIZA CON DIPYRO Y DIOPSIDA

En la cima del Picacho del Abra se encuentra una caliza con Nerineas grafitica algo cristalina, en la cual están diseminadas en todas partes agujas negras opacas de dipyro y cristales imperfectamente desarrollados, en láminas anchas y también opacas de diopsida. Ambos minerales fueron separados de la roca por medio del ácido acético; la roca es también bastante rica en pyrita.

La escapolita forma prismas hasta de una longitud de 6 mm., y de un espesor aproximadamente de 0.5-0.^{mm}75 con un desarrollo equivalente y completamente igual, según $\infty P \acute{e} \infty P \infty$. Los extremos están en lo general desarrollados de una manera fibroso-dentada, sólo de vez en cuando se observa la indicación de una pirámide muy obtusa. Con mucha frecuencia se ven en los prismas aislados por la intemperie ó en los que fueron tratados con ácido acético en los polos una concavidad ó la salida de un canal axial fino, que quizá corresponde á un núcleo de espato calizo. El desarrollo de los prismas es en lo general bastante regular; sin embargo se hallan también numerosos individuos con caras débilmente arqueadas. Las caras de los prismas tienen un lustre mate y por esto no permiten medidas completamente exactas; no obstante esto doy en seguida los valores medios de la medición de tres cristales.

I	II	III
44°58'	44°59'	44°58'
44 36	44 56	44 50
44 59	45 2	45 20
45 22	44 56	44 45
44 58	45 16	45 7
44 49	—	—
45 3	89 47	89 54
45 15	45 8	45 2

El mineral es muy quebradizo, las agujas se rompen con la mayor facilidad. El ácido clorhídrico caliente no lo ataca notablemente, mientras que el ácido fluorhídrico caliente lo disuelve fácilmente, dejando un residuo carbonoso. El examen químico de la solución demostró la presencia de cal, alúmina y fierro, el último provendrá probablemente de inclusiones de pyrita descompuestas. El estudio microquímico sólo pudo comprobar pequeñas cantidades de sodio; el Sr. Dr. Zimmermann, ayudante en el laboratorio químico de la Academia de Minas de Claustal, encontró por medio del método de Lawrence Smith, 2.65 por ciento de Na_2O ,¹ pero nada de po-

¹ Como no tenía más que 0.1148 gr. de la substancia á su disposición, y el dipyro examinado, seguramente no fué completamente puro, el resultado del análisis se puede considerar sólo como un valor aproximativo.

tasio. El dipyro de Concepción pertenece pues á las variedades más pobres en sodio de este mineral.¹

El peso específico es 2.62. El mineral es ópticamente negativo, la refracción de las astillas es aproximadamente 1.55. La coloración negra se debe referir seguramente á inclusiones de carbón y á un poco de pyrita; en astillas delgadas el mineral es transparente y de por sí incoloro.

La diopsida se encuentra en hojitas largas y anchas aproximadamente de 2 á 3 mm. y de un espesor de unos 0.^{mm}5, que miradas superficialmente son de forma oval. Su exterior es fibroso-áspero; estudiándolo más detenidamente se reconoce también con frecuencia una limitación por planos poco claros y ásperos (fig. 2).

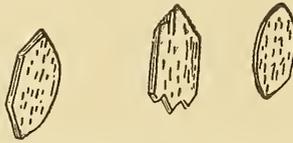


Fig. 2. Hojitas aisladas de diopsida de la caliza con dipyro del Pichacho del Abra. Aumento aproximadamente 8.

Como encierran según la lámina microscópica bastante espato calizo, la influencia de la atmósfera ó el tratamiento con ácidos las hace hasta alguna distancia de la superficie porosas y turbias. Láminas paralelas á la extensión máxima de las hojitas muestran una refracción bastante alta, doble refracción mediana y la salida de un eje. El plano principal es por consiguiente $\infty P \infty$; el plano del eje se encuentra paralelo con la salida de las grietas de crucero muy bien marcadas indicando estas últimas la dirección de c_1 . La hipérbola muestra en el margen interior la cinta azul característica. El peso específico del mineral atravesado por substancia carbonosa, espato calizo, titanita y probablemente también algo de dipyro es mayor que 3. Las inclusiones de líquido con burbuja contenidas en el mineral no dan reacción con un calentamiento débil. No pude encontrar pruebas para formaciones regulares de gemelos p. e. según $\infty P \infty$. El crucero paralelo al eje c es bien marcado, además se observa una separación muy pronunciada según $\infty P \infty$.

LAS ROCAS DE WOLLASTONITA.

Después del granate la wollastonita es el mineral de contacto más común de la región de Concepción. Aparte de su existencia no muy segura en los mármoles epidotíferos entra en abundancia en la composición de los criaderos metalíferos de Aranzazú, que se discutirán más abajo, se encuen-

¹ Salomon Ueber die Kontaktminerale der Adamellogruppe. *Mit. petr. Mitt. N. F.* 15, 1896, p. 159-183.

tra á veces formando peñas acompañado de otros minerales y es por último en las capas metamorizadas del Portlandiano y del Kimeridgiano el mineral de contacto preponderante, de modo que estas últimas pueden ser designadas en parte como piedras córneas de wollastonita. Ya antes mencionamos su participación en la composición de la cinta de granate.

Muy comunmente se puede ver que la formación principal de wollastonita tuvo lugar en las capas á lo largo de grietas y hendiduras por las cuales fué adicionado ácido silícico ó por las cuales circuló dentro de la roca. Por esto la wollastonita presenta en muchos afloramientos macroscópicos el aspecto de un relleno de grietas.

La localidad más interesante de wollastonita cerca de Concepción es probablemente la masa en forma de dique de un espesor hasta de 4 m. que se observa en la Piedra Cargada en dirección paralela al dique eruptivo y á las capas cretáceas en la cercanía inmediata del primero. El mineral forma, atravesado solamente por un poco de granate de color verde-amarillo y espato calizo, agregados radiales y con fibras paralelas cuyos individuos alcanzan un tamaño de varios centímetros. Un contenido bastante considerable de manganeso de la wollastonita se puede comprobar en la superficie del dique por la coloración parda de los fragmentos descompuestos y por las partes terrosas descompuestas de color pardo obscuro. El mineral muestra al microscopio la situación característica del plano de los ejes y una extinción casi paralela á las fibras. Es claro que esta roca singular de wollastonita sólo pudo formarse con adición de ácido silícico en las capas cretáceas generalmente pobres en ácido silícico. En el detalle se encuentran grietas con wollastonita también en otros tramos de la caliza de la Piedra Cargada.

Igualmente sólo por una adición de ácido silícico puede haberse formado el afloramiento de wollastonita que observé entre el Picacho de Abra y la cumbre del Puerto del Arco cerca del contacto, pero situado todavía en la caliza grafítica y cristalina con Nerineas. La caliza seguramente bastante fracturada y cargada de wollastonita contiene intercalaciones en forma de bolsas ó de diques de wollastonita casi completamente blanca ó gris á causa de las inclusiones de grafito con poca pyrrhotina y chalcopyrita, siendo atravesada por espato calizo. Al lado del último la wollastonita se determina fácilmente en la lámina por estar su refracción ($a = 1.620$, $\gamma = 1.635$) entre ω y ϵ del espato calizo. Ambos minerales cristalizaron al mismo tiempo. En el espato calizo se encuentran con frecuencia inclusiones de líquido, en la wollastonita sólo raras veces. La última muestra muy claramente el cruce perfecto según $\infty P \infty$, menos perfecto el de OP y $\frac{1}{2} P \infty$ (IO_2). El plano de los ejes ópticos se halla en el plano de simetría. El polvo muestra una reacción alcalina viva y se descompone por ácido clorhídrico depositando ácido silícico en capas, fácilmente soluble en una solución caliente de potasa cáustica. Muy poco de granate se encuentra aquí.

Como lo demuestran los análisis de la página 47, las capas del Portlan-

diano y del Kimeridgiano contienen mucha arena cuarzosa repartida por las capas pero poca alúmina, magnesia y fierro. La composición química de las rocas inalteradas corresponde con la mineralógica de sus productos de contacto en cuanto á que los silicatos de cal y alúmina así como de fierro, se encuentran en menor cantidad; las rocas así formadas son en la zona portlandiana piedras córneas con cuarzo y wollastonita, en la del Kimeridgiano rocas calcáreas de wollastonita, ambas en forma de pizarra ó de lajas.

Estudié rocas metamorizadas del Portlandiano y del Kimeridgiano solamente en la parte meridional de su extensión en los alrededores de Catarroyo y en el valle del Almagre. A pesar de haber recorrido varias veces el camino de Aranzazú, no pude encontrar á lo largo de este la metamorfosis de las capas indicadas por Burckhardt en el plano; probablemente porque el afloramiento está cubierto en este lugar. No dispuse del tiempo necesario para examinar las partes más altas de aquella zona de contacto. Según el plano de Burckhardt se llega á la conclusión que allí la marmorización está limitada á las calizas con Nerineas.

La región entre el Cañón del Almagre, el picacho del Abra y Catarroyo por consiguiente entre el primer valle y el del Arco se compone principalmente de capas invertidas é inclinadas rápidamente hacia el Sureste de la caliza con Nerineas, del Kimeridgiano y del Portlandiano. Como lo deja reconocer el afloramiento de la roca eruptiva en la parte superior del Cañón del Almagre marcado en el plano de Burckhardt, toda esta serie de capas forma solamente una cubierta delgada encima de la masa granodiorítica que aflora en efecto, aunque cubierta en su masa principal por detritus en el valle del Arco hasta alturas considerables debajo de la caliza con Nerineas. La metamorfosis de contacto de esta masa de capas ha de ser considerable según lo dicho.

Las capas metamorizadas del Portlandiano forman una zona de rocas notables por su dureza en el acantilado austral del Cañón del Almagre. Son rocas negras ó grises que se rompen en fragmentos agudos ó astillas, casi semejantes á pizarras silizosas, con cintas rellenas de segregaciones claras redondas hasta discoidales de un tamaño desde pocos milímetros hasta varios centímetros, en las cuales al principio se cree reconocer una estructura nodulosa primaria de las capas. Con la lente se observa que las segregaciones pequeñas están formadas de wollastonita radiada; las de tamaño mayor presentan la misma estructura microcristalina que las piedras córneas mismas. Están íntimamente ligadas con la masa principal y representan macroscópicamente partes de la roca más pobres en carbón, pero deben tener también una composición mineralógica distinta, lo que resulta de su más fácil alterabilidad, la cual engendra á veces cavidades que dan á la roca un aspecto que recuerda el Kramenzelkalk. Muchas muestras contienen partículas de pirita en gran cantidad, las cuales descomponiéndose dan productos de alteración oxidados. La frecuencia de wollastonita en rayos

gruesos formando individuos de varios centímetros de longitud de 1-2 mm. de ancho en las grietas de la roca es notable. El corte transversal de los cristales muy descompuestos es casi cuadrangular y corresponde probablemente á la combinación $OP, \infty P \infty$. Según su naturaleza química y su refracción hay que considerar como wollastonita á ciertos rellenos de grietas radiados y semejantes á wavellita.

Las seis láminas en cuestión dejan reconocer diferentes estados de metamorfismo de contacto. Al lado de mucho cuarzo, comparado con el cual el espato calizo disminuye á veces considerablemente, se observa siempre substancia carbonosa, pyrrhotina ó pyrita, más ó menos wollastonita, un poco de diopsida, por lo general pequeñas cantidades de granate incoloro, rutilo y muchas veces grandes cantidades de titanita. La presencia de los minerales de titanio se explica por el contenido de titanio de las rocas inalteradas que pudo comprobarse por los análisis. Por la participación de mucho material clástico en la composición de las capas primitivas se explica fácilmente la presencia accesoria de un cristalito de jergón.

A veces la transformación consiste sólo en una recristalización del cuarzo al lado de una formación nueva en pequeña escala de prismas aislados de wollastonita y de agregados de diopsida. Inclusiones esparcidas opacas ó generalmente formadas de grafito dificultan el examen detallado de estas rocas con grano tan fino compuestas de granos cuyo tamaño alcanza apenas 0.01 mm. Otro período de la transformación está indicado por la formación de wollastonita radiada que forma pequeñas capas apenas de un milímetro de tamaño y separadas por intersticios de igual ancho. El resto de la roca está impregnado con carbón tan abundante que la lámina resulta negra y casi opaca. Adentro de las bolsitas claras de wollastonita el carbón en ciertas partes sufrió una concentración, siendo entonces algunos prismas de wollastonita semejantes á la chiastolita en su núcleo completamente rellenos con grafito. En las partes poco ó nada alteradas de la lámina, á veces sólo pocos milímetros distantes de las bolsitas de wollastonita, se observan claramente conchitas silizosas de protozoos reconocibles por sus cámaras y sus poros, así como agujas de esponjas silizosas. Esto se explica por el hecho notable y macroscópicamente visible de que la formación de la wollastonita tuvo lugar durante una migración de materia á lo largo de grietitas múltiples finísimas en parte paralelas á la estratificación, en parte oblicuas con ésta, que presentan al microscopio un curso sinuoso, caprichoso, y que se pueden acumular en los puntos de fracturamiento (lám. IX, fig. 1). Un examen minucioso muestra que las bolsitas de wollastonita no están aisladas sino conectadas entre sí por tales grietitas. Por éstas tuvo también lugar la adición de pyrrhotina; en las rocas menos alteradas están rellenas por lo general con cuarzo y espato calizo. A lo largo de las grietitas se observa al microscopio una decarbonización notable de la roca.

Una roca muy alterada con manchas claras producidas por segregaciones de wollastonita se compone principalmente de cuarzo y wollastonita con

estructura de contacto. La última se presenta tanto fibrosa como en partes irregulares semejantes á esqueletos; sus propiedades ópticas no dejan ninguna duda sobre su naturaleza. Está íntimamente ligada con cuarzo y un poco de espato calizo; el primero forma, por decirlo así, una pasta fundamental de la roca con una estructura que se asemeja á la cataclástica y con extinción ondulosa. En cantidades relativamente grandes se encuentran pyrrhotina en parte cristalizada en forma de láminas exagonales. Granate incoloro se encuentra sólo en pequeñas cantidades; en su interior se observan coronitas de substancia opaca. La diopsida también bastante rara se reconoce por su ángulo grande de extinción; también está á veces rellena por inclusiones carbonosas. Muy comunes son acumulaciones de granitos de titanita con un pleocroismo claro entre rojo y amarillo-verdoso. Ciertos granitos amarillos pardos con caras muy indistintas y con fuerte refracción, sólo pueden tomarse como rutilo. En ambos minerales se observa el contenido de titanio que puede ser comprobado por análisis en la roca inalterada. A veces se observa también un cristalito de jergón.

Dos análisis hechos por el señor Doctor Zimmermann, de una piedra córnea rica en segregaciones claras y grandes de wollastonita (comp. p. 75) dieron la composición siguiente:

SiO ₂	87,78	.....	87,77
Al ₂ O ₃	4,54	}	6,08
FeO	0,11		
P ₂ O ₅	0,64		
TiO ₂	0,79		
CaO	3,77	.....	3,61
MgO	cantidades mínimas.		.....
Pérdida al rojo	1,40	.....	1,40
	<u>99,03</u>		<u>98,81</u>

Las substancias alcalinas no fueron determinadas.

A las piedras córneas de wollastonita pertenece también una roca muy compacta del Kimeridgiano que se observa detrás del tiro de Catarroyo en el contacto inmediato. Al microscopio se presenta un tejido irregular de agujas é individuos más anchos de wollastonita; los últimos alcanzan un tamaño de varios centésimos de milímetro y pueden ser determinados con seguridad. Contienen inclusiones de líquido así como el cuarzo que forma en grandes cantidades los intersticios. El espato calizo desapareció también aquí completamente. En cambio se ve un poco de diopsida, bastante titanita y también algo de jergón. Granate sólo se encuentra en pequeñas cantidades.

De las rocas de contacto ya descritas de la zona kimeridgiana y portlandiana se distinguen en parte las capas grafiticas de la cresta entre Catarroyo y la mina La Cruz. El grado de la formación de wollastonita es muy variado sobre todo en esta zona. En parte se observan solamente calizas

arenosas relativamente poco alteradas y algo desagregadas por la descomposición. Una recristalización ha tenido ya lugar. El espato calizo encierra inclusiones de líquido así como el cuarzo en el cual forman coronitas muy claras. La substancia carbonosa se enriqueció en segregaciones manchadas oscuras y se encuentra también como inclusión en el cuarzo nuevamente formado. La pyrrhotina inmigró por grietitas, pero solamente se formó muy poca wollastonita. Del mismo lugar tengo también rocas que pueden designarse como rocas de wollastonita radiada, graffíticas, mientras que en otra parte de la misma muestra se parecen á una piedra córnea compacta negra. Muestras descompuestas que provienen de las capas negras apizarradas de la mina La Cruz dejan ver en su superficie nódulos muy prominentes de un ancho de varios milímetros que corresponden á segregaciones de wollastonita en forma de bolsitas.

De todo esto resulta que la formación de wollastonita en toda la zona kimeridgiano-portlandiana no puede quedar explicada por una simple recristalización de cal y ácido silíceo contenidos en las capas. Contra esta suposición se opone su distribución irregular en la zona metamorfozada, en la misma muestra y hasta en la misma lámina. El contenido de ácido silíceo de las rocas de contacto como se puede ver desde luego por las grandes cantidades de cuarzo al lado de la wollastonita (con 51.75% SiO_2) y sobre todo por el análisis de la pág. 56 es muy alto, mucho más alto que lo que se hubiera podido esperar según los análisis de las págs. 47, 48 y 49. Correspondería más bien á areniscas calcáreas que á calizas arenosas las cuales deberían contener también en estado metamórfico al lado de cuarzo y wollastonita todavía cantidades notables de espato calizo. Burckhardt no menciona la presencia de areniscas en la formación jurásica, ni yo encontré tales rocas. De esto resulta con mucha probabilidad que el metamorfismo de esta serie de capas sólo tuvo lugar bajo la adición de ácido silíceo. En contradicción con esto no se encuentra el hecho que en las rocas menos alteradas se observan todavía grietitas y redes de ellas que pueden explicarse quizá por una contracción, consecuencia de un calentamiento y á lo largo de las cuales tuvo lugar la formación de wollastonita y la inmigración de minerales. Es notable también la adición en pequeña cantidad de sulfuro de hierro en la roca. Se puede decir que la composición de las rocas de wollastonita sólo corresponden por la calidad á la composición original de materia de las capas jurásicas primarias sustituidas por ellas, pero de las cuales se distingue por la cantidad de ácido silíceo contenido en ellas.

Las capas normales del Kimeridgiano y Portlandiano contienen en parte cantidades considerables de ácido fosfórico y de fluor (comp. p. 48), por esto me llamó mucho la atención que no pude comprobar con seguridad en ninguna de mis láminas la existencia de apatita. El análisis (p. 56) también da para la roca del contacto solamente un contenido muy pequeño de fosfato. En una lámina encontré ciertos agregados incoloros de mucha refracción que no pude determinar con seguridad y que quizá pudieran ser

apatita. Pero nunca pude encontrar este mineral en cantidades considerables. Esto es tanto más raro que ya durante mis estudios y colecciones en el campo me preocupé mucho por la existencia eventual de fosfatos en aquella zona de contacto. La suposición que los rellenos que se encuentran en las piedras córneas y que contienen en parte fierro pudieron consistir más ó menos de fosfatos no se confirmó. Al Sur de Catarroyo indicó Burckhardt en su plano una mina de turquesa.¹ En aquel lugar durante el tiempo de mi visita la pequeña mina de cobre de La Cruz explotó minerales secundarios de cobre muy cerca del contacto de las capas kimeridgianas con la granodiorita. De aquel lugar poseo buenas muestras de alofana de las cuales hablaré más adelante. No pude hallar turquesa y mi guía muy conocedor de la localidad, un peón, tampoco supo nada de la existencia de dicho mineral. Como el Sr. Burckhardt me asegura expresamente la presencia del mineral² no lo pondré en duda; pues se explicaría por el contenido de fosfatos en las capas y quizá por la descomposición del feldespato de la granodiorita, el cual también dió la alúmina para la alofana. En las inmediaciones de La Cruz en el lugar donde una vereda de Cabrestante á la mina pasa por la cresta, encontré en una cata antigua insignificante, costras delgadas de un mineral azul claro de esmalte botroide que rellena las grietas de las pizarras de wollastonita. Es insoluble en ácido clorhídrico, sólo lentamente soluble en potasa cáustica, isotropo, de fractura conchoidal y resultó ser ópalo. Fragmentos aparecen de color pardo claro en la luz incidente, azul del cielo en la luz reflejada. El ópalo se formó seguramente por la alteración de la wollastonita; su color parece provenir de adiciones orgánicas coloidales.

1 Esta opinión del autor es errónea, en la carta de Burckhardt se encuentra sólo la indicación de la existencia de turquesa, pero no la de una mina de este mineral. (*Nota de los traductores.*)

2 La localidad principal de turquesa de la región es la de Santa Rosa, cerca de Mazapil. El químico del Instituto Geológico de México Dr. V. von Vigier, había empezado los análisis de aquella turquesa y de la de Catarroyo; sus investigaciones no se terminaron desgraciadamente por su muerte prematura. El Sr. Dr. Burckhardt me escribe sobre este asunto:

“El análisis de una muestra de Santa Rosa dió:

H ₂ O á 100°.....	1,00
H ₂ O á más de 100°.....	18,33
Cu O.....	8,84
SiO ₂	1,70
Al ₂ O ₃	31,60
P ₂ O ₅	34,89
	96,36

MnO, CaO y MgO no se determinaron.

La parte analizada es azul y bastante dura, pero en la misma muestra se encuentran alrededor del núcleo analizado masas mucho más blandas y blanquizas, seguramente alteradas, evidentemente procedentes del núcleo por descomposición. Estas últimas no se pudieron analizar completamente; contienen P₂O₅ pero sólo poco.

En Catarroyo se encuentran completamente las mismas masas blanquizas, las cuales contienen aquí sólo huellas de P₂O₅. Basándonos en todo esto creemos que las masas blanquizas representan los productos de descomposición de las turquesas.” Parece que no hay análisis de estas últimas.

LAS ROCAS DE GRANATE Y VESUVIANITA EN EL CONTACTO INMEDIATO

Las rocas de granate y vesuviana ambas con espatocalizo y otros silicatos subordinados como diopsida y escapolita y muchas veces con un contenido por lo menos pequeño de chalcopirita, parecen rodear toda la periferia del macizo granodiorítico y están además ligadas con masas pequeñas de roca eruptiva. El granate tiene una repartición mucho mayor que la vesuviana.

Fragmentos de roca de granate casi incolora, de color verde amarillo ó más raras veces pardo de los cuales fué lixiviado el espatocalizo y los cuales muestran á consecuencia de esto una estructura drúsica, se encuentran en gran cantidad en el Valle del Arco juntos con fragmentos de roca de vesuviana muy semejante; forman allí en partes las acumulaciones de pedruzcos que cubren la parte superior de la pendiente. La roca de granate es de dos clases. El granate rojo-pardusco también amarillo-pardusco ó rojo color de jacinto, está íntimamente ligado con ortoclasa granulosa, aparentemente con plagioclasa fibrosa así como con cuarzo, hornblenda y epidota y muestra una estructura conchoidal perfecta, la cual permite que se puedan sacar de los cristales núcleos de otro color y limitados por caras. Estos fragmentos se parecen á la inclusión en la granodiorita descrita en la pág. 21 que se halla cerca de la Fundición vieja. El granate amarillo-verdoso, á veces muy poco colorido, en las drusas está á su vez atravesado por espatocalizo y piritas. Los primeros fragmentos que se encuentran con menor frecuencia parecen derivarse de inclusiones, los últimos representan el material del contacto inmediato más allá de la cinta de granate. Nunca observé en el Valle del Arco cristales de granate y vesuviana en la misma muestra; pero el examen microscópico de rocas compactas de granate y vesuviana comprobó la presencia simultánea de ambos minerales.

El granate muestra $\infty 0$ (110) y 202 (112), generalmente combinados y á veces predomina una, otras veces otra de las caras. Por lo general predomina en cristales pequeños 202, en grandes $\infty 0$, pero esto no constituye de ningún modo una regla; sólo una vez observé en un cristal pequeño las aristas de 202 aparentemente obtusas por $\frac{3}{2} 0$ (323); pero no se pudo decidir si se trataba realmente de esta cara ó de un cambio oscilatorio de 202.

Cierto número de muestras de la zona inmediata del contacto ha sido examinada en láminas.

En la Piedra Cargada, calizas cretácicas son atravesadas por un dique eruptivo el cual, como ya lo mencionamos en la pág. 31, ha sido transformado con intensidad por reabsorción de cal, y en parte hasta en una roca de granate. Como en donde la zona marginal de la roca eruptiva está transformada en roca de granate, es decir, la cinta de granate, no hay una separación clara entre ella y la roca de granate formada de la caliza y como la última íntimamente ligada con la cinta de granate sólo empieza en don-

de las pseudomorfosis de plagioclasa ya no existen, así también en la Piedra Cargada es casi imposible separar en el campo la roca compacta intencionalmente alterada del dique de la roca de granate eruptiva.

La Piedra Cargada es un arrecife de roca granatífera que se presenta allí con una potencia de 3 m. por lo menos. Cerca de la estación se catearon minerales de cobre y se produjo así un afloramiento no muy claro. Tomo las notas siguientes literalmente de mi libro de apuntes, del cual reproduzco también la fig. 3.

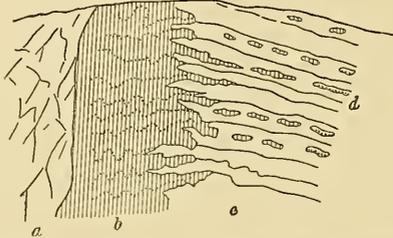


Fig. 3. Corte en la Piedra Cargada.— *a*. dique eruptivo sumamente alterado por reabsorción de cal.— *b*. roca de granate granulosa ó compacta con indicación de las cintas y capas primarias.— *c*. caliza cretácica estratificada.— *d*. pedernal metamorfisado en roca de granate: á la izquierda completamente, más lejos á la derecha sólo exteriormente. Escala 1:100.

“En la cata de cobre. Algunos metros de masas de roca de granate con huellas de cobre, entre ellas una parte calcárea de un metro de grueso y de 2 á 3 metros de largo, solamente marmorizada y mostrando á lo largo de ciertas rayas y riñones una transformación completa ó regional en granate. Algunas partes de la caliza se transforman con más facilidad que otras. La roca de granate misma muestra estrías conforme á la estratificación y los bancos y lechos anteriores, presenta huecos por la lixiviación de CaCO_3 y contiene también restos no alterados de caliza. La transformación de la caliza en granate se hace también en bolsitas, el límite entre la roca de granate y la caliza es irregular, escotado y entonces parece que en la transformación tomaron parte líquidos disolventes. En el rumbo la transformación es interrumpida probablemente, el mismo banco calcáreo grafitico es en parte solamente poco alterado, en parte á pocos decímetros de distancia transformado en granate rico en drusas con espato calizo de grano grueso. En el límite entre la roca de granate y la caliza la estructura en capas es poco clara pero la estratificación de la caliza se puede reconocer todavía con claridad por las cintas de la primera.” Esta ha sido la primera impresión que tuve de esta formación de contacto.

De mucha importancia para la comprensión de la metamorfosis en la región de Concepción es el hecho de que precisamente los riñones ó intercalaciones de pedernal contenidos en los horizontes más distintos de la serie de calizas fueron transformados primeramente en roca de granate y que esta transformación se realizó desde afuera hacia adentro. La explicación más

sencilla para esto podría ser la suposición de que los pedernales son solamente concreciones ricas en ácido silícico de una caliza arcillosa y de por sí tan ricos en cal y arcilla que por transposición molecular pudo haber tomado su origen desde luego el granate. El resultado del examen químico está en desacuerdo con esto.

Intercalaremos aquí algunas consideraciones sobre estas inclusiones de pedernal. Todos los sedimentos alrededor de Concepción y también más al Oeste en la región de Mazapil, en donde se encuentran en condiciones completamente normales y sin metamorfosis de contacto contienen un poco de ácido silícico sea en forma de una mezcla arenosa ó sea en la de pedernal. Este último se encuentra en nódulos de tamaño muy distinto y en lentes gruesas hasta varios centímetros, así como en cintas semejantes á pizarras silizosas tanto en las calizas con Nerineas como sobre todo en las capas del Cretácico medio. Por lo menos en parte tomaron su origen por la transposición y concentración del contenido original de ácido silícico en las calizas, siendo entonces á veces la cal completamente sustituida por ellos. Considero como una prueba para la transposición secundaria del ácido silícico en las calizas el hecho de que como residuo de una caliza mesocretácica disuelta de Mazapil obtuve solamente cristallitos pequeñísimos de cuarzo muy bien definidos en ambos lados, pero nunca ácido silícico en forma orgánica como p. e. de conchas de radiolarias. A veces la sustitución de la caliza por la inmigración del ácido silícico tuvo lugar en dirección centripetal y en forma de costras, de modo que por la descomposición de la caliza se engendran masas de pedernal redondas y huecas ó hasta tubiformes recordando algo á huesos huecos. En un pedernal de Mazapil observé una impresión de una amonita y una concha de un bivalvo; la última ha sido transformada en ácido silícico.¹

La formación de pedernal tuvo lugar antes de la metamorfosis de contacto.

Los pedernales consisten probablemente por lo general de ácido silícico casi puro con un poco de substancia carbonosa. Examiné dos muestras del Cretácico medio desde este punto de vista. Una de ellas de la Sierra de Mazapil, fué lavada primero con ácido clorhídrico para quitar de las grietas el espato calizo quizá presente, entonces pulverizada y después tratada con ácido clorhídrico, sin que haya resultado una pérdida de peso. Después de un tratamiento prolongado con ácido fluorhídrico quedó un polvo colorido por una substancia carbonosa parda que dió después de calentar al rojo un residuo muy pequeño colorido de rojo por óxido de hierro. Otra muestra proviene de las inmediaciones del contacto de la Piedra Cargada. El pedernal muestra en grietas un poco de wollastonita que ha sido quitada antes

1 De un modo muy semejante se habrán formado los pedernales también exteriormente semejantes que se encuentran en grandes cantidades en el Muschelkalk y en las calizas de Partnach de los Alpes de Baviera. En el Muschelkalk de la región de Partenkirchen encontré en ciertos lugares Terebratulas en gran cantidad, cuyas conchas eran total ó parcialmente silicificadas.

del examen. Al ahumar con ácido fluorhídrico y sulfúrico y calentar al rojo quedó un residuo de más ó menos 3 por ciento de la substancia.

La transformación del perdernal en roca de granate sólo puede haberse efectuado por una inmigración de cal, alúmina, óxido y óxido de hierro en los riñones. En favor de esto habla también la transformación dirigida de afuera hacia adentro.

Las láminas de la roca de granate compacta de la Piedra Cargada muestran sobre todo individuos grandes de granate con fenómenos excelentes de la anomalía óptica, además diopsida y cuarzo, en parte también espatocalizo, apatita y vesuviana.

El granate que prevalece tiene una tendencia á formar drusas limitadas por caras y á desarrollar cristales. Es casi incoloro. La anomalía de los cristales claros como agua se observa en los fenómenos siguientes que corresponden en lo general al tipo dodecaédrico de ellos pero que son probablemente influenciados por la presencia de 202.

1. Cortes exagonales más ó menos perpendiculares al eje de simetría trigonal. El plano de la sección se divide á veces en un campo central y seis campos laterales trapezoidales; en este caso el campo central forma también un exágono. Con más frecuencia los campos situados detrás de los planos dodecaédricos no alcanzan los lados del campo central, de modo que el último presenta la forma de un polígono con menos de seis lados, por ejemplo de un rombo.

El campo central resultó ser generalmente isotropo (fig. 4). De los campos laterales muestran cada dos opuestos más ó menos una extinción simultánea. La división en campos que se forma entre los nicols cruzados es por

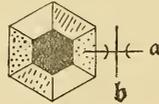


Fig. 4.

lo general no muy bien limitada y al girar la preparación la obscuridad puede caminar de un modo ondulado de campo en campo, y del mismo modo de las márgenes hacia el centro, de manera que allí se ve sólo en ciertas posiciones un campo obscuro que se vuelve claro mientras que se oscurecen por rotación varios campos marginales. Entre los últimos se observan por lo general líneas oscuras diagonales que cambian de posición á veces al girar, pero que quedan en lo general oscuras y en la misma posición. A la luz polarizada simple no se observa nada de particular en el lugar de ellas. Adentro de los campos se suceden desde afuera hacia adentro rayas con refracción y doble refracción diferente. Por lo general la dirección de la elasticidad óptica máxima es perpendicular á la proyección de los planos dodecaédricos; los campos marginales dan una imagen poco clara biaxial del eje.

En vez de los seis campos marginales aparece á veces un número menor pudiéndose juntar dos triángulos ó trapecios cercanos en un campo único ópticamente más ó menos homogéneo.

2. En cortes regulares cuadrangulares más ó menos paralelos á $\infty O \infty$ los fenómenos son análogos. El cuadrado está dividido en cuatro triángulos ó en cuatro trapecios y en un plano medio cuadrado que por su parte es á veces completamente isotropo (fig. 5). Los campos marginales opuestos uno

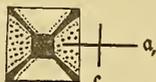


Fig. 5.

al otro se extinguen casi al mismo tiempo; las estrías oscuras que se observan entre los nicols cruzados entre ellos pueden ensancharse al girar y de ellas se propaga entonces también un obscurecimiento ondulado de los campos. La elasticidad óptica mayor se encuentra de nuevo en la dirección perpendicular á la proyección de los planos dodecaédricos.

Los colores de interferencia del granate son más bajos que los del cuarzo. Una vez observé que una zona con mayor doble refracción fué al mismo tiempo la de menor refracción para ambos rayos. En una preparación el granate se halla relleno y turbio como la diopsida por inclusiones pequeñas densamente aglomeradas cuya acumulación zonal produce el aspecto de una estructura conchoidal.

Los cortes de la diopsida incolora muestran muchas veces extremos de pirámide aguda. La oblicuidad de la extinción llega hasta 45° . Muchas veces el mineral se observa en segregaciones de forma de esqueleto íntimamente ligado con granate.

El cuarzo aparece como un relleno de drusas entre los silicatos y podría considerarse primeramente como impregnación más moderna. Pero que ha sido formado por el mismo proceso que aquellos, resulta del hecho de que incluye numerosos granos y en parte cristalitos libres de tales ó se liga íntimamente con ellos como en la estructura de contacto.

Una de las muestras examinadas (lám. IX, fig. 2) contiene todavía espato calizo en abundancia y en él se encuentran incluidos los granates anómalos transparentes como agua, descritos ya y agregados radiales de vesuviana. Esta se reconoce por su eje único, su carácter óptico negativo, su refracción débil y forma columnitas de la combinación $\infty P, \infty P \infty$ con extremo obtuso-piramidal. En la lámina tiene un color amarillento con pleocroísmo marcado $\omega > \varepsilon$. El espesor de las agujas es de algunos centésimos de milímetro. Terminan con límite marcado en los cristales de granate. Estos son aquí enteramente libres de inclusiones aparte de algún fenocristal ocasional de espato calizo. El espato calizo es muy rico en cavidades tubiformes rellenos por lo menos en parte con líquido y muestra una estruc-

tura fibrosa torcida; las agujas de vesuviana incluidas en él están varias veces fracturadas y quebradas.

En las muestras pobres en espató calizo y compuestas de granate y diopsida la apatita forma un componente notable. La observé solamente en láminas. En ellas se ven cortes exagonales no muy claros que dan netamente la imagen del eje y además los cortes también imperfectos de la zona prismática. Por sus dimensiones mayores, por su contorno no muy claro y por el tamaño de las inclusiones de líquido contenidas en ella que dan un aspecto escorioso-poroso a los cortes se distingue esta de la apatita, de la granodiorita y más bien se parece a la de la cinta de granate. Las condiciones ópticas no dejan ninguna duda respecto a la naturaleza del mineral.

Una cantidad sorprendente de roca de granate se encuentra en el contacto de una intrusión de granodiorita casi en el límite entre las capas del Portlandiano y del Cretácico en el camino de Aranzazú. Aquí como en el Puerto del Arco la cinta de granate está muy bien formada. Las capas de la roca de granate misma muestran un efecto de presión lateral en pequeños pliegues de un centímetro de largo, las calizas adyacentes un encorvamiento fuerte y un plegamiento. En la primera los pedernales transformados se reconocen claramente por su estructura mucho más compacta; en ellos se observan fracturamientos y separaciones transversales.

Una roca del contacto inmediata a la granodiorita cerca del afloramiento de vesuviana en el camino de Aranzazú, es aparentemente una roca de granate compacta pardusca; la roca eruptiva misma contiene un poco de granate habiendo sido transformada parcialmente en epidota. Aquella roca de granate está formada por un granate íntimamente ligado con un poco de diopsida incolora y de espató calizo como se observa en la estructura de contacto. El granate tiene una anomalía óptica débil y muestra a la luz polarizada simple, un cambio zonal de conchas con refracción diferente. La diopsida contiene inclusiones de líquido; en un macle que se extingue simétricamente según $\infty P \infty$ es $c : t$ en promedio $= 38^\circ$, mostrando un corte perpendicular al plano de la simetría un eje con dispersión muy clara $\rho > \nu$. La apatita también parece ser muy escasa.

Una roca de granate y diopsida del socavón general de la mina de Aranzazú llama la atención porque deja reconocer de un modo excelente e indudable la transformación y sustitución de una roca de diopsida por un granate inmigrado (lám. IX, fig. 3).

La muestra aparece como roca de granate con un poco de mineral de cobre, en parte compacta como roca córnea, en parte cristalina. De la última se destacan aparentemente cristales, pero de hecho son nada más planos de separación de granates conchoidales a veces paralelos con el dodecaedro. Entre los planos de separación se observan películas delgadas de espató calizo. Restos grandes y pequeños de diopsida gris-verdosa (salita) se encuentran esparcidos por la roca de granate; con la lente se reconoce que están atravesados por venas de granate. En un lugar se formó un de-

pósito cuantioso de mineral de cobre con un poco de hematita y mucho cuarzo; allí la diopsida está transformada en amfibola gris-verdosa clara, al microscopio irregularmente fibrosa, débilmente pleocroítica.

La sustitución de la diopsida por el granate se puede seguir muy bien con aumento débil en la lámina; se observa en individuos prismáticos anchos radialmente ordenados y largos de más de un centímetro. En la lámina aparece incolora habiéndose determinado la oblicuidad de extinción mayor c : como 48° . Láminas de gemelos son frecuentes. El fenómeno del espato calizo atravesado en abundancia, en gran parte bajo la forma de fenocristales mínimos, parece ser primario, dejando aparte numerosas vetas de espato calizo indudablemente moderno. En cambio también se ven algunas masas de espato calizo atravesadas por agujas y agregados de diopsida.

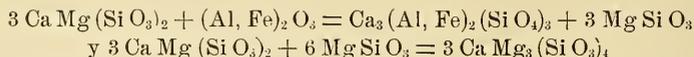
El granate es en la lámina de un color amarillo claro como casi todos los granates encontrados en la rocas del contacto de Concepción. Las partes de mayor tamaño son agregados de individuos netamente anómalos y conchoidales. Además de varios fenómenos ópticos estas conchas se reconocen en parte por sus inclusiones de espato calizo ó por infiltraciones secundarias pardas á lo largo de planos de separación. A lo largo del límite de tales agregados de granate con la diopsida se observan parcialmente partículas abundantes de chalcopirita ó una zona muy bien limitada hacia dentro que parece turbia por inclusiones innumerables ya con aumento débil. Estas inclusiones se componen de aglomeraciones por lo general irregulares, alargadas, translúcidas, de color pardo obscuro de una substancia semejante á polvo y alcanzan diámetros transversales de 0.015 mm. y más; al lado de ellos se ven también cavidades de una forma muy parecida. El ancho de esta zona marginal es por lo general de 0.05 mm. Hacia el interior del granate la zona parece por lo general netamente cortada por un límite anguloso. El granate es en aquella zona completamente isotropo de modo que el curso de ella puede reconocerse aun entre nicols cruzados.

Desde las segregaciones de granate de algún tamaño atraviesan la diopsida venas de granate numerosas á veces casi paralelas, otras veces juntándose en un curso arqueado conectadas por vetas transversales ordenadas en una red irregular con mallas estrechas. Se juntan en bolsitas más anchas de las cuales irradian de nuevo venas de granate. La diopsida aparece como impregnada con substancia de granate y desaparece á veces entre ella hasta los últimos restos desgarrados. La penetración de la pyroxena por el granate, no es de ningún modo la consecuencia de un fracturamiento anterior de la primera, ésta en el momento de la inmigración de granate no ha sido una brecha; pues las partes del mismo individuo de pyroxena separadas ahora entre sí por muchas venas de granate muestran todavía la misma orientación y no dejan reconocer los menores indicios de un movimiento. Ciertos lugares en los cuales se ven bolsitas de granate de mayor ancho ofrecen por esto á la primera vista la imagen de una penetración granofirica; pero no es posible pensar en ello en vista del fenómeno general.

La formación del granate tuvo lugar sólo en casos raros en la dirección del crucero prismático. A veces las venas de granate tienen un curso perpendicular á éste ó por lo general en ángulos agudos en parte apenas de 5°. En muchos individuos se observan varias direcciones que se cortan, pero entonces una preponderante se hace notar por lo continuo de su curso, el gran número y el paralelismo de las venas de granate que le siguen. En varios cortes cercanos de diopsida se nota entonces una orientación diferente de las venas. Muy bien resalta todo este fenómeno entre nicols cruzados. La relación entre ambos minerales se caracteriza mejor diciendo que el granate se ha ido introduciendo por corrosión en la diopsida; para la dirección de su avance parecen haber sido de importancia los planos de separación á lo largo de los cuales se tocaron los individuos de diopsida ordenados en rayos divergentes, pero en el caso de que las venas de granate forman ángulos grandes con el crucero, es probable que hayan desempeñado cierto papel las direcciones de menor resistencia química.

De un modo semejante que por el granate, la diopsida está sustituida á veces por el cuarzo. Este se encuentra parcialmente como acompañante del granate y lo envuelve hacia la diopsida formando así en las venas en cierto modo las salbandas. Se extiende entonces probablemente más que aquél y sustituye con frecuencia á la diopsida tan completamente, que sólo se encuentran esparcidos por el cuarzo agregados fibrosos orientados del mismo modo que ella. Con el granate y cuarzo tuvo lugar quizá un depósito más moderno de un poco de espatocalizo y chalcopyrita.

La roca de granate y diopsida ahora descrita ofrece un nuevo ejemplo excelente de una segunda adición de agencias depositadoras de granate en rocas ya formadas á lo largo de la zona de contacto. Sorprende la falta de silicatos de magnesia típicos que se esperarían en la transformación descrita de la diopsida. Se podría quizá considerar como tal la tremolita (véase arriba) que se presenta en la muestra como producto de alteración de la diopsida, pero que no se observa en la lámina como acompañante necesario del granate. Quizá se puede dar una idea del curso de la transformación por el esquema siguiente, en el cual ciertamente no puede indicarse la combinación especial bajo la cual la alúmina y el óxido de hierro influyeron en la diopsida:



Aquí mencionaré además la única roca de contacto verdadera que recogí en la región de Concepción que contiene fósiles reconocibles aun sin lente; es una roca de cuarzo, granate y diopsida del terrero de la mina San Carlos cerca de Aranzazú. La muestra consiste en gran parte de una mezcla que describiré más adelante que contiene menas y está formada por espatocalizo, cuarzo, un poco de granate amarillo y wollastonita radiada. En ella yacen partes irregulares pardo-claras de una roca completamente

compacta, en ciertos lugares atravesada por venas de espato calizo y también con inclusiones de granate amarillo, tetraedrita, bornita, y chalcopirita. Están rellenos con fósiles que se asemejan á caracoles ó recuerdan grandes Globigerinas. Al microscopio se ve que la roca es una mezcla de grano muy fino compuesta de diopsida radiada, granate y cuarzo. En el lugar de las conchas calcáreas se introdujo principalmente granate, el interior se encuentra á veces relleno por agregados de grano más grueso de los minerales mencionados ó bien consiste, como lo enseña la muestra, de espato calizo. En ciertas partes los fósiles han sido sustituidos casi completamente por mena, cuarzo y granate amarillo.

Como lo muestran los análisis de la cinta de granate (pág. 41) y el análisis que mencionaremos más adelante del granate de El Carmen, los granates de las formaciones de contacto de Concepción pueden ser considerados en su mayor parte como granates de cal y fierro más ó menos ricos en alúmina (aplom).

La vesuviana se formó en las mismas condiciones que el granate que la acompaña, pero el último tiene una distribución mucho más extensa y se observa á distancias mucho mayores de la roca eruptiva. Encontré la vesuviana aflorando sólo en las inmediaciones del contacto como componente de la roca de granate de la Piedra Cargada y en cantidades mayores en el mármol de la localidad, ya varias veces mencionada, en el camino de Aranzazú. En pedruzcos rodados se encuentran con frecuencia en el Valle del Arco y en el Cañón del Almagre; forma además un componente de la piedra córnea de cal y silicato compacto extraída de la mina Cabrestante.

En el Valle del Arco se encuentran entre los escombros de roca de granate fragmentos de roca de vesuviana drúsica muy semejantes á la primera. Los cristales de color de aceituna, apenas de un centímetro de largo, prismáticos cortos, más raramente con caras piramidales preponderantes, suelen estar pegados con las caras prismáticas. Revisten las grietas de la roca semejante á piedra córnea de cal y silicato que consiste probablemente en su mayor parte de vesuviana ó atraviesan el mármol en una red de mallas angostas de venas. Por la descomposición del mármol se forma un tejido especial de varillas con intersticios poliédricos. Caras preponderantes son (110) ∞ P; (111) P; (100) ∞ P ∞ ; á estos se agregan muchas veces (001) OP; (101) P ∞ ; (311) 3P3; (331) 3P y (310) ∞ P3. En muchas muestras la riqueza de caras de los cristales es mayor que en otras.

Se tomaron las medidas de 7 cristalitos; en seguida doy los valores medios de las medidas.

(101) (001) =	P ∞ : OP	28°24½'	28°32'	28°26'
(111) (110) =	P : ∞ P	52 17	52 22	
(101) (100) =	P ∞ : ∞ P ∞	61 13		
(111) (101) =	P : P ∞	25 12	25 3	25 15
(111) (111) =	P : P	74 50		
(111) (331) =	P : 3P	28 45	29	

(111) (311) = P : 3P3	29°17½'	29°49'	29 16'
(100) (311) = ∞P∞ : 3P3	35 22	35 46	
(100) (310) = ∞P∞ : ∞P3	26 37		
(110) (310) = ∞P : ∞P3	18 22½		

Vesuviana pardo-clara radiada se encontró como relleno de grietas en un canto rodado del Cañón del Almagre. Está acompañada de chalcopyrita y pyrrhotina.

Por el camino de Concepción á Aranzazú, construído por la Compañía minera, se descubrió arriba de la cascada el afloramiento más rico de vesuviana de la región. Desgraciadamente nadie se preocupó ni de este ni de otros lugares ricos en minerales y no se hicieron colecciones, y lo que ahora se puede sacar de la roca triturada por la dinamita no vale la pena. La localidad se distingue por fenómenos de contacto muy intensos. La caliza está atravesada por apófisis finos de granodiorita, en parte también transformada en la roca de granate y diopsida descrita antes; la roca eruptiva misma está rellena por granate de color diferente por lo general negro-pardusco y contiene las segregaciones antes descritas de plagioclasa fibrosa (véase pág. 28). Los fragmentos que examiné muy incompletos de cristales dejan reconocer que la vesuviana se encontraría en cristales largos de varios centímetros al abrir con cuidado la localidad. Está acompañada por espato calizo azul, del cual se deja aislar por ácido también en forma de cristallitos bien definidos casi microscópicos. El espato calizo está repleto de inclusiones microscópicas de ácido carbónico líquido¹ de la cual se puede comprobar la existencia² por calentamiento; decrepita vivamente al calor y antes es fosforescente con luz blanquizca.

La vesuviana es por lo general pardo-clara, á veces también verde. Para el análisis sirvió el material de la variedad parda, escogido con la lente; el Sr. Prof. Dr. Dittrich encontró la composición siguiente, de la cual se pueden calcular los números moleculares indicados al lado:

	Cálculo á 100		Números moleculares
SiO ₂	36,04	35,90	0,5943
TiO ₂	0,72	0,72	0,0089
Al ₂ O ₃	15,62	15,56	0,1522
Fe ₂ O ₃	3,75	3,75	0,0234
FeO	0,65	0,65	0,0090
MgO	3,88	3,87	0,0958
CaO	36,40	36,26	0,6463
Na ₂ O	0,34	0,34	0,0055
K ₂ O	0,08	0,08	0,0008
Pérdida al rojo (H ₂ O)	2,87	2,87	0,1594
	100,39	100,00	

¹ Al acercar á la inclusión una lámina de platino calentada se aleja primeramente la burbuja de la fuente de calor y entonces desaparece. Al enfriarse reaparece en el mismo lugar para volver entonces muy lentamente á su lugar anterior á lo largo de la pared que la encierra.

El agua se determinó por un fuerte calentamiento al rojo en el crisol de platino. Manganeseo no existe, tampoco fluor se pudo comprobar.

Del análisis se calculan las proporciones siguientes de los elementos:

R _{IV}	R _{III}	R _{II}	R _I	O
1,82	1,06	2,27	1	8,00

y con esto la vesuviana de Aranzazú entra muy bien en la serie establecida por Weingarten.¹

Una caliza cretácica, transformada de la mina de Cabrestante, resulta ser una piedra córnea con escapolita y vesuviana. Muestra en grande una especie de estructura en cintas, es cristalina muy fina hasta completamente compacta. El examen microscópico tropieza con dificultades por estar los componentes íntimamente ligados. En lo principal parece ser una mezcla de vesuviana de grano grueso, escapolita y granate con granitos de diopsida y titanita, inyectada con un poco de feldespato; además se reconoce epidota de color verde claro, pirita y en drusas y grietas también un poco de espato calizo. Este último es de nuevo rico en inclusiones de ácido carbónico líquido.

La vesuviana posee una estructura zonal excelente que se reconoce por la doble refracción anómala; en la lámina muy delgada muestra el mineral, que se encuentra irregularmente esparcido en forma de nubes, por lo general colores de interferencia grises y pardo-grises. El carácter de la doble refracción es negativo. Al lado de la vesuviana forma, además, un segundo mineral tetragonal un componente principal de la roca; es la escapolita que se ve en la lámina, sobre todo aglomerada en algunas capas de la piedra córnea. Sus prismas octogonales son ópticamente negativos con un eje y muestran una doble refracción mayor que la de la vesuviana; en los cortes muy delgados se observó todavía el azul verdoso de segundo orden. Se presenta con menos refracción que la última, siendo su refracción un poco más alta que la del bálsamo de Canadá y más ó menos igual con la refracción media del espato calizo con el cual está frecuentemente ligada. Los cortes octogonales dejan reconocer con claridad variable el crucero según ambos prismas. No raras veces la pirita encierra á las escapolitas ó estas últimas envuelven por su parte á la primera. Una coloración parda visible en la lámina que se observa también en la vesuviana, parece estar en conexión con el contenido en carbón de la caliza transformada. La existencia de wollastonita no se pudo comprobar en la lámina.

En la muestra se reconoce con la lente partes de un mineral incoloro en fibras finas que posee al microscopio los caracteres de la plagioclasa fibrosa antes descrita. Se tratará pues de inyecciones de feldespato desde la ro-

1 P. WEINGARTEN, Über die chemische Zusammensetzung und Konstitution des Vesuvian. Inaug.-Diss. Heidelberg 1901. Ref. Centralbl. f. Min. etc. 1902. p. 726-730.

ca eruptiva vecina. Plagioclasa típica con laminación de gemelos no la encontré. La plagioclasa fibrosa está atravesada sobre todo por diopsida y titanita.

LOS CRIADEROS METALIFEROS

A aquellas materias que inmigraron en el contacto desde el magma granodiorítico en el panino pertenecen, sobre todo, también sulfuros y óxidos de hierro y sulfuros de cobre al lado de otras combinaciones de metales pesados secundarios. Huellas de cobre se encuentran probablemente en todas partes en el contacto, catas se encuentran en varias partes y algunos tiros bastante profundos hoy abandonados dan cuenta de las esperanzas frustradas de encontrar á la profundidad minerales más ricos de cobre; pero, en varios lugares pudo desarrollarse hace un tiempo más ó menos largo una explotación minera muy provechosa también bajo aquellas condiciones. La mayor parte de las minas más importantes en el tiempo de mi visita en la región de Concepción fueron minas de cobre ó hierro en el contacto inmediato. Además existen varias minas de plomo y de zinc fuera de la zona de contacto, que trabajan sobre criaderos en la forma de vetas quizá también metasomáticos en la formación calcárea, de los cuales no me pude ocupar detalladamente durante el tiempo limitado de mi estudio. Me parecían por lo general no pasar mucho del primer estado de trabajos de exploración; desde el punto de vista mineralógico merecen interés por la presencia de bonitas menas secundarias de las cuales mencionaré algunas más tarde.

LOS CRIADEROS DE CONTACTO

Las minas de cobre de Concepción del Oro se pueden dividir en dos grupos según su situación y el carácter mineralógico de sus criaderos. Designaré como grupo oriental las minas Cabrestante, Catarroyo, El Promontorio, Las Animas y El Carmen; como occidental las minas muy vecinas entre sí y más ó menos contiguas de Aranzazú. Ambos grupos de criaderos están caracterizados por la presencia de chalcopyrita con abundante granate; por lo demás se observan varias diferencias mineralógicas más ó menos notables.

Cabrestante y Catarroyo trabajan en el contacto inmediato de la granodiorita con las calizas cretácicas de la masa sedimentaria oriental; vecinas á ellas se encuentran las minas Los Azules y La Cruz, sobre las cuales no puedo decir gran cosa porque en aquel tiempo sólo habían alcanzado profundidades muy pequeñas y sólo habían explotado minerales de la zona superficial. Los criaderos del Promontorio y de las Animas en el Cerro Prieto y un poco más al Oeste de ellos el de El Carmen, yacen entre la granodiorita y fragmentos de mármol que pueden haber sido envueltos primeramente por aquella, ó que representan restos de la cubierta antigua de la caliza con Nerineas. Sólo la mina de Cabrestante había alcanzado ya una extensión y profundidad mayores, mientras que las otras tres no tomando

en cuenta las antiguas labores superficiales de El Promontorio, sólo tenían una importancia secundaria ó ya habían sido abandonadas de nuevo.

Hasta donde se puede ver aparecer en los criaderos del grupo oriental el mineral de cobre íntimamente ligado con las masas de contacto sin relación evidente con grietas. La magnetita es muy abundante en todos y se encuentra en grandes cantidades en las minas del Cerro Prieto y El Carmen. También la pirita desempeña un papel importante en cristalizaciones muy perfectas. Se encuentra esfalerita en menor cantidad, lo mismo que cuarzo que se observa en todas partes, pero que no posee como acompañante primario de los minerales la misma distribución en las minas orientales que en Aranzazú. No observé wollastonita en ninguna de las minas orientales. En cambio se encuentra ocasionalmente un poco de amfibola y zoisita y como formación mineral más moderna ortoclasa tanto en Cabrestante como en el Carmen con mucha frecuencia.

En los criaderos occidentales de Aranzazú se encuentran las masas de silicato metalíferas en relaciones claras con grietas que atraviesan las calizas con Nerineas perpendicularmente á su estratificación. Magnetita no la observé allí, pirita no se encuentra tampoco con tanta abundancia como en las minas del grupo oriental, pero en cambio llama la atención la existencia de mucha esfalerita. También tetraedrita arsenical no parece ser muy rara en Aranzazú. Cuarzo y wollastonita son acompañantes principales de los minerales sobre todo en el caso de que éstos se presentan en grietas ó bolsitas á cierta distancia de la roca eruptiva.

Mencionaré aquí las diferentes alturas de las minas: La altura absoluta de la entrada de las minas en Cabrestante es aproximadamente 2,120 m. Los Azules 2,150 m., Catarroyo 2,200 m., La Cruz 2,400 m., Cerro Prieto 2,400 m., El Carmen 2,500 m., en Aranzazú aproximadamente entre 2,600 y 2,800 m. Los desniveles entre estas alturas son demasiado insignificantes para poder explicar las diferencias mineralógicas entre las minas orientales y las de Aranzazú. Entonces sería necesario tomar en cuenta que los minerales de Aranzazú se extraen en parte de profundidades que alcanzan la altura absoluta del criadero del Carmen. Quizá más importante es el hecho de que la roca eruptiva se extiende debajo de los criaderos del grupo oriental en masa ancha y aparentemente con inclinación débil, mientras que el macizo eruptivo se angosta cerca de Aranzazú estando limitado por lo menos hacia el Poniente por capas con fuerte echado (Véanse los cortes en el trabajo de Burckhardt¹). Suponiendo que las masas calcáreas del Cerro Prieto y del Carmen no representen cubiertas, sino inclusiones primitivamente envueltas por la granodiorita, se explicaría quizá el carácter mineralógico de aquellos criaderos como una consecuencia de la influencia más intensa del magma eruptivo.

1 Burckhardt, Géologie de la Sierra de Concepción del Oro. *Guide des excursions du X^e Congrès Géologique International*, N^o XXIV. México, 1906.

En seguida hablaremos de las condiciones geológicas y mineralógicas de los afloramientos más importantes, hasta donde me lo permitan mis notas y colecciones.

MINAS DEL GRUPO ORIENTAL

Cabrestante. En los alrededores de Cabrestante se efectuó la explotación minera más antigua de la región de Concepción. Se extrajo oro del Arroyo de la Plata, probablemente procedente de las zonas superficiales alteradas de los criaderos de cobre que contienen aún hoy día un poco de oro y de cuarzos auríferos. Una pequeña mina superficial abandonada en el límite entre el mármol cretácico metamórfico y masas de contacto muy descompuestas designa la antigua mina de oro: Concepción del Oro. Los trabajos se efectuaron a lo largo del contacto. El cuarzo aurífero se presenta como masa drúsico-celular, sobre todo en los productos de descomposición ferrosos, pero parece también haber penetrado en la caliza. La formación de estos cuarzos auríferos es más moderna que la de las rocas de contacto y de las menas que existen en ellas. Todavía hoy día se explotan tales cuarzos celularmente carcomidos con un contenido de oro hasta de 40 gr. por tonelada, de las partes superiores de la mina vecina Cabrestante. Macroscópicamente muestra este cuarzo que se asemeja á calcedonia, y que es cristalino de grano muy fino y de carácter de incrustación, las indicaciones de fracturamiento y recementación repetidos; en la lámina se caracteriza por una estructura brechosa que se observa hasta en los detalles. Macroscópicamente se observan películas de óxido de manganeso y un poco de limonita; sulfuros parecen faltar en estas vetas, oro libre no lo pude reconocer. Hay que decir que también la chalcopirita de los criaderos de contacto contiene oro y plata. Según la indicación de los directores de las minas, contienen menas de cobre con una ley de aproximadamente 15 por ciento de cobre, esto es, chalcopirita ligada principalmente con granate y espato calizo, 15 gr. de oro y 300 gr. de plata por tonelada ó sea 0.0015 resp. 0.03 por ciento.

En el tiempo de mi visita, Cabrestante había alcanzado una profundidad de 110 m. El criadero pertenece á las masas de contacto que se pueden seguir desde el Valle del Almagre y desde la antigua mina Concepción marcadas superficialmente por catas hasta los Azules. En la caliza el agua superficial penetra por cavernas naturales en la profundidad; por la misma circulación de agua se oxidaron en parte los metales habiéndose enriquecido el contenido de oro de las chalcopiritas á 10-15 y hasta 40 gr. por tonelada. La transición á la mena primaria la forma un mineral de cobre negruzco, carcomido, polvoso, mezclado con piritas descompuestas; los mineros ingleses lo designan como *black oxide*, pero consiste seguramente en lo principal ó completamente de covellina ó chalcosina.

Una gran parte de las menas visibles en la mina me pareció que consisten de espato calizo de grano grueso atravesado por bolsitas y cintas de

chalcopirita y pirita y relleno por cristales de la última. Las muestras que recogí en el terrero muestran al contrario mucho granate, espatocalizo, pirita, chalcopirita, hematita, pirrotina, un poco de cuarzo, á veces esfalerita, así como hornblenda verde-clara que se asemeja á asbesto. Todos estos minerales son indudablemente productos del mismo proceso de formación, aunque dejan reconocer entre sí en parte una cierta sucesión de edad.

El granate amarillo-verdoso, pardo-verdoso ó amarillo-pardusco forma masas compactas cristalinas atravesadas por espatocalizo y las menas. Al quitar el espatocalizo con ácido se ponen á descubierto cristales de la combinación $\infty 0,202$ y aparecen en la pasta fundamental cristalina hendeduras y grietas revestidas con caras de cristales que recuerdan sobremana á hendeduras de contracción visibles, p. e. en un ladrillo fracturado por un calentamiento exagerado.

La pirita es contemporánea con la chalcopirita, apareciendo la primera con frecuencia, la última aparentemente nunca en forma de cristales. Ambas son muchas veces indudablemente más antiguas que la magnetita; hasta donde se pueden reconocer cristales, en la última se ven el octaedro y el dodecaedro laminado según éste. La magnetita está íntimamente ligada con espatocalizo, siendo contemporánea con él. La hematita micácea no es tan frecuente como la magnetita y parece ser también un mineral primario, habiéndose formado asimismo después de los sulfuros. El cuarzo es contemporáneo con el granate. La hornblenda gris verdosa reconocible por su oblicuidad de extinción, forma en escala limitada agregados finamente afelpados más raras veces agujas un poco más gruesas; es con seguridad un mineral primario y no un producto de transformación. Entre los sulfuros y el granate no se pudo comprobar una diferencia de edad; se atraviesan de un modo muy irregular ó se presentan en la muestra en forma de una especie de cintas estratificadas. En drusas de esas mezclas de menas y silicatos se encuentran pequeños romboedritos de siderita y pseudomorfofisis de revestimiento por lo general huecos de este mineral según otro carbonato romboédrico. Todavía sobre la siderita se observa pirita como última formación. Pequeños cristallitos de granate ($\infty 0,202$) se encuentran sobre la pirita más antigua.

Ya hablé de una piedra córnea calcárea y silizosa con vesuviana y escapolita de Cabrestante en la pág. 69. Otra lámina de una muestra de mena compuesta principalmente de pirita se distingue por su contenido notable de hornblenda semejante á actinolita. La pirita forma masas compactas; las partes no ocupadas por ella en la lámina están rellenas por un fieltro irregular de agujitas de actinolita entre las cuales se observan á veces también prismas más anchos casi incoloros del mismo mineral en una especie de pasta fundamental de espatocalizo ó cuarzo. La hornblenda muestra á veces y con una intensidad diferente un colorido pleocroítico, en el cual t muestra un color por lo general azul-verdoso, más raras veces pardo-ver-

doso intenso, a y b parduzco-verdoso ó pardo-claro hasta incoloro. La oblicuidad de extinción alcanza $21\frac{1}{2}^\circ$. Entre los haces y prismas de actinolita se encuentra magnetita con frecuencia, que por esto muestra formas irregulares angulares ó semejantes á esqueletos. Cristales de magnetita se encuentran esparcidos en el agregado. También aquí la magnetita parece ser el mineral más moderno en relación con la pyrita formando muchas veces el margen ó rellenando con los otros componentes sus huecos. La pyrita se encuentra también en el agregado de espato calizo-cuarzo-actinolita y entonces suele ser envuelto por la magnetita. Al lado del espato calizo se observa ocasionalmente la siderita amarillenta con una refracción mucho más viva que se deja reconocer muchas veces como una formación más moderna. Por lo demás no se ve fenómeno alguno que pudiera comprobar la sustitución mutua de los componentes que forman hoy la roca. La pyrita es por lo general un poco más antigua que el resto de los componentes, pero encierra también prismas de la hornblenda.

De los agregados ahora descritos y seguramente también de las masas de espato calizo metalíferas ya mencionadas que pueden ser consideradas, como se mostrará más adelante al hablar de las condiciones de Promontorio, como formación verdadera de contacto lo mismo que las rocas de granate, proviene una gran cantidad de magníficos cristales de pyrita.¹ Estos forman por lo general láminas gruesas según dos caras de $\infty O \infty$; las caras del cubo son aquí preponderantes y por lo general poco estriadas, con frecuencia todas lisas como un espejo. Con la lente se reconocen á veces desigualdades irregulares muy ligeras ó estrias que recuerdan algo las flores de hielo. Otras caras son $[\frac{3O3}{2}]$ (321), $\frac{\infty O2}{2}$ (210), O (111) y muy raras veces también $[\frac{3O3}{2}]$ (543). $[\frac{3O3}{2}]$ es por lo general áspero ó por lo menos rayado en la zona O: $\frac{\infty O2}{2}$, á veces también completamente liso. $\frac{\infty O2}{2}$ es bastante raro. Un fragmento grande muestra O preponderante $\frac{\infty O2}{2}$ liso y subordinado $[\frac{3O3}{2}]$ correspondiente á ciertos cristales grandes de Brosso en Piamonte. Octaedros puros ó por lo menos preponderantes son relativamente raros; los encontré en la magnetita compacta. Por lo general los planos son estriados según $\frac{\infty O2}{2}$. Tan raros como ellos son pequeños, casi lisos $[\frac{3O3}{2}]$, de las cuales medí uno. Por lo general los cristales más pequeños muestran con más frecuencia una $[\frac{3O3}{2}]$ lisa que los grandes.

Muy raros son también cristales con formación equivalente de $\infty O \infty$ ó $\frac{\infty O2}{2}$ y al lado de nuevo con subordinado $[\frac{3O3}{2}]$ y 0. Los cristales mayores de pyrita parecen tener un diámetro de varios centímetros. Hay que advertir que los individuos más pequeños que miden sólo unos milímetros únicamente muestran $\infty O \infty$ ó á lo sumo subordinado O y $\frac{\infty O2}{2}$, y muy raras veces

¹ Estas pyritas representan indudablemente una de las localidades más bonitas de este mineral y se encontrarían seguramente ya esparcidas en muchas colecciones si en Concepción alguna persona se tomara la pena de fijarse en el hallazgo de minerales. Es muy característico que los cristales más bellos de mis pyritas han sido usados como juguetes por los niños de los peones.

también $[\frac{2O3}{2}]$. Con el aumento del cristal cambia aparentemente la proporción en favor de O y $[\frac{2O3}{2}]$.

Al lado de los cristales bajo las condiciones paragenéticas ya descritas se encuentra pyrita bien cristalizada en Cabrestante en agregados sueltos de incrustaciones que resultaron ser ortoclasa incrustada por siderita de color amarillo sucio y ligada con un poco de cuarzo. En la incrustación disromática y poco vistosa resaltan primeramente los cubos de tamaño hasta de 3 cm. completamente desarrollados y estriados como de costumbre según $\frac{\infty O2}{2}$. Raramente y subordinada se observa además lisa O, $[\frac{2O3}{2}]$. Después de la disolución de los mínimos romboédritos de siderita en ácido clorhídrico se ve la ortoclasa bajo la forma de una incrustación drúsica, cristalina fina, blanca como nieve que con una lente de un aumento de 20 veces deja apenas reconocer cristales claros. La determinación del peso específico, el índice de refracción que es de más ó menos 1.52 habiendo sido determinado según el método de Schroeder van der Kolk, la doble refracción débil y los dos ejes ópticos, no dejan ninguna duda respecto á la naturaleza del mineral. Al microscopio pude reconocer cristales bien limitados claros como agua que muestran muchas veces el desarrollo de las caras de la adularia con $OP (001) \infty P \infty (010), \infty P (110) \text{ y } P \infty (\bar{1}01)$.

La ortoclasa es más moderna que la pyrita porque la incrusta y hasta forma el cemento entre los fragmentos de sus cristales fracturados. Sobre la formación de estos curiosos agregados de pyrita y ortoclasa no puedo emitir ninguna opinión segura; no los encontré yo mismo en la mina sino que me los dió un minero. Ortoclasa y albita se encontraron en varios casos, es cierto, como componentes verdaderos de vetas.¹

Sin embargo las muestras que poseo de Cabrestante no causan de ningún modo la impresión de una muestra de veta. Al contrario me inclinaría á creer que los agregados de pyrita fueron lixiviados del espato calizo grueso ya mencionado y sólo fueron incrustados más tarde por el feldespato y en la parte que habían sido fracturados después de la lixiviación fueron cementados de nuevo por él. Mencionaré de antemano que en las masas de contacto de la mina El Carmen se encuentran con frecuencia cristales de ortoclasa de mayor tamaño, como una de las segregaciones más modernas.

Por la descomposición de la ortoclasa se forman productos de alteración kaolínicos que acompañan á veces á las menas. Con ellos aparece en algunas muestras esfalerita compacta de color pardo obscuro. Muestra una laminación de gemelos según O y contiene manganeso.

Entre las formaciones más modernas de minerales de la mina Cabrestante mencionaré aquí con más detalles una incrustación semejante á calcedonia. En el terrero encontré pedazos pardos esponjosos semejantes á "Rauchwacke" que tomé primero por calamina. En parte encierran todavía gra-

¹ Véase STELZNER-BERGEAT, Die Erzlagerstätten. p. 529 y LINDGREN, Occurrence of albite in the Bendigo veins. Econ. Geol. 1. 1905. p. 163—166.

nos de espato calizo ó están ligados con partes de este mineral en masas cristalinas de grano grueso. Con la lente se reconoce claramente que aquí ha sido sustituido el espato calizo por una substancia inmigrada, la calcedonia, y que esta sustitución en parte á lo largo de las grietas del espato calizo, estaba ya bastante avanzada cuando el último fué eliminado en su mayor parte del tejido de calcedonia. Más tarde se formó entonces la siderita encima de la última. Disolviendo el carbonato con ácido clorhídrico en cuya operación se puede reconocer en la solución al lado de cal también magnesia y muchísimo fierro pero ningún zinc, queda la calcedonia bajo la forma de una masa fina blanca, friable como piedra pómez, que puede ser evaporada por ácido fluorhídrico hasta un resto pequeño colorido por el fierro y que consiste pues de ácido silíceo casi puro, encerrando como se ve al microscopio pequeñas cantidades de aquel carbonato de fierro y limonita.

El agregado claro hialino está formado como se ve al microscopio, de dos substancias diferentes que designaré en lo futuro como Q y Ch.

Por la inmersión en esencia de clavo (índice de refracción = 1.544) en la cual al mismo tiempo se encontraron fragmentos de cuarzo, resultó una concordancia hasta los centésimos de su refracción con la del cuarzo. Entre Q y Ch existe sin embargo una diferencia pequeñísima de refracción que se deja reconocer netamente por la línea de Becke de la reflexión total. Esta diferencia se refiere sin embargo solamente á los milésimos. Q es la substancia de mayor refracción.

Q y Ch se encuentran en lo general en agregados de hojas radiadas ó fibras hojosas con frecuencia netamente radiales; las astillas examinadas al microscopio consisten en parte de agregados de una clase, en parte de la otra. Cuando la estructura es radial, Ch forma las partes exteriores, Q las interiores del agregado y á la luz ordinaria se deja reconocer por el límite entre ambas substancias por medio de la reflexión total. Q y Ch se distinguen además por el grado de la doble refracción que se acerca probablemente, tratándose de Q, al del cuarzo, siendo mucho más baja tratándose de Ch. Otra diferencia muy notable es el hecho de que en los agregados radiales hojosos se comporta Q en la dirección de las fibras ópticamente positivo, Ch al contrario negativo.

Aisladamente se observan agregados de Ch de fibras finas, completamente radiados, concéntricos que se pudieran tomar por cortes de esferolitas, pero que sólo están desarrollados en dos dimensiones conforme á la formación total de la substancia á lo largo de grietas finas en el espato calizo. Estos pequeños discos dejan reconocer con bastante perfección entre los nicols cruzados la cruz negra, las fibras son ópticamente negativas. En una laminita muy bien desarrollada de un diámetro de 0.176 mm. observé un cambio que se repite más ó menos doce veces, de capas concéntricas de estructura fibrosa un poco diferentes por su refracción, siendo todas las fibras en todas las zonas ópticamente negativas. El curso de tales zonas concéntricas muestra frecuentemente ángulos marcadamente salientes y entrantes

que se repiten muchas veces y que al microscopio recuerdan la quebradura transversal del ágata de círculos irregulares concéntricos y que seguramente están causados por caras de cristal.

Por lo demás se encuentran aunque en número limitado cristales y esqueletos de cristales de Q. Observé los primeros con aumento fuerte en grupos pequeñísimos que se asemejan algo á la tridimita, pero que muestran más bien un carácter rómbico ó monoclinico que exagonal. Los esqueletos de cristales ofrecen una forma de estrellas de seis radios; son tan sólo en parte ópticamente homogéneos y parecen entonces componerse de la substancia Q; en parte muestran una extinción ondulosa ó en diferentes partes una orientación óptica algo distinta, lo que puede provenir de fenómenos de crecimiento primarios. Pero algunos muestran unos agregados excelentes de fibras finas radiadas de los pequeños discos de Ch y las propiedades ópticas de estos últimos. Con suma facilidad los tomaría uno por pseudomorfosis (paramorfosis) de Ch según Q. Las formaciones en cuestión son sumamente finas. El ancho de las varillas que se juntan para formar estrellas es más ó menos de 0.025 mm. y el largo mayor 0.25-0.6 mm. Según una medida algo inexacta por la formación de las varillas, los últimos formaron en un caso juntos ángulos que varían entre 59 y 61½°. En varias de tales estrellitas se pudo comprobar la terminación clara de las caras en radios á veces de la forma de un esqueleto.

Una estrella exagonal ópticamente homogénea formada de Q dió la imagen del eje de un cristal positivo con un eje en posición excéntrica; esta última se explica por el hecho de que el plano de la estrella exagonal no se encuentra en posición normal al eje del microscopio. Otra estrella exagonal consiste de Ch y muestra una estructura radial fibrosa alrededor de dos puntos centrales, de los cuales uno se encuentra cerca del centro de la estrella mientras que el otro está situado en una de las varillas. Alrededor de estos puntos centrales se hallan dos sistemas concéntricos contiguos de conchas reconocibles por ligeras diferencias de reflexión de los cuales el uno está caracterizado por notable constancia á través de las seis varillas; parece como si la estrella fuera sacada por un corte de dos esferolitas. En la figura 5 de la lámina IX se reconoce claramente que esta estrella de seis rayos ha sido formada por dos esqueletos trigonales ligados imitando gemelos.

Según mi opinión la substancia Q consiste de cuarzo, la substancia Ch de pseudocalcedonia. Después de haber calentado al rojo claro se observó con más claridad la estructura zonal de los agregados; habiéndose reconocido antes sólo por medio de refracción diferente, apareció ahora con claridad por su dibujo fino pardo. Esto me lo expliqué por el hecho que quizá un poco de cloruro de fierro pudiera haber sido adicionado por capas semejantes á ópalo y durante la disolución anterior de la siderita en ácido clorhídrico y que esta impregnación haya resultado visible por el calentamiento al rojo. Sin embargo, ensayos de coloración con eosina no dieron ningún resultado y tampoco se pudieron hacer desaparecer las fibras ópticamente

negativas, aunque habían sido tratados por varios días con potasa cáustica.

No observé tridimita en estos agregados ni en otras partes cerca de Concepción. Quizás se pudieran explicar los agregados ó paramorfosis descritos suponiendo que hayan consistido primeramente de cuarzo y que éste haya sido transformado en tridimita al calentar de nuevo las masas de contacto y que la tridimita misma haya sido transformada en calcedonia. Pero esto está en desacuerdo con el hecho de que nunca encontré cerca de Concepción ni en las masas de contacto de Cabrestante indicaciones de tales cambios.

Catarroyo. Hallazgos ocasionales de roca de granate con magnetita en el Valle del Arco comprueban junto con las huellas de cobre en el contacto, que los criaderos han de aparecer también en el curso siguiente del límite del macizo granodiorítico.

La mina Catarroyo situada al Suroeste de Cabrestante había alcanzado en el otoño de 1906 sólo una profundidad de 70 m. y había extraído poco mineral que parecía tener un carácter semejante al de Cabrestante. La masa de contacto muy descompuesta aflora en la superficie; una roca que se observa detrás de ella y que está muy descompuesta perteneciente á la zona del Kimeridgiano, resultó ser una piedra córnea con wollastonita (comp. p. 56). Los minerales son principalmente magnetita ligada con chalcopirita y cristales de pirita, correspondiendo los últimos en su carácter con los de las rocas de granate metalíferas de Cabrestante. En drusas se encuentra cuarzo como depósito más moderno al lado de cristalizaciones insignificantes de dolomita ó dolomita ferruginosa y siderita.

Respecto á la edad y origen de la siderita tienen interés ciertas muestras de mineral que presentan dicho carbonato íntimamente ligado con magnetita en mezcla de grano fino y que hubieran podido ser tomadas primeramente por rocas de granate y magnetita á causa de su intensa refracción. En la lámina la mezcla consiste únicamente de ambos minerales mencionados. La siderita se reconoce no solamente por su color sino comparándola con espato calizo, también por el hecho que sus cortes muestran en todas las orientaciones una refracción mucho mayor que el bálsamo de Canadá. El desarrollo de la magnetita llama la atención: envuelve el carbonato y forma con frecuencia películas delgadas y costras alrededor de los cristales romboédricos, hoy sustituidos por agregados de granitos de siderita con orientación muy diferente, formando pues esta siderita pseudomorfosis. El diámetro de una de esas pseudomorfosis ha sido determinado en 0.4 mm., el de los granitos de siderita á su vez más ó menos en 0.05 mm.¹

Promontorio y Las Animas. Ambas minas vecinas se encuentran en el contacto entre la roca eruptiva y una masa de caliza transformada en mármol, siendo la primera una granodiorita micácea de grano mediano rica en

1 Fenómenos muy semejantes muestran pseudomorfosis de ankerita en relación á un revestimiento más antiguo de esfalerita en minerales de la mina de zinc en el Schneeberg en Tirol.

cuarzo y ortoclasa y con un poco de diopsida. En Las Animas casi ya no se trabajaba en el tiempo de mi visita. Sólo se veían grandes excavaciones en la roca de contacto alterada, en cuyas paredes se encontraban depósitos abundantes de sulfato de cobre. También pude obtener unos pedazos de cobre nativo y algunas muestras de magnetita pirrítica. En Promontorio habían explotado hasta entonces sobre todo en labores superficiales las masas de mena muy descompuestas del afloramiento superficial. Son estas limonitas algo auríferas, abigarradas por carbonatos de cobre y alofana, atravesadas por óxidos de manganeso, cuprita y cobre oxidulado ferrífero que forman una zona ancha de casi 20 m. entre el mármol desagregado en cubos irregulares y la granodiorita también alterada por la descomposición. Para el estudio del afloramiento primario de mena pude aprovechar un socavón nuevo que produjo menas mineralógicamente muy variadas en dos galerías de explotación situadas en una distancia de 40 m. uno del otro al Sur y al Norte de él. En la galería situada al Norte las menas formaron una masa de un espesor aproximado de 20 m. de roca de granate con grano fino íntimamente ligada con sulfuros, espato calizo y magnetita; al Sur por lo contrario habían encontrado en el mismo contacto una masa enorme de espato calizo con grano muy grueso, que está enteramente exento de silicatos de contacto en numerosas muestras, pero que está entreverado de chalcopirita por lo general compacta y numerosos cristales de pirita. Detrás de esta masa aparece de nuevo mármol normal desagregado en cubos irregulares.

En la roca de granate mencionada el granate está acompañado (véase lám. IX, fig. 4) de mucha magnetita, un poco de pirita, de espato calizo, cuarzo, hornblenda verde, poca titanita y bastante zoisita. Es la única roca de la región de Concepción en la cual pude comprobar el último mineral. La estructura es de grano fino; ninguno de los minerales presenta cristales bien formados siendo todos por lo general el producto de un solo período de segregación, aunque la segregación de algunos puede haber empezado antes que la de los otros. El granate y la magnetita forman un agregado atravesado por numerosos huecos y senos y forman el punto de salida para la segregación de los otros minerales de modo que parecería á primera vista que representan una primera fase de la formación de la roca. Esto es cierto sólo en lo general; un examen minucioso deja por lo contrario reconocer que encierran muchas veces también partes de los otros minerales y que sobre todo el granate se presenta también como inclusión en el cuarzo y en el espato calizo. El granate tiene en la lámina un color amarillo verdoso claro, tiene á veces doble refracción y sus granos redondos y agregados de granos son por lo general libres de inclusiones. Se observan indicaciones de limitación de caras, pero nunca cristales bien desarrollados. La magnetita lo atraviesa en masas continuas pero también de forma sinuosa irregular y además de un modo subordinado también en granos, pero más raramente en cristálitos finos.

En los huecos de este agregado se encuentra por lo general el resto de los minerales mencionados. Frecuentemente se encuentra una hornblenda rica en hierro de color verde sucio. Generalmente forma agregados fibrosos muchas veces compuestos de individuos ordenados radialmente encima del granate, de modo que pudiera aparecer primeramente como un producto de transformación de éste, lo que sin embargo no es. Estos agregados recuerdan algo la clorita ó más todavía la cloritoide, distinguiéndose sin embargo de ellas desde luego por la intensidad de la doble refracción, cuyo carácter en la zona principal es positivo en contraste con ellas. El colorido es muy intenso observable en prismas pequeñísimos; observé n_1 verde pardusco, t_1 verde oscuro, siendo la absorción claramente $t_1 > n_1$, $t: c$ por lo menos 15° . Agregados radiales en forma de bolas y algunas fibras de esa hornblenda se encuentran también en medio del cuarzo y del espató calizo y del mismo modo encierra á veces el granate acumulaciones fibrosas de dicho mineral. No raras veces los agregados de hornblenda que se encuentran encima del granate tienen una forma redonda y penetran en los huecos rellenos de cuarzo y espató calizo, son de nuevo encerrados por una cubierta delgada de granitos de granate.

El cuarzo muestra una estructura radiada y una extinción ondulosa notable, atravesando en partes el granate con una especie de estructura como del granito gráfico. El espató calizo por lo contrario es muy rico en inclusiones de líquido relativamente grandes con burbujas á veces móviles. Las burbujas cambian al calentar su lugar y se hacen inmóviles, pero no desaparecen, así pues, las inclusiones por lo menos en su mayor parte no son de ácido carbónico líquido. A la extinción ondulosa del cuarzo corresponde la laminación secundaria de gemelos del espató calizo. Láminas delgadas, esqueletos y fibras paralelas del último á veces juntas con fibras de hornblenda, atraviesan el cuarzo. La pirita es aquí un poco más moderna que la magnetita; el granate la envuelve pero no inmediatamente, sino que está separada de ella por una capa delgada de cuarzo. La zoisita es bastante común bajo la forma de granos y sobre todo de columnitas arredondadas ó en forma de esqueleto, rica en inclusiones irregulares tubiformes que como lo demuestra la presencia de burbujas se componen en su mayor parte de líquido. Además se encuentran en ella inclusiones de espató calizo y probablemente también de cuarzo y hornblenda. Ocasionalmente se observa también una penetración en forma de esqueletos de zoisita y espató calizo. El carácter óptico de la zona principal es siempre negativo, el plano de los ejes se encuentra paralelo con la dirección longitudinal á la cual corresponde también la dirección de las fibras bastante claras. Se trata pues de zoisita α . Titanita se encontró una sola vez como cristal bastante completo encerrada en cuarzo y espató calizo.

El mármol de grano grueso con pirita que se observa en el lado izquierdo austral del socavón, muestra en parte cruceros de un tamaño por lo menos de 30 cm. de espató calizo con laminación de gemelos según $-\frac{1}{2}R$; en

cavidades se observan escalenoedros atacados R 3 de dimensiones de algunos decímetros. Dicho mármol encierra además de pyrita, chalcopyrita, magnetita y un poco de hematita; en drusas se presenta al lado de cuarzo un carbonato amarillo romboédrico en cristales pequeños, probablemente siderita. La chalcopyrita es al contrario de la pyrita casi completamente compacta, sólo raras veces se observan cristales, habiéndose encontrado únicamente un solo esfenoideo del tamaño de un chícharo, torcido y netamente estriado. En muchas muestras predomina la chalcopyrita sobre el espato calizo siendo ambos simultáneamente cristalizados y teniendo la mena una formación en parte fluida, casi escoriosa ó en gotas. En la superficie la mena ha sido transformada en chalcosina, en cavidades se encuentra además covellina en polvo y con cristallitos microscópicos.

La pyrita se encuentra en cristales y grupos de éstos. El hábito de los muchos individuos examinados es octaédrico con formación simultánea por lo general muy irregular de $\left[\frac{300}{2}\right]$ subordinado también con $\frac{\infty 02}{2}$ é $\infty 0 \infty$. Las caras octaédricas son estriadas, escalonadas por el dyakisdodecaedro y con frecuencia no planas á causa de la penetración subparalela de diferentes cristales engranados mutuamente con suturas irregulares. No pude observar gemelos.

La descomposición superficial penetra hasta el mármol con pyrita. Se muestra no solamente en la chalcopyrita que se transforma así en chalcosina y covellina, sino también en la pyrita. En algunas muestras se ve que esta última ha sufrido una decoloración que se asemeja completamente á la bornita hasta cierta distancia de las paredes de las drusas. Por eso pensé en una transformación de pyrita por medio de una solución de cobre, pero el examen cualitativo no dió ninguna huella de cobre, pero demostró una alterabilidad más fácil por ácido nítrico de las partes decoloradas y un contenido bien aparente de cobalto. Según un análisis que hizo el Sr. Rabe, químico metalurgista, por la amable intervención del Sr. Prof. Dr. Biltz, el contenido de cobalto de la pyrita fresca de Promontorio es de 0.26 por ciento, no habiéndose encontrado níquel. Por el contenido de cobalto se explica probablemente el color notablemente más claro de los cristales frescos de la pyrita.

Magnetita se encuentra subordinada encerrando los sulfuros; más moderna que ella es la hematita en pequeña cantidad. La última es en parte indudablemente un mineral primario. En drusas se observa cuarzo (∞ R, R, — R), espato calizo (R 3) y como ya lo hemos dicho, romboedritos pequeños de un carbonato amarillento probablemente siderita. Esta última se revela también aquí como una de las formaciones más modernas.

En *Las Animas* parecía ser también magnetita un mineral bastante común; encierra dyakisdodecaedros y octaedros grandes y estriados de pyrita. Entre los minerales secundarios encontré un poco de cuprita, sulfato de cobre y los carbonatos de cobre ordinarios acompañados de masas noduloso-botroideas de cobre nativo.

Hasta donde se reconoce una cristalización de este último se presenta en forma de cubo y octaedros torcidos. De las formaciones nuevas acompañantes el cuarzo (∞ R, R, — R) ofrece interés como formación completamente reciente; además se observan escamas de hematita, pirita, calcedonia y al lado cuprita y malaquita y aparentemente también alofana.

El Carmen. Al Oeste de la fundición vieja se encuentra cerca de la mina El Carmen¹ una masa ancha de caliza metamorfozada por el contacto. Debajo de su borde superior sale á luz un criadero de granate y magnetita cuprífero, que había sido descubierto por una explotación pequeña entonces justamente interrumpida.

La masa principal del criadero la forma granate pardo verdoso ó pardo tanto bajo la forma de piedra córnea de granate compacta, como en agregados granuloso ricos en drusas. Además se encontró en el afloramiento de entonces subordinado la magnetita; los sulfuros están oxidados. De gran interés son las inyecciones de cuarzo en el criadero y la frecuente presencia de cristales de ortoclasa en drusas. Por último se encuentra un poco de clorita pálida.

El granate forma masas que se descomponen en granos, ó que se segregan radialmente en varillas y que son ricas en drusas. Notable es una estructura en cintas á veces bastante marcada que puede resaltar principalmente por la intercalación de capas más ricas en magnetita y que muestra entonces un plegamiento fino (fig. 6). No puedo decidir si corresponde con

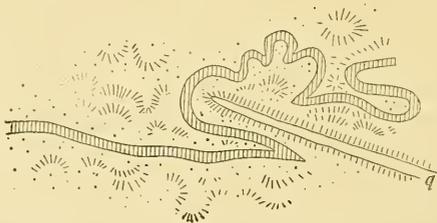


Fig. 6. Cinta plegada de granate rica en magnetita, en roca de granate granuloso ó radiado cerca de El Carmen.
q inyección de cuarzo á lo largo de la cual el granate fué segregado en forma radiada. Escala 1:20.

la estratificación primaria de la caliza transformada. Por lo general la roca de granate es de grano fino y friable, siendo las partes de grano fino frecuentemente encerradas por agregados de granate en cristales gruesos que tienen un aspecto radiado y se presentan con el mismo color y pueden penetrar á su vez en drusas. Capas enteras de la roca de granate son notables por ese carácter radial. Este está originado por el fenómeno de que partículas irregularmente prismáticas y cuneiformes hasta el tamaño de un cen-

¹ Así se llama en el plano de Burckhardt. El peón que me acompañó la designó siempre con el nombre de El Nayal.

tímetro se juntan en los lados y se penetran mutuamente. Los planos de contacto están muchas veces encorvados pero con más frecuencia casi enteramente planos asemejándose entonces tanto más á caras de cristales por ser estriados siempre de un modo semejante á las caras prismáticas del cuarzo por ejemplo. La tentativa de comprobar por medio del goniómetro relaciones cristalográficas en este estriamiento no dió ningun resultado. Pero con la lente se reconoce que las estrías no son enteramente paralelas. Me parece probable que la separación es una consecuencia de la contracción.

Los cristales de granate visibles en las drusas muestran casi sin excepción las formas $\infty 0$ y 202 (112); más raros y subordinados son también $\frac{2}{3} 0$ (323) é $\infty 02$ (210). Entonces $\infty 0$ está siempre desarrollado bajo una forma drúsica escalonada y 202 está finamente estriado según $\infty 0$.

Una estructura conchoidal puede ser ocasionada por el hecho de que un núcleo verde está encerrado por una costra parda ó que zonas pardas más claras ó más oscuras alternan entre sí. Con frecuencia se observa la magnetita (respectivamente martita ó limonita) íntimamente ligada con láminas de hematita y cuarzo (en parte ametista) no pudiendo existir ninguna duda sobre la formación contemporánea de éstos con el granate.

Una roca córnea de granate compacta muestra en la lámina al lado de granate anómalo, cuarzo, espato calizo y un mineral incoloro biaxial probablemente ortoclasa, como formaciones contemporáneas. El cuarzo contiene inclusiones de líquido con burbuja móvil y cristalitas cúbicas.

El granate pardo de El Carmen es un granate de cal y fierro como resulta por el siguiente análisis del Sr. Prof. Dr. Dittrich:

		Números moleculares	
SiO ₂	34,85	0,577	
Al ₂ O ₃	2,19	0,021	} 0,208
Fe ₂ O ₃	29,08	0,182	
FeO	0,19	0,003	} 0,597
MnO	0,35	0,005	
MgO	0,12	0,003	
CaO	32,90	0,586	
Alcalis	huellas		
Agua hasta 110°	0,07		
Agua á más de 110°	0,09		
	99,79		

De esto se calcula:

R _v	R _{III}	R _{II}	O
1,42	1	1,47	5,81

muy aproximado á la fórmula (Si O₄)₃ (Ca Mn Fe Mg)₃ (Fe Al)₂.

En las muestras examinadas sólo se observa parcialmente una descomposición intensa del granate á pesar del estado alterado del criadero. Un tratamiento con ácido sulfúrico diluído comprobó en poco tiempo sobre todo al calentar, la alterabilidad del granate pardo. Tal fenómeno se obser-

vó también en el afloramiento de Promontorio en conexión con la descomposición de las pirritas en la superficie.

En las drusas de la roca de granate se encuentra con frecuencia ortoclasa roja ó blanca á veces bajo la forma de cristales de más de un centímetro. Muestran como el resto de las ortoclasas observadas en las formaciones del contacto cerca de Concepción, el desarrollo de las caras de la adularia. Por la preponderancia de T y x que está siempre estriado en dirección horizontal, poseen el hábito romboédrico siendo subordinadas P y á veces M. Con mucha frecuencia los individuos se presentan también en láminas gruesas según x. La ortoclasa es también aquí una de las formaciones más modernas siendo acompañada de cuarzo (∞ R, R, — R).

Las muestras de roca de granate examinadas dejan reconocer en parte cavidades netamente angulosas que provienen probablemente de inclusiones de caliza hoy lixiviada.

Una parte de los diques de cuarzo y de las masas de cuarzo que se observan en la roca de granate no tienen un origen secundario hidatógono, sino tiene que ser considerada como inyección por parte del magma granodiorítico. Respecto á este fenómeno tiene mucha importancia el pérfil reproducido en la fig. 6. En él se ve claramente que un dique de cuarzo penetró en la masa de granate durante la formación de ésta ó quizá mejor dicho durante su enfriamiento, pues el granate ofrece á lo largo del dique de cuarzo una estructura radial en granos gruesos y acompaña éste en ambos lados como salbanda.

En la mina El Carmen la magnetita es solamente secundaria. Sin embargo la presencia de numerosos fragmentos eluviales pequeños ó de un tamaño hasta de un metro cúbico en la superficie de la granodiorita vecina, comprueba que existe también en masas compactas de tamaño mayor en el criadero. Estos fragmentos con los pedazos poco numerosos de rocas del contacto representan restos esparcidos de denudación. La magnetita está generalmente transformada en hematita y se presenta con cristales de la combinación 0 ó ∞ 0, siendo este último estriado en dirección paralela á la arista de combinación. Una separación conchoidal clara de las pseudomorfofisis parece provenir de una intercalación zonal anterior de partículas de espato calizo hoy lixiviado.

Al lado de los productos ordinarios de descomposición y transformación: limonita, goethita, azurita, malaquita, cuprita, cobre oxidulado ferrífero, hematita, espato calizo secundario de grano grueso y kaolín, se encuentra con mucha frecuencia cuarzo más moderno en el criadero de El Carmen. Mencionaré aquí especialmente un afloramiento muy bonito de cuarzo ferruginoso que asemeja mucho al de Sundwig cerca de Iserlohn. Los cristales muestran ∞ R, R y — R siendo con frecuencia preponderante uno de los romboedros. En el lugar del cuarzo ferruginoso se depositó cuarzo hialino en los lugares á donde la adición de limo ocráceo no se efectuó; en cambio no faltan muestras que dejan reconocer netamente el desarrollo del cuarzo

ferruginoso en el ocre muy moderno que tizna en forma de polvo. La cristalización del cuarzo continúa pues aquí, seguramente bajo la influencia de aguas atmosféricas en el criadero. Los prismas de cuarzo componen en parte grupos excelentes compactos y radiales como se reconoce con facilidad en la quebradura de las muestras.¹ Una muestra presenta una incrustación de granate por cristalitas de cuarzo, siendo estos últimos en parte de nuevo revestidos de calcedonia fibrosa botroide; las fibras de la última son ópticamente negativas y la refracción comparada, en esencia de clavo, es casi idéntica á la del cuarzo. No parece existir una transformación de cuarzo en calcedonia.

MINAS DEL GRUPO OCCIDENTAL (ARANZAZÚ).

Las minas de Aranzazú han sido descritas por Villarello.² Son las más importantes del distrito. Aranzazú es una pequeña población de mineros, encontrándose allí las casas de servicio y de habitación, así como las instalaciones de tiros y de maquinaria de la Compañía minera. La población está en comunicación con Concepción del Oro por medio de un camino que pasa por lo general á lo largo del contacto y que alcanza por fin el plano del término del valle que se encuentra á una altura de 2,650 m., 650 m. arriba de Concepción y que está formado de granodiorita, para bajar pronto detrás de las casas de éste, pasando por un bajo puerto al amplio Valle de Mazapil.

Las cumbres que se levantan al Este y Oeste de Aranzazú están formadas de caliza con Nerineas. La granodiorita forma según Burckhardt, la parte central de un gran pliegue inclinado hacia el Este á cuyo flanco oriental pertenece la hermosa cima del Temeroso, y al occidental con capas muy inclinadas pertenecen las alturas inmediatas encima de Aranzazú así como el panino de los criaderos. La masa granodiorítica se angosta aquí á un ancho apenas de un kilómetro. A lo largo del límite del contacto occidental se encuentran los numerosos criaderos de cobre que se explotan tanto en minas superficiales como subterráneas.

En Aranzazú visité las dos explotaciones más importantes, el Socavón General y las explotaciones profundas del tiro San Carlos, visitando además algunas explotaciones superficiales entre las cuales fué el Guaje el más interesante. El Socavón General tenía en el verano de 1906 una longitud de 456 m.; atraviesa al principio la granodiorita descompuesta para seguir después en la zona del contacto atravesando generalmente el mármol con silicatos, á veces también las rocas de silicatos metalíferos que penetran de modo que la roca eruptiva y la mayor parte de las masas metalíferas de contacto propiamente dicho, quedan al Este del Socavón. Por medio de varios tiros y de dos galerías habían sido descubiertas las partes más profundas

1 Otra muestra menos bonita de cuarzo ferruginoso la recogí durante una excursión en los alrededores del Parral, dirigida por el Dr. Pablo Waitz.

2 Le minéral d'Aranzazú. Guide des excursions du X^e Congrès géologique international. 1906, N^o XXV.

de los criaderos hasta 120 m. abajo del nivel del Socavón y por otra parte se encontró en este último el cuerpo de menas que se explotan en las pendientes del Cerro por las minas superficiales El Hundido y Jaime. Además el Socavón General atraviesa al dique de cobre El Placer, ya mencionado en la pág. 22, que sale aquí de la granodiorita para entrar en la zona de contacto. El echado de las capas calcáreas es bastante fuerte hacia el Suroeste, su rumbo lo indica Villarelo con $N.30^{\circ} - 37^{\circ}W.$, siendo este por lo tanto dirigido en ángulo agudo con relación al límite del contacto dirigido aquí más ó menos de N. á S. (comp. fig. 13). Para poner á descubierto estos criaderos en la profundidad se empezó á construir últimamente en el valle de Concepción más ó menos á 350 m. abajo de Aranzazú, un gran socavón de extracción el Socavón Principal.

Hacia el Norte la zona de criaderos se continúa al otro lado del arroyo de Aranzazú, distante unos centenares de metros de la entrada del Socavón General. Allí la mina San Carlos es la más grande al lado de una serie de catas y exploraciones superficiales. El tiro profundo de 110 m. desemboca en el arroyo mismo atravesando á 44 m. abajo del nivel del valle una cavidad natural de casi 30 m. de altura y seguramente formada por las aguas infiltradas del arroyo. Es una formación muy moderna que no tiene nada que ver con el depósito de las menas.

En las minas la explotación de las menas produjo amplios salones semejantes á cavernas ramificadas ó en forma de tubos. Los planos y cortes de las minas publicados por Villarelo y completadas en parte por mí (figuras 7-10) dejan reconocer las formas y dimensiones de ellas. Es claro que

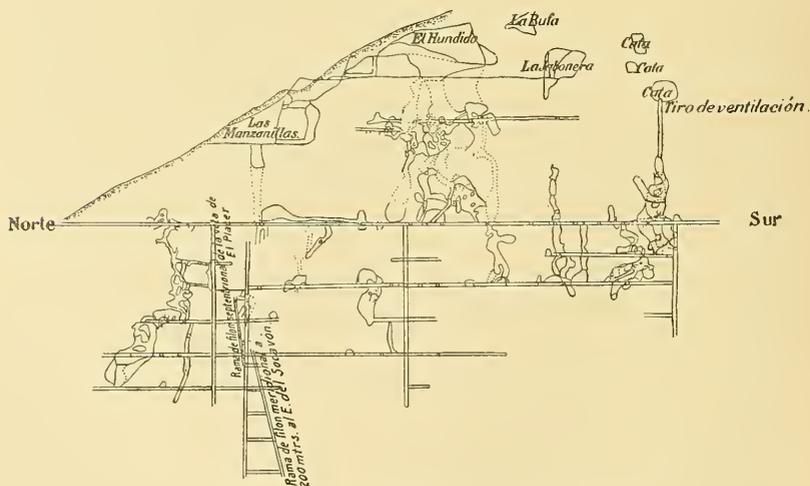


Fig. 7.—Perfil vertical á través del Socavón General de Aranzazú.
Escala 1:3300.

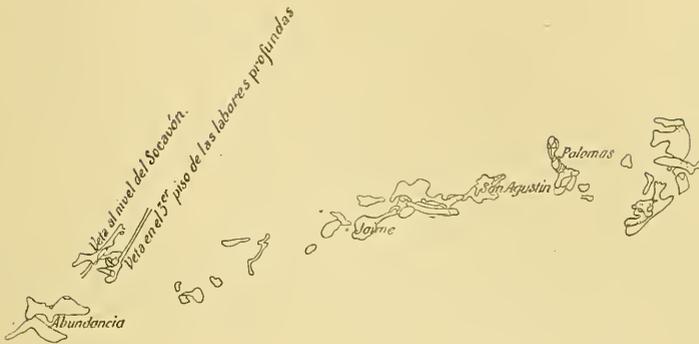


Fig. 8.—Corte horizontal al nivel del Socavón General de Aranzazú.

Escala 1:3250.

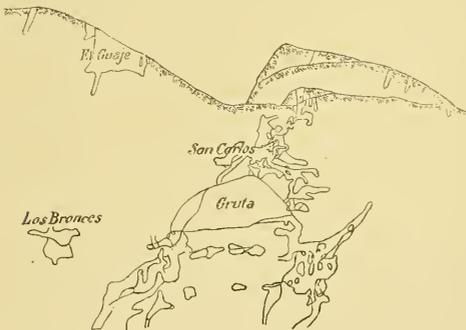


Fig. 9.—Perfil vertical á través de la mina de San Carlos en el plano N. 35° W.

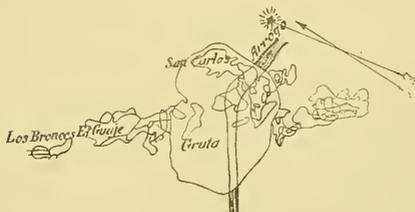


Fig. 10.—Corte horizontal de la mina San Carlos encima del cuarto piso.

Escala 1:3250.

dichos dibujos como tantos otros planos de minas no dan la extensión total de las zonas de la roca mineralizada ni la forma de las masas de contacto como cuerpo geológico, sino solamente la de las masas atravesadas por minerales de cobre y consideradas como explotables.¹ El mineral de cobre primario acompañado de muy poca tetraedrita es siempre la chalcopirita, que ha sido transformada en las partes superiores generalmente en minerales oxidados y más abajo parcialmente en sulfuros más ricos. La chalcopirita misma empieza á sustituir los últimos en las labores más profundas según mi cálculo más ó menos á 80 m. de la superficie.²

Como lo reconoció Villarello los criaderos de menas con silicato dependen en la zona de contacto de grietas más modernas que atraviesan las masas de caliza. No tienen ninguna importancia como dislocaciones ó solamente una subordinada, tienen un rumbo de más ó menos N.80° E., es decir, casi perpendicular al límite del contacto y al rumbo de las capas, habiendo indicado Villarello que estaban en relación con la subida de las masas eruptivas; serían pues, según esta explicación de origen exoquinético. Su echado es de 70-80° hacia el Sur en el Socavón General, hacia el Norte en la mina San Carlos. Al efecto se puede observar en el mármol de la zona de contacto estas grietas en gran cantidad como vetitas angostas con menas y silicatos. La estratificación de la caliza se ve por lo general poco marcada; á veces sólo se presenta bajo la forma de un enriquecimiento sinuoso cintado de substancia grafitica, pero muchas veces se depositó también granate á lo largo de las separaciones de las capas. En donde el mármol aflora se les reconoce como suturas finas y como cintas de granate tortuosas angostísimas. La fig. 11 da una idea de aquellas vetas principalmente granatíferas.

La fig. 12 da además una idea del modo de la formación mineral en esas grietas como se puede observar muy bien en la mina superficial El Guaje. Esta es una excavación en el mármol de una profundidad de unos 25m. de una longitud arriba de 30m. y ancho de 15m. más ó menos. Más marcadas que la estratificación poco clara son las numerosas grietas transversales con silicatos y menas que atraviesan las paredes á distancia de un decímetro más ó menos y probablemente también en haces, siendo su espesor hasta el de un dorso de un cuchillo ó disminuyendo á veces hasta ser microscópicamente fino. A veces se forman del tejido de grietitas, bolsitas hasta

1 Esta observación se refiere de un modo general á todas las figuras semejantes de criaderos dibujados según el punto de vista únicamente minero. En Concepción el promedio del contenido de cobre de los minerales tiene que importar más ó menos 5 por ciento cuando son explotables. En Alemania sería mucho más bajo y de esto resulta que el aspecto de los salones vaciados y también la forma aparente de los criaderos sería otra.

2 En tiempos pasados los minerales sulfurosos de las partes superiores muy principalmente de la mina El Guaje fueron enviados á las minas de plata de Zacatecas, es decir, á una distancia de 250 kilómetros en línea recta para preparar el magistral (principalmente sulfato de cobre) tan importante para la amalgamación de la plata.

de un metro cúbico en las cuales predominan principalmente granate y chalcopirita. Con frecuencia tuvo lugar una formación abundante de wollastonita y cuarzo en ambos lados de una vena de chalcopirita granatífera y es indudable que la caliza ha sido sustituida entonces por una adición de ácido silíceo ó ha sido transformada en el silicato de cal. A veces el mármol entero está atravesado por discos de wollastonita de más de un decímetro de tamaño, por chalcopirita, esfalerita, un poco de hematita y cuarzo (en parte como ametista), además, por un poco de tetraedrita de modo que fragmentos nuevamente desprendidos de este género tienen el mismo aspecto magnífico que las masas de contacto de Campiglia Marítima en Italia. Grandes ensanchamientos en la pared del Guaje indican los lugares en donde fueron extraídas en tiempos pasados tales masas de silicatos cupríferos del mármol. En El Guaje no aflora ninguna roca eruptiva; las materias generadoras de silicatos y menas inmigraron al contrario desde la granodiorita á través del mármol á lo largo de hendeduras y tejidos de grietas transformando en parte á éste ó sustituyéndolo totalmente. En el detalle muestra esta explotación superficial las mismas condiciones que determinan el desarrollo del fenómeno en su totalidad cerca de Aranzazú.

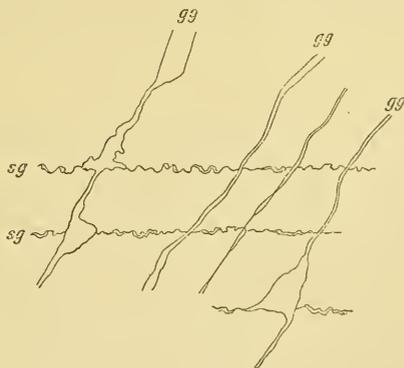


Fig. 11.—Formación de granate á lo largo de grietas (gg) y á lo largo de los planos de estratificación (sg) en la caliza con Nerineas arriba de la explotación superficial de Jaime en Aranzazú.

Escala 1: 20.

Como lo dice Villarello, las masas de silicatos y menas cupríferas no se hallan en lo general en el contacto inmediato de la roca eruptiva con la caliza; pero la zona en la cual se presentan en la caliza al lado de éste, no parece ser generalmente más ancha que 100 m. Según la indicación de Villarello, sin embargo se halla la mina San Juan, cuyo mineral principal parece componerse de tetraedrita, á una distancia de 180 m. del contacto (comp. la figura esquemática 13).

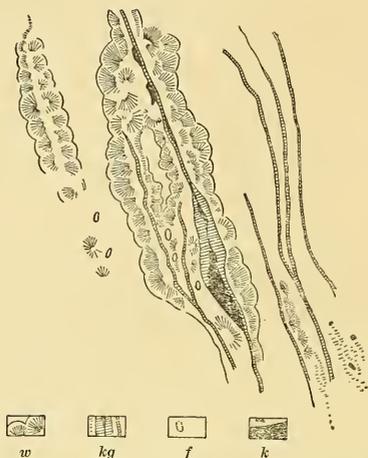


Fig. 12.—Depósito de cuarzo, silicatos y menas á lo largo de las grietas en el mármol de la mina El Guaje, *w* wollastonita radial con cuarzo; *kg* venas de granate con chalcopirita; *f* tridimita en cuarzo; *k* chalcopirita. Las partes marmorizadas por adición de mineral pudieron ser limitadas en dos lugares por líneas sinuosas á lo largo del cuarzo de los agregados de wollastonita. En la mayor de las dos zonas mineralizadas se encuentra á la izquierda arriba del centro un resto alargado de un mármol poco alterado. Escala 1:10.

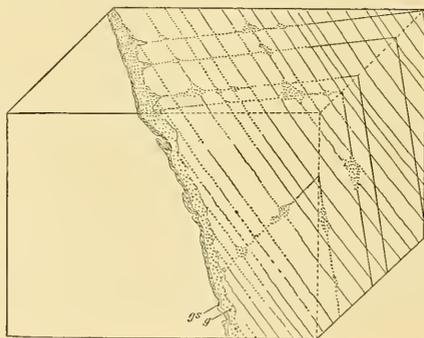


Fig. 13.—Representación esquemática de las formaciones del contacto en el Socavón General de Aranzázu. La figura representa una sección cúbica de la zona de contacto; la arista horizontal anterior tiene la dirección E. W. A la izquierda sin signo la granodiorita, á la derecha la montaña calcárea cuyas capas tienen un rumbo de N.37° W. y un echado de 65° W. En dirección perpendicular á esto y más ó menos también al contacto se extienden cinco grietas con rumbo de N.80° E. y con echado de 75° S. *gs* indica la cinta de granate, es decir, la transformación de la granodiorita en roca de granate; *g* la zona de rocas de silicato (y granate) más ó menos metalífera en el contacto inmediato. Todos los otros lugares puntuados á lo largo de los planos de estratificación y de grietas y sobre todo adonde se cortan ambos indican depósitos de cuarzo, silicatos y menas que pueden formar enriquecimientos en forma de bolsitas y tubos. Cortes transversales de estos son indicados por los lugares irregularmente puntuados en la superficie del cubo. Escala aproximada 1: 3000. La potencia de la cinta de granate *gs* ha sido exagerada muchísimo en la figura.

Como lo indican los planos de las minas, muchos de los salones de explotación tienen una forma de un tubo que se asemejará probablemente en lo general también a la forma de las masas metalíferas de silicato. Las indicaciones siguientes sobre sus dimensiones las tomo de la descripción publicada por Villarello. Los criaderos de Hundido y Jaime situados en el contacto mismo que afloran en la superficie y en los cuales se presentan con preponderancia menas oxidadas, tienen un diámetro de 4-12 y hasta de 30 m.; el de San Agustín es de 3 á 8 metros; el de Las Palomas de 4-6 m.; el de Abundancia 16 m. teniendo también esta última menas oxidadas que deben haberse extendido en la roca alterada hasta más allá del criadero original. Los cuerpos de menas de la mina de San Carlos por lo general también compuestos de minerales secundarios alcanzan potencias hasta de 12, 14 y 16 m. muy particular y claramente reconocible es muchas veces cierto paralelismo en el rumbo y echado de las masas de minerales de cobre. Algunos ejemplos muestran esto:

Socavón general; criadero	Hundido - Jaime,	rumbo	39° S.W.,	echado	70°
„ „ „	Palomas,	„	39 S.W.,	„	70
„ „ „	Abundancia,	„	„	„	70
San Carlos;	„	San Carlos,	„	76 N.W.,	„ 54
„ „ „	„	Los Bronces,	„	76 N.W.,	„ 54

Aquí se presenta el mismo fenómeno que en la forma de muchos criaderos metasomáticos en calizas, como por ejemplo, en el Monte Poni, en Krenth en Carintia, en el Norte de Inglaterra, en la región del Mississippi y de Missouri y probablemente en Mapimi, México. Este se puede explicar por la circunstancia que el depósito de minerales se efectuó con preferencia en aquellos lugares á expensas de la caliza en donde sistemas de grietas con la misma dirección ó grietas paralelas atraviesan planos de estratificación paralelas; es posible que en algunos casos ciertos horizontes de caliza puedan haber sido más fácilmente accesibles á la lixiviación que otros. Según lo dicho arriba tales relaciones entre capas calcáreas y grietas existen en efecto tanto en el Socavón como en San Carlos. En ambos lugares el rumbo de las capas es de N.35° W., el echado más ó menos 65° S.W., teniendo las grietas por lo general un rumbo E.W. y un echado variable por lo general bastante inclinado, dirigido en el Socavón hacia el Sur, en San Carlos hacia el Norte. Villarello demuestra que las líneas de sección calculadas poseen efectivamente más ó menos las direcciones del echado propias de los cuerpos de menas. Los criaderos se formaron, pues, por el ascenso de los agentes mineralizadores por grietas y por su expansión en los cortes de ellas con ciertos planos de estratificación. Apenas se puede pues suponer que el carácter químico de algunos bancos de caliza con Nerineas pudiera haber fomentado el depósito de las menas por ser el contenido de alúmina y el resto de la composición química de dichas capas por lo general muy constante. En cambio quizá no es imposible que la tendencia variable

de formar grietas y separaciones que á su vez sería una consecuencia de su estratificación más gruesa ó más delgada, debería tomarse en cuenta para la explicación de la mayor ó menor facilidad de transformación de ciertos horizontes calcáreos.

El carácter mineralógico de los criaderos se ha indicado más arriba. Parece que la roca de diopsida se formó en el contacto en primer lugar (comp. p. 64) habiendo sido esta entonces como ya lo dijimos antes, transformada en roca de granate. Al mismo tiempo seguramente tuvo lugar la formación de la cinta de granate mencionada ya arriba y observada en la mina Jaime, habiendo sido transformada hasta la roca eruptiva por una adición notable de materias, en granate de cal, alúmina y fierro. Los agentes que formaron el granate encontraron su camino en la caliza á lo largo de separaciones entre las capas y de grietas, efectuándose el depósito del granate en formación contemporánea con la chalcopyrita y un poco de esfalerita. Un poco más moderno que la formación de granate es el depósito de wollastonita y del cuarzo; en donde aparecen ambos en la caliza tuvo muchas veces lugar la adición subsecuente de materias claramente á lo largo de un hilo de granate. En ambos lados de semejante grieta ó entre varias de éstas se transformó la caliza en aquellos dos minerales. Se ve claramente que su depósito se extendió desde esas grietas y nada habla en favor de la circunstancia de que estas últimas se hayan abierto en la mezcla mineral formada y que hayan sido rellenadas con granate y sus menas acompañantes. La observación de que el granate es por lo general contemporáneo con el resto de las formaciones minerales, pero que su origen empezó lo más temprano, es también aquí exacta.

Algunas muestras del Socavón General consisten en su mayor parte de una piedra córnea con silicatos verde sucio hasta pardo rojizo que pasa en parte á una roca de granate con cristales más gruesos. Al lado del granate se ve también espato calizo, cuarzo (ametista), chalcopyrita y sus productos de alteración sulfurosos, además más ó menos wollastonita atravesada por esfalerita amarilla y sulfuros de cobre. El espato calizo y el cuarzo forman entonces frecuentemente en la roca de granate una especie de relleno de drusas cuyas paredes están revestidas por cristales de granate, pero no dejan nunca reconocer una estructura concéntrica en capas ú otros indicios que pudieran probar que hayan estado vacías ó abiertas alguna vez. El fenómeno en su totalidad produce la impresión de que durante el proceso á causa de la contracción y fracturamiento al cristalizar y enfriarse, se haya formado de nuevo lugar para otros depósitos sin que se observen grietas verdaderas con salbandas. Las segregaciones minerales no se efectuaron en períodos de formación bien limitados; en donde se presentan masas en forma de diques de wollastonita se puede observar que tienen siempre á semejanza de segregaciones miarolíticas, por decirlo así, sus raíces en la masa que las encierra.

Ya Villarello dice que el carácter del depósito mineral es netamente me-

tasomático; el carbonato de cal ha sido llevado ó empleado para formaciones nuevas en la misma escala, en la cual las últimas se formaron por adición de materia. Falta pues toda delimitación marcada de los criaderos minerales en relación al mármol ramificándose aquellos en este último que puede ser sustituido parcialmente por formaciones nuevas adicionadas ó recristalizado en espató calizo de grano grueso. Cavidades drúscas están enteramente subordinadas no pudiendo observarse una estructura en capas verdaderas como hubiera podido existir en una cavidad preexistente.

El número de los minerales primarios que existen en los criaderos de Aranzazú es pequeño. Observé espató calizo cristalino, cuarzo, wollastonita, granate verde, amarillo verdoso ó amarillo, chalcopyrita muchas veces transformada en bornita, chalcosina ó cobre oxidulado ferrífero, hematita, esfalerita amarilla ó verde clara, un poco de tetraedrita arsenical y muy poca tremolita. La magnetita no se encuentra en ninguna de mis muestras de Aranzazú; parece faltar por lo menos en los criaderos relacionados con grietas ó existir á lo sumo en muy pequeñas cantidades. Diopsida sólo la observé en muestras que parecen provenir del contacto inmediato. En su totalidad todos estos minerales están íntimamente ligados entre sí, sin mostrar casi nunca caras de cristales y dan muy poco lugar para observaciones.

La wollastonita es el componente más característico de los criaderos de Aranzazú habiendo sido tomada allí por tremolita, pues sus bellos agregados radiales atravesados por cuarzo, espató calizo y sulfuros en parte también por un poco de granate amarillo se asemejan realmente á primera vista á ese mineral. Sin embargo, el examen de láminas y de preparaciones en polvo dió á conocer su verdadera naturaleza: por medio de ácido clorhídrico diluído es fácilmente alterable y deja entonces el depósito de un esqueleto silizoso. En ninguna de mis muestras de Aranzazú se encuentra la wollastonita enteramente fresca, habiendo sido alterada á veces muy profundamente por las soluciones ácidas del sulfato de fierro formadas por la descomposición de la chalcopyrita y teniendo con frecuencia colores pardos ó verdosos. Ya por el examen al soplete se reconoce un contenido considerable de manganeso que se manifiesta en un estado de descomposición avanzada por películas negras, siendo por lo tanto las muestras bastante frescas con frecuencia rojizas. En láminas la wollastonita está íntimamente ligada con el resto de los minerales; á veces se reconoce la formación de gemelos según $\infty P \infty$ penetrándose entonces mutuamente los individuos en campos angulosos. $\infty P \infty$ es la cara del crucero principal y los individuos han estado ligados en agregados radiales y hojosos más ó menos paralelos con ella. Las direcciones de extinción forman por lo general ángulos bastante grandes con la dirección longitudinal de los individuos comprobando también las otras condiciones ópticas que estos últimos han sido formados en láminas tanto en la dirección del eje t como en la del eje simétrico y no en varillas según esta última como se observa generalmente cerca de Concepción.

Se eligieron con la lente partículas bastante puras de una muestra muy fresca de una wollastonita de color de carne procedente de la mina San Carlos siendo su peso específico 2.88. El examen químico lo hizo el señor Prof. Dr. Dittrich, pero desgraciadamente quedó incompleto dada la pequeña cantidad de substancia que tuvimos á nuestra disposición. El resultado fué:

	I	II	Wollastonita
SiO ₂	46,71	46,62	51,75
Al ₂ O ₃	0,69	0,61	
FeO	huella	huella	
MnO	2,62	2,62	
CaO	34,25	34,24	48,25
MgO	0,85	0,86	
K ₂ O	0,08		
Na ₂ O	0,18		
SO ₃	1,15		
Pérdida al rojo	9,23	$\left\{ \begin{array}{l} \text{CO}_2 \text{ 4,57} \\ \text{H}_2\text{O 4,66} \end{array} \right.$	
	95,76		

El examen posterior del material en la lámina dió el resultado que la wollastonita es bastante alterada habiéndose formado de nuevo espato calizo y que está atravesada finamente sobre todo por un cuarzo y espato calizo primario. El ácido sulfúrico, cuya existencia fué comprobada, hace suponer que las pirritas alteradas han contribuido á la descomposición. El contenido considerable de manganeso sólo puede explicarse como componente de la wollastonita, la cual muestra pues como la de la Piedra Cargada (comp. p. 53) la fórmula (Ca, Mn) SiO₃. Tomando en cuenta que en dicho análisis 5.81% CaO debe considerarse como carbonato y hasta 0.80% como sulfato resulta la relación del peso MnO : CaO = 2.62 : 27.64 (relación molecular 4 : 49), lo que es siempre bastante alto.

Una lámina á través de otro agregado de wollastonita muestra el mineral en estado casi completamente alterado bajo la forma de un agregado de abundantes romboedros de espato calizo desarrollados en parte como esqueletos, de epidote incoloro y de mucha substancia que se asemeja á calcedonia. La última se reconoce por su resistencia al ácido clorhídrico y por su refracción entre 1.54 y 1.55. A mayor aumento se disuelve en un agregado de hojas y fibras finísimas, las últimas en parte en forma de pequeñas esferolitas con carácter positivo. Escamas más grandes y una especie de varillas con frecuencia un poco fracturadas resaltan de la pasta fundamental en parte esferolítica finamente radial por su refracción un poco mayor. Tiene una doble refracción un poco más fuerte siendo negativo el carácter óptico de las varillitas. En la lámina el primer agregado con menos refracción aparece á consecuencia de partículas finísimas esparcidas en él con un color pardo claro; aquellas formas de mayor tamaño son en cambio incoloras. Hasta donde la extinción ondulosa de la última lo deja reconocer, la dirección de la elasticidad mayor parece formar á lo sumo un ángulo

lo muy pequeño con la dirección de las varillas. En el agregado se observan pseudomorfosis claras según prismas de wollastonita consistiendo en el núcleo de espatocalizo, el resto de calcedonia pardusca y siendo encerradas por una cinta fina de la substancia con doble refracción más grande.

Con frecuencia se ve que también las hojitas y varillitas de la última poseen una estructura finamente fibrosa la que produce la extinción ondulosa é impide la decisión segura si el mineral incoloro tiene uno ó dos ejes ópticos. Es posible que las varillitas no sean individuos sencillos sino más bien agregados polisintéticos de prismas fibrosos perpendiculares á la dirección longitudinal cuyo carácter óptico sería entonces positivo; así pues, se podría tomarlos por cuarzo finamente fibroso. En favor de esto es también la doble refracción que engendra en la lámina de un espesor de 0.07 mm. colores de interferencia hasta el azul de segundo orden. Pero indudablemente existe entonces al lado del cuarzo todavía otro mineral silizoso que se parece á la calcedonia.

Además de la transformación de la wollastonita en espatocalizo, calcedonia y un poco de epidota cuya existencia se revela por la presencia de alúmina, se encuentra también una transformación en nontronita¹ que describí en otro lugar. La nontronita se encuentra en grandes cantidades principalmente en el terrero de la mina San Carlos. Una muestra de este lugar fué lavada con agua y limpiada entonces con acetileno tetrabromado. Resultó un polvo muy fino de 2.29 de peso específico, demostrando al microscopio impurezas en forma de particulitas finísimas de granate, epidota y quizá también de diopsida y de un poco de limonita. Sin embargo, el polvo es bastante puro y le falta sobre todo lo que es muy importante para la interpretación del análisis siguiente, toda la mezcla de ácido silícico libre con excepción de fragmentitos poco numerosos de cuarzo, habiendo resultado por el examen también la ausencia de carbonatos.

El Sr. Dr. Fraatz, químico del laboratorio de la mina de Clausthal, analizó bondadosamente el polvo y encontró la composición siguiente al lado de la cual publico los cálculos para encontrar la fórmula química. Partí de la suposición que el polvo haya sido mezclado con granate, que la magnesita exista como $MgSiO_3$ y que la nontronita sea un ferrisilicato hidratado en el cual un poco de Fe_2O_3 puede ser sustituido por Al_2O_3 .

El cálculo da entonces para la nontronita la fórmula:

$$Si_9 O_{28} Fe_4 H_8, \text{ igual á } 9 Si O_2 . 2 Fe_2 O_3 . 4 H_2 O.$$

SiO ₂	57,64
Fe ₂ O ₃	26,14
Al ₂ O ₃	4,09
Ca O	2,27
MgO	1,90
H ₂ O á más de 110°	6,90
	98,94

Los álcalis no se determinaron.

		Oxígeno	Calculado en 100 %	Al ₂ O ₃ Calculado en Fe ₂ O ₃	Cantidad teórica Si ₃ O ₂₅ Fe ₂ H
SiO ₂	52,29	27,75	59,40	58,88	58,09
Fe ₂ O	26,14	7,85	29,68	33,92	34,21
Al ₂ O ₃	2,71	1,27	3,08		
H ₂ O	6,90	6,13	7,84		
	88,04		100,00	100,00	100,00
SiO ₂	2,45		SiO ₂		2,90
Al ₂ O ₃	1,33		MgO		1,90
CaO	2,27				4,80
	6,10				

Una descripción de los caracteres microscópicos de la nontronita ha sido publicada en el lugar citado.

El granate se presenta en masas compactas y en cristales grandes con un color amarillo pardusco en los fenocristales pequeños con un color amarillo de miel raras veces también azul verdoso. Los cristales amarillo-parduscos mostraron casi siempre solamente ∞O , habiendo sido encontrado al medir una vez también ∞O_2^1 como una cara completamente secundaria.

Hornblenda semejante á tremolita ha sido aislada una vez bajo la forma de individuos muy pequeños de un dique de granate. Las fibras que se extinguen oblicuamente son netamente pleocroíticas siendo \dagger incoloro, \ddagger pardusco; la zona longitudinal es ópticamente positiva, \ddagger es bisectriz aguda.

Pyrita se encuentra en muy poca cantidad siendo mucho más común la chalcopyrita con la bornita que ha sido formada de ella. Mas rara es la chalcosina. Cristales poco claros esfenoidales de chalcopyrita los obtuve una vez por disolución en ácido acético de una masa de espato calizo con silicatos y menas. Hay que mencionar además tetraedrita. Se observa con frecuencia bajo la forma de inclusiones compactas insignificantes en el Guaje, acompañada principalmente por cuarzo. Según Villarello existe en gran cantidad en la pequeña mina San Juan, distante del contacto granodiorítico 180 m. hacia el Oeste. Entre dos muestras de mayor tamaño que me regalaron en Aranzazú, una contiene el metal compacto acompañado por mucho cuarzo y un poco de granate amarillo, la otra una cubierta de tetraedrita sobre chalcopyrita acompañada por espato calizo y cuarzo. En los cristales de más de un centímetro observé ∞O , $\frac{202}{2}$ al lado de $\frac{0}{2}$ preponderante. Según el análisis cualitativo es tennantita. Zinc, cadmio, antimonio, bismuto, estaño y plata faltan ó están á lo sumo representados por huellas. Una tercera muestra de tetraedrita que tiene al lado del cuarzo también mucha pyrita y sólo poca chalcopyrita procedente quizá de un afloramiento al exterior de la zona de contacto, contiene en drusas pequeñas cristallitos de glesita.

¹ Las medidas de las caras un poco desiguales y ásperas dieron $n = 1.959$ respectivamente 1.937.

Las menas explotadas en Aranzazú y entregadas á la hacienda de beneficio de Concepción contienen un promedio de 5 por ciento de cobre y al lado de un poco de oro 240 gr. de plata por tonelada (0.024 por ciento). En el año de 1906 se extrajeron mensualmente más ó menos 7,000 toneladas.

Formaciones minerales secundarias se encuentran con preferencia en las capas y explotaciones superficiales más altas. Menciono como tales nontronita, cuarzo, calcedonia, espato calizo, azurita, malaquita, alofana, cobre oxidulado ferrífero, chalcosina compacta, hematita. Como nadie se preocupa de la colección de minerales me tuve que contentar con hallazgos ocasionales en las acumulaciones de metales, terreros y materiales para el alto horno, siendo así las muestras no muy notables cristalográficamente, ni completa la lista dada del número de los productos comunes de la transformación.

Llama la atención la presencia de grandes cantidades de cuarzo muy reciente en los afloramientos alterados. Los individuos más grandes de un espesor de varios centímetros con R, — R, ∞ R, consisten de una penetración mutua subparalela de varios cristales cuyos ejes principales están inclinados de tal manera los unos contra los otros bajo ángulos muy pequeños, que los individuos no tienen ninguna arista común. De las seis caras de pirámide de un cristal grande prismático corto resalta con inclinación muy pequeña del eje principal (más ó menos 6°) de tal modo el vértice de una pirámide un poco más pequeña que las seis pirámides tienen más ó menos las mismas aristas marginales que la pirámide central. Fenómenos semejantes se observan respecto á las caras prismáticas. Muchos de esos haces de cristales se reúnen en posición divergente en una masa que aparece en la sección transversal bajo la forma de una estrella radial de cuarzo. El cuarzo sustituyó en parte al espato calizo siendo por lo tanto á veces íntimamente ligado con granate.

Ya hablamos en la pág. 22 de la veta de mineral de cobre El Placer que está á descubierto por medio de un socavón especial no muy lejos del Socavón General. Se distingue respecto á las materias de los criaderos de contacto por su contenido de plomo, pero en cambio se asemeja á éstos por la presencia del arsénico en estado de arsenopyrita.

APENDICE: LOS CRIADEROS DE PLOMO Y DE ZINC FUERA DE LA REGION INMEDIATA DEL CONTACTO

Criaderos de plomo y de zinc parecen ser muy frecuentes en los alrededores cercanos y lejanos de Concepción. Son en parte tan insignificantes que nunca se han preocupado de su explotación, otros han sido explotados temporalmente y en otros más existió todavía durante mi presencia una explotación minera que produjo en parte minerales argentíferos de la zona de oxidación. Todos estos afloramientos no los pude estudiar con detenimiento.

Estos criaderos que se observan en la caliza parecen estar ligados por lo menos parcialmente con fallas ó existir en sus inmediaciones. Así es que se encuentran á lo largo de la línea principal de fractura en la ladera Sureste del valle cerca de Concepción, cerca del Polvorín y de Los Diamantes, existiendo en su continuación además varias pequeñas catas en el cerro de la Cruz y en su pendiente Noreste. En aquel cerro encontré baritina compacta y al otro lado de él sobre caliza cretácica brechosa costras cristalinas centellantes negras y rojizas ó amarillo-parduscas, formadas de prismas exagonales de un tamaño apenas de 0.5 mm. El examen químico comprobó que es willemita. Las costras tratadas con ácido clorhídrico ó nítrico dan ácido silíceo gelatinoso y una solución de zinc y manganeso con un poco de hierro. El desarrollo abundante de Cl al tratar con ácido clorhídrico demuestra que el manganeso está presente por lo menos en general bajo la forma de MnO_2 . El mineral es incoloro al microscopio pero turbio é impuro con MnO_2 ó limonita. Con la lente se reconoce además del prisma generalmente OR y un romboedro. Siendo el prisma ∞R la posición del romboedro plano indica $\frac{mP_2}{2}$. El carácter óptico es positivo, la doble refracción considerable; comparando el mineral con una willemita de Altenberg en mezclas de α -monobromonaftalina y yoduro de metileno resultó con toda seguridad la identidad de la refracción de ambos minerales. Siendo la willemita relativamente rara su presencia cerca de Concepción merece ser mencionada especialmente. Está acompañada por un poco de baritina, por cristálitos de cuarzo y espato calizo y además por un poco de pyromorfita y cerusita. En la cata de metales plomosos Locomotoría, situada en frente de San Ignacio en la misma dirección, la caliza se encuentra bastante silicificada, en parte transformada en jaspe encontrándose también allí al lado del cuarzo cristalizado un poco de baritina, cerusita y pyromorfita.

Un poco más al Sureste parece existir una segunda serie de tales criaderos; por lo menos ví catas en las pendientes occidentales del cerro de Pitacoche á pocos centenares de metros de distancia de los últimos ya mencionados y otra encontré en el puerto de la Laborcilla y el cerro de los Tajos. De este lugar poseo cristales de espato calizo de un tamaño hasta de un centímetro más ó menos: OR, R; R pura, á veces con laminaciones de gemelos según $\frac{1}{2} R$; OR, R, $-2R$; R, $-\frac{1}{2} R$; R, OR y un mRn ($2\frac{2}{5} R_2$) mate plano vecino á R. El hábito de los cristales es á veces de la forma de tablas según OR mate ó áspero ó de romboedros según R con frecuencia enteramente liso. Escalenoedros agudos faltan completamente. El espato calizo se encuentra en grietas de la caliza con Nerineas habiéndose formado juntos con él, pequeños prismas de pyromorfita é incrustaciones de carbonatos de cobre. Baritina compacta se presenta como depósito más antiguo, siendo el panino en parte silicificado.

Aquí mencionaré también la pequeña mina La Cruz arriba de Catarroyo. Extrajeron un poco de galena muy alterada, transformada en cerusita, y minerales secundarios de cobre. Entre estos últimos es muy común una

alofana de cobre formando masas compactas en una substancia parda semejante á bolo ó hilos de color pardo verdoso que uno pudiera tomar á primera vista por chrysocola pero que se distinguen de ella por su dureza pequeña (más ó menos 3) y por el hecho de que son untuosas al tacto. La intensidad del colorido varía desde tintas claras hasta verde-esmeralda obscuro. En drusas se presenta con formas superficiales estalactítico-bo-troidales, pero nunca con indicios de una cristalización. Cernita y espato calizo lo incrustan y lo penetran.

Estas formaciones nuevas se reconocen en su modo de aparecer por los caracteres de un coloide solidificado no completamente homogéneo. En masas compactas son transparentes con rotura anguloso-astillosa ó conchoidal no muy clara y muestran grietas de desecación. La superficie posee un lustre graso pudiéndose reconocer con la lente parcialmente indicaciones de una estructura fibrosa radial. Al calentar al rojo el mineral da mucha agua y se transforma poco á poco en una masa semejante á esmalte, negra ó negro-verdusca sin que la forma de las astillas cambie.

Las astillas muestran al microscopio una estructura netamente fibrosa y concéntrico-conchoidal con una separación notable en planos muy lisos generalmente paralelos á las fibras, que se asemejan netamente á planos de cruceros. La refracción es de 1.58-1.59 siendo la doble refracción bastante alta. En la dirección de las fibras se encuentra el eje de elasticidad óptica menor; el rayo que vibra paralelamente á ello se absorbe mucho más y se presenta ya en astillas bastante pequeñas con un color vivo verde-azulado, mientras que á la elasticidad mayor corresponden tintas más claras.

El mineral se destruye poco á poco por el ácido acético, en tiempo muy breve con ácido clorhídrico. Esta destrucción se efectúa por una lixiviación que progresa de afuera hacia adentro quedando un depósito de ácido silíceo gelatinoso desapareciendo más y más la substancia verde con mucha refracción y doble refracción en el centro de la forma antigua y quedando en su lugar ácido silíceo con doble refracción débil, fácilmente teñible por materias colorantes orgánicas. Causa la impresión como si del tejido del ácido silíceo hubieran sido lixiviados los otros componentes, óxido de cobre y alúmina y que por esto la tensión disminuiría, la cual había antes ocasionado la doble refracción alta. En los restos transparentes de ácido silíceo móviles en el líquido como películas orgánicas se reconocen todavía las fibras anteriores con el mismo carácter de la doble refracción.

El examen químico cualitativo dió como componentes principales ácido silíceo, agua, óxido de cobre y alúmina. Al hervir el mineral con agua se obtiene en el extracto concentrado muy pequeño, una huella débil de ácido sulfúrico. La presencia de poco fierro, cal y plomo se explica por las impurezas ya mencionadas.

Una serie de criaderos de zinc y plomo se explota al Oeste de Aranzá. Recibí de la mina San Eligio una magnífica smithsonita teñida por cobre, verde mar, bajo la forma de muestras transparentes arriñonadas bo-

troidales. Las muestras más bellas tienen una superficie de los riñones formada por romboedritos subparalelos, cuyo reflejo produce un lustre semejante á terciopelo. De San Eligio parecen provenir también muestras con fluorita morada y verde, cuarzo y espato calizo, pirita ($\frac{x}{2}$, ∞ O ∞), con mucha esfalerita pardo clara, un poco de galena y un poco de tetraedrita. Por último, poseo de la mina San Vicente piromorfita amarillo de cera, ó de naranja y amarillo verdosa ó verde de pasto. Forma generalmente masas enteramente compactas botroidales, incrustadas á veces por espato calizo y en parte también agregados radiales de prismas.

Lista de minerales

Doy en seguida una lista que enumera, con indicación de las páginas del texto, los minerales que se presentan en la Región de Concepción, por lo general no bajo la forma de segregaciones primarias de la granodiorita, sino en las rocas de contacto y los criaderos y que han sido mencionados ó descritos en la parte anterior de este trabajo. Fueron encontrados con pocas excepciones por mí mismo. La lista no comprende seguramente el gran número de minerales, sobre todo de formaciones secundarias nuevas en las partes superficiales que deben encontrarse según toda probabilidad, no pudiendo ser tampoco las descripciones dadas algo completas por basarse solamente en el material de hallazgos ocasionales. La enumeración debe dar únicamente una idea de la riqueza en minerales que pudiera ser completa por colecciones sistemáticas por parte de los mineros.

Allofana, 79, 99.	Epidota, 21, 22, 49.
Anfibola, 21, 23, 38, 65, 73, 80, 96.	Escapolita, 51, 69.
Anglesita, 96.	Esfalerita, 71, 75, 89, 100.
Apatita, 40, 64.	Espato calizo, 68, 79, 80, 98.
Arsenopyrita, 22.	Fluorita, 100.
Baritina, 98.	Galena, 22, 98, 100.
Calcedonia, 75, 85, 98.	Grafito, 45, 55.
Cerusita, 98.	Granate, 21, 27, 35-36, 59, 73, 79, 82, 83.
Clorita, 82.	Hematita, 22, 73, 82, 89.
Cobre, 82.	Litomarga, 22.
Covellina, 72, 81.	Magnetita, 71, 73, 79, 84.
Cuarzo, 84, 97.	Nontronita, 95.
Cuarzo ferruginoso, 84.	Opalo, 29, 58.
Cuprita, 82.	Ortoclasa, 21, 22, 75, 84.
Chabasita, 21, 24, 29.	Plagioclasa, 27, 49, 69, 70.
Chalcopyrita, 22, 25, 70, 81.	Pyrita, 22, 49, 71, 74.
Chalcosina, 72, 81.	Pyrita con cobalto, 81.
Desmina, 21.	Pyromorfita, 98, 100.
Diopsida, 30, 38, 51, 64.	Pyrrhotina, 56.

Rutilo, 56.	Turmalina, 22, 25.
Siderita, 73, 78.	Turquesa, 58.
Smithsonita, 99.	Vesuviana, 63, 67.
Sulfato de cobre, 79.	Willemita, 98.
Tetraedrita, 71, 96, 100.	Wollastonita, 40, 50, 52, 93.
Titanita, 55, 80.	Zoisita, 80.

RESUMEN

Las investigaciones anteriores se refieren á un campo de observación que se extiende sobre una región de varios kilómetros de longitud á ambos lados del límite de contacto entre una granodiorita y capas mesozoicas compuestas principalmente de calizas muy puras casi exentas de alúmina y magnesia, más ó menos silizosas. El examen microscópico y químico de la roca eruptiva demostró que el magma tiene una composición bastante variada también á pequeñas distancias. Por otra parte, faltan aparentemente productos de una separación magmática profunda, rocas de diques especiales y una zona marginal química y mineralógicamente bien definida sin tener en cuenta aplitas ocasionales. Sin embargo, es cierto que las rocas marginales presentan ciertas particularidades de estructura.

La metamorfosis de contacto tuvo lugar bajo migraciones muy considerables de materia, tanto desde las capas hacia el magma eruptivo, como sobre todo desde el último hacia las primeras. La absorción de materias por la roca consiste principalmente en una adición de cal, la cual se efectuó en parte por reabsorción en el magma líquido, en parte también por una migración difusiva en la roca totalmente ó casi totalmente solidificada.

La reabsorción de cal por el magma líquido conduce á la segregación de granate y diopsida encontrándose ambos también como minerales de contacto en la región de la caliza cercana. La diopsida como acompañante del granate en las rocas transformadas por una adición de cal se distingue de la diopsida normal de la granodiorita por la falta casi completa de inclusiones ordinarias más antiguas y en parte también por sus formas exteriores. La estructura de semejante roca que se observa en forma de dique en la Piedra Cargada, se parece con frecuencia á la estructura de contacto, siendo las plagioclasas no como se habría podido esperar más básicas, sino más ácidas que en la roca normal. Cuarzo, hornblenda y mica no han sido segregados. La roca de la Piedra Cargada en la cual un contenido reabsorbido de cal de más ó menos 10 por ciento se segregó de nuevo bajo la forma de granate y diopsida, tiene por lo tanto un carácter completamente anormal. En cambio no se encontró cerca de Concepción ninguna indicación de que la reabsorción de caliza haya influenciado la relación cuantitativa entre los componentes normales de la roca eruptiva reabsorbente, de modo

que la zona marginal estaría formada por una diorita normal con hornblenda preponderante ó con pyroxena predominante ó de un gabro con plagioclasa más básica; entonces se habrían efectuado cambios de carácter general petrográfico por la adición de cal, así como se les considera comúnmente como consecuencia de una diferenciación magmática.¹ Tomando en cuenta el pequeño contenido de magnesia de las calizas reabsorbidas, de ningún modo se podría explicar seguramente por tal adición de materia la aparición en parte más considerable de pyroxena y hornblenda. Como lo demuestran los análisis de las granodioritas (pág. 12-13), existe seguramente una relación primaria entre el contenido de cal y de magnesia de las rocas; cuando aquel es más considerable también éste muestra valores más altos. En donde se reabsorbió aquí cal se formaron de nuevo minerales de contacto.

La segregación de granate y diopsida de la roca del dique de la Piedra Cargada tuvo lugar sin formación de pseudomorfosis comprobando además la naturaleza de la roca el hecho de que todavía no se habían formado casi ningunos fenocristales cuando el magma había entrado en la esfera de la caliza.

Muy distinta es la transformación de la granodiorita en roca de granate en el contacto inmediato con la caliza; se efectuó en la roca completamente ó casi completamente solidificada formando el granate en parte con diopsida, wollastonita, cuarzo y un poco de espato calizo, pseudomorfosis según plagioclasa, hornblenda y pyroxena. La mica con todos los otros componentes desapareció completamente, la apatita se recristalizó. El análisis dió el resultado que la transformación se realizó por medio de una adición considerable de cal, óxido de fierro y quizá también alúmina y que las substancias alcalinas fueron casi completamente expulsadas. El granate ha de ser un granate de cal, alúmina y fierro. El fracturamiento de los componentes que están por transformarse y de las pseudomorfosis comprueba que la formación de esta cinta de granate se efectuó bajo fenómenos de presión simultáneos.

La transformación de la roca eruptiva en roca de granate y la formación de roca de granate de la caliza son la consecuencia de un mismo proceso. Ambas zonas de granate están íntimamente ligadas teniendo el granate de los dos lados el mismo color; solamente la estructura es aquí por lo general más gruesamente cristalina y drúsica, mientras que las pseudomorfosis de feldespatos indican allí la roca eruptiva anterior. El granate forma la mayor parte de la zona de contacto, siendo secundarios la vesuviana, diopsida, escapolita, que son contemporáneas con el granate, y wollastonita, cuarzo y espato calizo que se depositaron después de haber empezado la formación del granate. Sin embargo, todo indica que la cris-

¹ Véase la opinión contraria LACROIX, Guide des excursions du VIII Congrès géol. intern. 1900. Heft III, p. 15-17.—Idem, Les transformations endomorphiques du magma granitique de la haute Ariège, au contact des calcaires; Compt. rendus d. séances d. l'Ac. d. Sc., 7 déc. 1896.

talización del granate continuó durante varias fases de la formación mineral empezando ya con la segregación del silicato del magma enriquecido por cal y encontrándose por otra parte el granate todavía en los últimos depósitos de grietas en la caliza. Especial mención merece la transformación de diopsida en granate que se observa en las rocas de contacto de Aranzazú. El granate es aquí claramente de la misma clase que el que se encuentra con frecuencia en otras partes de las formaciones de contacto, habiéndose efectuado indudablemente la transformación todavía durante la metamorfosis de contacto y explicándose ésta por una adición de alúmina y óxido de hierro por parte de la molécula de diopsida. La transformación de diopsida en hornblenda semejante á actinolita, que se observa al mismo tiempo, está quizá relacionada con ese fenómeno.

La relación entre la roca de granate formada de la caliza y la cinta de granate conduce á resultados importantes. La granodiorita era en el contacto una roca por lo menos ya en su mayor parte sólida, ya no pudiendo pues, reabsorber por fusión las grandes cantidades de cal que la han transformado en roca de granate. Por la misma razón tampoco se puede suponer que estaba todavía apta á perder las cantidades de materia que necesariamente tuvieron que adicionarse á las calizas muy puras casi libres de alúmina, hierro y ácido silícico para transformarlas en agregados de silicatos. Dos agentes que motivaron la formación de las rocas de silicatos á ambos lados del contacto han de haber subido desde abajo de un magma todavía no solidificado, es decir, desempeñaron el papel de adiciones de materia en su relación con la roca eruptiva transformada bajo su influencia y ya enteramente ó en su mayor parte solidificada. Estas adiciones repetidas parecen haber engendrado las vetas subordinadas adentro del macizo eruptivo, como por ejemplo, las vetas de turmalina y cobre y la veta El Placer, siendo sin embargo el contenido de minerales de la última enteramente secundario y en varios sentidos como diremos más adelante, diferente de los criaderos en parte muy importantes á lo largo del contacto. La presencia de cal debe haber inducido por lo tanto á los agentes ascendentes á perder totalmente ó en parte su substancia. Respecto á la naturaleza de aquellos agentes, nada habla en favor de la suposición de que hayan sido soluciones de agua, pues con excepción de un poco de vesuviana, epidota y zoisita y de las zeolitas modernas muy raras, no se presentan en las formaciones de roca de granate ningunos silicatos hidratados. No se puede pensar tampoco en una refusión por no mostrar la granodiorita ni en la proximidad inmediata de la cinta de granate una huella de fusión.

Con gran seguridad se puede pues pretender que la formación de granate de este lado, así como más allá del límite del contacto tuvo lugar á consecuencia de penetración por gases ó de una difusión con temperatura relativamente baja. Esta última no puede haber sido más alta que 1420° aproximadamente al principio del fenómeno, por corresponder ésta al punto de fusión del labrador Ab_1An_1 y en fases ulteriores no puede haber si-

do más que 1180° aproximadamente y 800° ¹ respectivamente por ser la existencia de wollastonita y cuarzo solamente posible hasta estas temperaturas. Los gases penetraron difundiendo las rocas sólidas calientes y ocasionaron aparentemente un cambio completo de materias en ambos lados del contacto bajo formaciones nuevas entera ó casi enteramente iguales. Por la inmigración de cal fueron eliminadas en su mayor parte las substancias alcalinas de la granodiorita transformada según lo indica el análisis. Siendo muy pequeña la potencia de la cinta de granate su cantidad pudo ser solamente pequeña, siendo difícil por lo tanto probar dónde se quedaron; pero quizá se debe buscarlas en el contenido de plagioclasa del mármol epidotífero, en la escapolita y en la vesuviana. Al suponer una penetración por gases de la roca caliente se explica también con facilidad la transformación de los riñones y lechos de sílice en el mármol. Sin que este último contenga muchos silicatos aquellos pueden ser transformados completamente ó por lo menos en su superficie en roca de granate. Ellos mismos no contienen casi ninguna cal y apenas fierro, ó alúmina, no muestran tampoco una huella de disolución; habiendo penetrado cal, fierro y alúmina á mayor ó menor profundidad en los riñones de sílice por medio de difusión.

Mencionaremos aquí que sólo se pudo encontrar muy raramente un poco de apatita en las rocas de contacto en cuanto éstas se formaron de caliza.

Al transformarse las calizas en silicatos deben haberse producido cantidades considerables de bióxido de carbono. Cada metro cúbico de cal dió más ó menos 1200 kilogramos de este gas encontrándose quizá una parte de él en las inclusiones de líquido de los minerales de contacto tan frecuentes en la región. No se puede determinar el papel que desempeñó por lo demás durante el cambio de materias. Quizá el bióxido de carbono fué reducido en parte á CO y empleado para la formación de óxidos y se puede suponer también que de este modo desapareció el contenido de grafito de los sedimentos altamente metamorfizados según la ecuación conocida $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$. El desprendimiento del ácido carbónico tuvo lugar bajo condiciones que impidieron una salida rápida; porque sobre el lugar de la reacción se efectuó la presión de una masa de rocas de centenares de metros cuyo rompimiento fué impedido además por su tenacidad. Las reacciones deben haber tenido lugar bajo una presión considerable y con la presencia del gas bióxido de carbono á alta tensión.

Notables son las transformaciones mecánicas de las rocas en la región del contacto sobre todo el rompimiento, la plastificación y flexión de las inclusiones quebradizas de pedernal en el mármol que por su parte no deja reconocer fenómenos de rompimiento y compresión. Aquellos cambios deben

¹ Las temperaturas de transformación mencionadas deberían sin embargo ser algo más altas que los valores encontrados por experimentos en vista de la presión alta que reinaba durante el proceso.

haber tenido lugar por lo tanto durante la recristalización de la caliza cuyas moléculas deben haber presentado una facilidad para moverse semejante á la del estado de fusión. Son demasiado importantes para que se pudieran explicar por simple deslizamiento en los individuos de espato calizo. Estos últimos muestran en lo general la laminación de presión.

Es cierto que faltan todas las pruebas para la adición de fluor y boro durante la metamorfosis de contacto, pero recordaremos aquí que diques turmalíferos se presentan en la granodiorita.

A cierta distancia del contacto inmediato la caliza puede ser transformada en un mármol penetrado principalmente por epidota, granate, pyrita y cristallitos microscópicos probablemente de wollastonita; los minerales mencionados aparecen á veces con tanta abundancia que ellos tampoco pueden explicarse de otro modo que por una adición de materia en la caliza.

Una serie de capas bastante potente de calizas cuarcíferas muestran una transformación en roca de wollastonita con todas las transiciones, desde la caliza casi normal arenosa solamente con venas microscópicas de wollastonita, hasta una roca córnea compacta de cuarzo y wollastonita. Como lo deja reconocer el examen microscópico y el contenido de ácido silícico anormalmente alto comprobado por el análisis de tales rocas, la transformación tuvo lugar principalmente bajo la adición de ácido silícico. Aquí tampoco hay indicios de que la formación de wollastonita haya tenido lugar por vía húmeda.

La wollastonita se encuentra en parte también como relleno de grietas grandes encontrándose además también otros minerales de contacto como granate, diopsida y la vesuviana con más ó menos frecuencia como depósitos epigenéticos más modernos en las suturas de las capas ó en las grietas.

La presencia de escapolita se comprobó tanto en las rocas del contacto inmediato como en las calizas menos metamorfizadas.

Los criaderos cerca de Concepción forman 4 grupos en sentido mineralógico:

1. Criaderos de contacto metasomáticos siempre con chalcopyrita.
2. La veta de cobre "El Placer" en la granodiorita.
3. Los criaderos de plomo y zinc en la caliza.
4. Diques auríferos de cuarzo.

Los diques de cuarzo auríferos mencionados en el 4º grupo tienen probablemente un origen secundario, habiéndose formado durante la descomposición de criaderos de contacto algo auríferos. De los otros tres 1 y 2 con seguridad, 3 con probabilidad, están en relación genética con el ascenso de la granodiorita. Respecto á las materias hay una diferencia entre 2 y 3 en comparación con 1 por ser en aquellos criaderos la galena el mineral esencial, mientras que falta completamente ó casi por completo en los criaderos de contacto.

La asociación de minerales de los criaderos de plomo y zinc corresponde aparentemente á la de criaderos ó diques metasomáticos ordinarios. Sili-

catos primarios no los encontré en éstos observándose como gangas baritina, cuarzo y fluorita. Suponiendo, una relación con el ascenso de la granodiorita, lo que no se puede comprobar netamente se puede admitir por otra parte que estos criaderos como con suma probabilidad los otros criaderos semejantes de plomo y zinc tienen un origen hidatógono, habiéndose formado por segregaciones de materias del magma que se enfrió á mayores profundidades ó bien que consisten de tales componentes que pudieron migrar á mayor distancia del magma. En ambos casos se pueden designar estas formaciones minerales como *emigradas ó apomagmáticas*.

Los criaderos de contacto son por lo general nada más que rocas de silicato excepcionalmente ricas en minerales de cobre y parcialmente también en magnetita de la zona del contacto y deben su origen como esos á una adición pneumatolítica de materias en relación inmediata con el ascenso de la granodiorita. La veta El Placer es también cuprífera. La transformación intensa de su panino en hornblenda verde semejante á uralita, cuarzo, epidote, espato calizo y sulfuros, á la cual solamente resistieron ciertos componentes de la granodiorita como apatita, titanita y jergón y por la cual esta misma puede transformarse en parte del criadero, indica agentes mineralizadores sumamente enérgicos. Como lo comprueba la presencia de epidote tomarán parte en la composición de estos últimos, agua, vapor de agua ó por lo menos los componentes del agua. El parentesco material de la veta con los criaderos de contacto y su presencia en la proximidad inmediata de estos últimos y en la granodiorita misma, son otras razones para explicar su asociación de minerales por segregación de materias del magma profundo. Los criaderos de contacto y la veta de cobre El Placer se encuentran en la proximidad inmediata de la roca eruptiva de la cual proviene una parte de su contenido de materia; podría designárseles como *perimagmáticos*, es decir, situados cerca del magma.¹ En el mismo sentido se podrían considerar también muchas vetas de estaño, cobre, oro y oro con plata como perimagmáticos, muchos criaderos de plomo y esfalerita como apomagmáticos.²

Los criaderos de contacto distribuidos en toda la tierra ligadas con la proximidad de rocas profundas ácidas ó semiácidas frecuentemente granodioríticas, tienen una composición mineralógica muy variada.³ De silicatos se encuentran á veces únicamente ó casi únicamente anhídridos siendo éste como el granate entre ellos el más común. El mineral es entonces con preponderancia magnetita al lado de pirita, por lo general con chalcopirita que puede ser predominante, con esfalerita y con frecuencia también con galena en menor cantidad. Otras veces, sin embargo, se encuentran con fre-

1 Más características serían quizá las expresiones: formaciones minerales "apoicas" y "paroi-cas" (*ἀποικος* el emigrado, el colono; *παροικος* el criollo).

2 Véase también el capítulo "Epigenetische Lagerstätten und Eruptivgesteine" en Stelzner - Bergeat, *Erzlagerstätten*, p. 1202-1208.

3 Stelzner - Bergeat, l. c. p. 1181-1188.

cuencia silicatos hidratados como epidote é ilvaita, pudiendo entonces aparecer también en mayor cantidad galena mientras que la magnetita falta á veces por completo. Indudablemente la composición mineralógica actual de los criaderos de contacto no es frecuentemente el resultado de un sólo acto mineralizador, sino el de adiciones repetidas de materia, transposiciones y formaciones nuevas que tuvieron lugar en el largo tiempo en que el magma se enfrió, durante el cual se pudieron ejecutar nuevas adiciones de magma y la temperatura del lugar de reacción, así como que la composición de las materias expulsadas del magma debían experimentar oscilaciones. Por falta de investigaciones microscópicas detalladas no se conocen completamente por lo general y justamente tratándose de las localidades más importantes de este tipo de criaderos, las condiciones paragenéticas y la historia de su formación. Probablemente también resultaría que muchos silicatos de tales criaderos tomados por productos de descomposición como hornblenda, epidote y serpentina deben su existencia á adiciones y transposiciones de materias durante la formación del criadero.

Como ejemplo para la diferencia mineralógica entre criaderos en su carácter general muy semejantes, haré aquí una comparación entre los de Campiglia Marittima y Aranzazú:

Campiglia Marittima: ilvaita, pyroxena de fierro, cal y manganeso, pyroxena de cal y manganeso, parcialmente abundante galena, además esfalerita amarilla ó parda, pyrita, chalcopyrita, cuarzo, espato calizo, fluorita y epidote. Ningún granate ni magnetita.

Aranzazú: granate, poca diopsida y amfíbola, mucha wollastonita, mucha chalcopyrita, poca pyrita, bastante esfalerita amarilla ó verde, un poco de tetraedrita arsenical, cuarzo, espato calizo, ninguna ilvaita á lo sumo un poco de epidote, ninguna magnetita, aparentemente ninguna galena.

Cerca de Concepción no hay ninguna diferencia notable entre los criaderos de contacto del Este y Oeste de la región. En el Este las masas de silicato metalíferas están ligadas al contacto mismo. La chalcopyrita está aquí acompañada por mucha pyrita y ocasionalmente por magnetita abundante y preponderante, pero en cambio por poca esfalerita. La wollastonita como ganga es poco frecuente en comparación con el granate. En el Oeste cerca de Aranzazú se encuentran en cambio los criaderos á lo largo de grietas, generalmente dentro de una región que se extiende hasta más ó menos 100 m. desde el contacto. Magnetita parece faltar aquí completamente siendo la pyrita en menor cantidad, la esfalerita muy común y presentándose además tetraedrita arsenical. Al lado de granate la wollastonita acompañada por mucho cuarzo forma la matriz principal.

Respecto á la geología los criaderos de Aranzazú se asemejan á los de Campiglia Marittima. También estos últimos no están ligados en parte al contacto inmediato sino con grietas en la caliza. Las formaciones de pyroxena de allí se pueden comparar con la wollastonita de Aranzazú. La abundancia de los silicatos hidratados ilvaita y epidote, así como la falta

de granate, pudiera ser tomada aquí como una prueba de que el depósito mineral ha tenido lugar á una temperatura relativamente baja. En cambio la presencia abundante de granate es común á todos los criaderos de contacto cerca de Concepción é indica el tipo bien conocido del Banat; en efecto los criaderos explotados en el Este de la región de Concepción se asemejan mucho por su contenido en magnetita á los criaderos de Vaskö (Moravicz) igualmente ligados al contacto con granodiorita. Los criaderos de contacto de Concepción pueden por lo tanto considerarse por su carácter general geológico y su composición mineralógica como una forma de criaderos entre los tipos extremos Banat-granate-magnetita- y Campiglia Marittima-pyroxena-ilvaita-galena.

En donde aparecieron wollastonita y cuarzo al lado del granate en las rocas de silicatos de Concepción fueron por lo general un poco más modernos que el último. De esto se podría deducir que se han formado á temperaturas más bajas. En favor de esta opinión se puede mencionar además que la wollastonita se observa en rocas poco alteradas y á distancias relativamente mayores de la roca eruptiva. Del mismo modo la abundancia de la ilvaita hidratada en Campiglia Marittima podría indicar una temperatura más baja de la formación mineral. De este modo llegaría uno á la conclusión que las masas de silicato con magnetita situadas en el contacto inmediato cerca de Concepción se habían formado por lo general á una temperatura más alta que los criaderos de Aranzazú que se encuentran sobre grietas á cierta distancia del contacto, siendo libres de magnetita y caracterizados por abundancia de wollastonita.

Como todos los depósitos minerales más abundantes en el contacto de la granodiorita de Concepción, también los criaderos de contacto se formaron por una segregación enérgica de materia por parte del magma. Con excepción de la cal y de las pequeñas cantidades de ácido silícico, alúmina, fierro y magnesia contenidas en las calizas, todo el conjunto de materias de las formaciones de contacto tiene un origen magmático. Esto es cierto en primer lugar respecto al fierro que forma un componente esencial del granate, de la pirita, de la magnetita y de la chalcopyrita. La idea de que las masas de magnetita de El Carmen hubieran sido formadas de un depósito primario y preexistente de fierro, debe ser completamente rechazada. Otras materias adicionadas en gran cantidad son alúmina, ácido silícico, magnesia, manganeso, azufre y cobre. En menos cantidad se hallan potasio, sodio, zinc, cobalto, titanio y arsénico, siendo muy raros en relación con los anteriores, fósforo, plata y oro. Los criaderos de contacto son esencialmente lo mismo que las rocas de contacto, siendo solamente más ricas en metales pesados. El modo de formación pneumatolítico admitido para aquéllos debe aceptarse también para éstos. Las relaciones íntimas con la granodiorita tienen como consecuencia que en las rocas de contacto así como en los criaderos de contacto se encuentran ocasionalmente también minerales que se observan por lo general como formaciones pneumatolíticas en las rocas eruptivas mis-

mas; citaremos apatita, titanita y sobre todo ortoclasa. Entre los silicatos que componen las masas de contacto se conocen bien como productos pneumatolíticos de transformación granate, wollastonita, vesuviana y escapolita, pudiéndose formar también el cuarzo por vía gaseosa, como lo comprueba p. e. la presencia de la liparita de Lipari en litofisas; respecto á la magnetita y la hematita este modo de formación apenas necesita mencionarse. Esfalerita y pirita se conocen en las bombas de la Somma.

Las formaciones de contacto de Concepción son un excelente ejemplo para la alta significación de la expulsión de materias por magmas en vía de solidificarse, además dejan reconocer el papel mineralizador y repartidor de materias de la difusión gaseosa en masas de roca sólidas y fuertemente calentadas y muestran, en una escala relativamente pequeña, cómo por medio de una traslación mutua de materias las rocas eruptivas y los sedimentos adyacentes pueden transformarse en rocas química, petrográfica y mineralógicamente parecidas.

Con esto se llegaría á un punto de vista importante para la interpretación genética de numerosos criaderos minerales sobre todo en las pizarras cristalinas.

Clausthal, 12 de Marzo de 1909.



LAMINA I

LAMINA I

- Fig. 1.—Punto desde donde se tomó la vista: Cerro de la Cruz. En primer término Concepción del Oro con la fundición de cobre. La cima más alta á la derecha es el Cerro del Temeroso, formado por calizas con Nerineas. El camino blanco indica aproximadamente el límite de contacto con la granodiorita predominante en el fondo. Justamente encima de la nube de humo de la fundición aparece en el horizonte el cerro minero de Aranzazú, á la derecha de éste el puerto para Mazapil.
- Fig. 2.—Punto desde donde se tomó la vista: cerca de Hernández en los alrededores de la Fundición vieja. El Cerro del Temeroso (capas con Nerineas), abajo en el fondo hacia la derecha las capas invertidas del Jurásico más moderno y del Cretácico inferior. Más ó menos en el centro de la vista, el camino de Aranzazú, hacia el frente de él la granodiorita, hacia atrás la caliza de Nerineas.
-

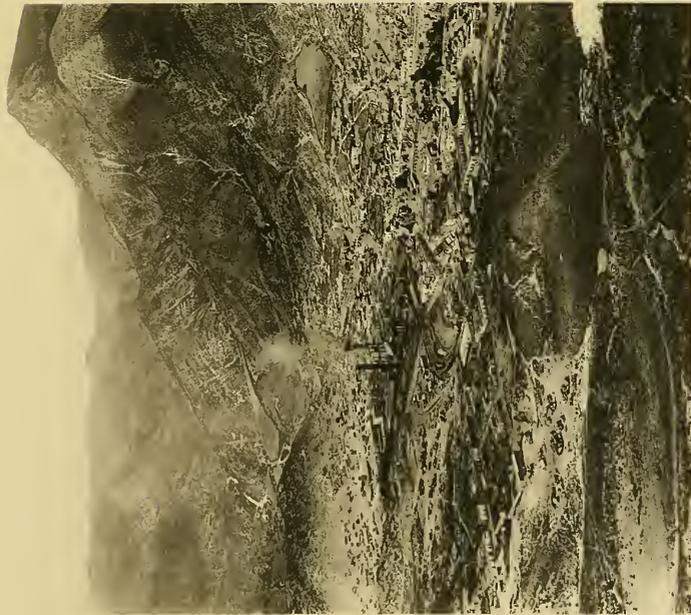


Fig. 1.

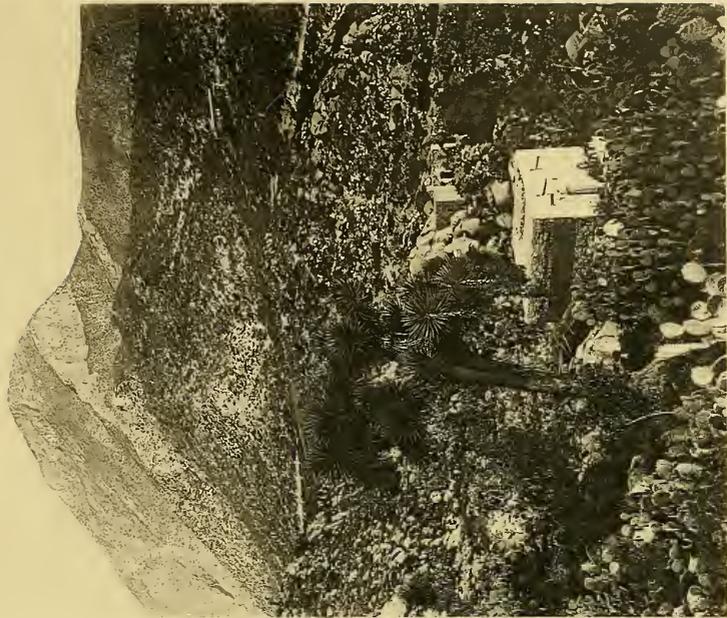


Fig. 2.

LAMINA II

LAMINA II

Fig. 1.—Vista desde Concepción hacia el Sur. A la izquierda el margen de la mesa del Cerro de los Tajos formado de capas invertidas casi horizontales del Jurásico y del Cretácico. La loma baja y obscura que se levanta al otro lado de las casas del fondo del valle, inmediatamente encima del lienzo blanco colgado, es la cresta de la roca de granate de la Piedra Cargada. Encima de ella y á la derecha, el Picacho del Abra al otro lado del Valle de Almagre. Desde él baja una loma hasta el margen derecho de la vista. El Picacho del Abra está formado en su parte más alta de caliza blanca con Nerineas. Debajo de ésta se encuentran rocas de wollastonita oscuras, bien estratificadas (Kimeridgiano-Portlandiano), debajo de éstas (á la izquierda de la yuca) calizas claras del Cretácico. Encima de la yuca en el fondo, la masa granodiorítica del Picacho de los Angeles y del Picacho de la Sierpe.

Fig. 2.—Vista hacia la Fundición vieja y la montaña granodiorítica. Punto desde donde se tomó la vista: cerca de los Azules. Encima de las casas á la izquierda de la chimenea blanca á media altura del cerro la masa calcárea cerca de El Carmen. En el margen derecho de la vista el camino de Aranzazú sobre caliza metamorfozada.



Fig. 1.



Fig. 2.

LAMINA III

LAMINA III

- Fig. 1.—Cerca de Cabrestante; á la izquierda la entrada del Valle del Almagre. En el centro la serie invertida de capas en la pendiente Norte del Picacho del Abra: en la base calizas claras del Cretácico inferior, encima las capas negras con wollastonita de Kimeridgiano y Portlandiano; en lo más alto las calizas con Nerineas metamorfizadas del Abra. En el margen izquierdo de la vista las capas no alteradas del Cerro de los Tajos separadas por una falla de las anteriores; en el fondo á la derecha el Picacho de los Angeles. (comp. fig. 2, lám. I.)
- Fig. 2.—El Cerro del Temeroso. Punto desde donde se tomó la vista: la mina de Las Animas. El camino blanco de Aranzazú indica aproximadamente el límite del contacto. El frente consiste principalmente de granodiorita. Debajo del lugar en donde se pierde á la izquierda el camino en la angostura del valle, se reconoce al frente de la vista el terrero de El Carmen. Respecto á la tectónica del Cerro del Temeroso compárese perfil en el plano de Burckhardt.
-



Fig. 1.



Fig. 2.

LAMINA IV

LAMINA IV

Fig. 1.— Vista tomada desde Promotorio hacia la pendiente occidental del Picacho del Abra y hacia el Valle del Arco. Se ve claramente el límite entre las calizas con Nerineas metamorizadas por el contacto, ásperas, rocallosas y la granodiorita situada debajo de ellas con un declive uniforme. Encima del origen del vallecito blanco situado lo más hacia á la derecha, reconocible por una vereda estrecha se encuentra la altura del Puerto del Arco, justamente en el contacto. De este lado del vallecito todo es granodiorita que se descompone en cubos irregulares.

Fig. 2.— Aranzazú. En el cerro obscuro que domina la vista están los principales criaderos de contacto. Sólo su cima está formada de caliza con Nerineas, su masa restante que mira hacia el observador se compone de granodiorita. A lo largo del contorno derecho del cono se ven terreros de las labores superficiales. Las alturas blancas detrás, á la derecha, están formadas por calizas con Nerineas metamorizadas por contacto. Entre ellas y el cono granodiorítico pasa el camino de Mazapil, visible en parte un poco á la derecha encima de las primeras casas de servicio. Se reconoce también á la derecha en el pie del cono el terrero del Socavón General. La mina San Carlos se encontraría un poco más allá del margen derecho de la vista, detrás de los jacales blancos; el terrero grande del margen izquierdo de la vista pertenece á El Placer. Todo el primer término está formado de granodiorita.



Fig. 1.



Fig. 2.

LAMINA V

LAMINA V

Fig. 1.—Punto desde donde se tomó la vista: El Picacho del Abra. A la derecha la depresión del Puerto del Arco en la caliza con Neríneas metamorfozada; encima hacia el Oeste el Picacho de los Angeles formado también de ella; un poco más hacia atrás á la derecha la granodiorita. La vista muestra una intercalación más rica en grafito varias veces plegada en la caliza con Neríneas blanca metamorfozada. Empieza en el pequeño cerro á la izquierda y continúa hasta el margen inferior de la vista. (La vista no está retocada.) (Comp. p. 64.)

Fig. 2.—Fragmentos de una intercalación de una piedra córnea granatífera en el mármol cristalino de grano grueso, del camino de Aranzá. Estos fragmentos fueron rotos por efecto de tracción y movidos respecto á su posición primitiva. (Comp. fig. 2, lám. VI.)

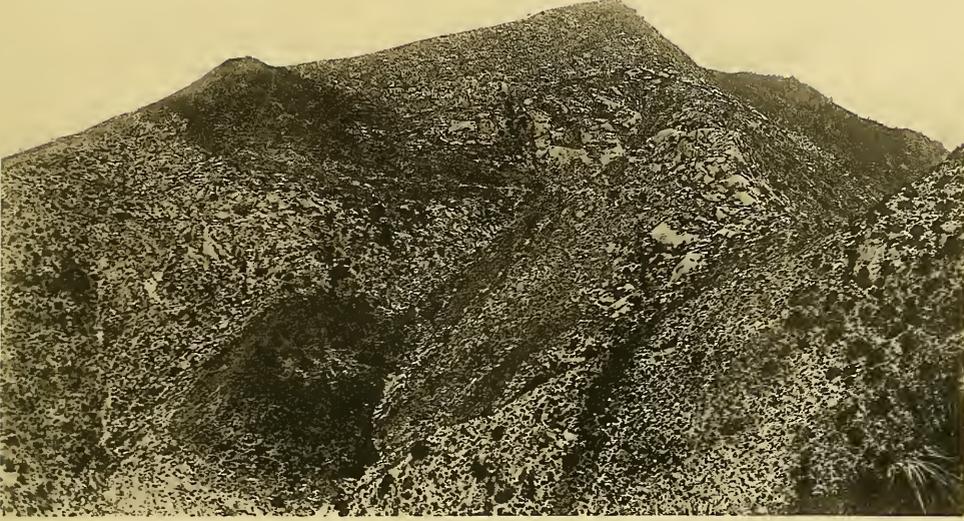


Fig. 1.



Fig. 2.

LAMINA VI

LAMINA VI

- Fig. 1.— Vista tomada desde la boca del socavón profundo hacia la localidad de vesuviana en el camino de Aranzazú. Abajo del camino resalta la granodiorita desagregada en cubos grandes irregulares; encima y á la izquierda caliza con *Nerineas* blanca metamorfozada.
- Fig. 2.— Numerosas cintas de roca córnea granatoide de un espesor muy variado, plegadas, estiradas y en parte rotas en el mármol cristalino de grano grueso del camino de Aranzazú. (Comp. fig. 2, lám. V.)
-

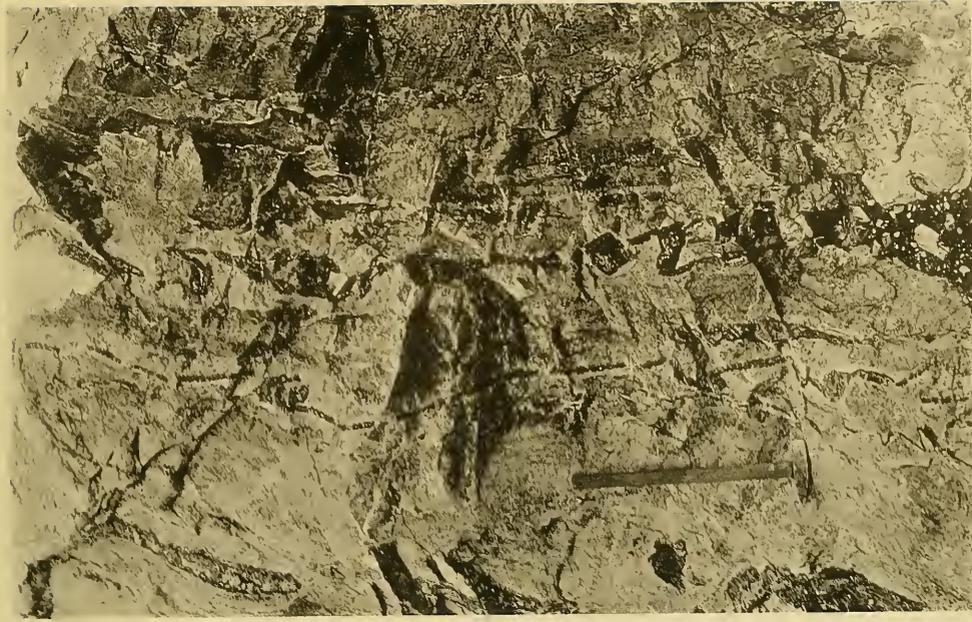


Fig. 2.

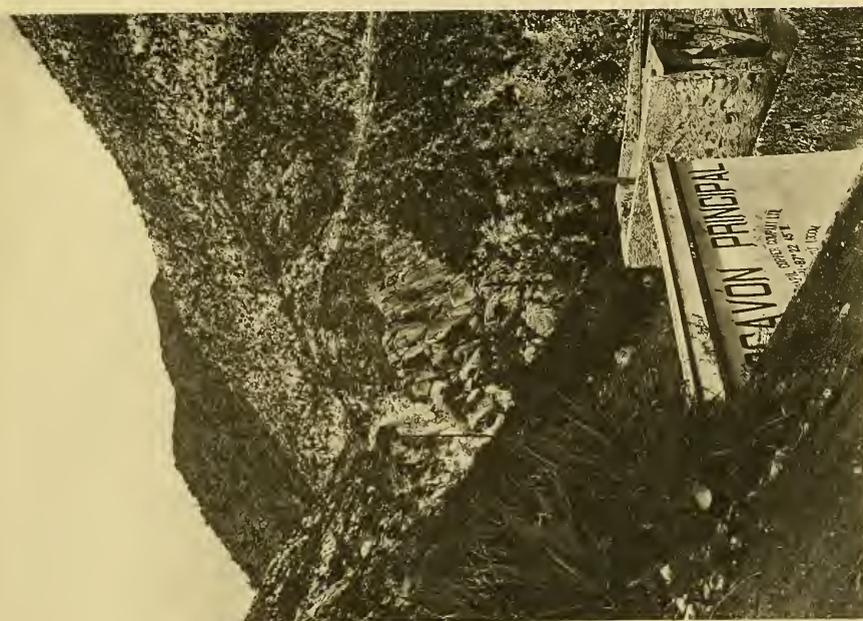


Fig. 1.

LAMINA VII

LAMINA VII

- Fig. 1.—Roca marginal del Valle del Arco á una distancia de 3 m. del contacto. Amplificación $\times 20$. Fenocristales de plagioclasa zonal grande. En la pasta fundamental principalmente formada de feldespato, se encuentra mucha hornblenda, biotita é ilmenita.
- Fig. 2.—Canto de la pared de la Fundición vieja. Granodiorita de biotita y hornblenda con pyroxena. Amplificación $\times 10$. La figura corresponde á un lugar de la lámina más rico en silicatos oscuros.
- Fig. 3.—Roca marginal del Puerto del Arco á pocos metros del contacto. Granodiorita pyroxénica pobre en mica con mucho cuarzo y ortoclasa. Amplificación $\times 24$, nicols +.
- Fig. 4.—De la parte superior del camino de Aranzazú cerca del contacto, granodiorita de mica y hornblenda con estructura granofrica. Amplificación $\times 24$, nicols +.
-

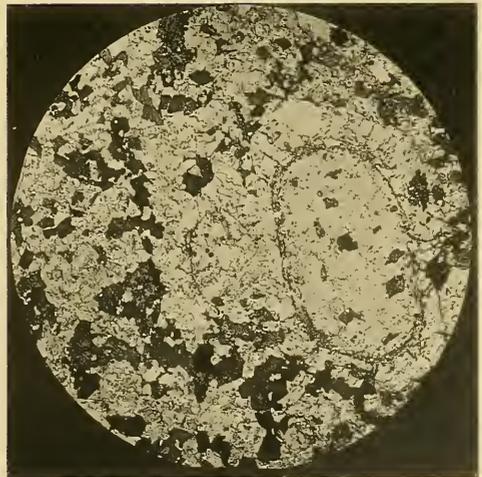


Fig. 1.

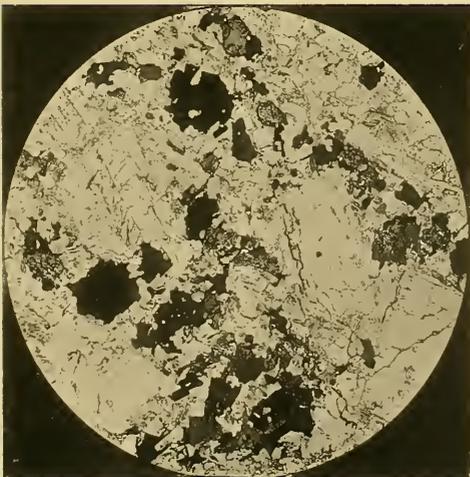


Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.

LAMINA VIII

LAMINA VIII

- Fig. 1.—Plagioclasa fibrosa de la localidad de vesuviana en el camino de Aranzazú. Amplificación $\times 20$. En varios haces de fibras de plagioclasa se ven fenocristales de diopsida y titanita. Los granos más oscuros netamente limitados son titanita, siendo todo el resto diopsida caracterizada por mayor refracción reconocible en parte por su crucero. Granate no se encuentra en la figura. (Comp. p. 39.)
- Fig. 2.—Roca eruptiva alterada por reabsorción de cal de la Piedra Cargada. Amplificación $\times 20$. En el centro del margen derecho un fenocristal de granate irregular y bastante grande, debajo de él un corte con ángulos agudos á través de un agregado de diopsida, feldespatos y titanita en la forma de un cristal de diopsida. El fenocristal oscuro grande cerca del margen inferior y otras numerosas manchas oscuras son aglomeraciones turbias de titanita; á la izquierda de éstas un granate atravesado por diopsida, encima de éste un poco abajo del centro del margen izquierdo, un agregado de mayor tamaño formado por granos de diopsida. El fondo claro consiste de feldespatos. (Comp. p. 44.)
- Fig. 3.—De la cinta de granate en el Puerto del Arco. Amplificación $\times 20$. Pseudomorfosis de granate según plagioclasa. La pasta fundamental granulosa está formada de cuarzo, granate y un poco de diopsida. (Comp. p. 52.)
- Fig. 4.—Ortoclasea íntimamente ligada con granate pardo como en una perimorfosis, de la Fundición vieja. Amplificación $\times 27$. Los núcleos claros con relieve poco marcado, las conchas y granos son granate, las capitas oscuras aparentemente de grano fino son ortoclasea kaolinizada. En el centro del margen derecho un poco de espato calizo; al lado un poco de magnetita. En el centro y en el margen inferior un hueco en la lámina. (Comp. p. 30.)
-



Fig. 1.

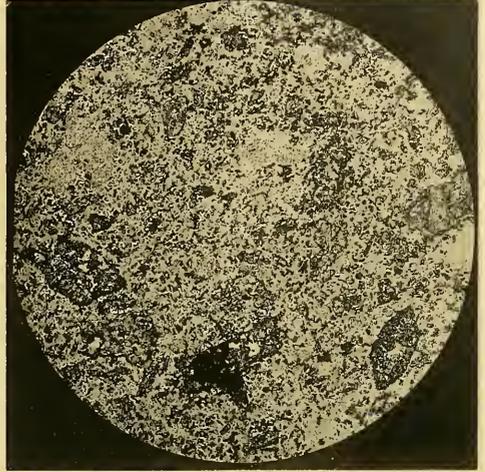


Fig. 2.

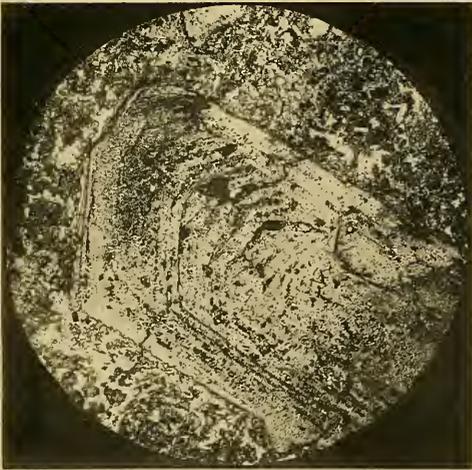


Fig. 3.

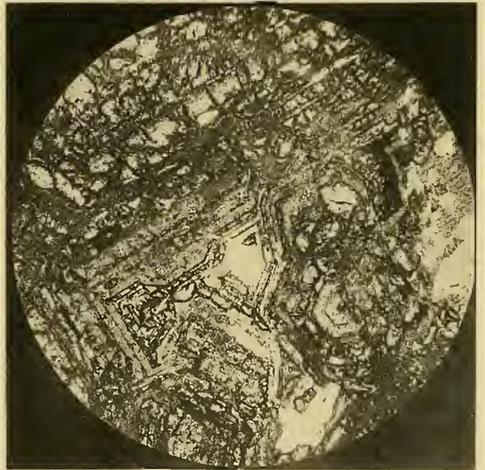


Fig. 4.

LAMINA IX

LAMINA IX

- Fig. 1.—Pizarra calcárea gráfica del Portlandiano rica en cuarzo, del Cañón del Almagre. Amplificación $\times 20$. Muestra la transformación en piedra córnea wollastonítica saliendo de grietas finas. Los puntitos blancos son cuarzo, las estrías y bolsitas blancas por lo general wollastonita. Arriba á la izquierda una separación de capas plegada y rellena de wollastonita. La mancha blanca grande es un hueco en la lámina. (Comp. p. 76.)
- Fig. 2.—Roca de silicato y cal de la Piedra Cargada. Amplificación $\times 21$. Secciones transversales poligonales de granate. Numerosas agujas de vesuviana y granos y aglomeraciones de diopsida no muy claros, turbios por inclusiones pequeñas, en parte casi opacos por limonita; en el margen derecho encima de una aglomeración una sección transversal más grande y turbia de diopsida. La pasta fundamental está formada por espato calizo. (Comp. p. 87.)
- Fig. 3.—Sustitución de diopsida por granate y cuarzo. Aranzazú. Amplificación $\times 19$. Arriba (claro) granate agrietado, debajo de él (obscura) diopsida; en esta última venas de granate en dirección transversal y longitudinal, claras, con relieve marcado y venitas blancas de cuarzo escalonadas por lo general en dirección oblicua con las fibras. (Comp. p. 88.)
- Fig. 4.—Roca de granate, magnetita y cuarzo con zoisita y hornblenda verde de Promotorio. Amplificación $\times 27$. El mineral negro es magnetita; los granos arredondados con margen ancho en relieve marcado son granate, siendo blanco el cuarzo. Hacia el margen izquierdo se encuentran en la masa cuarzosa, fibras en parte de hornblenda, en parte de espato calizo y dos pequeños granos de zoisita punteados por inclusiones. Zoisitas de mayor y menor tamaño ricas en inclusiones distintas del granate por su margen más delicado y su forma alargada incompletamente prismática se observan cerca del centro de la figura. (Comp. p. 108.)
- Fig. 5.—Pseudomorfosis de calcedonia probablemente según cuarzo. Cabrestante. Amplificación $\times 250$. La estrella de 6 rayos en balsamo de Canadá muestra fenómenos claros de reflexión total marginal, los cuales indican que los rayos de la estrella yacen alternativamente en planos distintos por presentar alternativamente un margen obscuro ó claro, encontrándose por lo tanto el objetivo para los unos en posición alta, para los otros en posición baja. La formación puede por lo tanto ser considerada como una

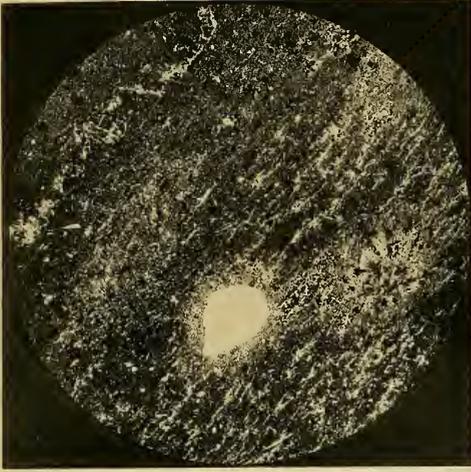


Fig. 1.

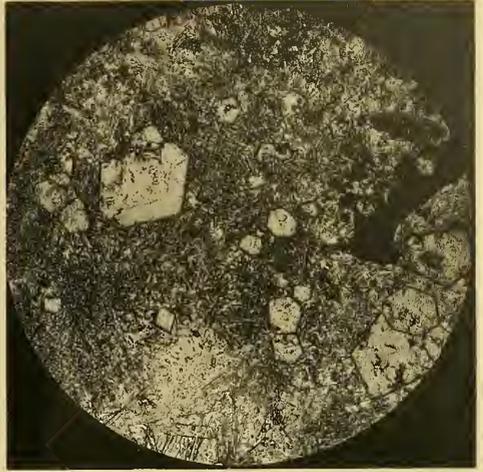


Fig. 2.

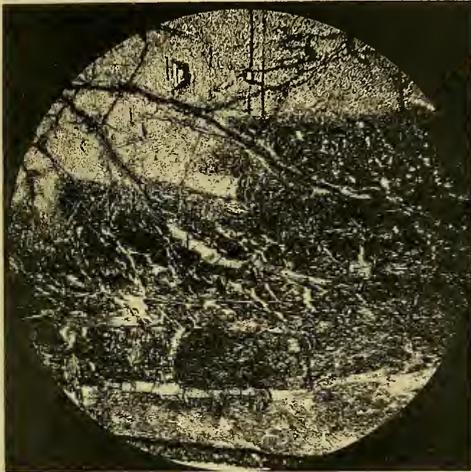


Fig. 3.

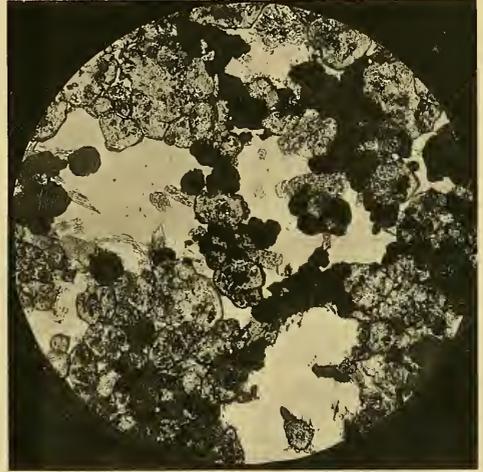


Fig. 4.

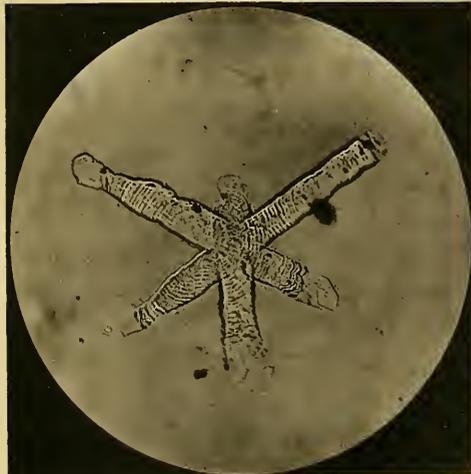


Fig. 5.



Fig. 6.

combinación de dos esqueletos trigonales de los cuales aparece el uno girado 60° alrededor de la normal supuesta sobre el plano de la figura, con respecto al otro como en un gemelo de cuarzo según la ley de Dauphinée. Las líneas transversales oscuras y claras muestran la estructura zonal de capas con refracción variada alrededor de dos centros de los cuales ninguno se encuentra en el centro de la estrella. (Comp. p. 106.)

Fig. 6.—Lo mismo que en la fig. 5 con nicols +. Muestra al lado de estructura concéntrica también las de fibras radiales; en comparación con la anterior esta figura está girada 180° .



PUBLICACIONES DEL INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

BOLETIN (4°)

- * Núm. 1.—Fauna Fósil de la Sierra de Catorce, por A. del Castillo y J. G. Aguilera.—1895—56 pp., 21 lám.
- * Núm. 2.—Las Rocas Eruptivas del S. O. de la Cuenca de México, por E. Ordóñez.—1895.—46 pp., 1 lám.
- * Núm. 3.—La Geografía Física y la Geología de la Península de Yucatán, por C. Sapper.—1896.—58 pp., 6 lám
- * Núms. 4, 5 y 6.—Bosquejo Geológico de México.—1897.—272 pp., 5 lám.
- * Núms. 7, 8 y 9.—El Mineral de Pachuca.—1897.—184 pp., 14 lám.
- * Núm. 10.—Bibliografía Geológica y Minera de la República Mexicana, por R. Aguilar y Santillán.—1898.—158 pp.
- * Núm. 11.—Catálogos sistemático y geográfico de las especies mineralógicas de la República Mexicana, por José G. Aguilera.—1898.—158 pp.
- * Núm. 12.—El Real del Monte, por E. Ordóñez y M. Rangel.—1899.—108 pp., 26 lám.
- * Núm. 13.—Geología de los alrededores de Orizaba, con un perfil de la vertiente oriental de la Mesa Central de México, por Emilio Böse.—1899.—54 pp., 3 lám.
- * Núm. 14.—Las Rhyolitas de México (Primera parte), por E. Ordóñez.—1900.—78 pp., 6 lám.
- * Núm. 15.—Las Rhyolitas de México (Segunda parte), por E. Ordóñez.—1901.—78 pp., 6 lám.
- * Núm. 16.—Los Criaderos de fierro del Cerro del Mercado en Durango, por M. Rangel, y de la Hacienda de Vaquerías, Estado de Hidalgo, por J. D. Villarelo y E. Böse.—1902.—144 pp., 5 lám.
- Núm. 17.—Bibliografía Geológica y Minera de la República Mexicana, completada hasta 1904, por R. Aguilar y Santillán.—1905.—XIII—330 pp.
- Núm. 20.—Reseña acerca de la geología de Chiapas y Tabasco, por el Dr. E. Böse.—1905.—116 pp., 9 lám.
- Núm. 21.—La Faune Marine du Trias Supérieur de Zacatecas par le Dr. C. Burckhardt avec la collaboration du Dr. S. Scalia.—1905.—44 pp., 8 pl.
- Núm. 22.—Sobre algunas faunas terciarias de México, por el Dr. E. Böse.—1906.—96 pp., 12 lám.
- Núm. 23.—La faune jurassique de Mazapil, Zac., par le Dr. C. Burckhardt.—1906.—216 pp., 43 pl.
- Núm. 24.—La fauna de mollusques del Senoniano de Cárdenas, S. L. P., por el Dr. E. Böse.—1906.—95 pp., 18 lám.
- Núm. 25.—Monografía Geológica y Paleontológica del Cerro de Muleros, cerca de Ciudad Juárez, Estado de Chihuahua y descripción de la Fauna Cretácea de la Encantada, cerca de Placer de Guadalupe, Estado de Chihuahua, por el Dr. E. Böse.—1910.—196 pp., 50 lám.
- Núm. 26.—Algunas regiones petrolíferas de México, por el Ing. J. D. Villarelo.—1908.—122 pp., 3 lám.
- Núm. 27.—La Granodiorita de Concepción del Oro en el Estado de Zacatecas y sus formaciones de contacto, por el Dr. Alfred Bergeat.—1910.—109 pp., 9 láms. y 15 figs.
- Núm. 28.—Las aguas subterráneas en el lado meridional de la Cuenca de México, por el Ing. J. D. Villarelo.—12 láminas y 1 croquis geológico (1:100,000).—Informe sobre las aguas del Río de la Magdalena, por el Prof. J. S. Agraz [*En prensa*].

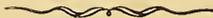
PARERGOES (8°)

- * Tomo I. N° 1.—Los temblores de Zanatepec, Oaxaca.—Estado actual del Volcán de Tacaná, Chiapas, por Emilio Böse.—1903.—25 pp., 4 lám.
- * Núm. 2.—Fisiografía, Geología é Hidrología de los alrededores de La Paz, Baja California, por E. Angermann.—El área cubierta por la ceniza del Volcán de Santa María, Octubre de 1902, por Emilio Böse.—1904.—26 pp., 3 lám.
- Núm. 3.—El Mineral de Anganguco, Michoacán, por E. Ordóñez.—Análisis de una muestra de granate del Mineral de Pihuamo, Jalisco, por J. D. Villarelo.—Apuntes sobre el Paleozoico en Sonora, por E. Angermann.—1904.—34 pp., 2 lám.
- Núm. 4.—Estudio de la teoría química propuesta por el Sr. Andrés Almaraz para explicar la formación del petróleo de Aragón, México, D. F., por J. D. Villarelo.—El fierro meteórico de Bacubirito, Sinaloa, por E. Angermann.—Las aguas subterráneas de Amozoc, Puebla, por E. Ordóñez.—1904.—24 pp., 1 lám.
- Núm. 5.—Informe sobre el temblor del 16 de Enero de 1902 en el Estado de Guerrero, por los Dres. E. Böse y E. Angermann.—Estudio de una muestra de mineral asbestiforme procedente del Rancho del Ahuacatillo, Distrito de Zinapécuaro, E. de Michoacán, por el Ing. J. D. Villarelo.—1904.—26 pp.
- Núm. 6.—Estudio de la hidrología subterránea de la región de Cadcreyta Méndez, E. de Querétaro, por el Ing. J. D. Villarelo.—1904.—58 pp., 2 lám.
- Núm. 7.—Estudio de una muestra de grafito de Ejutla, Estado de Oaxaca, por el Ing. J. D. Villarelo.—Análisis de las cenizas del Volcán de Santa María, Guatemala, por el Ing. E. Ordóñez.—1904.—26 pp.
- Núm. 8.—Hidrología subterránea de los alrededores de Querétaro, por el Ing. J. D. Villarelo.—1905.—56 pp., 3 láminas y 2 figuras.
- Núm. 9.—Los Xalapazos del Estado de Puebla, por el Ing. E. Ordóñez (Primera parte).—1905.—54 pp., 1 plano y 4 lám.
- Núm. 10.—Los Xalapazos del Estado de Puebla, por el Ing. E. Ordóñez (Segunda parte).—1905.—45 pp., 3 planos y 8 lám.
- Tomo II.—N° 1.—Explicación del Plano Geológico de la Región de San Pedro del Gallo, Estado de Durango, por el Dr. Phil. Ernesto Angermann.—Sobre la Geología de la Buía, Mapiimi, Estado de Durango, por Ernesto Angermann, Dr. Phil.—Notas Geológicas sobre el Cretáceo en el Estado de Colima, por el Dr. E. Angermann.—1907.—35 pp., 3 lám.

* Agotado.

- Núm. 2.—Sobre algunos fósiles pleistocénicos recogidos por el Sr. Dr. E. Angermann, en la Baja California, por el Dr. E. Böse.—Sobre la aplicación de la Potasa cáustica á la preparación de fósiles, por Emilio Böse y Victor von Vigier.—Sobre las rocas fosforíticas de las Sierras de Mazapil y Concepción del Oro, Zacatecas, por el Dr. Carlos Burckhardt.—1907.—31 pp., 1 lám.
- Núm. 3.—El Volcán Jorullo, por el Ingeniero de Minas Andrés Villafaña.—1907.—58 pp., 8 lám.
- * Números 4, 5 y 6.—El temblor del 14 de Abril de 1907, por el Dr. Emilio Böse, é Ingenieros A. Villafaña y J. García y García.—1908.—124 pp., 43 lám. y 1 cuad.
- Núm. 7.—El Valle de Cerritos, Estado de San Luis Potosí, por el Ing. Ezequiel Ordóñez, p. 263-273.—Fuente termal en Cuitzeo de Abasolo, Estado de Guanajuato, por el Ing. Andrés Villafaña, p. 277-287, láminas LVI—LVII.—1908.
- Núm. 8.—Estudio hidrológico de la región de Rioverde y Arroyo Seco, en los Estados de San Luis Potosí y Querétaro, por el Ing. Trinidad Paredes, p. 289-337, lám. LVIII.—1909.
- Núm. 9.—Hidrología subterránea de los alrededores de Pátzcuaro, Estado de Michoacán, por el Ing. J. D. Villarello, pp. 339-362.—El hundimiento del Cerro de Sartenejas, en los alrededores de Tetecala, Estado de Morelos, por el Ing. T. Flores, pp. 363-384, láminas LIX á LXII.—1909.
- Núm. 10.—Catálogo de los temblores (macroseísmos) sentidos en la República Mexicana, durante los años de 1904 á 1908, pp. 389-467.—1909.
- Tomo III.—N.º 1.—El Pozo de Petróleo de Dos Bocas, por el Ing. J. D. Villarello, pp. 5-112, láms. I-XXXVII.—1909.
- Núm. 2.—Estudio geológico de los alrededores de una parte del Río Nazas en relación con el proyecto de una presa en el cañón de Fernández, por el Dr. C. Burckhardt é Ing. J. D. Villarello, pp. 117-135, láms. XXXVIII-XXXVI.—1909.
- Núm. 3.—Estudio hidrológico del Valle de Ixmiquilpan, Estado de Hidalgo, por el Ing. Trinidad Paredes, pp. 141-172, láms. XXXVII-XLIV.—Catálogo de los temblores (macro y microseísmos) sentidos en la República Mexicana, durante el primer semestre de 1909, pp. 173-199.—1909.
- Núm. 4.—Hidrología subterránea de la Comarca lagunera del Tiabualilo, por el Ing. J. D. Villarello, pp. 201-251, láms. XLV-XLVIII.—1910.
- Núm. 5.—Nuevos datos para la Estratigrafía del Cretácico en México, por el Dr. E. Böse, pp. 257-280.—Nuevos datos sobre el Jurásico y el Cretácico en México, por el Dr. C. Burckhardt, pp. 281-301.—1910.
- Núm. 6.—Estudio Geológico de la región de San Pedro del Gallo, Durango, por el Dr. C. Burckhardt, pp. 307-357, láms. XLIX-LI (Plano Geológico, 1:25,000) y 9 figs.—Plesiosaurus (Polyptychodon?) Mexicanus Wieland, por el Dr. G. R. Wieland, pp. 359-365, lám. LII.—1910.
- Núm. 7.—Informe acerca de una excursión geológica preliminar efectuada en el Estado de Yucatán, por Jorge Engerrand y Fernando Urbina, con la colaboración del Ing. J. Baz y Dresch, pp. 369-424, láms. LIII-LXXIV.—Estudio químico y óptico de una labradorita del Pinacate, Sonora, por el Ing. Y. S. Bonillas, pp. 425-432, lám. LXXV.—1910.
- Núm. 8.—Catálogo de los temblores (macroseísmos) sentidos en la República Mexicana y Microseísmos registrados en la Estación Seismológica Central, Tacubaya, D. F., durante el segundo semestre de 1909.—Reconocimiento de algunos criaderos de hierro del Estado de Oaxaca, por Y. S. Bonillas.—Láms. LXXVI-LXXIX [*En prensa*].

* Agotado



INDICE DE MATERIAS

	Páginas
INTRODUCCION.....	1
RESUMEN DE LAS CONDICIONES ESTRATIGRAFICAS Y TECTONICAS SEGUN C. BURCKHARDT.....	4
LA MASA GRANODIORITICA	7
Las condiciones geológicas y propiedades químicas y petrográficas.....	7
Los "Schlieren" de inyección y los diques.....	20
Inclusiones.....	20
Los criaderos minerales en la granodiorita.....	22
Los diques de turmalina.....	22
Las segregaciones de cuarzo, ortoclasa, hematita y chalcopirita.....	22
La veta de cobre "El Placer," de Aranzazú y la transformación de la granodiorita en epidota y uranita	22
Los filones de cobre con turmalina cerca de Catarroyo	25
LOS FENOMENOS DE CONTACTO.....	25
Sumario	25
Los fenómenos endógenos de contacto.....	27
Las variaciones no motivadas por adición de materias.....	27
Las transformaciones de la roca eruptiva por adición de cal.....	30
Las segregaciones de granate y diopsida. El dique de la "Piedra Cargada".....	30
La transformación de la granodiorita en roca de granate; la cinta de granate.....	35
Los fenómenos exógenos de contacto.....	44
Observaciones generales	44
La naturaleza química de los sedimentos normales.....	46
El mármol epidotífero	49
Caliza con diopsida y dipyro.....	51
Las rocas de wollastonita	52
Las rocas de granate y vesuvianita del contacto inmediato	59
Los criaderos metalíferos.....	70
Observaciones generales.....	70
Los yacimientos de contacto.....	70
Minas del grupo oriental.....	72
Minas del grupo occidental (Aranzazú).....	85
Apéndice: Los criaderos de plomo y de zinc fuera del terreno del contacto inmediato	97
Lista de minerales	100
RESUMEN	101

L'Institut Géologique National du Mexique

recevra avec grand intérêt les publications concernant la Géologie, la Géographie physique et l'Histoire Naturelle en général, qu'on voudra bien lui envoyer, en échange de son BULLETIN qui se publie par fascicules in 4° avec figures et planches. Le numéro 1 de ce recueil a paru en 1895 sous le titre de BOLETÍN DE LA COMISIÓN GEOLÓGICA DE MÉXICO.

L'Institut est installé définitivement dans son nouveau bâtiment 6^a DEL CIPRÉS N° 176; on est prié de vouloir bien prendre note de, sa nouvelle adresse, et aussi de ce qu'il est entièrement indépendant de l'Ecole des Ingénieurs qui lui a accordé autrefois une gracieuse hospitalité.

Adresse:

Instituto Geológico de México,

6° del Ciprés núm. 176.

MÉXICO, D. F.

MEXIQUE.

Amérique du Nord.

On est instamment prié d'accuser réception. Dans le cas où cette formalité aurait été négligée, on serait considéré comme ne désirant plus continuer à recevoir les publications de l'Institut Géologique du Mexique.

SECRETARIA DE FOMENTO, COLONIZACION E INDUSTRIA

BOLETIN

DEL

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO

NUMERO 28

LAS

AGUAS SUBTERRANEAS EN EL BORDE MERIDIONAL DE LA CUENCA DE MEXICO

POR EL INGENIERO DE MINAS

JUAN D. VILLARELLO

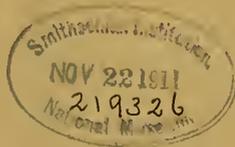
(Con doce láminas y un croquis geológico)

INFORME SOBRE LAS AGUAS DEL RIO DE LA MAGDALENA

POR

JUAN SALVADOR AGRAZ

Químico en Jefe del Instituto Geológico



MEXICO

IMPRENTA Y FOTOTIPIA DE LA SECRETARIA DE FOMENTO

Primera calle de Betlemitas núm. 8

1911

INSTITUTO
GEOLOGICO DE MEXICO



BOLETIN NUM. 28

SECRETARIA DE FOMENTO, COLONIZACION E INDUSTRIA
—
INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO
—

DIRECTOR: JOSE G. AGUILERA

LAS AGUAS SUBTERRANEAS

EN EL

BORDE MERIDIONAL DE LA CUENCA DE MEXICO

POR EL INGENIERO DE MINAS

JUAN D. VILLARELLO

(Con 13 láminas)

ESTUDIO DE LAS AGUAS DEL RIO DE LA MAGDALENA, DISTRITO FEDERAL

POR EL PROFESOR

JUAN S. AGRAZ



MÉXICO

IMPRESA Y FOTOTIPIA DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO
Primera calle de Betlemitas núm. 8

—
1911

219326

LAS AGUAS SUBTERRANEAS
EN EL
BORDE MERIDIONAL DE LA CUENCA DE MEXICO

POR EL INGENIERO DE MINAS

JUAN D. VILLARELLO

INTRODUCCION

La Junta de Vigilancia del río de la Magdalena, del Distrito Federal, considerando conveniente se hiciera el estudio hidrológico de la región en que se hallan los manantiales que alimentan á ese río, á fin de procurar evitar las pérdidas de agua por evaporación ó infiltración, y aumentar su caudal, solicitó de la Secretaría de Fomento me comisionara para hacer el estudio mencionado. El señor Director del Instituto Geológico Nacional, por acuerdo de la Secretaría de Fomento, me nombró para el desempeño de esa comisión; pero deseando que el estudio fuera lo más completo posible, me encargó expedicionara no sólo por los alrededores del río de la Magdalena, sino por toda la parte Sur de la cuenca de México, con objeto de escribir unos apuntes relativos á la hidrología subterránea de toda esa interesante región.

Hace varios años, comisionado por el dueño de la hacienda de Eslava, hice unos estudios semejantes en los terrenos de esa hacienda, y también en una parte del río de la Magdalena; estudios que me servirán ahora para completar estos apuntes relativos á las aguas subterráneas en el borde meridional de la cuenca de México.

Los planos topográficos que he utilizado en mis últimas expediciones por la región mencionada, y que ya ligados constituyen la lámina XIII que acompaña á este escrito, son: el croquis de la Municipalidad de San Angel formado por la Comisión del Catastro, croquis que modifiqué en parte con unos levantamientos que hice en esa zona; y un plano de la región occidental de la Sierra del Ajusco, levantado por los señores Ingenieros Manuel Marroquín y Rivera y Pedro Sánchez.

Terminadas ya mis numerosas excursiones por esas serranías tan intere-

santes para la ciudad de México, porque constituyen la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos que abastecerán de agua potable á esta capital, y arregladas ya todas mis observaciones y estudios relativos á la zona mencionada, paso á escribir los siguientes apuntes. Con esto creo dar término á mi difícil cometido, agradeciendo á la Junta de Vigilancia del río de la Magdalena la distinción con la cual se sirvió honrarme, al solicitar me fuera confiada tan importante comisión.



FISIOGRAFIA

La cuenca de México está limitada al Sur por la sierra del Ajusco, sierra que alcanza con sus picos más elevados la altura de 3,940 metros sobre el nivel del mar, ó sean 1,700 metros sobre la ciudad de México. Este macizo montañoso se extiende del Oriente hacia el Poniente, y se une por este último rumbo con la serranía de las Cruces.

La sierra de las Cruces, que con las de Monte Alto y Monte Bajo limitan por el Sur-Poniente y Poniente á la cuenca de México, tiene como rumbo medio 20° al N.W.; y como esa sierra se une con la del Ajusco que es de rumbo medio 50° N.W., la zona de unión de estos macizos montañosos tiene un rumbo aproximado del Sur-Poniente hacia el Norte-Oriente, y en esta zona es en donde se hallan las barrancas principales de toda la región. (Véase lám. XIII.)

En la parte Sur-Oeste de la zona de unión mencionada se encuentra el elevado cerro de San Miguel, antiguo volcán andesítico, cuyas faldas hacia el Norte-Oriente están cortadas por barrancas más ó menos paralelas y en partes muy profundas, que descienden con rumbo medio de 45° Norte-Oriente. Entre estas barrancas debo citar como principales: la de Huixquilucan, la del Desierto, y la conocida con el nombre de la Magdalena, cortes profundos debidos á la erosión.

Hacia el Poniente, la serranía de las Cruces desciende para el pintoresco y fértil valle de Toluca, de tal suerte que esa sierra constituye la muralla que separa á este valle de la cuenca de México.

Las vertientes de la sierra del Ajusco descienden al Sur para el Estado de Morelos: por Huichilac para Cuernavaca, y por Otlayucan para el valle de Cuautla. Este macizo montañoso establece la división de las aguas superficiales que por el Norte descienden para la cuenca de México, de las que por el Sur bajan para el valle de Cuautla; y el núcleo andesítico de esta misma serranía es la barrera impermeable que separa, como diré después, á las aguas subterráneas que al Norte brotan en parte por los manantiales de Tlalpan y Xochimilco, de las que al Sur salen por los manantiales de Cuernavaca, Fuentes de Chapultepec (E. de Morelos), y Jiutepec.

La serranía del Ajusco hacia el Sur-Oriente se une con la Sierra Nevada, notable esta última por contar entre los elementos que la constituyen al Popocatepetl y al Iztaccihuatl, los cuales elevan sus cimas á la región de las nieves persistentes.

La Sierra Nevada, con rumbo medio Norte-Sur, limita por el Oriente á la cuenca de México separándola del valle de Puebla; y por su enlace con la serranía del Ajusco limita á la misma cuenca por el Sur-Oriente.

La planicie que rodea á la ciudad de México se eleva con muy poca pendiente hasta el pie de las lomas que se hallan al Sur y al Poniente de la cuenca mencionada, pues basta decir que Xochimilco se encuentra arriba de México solamente 1^m.23, ó sean 3^m.14 sobre el lago de Texcoco, que es la parte más baja de la referida cuenca. Más al Sur-Oeste y también hacia el Poniente, el terreno se eleva formando un extenso lomerío en el cual se hallan las importantes poblaciones de Tlalpan, Coyoacán, San Angel, Santa Fe, y los pintorescos pueblitos de San Jerónimo, la Magdalena, San Bartolo, etc. De las lomas, más al Sur y al Sur-Poniente, el terreno se levanta con rapidez hasta llegar por una parte á los elevados picos del Ajusco, y por la otra hasta las cimas de la serranía de las Cruces. Las sierras anteriores, tanto la del Ajusco al Sur de la cuenca de México, como la conocida con el nombre de las Cruces al Sur-Poniente de la misma cuenca, están cubiertas en varios lugares por densa vegetación.

En los bordes Sur-Este, y Sur Sur-Oeste de la cuenca de México se hallan las cimas más elevadas, el relieve del terreno es muy accidentado, y esos macizos montañosos constituyen la muralla no interrumpida que forma el límite de esa parte de la cuenca mencionada. En cambio, hacia al Norte y Norte-Poniente de la misma cuenca no existen rápidas pendientes cubiertas de vegetación, sino que el terreno con paisaje monótono se eleva gradualmente, formando colinas de poca altura, hasta confundirse después con las sierras de Atotonilco y Pachuca. Igualmente monótona y sin vegetación se levanta rápidamente la sierrita de Guadalupe al Norte de la ciudad de México. Esta sierrita se deprime al Norte-Poniente, por la cuesta de Barrientos, para levantarse después, más al Norte-Poniente, con el nombre de Sierra de Tepotzotlán, la cual se une á la serranía principal que por el Poniente limita á la cuenca de México. El paisaje monótono, y la falta de vegetación en esta parte de la cuenca mencionada, contrastan notablemente con las pintorescas y rápidas pendientes cubiertas de frondosa arboleda, que constituyen el borde meridional de la gran cuenca de México.

De la Sierra Nevada hacia el Poniente se desprende un contrafuerte bastante extenso, constituido por los cerros Texolotl y el Pino como elementos más importantes, y el cual establece una división de las aguas superficiales, que por el Norte-Poniente bajan para el lago de Texcoco, de las que por el Sur-Este descienden para Chalco y Xochimilco. Interrumpen también por el Este y Sur á la planicie que rodea á la ciudad de México

varias colinas y cerros aislados, entre los cuales mencionaré los siguientes: el de Chimalhuacán, la sierrita de Santa Catarina, el de Xico, el cerro de la Estrella y el Peñón del Marqués. Por último, al Sur-Poniente de la ciudad de México se encuentra una colina aislada, por muchos títulos notable en la historia antigua y contemporánea, y que es conocida con el nombre de Chapultepec.

Las sierras de Monte Alto y las Cruces, así como la zona de unión de esta última con el macizo montañoso del Ajusco, son muy interesantes, entre otros motivos, porque de esas regiones descienden para la cuenca de México los ríos principales, los de mayor gasto, y los que ocasionaron con sus crecientes las inundaciones que en otros tiempos envolvían á la ciudad de México. Estos ríos descienden del Poniente hacia el Oriente; y los que bajan de la zona de unión entre la serranía de las Cruces y la del Ajusco son de rumbo medio 45° N. E., dirección que cambia al llegar á la planicie por la de Poniente á Oriente.

De las sierras de Monte Alto y las Cruces, así como de la zona de unión de esta última con la del Ajusco, descienden para la cuenca de México como principales los siguientes ríos: el de Tlalnepantla, el de los Remedios, el río de los Morales y el de la Magdalena. En cambio, del borde meridional de la cuenca de México sólo descienden los ríos de San Juan de Dios y San Buenaventura, que desaguan en el lago de Xochimilco; y de la parte Sur-Este de la misma cuenca los de Tenango y Tlalmanalco.

Los ríos que descienden de la Sierra Nevada para la cuenca de México, así como los que bajan de la serranía del Ajusco, son de gasto muy pequeño comparados con los ríos y arroyos que para la misma cuenca descienden de las sierras de las Cruces y Monte Alto. Este hecho se ha tratado de explicar de dos maneras: unos dicen que los vientos húmedos del Este al encontrar hacia el Poniente á las sierras de Monte Alto y las Cruces se elevan para salvar ese obstáculo, y esto ocasiona la condensación del vapor de agua, y por lo tanto la lluvia en las faldas orientales de esas sierras. De acuerdo con esta explicación la cantidad de lluvia caída en las vertientes orientales de las sierras de las Cruces y Monte Alto, sería muy superior á la precipitada en las faldas occidentales de la Sierra Nevada, y en las septentrionales de la serranía del Ajusco; y por lo tanto, conforme á esta explicación, los ríos que bajan de estas últimas deben ser de gasto mucho menor que el de los ríos y arroyos que descienden para la cuenca de México del macizo montañoso de las Cruces y Monte Alto. Otra explicación se ha dado á esa notable diferencia en el gasto de los ríos, y es la siguiente. Las rocas que constituyen á las sierras mencionadas, son de permeabilidad muy diferente: las del Ajusco y de una parte de la Sierra Nevada son mucho más permeables que las rocas de las Cruces y Monte Alto; y por lo tanto, la infiltración del agua es también mucho mayor en las primeras sierras. Según esto, á igualdad de precipitación acuosa, la cantidad de agua que descienda superficialmente por las faldas mencionadas del Ajusco y la Sie-

rra Nevada será mucho menor, comparada con la que baja para la planicie de México de las sierras de las Cruces y Monte Alto. De las dos explicaciones anteriores, la primera no está comprobada por los hechos en el caso de que me ocupo; pues aunque es cierto que al elevarse el viento húmedo, para salvar el obstáculo que oponen á su movimiento las sierras elevadas, se condensa una gran parte del vapor de agua que contiene, y cae el agua como lluvia en las vertientes que sirven de obstáculo al viento, en la cuenca de México, parece que esta causa no influye de una manera muy notable en la distribución de las lluvias en las sierras que la limitan. Sobre todo, no existen datos completos pluviométricos que puedan servir de fundamento para asegurar que son mucho más abundantes las lluvias en las sierras del Oeste, que en las del Sur de la cuenca de México. En cambio, la segunda explicación está comprobada por las observaciones y estudios hechos por la "Comisión Hidrográfica del Valle de México," según las cuales puede decirse que: en los meses más lluviosos la infiltración del agua en la sierra de las Cruces es mucho menor que en la del Ajusco. En vista de esto, yo creo que la notable diferencia en el gasto de los ríos mencionados, es debida principalmente á la mayor y más fácil infiltración del agua en la serranía del Ajusco, lo cual ocasiona que el volumen de agua que desciende superficialmente por las vertientes de esta sierra, sea mucho menor que el volumen que baja por los ríos de las sierras de Monte Alto y las Cruces.

En la cresta dentellada de la serranía del Ajusco, figuran como eminencias principales las siguientes. Al Poniente los picos del Aguila, que son los más elevados de la montaña del Ajusco, y que alcanzan alturas de 3,900 y 3,940 metros sobre el nivel del mar. Siguiendo hacia el Oriente se levantan después los cerros: Mezontepec (3,490 metros de altura), Pelado (3,625 metros), del Oyameyo (3,340 metros), del Guarda (3,332 metros), Tetza-coatl y Tulumiaquí (3,260 y 3,320 metros respectivamente), y el del Cuautzín (3,457 metros). De estos picos elevados el terreno desciende hacia el Norte, en partes escalonado, para Tlalpan y Xochimilco. En estas vertientes el descenso es interrumpido por varios cerros, muchos de ellos con forma cónica debida á condiciones genéticas, y los cuales hacen bastante accidentado el relieve del terreno en esa región. Entre los cerros situados en las vertientes septentrionales de la serranía del Ajusco puedo mencionar como más importantes á los siguientes: el Xitle (3,133 metros de altura), y después hacia el Oriente, la Magdalena (2,980 metros), Olihcan (3,000 metros), Tehuehue, Tzompoli (2,588 metros), Teoca (2,706 metros), Tlamacasco (2,695 metros) y Tenhetli (2,795 metros). De estos cerros hacia Tlalpan y Xochimilco el terreno desciende escalonado por Santa Cecilia y San Lorenzo para Xochimilco; con poca pendiente en lo general, del cerro la Magdalena por San Andrés para Tlalpan, y muy escabroso del Xitle para Contreras y San Angel, por estar toda esta última zona constituida por lava basáltica escoriforme y en partes fraccionada. (Véase lám. xiii.)

Al Sur de los cerros la Magdalena, Olihean y Tehuehue, al Sur también de los llamados Teoca y Tlamacasco, y entre estos cerros y las vertientes principales del Oyameyo y Cuautzín, se hallan planicies más ó menos grandes, como son la del Ajusco y la de Tulumiaqui. Estas planicies, como se verá después son sumamente interesantes, pues constituyen una superficie de alimentación bastante amplia, de los receptáculos acuíferos subterráneos que desaguan en parte por los manantiales de los alrededores de Xochimilco y Tlalpan.

El pueblo llamado Ajusco está situado en las vertientes septentrionales de la serranía del mismo nombre, y al Norte-Oriente de los picos del Aguila que son los más elevados en la sierra del Ajusco como dije antes. Del pueblo de este último nombre hacia el Este se extiende la planicie arenosa que acabo de mencionar y que está limitada: al Norte, por los cerros andesíticos llamados la Magdalena y Tehuehue; al Sur, por el cerro basáltico del Oyameyo; al Este, por las faldas basálticas y tobosas del cerro del Cuautzín; y al Poniente, por el cerro de Malinal. De esta planicie, que se encuentra á 2,840 metros sobre el nivel del mar, ó sea á 600 metros arriba de la ciudad de México, el terreno desciende hacia el Norte entre los cerros Malinal y la Magdalena para los pueblos San Andrés, San Pedro y Tepopan; y de la misma planicie desciende el terreno por los pueblos de Topilejo y San Mateo (Xalpa) para los de San Lorenzo y Xochimilco. (Véase lámina XIII.)

Del cerro Tlamacasco ya mencionado, el terreno desciende en escalones por Santa Cecilia, San Andrés, San Lucas y San Lorenzo, para Nativitas y Xochimilco; y del mismo cerro hacia el Este el terreno baja con fuerte pendiente para San Bartolo y San Pedro Actopan. Por este último pueblo se unen las faldas orientales del cerro Tlamacasco con las occidentales del cono volcánico llamado Teuhctli, formando la barranca que de Sur á Norte desciende de San Pedro para San Gregorio, lugar este último que está situado en la planicie de Xochimilco, al Oriente del pueblo de este último nombre.

De la sierra del Ajusco hacia el Norte, puede decirse que se desprenden dos contrafuertes andesíticos, en gran parte cubiertos por lavas basálticas, contrafuertes que parecen desempeñar, como diré después, un papel muy interesante en la distribución del agua subterránea que desciende por las vertientes septentrionales de la serranía mencionada. Los contrafuertes á que me refiero son los dos siguientes: el primero se inicia en el cerro Magdalena y se prolonga hasta los cerros de Zacayuca y Zacatepec, en Peña Pobre; y el segundo baja del cerro Tehuehue para la sierrita de Xochitepec, situada al Poniente del pueblo de este último nombre. Estos contrafuertes se inician en las cercanías de la planicie del Ajusco: el primero baja cubierto por material cinerítico ó por basaltos, y aflora de nuevo la andesita al Poniente de Peña Pobre en los cerros de Zacayuca y Zacatepec, los cuales están envueltos por la corriente basáltica, que con el nombre de "pe-

pregal" se extiende al Norte para San Angel y Coyoacán; y el segundo de los contrafuertes andesíticos mencionados, cubierto por basaltos en las cercanías de Xicalco, aparece de nuevo en la sierrita de Xochitepec, rodeado por basaltos tanto al Norte en Tepepan, como al Sur por Xicalco, y al Poniente por el pueblo de San Andrés.

El pie de la sierra del Ajusco está perfectamente limitado hacia el Este, ó sea, del pueblito San Gregorio situado al pie del Teuchtlí, para Tepepan al Oriente de Tlalpan. En esta zona el pie de la sierra forma una entrante, la cual está limitada: al Este, por los flancos occidentales del cerro llamado el Teuchtlí; al Oeste, por las faldas de la sierrita de Xochitepec; y al Sur, penetra hasta los pueblos de Santa Cruz, Nativitas, San Lorenzo, Santiago Tepalcatlapa y Xochitepec. En toda esta parte, las faldas de la sierra son interrumpidas bruscamente por la planicie que se extiende del pie de la serranía para el pueblo de Xochimilco, como se ve en la lám. 1, fig. 1, que es una fotografía tomada desde las cercanías de Santiago Tepalcatlapa para Xochimilco. En cambio, de Tepepan para Tlalpan, Peña Pobre, Coyoacán y San Angel, la sierra se transforma en un lomerío muy bajo, el cual insensiblemente se va confundiendo con la planicie que baja de Huipulco por Churubusco y de San Angel por Mixcoac para la ciudad de México, razón por la cual el pie de la sierra del Ajusco no queda bien definido por esta región.

Constituida la sierra del Ajusco por rocas de naturaleza distinta y de edad diferente, se comprende que la forma del terreno en distintos lugares tiene que ser desigual también. El núcleo de esta sierra está formado como diré después por una andesita de hornblenda, perteneciente al Mioceno, la cual está cortada, y en muchas partes cubierta por basaltos cuaternarios y recientes, á veces labradoríticos, los cuales á su vez están cubiertos en partes por material cinerítico. Los agentes atmosféricos, que pudieron obrar primero sobre la andesita, antes que esta última fuera cubierta por los basaltos, produjeron cortes más ó menos profundos en esa roca, destruyeron por completo ó casi por completo los cráteres de los volcanes andesíticos, ocasionaron la desintegración de la andesita, y permitieron por último el transporte de este material detrítico y arcilloso que se depositó más abajo sobre las mismas rocas andesíticas. Por la acción de los agentes atmosféricos la fisonomía del terreno fué variando poco á poco, los elementos constitutivos de la serranía andesítica tendieron á la forma redondeada, las cortaduras ó barrancas se hicieron más ó menos profundas, y el relieve del terreno primero casi uniforme se transformó después en muy accidentado. Más tarde, cuando las lavas basálticas escurrieron por las vertientes andesíticas, la forma del terreno se modificó de una manera notable: las depresiones y cortaduras tendieron á desaparecer al ser rellenadas en parte por la lava fluida que escurria; y la superficie andesítica más ó menos redondeada por efecto de la erosión, quedó parcialmente cubierta por basaltos escoriiformes y en parte fraccionados, los cuales accidentaron en gran manera la

superficie del terreno. Algunos picos andesíticos fueron envueltos por las lavas basálticas, y las vertientes de la montaña andesítica quedaron después accidentadas con multitud de conos volcánicos, los cuales transformaron por completo la fisonomía del terreno. Por la estructura diferente de las rocas y por su muy distinta edad, los agentes atmosféricos no han obrado de igual manera sobre la andesita y sobre el basalto, razón por la cual es muy fácil distinguir en el terreno, por su relieve solamente, cuál de las dos rocas constituye a la parte que se observa. Las zonas andesíticas están por lo general muy accidentadas, se encuentran en ellas cortes más o menos profundos, la forma redonda es la que domina en el relieve del terreno, y los cráteres andesíticos han desaparecido casi por completo. En cambio, las zonas basálticas están menos accidentadas, las barrancas son en ellas muy escasas, la superficie del terreno es escoriácea, y aún se conservan allí los aparatos crateriformes que en gran número se encuentran en las vertientes del macizo montañoso del Ajusco, y por los cuales se verificaron las erupciones basálticas.

En algunos lugares el material detrítico ó el cinerítico se ha depositado en las faldas de los cerros, y también en las depresiones, transformando á estas últimas en planicies; y en todos casos este depósito ha tendido á suavizar el relieve accidentado del terreno.

El sistema hidrográfico superficial es rudimentario en toda la región basáltica de la sierra del Ajusco, ó sea en la parte central y en la oriental de este macizo montañoso. De esta región baja solamente el río San Buenaventura que desagua en el lago de Xochimilco; y aunque en varios lugares de esta zona basáltica de la serranía del Ajusco se inician pequeños arroyos, más abajo desaparecen estos últimos, y el agua se infiltra por las cavidades del basalto que son muy abundantes en esa región. (Véase lámina II, figs. 1 y 2.)

Por el Norte-Poniente, el macizo montañoso del Ajusco desciende hacia la zona de unión que lo liga con la sierra de las Cruces. En la parte Sur-Poniente de esta zona se encuentran los cerros de Monte Alegre, Viborillas, Media Luna, el Cochinito y Cieneguillas, cerros que elevan sus cimas á 3,400 y 3,470 metros sobre el nivel del mar, ó sea á 1,160 y 1,230 metros sobre la ciudad de México. De estos cerros hacia el Norte-Oriente el terreno desciende, cortado por la barranca de la Magdalena desde Cieneguillas hasta la hacienda de la Cañada, y muy accidentado desde Viborillas y Monte Alegre, por la Leona, la Escondida, los Jaballitos y las Canoas, hasta Chichicarpa y hacienda de San Nicolás Eslava. (Véase lám. XIII.)

Al Norte-Poniente de la barranca de la Magdalena se levantan los cerros de San Miguel y los conocidos con el nombre de Montes de la Magdalena, y al Sur-Oriente de la barranca de este nombre se hallan los cerros llamados de San Nicolás. Estos últimos forman un contrafuerte que desciende de los cerros de Media Luna para la hacienda de Eslava, y en el cual se encuentran como puntos más elevados, los cerros de Cehuiloja, Aila,

Tarumba y Acupilco. De estos últimos el terreno descende con mucha pendiente para la barranca de la Magdalena por el Norte-Poniente; y hacia el Oriente baja también con bastante pendiente, cortado por una serie de barranquillas que descienden primero del Oeste para el Este y después hacia el Norte-Oriente, y de las cuales mencionaré á las llamadas: de Monte Alegre, de la Leona, de la Sepultura, de Atongo, Tlalpuente y Texcalco. El contrafuerte constituido por los cerros de San Nicolás baja hacia el Norte-Oriente, de Acupilco y Texcalco para el Capulín y la hacienda de Eslava. En este descenso el terreno está cortado por las barranquillas del Rincón, Tlachichilpa, las Palmitas y Totolapa.

Tanto los cerros de San Nicolás como los de la Magdalena están constituidos por andesitas de hornblenda é hyperstena; y por lo tanto, según lo que dije antes, es muy accidentado el relieve del terreno en esta zona. El corte más profundo que aquí se observa, corte debido á la erosión, es la barranca de la Magdalena. Se inicia ésta en las faldas de los cerros de Cieneguillas y el Cochinito, y baja de Cieneguillitas por el Ocotál para el Campanario, siguiendo la dirección de Sur á Norte. Hasta el Ocotál la barranca corta al material cinerítico que constituye el revestimiento bastante grueso de los cerros andesíticos de ese lugar, y que son: por el Poniente los de Coaxoayaque, y por el Oriente los del Ocotál. Entre este lugar y el Campanario descende la barranca con poca pendiente, cortando á las andesitas de los cerros del Campanario. Después con mucha pendiente descende la barranca hacia el Este, del Campanario para el rancho Barranca, siendo en este tramo acantilados los bordes de la cortadura. Desde el rancho que acabo de mencionar hasta la hacienda de la Cañada, la dirección en que descende la barranca de la Magdalena es de Sur-Poniente á Norte-Oriente, y en la mayor parte de este trayecto es acantilado el borde Norte-Poniente de la misma barranca, como puede verse en la lám. I, fig. 2.

Los cerros de la Magdalena que se levantan, como he dicho, de la barranca del mismo nombre para el Poniente, están cortados por multitud de barranquillas que descienden primero del Oeste para el Este, y después cambian su dirección hacia el Norte-Oriente hasta unirse con la barranca de la Magdalena. (Véase lám. XIII.) Entre estas barranquillas citaré como principales la del Rincón y la de Coajomulco. Hacia el Norte-Oriente los cerros de la Magdalena se transforman en el lomerío, constituido por tobas, que baja de San Bartolo por Tetelpa para San Angel, y de San Bernabé por San Jerónimo para Tizapán, lomerío cortado por multitud de barranquillas que descienden por lo general del Sur-Poniente para el Norte-Oriente.

La barranca de la Magdalena es sin duda el corte más profundo del terreno en esta parte de la zona de unión entre la sierra de las Cruces y el macizo montañoso del Ajusco; pero también es muy accidentado el terreno, como dije ya, en la parte oriental de los cerros de San Nicolás, parte en la cual se encuentra el límite de la formación basáltica, como se verá más ade-

lante. En las cercanías de este lindero el terreno desciende escalonado: de la planicie de Monte Alegre (3,400 metros), por el Tejamanil para la llamada la Escondida (3,010 metros). De esta última y bajando la loma de los Caballitos, se halla la planicie de Rancho Viejo, desde la cual el terreno desciende con poca pendiente, siguiendo las faldas de los cerros las Canoas y el Campamento, por el Tejocote, el Negro, Rincón, San Bartolo y el Gavillero, pequeñas planicies que bajan escalonadas para la hacienda de San Nicolás Eslava (2,520 metros). (Véase lám. XIII.)

Los cerros de San Nicolás están cubiertos por frondosa arboleda, pues la hacienda de Eslava ha procurado explotar el monte con método y gran cuidado, evitando su destrucción, y hasta donde ha sido posible evitando también las grandes quemazones. En cambio, los montes de la Magdalena están casi destruídos, y es urgente su repoblación por los motivos que indicaré más adelante.

El relieve bastante accidentado del terreno en toda la región antes descrita, las frondosas arboledas que se hallan sobre todo en las cercanías de las haciendas de Eslava y la Cañada, los hermosos y variados paisajes que á cada paso se presentan al viajero en esas elevadas serranías, el clima tan agradable y la temperatura siempre fresca en esa zona, así como su cercanía de la ciudad de México, son atractivos todos que hacen ir con frecuencia á multitud de visitantes, los cuales experimentan sensaciones demasiado gratas al discurrir por la interesante y pintoresca región que constituye el borde meridional de la gran cuenca de México.



GEOLOGIA DE LA REGION

La geología de la región antes descrita es bastante sencilla, y las únicas rocas que allí afloran son eruptivas, ú originadas por la desagregación y la descomposición de estas últimas.

El núcleo del macizo montañoso del Ajusco y de la sierra de las Cruces está constituido por andesita de hornblenda. Esta roca es la más antigua en esa región, y pertenece al Mioceno. Como dije antes, los cráteres por donde tuvieron lugar las erupciones de esta roca han sido destruidos por la erosión; pero puedo mencionar entre estos antiguos volcanes andesíticos de la región al cerro de San Miguel y al del Ajusco. Posteriormente á las erupciones de andesita de hornblenda tuvieron lugar las de andesita de hornblenda é hyperstena, probablemente de principios del Plioceno. Como acompañantes de las andesitas, y emitidas en el período brechógeno de esas erupciones, aparecieron las brechas pomosas que se depositaron en las faldas de las sierras andesíticas. Las brechas, principalmente al pie de las sierras mencionadas, están cubiertas con el producto de la desintegración de ellas mismas. Estos detritus acarreados por el agua y depositados más abajo en forma de estratos irregulares y poco inclinados, cuatro ó seis grados, constituyen las tobas detríticas que son tan abundantes, tanto en el lomerío que se levanta al Sur y Poniente de la cuenca de México, como en el relleno de la misma cuenca.

El período de actividad eruptiva en la región de que me ocupo no terminó en el Plioceno, con las erupciones de las andesitas de hornblenda é hyperstena, que se encuentran en la sierra de las Cruces y en la zona de unión de esta última con el macizo montañoso del Ajusco; sino que después, y con intermitencias no muy grandes, tuvieron lugar entre otras las erupciones basálticas cuaternarias y recientes. Las últimas corrientes de basalto cubrieron tierra vegetal y cerámica de los antiguos indios, lo cual prueba que son muy modernas las últimas erupciones basálticas en esa región.

Las erupciones basálticas fueron acompañadas con abundantes emisiones cineríticas, arenas volcánicas que en forma de montículos se deposita-

ron sobre los basaltos y las andesitas; y que acarreadas después por las aguas se han depositado en lechos delgados y con poca inclinación (véanse láms. III, figs. 1 y 2, y IV, fig. 1) sobre los basaltos y también sobre las andesitas.

Los basaltos mencionados cuaternarios y recientes cortaron y en partes cubrieron á la andesita de horublanda de la serranía del Ajusco, habiendo verificado sus emisiones eruptivas por aparatos crateriformes situados en las vertientes andesíticas de esa serranía, tanto en las que por el Norte descienden para la cuenca de México, como en las que hacia el Sur bajan para Cuernavaca y el valle de Cuautla, en el Estado de Morelos. Los conos volcánicos formados por las erupciones basálticas constituyen las eminencias más ó menos altas que accidentaron á las vertientes andesíticas de la serranía del Ajusco, cambiando por completo la fisonomía del terreno en toda esa interesante región.

Según lo anterior puede decirse que, el edificio volcánico formado por rocas basálticas cuaternarias y recientes, está apoyado en la serranía del Ajusco sobre la andesita miocénica que constituye el núcleo de ese gran macizo montañoso.

Las andesitas se hallan no solamente en las sierras de las Cruces y del Ajusco, sino que constituyen una gran parte del fondo macizo de la gran cuenca de México. Esto último ha sido comprobado por varias perforaciones al alcanzar con ellas el fondo macizo de la mencionada cuenca.

Los agentes atmosféricos por su acción constante y enérgica sobre las rocas eruptivas antes mencionadas, han ido desagregando y descomponiendo á estas mismas rocas. Por descomposición de las rocas se han formado materias arcillosas que se encuentran "in situ," ó transportadas y depositadas por las aguas en las pequeñas depresiones del terreno ó en las faldas de las sierras, constituyendo un revestimiento más ó menos grueso á la andesita, revestimiento que se encuentra principalmente en varios lugares de lo que he llamado zona de unión entre la sierra de las Cruces y el macizo montañoso del Ajusco. Debido á la desintegración de las rocas eruptivas mencionadas, y al transporte por las aguas del material producido por esa desintegración, se han formado los aluviones y las capas de arcilla más ó menos arenosa, que se encuentran al pie de las serranías mencionadas y también en el relleno de la cuenca de México. En este relleno alternan entre sí los aluviones, arcillas y margas, depósitos en los cuales se encuentran intercaladas capitas de arena á diferentes profundidades.

Como se ve, en los párrafos anteriores se encuentra un resumen de la historia geológica de la región que motiva este escrito, pero en el presente caso ese resumen no es suficiente. En efecto, para poderse formar una idea aproximada de la importancia de los receptáculos acuíferos subterráneos, y del modo de circulación de las aguas en el subsuelo de una región; así como, para indicar la permeabilidad relativa de las diferentes rocas que afloran en la misma zona, es necesario conocer principalmente el carácter

físico y la extensión del afloramiento de cada una de estas rocas. Por tal motivo, paso á indicar algunos otros datos geológicos indispensables, para hacer el estudio de la hidrología subterránea en el borde meridional de la cuenca de México.

Muy poco he podido encontrar ya publicado, respecto á la geología é hidrología de la zona de que me ocupo en este escrito; y por lo tanto, sólo mencionaré los dos trabajos siguientes. Las cuencas hidrográficas de los manantiales del Desierto y de los Leones fueron estudiadas desde los puntos de vista geológico é hidrológico por los señores Ingenieros José G. Aguilera y Ezequiel Ordóñez. Este trabajo, tan interesante como detallado, se refiere especialmente á la parte occidental de la zona que he llamado de unión entre el macizo montañoso del Ajusco y la sierra de las Cruces; y como ese trabajo es tan completo, me parece inútil ocuparme de la región de los Leones y el Desierto, conformándome con recomendar la lectura del interesante folleto que cito.¹

Respecto á la geología é hidrología de los alrededores del río de la Magdalena, y de los terrenos pertenecientes á la hacienda de Eslava, nada he podido encontrar ya publicado. En cambio, del macizo montañoso del Ajusco hay un estudio geológico é hidrológico² del cual tomaré solamente algunos datos pluviométricos y de infiltración de las aguas, porque no estoy de acuerdo con muchas de las apreciaciones geológicas é hidrológicas indicadas en ese estudio.

La roca más antigua que se encuentra en el borde meridional de la cuenca de México es la andesita de hornblenda, como dije antes. Esta roca de estructura porfiróide y de color gris ó rojo, aflora en la montaña del Ajusco en varios lugares limitada en todas partes por basaltos, como puede verse en la lámina xiii adjunta á este escrito. Constituye esta andesita miocénica los picos más elevados de esa serranía, como son los del Aguila (3,900 metros), Santo Tomás (3,650), y la Joya (3,640); aflora en los cerros de Mezontepec, la Magdalena, Zacayuca y Zacatepec; así como, en las cercanías de Tehuehue, en la sierrita de Xochitepec, y al Poniente del cerro del Xitle (véase la lám. XIII), en donde es cortado el afloramiento andesítico por los tajos del Ferrocarril Central, en su división México, Cuernavaca y Pacífico. Esta andesita de hornblenda es bastante maciza, se halla muy poco agrietada y el color rojo dominante en ella es debido á la oxidación de la hornblenda.

El macizo de andesita de hornblenda debido á la erupción del Ajusco, constituye desde el Mioceno una muralla que separa el valle de Cuautla de la depresión que fué después la cuenca de México. Las vertientes del macizo andesítico mencionado descienden hacia el Norte para la cuenca ante-

1. José G. Aguilera y Ezequiel Ordóñez.—Las Aguas del Desierto. *Bol. Agr. Min.* Feb. 1895. p. 129-149.

2 M. Marroquín y Rivera y Pedro C. Sánchez. Mémoire sur la chaîne de montagnes de l'Ajusco et le captage de ses eaux souterraines. *Mem. Soc. "Antonio Alzate."* Tomo XV. 1900. p. 167-187.

rior y en este descenso parecen descubrirse actualmente dos contrafuertes. En efecto, los afloramientos de la andesita de hornblenda en las vertientes septentrionales de la serranía del Ajusco, aunque escasos, pueden agruparse sin embargo en dos líneas de rumbo casi Norte-Sur, que son las siguientes. En las cercanías de Tepepan, al Sur, se encuentra la sierrita de Xochitepec, formada por andesita de hornblenda, roca ésta que aflora más al Sur en los alrededores de Tehuehue cerca de la planicie del Ajusco. Este afloramiento está separado de la sierrita de Xochitepec por el escurrimiento basáltico que se halla entre Xicalco y San Mateo Xalpa. (Véase lámina XIII.) En otra línea al Poniente de la anterior, se encuentran de Norte á Sur los afloramientos andesíticos: cerro Zacatepec, cerro Zacayuca, tajos del ferrocarril á Cuernavaca, y cerro Magdalena en la planicie del Ajusco. Está interrumpida la línea que une á estos últimos afloramientos andesíticos: por las corrientes basálticas recientes del Xitle, corrientes que bajan de este cono volcánico para Tlalpan y San Angel, y que rodean á los cerros Zacatepec y Zacayuca; y por el depósito de arenas volcánicas que se extiende del pueblo del Ajusco para el de San Andrés. Entre las dos líneas de afloramientos andesíticos ya mencionadas se encuentran los basaltos de los alrededores de Xicalco y San Andrés. Más al Oriente de la sierrita de Xochitepec no se encuentran afloramientos de andesita. Parece, según lo anterior, que antes de las erupciones de rocas basálticas, que cubrieron á la andesita de hornblenda del Ajusco, y llenaron en parte á las depresiones y cortes existentes entonces en ese macizo montañoso, existían entre otros, dos contrafuertes que de Sur á Norte se desprenden del macizo andesítico, contrafuertes hoy indicados por las dos líneas de afloramientos andesíticos que llamaré: la Magdalena á Zacatepec, y Tehuehue á Xochitepec. Los lugares relativamente más altos de estos dos contrafuertes quedaron á salvo de la invasión basáltica, y son ahora los afloramientos andesíticos que he mencionado. Antes de las erupciones basálticas, los terrenos que hacia el Poniente descienden para la hacienda de Eslava estaban separados por el contrafuerte andesítico La Magdalena á Zacatepec, de la depresión existente de Xicalco para Tlalpan; y esta última quedaba separada por el contrafuerte andesítico Tehuehue á Xochitepec de la depresión existente al Oriente de este contrafuerte. La separación de estas depresiones por los contrafuertes andesíticos mencionados, es de grande importancia como se verá más adelante, cuando me ocupe del estudio de la hidrología subterránea de esta región.

La andesita de hornblenda é hyperstena de estructura porfiroide y de color gris ó rojo cuando está alterada, se halla en la serranía de las Cruces y en la zona de unión de esta última con el macizo montañoso del Ajusco. Esta andesita, probablemente de principios del Plioceno, es la roca cortada por la barranca de la Magdalena; la que constituye á los cerros de este nombre así como á los de San Nicolás; es la roca que se encuentra en los bordes acantilados de la barranca la Magdalena, por el Campanario, el Rincón y

Chalmita; y es la que aflora en casi todos los terrenos de la hacienda de Eslava, desde Viborillas por Monte Alegre, la Leona y Texcalco, para Chichicarpa y el Rincón.

Hacia el Oriente, el afloramiento de la andesita de hornblenda é hyperstena está limitado por las corrientes basálticas, siendo la línea de separación entre estas dos rocas la que pasa por el Rincón San Bartolo y los lugares llamados el Negro, el Tejocote, Rancho Viejo y la Campana. (Véase lámina XIII.) Al Oriente de esta línea se hallan los basaltos producidos por las erupciones del Xitle, y al Oeste de la misma línea se encuentran las andesitas de hornblenda é hyperstena de los cerros: el Rincón, Texcalco, las Canoas, los Caballitos, el Borrego, los Ocotes, Monte Alegre, Viborillas, el Cochinito, Coaxoyaque, Cieneguillas, etc.

Hacia el Norte-Oriente, el afloramiento de la andesita de hornblenda é hyperstena está limitado por las tobas que mencionaré más adelante. La línea de separación entre las andesitas y las tobas se extiende de San Nicolás, por la Cañada, para San Bartolo. (Véase lám. XIII.)

En muchos lugares, sobre todo en la parte baja de los cerros de San Nicolás y la Magdalena, con especialidad en los lugares de poca pendiente, la andesita de hornblenda é hyperstena está cubierta con un revestimiento más ó menos grueso de material arcilloso producido por la alteración de la misma roca. Esta arcilla se encuentra unas veces "in situ;" y otras veces, transportada por las aguas y mezclada con arena y tierra vegetal, se halla llenando las depresiones del terreno, ó revistiendo las faldas de poca pendiente en todos los cerros andesíticos de la zona de unión entre las sierras de las Cruces y el Ajusco. Este material arcilloso se encuentra en muchos lugares de la barranca de la Magdalena, en los cerros que bajan de Monte Alegre para la hacienda de Eslava, y de la Cañada para San Bartolo en las cercanías de la línea de separación entre las andesitas y las tobas. En otros lugares, que mencionaré más adelante, la andesita de hornblenda é hyperstena está cubierta por material cinerítico, arenas volcánicas que cubren grandes extensiones andesíticas y también basálticas.

En los lugares en que aflora la andesita de hornblenda é hyperstena, principalmente en los bordes acantilados de la barranca de la Magdalena, en las peñas de Texcalco, etc., se observa que esta roca eruptiva está dispuesta en bancos más ó menos irregulares y cortada por relices. Estos planos de separación, debidos principalmente á causas dinámicas, tienen 80° Norte-Poniente de rumbo, y echado de 75° al Norte-Oriente. Otro sistema de relices, aunque menos desarrollado que el anterior, es de 20° Norte-Oriente de rumbo siendo verticales los relices de este sistema.

En relación con las erupciones andesíticas se encuentran los materiales brechosos y tobosos que se hallan asociados con las andesitas, y que cubren á estas últimas en grandes extensiones, sobre todo en la parte baja de las vertientes de las sierras andesíticas ya mencionadas.

Los materiales fragmentarios, arrojados por los volcanes andesíticos de

esa región, principalmente al final de cada serie de emisiones, constituyeron las brechas y tobas terciarias de origen ígneo, que se depositaron con intervención del agua formando estratos gruesos é imperfectos y con poca pendiente, en las laderas y al pie de las sierras andesíticas. Las brechas de color amarillo ó blanco amarillento, están constituidas por fragmentos de pómez, más ó menos grandes, soldados unos con otros en varios puntos y cimentados por una arcilla ferruginosa muy fina. Estas brechas pomosas en contacto directo con las andesitas y siguiendo la pendiente de estas últimas rocas, bajan de las faldas de las sierras andesíticas para el fondo de la cuenca de México, en el cual se extienden á distancias variables debajo de las tobas detríticas, arcilla, margas, aluviones, etc., que constituyen el relleno del fondo de esta cuenca.

Sobre las brechas y tobas terciarias de origen ígneo, se encuentran tobas pomosas detríticas de grano fino. Estas tobas pleistocénicas son debidas á la desagregación de las brechas anteriores y al transporte de estos detritus verificado por las aguas. Las tobas pleistocénicas se extienden desde las faldas de las sierras hasta el fondo de la cuenca en donde ocupan grandes extensiones. Estas tobas se hallan á veces cubriendo capas bastante gruesas de arena volcánica transportada por el viento y principalmente por el agua, lo cual se observa con especialidad en el lomerío bajo que se halla al pie de la sierra de las Cruces, y sobre todo en los alrededores de Tacubaya y Dolores.

Los materiales brechiformes, tobosos y detríticos antes mencionados se extienden, en la región de que me ocupo, de la línea que pasa por San Nicolás, la Cañada y San Bartolo, para el Norte-Oriente hacia San Angel, Mixcoac y Tacubaya; pasan debajo del "Pedregal de San Angel," y afloran en los alrededores de Tlalpan.

Las erupciones de los basaltos cuaternarios y recientes se efectuaron por muchas bocas volcánicas que existen, como he dicho, en las vertientes del macizo montañoso del Ajusco. En las faldas de esta serranía que hacia el Norte descienden para la cuenca de México, se hallan como cráteres principales y bien conservados los siguientes: cerro Pelado (3,625 metros de altura sobre el nivel del mar), Oyameyo (3,340), Malinalte (3,273), Xitle (3,133), Olihean (3,000), Teuhetli (2,795), etc.

Los basaltos emitidos por los cráteres anteriores formaron conos volcánicos y también extensas corrientes que descendieron hacia el Norte siguiendo las faldas del macizo andesítico. En este descenso se sobrepusieron á veces varias corrientes, como se observa por Xalpa, Xicalco, San Andrés, y entre Xicalco y Teuhetli. (Véase lám. IV, fig. 2.)

El color del basalto es gris, negro agrisado ó negro, á veces con muy poco olivino, pasando á labradorita. La estructura de este basalto es compacta ó ampollosa. Por lo general, el basalto en la cara superior de las corrientes de lava, que se hallan en la serranía del Ajusco, es esponjoso, muy poroso, debido esto al desprendimiento rápido de los gases acompañantes

de la lava en su emisión, y que se separan de ésta durante el enfriamiento violento de la lava escurrida en la superficie del terreno. Cuando el enfriamiento no es tan rápido los gases se desprenden con menor rapidez, y en este caso la estructura del basalto es más ó menos compacta, como se observa á veces en la cara inferior de las mismas corrientes basálticas antes mencionadas.

Las primeras corrientes de lava basáltica escurrieron directamente sobre la andesita en la parte alta y media de las vertientes del Ajusco, y abajo se extendieron sobre las brechas ígneas y sobre las tobas detríticas que se hallan al pie de la serranía. Sobre estas últimas escurrió con especialidad la corriente del Xitle, que es la más moderna, y la cual se extendió por los alrededores de San Angel y Tlalpan, formando lo que se ha llamado Pedregal de San Angel.

En los lugares en que las lavas muy fluidas escurrieron de una manera continua, dejaron canales y á veces conductos subterráneos dentro de las mismas corrientes de lava. Estos conductos bastante irregulares constituyen ahora grutas hasta de cien metros de largo, como son las que se hallan principalmente en el Pedregal de San Angel, y en las vertiente del Ajusco cerca del límite entre el basalto y la andesita de hornblenda é hyperstena de la hacienda de Eslava. Muchas oquedades se encuentran en la superficie de las corrientes basálticas como se ve en la lámina II, figs. 1 y 2; y algunas de estas comunican con las grutas subterráneas que acabo de mencionar. Al caerse las bóvedas que cubren á estos conductos subterráneos, se fracturaron los basaltos situados en la parte superior de las mismas grutas; y tanto por esto, como también y principalmente por los esfuerzos de tensión producidos durante el enfriamiento del basalto en la superficie del terreno, se encuentra en varias partes esta roca surcada por multitud de grietas, más ó menos irregulares, que le dan el aspecto fragmentario. (Véase lámina V, fig. 1.)

A veces en la parte superficial de las corrientes de basalto en el Ajusco, se ven curvas concéntricas que indican más ó menos la dirección del escurrimiento de una lava viscosa.

Se comprende en vista de lo anterior, que los basaltos que invadieron y cubren en su mayor parte á las vertientes andesíticas del Ajusco, son: en unos lugares, escoriformes más ó menos compactos; en otros son esponjosos, muy porosos, con muchas oquedades y grutas; y en otros por último, tiene el basalto un aspecto fragmentario, debido á multitud de grietas irregulares que lo surcan en muchas direcciones.

La extensión ocupada por los basaltos es muy grande en la serranía del Ajusco, como puede verse en la lámina XIII adjunta, debiendo advertir que esta roca aflora también mucho más hacia el Oriente y Sur del terreno representado por el croquis en la mencionada lámina XIII.

Las erupciones basálticas estuvieron acompañadas por proyecciones de cenizas y productos triturados. La expulsión de cenizas fué bastante con

siderable y este material transportado por el viento y las corrientes de agua se depositó sobre los basaltos y también sobre las andesitas, como indicaré después. Los productos triturados más ó menos revueltos con las arenas volcánicas fueron en parte sedimentados por el agua constituyendo estratos imperfectos de tobas arenosas, de grano fino, que se hallan apoyadas en varios lugares de las vertientes del Ajusco.

Las arenas volcánicas se depositaron sobre los basaltos formando unas veces montículos como los que se encuentran entre Topilejo y San Mateo Xalpa; y otras veces transportadas por el viento y por las aguas se depositaron en lechos delgados y con poca pendiente sobre los basaltos y también sobre las andesitas. (Véanse láms. III, figs. 1-2 y IV, fig. 1.)

Las arenas y cenizas volcánicas apoyadas sobre los basaltos ocupan una extensión muy grande en las faldas de la serranía del Ajusco, como se ve en la lámina XIII. En efecto, se hallan en toda la planicie del Ajusco y bajan por la falda Norte del cerro Magdalena para San Andrés. En este descenso los lechos delgados de arena (lám. III, fig. 1-2) tienen una pendiente de 20° á 30° hacia el Norte-Oriente. Las arenas mencionadas se prolongan al Sur de la planicie del Ajusco por las faldas de los cerros del Oyameyo, San Francisco y Tuxtepec para las del Guarda, aunque en muchas partes de esta extensión las arenas están cubiertas por una toba arenosa de grano muy fino. Esta toba está constituida, como he dicho, por el material fragmentario arrojado por los cráteres basálticos, material que junto con arena volcánica fué sedimentado por las aguas formando capas más ó menos imperfectas. En la lám. V, fig. 2, fotografía tomada en las cercanías del Guarda, se ve una capa de toba arenosa colocada sobre lechos delgados de arena volcánica los cuales tienen poca pendiente hacia el N. E.

No solamente en las faldas del Ajusco se encuentran depósitos de arena sino también en los cerros de San Miguel y el Arenal, en la parte alta de Lagunillas, y en la barranca de la Magdalena por el lugar llamado el Ocotál. En este último, tanto las faldas de los cerros las Palomas y Coaxoyaque, como las de Cieneguillitas, el Cochinito, etc., están cubiertas por arena en lechos muy delgados y con muy poca inclinación hacia el Oriente. Este revestimiento arenoso, apoyado directamente sobre la andesita de hornblenda é hiperstena, está cortado por la barranca la Magdalena, desde Cieneguillas hasta el Ocotál. En las láms. IV, fig. 1 y VI, fig. 1, pueden verse los lechos delgados de arena á que me refiero. La lám. IV, fig. 1, es una fotografía tomada en la falda oriental del cerro Coaxoyaque, cerca de los manantiales del mismo nombre; y la VI, fig. 1, es una fotografía tomada en el Ocotál, del borde acantilado de la barranca de la Magdalena, en donde está brotando agua que desliza por esa pared para el río de la Magdalena. La arena mencionada, revuelta á veces con arcilla y tierra vegetal, ocupa gran extensión en los alrededores del nacimiento del río de la Magdalena ó sea del Campanario para el Sur y Sur-Oeste principalmente.

Las arenas volcánicas, depositadas en el Ajusco sobre las corrientes de lava basáltica, y sobre la andesita de hornblenda é hyperstena, en los alrededores del Ocotál, forman lechos delgados como he dicho, y á veces alternan lechos de arena de color diferente y también de grano desigual. En la falda Norte del cerro Magdalena, se eucuentran escalones sucesivos cubiertos por arena de grano fino y de varios colores.

El material arcilloso producido por la alteración de las rocas volcánicas, mezclado con arena y tierra vegetal, se encuentra depositado sobre el basalto en los pequeños escalones que se hallan en las vertientes del Ajusco, principalmente entre San Lucas Xochimanca, San Andrés Acuaynca, Santa Cecilia, San Salvador Cuautenco, San Pablo Ostotepec, San Bartolo y San Pedro Atocpan. Los mismos materiales se encuentran depositados sobre la andesita de hornblenda é hyperstena en las planicies de Chichicapa, el Negro, el Tejocote, Rancho Viejo, la Escondida y Monte Alegre; así como en los alrededores de la Cañada, de Coajomulco, del Rincón y de Cieneguillas, en el río la Magdalena.

El fondo macizo de la cuenca de México, hacia el Sur, está constituido por andesita de hornblenda é hyperstena y andesita de hyperstena. Las erupciones de esta última roca ocurrieron en el Cuaternario y alternaron con las de labradorita y basalto, existiendo á veces transiciones casi insensibles entre la andesita de hyperstena y la labradorita. La andesita de hyperstena, junta á veces con materiales triturados y cineríticos, constituye á varias de las colinas y cerros aislados que se levantan en la planicie de México, como son: el Pino, los de Santa Catarina, Xico, La Estrella, Chapultepec, etc.; y la labradorita se halla entre otros en el cerro de Chimalhuacán.

En vista de los afloramientos de andesita de hyperstena, que acabo de mencionar, roca que constituye á varios cerros que se levantan aislados en la planicie de México; y teniendo en cuenta también los datos proporcionados por algunas de las perforaciones hechas en la ciudad de México, principalmente, puede decirse que, el fondo andesítico de la cuenca mexicana es accidentado, y que en varias partes, la andesita de hyperstena se levanta del fondo formando picachos, de los cuales se hallan algunos totalmente cubiertos con los depósitos lacustres. Estos islotes han sido alcanzados á poca profundidad relativamente por varias perforaciones, entre las cuales puedo citar algunas en la Penitenciaría, y una en la Escuela Nacional Preparatoria.

Sobre el fondo andesítico de la cuenca, y principalmente en las cercanías de los bordes occidental y meridional de la misma cuenca, se apoyan directamente en la andesita las brechas volcánicas y las tobas detriticas antes mencionadas. Intercalados en estas tobas se encuentran en varios lugares bancos poderosos de aluvión, constituido por cantos gruesos de andesita de hyperstena principalmente.

Las brechas volcánicas terciarias, se extienden á distancias variables

de los bordes andesíticos para el fondo de la cuenca; y las tobas detríticas van siendo más arcillosas á medida que se hallan más al centro de la cuenca, pues en estos lugares se depositaban mezcladas con el lodo del antiguo lago que cubría á la referida depresión.

Sobre las brechas y tobas pomosas antes mencionadas, se encuentran: margas, arcillas margosas, arcillas, aluviones y arenas, materiales que desde el Plioceno comenzaron á depositarse en el fondo de la cuenca de México, y que constituyen el relleno de esta misma cuenca.

En las partes profundas de la cuenca de México, sobre las tobas, á veces arcillosas ó arenosas, se hallan margas arcillosas de color azulado, amarillento ó verde por lo general; y entre las margas hay capitas de arena, ó aluviones formados por matatenas de andesita. Encima de las capas anteriores hay arcillas margosas y arenosas y margas arcillosas de color blanco rosado, gris ó negro, sobre los cuales se encuentran tobas detríticas amarillentas.

Las margas, margas arcillosas, arcillas margosas y arcillas, se hallan en el relleno del fondo de la cuenca de México formando capas de bastante espesor, las cuales alternan entre sí de diferentes maneras; y se hallan en unas partes horizontales, y en otras ligeramente inclinadas hacia el centro de la referida cuenca. Intercalados en las capas anteriores y á diversas profundidades hay depósitos constituidos por arena y matatena de andesita.

El material arcillo-margoso ya mencionado, con sus intercalaciones de arenas, aluviones y tobas detríticas más ó menos arcillosas ó arenosas, ocupa un espesor muy grande en el centro de la cuenca de México, espesor que va disminuyendo al aproximarse al pie de las montañas que forman el límite de esta cuenca. Todo este relleno está interrumpido dentro de la cuenca por las irregularidades del fondo andesítico, eminencias éstas que se levantan más ó menos, aflorando unas en las colinas y cerros aislados que interrumpen la planicie, y quedando otras completamente cubiertas por el material arcillo-margoso de sedimentación lacustre ya mencionada.

A medida que va disminuyendo el espesor del depósito arcillo-margoso al acercarse al pie de las serranías que limitan á la cuenca de México, por el Occidente y el Sur, va aumentando el espesor de las tobas y brechas pomosas que se levantan por las faldas de esas sierras; y aumenta también en muchas partes al acercarse al pie de las mismas serranías, la cantidad de arena volcánica que se halla unas veces debajo de las tobas detríticas, como sucede por Tacubaya y Dolores, ó que está depositada sobre el basalto y las tobas, como se encuentra al Poniente del pueblo Tepepan.

Por último, en el relleno del fondo de la cuenca de México, hacia el Sur-Oriente, se encuentra en varios lugares como producto de la descomposición de plantas, una turba de mala calidad; y en estos lugares, como sucede en las cercanías de Xico, por los pozos brotantes sale el agua acompañada de gas de pantanos en regular cantidad.

El bosquejo geológico que antecede, creo que compendia todos los datos geológicos que son necesarios para formarse una idea aproximada acerca de la importancia y modo de circulación de las aguas en el subsuelo de una región; y por lo tanto, sirviéndome de fundamento la ligera descripción anterior, paso á ocuparme de la hidrología subterránea en el borde meridional de la cuenca de México.



HIDROLOGIA GENERAL DE LA REGION

Indicadas ya las rocas que afloran en las serranías de las Cruces y el Ajusco, al Sur-Poniente y Sur de la cuenca de México, conocido el carácter físico de cada una de esas rocas, así como las extensiones aproximadas de sus respectivos afloramientos, pueden ya clasificarse éstas rocas según su permeabilidad relativa, y puede también limitarse la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos que desaguan en parte por los manantiales de la Magdalena, de Eslava, de Tlalpan, de Xochimilco y de Chalco.

En la región de que me ocupo afloran rocas coherentes, poco coherentes, é incoherentes; y por lo tanto, hay en esa región rocas compactas, porosas, y muy porosas. Como rocas coherentes ó compactas, figuran en el borde meridional de la cuenca de México, por orden de su antigüedad relativa: la andesita de hornblenda, la andesita de hornblenda é hyperstena, y el basalto. Como rocas poco coherentes ó porosas, se hallan en el mismo borde: las brechas pomosas, las tobas arenosas y las detríticas, y también las arcillas arenosas ó mezcladas con tierra vegetal, depósitos formados por el agua en las depresiones del terreno. Como material incoherente ó muy poroso hay en las mismas serranías: cenizas y arenas volcánicas, en montículos ó en lechos delgados, y aluviones constituidos por matatenas de andesita principalmente.

Entre las rocas compactas que acabo de mencionar, hay que establecer una división fundada en el carácter físico que presentan esas rocas en el terreno estudiado. En efecto: la andesita de hornblenda del Ajusco está muy poco agrietada; en la andesita de hornblenda é hyperstena de Eslava y la Magdalena, se observan muchos relices, planos de separación éstos que forman dos sistemas como dije antes, y de los cuales el de rumbo medio 80° N.W. está bastante desarrollado; y por último, el basalto en varias partes de su afloramiento es esponjoso, ó tiene muchas cavidades, ó presenta el aspecto fragmentario por estar agrietado en muchas direcciones. Según esto, entre las rocas compactas de la región hay una casi impermeable, por estar muy poco agrietada, la andesita de hornblenda; y dos de permea-

bilidad localizada en las grietas que las cortan ó en las cavidades contenidas en ellas, y son estas dos últimas rocas la andesita de hornblenda é hyperstena y el basalto. Estas rocas, por no ser porosas, no permiten la infiltración y la circulación del agua en toda su masa, sino que el agua sólo puede infiltrarse y circular en el interior de esas rocas, por las grietas que las cortan, ó por las cavidades que contienen, espacios vacíos todos éstos en los cuales queda localizada la permeabilidad de la roca, ó sea, la propiedad de permitir la circulación de líquidos ó gases en su interior. En la andesita de hornblenda é hyperstena no existen cavidades más ó menos grandes, como se hallan en el basalto, sino que esa andesita está agrietada solamente. Por lo tanto, la circulación del agua es más fácil y por consiguiente más activa, en las cavidades amplias, supercapilares del basalto, que en los conductos estrechos más ó menos capilares que hayan quedado vacíos en las grietas y relices de la andesita de hornblenda é hyperstena. Según esto puede decirse que, es mucho más permeable el basalto de la serranía del Ajusco, que la andesita de hornblenda é hyperstena que aflora en la zona de unión de la sierra de las Cruces con la del Ajusco.

Como materiales porosos, es decir, materiales que contienen espacios vacíos entre las partículas que los constituyen, he citado á las brechas pomosas, á las tobas arenosas y á las detríticas, y también á las arcillas arenosas mezcladas con tierra vegetal. En todos estos materiales hay espacios vacíos, poros, que permiten la infiltración del agua y que ésta circule en su interior. Como esos poros se encuentran en toda la masa de los referidos materiales, el agua circula en el interior de ellos por todas partes, no solamente por las grietas, es decir, que esa circulación no está circunscrita, no está localizada en las grietas ó en las grandes cavidades, sino que se verifica por todas partes, sin obstáculos, sin interrupciones, razón por la cual he llamado permeabilidad continua á la que tienen las rocas porosas.¹

En las brechas, y principalmente en las tobas mencionadas, los poros, ó espacios contenidos en ellas, son muy pequeños, capilares ó subcapilares; y por lo tanto, aunque la capacidad de absorción de esas brechas y tobas es considerable, aunque su porosidad es grande, su permeabilidad es relativamente pequeña, porque el agua circula con dificultad por esos espacios tan pequeños, por esos poros capilares, y la circulación del agua se verifica entonces de acuerdo con las leyes de la capilaridad y no conforme á las leyes de la hidrostática. En vista de esto, es fundado decir que, las brechas y tobas de la región en estudio son menos permeables que los basaltos esponjosos, cavernosos y agrietados del Ajusco; pero son más permeables que las andesitas de la misma región. En cuanto á la permeabilidad relativa entre las brechas pomosas, las tobas arenosas y las tobas detríticas de grano fino, debo indicar que: las brechas pomosas y las tobas arenosas

1 J. D. Villarelo. Hidrología interna de los alrededores de Cadereyta Méndez. Parergones del Instituto Geológico de México. Tomo I, núm. 6, pág. 182.

mencionadas en este estudio son más permeables que las tobas detríticas de grano fino; porque las primeras tienen poros menos capilares que las últimas, y por lo mismo, es más fácil y rápida la circulación del agua en el interior de las brechas pomosas y tobas arenosas de la región estudiada, que en el interior de las tobas detríticas de grano fino que se hallan en la misma región.

La arcilla y también la marga son materiales casi impermeables, pues aunque absorben grandes cantidades de agua, su poro es tan pequeño que la circulación de esa agua en su interior es casi nula. Cuando la marga ó la arcilla están mezcladas con arena, van siendo menos impermeables á medida que aumenta la cantidad de arena. Así, cuando la arcilla se encuentra en la región de que me ocupó transportada por el agua, mezclada con arena y tierra vegetal, y depositada en las depresiones más ó menos grandes del terreno, ó en las faldas poco inclinadas, puede decirse que constituye un material más permeable que una toba de grano fino. En cambio, cuando la arcilla no está mezclada con arena, sino que casi pura se halla sobre la andesita de la región, cubriendo á las grietas de esta roca, entonces puede considerarse como un material casi impermeable, y que impide la entrada ó la salida del agua por las grietas de la andesita que estén cubiertas con la mencionada arcilla.

Como materiales incoherentes muy porosos, he citado en la región estudiada: los aluviones y las cenizas y arenas volcánicas, depósitos que ocupan grandes superficies. La circulación del agua por estos materiales es muy fácil y rápida por existir en ellos multitud de espacios vacíos, muchas veces supercapilares, lo cual hace que la permeabilidad de estos depósitos sea continua y bastante considerable. Sin embargo, esta permeabilidad no es igual en todas partes del mismo material incoherente, sino que varía con la forma y las dimensiones del grano en los montículos ó lechos de arena, y con el tamaño y forma de las matatenas en los bancos de aluvión, siendo la permeabilidad relativamente menor, á medida que son más pequeños los granos de arena, ó los elementos que constituyen el aluvión.

Como dije antes, en los depósitos incoherentes del Ajusco alternan lechos de arena de grano diferente y por lo mismo de permeabilidad desigual. En estos depósitos, aunque la permeabilidad es continua, es decir, aunque la circulación del agua se verifica en su interior por todas partes, sin embargo, por unos lugares esta circulación es más activa, más rápida, porque en ellos son menos capilares los espacios vacíos y por este motivo se forman dentro del depósito de arena series de venas acuíferas, ó sea conductos irregulares por los cuales se verifica de preferencia la circulación de las aguas subterráneas.

En el relleno del fondo de la cuenca de México alternan de diferentes maneras capas casi impermeables con otras poco permeables, constituidas respectivamente por depósitos arcillo-margosos y por arcillas ó margas arenosas. Intercaladas en las capas anteriores se encuentran á diferentes

profundidades depósitos muy permeables, constituidos por arena ó matas de andesita por lo general.

Resumiendo el contenido de los párrafos anteriores, pueden agruparse los materiales que constituyen el relleno del fondo y el borde meridional de la cuenca de México, por orden ascendente de su permeabilidad relativa, como sigue: arcillas y margas, andesita de hornblenda, andesita de hornblenda é hyperstena, tobas detríticas, arcillas y margas arenosas, brechas volcánicas, tobas arenosas, basaltos, arenas y aluviones.

Conocida ya la permeabilidad relativa de las distintas rocas que se encuentran en la región estudiada y la topografía del terreno, es fundado decir ahora que, el agua que sale por los manantiales del río de la Magdalena, por los de la hacienda de Eslava, y por los que se hallan en los alrededores de Tlalpan, Tepepan, Xochimilco y Chalco, proviene de las lluvias caídas en las vertientes septentrionales del macizo montañoso del Ajusco, y en la zona de unión de este último con la sierra de las Cruces. En efecto, como dije en otro lugar, el núcleo de las sierras del Ajusco y de las Cruces está constituido por la andesita de hornblenda, y como esta roca es casi impermeable en la región de que me ocupo, ese núcleo de andesita de hornblenda de las sierras mencionadas es una barrera subterránea casi impermeable, que impide pasen para el Sur las aguas infiltradas en las vertientes Norte de esas serranías, y que no permite á las aguas infiltradas en las vertientes del Sur, que en su circulación subterránea salgan por manantiales situados en las vertientes Norte de las mismas sierras. Según esto, el núcleo andesítico casi impermeable de las sierras del Ajusco y las Cruces, es una zona que divide á las aguas subterráneas, de tal suerte, que sin obras artificiales, el agua infiltrada en cada vertiente sólo puede salir de nuevo al exterior por la misma vertiente y no por la opuesta. En otros términos puede decirse que, en el borde meridional de la cuenca de México hay un núcleo de andesita de hornblenda que debe considerarse como la zona divisoria de las aguas en su circulación subterránea, zona casi impermeable que separa á las aguas que por el Norte bajan y salen en parte al exterior por los manantiales de la Magdalena, Tlalpan, Xochimilco y Chalco, de las que por el Sur descienden y brotan en parte por los manantiales de Cuernavaca, las Fuentes de Chapultepec (E. Morelos), y Jiutepec.

En vista de lo expuesto es fundado asegurar que, la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos que en parte desaguan por los manantiales de la Magdalena, Tlalpan, Xochimilco y Chalco, está limitada á las vertientes que hacia el Norte descienden del macizo montañoso del Ajusco, y de la zona que he llamado de unión entre éste último y la sierra de las Cruces. La cantidad de agua que salga por los manantiales que mencioné antes, será proporcional, por lo tanto, á la cantidad de agua que se infiltre en la superficie de alimentación que acabo de indicar.

Acceptado lo anterior, se concluye que, la circulación subterránea de las aguas en las vertientes del Ajusco tiene que ser más bien superficial que

profunda. En efecto, el agua que se infiltre en las referidas faldas no puede descender verticalmente á grandes profundidades, sino que cuando más llegará hasta la andesita de hornblenda que constituye el núcleo de esa serranía, y en seguida descenderá sobre ella siguiendo la pendiente de esta última roca.

Como dije antes, el edificio basáltico del Ajusco se apoya sobre las antiguas vertientes andesíticas de esa serranía; y como la andesita de hornblenda que constituye á esas vertientes es casi impermeable, la circulación subterránea de las aguas en casi todo el macizo montañoso del Ajusco tiene lugar únicamente en el interior de ese edificio basáltico. es decir, en el interior de los conos y corrientes de basalto, y en el interior de los depósitos cineríticos y tobosos que se apoyan sobre los referidos basaltos. Por lo tanto, la circulación subterránea del agua en las faldas del Ajusco tiene lugar únicamente en una zona superficial relativamente poco gruesa, bastante inclinada, y que se apoya sobre la andesita impermeable de las antiguas vertientes de ese macizo montañoso.

La comprobación de las ideas ya expuestas, relativas á la circulación más bien superficial que profunda de las aguas que se infiltran y descenden subterráneamente en las vertientes del Ajusco, la proporciona un hecho muy interesante, cual es: la temperatura del agua que sale por todos los manantiales de la región estudiada. En efecto, es bien sabido que, cuando el agua en su circulación subterránea desciende á bastante profundidad se calienta, y al salir por los manantiales tiene una temperatura notablemente superior á la media del lugar en donde se hallan los manantiales. En cambio, cuando el trayecto seguido por las aguas en el subsuelo es más bien superficial que profundo, al salir esas aguas por los manantiales tienen una temperatura muy cercana de la media local. Pues bien, el agua que sale por todos los manantiales de la región descrita, es fría, su temperatura media varía entre 10 y 14° C., es decir, que aproximadamente es igual á la temperatura media del lugar, lo cual prueba que el trayecto que siguen esas aguas en su circulación subterránea, es más bien superficial que profundo.

Por las razones ya indicadas, considero fundado decir que, el núcleo andesítico de la sierra del Ajusco separa á las aguas subterráneas que por el Norte bajan para la cuenca de México, de las que por el Sur descenden hacia Cuernavaca y Jiutepec; y fundado en los mismos razonamientos puedo decir que, los contrafuertes de andesita de hornblenda que he llamado La Magdalena á Zacatepec y Tehuehue á Xochitepec, contrafuertes que se desprenden de la sierra del Ajusco para el Norte, dividen á la vertiente septentrional de esta serranía en tres zonas diferentes de circulación de aguas subterráneas. En efecto, los contrafuertes mencionados, de andesita de hornblenda, siendo casi impermeables impiden que las aguas infiltradas en la zona comprendida entre ellos dos, pase en su circulación subterránea para las zonas que se hallan, una al Oriente del contrafuerte Tehuehue-

Xochitepec, y otra al Poniente del contrafuerte La Magdalena-Zacatepec; é impiden también que el agua infiltrada en estas dos últimas zonas pase subterráneamente para la zona central comprendida entre los dos mencionados contrafuertes andesíticos. (Véase lám. XIII.) Esta separación en zonas diferentes de circulación de las aguas en el subsuelo, obliga á hacer un estudio separado de los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en cada una de esas zonas, y á dividir en secciones la superficie total de alimentación de estos receptáculos, superficie total limitada ya aproximadamente de la manera que indiqué en algunos de los párrafos anteriores. Teniendo en cuenta lo que acabo de decir, y con la mira de proceder en mayor orden y hacer más claras las descripciones, creo conveniente continuar este estudio hidrológico dividiéndolo en tres partes, para estudiar por separado cada una de las zonas en que divido la región ya descripta, y que son: zona del río de la Magdalena y hacienda de Eslava; zona La Magdalena, Tlalpan; y zona Cuautzín, Teuhctli, Xochimilco. (Véase lám. XIII.) Después me ocuparé en estudiar la circulación subterránea de las aguas en la parte Sur de la planicie de México, indicaré la manera de aumentar el caudal de agua que circula en el subsuelo de las zonas estudiadas, y recomendaré algunas obras de captación.

ZONA DEL RIO DE LA MAGDALENA Y HACIENDA DE ESLAVA.

En la zona que he llamado del río de la Magdalena y hacienda de Eslava, el subsuelo está constituido por la andesita de hornblenda é hyperstena, que por estar agrietada puede considerarse como roca de permeabilidad localizada en las grietas referidas. Esta roca aflora con especialidad en los lugares de bastante inclinación, en los bordes acantilados de las barrancas principalmente; pero en las depresiones del terreno, en las faldas de poca pendiente, y en las planicies escalonadas que se hallan en esa zona, la andesita está cubierta con un revestimiento de material arcillo-arenoso mezclado con tierra vegetal. Este revestimiento es permeable, como dije antes, y tanto más á medida que la arcilla está mezclada con mayor cantidad de arena. En otros lugares, la andesita de hornblenda é hyperstena está cubierta con un revestimiento de arena, material en su mayor parte arrojado por los volcanes basálticos de la región, y transportado y sedimentado por el viento y las aguas. Este material incoherente, muy permeable, se encuentra principalmente en los alrededores del lugar llamado el Ocotl, en las faldas de los cerros Coaxoayaque, el Cochinito, Cieneguillas, San Miguel y el Arenal.

Constituida la zona del río de la Magdalena y hacienda de Eslava por los materiales permeables que acabo de mencionar, puede considerarse todo ese terreno como superficie de alimentación de receptáculos acuíferos subterráneos; pero como no todos esos materiales tienen el mismo coeficiente

de infiltración, no toda esa zona es igualmente interesante considerada como superficie de alimentación de receptáculos acuíferos subterráneos.

La andesita de hornblenda é hyperstena, siendo una roca de permeabilidad localizada, no permite la infiltración del agua sino por los espacios vacíos contenidos en las grietas que la cortan. Según esto, no puede considerarse como superficie de alimentación de receptáculos acuíferos subterráneos, á toda la superficie de terreno ocupada por el afloramiento de esta andesita, sino que esa superficie de alimentación queda reducida á la extensión que ocupan los afloramientos de los espacios vacíos contenidos en las grietas que cortan á la andesita mencionada. Si á esto se agrega, que la arcilla que resulta de la alteración de la roca "in situ," obstruye á veces á las grietas é impide por ser impermeable, que el agua penetre por esas grietas, se comprende lo muy reducida que queda la superficie de alimentación en los afloramientos de esa andesita de hornblenda é hyperstena. Pero aún hay más: cuando estos afloramientos se hallan en lugares de mucha pendiente, por los cuales pasan con gran velocidad las aguas corrientes superficiales, la infiltración de estas aguas es muy pequeña en esas condiciones. En cambio, cuando sobre las rocas de permeabilidad localizada en las grietas que las cortan, existe un depósito de material poroso que permita la infiltración fácil de las aguas superficiales, entonces, el agua infiltrada en el depósito poroso pasa á los espacios vacíos contenidos en las grietas de las rocas macizas, y circula en el interior de éstas una cantidad de agua muy superior á la que se infiltra en las mismas rocas agrietadas, cuando éstas no tienen un revestimiento de material poroso, sino que afloran en la superficie del terreno.

En la zona del río de la Magdalena y hacienda de Eslava, en unos lugares aflora la andesita agrietada y en otras partes esta andesita está revestida, como he dicho, con un depósito arcillo-arenoso mezclado con tierra vegetal. Según esto, y de acuerdo con lo indicado en el párrafo anterior, la superficie ocupada por el afloramiento de la andesita debe considerarse de poca importancia relativa como superficie de alimentación de receptáculos acuíferos subterráneos; y es de mucho mayor importancia como superficie de alimentación de los referidos receptáculos, la extensión de terreno ocupada por los depósitos arcillo-arenosos mezclados con tierra vegetal, que se apoyan sobre la andesita referida. Es decir, que el tanto por ciento de infiltración de las aguas superficiales es mucho mayor en estos depósitos, que en los afloramientos de andesita; y como la arena es material muchísimo más permeable que las arcillas arenosas, el tanto por ciento de infiltración de las aguas superficiales es muchísimo mayor en las arenas que en los mencionados depósitos arcillosos. Por lo tanto, la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos existentes en la zona del río de la Magdalena y hacienda de Eslava, puede dividirse en tres partes, que en orden decreciente de su importancia relativa, son las siguientes: superficie ocupada por el revestimiento de arena más ó menos fina que se

halla en los alrededores del Ocotal, y cerros Coaxoyaque, Cochinito, Cienguillas y San Miguel; superficie ocupada por los depósitos de arcilla arenosa mezclada con tierra vegetal, que se encuentran en la mayor parte de los cerros andesíticos de esa zona, tanto en los montes de la Magdalena como en los de San Nicolás y Eslava; y por último, la superficie ocupada por los afloramientos de andesita de hornblenda é hyperstena que existen en la región, principalmente en las partes de mayor pendiente, y en los acantilados de los cerros de la Magdalena y Eslava.

El tanto por ciento de infiltración de las aguas corrientes superficiales en cada una de las tres partes en que divido la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos, en la zona del río de la Magdalena y hacienda de Eslava, puede fijarse de una manera aproximada en las condiciones locales de la región, como sigue: en la superficie ocupada por el material incoherente, arenas, cenizas, etc., se infiltra aproximadamente el 50 por ciento del volumen de agua recibido por esa superficie; en el terreno ocupado por el depósito arcillo-arenoso mezclado con tierra vegetal, se infiltra el 20 por ciento más ó menos, y la infiltración es muy pequeña en la superficie ocupada por los afloramientos andesíticos, y principalmente en los lugares en que la andesita está cubierta por arcilla sin mezcla de arena, arcilla que resulta de la alteración de esa roca "in situ."

En la andesita de hornblenda é hyperstena de la zona á que me estoy refiriendo, el sistema de grietas mejor desarrollado es, como he dicho, el que tiene 80° N.W. de rumbo medio; y como las barrancas en esa zona y en general los cortes principales del terreno, son allí de rumbo 45° N.E. aproximadamente, y en otros lugares este rumbo es casi Norte-Sur, todas las barrancas de esa zona cortan oblicua ó normalmente á las grietas principales que surcan á la referida andesita. Por los espacios vacíos contenidos en estas grietas, circulan las aguas en su trayecto subterráneo, formando venas acuíferas dentro de algunas de esas diaclasas ó fracturas que surcan á la andesita; y como estas diaclasas están cortadas por las barrancas, el agua subterránea, que siempre sigue los trayectos que oponen menor resistencia á su circulación, tiende más bien á salir al exterior por las barrancas que cortan á las diaclasas, que á continuar descendiendo por trayectos más ó menos capilares contenidos en las referidas grietas. Además, estas últimas á la profundidad van desapareciendo, los espacios vacíos contenidos en ellas van siendo más reducidos; y por lo tanto, la circulación del agua en el interior de la roca va siendo más lenta, á la profundidad se verifica por conductos más limitados, y la permeabilidad localizada de la roca va siendo menor. Esta disminución en la permeabilidad de la andesita mencionada, al aumentar la profundidad, ocasiona que una gran parte del agua infiltrada en esa roca siga trayectos subterráneos más bien horizontales que verticales, pues en estos últimos la circulación va siendo más lenta y difícil, y en los primeros es más fácil y más rápida, relativamente. Así, el agua que se infiltra en la parte superficial de la andesita, en cantidad muy superior

á la que puede circular en las partes más profundas de la misma roca, se acumula en los espacios vacíos contenidos en las grietas de la andesita, diaclasas estas que son más abundantes y más amplias en las partes superficiales que en las profundas de la misma roca. El agua acumulada en las grietas, y que no puede descender sino con mucha lentitud, se va extendiendo horizontalmente por los espacios vacíos que encuentra en las mismas diaclasas, el nivel del agua va subiendo, y al fin sale al exterior esta agua en los lugares en que las barrancas cortan normal ú oblicuamente á las grietas por las cuales circulan las aguas subterráneas en la andesita de esa región.

Según lo anterior, los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en la andesita de hornblenda é hyperstena de la zona del río de la Magdalena y de la hacienda de Eslava, están constituidos por los espacios vacíos existentes en las grietas que surcan á esa roca eruptiva, espacios que forman una red de venas más ó menos irregulares y contenidas en cada uno de los tramos de roca más ampliamente fracturada. En los tramos en que la andesita no está agrietada, ó que las grietas son subcapilares, no existen esos espacios vacíos, y en estos tramos no pueden circular aguas en el interior de la roca. Según esto, los sistemas venosos anteriores son independientes unos de otros, están localizados en los tramos de roca más ampliamente fracturada, en donde las grietas son supercapilares, y están separados por tramos más ó menos anchos de roca compacta ó muy poco agrietada. Estos sistemas venosos supercapilares en la superficie, van siendo más ó menos capilares y de menor importancia relativa al aumentar la profundidad.

De acuerdo con lo anterior, puede decirse que en los sistemas venosos acuíferos subterráneos que acabo de mencionar, hay dos clases de circulación de agua: una que es bastante importante, relativamente rápida, más bien horizontal que vertical, y que tiene lugar en la parte superior de los referidos sistemas venosos; y otra menos importante, lenta, descendente, y que se verifica en la parte profunda de los mismos sistemas venosos acuíferos. Esta parte profunda no puede considerarse como pasiva, pues el agua circula en ella y desciende aunque con lentitud; pero tampoco es una región de alimentación de manantiales cercanos, sino que debe considerársele más bien como una zona de retención de las aguas, ó región acumulante, de la cual sólo con obras artificiales puede extraerse el agua en esa región. Esta zona acumulante comienza al nivel inferior de los manantiales y continúa á la profundidad. Según esto, en los receptáculos acuíferos subterráneos que acabo de mencionar, no se encuentra un fondo impermeable al nivel inferior de los manantiales, sino otra cosa que conduce al mismo resultado: se halla un nivel de agua que desciende con mucha lentitud. Esta lentitud en el descenso del agua á ese nivel, impide, como lo haría un fondo casi impermeable, que el agua infiltrada en gran cantidad continúe su descenso fácil y rápido, y la obliga á salir en su mayor parte al exterior por los manantiales situados á ese nivel. Es decir, el agua se infiltra por

las grietas amplias de la andesita, ya sea directamente ó por intermedio, como he dicho, del revestimiento incoherente ó poco coherente que la cubre, y desciende con rapidez relativa por la parte superior de los sistemas venosos acuíferos mencionados, parte que constituye las regiones de alimentación y activa de los manantiales; y continúa en este descenso tendiendo siempre á salir de nuevo al exterior por manantiales situados á distintos niveles, hasta que llega á una zona en la que ya no puede descender sino con gran lentitud, lo cual la obliga á salir al exterior á ese nivel, que debe considerarse como el nivel inferior de los manantiales.

Aceptando la forma que he indicado para los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en la andesita de hornblenda é hyperstena de la zona de que me ocupó, y aceptando también las explicaciones que he dado, relativas á la circulación del agua en cada una de las diferentes partes de esos receptáculos se concluye que, el agua que sale por los manantiales del río de la Magdalena y de la hacienda de Eslava, sigue un trayecto subterráneo relativamente corto y más bien horizontal que vertical profundo, es decir, que los manantiales se hallan á corta distancia y no muy abajo de la superficie de terreno en donde se infiltran las aguas que salen por los referidos manantiales.

Las ideas antes expuestas, están fundadas en los siguientes hechos observados: situación de los manantiales, independencia en el régimen de estos últimos, variabilidad en su gasto é influencia inmediata ejercida sobre este gasto por las lluvias cercanas; y por último, temperatura del agua que sale por los mismos manantiales. Estos hechos de observación serán el objeto de los siguientes párrafos.

Los manantiales, ó sean los orificios de desagüe de los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en la andesita de hornblenda é hyperstena de la zona de que me ocupó, se encuentran en las barrancas ó cortes del terreno que tienen como rumbo medio 45° Norte-Oriente, ó son Norte-Sur. Como ejemplos puedo citar á los principales manantiales que se hallan en la hacienda de Eslava, y que son los siguientes. En las vertientes Norte del cerro llamado Las Regaderas, al Poniente de Monte Alegre y á una altura de 3,400 metros, hay varios manantiales en dos de las cortaduras Norte-Oriente del mismo cerro. En la barranca que baja de Monte Alegre al Sauco, está el manantial de la Escondida á 3,190 metros de altura, situado en las grietas de la andesita. En la barranca de la Leona está el manantial de este nombre, situado también en grietas de la andesita. En la barranca de Atongo hay otros manantiales insignificantes. Al Sur-Poniente de Viborillas, en una barranca también de rumbo Norte-Oriente, hay varios pequeños manantiales á 3,450 metros de altura. En la barranca de la Magdalena, del Campanario para abajo, en donde tiene rumbo medio de 45°

Norte-Oriente, y en barranquillas laterales con rumbos Norte-Oriente ó Norte-Sur, hay varios manantiales en la andesita, como son los siguientes: El Campanario, San Miguel, Casas Viejas, La Cerería, La Mina, Mal Paso, El Rincón, los de Acupileo, Coajomulco, etc. Las barrancas anteriores, al cortar oblicua ó normalmente, á las grietas principales de la andesita, permiten la salida del agua subterránea por los manantiales situados en esas grietas y á distintas alturas. La presencia de los manantiales en esos tramos agrietados de la andesita, indica que el agua circula subterráneamente por esas grietas, y por lo mismo es fundado decir que, los espacios vacíos existentes dentro de estos tramos agrietados, constituyen á los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en la andesita, receptáculos éstos que puede asegurarse son independientes unos de otros, fundándose en los siguientes hechos.

En la vertiente Norte del cerro Las Regaderas, al Poniente de Monte Alegre, hay varios manantiales casi á la misma altura; y sin embargo sólo por tres de éstos sale agua todo el año, y por todos los otros brota agua en tiempo de lluvias, únicamente. Lo mismo se observa en algunos de los grupos de manantiales situados en las grietas de la andesita en el río de la Magdalena. Además, el volumen de agua que sale por los manantiales del cerro Las Regaderas es mucho mayor que el de los manantiales La Leona, La Escondida, El Campanario, etc., y los primeros están mucho más altos que los segundos, pues los de Las Regaderas se hallan á 3,400 metros de altura, el manantial del Campanario á 3,300 metros y el de La Escondida está á 3,190 metros solamente. Como todos los manantiales que acabo de mencionar se hallan en las grietas de la andesita, si éstas estuvieran unidas, el régimen de manantiales muy cercanos sería el mismo, y por los manantiales más bajos saldría mayor cantidad de agua que por los situados á mayor altura; pero como esto no sucede sino que los hechos observados son enteramente contrarios, es fundado asegurar que: las grietas de la andesita no están todas unidas; y por lo mismo, los receptáculos acuíferos subterráneos constituidos por los espacios vacíos contenidos en estas grietas no están unidos, sino que son receptáculos independientes unos de los otros.

El gasto de todos los manantiales situados en la andesita de la zona que estudio, es muy variable, mucho mayor en tiempo de lluvias que en las secas; y por varios de ellos sólo sale agua poco después de las grandes precipitaciones acuosas. Estas diferencias muy notables en el gasto de los manantiales referidos, pude apreciarlas el año 1896, cuando medí el volumen de agua que salía por cada manantial en distintos meses y en diferentes condiciones. Además, en la mayor parte de esos manantiales, tanto en los de la hacienda de Eslava como en los del río de la Magdalena, del Campanario para abajo, se observa un aumento muy notable en su gasto, poco tiempo después de las grandes precipitaciones acuosas cercanas. Todos estos hechos sirven de fundamento á las ideas que indiqué antes, relativas al trayecto subterráneo relativamente corto que siguen las aguas en la zona

de que me ocupo, desde su infiltración en el terreno hasta su salida al exterior por los manantiales. En efecto, la velocidad con la cual circula el agua en el subsuelo, depende principalmente de la presión hidrostática y de la amplitud de los conductos por los cuales tiene lugar esa circulación. Cuando estos conductos son supercapilares, la velocidad es mucho mayor que cuando son capilares ó subcapilares, pues en estos últimos casos es muy notable la resistencia que experimenta el agua en su circulación subterránea, debido á la atracción molecular que tiende á equilibrar á la gravedad. En el caso de que me ocupo, el agua circula por conductos más bien capilares que supercapilares, contenidos en las grietas de la andesita de hornblenda é hyperstena, y por lo mismo no es muy grande la velocidad con la cual puede circular el agua en el interior de esta roca. Sin embargo, se observa, como acabo de indicar, que algunas horas después de una abundante precipitación acuosa cercana, aumenta notablemente el gasto de varios de los manantiales mencionados; luego es fundado asegurar que, es relativamente corto el trayecto que sigue el agua dentro de las grietas de la andesita, desde su infiltración hasta su salida al exterior por los manantiales, es decir, que estos últimos no están muy distantes de la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos que desaguan por los referidos manantiales. Este corto trayecto subterráneo que siguen las aguas por las grietas de la andesita, está comprobado también por la variabilidad del gasto de los manantiales, pues si éste trayecto fuera mucho mayor, sería mayor por lo tanto el espacio que podría llenarse con el agua infiltrada, y esta mayor cantidad de agua contenida en la región activa del receptáculo acuífero subterráneo, compensaría en parte la falta de infiltración en cierta época del año, y tendería á normalizar el gasto de esos manantiales.

Como dije ya, la temperatura del agua que sale por un manantial es un dato muy interesante, cuando se trata de estudiar el trayecto subterráneo seguido por esa agua, desde su infiltración en la superficie del terreno hasta su salida de nuevo al exterior por el referido manantial. He dicho también que cuando la temperatura del agua que sale por un manantial es casi igual á la temperatura media del lugar, puede asegurarse que el trayecto subterráneo seguido por esa agua es más bien horizontal que vertical, es decir, es más bien superficial que profundo. Pues bien, la temperatura media del agua que sale por los manantiales de la hacienda de Eslava es de 10° C. y la temperatura del agua de los manantiales del río de la Magdalena varía entre 10° y 14° C. Es vista de estos datos es fundado asegurar que el trayecto subterráneo seguido por esas aguas es más bien superficial, y no vertical profundo.

El material arcillo-arenoso mezclado con tierra vegetal, que cubre en grandes extensiones á la andesita de hornblenda é hyperstena, de la zona de que me ocupo, es un depósito de mucha importancia para el régimen de los manantiales de esa región. En efecto, siendo ese material bastante poroso permite la infiltración fácil del agua, líquido que se acumula en sus

poros, y de los cuales pasa poco á poco á los espacios vacíos contenidos en las grietas de la andesita mencionada, para volver después al exterior por los manantiales. En los momentos de las abundantes precipitaciones acuosas, ese material poroso se satura de agua, aumenta entonces la presión hidrostática y por consiguiente la velocidad de circulación del agua en el subsuelo, y este líquido pasa en mayor cantidad para los espacios vacíos contenidos en las grietas de la andesita, y sale en mayor cantidad por los manantiales. Así se explica el aumento de gasto de estos orificios de desagüe, poco después de las precipitaciones acuosas cercanas. Más tarde, el nivel del agua va bajando, la presión hidrostática va disminuyendo, es menor entonces la velocidad con la cual el agua circula en su trayecto subterráneo, y por lo tanto va siendo en tiempo de secas cada vez menor el gasto de los manantiales. Algunos de estos se secan durante cierta época del año, lo cual prueba: que es pequeño el receptáculo acuífero subterráneo que desagua por esos manantiales; que representan un volumen relativamente pequeño los espacios vacíos contenidos en las grietas de la andesita; y que es de poco espesor, de poca importancia el revestimiento poroso que cubre á la andesita, en la superficie de terreno donde se infiltran las aguas superficiales. Otros manantiales situados en esta misma roca son permanentes durante todo el año, aunque su gasto es variable, lo cual prueba que el trayecto subterráneo de las aguas es relativamente corto; pero que los receptáculos acuíferos subterráneos que desaguan por ellos, son mucho más voluminosos que en el caso anterior, y que es también de mayor importancia el depósito poroso que cubre á la andesita en la superficie de alimentación de los referidos receptáculos. Se ve por lo anterior la importancia tan grande que tiene en el régimen de las aguas subterráneas el depósito poroso que cubre á la andesita de la región en varios lugares; depósito que al permitir la infiltración abundante de las aguas superficiales y al acumular en sus poros á esta agua, constituyen la parte principal de la región de alimentación de receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en la andesita, y garantizan el régimen permanente de los manantiales. Cuando por erosión desaparece este depósito poroso y queda la andesita á descubierto, desaparece la parte más importante de la región de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos, disminuye considerablemente la cantidad de agua que se infiltra y circula por las grietas de la andesita, y desaparecen los manantiales, ó su gasto es muy pequeño tendiendo á ser más bien de régimen temporal que permanente.

Todo lo anterior, pero en un grado mucho más importante, se aplica á los depósitos de cenizas y arenas volcánicas que cubren á la andesita de hornblenda é hyperstena, sobre todo en los alrededores del Ocotil; y digo en grado mucho más importante, porque este material incoherente es muchísimo más poroso que la arcilla arenosa mezclada con tierra vegetal. Como dije antes, las cenizas y arenas son más porosas y también mucho más permeables que la arcilla arenosa mezclada con tierra vegetal; y esa mucha

mayor permeabilidad en el depósito poroso que cubre á la andesita, en la zona de que me ocupo, ocasiona una variante en la circulación ya indicada de las aguas en el interior de ese depósito poroso, variante que es de mucha importancia, como se verá en seguida.

El agua infiltrada en los depósitos de arena que cubren á la andesita en los alrededores del Ocotál, descende con relativa facilidad por los espacios vacíos que separan á los granos de la arena, y llega á la superficie de contacto entre la andesita y el depósito de arena que la cubre. Desde esta superficie para el interior de la andesita, el descenso del agua es menos fácil, porque no puede verificarse por toda la masa de esta roca, sino únicamente por los espacios vacíos más ó menos capilares contenidos en las zonas agrietadas de la misma roca. Esta circulación localizada, mucho menos activa que la continua que tiene lugar por toda la masa del depósito arenoso, ocasiona que una parte del agua infiltrada no pueda penetrar al interior de la andesita, sino que se detiene, como lo haría sobre un fondo casi impermeable al llegar á la superficie andesítica sobre la cual se apoyan los depósitos arenosos. Una parte del agua infiltrada en estos depósitos pasa á las grietas de la andesita y alimenta á los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en esta roca; y el exceso del agua infiltrada, y que llega hasta la superficie de contacto entre la andesita y la arena se acumula sobre esta superficie, y tiende á salir de nuevo al exterior en las barrancas que cortan á los referidos depósitos de arena. Como se ve, estos depósitos no son únicamente la parte principal de la región de alimentación de receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en la andesita, región que garantiza el régimen permanente de los manantiales, sino que dentro de esos depósitos hay también receptáculos acuíferos subterráneos completos, los cuales desaguan, como indicaré en seguida, por manantiales situados en los mismos depósitos arenosos.

Los espacios comprendidos entre los granos de arena constituyen el receptáculo subterráneo por el cual circula el agua dentro de los montículos ó lechos de cenizas y arenas volcánicas; pero como la amplitud de los espacios mencionados varía con la forma y dimensiones de los granos de ceniza ó arena, la circulación subterránea del agua se verifica de preferencia siguiendo los trayectos más amplios, y así se forman varios sistemas venoso-acuíferos situados dentro de los referidos depósitos de material cinerítico. Los sistemas venosos anteriores, están imperfectamente limitados por los tramos del mismo depósito de arena en los cuales es muy fino el grano de esta última. En esos tramos el agua circula también, pero la velocidad de su circulación en ellos es mucho menor que aquella con la cual descende por los trayectos menos capilares que constituyen á las venas mencionadas, venas que se hallan localizadas en los tramos en que son más gruesos los granos de arena. Según lo anterior, dentro de los montículos y lechos de cenizas y arenas hay dos clases de circulación de agua: una más importante y relativamente fácil, que tiene lugar en conductos irregulares, los cuales

forman sistemas venosos imperfectos; y otra menos importante, mucho menos localizada y mucho más lenta, que se verifica casi por todas partes de los depósitos de ceniza ó arenas. Esta segunda circulación, por ser bastante lenta, es la que garantiza mejor la alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos situados en la andesita que está cubierta con los depósitos de arena, porque siendo entonces relativamente pequeña la cantidad de agua que en la unidad de tiempo llega á la superficie de contacto entre la arena y la andesita, la cantidad total de agua acumulada en los poros de esos tramos en que la arena es de grano fino, puede ser suficiente para garantizar durante las secas la alimentación de los referidos receptáculos. En cambio, la circulación relativamente rápida del agua por los sistemas venosos ya indicados, ocasiona que llegue á la superficie de contacto entre la arena y la andesita un volumen de agua mucho mayor que la cantidad de este líquido que en igual tiempo puede penetrar á la andesita del subsuelo, y ese exceso de agua se detiene en la superficie de contacto mencionada, para descender sobre esta superficie y salir de nuevo al exterior por manantiales situados en las partes bajas del afloramiento de esta superficie de contacto, y por manantiales situados en las barrancas que cortan á los referidos depósitos de arena. El exceso de agua que descendiendo por los sistemas venosos anteriores llega hasta la superficie de contacto de la arena con la andesita, puede seguir como trayectos más fáciles para continuar su descenso, las partes deprimidas de esa superficie de contacto; y también los lechos de arena más permeables que llegan hasta esa superficie. Por estas razones dije antes que, el exceso de agua de que me ocupo sale por manantiales situados en las partes bajas del afloramiento de la superficie de contacto, y por manantiales situados en los lechos de arena más permeables que estén cortados por barrancas.

Se ve por lo anterior que existen dentro de los depósitos cineríticos del río de la Magdalena, del Ocotal para Cieneguillas, receptáculos acuíferos completos. En efecto, la superficie de alimentación de estos receptáculos está constituida por la extensión de terreno ocupada por esos depósitos arenosos; la región de alimentación y la región activa está formada por sistemas venosos acuíferos localizados en las partes relativamente más permeables de los mismos depósitos, y en la superficie de contacto entre la arena y la andesita del subsuelo; y los orificios de desagüe de los referidos receptáculos, son los manantiales situados en las barrancas que cortan á los depósitos de arena, ó que descubren las partes bajas de la superficie de contacto que acabo de mencionar.

Teniendo en cuenta lo anterior se comprende que, si por efecto de una erosión activa fueran transportados lejos esos depósitos de arena que en grandes extensiones cubren á la andesita en el río de la Magdalena, desaparecerían los manantiales por los cuales desaguan en la actualidad los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en esos depósitos de material cinerítico; y además, al desaparecer la parte principal de la región de

alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en la andesita, disminuiría notablemente el gasto de los manantiales situados en las grietas de esa roca, y el régimen de estos manantiales tendería á ser más bien temporal que permanente, pues se secarían por lo general durante algunos meses en el año. Es decir, que esos depósitos de arena que cubren á la andesita por los alrededores del Ocotal y Cieneguillas; y también, aunque en mucha menor escala, los depósitos de arcilla arenosa mezclada con tierra vegetal que se hallan sobre la andesita, en la mayor parte de los cerros de la Magdalena y Eslava, desempeñan el papel de una esponja, permítaseme la comparación. Esta esponja se llena de agua durante la temporada de lluvias, lo cual le permite alimentar con agua en todo tiempo á las grietas de la andesita que cubre, y el exceso de ese líquido sale al exterior por varios orificios situados en la misma esponja. Esta es, por lo tanto, la que normaliza el régimen de los manantiales y garantiza su gasto durante la temporada de secas. Quitando esta esponja desaparecerían los manantiales situados en ella, y disminuiría notablemente el gasto de los manantiales situados en las grietas de la andesita de hornblenda é hypsentina de la zona de que me ocupo.

Aceptada la existencia de receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en el revestimiento arenoso que cubre á la andesita en los alrededores de Cieneguillas y el Ocotal, y teniendo en cuenta los razonamientos ya expuestos en este escrito, se deduce que, en las barrancas que cortan á este depósito arenoso debe haber manantiales, que por estos orificios de desagüe saldrá agua fría con temperatura más ó menos igual á la media local, que el gasto de estos manantiales será mayor que el de los situados en las grietas de la andesita, que las lluvias cercanas ejercerán influencia rápida y notable en el gasto de los referidos manantiales; y por último, que algunos de estos se secarán en cierta época del año, principalmente los que se hallen más lejanos de la superficie de contacto entre la arena y la andesita. Todas estas deducciones están comprobadas por hechos de observación como se verá en seguida.

En todas las barranquillas que con rumbos medios Norte-Sur y Oriente-Poniente cortan al revestimiento arenoso en los alrededores del Ocotal y Cieneguillas, se hallan muchos manantiales entre los que mencionaré como más importantes á los siguientes: los de Coaxoyaque, el Ocotal, los Cuervos, el Arenal, los del Cochinito, los Muñecos, etc. El agua que sale por todos estos manantiales es fría, variando su temperatura entre 10° y 14° C. El gasto de cada uno de estos manantiales es mucho mayor que el de los situados en las grietas de la andesita, como puede verse comparando las láms. VI, fig. 2 y VII, fig. 1 con las VII, fig. 2 y VIII, fig. 1. La lámina VI, fig. 1 es la fotografía de un manantial situado en revestimiento arenoso del cerro Coaxoyaque, al Poniente y arriba del lugar llamado el Campanario. La disposición de los lechos de arena en este lugar puede verse en la lám. IV, fig. 1 que representa el terreno situado á unos diez metros

de distancia del fotografiado en la lám. VI, fig. 2. La lám. VII, fig. 1 representa un manantial situado en el revestimiento arenoso, cerca de Cieneguillitas. Por estos manantiales, así como por los del Ocotál, sale regular cantidad de agua, y en cambio sale muy poca por el manantial del Campanario, situado en las grietas de la andesita y representado por la lámina VII, fig. 2, en la cual y hacia la derecha se ve el hilito de agua que sale de este manantial. De muy poco gasto es también el manantial representado en la lám. VIII, fig. 4, que está situado en las grietas de la andesita en el cerro Zacapatongo. Recorriendo el río de la Magdalena se ve que, la mayor parte del agua que baja por él, sale de los manantiales situados en el revestimiento arenoso de los alrededores de Cieneguillas y el Ocotál, y que son de poco gasto relativamente los manantiales situados en las grietas de la andesita. Además, es muy notable la acción que ejercen sobre el gasto de los manantiales de la región las lluvias caídas en el revestimiento arenoso antes mencionado; y en cierta época del año se secan algunos de los manantiales que están en este revestimiento, pero lejanos de la superficie de contacto entre la arena y la andesita. Entre estos últimos debo citar algunos de los que se hallan por Cieneguillitas, muy arriba del fondo de la barranca por la cual desciende el río de la Magdalena.

Los manantiales que se hallan en las grietas de la andesita son por lo general de gasto muy pequeño, tanto los del río de la Magdalena como los de la hacienda de Eslava. El volumen de agua que sale por cada uno de ellos es en promedio de cinco á diez litros por segundo. Además, casi todos esos manantiales están á la altura en que termina el revestimiento de material arcilloso que cubre á la andesita en varias partes, ó se hallan en ciénagas situadas en este mismo revestimiento y á diferentes alturas. Esta situación de los manantiales se explica fácilmente como se verá en seguida.

Por las razones ya expuestas, el agua infiltrada que circula en la parte superior de los tramos agrietados de la andesita, tiende á salir de nuevo al exterior siguiendo un trayecto subterráneo relativamente corto, y más bien horizontal que vertical profundo. Al llegar esta agua al extremo inferior del trayecto subterráneo que sigue para volver á salir al exterior, puede encontrarse con que en ese lugar la andesita está cubierta por el revestimiento arcillo-arenoso tantas veces mencionado. Entonces dos casos pueden presentarse: ó este revestimiento es suficientemente permeable en ese lugar, ó es casi impermeable por estar constituido por arcilla solamente. En el primer caso, sale el agua de las grietas de la andesita y pasa al depósito arcillo-arenoso, por el cual continúa su circulación subterránea, formando desde luego una ciénaga en la zona de contacto del depósito arcilloso con la parte fracturada de la andesita por donde sale el agua infiltrada. Como ejemplos de este caso puedo citar, entre otros, algunos de los manantiales del cerro Regaderas, los más orientales, y el manantial que está cerca del segundo dinamo en el río de la Magdalena. En el segundo

caso, cuando el revestimiento arcilloso es casi impermeable, ó su permeabilidad no es suficiente para permitir que salga de la andesita toda el agua que en la unidad de tiempo llega por las grietas hasta el contacto de la andesita con el revestimiento arcilloso, entonces, el agua se detiene total ó parcialmente en ese contacto; y este obstáculo ó esta resistencia, hace que el agua suba de nivel en el interior de la zona agrietada de la andesita, y que busque su salida al exterior por un lugar situado á mayor altura. Este movimiento ascendente continuará por los tramos agrietados de la andesita, hasta que el agua encuentre un trayecto que le permita salir al exterior. Este último estará cuando menos á la altura del límite superior del revestimiento arcilloso, y por esto es que muchos de los manantiales de la región están casi á la altura en que termina el revestimiento arcilloso mencionado. El agua que sale á esta altura va deslavando el revestimiento arcilloso; y este trabajo de erosión ocasiona que el agua pueda salir por orificios situados más abajo, es decir, que después de cierto tiempo los manantiales se hallan á menor altura. Como ejemplo de todo lo anterior puedo citar á uno de los manantiales del cerro las Regaderas, el de gasto mayor. En efecto, este manantial, que estaba á la altura en que termina en ese lugar el revestimiento arcilloso de la andesita, fué bajando lentamente, es decir, que el agua brotaba por orificios situados cada vez á menor altura en la zona agrietada de la andesita. Después, en el año de 1896 tracé un socavón situado varios metros abajo del lugar en que se hallaba ese manantial, y con este socavón se alcanzó el trayecto subterráneo ascendente que seguía el agua por el tramo agrietado de la andesita en ese lugar; y desde entonces, el agua brota á la altura del piso del socavón, y sale por éste al exterior una cantidad algo mayor que el volumen que antes salía por el referido manantial.

Según lo que dije antes, las ciénagas mencionadas pueden ser, ó el principio de otra circulación subterránea importante de las aguas, ó simplemente una zona de retención temporal de las aguas que salen de las grietas de la andesita para penetrar en el revestimiento arcilloso que cubre á esta roca. Cuando pasa de la andesita para este revestimiento regular cantidad de agua durante todo el año, esta agua desciende por el interior del depósito arcilloso-arenoso más ó menos permeable, y penetra por otros tramos agrietados de la andesita del subsuelo, tendiendo á salir por manantiales situados en lugares más bajos. En este caso, la ciénaga puede considerarse como el principio del nuevo trayecto subterráneo que sigue el agua, después de haber salido de las grietas de la andesita por orificios subterráneos situados en el contacto de esta roca con el material arcilloso que la cubre. Entonces, si se abren tajos en la ciénaga, el agua saldrá al exterior en su mayor parte, como sucedió al abrir estos tajos en dos de las ciénagas del cerro las Regaderas en la hacienda de Eslava. En cambio, cuando es muy pequeña la cantidad de agua que pasa subterráneamente de las grietas de la andesita para el revestimiento arcillo-arenoso, y que ésta agua sólo pasa

en tiempo de lluvias, entonces, la ciénaga es solamente una zona de retención temporal de las aguas, zona en la que se acumula agua durante las lluvias y que después va desapareciendo de ese lugar por infiltración y por evaporación. Si en una de estas ciénagas se abren tajos, sale el agua allí acumulada; pero después el lugar queda seco y la ciénaga desaparece. Esto sucedió en las pequeñas ciénagas que existían en la barranca de Atongo, abajo de las Peñas de Texcalco, perteneciente á la hacienda de Eslava.

Una parte del agua que sale al exterior por los manantiales ya mencionados de la zona de que me ocupo, se infiltra de nuevo como se verá en seguida.

El agua que brota por los manantiales situados en las vertientes Norte del cerro las Regaderas, baja por Monte Alegre para la meseta de la Campana, y de aquí continúa por la corriente basáltica del Xitle (véase lámina XIII) para la planicie el Gavillero, á donde llega una cantidad insignificante, pues la mayor parte del agua se infiltra al pasar por los basaltos mencionados. Con objeto de aumentar la cantidad de agua que llega al Gavillero se hizo una obra para que las aguas siguieran otro trayecto superficial, sobre todo en tiempo de secas. Por este nuevo trayecto, el agua no pasaba ya sobre el basalto, pero sí en muchos lugares descendía sobre el material arcillo-arenoso mezclado con tierra vegetal que se halla en casi toda esa zona, principalmente en las pequeñas planicies escalonadas que hay entre Eslava y Monte Alegre. En este depósito arcilloso el agua se infiltra también, como pude comprobarlo con multitud de aforos, pero la infiltración es menor que en el basalto esponjoso de las cercanías; y por lo tanto, siguiendo las aguas este nuevo trayecto se consiguí llegara en tiempo de secas al Gavillero un volumen de agua mayor relativamente comparado con el que llegaba antes, pero siempre muy pequeño respecto al que sale por los manantiales del cerro Las Regaderas.

El agua que brota por los manantiales situados en las vertientes Sur del cerro Las Regaderas, y por los manantiales de Viborillas, baja á la meseta de este último nombre en donde se infiltra la mayor parte.

El agua que brota por el manantial de la Escondida baja para la meseta de este nombre, y después para la de Rancho Viejo en donde se infiltra de nuevo la mayor parte.

El agua del manantial La Leona baja para las mesetas de la Máquina y Rancho Viejo, en las cuales se infiltra.

En el río de la Magdalena la mayor parte del agua que sale por los manantiales ha sido aprovechada como fuerza motriz; y por lo tanto, esa agua no desciende ya por el río, sino que baja desde el Ocotal hasta cerca de La Cañada, por canales abiertos en las faldas de los cerros. En este trayecto se infiltra una parte del agua, en los tramos en que los canales están abiertos en los depósitos permeables ya mencionados, como sucede, por ejemplo, en el canal abierto para desviar las aguas del manantial de Coaxoyaque, canal que en parte puede verse en la lámina VI, fig. 2.

La parte Norte-Oriente de la zona de que me ocupo, ó sea el terreno que baja de la hacienda de La Cañada y pueblo San Bartolo, por San Jerónimo y Tepelpa, para Tizapán y San Angel (véase lám. XIII), está constituido, como he dicho, por tobas detríticas cuaternarias que se apoyan sobre brechas volcánicas terciarias, las cuales á su vez están sobre la andesita de hornblenda é hyperstena ya indicada. Toda esta zona es de poca importancia relativa como superficie de alimentación de receptáculos acuíferos subterráneos, porque la toba detrítica de grano fino que se halla en la superficie del terreno en esa región tiene un coeficiente de infiltración muy pequeño. En efecto, siendo capilares ó subcapilares los poros ó espacios vacíos contenidos en esa roca, la velocidad de infiltración del agua es pequeña; además, todo ese terreno tiene una inclinación que varía entre dos y tres por ciento, y está totalmente desprovisto de vegetación, todo lo cual ocasiona que se verifique lo siguiente. Cuando la lluvia es lenta y cae durante poco tiempo, penetra en esa toba muy pequeña cantidad de agua, y ésta no llega á pasar de la zona superficial influenciada por la evaporación; por lo tanto al terminar la lluvia comienza á evaporarse con rapidez el agua infiltrada, pues no hay arboleda que disminuya la velocidad de esta evaporación, velocidad que siendo mayor que la de infiltración del agua en esa roca, hace que toda el agua infiltrada vuelva á la atmósfera y no alimente receptáculos acuíferos subterráneos. Cuando la lluvia es muy abundante y dura poco tiempo, llega á la superficie de la toba detrítica una cantidad de agua mucho mayor de la que puede infiltrarse en esa roca en igual tiempo, y como el terreno está muy inclinado el exceso de agua precipitada descendiendo superficialmente por los arroyos, es decir, que en estas condiciones es también pequeña la cantidad de agua que se infiltra, la cual no pasa de la zona influenciada por la evaporación, y vuelve á la atmósfera como en el caso anterior. Cuando la lluvia es lenta y cae durante mucho tiempo, se infiltra en la toba mayor cantidad de agua que en los dos casos anteriores; pero ni en estas condiciones la infiltración es muy considerable, porque siendo la velocidad de infiltración en la toba mucho menor que la velocidad con la cual descende el agua por la superficie de ese terreno, la mayor parte del agua precipitada descende por los arroyos, y sólo una pequeña cantidad se infiltra y pasa de la zona superficial de evaporación para alimentar receptáculos acuíferos subterráneos. Se comprende por lo anterior, que es muy pequeña la cantidad de agua que se infiltra en esa toba detrítica, comparada con el volumen total del agua que anualmente descende por la superficie de terreno ocupado por el afloramiento de esa roca, es decir, que es muy pequeño el coeficiente de infiltración de la mencionada toba detrítica en las condiciones mencionadas.

Tanto el agua que directamente se infiltra en las tobas anteriores, como el agua que en el subsuelo pase de las grietas de la andesita para las mismas tobas, descende subterráneamente por las lomas antes mencionadas y contribuye á la alimentación de los receptáculos acuíferos subterrá-

neos situados en el subsuelo de la parte Sur de la planicie de México. y de los cuales me ocuparé más adelante.

Antes de concluir esta parte de mi estudio, relativo á la zona del río de la Magdalena y hacienda de Eslava, tengo que indicar algunas cantidades que sirvan para formarse alguna idea acerca del volumen de agua que circula en el subsuelo de esa zona. Debo advertir ante todo, que no hay datos pluviométricos completos de esa región, ni dato alguno permeométrico local; y por lo tanto, no existiendo estos datos de observación, ni tampoco un plano exacto que permitiera conocer la superficie de terreno ocupada por cada uno de los materiales permeables ya mencionados, las cantidades que indicaré en seguida deberán considerarse solamente como aproximaciones rudas, como tentativas hechas para dar alguna idea acerca del volumen de agua subterránea en esa región.

Dos coeficientes de infiltración he indicado ya para los materiales que afloran en la zona de que me ocupo, coeficientes que creo aplicables en las condiciones en que esos materiales se encuentran en la zona mencionada. En efecto, siendo por lo general bastante fuerte la pendiente del terreno en la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos de esa región, y estando ésta desprovista en algunas partes de frondosa arboleda, puede asegurarse lo siguiente. Las lloviznas que caen sobre el material cinerítico y sobre el arcillo-arenoso mezclado con tierra vegetal, no proporcionan agua á la circulación subterránea en esa zona, sino que toda el agua caída lentamente durante poco tiempo vuelve á la atmósfera por evaporación. Las lluvias abundantes pero de poca duración no permiten que se infiltre bastante agua en los tramos arcillo-arenosos, y poca es relativamente la que se infiltra en el material cinerítico, pues en esas condiciones la mayor parte del agua desciende superficialmente por los arroyos. Las lluvias lentas pero que caen durante mucho tiempo son las que proporcionan el agua que alimenta á los receptáculos acuíferos subterráneos de esa región. Teniendo en cuenta todo lo anterior y los resultados de algunos experimentos, creo aproximados los números que indiqué ya, es decir: que del volumen de agua que durante el año recibe la superficie ocupada por las arenas que se hallan en los alrededores del Ocotal, sólo se infiltra el cincuenta por ciento; y que de la cantidad de agua total, recibida por la superficie que ocupa el material arcillo-arenoso mezclado con tierra vegetal, que cubre á la andesita en casi toda la zona de que me ocupo, se infiltra el veinte por ciento solamente.

La superficie de terreno ocupada por el material arenoso de los alrededores del Ocotal y Cieneguillas, es aproximadamente, 16 kilómetros cuadrados, según los croquis topográficos que mencioné ya en este escrito; y la superficie de terreno ocupada por el material arcillo-arenoso mezclado con tierra vegetal, según los mismos croquis, es 64 kilómetros cuadrados. Aceptando estos datos, así como los coeficientes de infiltración anteriores, y teniendo en cuenta que el promedio de la precipitación anual en esa zona es

de 70 centímetros, se obtienen: 12 millones de metros cúbicos de agua infiltrados anualmente en esa superficie de alimentación. Es decir, que los receptáculos acuíferos subterráneos de esta zona pueden proporcionar en promedio aproximado: 380 litros por segundo. La mayor parte de esta cantidad está saliendo al exterior como promedio por todos los manantiales del río de la Magdalena y de la hacienda de Eslava.

Como la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos que acabo de mencionar se halla en los cerros ya indicados, que forman parte de la zona de unión entre las sierras de las Cruces y del Ajusco, y como en esa superficie no existen poblaciones, ni cementerios, ni pozos absorbentes, ni causa alguna que pudiera contaminar á las aguas antes de infiltrarse en el subsuelo, puede asegurarse que: entretanto no varíen estas condiciones en la referida superficie de alimentación, el agua al salir por los manantiales del río de la Magdalena y por los de la hacienda de Eslava, no está contaminada, y por lo mismo no es nociva á la salud.

Más adelante indicaré la manera de aumentar el caudal de agua subterránea en esta zona, y las obras de captación que pueden recomendarse.

ZONA LA MAGDALENA—TLALPAN

En la zona que he llamado La Magdalena—Tlalpan, el subsuelo está constituido por la andesita de hornblenda, roca que aflora tanto al Este como al Oeste, en los contrafuertes ya mencionados que limitan á la referida zona. Sobre la andesita se hallan, en la parte baja de la serranía al Sur de Tlalpan, las brechas terciarias cubiertas por tobas detríticas cuaternarias. En la parte alta de esta zona, sobre la andesita se apoyan directamente los basaltos cuaternarios y recientes, los cuales escurrieron en la parte baja sobre las brechas y las tobas antes mencionadas. Entre los pueblos de San Andrés, Xicalco, La Magdalena y Ajusco, hay un depósito bastante grueso de arenas volcánicas (lám. III, figs. 1 y 2); y al Sur de los afloramientos andesíticos de los cerros Magdalena y Tehuehue, en la planicie del Ajusco, hay otro gran depósito de material cinerítico cubierto en parte por tobas arenosas. Del pueblo del Ajusco para el Sur, sobre la andesita de hornblenda de los cerros del Ajusco y Mezontepec, se encuentran los basaltos de los cerros Pelado y Oyameyo, basaltos que en parte están cubiertos por tobas arenosas.

Como se ve por lo anterior, en varios lugares de esta zona aflora la andesita de hornblenda, roca que como dije ya, constituye el fondo casi impermeable de esta zona, y á los dos contrafuertes también casi impermeables que limitan en el subsuelo á la misma zona por el Este y por el Oeste. Es decir, que en las antiguas vertientes del macizo andesítico del Ajusco existía una cortadura que bajaba de Sur á Norte, entre los cerros Magdalena y Tehuehue para Tlalpan, cortadura por la cual escurrieron después

los basaltos cambiando la fisonomía del terreno. Dentro de este edificio basáltico apoyado sobre la andesita de hornblenda casi impermeable, se hallan los receptáculos acuíferos subterráneos de los cuales me ocupo en seguida.

La superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en la zona La Magdalena-Tlalpan, creo que pueden limitarse aproximadamente como sigue: al Sur, por los afloramientos andesíticos en los cerros del Ajusco y Mezontepec para el cerro Pelado; al Este, del cerro Pelado para los cerros andesíticos Tehuehue y Xochitepec hasta Tepepan; al Norte, por el extremo de la corriente basáltica; y al Poniente, por los afloramientos andesíticos de los cerros Zacatepec, Zacayuca y El Conejo en las faldas orientales del Xitle, hasta los cerros del Ajusco. El terreno comprendido dentro de los límites anteriores descende escalonado de Sur á Norte, siendo el más interesante de estos escalones el que se halla en los alrededores del Ajusco. De los cerros Mezontepec y Pelado, el terreno baja para la planicie del Ajusco, la cual está limitada al Norte por los afloramientos andesíticos en los cerros Magdalena y Tehuehue, y por los basaltos del cerro Olihean; pero entre los cerros Tehuehue y Olihean, y al Poniente del cerro Magdalena, continúa el descenso del terreno para los pueblos Xicalco y la Magdalena, y de estos últimos para los llamados San Andrés, San Pedro y Tlalpan. Por la parte occidental de esta zona el descenso del terreno es más uniforme, del Ajusco por las faldas del Xitle para Peña Pobre y Tlalpan.

Conocidas ya las rocas que afloran en la superficie de alimentación antes limitada, paso á indicar los coeficientes aproximados de infiltración del agua en cada una de esas rocas.

La andesita de hornblenda del Ajusco, por las razones ya mencionadas puede considerarse como una roca casi impermeable, la cual constituye á la muralla divisoria que separa á las aguas subterráneas que hacia el Norte descenden para la cuenca de México, de las que al Sur bajan para Cuernavaca y Jiutepec. Por lo tanto, en los afloramientos de esta roca puede decirse que es casi nula la infiltración del agua.

El afloramiento del basalto en la zona que he llamado La Magdalena-Tlalpan, ocupa una extensión aproximada de 50 kilómetros cuadrados, según los planos topográficos que se hallan en la lám. XIII; pero el basalto no es uniformemente permeable en todo el afloramiento. En efecto, como he dicho ya, en unos lugares este basalto es macizo, muy compacto, y por lo mismo casi impermeable; en otros lugares es esponjoso muy poroso; y en otros, por último, está agrietado en muchas direcciones, lo cual le da un aspecto fragmentario. En los dos últimos casos es bastante considerable la permeabilidad localizada del referido basalto, el agua se infiltra en él por los poros, grietas y cavidades superficiales que contiene, y circula en el interior de esa roca por conductos irregulares y más ó menos supercapilares. La amplitud de estos conductos subterráneos permite que el agua descien-

da con relativa facilidad; y por lo mismo, la infiltración en la superficie del terreno puede ser considerable, no obstante que la permeabilidad de esa roca no es continua sino localizada. Teniendo en cuenta lo anterior se comprende sin dificultad, que tanto las precipitaciones acuosas abundantes y de poca duración, como las menos voluminosas y más duraderas, proporcionan agua á los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en el basalto, agua que en partes desciende por la superficie de la roca, y luego se infiltra al llegar á las partes más porosas ó agrietadas del referido basalto. Sin embargo, recorriendo con detenimiento la superficie de alimentación de la cual me estoy ocupando, se concluye que, lo anterior no se verifica en toda la superficie ocupada por el afloramiento basáltico, sino cuando más en una tercera parte de este afloramiento, pues en todo el resto el basalto es muy compacto, no está agrietado y por lo mismo es casi impermeable. Según esto, de la superficie total de terreno ocupada por las corrientes basálticas en la zona La Magdalena-Tlalpan, sólo unos dieciséis kilómetros cuadrados aproximadamente pueden considerarse como superficie de alimentación de receptáculos acuíferos subterráneos.

En las partes en que el basalto tiene una estructura esponjosa muy porosa, ó se halla surcado por multitud de grietas debidas en su mayor parte á esfuerzos de tensión durante el enfriamiento de la roca, se infiltra aproximadamente en la zona de que me ocupo, el 60 por ciento del volumen de agua precipitada anualmente en los dieciséis kilómetros cuadrados á que hice referencia en el párrafo anterior.

Sobre el basalto, y en una extensión aproximada de quince kilómetros cuadrados, se apoya en la zona de que me ocupo la toba arenosa ya mencionada en párrafos anteriores. La circulación del agua en el interior de esta toba es más activa que en el interior de las tobas detríticas, como dije antes; pero no es tan rápida que permita el aprovechamiento para alimentación de receptáculos acuíferos subterráneos, del agua proporcionada por precipitaciones lentas de poca duración, ni por precipitaciones acuosas muy abundantes, pero también de corta duración. En el primer caso, el agua no se infiltra más abajo de la zona influenciada por la evaporación, y toda esa agua vuelve á la atmósfera; en el segundo caso, la mayor parte del agua desciende en la superficie muy inclinada del terreno, y del agua infiltrada vuelve á la atmósfera toda la cantidad que no pasó de la zona influenciada por la evaporación. Según esto, en la toba arenosa que se apoya sobre las vertientes basálticas muy inclinadas del Ajusco, la infiltración puede decirse que no es mayor de un 25 por ciento del volumen de agua, que durante el año recibe la superficie de terreno ocupada por la referida toba arenosa.

En la planicie del Ajusco se encuentra un depósito grueso de arena volcánica cubierto en algunas partes por toba arenosa. La poca pendiente del terreno en este lugar permite que la infiltración del agua sea allí relativamente mayor que en terrenos arenosos muy inclinados, porque en el primer

caso la velocidad con la cual desciende el agua superficial es mucho menor que en el segundo caso. Por esto, en la planicie del Ajusco se aprovecha en la alimentación de receptáculos acuíferos subterráneos no solamente el agua de las precipitaciones lentas y de mucha duración, sino también la de lluvias muy copiosas aun cuando sean poco duraderas. Estas últimas no se aprovechan en la alimentación de receptáculos acuíferos subterráneos cuando es mucha la pendiente del terreno arenoso, como sucede, por ejemplo, entre los pueblos de la Magdalena y San Andrés. Por lo tanto, el coeficiente de infiltración de los depósitos arenosos que en este último caso es 0.50 aproximadamente, como dije en otro lugar, puede estimarse en 0.70 cuando los mismos depósitos se hallan en esa región en terrenos casi horizontales. La superficie ocupada por el depósito arenoso entre San Andrés, la Magdalena y Ajusco es de cuatro kilómetros cuadrados aproximadamente; y la porción de la planicie del Ajusco, que por las razones que indicaré después, creo que forma parte de la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en la zona que he llamado La Magdalena-Tlalpan, ocupa una extensión aproximada de seis kilómetros cuadrados.

La altura total de lluvia caída en la sierra del Ajusco ha sido fijada como promedio en 70 centímetros anualmente.¹ Este dato me parece muy aceptable, porque creo que en esas serranías llueve mucho más que en la ciudad de México, y aquí la altura anual como promedio en veinte años, de 1877 á 1896, es de 578 milímetros, 6 diezmilímetros,² altura anual que varió en los veinte años indicados entre 33 y 89 centímetros.

Aceptando el dato anterior referente á la altura total de lluvia durante el año, y teniendo en cuenta los coeficientes de infiltración de cada una de las rocas que he mencionado en los párrafos anteriores, y el número de kilómetros cuadrados que ocupa el afloramiento de cada una de esas rocas en la superficie de alimentación ya limitada, se puede conocer aproximadamente la cantidad de agua que anualmente circula en los receptáculos acuíferos subterráneos que se hallan en esta zona. Esta cantidad de agua que paso á indicar debe considerarse como una primera aproximación, que permite solamente formarse alguna idea acerca de la importancia de esa circulación subterránea, pues la falta absoluta de mejores datos permeométricos locales, impide llegar á resultados mucho más cercanos de la verdad.

Como dije antes, en la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos de la zona La Magdalena-Tlalpan, el basalto con coeficiente de infiltración igual á 0.60, aflora en 16 kilómetros cuadrados de extensión; las tobas arenosas, con coeficiente 0.25, afloran en 15 kilómetros cuadrados; los depósitos arenosos de la falda Norte del cerro Magda-

1 M. Marroquín, &c. L. c. pág. 172.

2 Bol. del Observatorio Meteorológico Central de México. Año 1896, pág. 170.

lena, con coeficiente 0.50, ocupan cuatro kilómetros cuadrados; y por último, los depósitos arenosos de la planicie del Ajusco, con coeficiente de infiltración igual á 0.70, ocupan una superficie aproximada de seis kilómetros cuadrados. Con estos datos, y sabiendo que la altura total de lluvia en el año es en promedio 70 centímetros, se obtienen 13.685,000 metros cúbicos de agua, como infiltración anual que alimenta los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en la zona La Magdalena-Tlalpan. Es decir, que el desagüe de estos receptáculos puede dar en promedio 434 litros por segundo. Una gran parte de este volumen de agua sale por los manantiales de Peña Pobre (láms. VIII, fig. 2 á X, fig. 1), por los del lugar llamado Las Fuentes de Tlalpan (láms. X, fig. 2 y XI, fig. 1), por los del Santo Niño (láms. XI, fig. 2 y XII, fig. 1), los del Coxcomate, etc. (lámina XIII); y otra parte de esa agua contribuye á la alimentación de las capas artesianas que hay en el subsuelo de la planicie de México, y de las cuales sube el agua por pozos como los perforados en los alrededores de la Taxqueña (lámina XII, fig. 2). El volumen total de agua infiltrada anualmente en la superficie de alimentación de que me ocupo, varía con la cantidad de lluvia caída durante el año. El promedio de la altura total de agua precipitada por año es 70 centímetros, como dije antes; pero esta altura varía mucho de un año á otro, y de igual manera varía también el gasto total de los manantiales que acabo de mencionar, gasto que es mayor en los años muy lluviosos, y que disminuye notablemente cuando son escasas y poco voluminosas las precipitaciones en la serranía del Ajusco, sobre todo en la superficie de alimentación ya limitada para la zona que he llamado La Magdalena-Tlalpan.

Las aguas infiltradas en el basalto del Ajusco, ya sea directamente, en las partes porosas y agrietadas del afloramiento de esta roca, ó bien por intermedio de los depósitos arenosos ó tobosos que cubren en partes á la misma roca (véase lám. XIII), circula en el interior del basalto por conductos irregulares y más ó menos amplios. Estos conductos se hallan en las zonas agrietadas del basalto, y también dentro de las corrientes basálticas en los lugares por donde se verificó el escurrimiento continuo de la lava fluída, lugares en los cuales han quedado cavidades supercapilares, muchas veces de notable amplitud, como dije en otro lugar. Estos conductos y cavidades no están distribuídos de una manera uniforme en toda la masa basáltica, sino que dentro del edificio constituido por los basaltos se hallan muy diseminadas las cavidades anteriores, trayectos subterráneos éstos por los cuales circula el agua, y que son tan irregulares como difícil es localizarlos desde la superficie del terreno. Por estos conductos irregulares el agua puede descender con relativa rapidez, y aunque la velocidad varia de un lugar á otro, principalmente con la amplitud é inclinación de los referidos conductos, puede tenerse una idea de esa velocidad conociendo los siguientes datos.

En el año de 1906 fui comisionado por el señor Gobernador del Estado

de Morelos, para resolver si la laguna de Hueyapan está unida por conductos subterráneos con los manantiales de los Cuauchiles y de las Fuentes de San Gaspar. Tanto la una como los otros se encuentran en corrientes basálticas al Sur de la sierra del Ajusco, y á poca distancia al Sureste de la ciudad de Cuernavaca. Para resolver la cuestión anterior y demostrar experimentalmente que existe conexión subterránea entre la laguna y los manantiales antes mencionados, hice uso de la fluoresceína. De esta manera no sólo demostré á los interesados la existencia de la conexión subterránea anterior, sino que pude determinar con exactitud la velocidad de la circulación del agua por los conductos subterráneos situados dentro de las corrientes basálticas de esa localidad. Esta velocidad fué en promedio de 5.75 metros por minuto, habiendo variado entre 5.55 y 5.95 metros por minuto.¹

La velocidad de descenso del agua por los poros más ó menos capilares de las tobas arenosas en la serranía del Ajusco, y por los espacios vacíos existentes entre los granos de arena más ó menos fina que se halla en depósitos gruesos tanto en la planicie del Ajusco como en las faldas del cerro Magdalena, es mucho más pequeña que la indicada en el párrafo precedente. Esta menor velocidad de infiltración del agua en las tobas y arenas regulariza en parte la circulación del agua en el interior de los materiales mencionados, y tiende á garantizar el régimen permanente de los manantiales. En efecto, el agua que se infiltra en la superficie de terreno ocupada por las tobas y depósitos arenosos, desciende con más ó menos lentitud por los poros de estos materiales, hasta llegar al basalto sobre el cual se apoyan las tobas y las arenas. En seguida, el agua circula por la superficie de contacto entre éstas últimas y el basalto, hasta encontrar en esta roca grietas ó cavidades por las cuales desciende con mayor velocidad, como dije antes. Es decir, que si no existiera sobre el basalto el depósito arenoso ó toboso á que me refiero, el agua infiltrada directamente en las grietas ó cavidades del basalto descendería con mucha velocidad, sería poco relativamente el tiempo que el agua emplearía desde su infiltración en el terreno hasta su salida al exterior por los manantiales; y por lo mismo, el gasto de estos últimos sería muy variable y su régimen tendería á ser más bien temporal que permanente. En cambio, la lentitud con la cual desciende el agua por los depósitos arenosos y tobosos mencionados, garantiza una alimentación más uniforme á los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos dentro de las corrientes basálticas. Según esto, la desaparición de esos depósitos céntricos que sirven en parte de revestimiento á las corrientes basálticas en la zona de que me ocupo, no solamente ocasionaría una disminución notable en la alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos, sino que esta alimentación sería muy irregular, nula

¹ Juan D. Villarelo. Hidrología subterránea de las cercanías de Jiutepec (E. de Morelos). *Memorias de la Sociedad Azteca*. Tomo XXIV, págs. 169 y 170.

en tiempo de secas y durante estos meses sería muy pequeña la cantidad de agua que saldría por los manantiales de los alrededores de Tlalpan.

El agua que se infiltra en las faldas orientales de los cerros de Mezontepec, Pelado y del Oyameyo, desciende por las tobas y basaltos, cuando más, hasta llegar á las antiguas vertientes andesíticas de la serranía del Ajusco; y sobre este fondo inclinado casi impermeable baja para el subsuelo de la planicie del Ajusco, en donde se reúne con el agua directamente infiltrada en esta planicie. Continuando el agua su descenso subterráneo hacia el Norte, encuentra en el límite de la planicie anterior, un obstáculo formado por los cerros andesíticos casi impermeables de la Magdalena y Tehuehue, y por el cerro basáltico Olihcan situado entre los dos anteriores. Ese cerro basáltico ocasionó el cambio de fisonomía del terreno en aquel lugar, pues la cortadura que antes existía entre los cerros Magdalena y Tehuehue desapareció al ser rellenada por los basaltos que escurrieron hacia el Norte. Cerrada la cortadura anterior quedó hacia el Sur una depresión que se llenó después con materiales cineríticos, formándose entonces la planicie del Ajusco. Como se ve, el borde de esta planicie hacia el Norte está constituido por dos cerros andesíticos casi impermeables, rodeados y separados entre sí por basaltos que descienden en corrientes hacia el Norte, apoyados sobre la andesita de las antiguas vertientes de esa serranía. Estos basaltos que separan á los cerros Magdalena y Tehuehue no son impermeables, sino que por el contrario están agrietados, y permiten por lo mismo que el agua infiltrada directamente en la planicie del Ajusco, ó la que llega al subsuelo de esta planicie bajando subterráneamente por las faldas orientales de los cerros Mezontepec, Pelado y del Oyameyo, continúe descendiendo hacia el Norte por los conductos irregulares contenidos en las corrientes de basalto, ó por las cercanías del contacto entre esta roca y la andesita que constituye su apoyo. Lo anterior sirve de fundamento á la opinión que expresé ya, diciendo que: una parte de la planicie del Ajusco debe comprenderse dentro de la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en la zona La Magdalena-Tlalpan. En efecto, no siendo impermeable el borde que limita por el Norte á la planicie del Ajusco, el agua contenida en el subsuelo de esta misma planicie no es una agua estancada, sino que puede descender por el interior de los basaltos hacia el Norte, para San Andrés y Tlalpan, y también hacia el Norte-Oriente, por los cerros de Topilejo para Xochimilco; y por lo tanto, la parte de la planicie del Ajusco situada al Sur-Poniente del cerro Tehuehue, puede considerarse comprendida en la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos, que en parte desaguan por los manantiales de los alrededores de Tlalpan.

El depósito arenoso de la planicie del Ajusco sirve de regulador á la alimentación de las grietas y cavidades del basalto del subsuelo, y por lo mismo garantiza el régimen permanente de los manantiales de los alrededores de Tlalpan. En efecto, el agua infiltrada en esta planicie se reúne

en el subsuelo con la que desciende subterráneamente en las faldas de los cerros de Mezontepec, Pelado y Oyameyo, y no puede salir al exterior sino al Norte ó Norte-Oriente, que son los rumbos hacia los cuales desciende el terreno. Al continuar su descenso subterráneo con estas direcciones el agua encuentra al basalto en el cerro Oliheau por el Norte, y en los de Topilejo por el Norte-Oriente, y como el basalto no es una roca de permeabilidad continua sino localizada en las grietas ó cavidades que contiene, el agua que pasa en la unidad de tiempo del depósito arenoso para el basalto es solamente la cantidad que en igual tiempo puede circular descendiendo por las grietas ó cavidades irregulares del basalto. En tiempo de lluvias se infiltra en el depósito arenoso de la planicie del Ajusco, mayor cantidad de agua de la que puede descender por los trayectos subterráneos irregulares contenidos en el basalto del subsuelo, y como ese exceso de agua no puede salir al exterior sin pasar por los referidos basaltos, se detiene, se acumula en las cercanías del contacto entre la arena y el basalto. Esa agua allí detenida, no pudiendo volver á la atmósfera por estar ya muy abajo de la zona en la cual puede evaporarse, sirve para regularizar en tiempo de secas la alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en el basalto, y para garantizar el régimen permanente de los orificios de desagüe de estos receptáculos, ó sea de los manantiales antes mencionados. Según esto, todo lo que tienda á disminuir la evaporación en la planicie del Ajusco, y á aumentar el tiempo que permanecen las aguas corrientes superficiales en la misma planicie, mejorará la alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos, y aumentará el gasto de los manantiales en la zona de que me ocupo.

De acuerdo con todo lo anterior puede decirse que: los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en la zona de La Magdalena-Tlalpan, están constituidos por los poros ó espacios vacíos contenidos en las arenas y tobas arenosas, y por las grietas y cavidades que existen en los basaltos de la región. El agua circula en los depósitos de arena y toba arenosa, formando sistemas venosos acuíferos como los descritos ya en otra parte de este escrito, y pasa en seguida á los basaltos en los cuales circula por trayectos muy irregulares, grietas, venas y grandes cavidades contenidas todas en las corrientes basálticas de la región.

El agua continúa su movimiento subterráneo descendente por las grietas y cavidades del basalto en la zona de que me ocupo, y una parte de esta agua sale de nuevo al exterior por manantiales situados en el mismo basalto, en el borde ó extremidad de la corriente de esta roca, como sucede en Peña Pobre (véanse láms. VIII, fig. 2 á X, fig. 1). Otra parte del agua pasa de las grietas del basalto á las brechas y tobas detríticas que le sirven de apoyo en la parte baja de la serranía, como dije antes, y sale al exterior por manantiales situados en las tobas detríticas como sucede en las Fuentes de Tlalpan (láms. X, fig. 2 y XI, fig. 1), y en el Santo Niño (láms. XI, fig. 2 y XII, fig. 1). Por último, otra parte del agua en su circulación subterránea

pasa de las grietas ó cavidades del basalto para las brechas y tobas detríticas anteriores, y de éstas para los depósitos permeables que se hallan en el relleno de la cuenca, contribuyendo así á la alimentación de las capas acuíferas que existen en el subsuelo de la planicie de México, y de las cuales me ocuparé más adelante.

Al pasar las aguas subterráneas del basalto para las brechas y tobas detríticas, la velocidad de circulación disminuye notablemente, pues como dije en otro lugar, la permeabilidad continua de las brechas y tobas es mucho menor que la permeabilidad localizada del basalto de esta zona. Esa disminución de velocidad impide que en la unidad de tiempo pase á las brechas y tobas mencionadas toda el agua, que en igual período de tiempo, llega subterráneamente al contacto de los basaltos con las brechas y tobas subyacentes; y por lo tanto, ese exceso de agua se acumula en las grietas y cavidades del basalto. Esta agua, que llena en parte á los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en el basalto, sirve de reserva para regularizar la circulación subterránea en las tobas, y para evitar durante el año los cambios muy notables en el gasto de los manantiales situados en las mismas tobas.

La circulación del agua en el interior de las brechas y tobas no es igualmente activa en toda la masa de estas rocas, no obstante que su permeabilidad es continua, sino que el agua circula de preferencia y con mayor velocidad por determinados trayectos irregulares, localizados en los tramos de roca en donde los poros son más amplios, ó existen algunas grietas. Así, dentro de las brechas y tobas el agua circula por sistemas venosos imperfectos, separados unos de otros y diseminados por distintas partes de las rocas mencionadas.

Como comprobación de las ideas expuestas en los párrafos anteriores, puedo citar los siguientes hechos de observación. Los manantiales de Peña Pobre, que se hallan en el basalto (véanse láms. VIII, fig. 2 á X, fig. 1), son de gasto muy variable durante el año, gasto que aumenta notablemente poco después de las lluvias abundantes. En cambio, los manantiales de las Fuentes de Tlalpan, que están en las tobas (véanse láms. X, fig. 2 y XI, fig. 1), son de gasto mucho menos variable que los de Peña Pobre, no obstante estar más altos que estos últimos, y las lluvias no ejercen influencia inmediata en el gasto de los manantiales de las Fuentes. Según esto, el tiempo que el agua emplea desde la infiltración en la superficie del terreno hasta su salida al exterior por manantiales situados en los basaltos, es mucho menor que el tiempo que transcurre desde la infiltración del agua hasta su salida por manantiales situados en las tobas, diferencias debidas sin duda á la desigual velocidad con la cual circula el agua en el interior de los basaltos y tobas. Por otra parte, no es igual el régimen de los manantiales de las Fuentes de Tlalpan, de los del Santo Niño, y de los de Coxcomate, aunque todos ellos están en las tobas; y son de gasto muchísimo mayor los de las Fuentes que los otros, no obstante que los primeros están más altos que

los segundos. Todo esto comprueba que el agua circula en las tobas por trayectos independientes unos de los otros, aunque todos sean más ó menos superficiales, como lo indica la temperatura del agua que sale por todos estos manantiales, temperatura que es de 14° C.

El agua que se infiltra en los basaltos esponjosos y agrietados de las faldas del cerro del Xitle que descienden hacia el Norte, faldas comprendidas entre la hacienda de Eslava y los afloramientos andesíticos de los cerros Zacayuca y Zacatepec, desciende por las corrientes basálticas, pasa á las tobas detríticas subyacentes, y de éstas á las capas permeables que se hallan en el relleno de la cuenca de México. Es decir, que esas agnas contribuyen á la alimentación de las capas acuíferas que existen en el subsuelo de la planicie de México.

Dentro de la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos de la zona La Magdalena-Tlalpan, se encuentran los pueblos del Ajusco, La Magdalena, Xicalco y San Andrés (véase lám. XIII), lo cual me obliga á hacer algunas consideraciones encaminadas á resolver: si la presencia de estos pueblos en la superficie de alimentación mencionada, podrá ocasionar alguna vez que el agua salga contaminada por los manantiales que se hallan en los alrededores de Tlalpan. Me ocupo de esta cuestión de salubridad porque soy de opinión, como lo he dicho en otras ocasiones,¹ que los análisis químico y microbiológico no son suficientes para resolver estas cuestiones, sino que es indispensable el estudio geológico de la región; pues no puede utilizarse una agua como potable aunque resulte muy pura según los análisis referidos, si ella está sujeta á causas de contaminación, y de nada sirve que sea buena hoy si puede ser mala mañana.

Antes se creía que toda agua por sólo el hecho de provenir directamente de un manantial era excelente, como si los manantiales fueran, dice Stainier,² aparatos misteriosos que la purificaran; pero por desgracia esto no es exacto, sino que los manantiales son únicamente los orificios de desagüe de los receptáculos acuíferos subterráneos; y por lo mismo, sólo que sean excelentes las aguas que circulan en estos receptáculos lo serán también las que salen por los manantiales, y en caso contrario, como sucede muchas veces, constante ó periódicamente las aguas de algunos manantiales están contaminadas y son detestables.

En el presente caso, la posición del pueblo del Ajusco no es desfavorable, pues aun cuando se contaminara el agua al infiltrarse en los alrededores de este pueblo, esa agua sufriría una autodepuración al descender por el depósito muy grueso de arena que existe en el subsuelo de la planicie del Ajusco, y cuando esa agua pasara al basalto estaría completamente purifi-

1 Juan D. Villarello. Hidrología subterránea de los alrededores de Querétaro. *Parergones del Instituto Geológico de México*. Tomo I, núm. 6, pág. 274.

2 Xavier Stainier. *Bull. Soc. Belg. Géol. Paleón. et d'Hydrolog.* Tomo VII, 1893. Prosc. ver. página 150.

cada. Los otros pueblos mencionados no están en las mismas condiciones que el del Ajusco, porque si se contamina el agua al infiltrarse en el basalto de las cercanías de esos pueblos no se depura esa agua al circular por las grietas y cavidades del basalto, no sufre allí ninguna filtración, y saldrá contaminada por los manantiales, sobre todo por los que se hallan en esas corrientes basálticas. En vista de esto, y para evitar contaminaciones de las aguas subterráneas que circulan en la zona que he llamado La Magdalena-Tlalpan, la Autoridad competente debería proteger á la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos, dictando las medidas adecuadas, prohibiendo hacer dentro de ellas sondeos, pozos y en general excavaciones cuya profundidad exceda de dos metros, y evitando sobre todo la ubicación de cementerios en esa superficie de alimentación. Sí, la ubicación de los cementerios es problema de resolución muy delicada, porque el agua que se infiltra en ellos puede arrastrar á los gérmenes morbosos por las grietas del terreno y llevarlos á largas distancias, contaminando así el agua de los receptáculos acuíferos subterráneos, y, por lo tanto, el agua de los manantiales que son los orificios de desagüe de estos receptáculos. En muchos casos se ha comprobado hasta la evidencia, que algunas de las epidemias desarrolladas en las poblaciones que emplean el agua de manantiales, como potable, son debidas á la contaminación de esta agua en la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos que desagan por esos manantiales.

En el caso de que me ocupo, con medidas preventivas severas y adecuadas, y con mucha vigilancia en la superficie de alimentación ya limitada, se evitará la contaminación de las aguas al infiltrarse en los basaltos, y se conseguirá así que siempre sean puras las aguas que salen por los manantiales de la zona La Magdalena-Tlalpan.

ZONA CUAUTZIN-TEUHCTLI-XOCHIMILCO

La zona que he llamado Cuautzín-Teuhctli-Xochimilco, está limitada al Poniente por los afloramientos andesíticos de los cerros Tehuehue y Xochitepec, y se prolonga hacia el Este para el cono volcánico llamado el Tenhetli. El subsuelo de toda esta región está constituido por corrientes basálticas apoyadas sobre las antiguas vertientes andesíticas de la serranía del Ajusco. Sobre los basaltos se encuentran arenas volcánicas en montículos, entre Topilejo y San Mateo Xalpa, y en lechos delgados en las planicies del Ajusco y Tulumiaquí. Sobre las arenas y también directamente sobre el basalto se encuentran tobas arenosas en las faldas del cerro Cuautzín. Dentro de la zona comprendida entre los pueblos San Lorenzo, San Andrés, San Salvador, San Pablo, San Pedro y Santa Cruz, en los lugares de poca pendiente se halla sobre el basalto material arcilloso mezclado con tierra vegetal.

La superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en esta zona creo que puede limitarse aproximadamente como sigue: al Norte, por la extremidad de la corriente basáltica; al Este, de las faldas orientales del Teuchtli para el cerro Tlamolo; al Sur, por la cresta de la serranía del Ajusco; y al Poniente por los afloramientos andesíticos de Xochitepec y Tehuehue para el Oyameyo. Los coeficientes de infiltración de las rocas que afloran en la anterior superficie de terreno los indiqué ya como aproximados, en algunos de los párrafos anteriores; y por lo tanto, puede calcularse ya la cantidad de agua que anualmente se infiltra en la superficie de alimentación anterior, cantidad que como todas las semejantes, indicadas en este escrito, sólo puede considerarse como una primera aproximación, porque la falta de mejores datos permeométricos locales no permite llegar á resultados más cercanos de la verdad.

Los datos relativos á extensiones ocupadas por cada uno de los materiales que afloran en esta zona son los siguientes. Arenas en montículos en las faldas de los cerros de Topilejo, con coeficiente de infiltración 0.50, dos kilómetros cuadrados. Arenas en lechos delgados en una parte de la planicie del Ajusco, de los cerros Tehuehue y Topilejo al Sur para el Guarda, en la planicie de Tulmiaqui, etc., con coeficiente 0.70, dieciséis kilómetros cuadrados. Tobas arenosas y material arcilloso mezclado con tierra vegetal, en la falda Norte del cerro Cuatzín por los pueblos San Lucas, San Francisco, San Pablo, San Pedro y Santa Cruz (lám. XIII), con coeficiente 0.25, veinticinco kilómetros cuadrados. Basaltos esponjosos, porosos ó agrietados, con coeficiente 0.60, cuando más cincuenta kilómetros cuadrados del total afloramiento basáltico en esta zona, pues todo lo demás es basalto compacto casi impermeable. Con los datos anteriores, y aceptando por las razones ya indicadas, que setenta centímetros sea el promedio de la altura total de la lluvia en un año, se obtiene para la infiltración anual en esta zona la cantidad aproximada de: 33.915,000 metros cúbicos de agua. Es decir, que los receptáculos acuíferos subterráneos de la zona Cuatzín—Teuchtli—Xochimilco pueden proporcionar como promedio anual, un volumen de agua de 1,090 litros por segundo, aproximadamente. Una parte de esta cantidad de agua sale por los manantiales de Tepepan, La Noria, Quetzalapa, Nativitas, San Jerónimo, Santa Cruz, San Luis, etc., y otra porción constituye el contingente principal que reciben las capas acuíferas que hay en el subsuelo de la parte Sur de la planicie de México. En años muy lluviosos la infiltración anual será mayor que la indicada antes, y será menor en años escasos de precipitaciones acuosas.

La circulación del agua en el interior de las tobas, arenas y basaltos de esta región, la expliqué ya en detalle en párrafos anteriores; y por lo mismo, es inútil hacer repeticiones. Solamente diré: que en las arenas de Tulmiaqui se verifica la circulación del agua en condiciones muy semejantes á las que indiqué antes, al ocuparme de las arenas de los alrededores del Ocotál, en el río de la Magdalena; y que en Tulmiaqui como en el Ocotál, y

por idénticas razones, hay manantiales en las barranquillas que cortan al material arenoso, manantiales que son de gasto variable, y algunos de los cuales se secan durante varios meses del año.

El afloramiento basáltico bastante extenso situado al Sur de las zonas que he llamado La Magdalena-Tlalpan, y Cuautzín-Teuchtlí-Xochimilco, es decir, las vertientes basálticas de la serranía del Ajusco que bajan al Sur para Cuernavaca, constituyen la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos que desaguan por los manantiales de los alrededores de Cuernavaca y Jiutepec, receptáculos esos que están separados de los que he mencionado en los párrafos anteriores, por el núcleo andesítico casi impermeable del Ajusco. Este núcleo desempeña un papel semejante al de la sierra andesítica llamada Zinziro, situada en las cercanías de Pátzcuaro, del Estado de Michoacán, sierra que separa á los receptáculos acuíferos subterráneos que desaguan por los manantiales de Zacapú y el río Duero, de los que desaguan por la vertiente opuesta de la misma sierra hacia Pátzcuaro. Esta sierra andesítica impide la conexión entre el lago de Pátzcuaro y los manantiales de Zacapú y el río Duero, falta de conexión que pude comprobar en 1907 por medio del análisis químico de las aguas del lago y de los manantiales.¹

En la zona Cuautzín-Teuchtlí-Xochimilco el agua circula en el interior de los basaltos por trayectos irregulares, difíciles de localizar desde la superficie del terreno. De estos conductos por lo general supercapilares y más ó menos independientes unos de otros, como he dicho ya, el agua penetra en las brechas y tobas sobre las que escurrieron las corrientes basálticas en la parte baja de la serranía del Ajusco, y de estas tobas pasa una parte del agua subterránea á las capas más permeables que se hallan en el relleno de la cuenca de México. Estas capas permeables, constituyen, como diré después, una zona de retención en donde el agua se acumula, y de donde sale una parte al exterior por algunos manantiales situados en el centro de la planicie de México, ó por varios pozos brotantes. El agua así acumulada regulariza el gasto de esos manantiales y pozos, y la diferencia entre la cantidad de este líquido que anualmente reciben las capas acuíferas mencionadas, y la que sale de estas capas al exterior, forma en ellas una reserva para los años secos. Según esto, en los meses de lluvias, que en la serranía del Ajusco son de Junio á Octubre, y principalmente Agosto y Septiembre, la cantidad de agua que pasa subterráneamente de los basaltos y tobas para las capas acuíferas de la planicie de México, es superior á la que sale de éstas en igual período de tiempo por los manantiales y pozos que acabo de mencionar. Ese exceso de agua llena los espacios vacíos existentes entonces en las capas acuíferas, y cuando estos receptáculos subterráneos de la planicie de México se encuentran ya completamente lle-

¹ Juan D. Villarello. Hidrología subterránea de los alrededores de Pátzcuaro, E. de Michoacán. *Parergones del Instituto Geológico de México*. Tomo II, núm. 6, págs. 358 á 362.

nos, el agua que desciende por los basaltos y tobas se acumula y sale en la zona de contacto entre estas rocas y las capas que constituyen el relleno del fondo de la cuenca, ocasionando la formación de ciénagas en esa zona de contacto. Esto explica la existencia del terreno cenagoso que hay al pie de la serranía del Ajusco, entre Xochimilco y San Luis.

La zona de contacto á que me he referido en los párrafos anteriores, se encuentra al pie de la serranía del Ajusco, de Tepepan por Nativitas, para Santa Cruz, San Luis, Tetelco y Tezompa. En esta zona se hallan, de Poniente á Oriente los siguientes grupos de manantiales: Tepepan, La Noria, Quetzalapa, Nativitas, Toxomulco, Santa Cruz, San Gregorio, San Luis, Tuyahualco, Iztapayoca y los de Mixquit, entre los pueblos de Tetelco y Tezompa (véase lám. XIII). Además de éstos se hallan otros varios manantiales en el lago de Xochimilco.

Esa zona de contacto situada al pie de la serranía del Ajusco es sumamente interesante y desempeña funciones de gran importancia. En efecto, estando constituido el subsuelo en esa zona por tobas, arenas y aluviones, es una esponja que recibe el agua subterránea que baja de la serranía del Ajusco por conductos más ó menos localizados, y la disemina en una gran extensión de terreno. De esta esponja, una parte del agua pasa como he dicho, para los estratos acuíferos intercalados en las capas arcillo-margosas del fondo de la cuenca; y otra parte del agua brota en varios lugares de la misma esponja, por cavidades en forma de embudo llamadas "ojos," como son la mayor parte de los manantiales mencionados en el párrafo anterior. Además, esta esponja constituye una reserva de agua que regulariza el gasto de los manantiales situados en ella, y por los cuales sale en años escasos de lluvias parte del agua acumulada en la misma esponja. Por otra parte, el gasto de los mismos manantiales no aumenta inmediatamente después de las precipitaciones acusadas en las faldas mencionadas del Ajusco, porque el agua subterránea que baja de estas últimas primero satura á la esponja á que me refero, y á los estratos acuíferos del fondo de la cuenca, y luego hace aumentar el gasto normal de los manantiales situados en la misma esponja. Todo lo anterior está de acuerdo con los hechos observados, pues los manantiales que se hallan al pie de la sierra del Ajusco son de gasto poco variable, y que no aumenta inmediatamente después de las grandes precipitaciones acusadas.

Se comprende por lo anterior, que de esa esponja, de esa zona de acumulación que constituye una reserva de agua, puede extraerse gran cantidad de este líquido bombeándola por diversos pozos situados en la misma esponja; pero debe tenerse en cuenta, que al agotarse esa reserva sólo podrá extraerse después, la cantidad de agua que constituye la alimentación anual de la misma esponja.

En la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos de la zona que he llamado Cuantzín-Teuchtli-Xochimilco, se encuentran varios pueblos sobre las corrientes basálticas de esa serranía.

(Véase lám. XIII.) Como el agua en su circulación subterránea por las grietas y cavidades del basalto no sufre ninguna autodepuración, si el agua se contaminara al infiltrarse en la superficie de alimentación ya limitada en las faldas de la serranía del Ajusco, saldría contaminada por los manantiales situados al pie de esa serranía, y llegaría contaminada también a la zona en la cual se va a hacer la captación de esas aguas, bombeándolas por pozos situados en la esponja a que me he referido en los párrafos anteriores. Estas aguas son las que se enviarán a la ciudad de México, destinándolas para el abastecimiento de agua potable en esta población; por lo tanto, creo que no debe economizarse medio alguno que tenga por objeto evitar la contaminación de esas aguas, sobre todo al infiltrarse en la superficie de alimentación mencionada, para lo cual deberá protegerse esta superficie aún más de lo que indiqué al hablar de la zona anterior, que designé con el nombre La Magdalena-Tlalpan.

Cuando se extrae por medio de bombas poderosas gran cantidad de agua del subsuelo, se forma alrededor del pozo por donde se hace la succión una zona débil, una zona de poca resistencia, hacia la cual acude el agua subterránea de una extensión de terreno bastante grande situada también alrededor del pozo mencionado. Esto tendrá que suceder en la región de que me ocupo, al bombear el agua por los pozos situados en esa esponja tantas veces mencionada; y al formarse esas zonas de menor resistencia, el agua infiltrada en un gran perímetro alrededor de cada pozo acudirá a cada uno de éstos, y de ellos será enviada para la ciudad de México. Por lo tanto, deben establecerse también amplios perímetros de protección alrededor de cada uno de los pozos por los cuales se hará la succión del agua, con objeto de impedir que esta agua se contamine casi al salir al exterior. En efecto, vigilando convenientemente la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos situados en las faldas basálticas de la serranía del Ajusco, se evitará que el agua se contamine al infiltrarse en la superficie del terreno; y esa agua llegará pura hasta la zona de contacto entre las rocas basálticas de la serranía y las sedimentarias lacustres que forman el relleno del fondo de la cuenca, es decir, llegará pura hasta la esponja que se halla al pie de la serranía del Ajusco, de Tepepan por Xochimilco para San Luis, etc. Pero si no se ejerce la misma vigilancia en la superficie de esta esponja, sobre todo dentro de un perímetro bastante amplio alrededor de cada pozo, el agua al infiltrarse en esta superficie de terreno podría contaminarse, y atraída esta agua por las bombas hacia los pozos donde se hace la succión, estas aguas contaminarían a las que llegaran al mismo pozo bajando subterráneamente por las faldas de la serranía del Ajusco. Según esto, aunque la vigilancia en la serranía del Ajusco fuera excelente, y aunque las aguas llegaran puras hasta las cercanías de los pozos por los cuales saldrán al exterior, descuidando la vigilancia en los alrededores de los pozos mencionados, esas aguas podrán contaminarse casi al salir al exterior.

Relativamente á poca distancia hacia el Este del lugar llamado La Noria, en donde se han instalado bombas poderosas para extraer entre 200 y 300 litros de agua por segundo, se encuentran los cerritos de Xilotepec (véase lám. XIII). Al pie de estos cerritos hacia el Norte, está un cementerio que creo deberá clausurarse, así como deberá impedirse en todo tiempo la ubicación de cementerios en toda esa zona situada al pie de la serranía del Ajusco, entre Tepepan y San Luis. Los fundamentos de todo esto se hallan en los párrafos anteriores; pero repito que por tratarse de las aguas potables con que se proveerá á la ciudad de México, hay que ser nimios al tratar de evitar toda causa de contaminación de las referidas aguas, por remota que pudiera parecer cualquiera de esas causas.

CUENCA DE MÉXICO

Para completar el estudio hidrológico de la región que motiva este escrito, debo decir algunas palabras acerca de la circulación subterránea de las aguas en el fondo de la cuenca de México, especialmente en la zona del Sur.

Como dije en otro lugar, la mayor parte del fondo macizo de la cuenca mencionada está constituido por andesitas, rocas que afloran en la planicie de México formando varios cerros aislados.

Este fondo macizo es accidentado, y en varios lugares se levantan picachos de los cuales algunos no llegan hasta la superficie de la planicie, pero que han sido alcanzados por la sonda, como dije antes. La andesita constituye el fondo casi impermeable sobre el cual se apoyan los sedimentos lacustres, constituídos por arcillas, margas, arcillas margosas y margas arcillosas, intercaladas de diferentes maneras. Entre las capas anteriores se hallan también tobas detríticas, arcillosas y arenosas, aluviones constituídos por matatenas de andesita de hyperstena principalmente, y lentes y capas de arena suelta de grano grueso ó fino. En el centro de la planicie el relleno es muy grueso, espesor que va disminuyendo al acercarse al pie del lomerío por el Poniente y Sur de la cuenca de México. Al pie de este lomerío el espesor de las tobas detríticas es considerable, y estas tobas se extienden para el centro de la planicie, siendo cada vez más y más arcillosas, pues se depositaban allí junto con los lodos del antiguo lago. Estas tobas arcillosas y también arenosas, se encuentran intercaladas en las arcillas y margas del relleno de la cuenca. Todas las capas anteriores están en el centro de la planicie casi horizontales, y al pie de las serranías se hallan por lo general ligeramente inclinadas hacia el centro de la cuenca.

Se ve por lo anterior, que en el relleno del fondo de la cuenca hay capas casi impermeables, las arcillo-margosas; capas poco permeables, las de arcilla arenosa y de tobas; y capas muy permeables, las de arena de grano grueso y las de aluvión. Según esto, los receptáculos acuíferos subterrá-

neos contenidos en el subsuelo de la planicie de México, están constituidos principalmente por los espacios vacíos comprendidos entre los granos de arena y entre las matatenas andesíticas, en las capas de arena y aluvión. Por este motivo designaré con los nombres de capas ó estratos acuíferos, á esos receptáculos subterráneos de la planicie de México. En estas capas ó estratos acuíferos de la planicie anterior, el agua se encuentra libre ó bajo presión hidrostática según es la permeabilidad de las capas que cubren á la acuífera. Cuando la permeabilidad de esas capas es igual ó mayor que la permeabilidad del estrato acuífero, el agua está libre, es una agua freática; en cambio, cuando es mucho menor la permeabilidad de la capa, ó de una parte de la capa, que cubre á la acuífera comparada con la permeabilidad de esta última, el agua está bajo presión hidrostática, cuando menos debajo de esa porción de capa mucho menos permeable que cubre á la acuífera. Es decir, que en el subsuelo de la planicie de México hay aguas freáticas, y también aguas artesianas. Estas últimas son brotantes en algunos lugares, como indicaré después.

El agua que alimenta á las capas acuíferas del subsuelo de la planicie de México, es principalmente, como dije ya, una porción de la que se infiltra en las faldas que descienden de las sierras del Ajusco y de las Cruces para la cuenca de México. Del agua infiltrada en estas faldas sale una gran parte por los manantiales de Chalco, Xochimilco, Tlalpan, hacienda de Es-lava, río de la Magdalena, El Desierto, Los Leones y Río Hondo, más de 380 manantiales situados en las faldas ó al pie de esas serranías; y el resto del agua alimenta á las capas acuíferas del fondo de la cuenca. Del agua que sale por los manantiales anteriores la mayor parte desciende por trayectos superficiales, y otra parte se infiltra de nuevo, y sigue su trayecto subterráneo hasta acumularse en los estratos acuíferos de la planicie de México.

El agua infiltrada en las faldas mencionadas de las serranías del Ajusco y de las Cruces, y que no sale por los manantiales anteriores, continúa su descenso subterráneo por las grietas de la andesita de hornblenda é hyperstena, ó por las cavidades del basalto, pasa en seguida á las tobas situadas al pie de las sierras y penetra luego á las capas lacustres que rellenan el fondo de la cuenca, acumulándose de preferencia en las capas más permeables de este relleno, en donde ocupa los espacios comprendidos entre los granos de arena ó las matatenas de aluvión, y forma así los estratos ó capas acuíferas del subsuelo de la planicie de México. Según esto, los estratos acuíferos del subsuelo de esta planicie deben considerarse como la zona de acumulación, como la parte inferior de los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en las faldas mencionadas de las serranías del Ajusco y de las Cruces. La superficie de alimentación, las regiones de alimentación y activa¹ de esos receptáculos, se hallan en la superficie y en el

¹ Véase J. D. Villarelo. Hidrología interna de los alrededores de Cadereyta Méndez, Estado de Querétaro. *Pareygones del Instituto Geológico de México*. Tomo I, núm. 6, 1904, pág. 184.

interior de las faldas de aquellas serranías; el nivel inferior de los manantiales está al pie de la serranía del Ajusco; y abajo de este nivel se halla la región acumulante constituida por los estratos acuíferos del fondo de la cuenca, en donde el agua es retenida. No es ésta una región pasiva, al menos en la parte superior, porque el agua circula en ella, y sale en parte al exterior por manantiales, como indicaré más adelante.

En la temporada de lluvias los estratos acuíferos de la planicie de México se llenan de agua, y una vez que esta región acumulante está saturada, aumenta el gasto de los manantiales situados al pie de la serranía del Ajusco, como dije ya, y sube el nivel del agua en los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en las faldas de las serranías del Ajusco y las Cruces. Este exceso de agua sirve de reserva para ir reemplazando á la que sale al exterior en la planicie de México por manantiales, por pozos brotantes, y también por medio de las bombas instaladas en los pozos artesianos.

La presión hidrostática se transmite en la arena y en los aluviones, aun cuando estos materiales opongan mucha resistencia al movimiento del agua; y como en el caso de que me ocupo, el agua se encuentra en los receptáculos acuíferos subterráneos á mayor altura, como acabo de decir, que las capas de arena ó de aluvión del subsuelo de la planicie de México, el agua en este subsuelo estará bajo presión hidrostática en todos aquellos lugares en que las capas de arena ó de aluvión estén cubiertas por estratos menos permeables que las referidas capas. Entonces, al perforar la sonda el estrato menos permeable que en ese lugar cubre á la capa acuífera, el agua sube, es artesiana, aunque no es en todas partes brotante.

Para que el agua subterránea pueda brotar en un lugar, es necesario que en ese lugar la superficie piezométrica se encuentre á mayor altura que la superficie del terreno; pues cuando es subterránea la primera de las superficies antes mencionadas, el agua es artesiana solamente, sube hasta la superficie piezométrica, pero no puede llegar hasta la superficie del terreno. Antiguamente, casi en toda la planicie de México la superficie piezométrica se encontraba más alta que la superficie del terreno, y el agua brotaba por casi todas las perforaciones que se hacían dentro de la siguiente zona: del pie de la serranía del Ajusco, por San Gregorio, Santa Cruz, Nativitas, Tepepan, Santo Niño, Huipulco y Coyoacán, para Chapultepec, Tacuba y Atzacapotzalco, y de la línea que pasa por estos lugares para la ciudad de México y lago de Texcoco. Al ir disminuyendo la altura que alcanza el agua en los receptáculos acuíferos subterráneos descritos en este estudio, ha ido bajando la superficie piezométrica, la cual es ya subterránea en el centro de la planicie de México. El nivel que el agua alcanza en los anteriores receptáculos acuíferos subterráneos ha ido bajando por dos causas combinadas: menor alimentación de esos receptáculos, al haber disminuído notablemente la infiltración del agua en las sierras mencionadas, debido esto principalmente á la destrucción del bosque, como se verá

después; y aumento en el desagüe de los mismos receptáculos, ocasionado por el gran número de pozos brotantes que se han abierto en la planicie, y por el bombeo de la gran cantidad de agua que se extrae por los pozos artesianos y por los manantiales de Chapultepec. El número de pozos perforados en la planicie de México es ya de 1,517, los cuales dan 397 litros por segundo;¹ y en los manantiales de Chapultepec se bombean en promedio 218 litros por segundo, según los datos publicados en el Boletín Oficial del Consejo Superior de Gobierno del Distrito Federal. Más adelante, cuando se haga en mayor escala el desagüe de los receptáculos acuíferos subterráneos á que me refiero, es decir, cuando funcionen todas las bombas poderosas que se han instalado al pie de la serranía del Ajusco, para proveer de agua potable á la ciudad de México, entonces, repito, bajará aún más probablemente la superficie piezométrica antes mencionada, la cual irá siendo poco á poco más subterránea. Este descenso de la superficie piezométrica irá reduciendo la zona de agua brotante, zona que se irá retirando poco á poco del centro de la planicie de México, é irá quedando reducida á una faja cada vez más angosta y cercana de la línea que indiqué antes, y que pasa al pie de las serranías del Ajusco y las Cruces.

Los estratos acuíferos con agua bajo presión hidrostática se encuentran en la planicie de México á distintas profundidades, como se verá por los siguientes datos aproximados, que he podido obtener. En la parte Sur, de Huipulco para el pie de la serranía del Ajusco 20 á 25 metros, y el agua es brotante. De Huipulco para Churubusco, 50 á 60 metros y todavía el agua es brotante. (Véase lám. XII, fig. 2.) De Churubusco para la ciudad de México la profundidad va aumentando de 60 para 100 metros, y el agua asciende cada vez menos, dejando de ser brotante al acercarse á la ciudad de México. En esta última, la profundidad de las capas artesianas varía como sigue: por el Poniente, de 50 á 80 metros; por el Norte, de 80 á 100; y en el centro, entre 100, 150, 180, 200 y aun 215 metros, pero el agua ya no brota. Fuera de la ciudad, hacia el Norte-Poniente, la profundidad va disminuyendo de 50 hasta 30 metros en Tacuba y Atzacapotzalco; y al Norte y Norte-Oriente de la ciudad es mayor de 80 metros. La temperatura de estas aguas artesianas es de 20 á 22° C.

Por los alrededores de Xico, como dije en otro lugar, se encuentran en el subsuelo capas de turba terrosa, desde la superficie del terreno hasta más de 100 metros de profundidad; y por los pozos abiertos en estos lugares, como sucede en el que se halla á 6 kilómetros al Poniente de Xico, brota el agua acompañada de gran cantidad de gas de pantanos. La presión de este gas hace que el agua brote á mayor altura de la que alcanzaría por la presión hidrostática solamente. La altura que alcanza el agua en el pozo brotante que acabo de mencionar, es de metro y medio sobre el suelo, altu-

¹ Boletín Oficial del Consejo Superior de Gobierno del Distrito Federal. Tomo III. 1904, página 550.

ra que es solamente de 30 á 40 centímetros en los pozos de esa región, por los cuales brota el agua sólo por presión hidrostática. (Véase lám. XII, figura 2.) No solamente en los alrededores de Xico brota el agua acompañada de gases, sino que esto sucede también en otros lugares de la planicie de México, de Aragón para la villa de Guadalupe, principalmente. En esa zona el agua sale acompañada de gran cantidad de anhídrido carbónico (ácido carbónico), y el agua brota á veces á gran altura, 30 hasta 50 metros durante algún tiempo después de abierto el pozo. En seguida la altura va disminuyendo poco á poco hasta que dejan de ser brotantes los referidos pozos. El agua brota en esta región debido más bien á la presión del anhídrido carbónico que á la presión hidrostática.

Los cerros aislados que se levantan en la planicie de México, como por ejemplo: el de Chapultepec, el de La Estrella, el de Xico y el de Tlapacoyan, desempeñan una función muy interesante en la circulación de las aguas subterráneas en las cercanías de los mencionados cerros. En efecto, los flancos de estos últimos en su parte subterránea, interrumpen á los sedimentos lacustres que rellenan el fondo de la cuenca de México, y esa superficie de contacto entre la roca eruptiva del cerro y la sedimentaria del relleno de la cuenca, desempeña una función semejante á la de una perforación hecha en el mismo relleno, como se verá en seguida. Los cerros anteriores constituidos por rocas eruptivas, son muy poco permeables, mucho menos que la mayor parte de las capas sedimentarias del relleno de la cuenca; y por lo tanto constituyen obstáculos ó barreras casi impermeables que se oponen á la circulación fácil de las aguas subterráneas, las cuales en la planicie de México descienden principalmente del Sur para el Norte, y del Poniente hacia el Oriente, ó sea de las sierras del Sur y Poniente de la cuenca de México para el lago de Texcoco. Los estratos acuíferos con aguas artesianas del subsuelo de la planicie de México, son cortados también por estas barreras casi impermeables; y entonces, el agua de estos estratos no pudiendo atravesar fácilmente á los cerros mencionados, se detiene en la superficie de contacto entre estos cerros y los sedimentos lacustres; y como se encuentra bajo presión sube por esa superficie de contacto como lo haría por un pozo, y sale á veces al exterior por manantiales situados en el pie de esos cerros, y en las cercanías de la superficie de contacto varias veces mencionada. Como ejemplos de esta clase de manantiales en la planicie de México, citaré á los siguientes: los de Chapultepec, situados al pie y hacia el Sur de la colina del mismo nombre; los de Culhuacán, que se hallan en el pie y al Sur-Poniente del cerro de La Estrella, y los de Xico y Tlapacoyan.

Las capas de arena suelta, como he dicho varias veces en este escrito, no son igualmente permeables por todas partes, sino que su permeabilidad varía con las dimensiones del grano, aumentando á medida que este grano es más grueso. Según esto, el agua circula con más facilidad por determinados lugares de esas capas de arena, formando así una red de venas acuí-

feras. Esto explica por qué no dan igual resultado todos los pozos que cortan á las capas de arena; pues mientras unos son de gasto considerable, los que cortan á esas venas acuíferas, otros, aún cercanos y que cortan á la misma capa, son de gasto mucho menor, por encontrarse en la zona en que el agua circula con mayor dificultad en las referidas capas de arena suelta.

Concluído el estudio hidrológico de la región que motiva este escrito, paso á indicar de qué manera podría aumentarse el volumen de agua que anualmente circula por los receptáculos acuíferos subterráneos que he descrito, para lo cual tengo necesidad de referirme á la relación muy estrecha que existe entre la vegetación arbolada, y la circulación de las aguas superficiales y subterráneas.

LA VEGETACIÓN FORESTAL Y EL AUMENTO DE VOLUMEN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Para aumentar el volumen de agua que anualmente circula en el subsuelo de las zonas á que este escrito se refiere, es necesario procurar se infiltre mayor cantidad de agua en las superficies de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos ya mencionados, es decir, es indispensable aumentar los coeficientes de infiltración de las rocas que afloran en esas superficies. Para conseguir esto, el único medio práctico es repoblar el bosque en las serranías que constituyen el borde meridional de la cuenca de México. Esta repoblación, como se verá en seguida, es necesaria, no sólo para aumentar el caudal de agua que sale por los manantiales de la región, sino que es indispensable hacerla para conservar el gasto actual de los mismos manantiales; pues si continúa la destrucción absurda é irracional de esas frondosas arboledas, el gasto de los manantiales irá disminuyendo poco á poco, en vez de aumentar como se necesita ahora que están ya para concluirse las obras de provisión de agua potable para la ciudad de México.

La vegetación forestal con sus despojos, ese revestimiento vivo y muerto, desempeña funciones tan interesantes como son entre otras las siguientes: forma una coraza vegetal, como se le ha llamado, que impide la erosión del suelo por las aguas corrientes superficiales; es una esponja que absorbe el agua con facilidad; sirve como pantalla que impide la evaporación rápida del agua absorbida; es un regulador de las corrientes de agua subterráneas y superficiales, constituye una defensa para las poblaciones cercanas, pues impide el régimen torrencial de los ríos, y por último, además de su benéfica influencia como agente climatológico é higiénico, uniformando la temperatura y humedad del aire, y purificando el ambiente, es un centro productor de abono que enriquece á los suelos cercanos.

Una cuestión que hasta ahora no puede considerarse resuelta de una manera general, es la influencia que los bosques ejercen sobre la distribu-

ción de las lluvias locales. Es cierto que en varias partes de Europa, por observaciones metódicas hechas durante treinta años, se ha concluido que la cantidad de lluvia aumenta de 15 á 20 por ciento en las cercanías de las grandes comarcas boscosas; pero no obstante esto, sin datos pluviométricos locales que sirvan de fundamento, no deben generalizarse los resultados anteriores. En el caso de que me ocupo no existen esos datos pluviométricos completos, y por lo tanto nada puedo asegurar por ahora, acerca de la influencia que en la repartición de las lluvias locales ejercería la abundante vegetación arbolada en las sierras, que por el Sur y Sur-Oeste limitan á la cuenca de México. Pero si nada puedo asegurar acerca de la cuestión local anterior, sí debo decir que, es innegable la influencia de la vegetación arbolada sobre la circulación superficial y subterránea de las aguas, en todo tiempo y en todo lugar.

Para que el agua pueda ejercer sobre el suelo su acción erosiva y de transporte, se necesita que circule libremente en la superficie del terreno, que allí se reúna aumentando su volumen y formando corrientes; y entonces, á medida que ese volumen es mayor y más grande la pendiente del terreno, la acción erosiva del agua es también mucho mayor. Cuando el suelo es impermeable ó casi impermeable y el terreno es bastante inclinado, la mayor parte del agua que recibe desciende superficialmente, se reúne en los arroyos y ríos, y no encontrando obstáculo alguno baja con rapidez formando á veces corrientes impetuosas, verdaderos torrentes que ocasionan la rápida erosión del terreno. En cambio, cuando el suelo es bastante permeable, la mayor parte del agua que recibe se infiltra, y por lo tanto son de poca ó ninguna importancia las corrientes superficiales, y entonces la erosión es casi nula. Según esto, aumentando la permeabilidad del suelo, y poniendo obstáculos para que el agua en su descenso por la superficie del terreno no se reúna formando arroyos y ríos torrenciales, se conseguirá nulificar ó reducir á un minimum la erosión del suelo por las aguas corrientes superficiales. Pues bien, tanto lo uno como lo otro, es decir, tanto el aumento en la permeabilidad del suelo, como los obstáculos que impidan la formación de corrientes de agua impetuosas, pueden conseguirse desarrollando la vegetación arbolada. En efecto, en los bosques se encuentra sobre el terreno una cubierta bastante gruesa por lo general, constituida en la parte superior por restos de vegetación, troncos, ramas, hojas caídas, y abajo hay gran cantidad de residuos vegetales en descomposición, ó sea, esa materia negra conocida con el nombre de "humus." El "humus" absorbe agua en cantidad que varía entre el 70 por ciento de su peso hasta cuatro veces su peso, según es la clase de materia vegetal de la cual proviene, y según es también el estado en que se encuentra la descomposición de esa materia. Según esto, el "humus" por una parte absorbe gran cantidad de agua que segrega de la circulación superficial, y por otra los troncos y ramas caídas así como las raíces de los árboles, son obstáculos innumerables que impiden la concentración instantánea de una gran masa de

agua, y por lo tanto la formación de los torrentes. Sí; para extinguir los torrentes el medio más eficaz ha sido siempre cubrir con vegetación forestal las montañas donde se forman. Las raíces de los árboles no solamente constituyen obstáculos que impiden la formación de torrentes, sino que consolidan el terreno y preservan á la tierra vegetal del rápido deslave. Se ve por lo anterior cuán justa ha sido la comparación que se ha hecho entre una coraza protectora y la vegetación arbolada que cubre á las montañas. Esta vegetación es la malla que protege al suelo, impidiendo su rápida erosión, pues aun en terrenos muy inclinados, esa vestidura de árboles no permite que se concentre instantáneamente una gran masa de agua, y por lo tanto las corrientes superficiales son de poca importancia y la erosión del suelo queda así reducida á un mínimum.

En varias partes de este escrito creo haber demostrado la necesidad de evitar la erosión de los depósitos cineríticos y arcillo-arenosos mezclados con tierra vegetal, que se encuentran tanto sobre la andesita de hornblenda é hyperstena, en la zona del río de la Magdalena y hacienda de Eslava, como sobre el basalto en la serranía del Ajusco. Estos depósitos constituyen la región principal de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos de esa zona, y si desaparecen por erosión con ellos desaparecerán también los manantiales situados en los mismos depósitos, y disminuirá notablemente el gasto de los manantiales, que se hallan en la andesita de hornblenda é hyperstena y en el basalto, tendiendo entonces á ser estos manantiales de régimen más bien temporal que permanente. Para evitar esto, para que el régimen actual de todos los manantiales mencionados en este escrito no vaya disminuyendo poco á poco, sino que por el contrario aumente, hay necesidad de impedir la erosión de los depósitos cineríticos y detríticos de esa región, reponiendo la coraza vegetal, la vestidura de árboles en las serranías que se hallan al Sur y Sur-Oeste de la cuenca de México.

Como dije ya, el "humus" es un material excesivamente poroso, que segrega gran cantidad de agua de las corrientes superficiales, que retiene el agua de las grandes precipitaciones acuosas, retardando su movimiento en la superficie del terreno, y que facilita por lo tanto la infiltración de esa agua en el subsuelo. El "humus," según esto, es comparable á una esponja que puede absorber gran cantidad de agua, y que al retenerla impide su descenso rápido por los lugares muy inclinados del terreno.

En varios párrafos de este estudio, al ocuparme de los coeficientes de infiltración de las rocas, sobre todo de aquellas que afloran en las partes inclinadas de las superficies de alimentación, he dicho que: el agua de las lluvias voluminosas y de poca duración en su mayor parte desciende superficialmente, porque la velocidad de este descenso es mucho mayor que la de infiltración del agua por los poros y grietas de las rocas mencionadas. Este rápido descenso superficial ocasiona que el agua de esas fuertes lluvias no contribuya á la alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos; y

por lo tanto es relativamente pequeño el coeficiente de infiltración de las rocas en esas condiciones, es decir, es pequeño el tanto por ciento que se infiltra del agua total recibida en el año por el afloramiento de las referidas rocas. Para que este coeficiente de infiltración aumente, y aumente por lo tanto el gasto de los manantiales, es necesario disminuir notablemente la velocidad del descenso superficial del agua hasta hacerla menor que la velocidad de infiltración, es decir, se necesita retardar el descenso del agua, para que ésta pueda ser absorbida á medida que el aire es expelido de las rocas del subsuelo. Todo esto se consigue como dije ya, reinstalando en las serranías mencionadas la cubierta vegetal viva y muerta, principalmente el "humus," que desempeña entre otras la función de esponja alimentadora de los receptáculos acuíferos subterráneos.

Para facilitar la infiltración del agua en los suelos duros y arcillosos, es preciso granularlos, pues entonces aumenta su porosidad. Esto se consigue con la adición del "humus," adición que es tanto más indispensable á medida que aumenta la cantidad de arcilla en el suelo y la inclinación del terreno, así como á medida que son más delgados los suelos arcillosos en las faldas de los cerros. Pues bien, en la zona del río de la Magdalena y hacienda de Eslava, existe como dije ya, un revestimiento arcillo-arenoso apoyado sobre la andesita de hornblenda é hyperstena en una gran parte de los cerros de esa región. El coeficiente de infiltración de este depósito arcillo-arenoso es pequeño por las razones que indiqué en otro lugar; pero en vista de lo anterior se aumentará notablemente ese coeficiente, y aumentará por lo tanto el gasto de los manantiales de la región, repoblando el bosque en los cerros de la Magdalena, pues entonces el "humus," al granular el suelo arcilloso, le asegurará mayor porosidad.

En los bosques, el follaje forma una especie de pantalla que impide la acción directa de los rayos solares sobre el suelo, y que se opone también al movimiento rápido de los vientos; y como tanto la elevación de temperatura por una parte, como por otra el movimiento rápido del viento, son agentes de evaporación muy enérgicos, esa pantalla vegetal al disminuir la energía de los agentes anteriores, disminuye notablemente la evaporación del agua infiltrada en el terreno.

En varias partes de este escrito he dicho que, el agua de las precipitaciones pluviales de poca duración no llega por lo general á los receptáculos acuíferos subterráneos de esa región, porque no infiltrándose más abajo de la zona influenciada por la evaporación, vuelve á la atmósfera casi en su totalidad. Pues bien, las condiciones pueden variar mucho al formar con la repoblación del bosque esa pantalla vegetal que disminuye la evaporación. Entonces esa agua infiltrada que hoy vuelve á la atmósfera por las razones que indiqué ya, continuará su movimiento de descenso subterráneo, alimentará á los receptáculos acuíferos del subsuelo, y contribuirá á aumentar notablemente el gasto de los manantiales.

Es cierto que para sus necesidades fisiológicas los árboles toman del

suelo por sus raíces determinada cantidad de agua, que transpiran y restituyen á la atmósfera enriqueciéndola en vapor de agua; pero esa cantidad fisiológicamente transpirada en las comarcas boscosas, es mucho menor que la físicamente evaporada en los lugares desprovistos de vegetación. Por este motivo en Australia se han llegado á formar manantiales en mesetas antes desnudas, efectuando solamente numerosas plantaciones. Por otra parte, ese vapor de agua que en regular cantidad existe en la atmósfera de las comarcas boscosas, contribuye al desarrollo espontáneo de la vegetación arbolada.

El revestimiento de despojos vegetales que cubre al suelo de las comarcas boscosas, esa esponja que absorbe y retiene el agua impidiendo su rápido descenso, es también un regulador de las corrientes de agua superficiales y subterráneas. En efecto, no pudiendo descender el agua con rapidez, no pudiendo concentrarse instantáneamente una gran masa de agua, las corrientes superficiales no llegan á tener un régimen torrencial, sino que el agua se acumula en esa esponja vegetal, y sirve de reserva garantizando el gasto permanente de las corrientes superficiales en tiempo de secas. De esta manera esa esponja vegetal es no solamente una defensa para las poblaciones cercanas, pues impide la formación de los torrentes, sino que al procurar uniformar el gasto de las corrientes superficiales, les da á éstas un valor comercial, porque permite su empleo para el riego y como fuerza motriz en cualquiera época del año. Por otra parte, esa agua acumulada en la referida esponja vegetal sirve de reserva para alimentar en tiempo de secas á los receptáculos acuíferos subterráneos, alimentación que al uniformarse de esta manera tiende á uniformar también el gasto de los manantiales, por los cuales desaguan los referidos receptáculos subterráneos.

En la zona del río de la Magdalena el agua se emplea como fuerza motriz; y por lo tanto es muy interesante que el agua que baja por ese río, y que proviene de corrientes superficiales y de manantiales, no disminuya notablemente en la temporada de secas. Para conseguir esto será suficiente, en vista de lo anterior, reponer la coraza vegetal en los cerros de los alrededores del río mencionado.

El "humus" es un abono asimilable que la vegetación forestal elabora con el transcurso del tiempo, aun en los suelos más estériles. Ese "humus" enriquece el suelo en materias azoadas y en principios minerales nutritivos. Por esto es que las aguas que bajan de las montañas revestidas de árboles, al transportar el "humus" y depositarlo en los terrenos cercanos, enriquecen al suelo con elementos fertilizadores. En cambio, cuando desaparece de las montañas esa coraza vegetal, el agua ejerciendo su acción erosiva intensa sobre las rocas del terreno, transporta en gran cantidad guijarros, matatenas, etc., las cuales al depositarse en las vegas cercanas esterilizan el suelo.

Creo que el contenido de los párrafos anteriores es fundadamente bas-

tante para poder asegurar que, el gasto de los manantiales es una función del revestimiento arbolado que existe en la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos, que desaguan por esos manantiales. En vista de esto, y para conservar y aumentar el gasto de todos los manantiales mencionados en este estudio, es indispensable que, las Autoridades competentes impartan una protección eficaz á la coraza vegetal que debe cubrir á las sierras del Ajusco y las Cruces, que se proceda á la reinstalación juiciosa de esa vestidura de árboles en las sierras anteriores, que se evite la destrucción absurda de las frondosas arboledas; y por último, que se reglamente la explotación de los bosques, siguiendo un plan científico, y oyendo la opinión de personas especialistas en la materia y dotadas de criterio recto y suficientemente ilustrado.

Indicada ya la manera práctica de aumentar el caudal de agua que anualmente circula en los receptáculos acuíferos subterráneos ya descritos, paso á ocuparme en lo relativo á las obras de captación.

OBRAS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Como se verá en seguida, las obras de captación de las aguas que circulan en el subsuelo pueden conducir á resultados muy distintos, según es la región del receptáculo acuífero subterráneo que ha sido cortada por las obras mencionadas.

Cuando las obras de captación se hacen en la superficie de terreno en donde se infiltran las aguas meteóricas, es decir, en la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos, ó cuando esas obras cortan solamente á la región de alimentación de los mismos receptáculos,¹ región ésta casi superficial, puede decirse que, el éxito de las obras referidas es casi nulo, y que estas últimas son más bien nocivas que benéficas á la circulación subterránea de las aguas meteóricas. En efecto, en la superficie de alimentación y en la región de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos, hay agua solamente en la época de lluvias, el agua en esos lugares es por lo tanto temporal y no permanente; y por lo mismo, por las referidas obras saldría agua sólo en tiempo de lluvias. Es decir, que con estas obras únicamente se consigne impedir la alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos, pues ellas hacen salir el agua al exterior cuando apenas comienza á infiltrarse en el terreno. En vista de todo esto, no deben recomendarse obras de captación que corten únicamente á la superficie y región de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos.

Cuando las obras de captación á que me refiero cortan á la región activa de los mismos receptáculos acuíferos subterráneos, es decir, á la región

1 J. D. Villarelo. Hidrología interna de los alrededores de Cadereyta Méndez. L. c. pág. 184.

que contiene agua en todo el año y que desagua por manantiales, pueden presentarse dos casos: ó el corte se hace arriba de los manantiales, ó se hace al nivel inferior de los manantiales. En el primer caso, las obras de captación impiden que el agua continúe su descenso subterráneo, y la obligan á salir al exterior á un nivel más elevado; por lo tanto, los manantiales se secan ó su gasto se reduce notablemente. Si es muy abundante la alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos, las obras mencionadas al facilitar el desagüe de estos receptáculos, permitirán que salga por ellas anualmente mayor cantidad de agua de la que en igual tiempo salía antes por los manantiales; pero si la alimentación referida no es muy abundante, con esas obras sólo se consigue que el agua salga á mayor altura, al secarse los manantiales inferiores, pero su volumen no aumenta; ó en caso de aumentar no es permanente sino temporal, desapareciendo en tiempo de secas. Cuando las obras de captación se hacen al nivel inferior de los manantiales, como facilitan ellas el desagüe de los receptáculos acuíferos subterráneos, se consigue como en el caso anterior una de dos cosas: si la alimentación de estos receptáculos es abundante, aumenta con las obras la cantidad de agua que anualmente sale al exterior; pero si esa alimentación no es abundante, no será permanente el aumento en el volumen de agua subterránea que salga al exterior, sino que este volumen llegará á ser nulo, ó casi nulo en la temporada de secas.

Cuando las obras de captación cortan á la región acumulante ó á la región pasiva de los receptáculos acuíferos subterráneos, es decir, á las regiones que se hallan abajo del nivel inferior de los manantiales, aumenta la cantidad de agua que sale al exterior. En efecto, el nivel más bajo del desagüe natural de los referidos receptáculos subterráneos es el nivel inferior de los manantiales, de aquí para abajo el agua está retenida; pero al cortarse esta región acumulante por obras que permitan su desagüe al exterior, saldrá toda el agua contenida desde el nivel inferior de los manantiales hasta el nivel de las obras de captación, y saldrá también el agua que anualmente se infiltre hasta el nivel de las referidas obras. Según esto, en una primera temporada será mucha la cantidad de agua que pueda salir por las obras de captación, porque entonces existe una reserva de agua acumulada en muchos años; pero después, á medida que esa reserva vaya siendo menor el volumen de agua que salga por las obras irá siendo también cada vez menor, hasta que anualmente este volumen sea cuando más igual á la cantidad de agua que durante el año se infiltre hasta la región del receptáculo acuífero subterráneo, que haya sido cortada por las obras de captación. En muchos casos sucede que el agua encuentra menos resistencias signiendo los conductos que la llevan hasta las obras de captación, situadas abajo de los manantiales, que continuando su trayecto hacia estos últimos. Entonces, los manantiales se secan, y el agua prolonga su descenso subterráneo hasta llegar á las obras mencionadas, y sale por ellas. De estos casos uno muy interesante se presenta cuando es ascendente la

última parte del trayecto subterráneo que sigue el agua para salir por los manantiales, como sucede muchas veces, sobre todo si las aguas son termales;¹ entonces, las obras de captación situadas abajo del nivel de los manantiales, al cortar á ese tramo ascendente de la circulación acuífera subterránea, proporciona una salida más fácil, y el agua sale por ellas en vez de continuar su ascenso hasta los manantiales, los cuales se secan por este motivo, ó su gasto disminuye notablemente. En ese último trayecto ascendente, el agua puede subir hasta cierto punto como límite, este punto ha sido llamado por Belgrand "punto hidrostático." Según esto, los manantiales se encontrarán cuando más á la altura de este punto; porque más arriba el agua ya no podría brotar. En cambio, á medida que esté más bajo el punto de desagüe en ese trayecto subterráneo ascendente, será mayor la presión hidrostática en ese punto; y por lo mismo, será mayor la cantidad de agua que salga por él. Por este motivo, cuando las obras de captación cortan á esos trayectos subterráneos ascendentes, la cantidad de agua que sale por ellas es mayor que el gasto de los manantiales situados arriba y que se secan. Este aumento en la cantidad de agua que sale al exterior será permanente cuando sea abundante la alimentación del receptáculo acuífero subterráneo, y éste sea bastante considerable; porque entonces, aun cuando se facilite el desagüe de ese receptáculo, la cantidad de agua contenida en el subsuelo será suficiente para garantizar la salida de este líquido durante todo el año, por las referidas obras de captación.

Cuando un receptáculo acuífero subterráneo no tiene desagüe natural, cuando no tiene manantiales, entonces no hay región activa en ese receptáculo, sino que toda la parte que se halla abajo de la región de alimentación debe considerarse como zona de retención, ó región acumulante; y por lo mismo, las obras de captación que corten á este receptáculo abajo de la región de alimentación, conducirán á los resultados que he indicado en el párrafo anterior, es decir, que esas obras en todo caso ocasionarán un aumento en la cantidad de agua que sale al exterior.

Las obras de captación pueden ser horizontales ó verticales, es decir, socavones ó pozos. Los primeros sólo pueden darse cuando lo permite la topografía del terreno; y los segundos cuando puede localizarse el trayecto del agua en el subsuelo, problema éste relativamente fácil cuando las rocas son de permeabilidad continua, y muy difícil cuando la permeabilidad de las rocas está localizada en las fracturas que las cortan.

Teniendo en cuenta las consideraciones generales anteriores, paso á indicar en particular para cada una de las zonas en que dividí la región que motiva este estudio, cuáles obras pueden recomendarse para aumentar la cantidad de agua que actualmente sale de los receptáculos acuíferos subterráneos ya descritos.

1 J. D. Villarello. Hidrología subterránea de los alrededores de Montenegro (E. de Querétaro). *Bol. Soc. Geol. Mexicana*. Tomo V, pág. 25.

En la zona del río de la Magdalena y hacienda de Eslava, no deben perforarse pozos, por dos razones: no se pueden localizar con exactitud desde la superficie del terreno los trayectos irregulares que sigue el agua en su circulación subterránea, por las grietas de las andesitas de hornblenda é hyperstena; y por otra parte, la topografía del terreno, su gran desnivel, permite la apertura de socavones. Estos socavones pueden abrirse en la andesita mencionada, á nivel de los manantiales, y siguiendo á las grietas por donde el agua circula, para después abrir cruceros con objeto de cortar otras grietas paralelas. Sin embargo, estos socavones en la andesita no deberán abrirse antes de reponer la vestidura de árboles en esos cerros; porque como dije en otro lugar, la mayor parte del agua que ahora circula en el subsuelo de la zona de unión entre las sierras del Ajusco y las Cruces, sale al exterior por los manantiales de esa región; y por lo mismo, esos socavones no harían aumentar de una manera considerable la cantidad de agua que actualmente sale al exterior. Es necesario comenzar por aumentar la alimentación acuifera de esos receptáculos subterráneos, y esto sólo puede conseguirse con la repoblación del bosque en esa zona. Por ahora únicamente pueden recomendarse como obras de captación de aguas subterráneas en esta zona las siguientes: en el río de la Magdalena, en el lugar llamado el Ocotal, abrir tres socavones al mismo nivel, uno al Norte-Poniente hacia el cerro de Coaxoyaque, otro al Sur-Poniente para Cieneguillitas, y otro al Sur-Este en los cerros del Ocotal. Estos socavones permitirían el desagüe más fácil del revestimiento arenoso que se halla en esos cerros; y aunque por ahora el aumento en la cantidad de agua que saliera al exterior no será muy considerable, sí lo sería al reponer la vegetación arbolada en los alrededores de Cieneguillas, vegetación que también haría disminuir notablemente la evaporación del agua en sus trayectos superficiales.

Sería inútil perforar pozos en el lomerío toboso que se halla al Norte-Oriente de la zona que he llamado del río de la Magdalena y hacienda de Eslava, porque allí el agua está muy profunda y sin presión, por lo cual no podría brotar. Mas abajo, por San Angel, el agua tampoco es brotante pero se puede extraer con bomba de las perforaciones profundas.

En la zona que he designado con el nombre de La Magdalena-Tlalpan, no deben perforarse pozos por razones idénticas á las ya indicadas al principio del párrafo anterior; y no deben perforarse en las planicies arenosas escalonadas que se hallan en esa zona, como es la del Ajusco, porque son ellas superficies de alimentación, y nunca pueden ser brotantes los pozos perforados en la superficie de alimentación de los receptáculos acuiferos subterráneos. Como dije en otro lugar, el agua que circula en la región activa de los receptáculos acuiferos subterráneos de esta zona, situados en

las faldas de la serranía del Ajusco, sale en parte por los manantiales de Peña Pobre, Las Fuentes, y los de Tlalpan, y otra parte desciende al subsuelo de la planicie de México, y allí se acumula en los estratos acuíferos ya descritos. Según esto, los socavones abiertos en las faldas del Ajusco, arriba de los manantiales, únicamente impedirían que el agua descendiera para el subsuelo de México, y ocasionaría se secaran los manantiales que acabo de mencionar. Es decir, que al cortar esos socavones á la región activa de los receptáculos acuíferos subterráneos, saldría el agua al exterior á mayor altura, y en cantidad más ó menos igual á la suma de la que actualmente sale por los manantiales, más la que desciende para el subsuelo de la planicie de México. Entre los socavones que tenderían á alcanzar este resultado, podría indicar al que se abriera en las cercanías del pueblo San Andrés Acuayuca hacia el Sur-Oeste, pasando por debajo del revestimiento arenoso muy grueso de los alrededores de la Magdalena.

De la zona Cuantzín-Teuhetli-Xochimilco debo decir lo mismo que de la anterior, y por idénticas razones. Es decir, no se deben abrir pozos en esa zona, ni aun en las planicies arenosas y tobosas comprendidas dentro de ella; y los socavones abiertos en las faldas de esa serranía, y que cortarían á la región activa de los receptáculos acuíferos subterráneos sólo harían salir, cuando menos en parte, al agua que actualmente brota por los manantiales situados en el pie de esa serranía, y también á una parte del agua que alimenta á los estratos acuíferos del subsuelo de la planicie de México.

En la planicie de México, del pie de las sierras que limitan á la cuenca por el Sur y el Oeste para el centro de la planicie, sólo pueden abrirse pozos, los cuales serán brotantes en la zona ya limitada en otro lugar, y por los simplemente artesianos se puede sacar agua con bombas. Entre éstos los más interesantes serán los perforados en el pie de la serranía del Ajusco, de Tepepan por Nativitas para San Gregorio y San Luís, como son los que se van á aprovechar para la provisión de agua potable de la ciudad de México. Los pozos situados en esta parte, la más meridional de la planicie de México, corta á la parte alta de la zona de acumulación de los receptáculos acuíferos ya descritos, á la región por donde pasa el agua subterránea de las faldas del Ajusco para los estratos acuíferos del subsuelo de la planicie: y por lo mismo, son los pozos por los cuáles en todo tiempo se podría bombear mayor cantidad de agua relativamente. Sin embargo, aunque en una primera temporada será muy considerable la cantidad de agua que se podrá extraer por los pozos mencionados, esta cantidad irá disminuyendo poco á poco hasta ser en el año cuando más igual al volumen de agua que anualmente se infiltre, y llegue subterráneamente hasta la región acumu-

lante cortada por esos pozos. En efecto, como en el subsuelo de la planicie de México existe una reserva de agua, acumulada durante muchos años, en esa primera temporada de bombeo activo, se irá extrayendo agua de esta reserva, y será muy considerable el volumen de este líquido que salga por esos pozos; pero á medida que la reserva se vaya agotando, irá disminuyendo el volumen de agua extraído, y cuando la reserva se acabe, sólo podrá extraerse por los pozos en determinado tiempo, cuando más el mismo volumen de agua que en igual período de tiempo llegue subterráneamente hasta la región cortada por el pozo. Esta cantidad aumentará ó disminuirá con el aumento ó disminución en la alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos, es decir, aumentará en los años abundantes en precipitaciones acuosas, y disminuirá en los años escasos de lluvias. También aumentará esa cantidad de agua, por las razones ya indicadas, cuando se reponga la coraza vegetal, la vestidura de árboles de esas serranías; y seguirá disminuyendo esa cantidad de agua, si continúa la destrucción de las frondosas arboledas en el borde meridional de la gran cuenca de México.

CONCLUSIONES

Resumiendo el contenido de estos apuntes se llega á las siguientes conclusiones:

Las sierras del Ajusco y las Cruces, con las de Monte Alto y Monte Bajo, limitan por el Sur y Poniente á la cuenca de México, y en la zona de unión de la primera con la segunda es en donde se hallan las barrancas principales de toda la región.

El macizo montañoso del Ajusco establece la división de las aguas superficiales que por el Norte descienden para la cuenca de México, de las que por el Sur bajan para el valle de Cuautla; y el núcleo andesítico de esta misma serranía es la barrera impermeable que separa á las aguas subterráneas que al Norte brotan en parte por los manantiales de Tlalpan, Xochimilco y Chalco, de los que al Sur salen por los manantiales de Cuernavaca, Fuentes de Chapultepec (E. de Morelos) y Jiutepec.

En estas serranías las zonas andesíticas están por lo general muy accidentadas, se encuentran en ellas cortes más ó menos profundos, la forma redonda es la que domina en el relieve del terreno, y los cráteres andesíticos han desaparecido casi por completo. En cambio, las zonas basálticas están menos accidentadas, las barrancas son en ellas muy escasas, la superficie del terreno es escoriácea, y aún se conservan allí los aparatos crateriformes que en gran número se encuentran en las vertientes del macizo

montañoso del Ajusco, y por los cuales tuvieron lugar las erupciones basálticas.

El núcleo del macizo montañoso del Ajusco y de la sierra de las Cruces está constituido por andesita de hornblenda, perteneciente al Mioceno. Posteriormente á las erupciones de andesita de hornblenda tuvieron lugar las de andesita de hornblenda é hyperstena, probablemente á principios del Plioceno. Como acompañantes de las andesitas, y emitidas en el período brechógeno de esas erupciones, aparecieron las brechas pomosas que se depositaron en las faldas de las sierras andesíticas. Las brechas, principalmente al pie de las sierras mencionadas, están cubiertas con el producto de la desintegración de ellas mismas. Estos detritus acarreados por el agua y depositados más abajo en forma de estratos irregulares y poco inclinados, constituyen las tobas detríticas que son tan abundantes, tanto en el lomerío que se levanta al Sur y Poniente de la cuenca de México, como en el relleno de la misma cuenca.

El período de actividad eruptiva en la región que motiva este escrito, no terminó en el Plioceno, con las erupciones de andesita de hornblenda é hyperstena, sino que después y con intermitencias no muy grandes tuvieron lugar las erupciones de andesita de hyperstena, y las de basaltos cuaternarios y recientes. Las erupciones basálticas fueron acompañadas con abundantes emisiones cineríticas, arenas volcánicas que en forma de montículos se depositaron sobre los basaltos y las andesitas, y que acarreadas después por las aguas se han depositado en lechos delgados y con poca inclinación sobre los basaltos y también sobre las andesitas. Los basaltos cuaternarios y recientes cortaron y en partes cubrieron á la andesita de hornblenda de la serranía del Ajusco, habiendo verificado sus emisiones eruptivas por aparatos crateriformes situados en las vertientes andesíticas de esa serranía, tanto en las que por el Norte descienden para la cuenca de México, como en las que hacia el Sur bajan para Cuernavaca y el valle de Cuautla en el Estado de Morelos.

Las andesitas de hornblenda é hyperstena están cubiertas en varios lugares por un revestimiento cinerítico, ó arcillo-arenoso mezclado con tierra vegetal, sobre todo en la zona de unión entre la sierra de las cruces y el macizo montañoso del Ajusco.

Una gran parte del fondo macizo de la cuenca de México está constituido por andesitas sobre las cuales se apoyan: brechas, tobas detríticas, arcilla, marga, arcilla margosa, marga arcillosa, en capas intercaladas de diversas maneras; y entre las cuales se encuentran también capas ó lentes de arena suelta, y aluviones constituidos principalmente por matatenas de andesita.

En la región estudiada afloran rocas coherentes, poco coherentes é incoherentes, ó sea, rocas compactas, porosas y muy porosas. Como rocas coherentes ó compactas figuran en el borde meridional de la cuenca de México, por orden de su antigüedad relativa: la andesita de hornblenda, la ande-

sita de hornblenda é hyperstena y el basalto. Como rocas poco coherentes ó porosas, se hallan en el mismo borde: las brechas pomosas, las tobas arenosas y las detríticas, y también las arcillas arenosas ó mezcladas con tierra vegetal. Como materiales incoherentes ó muy porcosos hay en las mismas serranías: cenizas y arenas volcánicas en montículos ó en lechos delgados, y aluviones constituídos por matatenas de andesita principalmente. Los materiales anteriores, en el borde meridional de la cuenca de México, pueden colocarse en orden ascendente de su permeabilidad relativa, como sigue: arcillas y margas, andesita de hornblenda, andesita de hornblenda é hyperstena, tobas detríticas, arcillas y margas arenosas, brechas volcánicas, tobas arenosas, basaltos, arenas y aluviones.

La superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos que en parte desaguan por los manantiales del río de la Magdalena, y por los de Tlalpan, Xochimilco y Chalco, está limitada á las vertientes que hacia el Norte descienden del macizo montañoso del Ajusco, y de la zona que he llamado de unión entre este último y la sierra de las Cruces. La cantidad de agua que salga por esos manantiales será proporcional por lo tanto al volumen de agua que se infiltre en la superficie de alimentación que acabo de indicar.

La circulación subterránea del agua en las faldas del Ajusco tiene lugar solamente en el interior del edificio basáltico que se apoya en las antiguas vertientes andesíticas de esa serranía, es decir, que tiene lugar únicamente en una zona superficial relativamente poco gruesa, bastante inclinada, y que se apoya en la andesita impermeable que constituye el núcleo de ese macizo montañoso.

Los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en la andesita de hornblenda é hyperstena del río de la Magdalena y de la hacienda de Es-lava, están constituídos por los espacios vacíos existentes en las grietas que surcan á esa roca eruptiva, espacios que forman una red de venas acuíferas, más ó menos irregulares, y contenidas en los tramos de roca más ampliamente fracturados.

El agua que sale por los manantiales del río de la Magdalena y de la hacienda de Es-lava, sigue un trayecto subterráneo relativamente corto y más bien horizontal que vertical profundo, es decir, que estos manantiales se hallan á corta distancia y no muy abajo de la superficie de terreno en donde se infiltran las aguas meteóricas que salen por los referidos manantiales.

Las aguas infiltradas en el basalto del Ajusco, ya sea directamente, en las partes porosas ó agrietadas del afloramiento de esta roca, ó bien por intermedio de los depósitos arenosos ó tobosos que cubren en partes á la misma roca, circulan en el interior del basalto por conductos irregulares y más ó menos amplios. Según esto, los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en el edificio basáltico del Ajusco, están constituídos por los poros ó espacios vacíos contenidos en las arenas y tobas arenosas, y por las grie-

tas y cavidades que existen en los basaltos de la región. El agua circula en los depósitos de arena y toba arenosa, formando sistemas venosos acuíferos, y pasa en seguida á los basaltos en los cuales circula por grietas, venas y grandes cavidades, trayectos subterráneos éstos tan irregulares como difícil es localizarlos desde la superficie del terreno. Una parte del agua sale del basalto por manantiales situados en el borde ó extremidad de las corrientes de esta roca, y otra parte del agua pasa de las grietas del basalto á las brechas y tobas que le sirven de apoyo en la parte baja de la serranía, y de estas pasa subterráneamente cierta cantidad de agua para las capas acuíferas que se hallan en el subsuelo de la planicie de México.

Para evitar la contaminación de las aguas que salen por los manantiales de la región que motiva estos apuntes, la Autoridad competente debería proteger á las superficies de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos, dictando las medidas adecuadas, prohibiendo hacer dentro de ellas sondeos, pozos, y en general excavaciones de más de dos metros de profundidad, y evitando sobre todo la ubicación de cementerios en esas superficies de alimentación.

Los receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en el subsuelo de la planicie de México, están constituídos principalmente por los espacios vacíos contenidos entre los granos de arena, y entre las matatenas andesíticas, en las capas de arena ó de aluvión que se hallan intercaladas en las arcillas y margas que rellenan el fondo de la cuenca. En esos estratos acuíferos el agua se encuentra libre ó bajo presión hidrostática, según es la permeabilidad de la capa que cubre á la acuífera, es decir, que en el subsuelo de la planicie de México hay aguas freáticas y también artesianas. Estas últimas son brotantes en una faja de terreno cada vez más angosta y cercana al pie de las sierras del Ajusco y las Cruces.

Para aumentar el volumen de agua que anualmente circula en el subsuelo de la región estudiada, es necesario procurar se infiltre mayor cantidad de agua en las superficies de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos de la mencionada región, para lo cual el único medio práctico es repoblar el bosque en las serranías que constituyen el borde meridional de la cuenca de México.

En los alrededores del río de la Magdalena y hacienda de Eslava es inútil perforar pozos, para aumentar la cantidad de agua que actualmente sale de los receptáculos acuíferos subterráneos de esa región, y sólo pueden recomendarse como obras de captación en esa zona, los socavones en la andesita, y en el revestimiento arenoso de los alrededores del Ocotil. Al reponer la vegetación arbolada en esa zona disminuirán notablemente las pérdidas de agua por evaporación; y haciendo impermeables los canales por donde pasa el agua de los manantiales se evitará que esta agua vuelva á infiltrarse en el suelo.

Los socavones que se abrieran en las faldas basálticas del Ajusco, únicamente impedirían que el agua subterránea descendiera para la planicie

de México; y harían salir al menos en parte el agua que actualmente brota por los manantiales situados al pie de esa serranía, y también á una parte del agua que alimenta á los estratos acuíferos del subsuelo de la planicie de México.

Por los pozos situados al pie de la serranía del Ajusco puede extraerse desde luego una cantidad de agua muy considerable, porque en la actualidad existe en el subsuelo una gran reserva de agua acumulada durante muchos años; pero á medida que esta reserva se vaya agotando irá disminuyendo el volumen de agua que se pueda extraer por los mismos pozos, y cuando esa reserva se acabe, podrá extraerse cuando más la cantidad de agua que constituye la alimentación anual de esos receptáculos acuíferos subterráneos. Esta cantidad aumentará en los años abundantes en precipitaciones acuosas y disminuirá en los años escasos de lluvias. También aumentará esa cantidad de agua al reponer la vestidura de árboles de esas serranías; pero disminuirá si continúa la destrucción de las frondosas arboledas en el borde meridional de la cuenca de México.

México, Noviembre de 1909.



INFORME
SOBRE
LAS AGUAS DEL RIO DE LA MAGDALENA

PRESENTADO
AL MINISTERIO DE FOMENTO
POR

JUAN SALVADOR AGRAZ

Químico en Jefe del Instituto Geológico Nacional

TRABAJOS PRELIMINARES

Antes de proceder á los estudios de Laboratorio, creí indispensable hacer un examen cuidadoso del Río de la Magdalena, así como de las Fábricas, á fin de formarme un criterio más exacto de las causas de contaminación de las aguas.

Para esto recorrí varias veces el Río desde la hacienda de la Cañada hasta Churubusco, y otra vez recorrí el Río desde sus manantiales, en Cieneguillas, hasta Contreras.

El señor Director del Instituto Geológico, por indicación mía, se sirvió concederme como Ayudante, al Sr. D. Roberto G. Gómez, quien me sirvió para recoger algunas observaciones y tomar las muestras de aguas.

Las autoridades políticas de San Angel, Coyoacán, Contreras, La Magdalena y Tizapán, sobre todo el señor Prefecto de San Angel, me proporcionaron datos que me fueron muy útiles para mi estudio.

Varias veces fui acompañado en mis excursiones por los Inspectores de aguas del Río de la Magdalena.

OBSERVACIONES HECHAS EN LOS MANANTIALES

El agua sale de entre las rocas, enteramente transparente é incolora; su sabor es agradable y su temperatura es de cerca de 15° c.

En vista de la pureza de las aguas que salen por los manantiales, me pareció conveniente insinuar al Secretario de la Junta de Vigilancia de las aguas del citado Río, Sr. Lic. D. Eduardo Tamariz, á fin de que se dirigie-

ra al señor Secretario de Fomento para que nombrara á alguna persona competente que hiciera el estudio hidrológico de esa región.

En el espacio de terreno comprendido entre la hacienda de la Cañada y los manantiales, el agua no sufre ninguna contaminación; es transparente, incolora y de sabor agradable.

HACIENDA DE LA CAÑADA

En esta finca se aprovecha el agua, además de los usos domésticos, para las necesidades del Establo, y los desechos son arrojados lejos del cauce del Río. Por esta razón los encargados de la mencionada finca no tienen ninguna responsabilidad de la contaminación de las aguas.

FÁBRICA DE ARTEFACTOS DE ZACATÓN DE LA MAGDALENA

En esta fábrica se aprovecha el agua del Río, únicamente para el lavado mecánico de la raíz de Zacatón y el agua arrastra, además de la tierra, las substancias orgánicas, solubles é insolubles que provienen de la raíz de la planta, no empleando en este procedimiento ninguna substancia química.

El agua que sale de la fábrica es de color negruzco y entra en putrefacción fácilmente, debido á la enorme cantidad de materia orgánica que arrastra.

También he tenido ocasión de observar que la misma agua suele tener una ligera capa de aceite de la máquina que sirve para el lavado de la raíz.

RASTRO DE CONTRERAS

Ví con asombro que todos los residuos y desechos de la matanza de las reses, en el mencionado rastro, eran arrastrados por el agua que, "*por concesión y favor especial de la fábrica de hilados La Magdalena,*" según me dijo el Administrador del Rastro, sirve para el aseo y vuelve al Río después de arrastrar todas las inmundicias.

FÁBRICA DE HILADOS "LA MAGDALENA"

El agua que entra á esta fábrica es pura, según lo demostró el análisis químico y cuando sale lleva, además de una cierta cantidad de sales y materias colorantes, las materias fecales arrojadas al Río por los excusados de la fábrica, que están al servicio de los obreros.

Abajo de esta fábrica, así como en todo lo largo del Río, he visto frecuentemente á muchas mujeres ocupadas en lavar ropa, usando azul de Ultramar, sin preocuparse de contaminar las aguas.

FÁBRICA DE HILADOS "SANTA TERESA"

He tenido ocasión de comprobar muchas veces, que esta fábrica es una de las que arrojan mayor cantidad de materias colorantes al Río.

Dos de las muestras tomadas el día 14 de Abril á las 11 y 20 a. m. estaban tan intensamente coloreadas, que con esas aguas se podía escribir.

A partir de esta fábrica y siguiendo el curso del Río rumbo á Tizapán, se observa que el agua tiene un olor nauseabundo é insoportable.

FÁBRICA DE HILADOS "LA ABEJA"

Los propietarios de esta fábrica se han preocupado por la pureza del agua que emplean para sus usos industriales y por esto se ven obligados á tomarla por la noche, cuando es más pura y decantarla antes de usarla.

Emplean para esta operación dos depósitos y un filtro de arena, pero cometen la torpeza de arrojar al Río, además de las materias colorantes que ya no ocupan, los excrementos de los excusados.

El agua que sale de esta fábrica es más ó menos turbia y diversamente coloreada.

FÁBRICA DE ESTAMPADOS "LA HORMIGA"

Esta es sin duda la fábrica donde se han preocupado más para purificar las aguas que reciben. Usan al efecto un gran filtro construído por la "Société Anonyme l'Epuración des Eaux."

En vista de lo malsano del agua del Río, la Compañía propietaria de "La Hormiga," mandó perforar un pozo de cerca de 8 metros de profundidad, para surtir de agua á sus obreros.

El agua de este pozo es fresca y de sabor agradable.

Todos los desechos de la fábrica: materias colorantes, materias fecales, van á dar al Río.

Hay en la vecindad de la fábrica unos sumideros que van á desaguar al Río, en ellos arrojan las familias de los obreros todo género de inmundicias.

FÁBRICA DE PAPEL "LORETO"

Todos los propietarios de las fábricas antes señaladas se preocupan, más ó menos, de la pureza de las aguas que reciben, pero no de la que devuelven al Río.

El dueño de la fábrica de "Loreto," en vista de la pésima calidad del agua usa unos tanques de filtración y tiene cuidado de purificar el agua antes de devolverla al río.

Con objeto de usar agua pura, está perforando el propietario un pozo artesiano para tener el líquido suficiente para sus necesidades.

La cantidad de materias colorantes empleadas en la fabricación del papel es muy pequeña y la mala calidad de las aguas que salen de "Loreto" es debida sobre todo á la mayor ó menor cantidad de materias orgánicas que arrastran.

COLONIA DE LA HUERTA DEL CARMEN.—SAN ANGEL

En esta Colonia todas las aguas del drenaje van á dar al Río y aunque actualmente son contadas las casas que se han construído, es de suponerse que con el tiempo aumente la cantidad de materias insalubres llevadas por los albañales al cauce del Río.

Actualmente existe en la citada Colonia un pozo artesiano para abastecerla de agua.

Siguiendo el Río rumbo á Coyoacán me ha sido penoso ver el estado de las aguas. En los bordes de la corriente se acumulan detritus infectos que emponzoñan el aire con sus emanaciones.

ESCUELA CORRECCIONAL DE MUJERES.—PANZACOLA.—COYOACÁN

En este Establecimiento se surten de agua de un pozo artesiano, que, según me dijo la Directora, es insuficiente para todas las necesidades domésticas.

Todos los desechos de la Escuela van á dar al Río.

Gracias á los cuidados del señor Ingeniero D. Miguel de Quevedo se instaló últimamente un depurador biológico para purificar las aguas antes de arrojarlas al Río.

VIVERO DE COYOACÁN

Un poco arriba del vivero hay una toma de agua para los usos del Establecimiento.

El estado del líquido es de tal manera asqueroso que no se puede permanecer allí por lo malsano de las emanaciones del Río.

DISCUSIÓN DE LAS OBSERVACIONES

El examen general que acabo de hacer da bastante idea del estado ordinario de las aguas del Río de la Magdalena, pero debo advertir que es muy variable la proporción de substancias nocivas arrastradas, así como la coloración de la corriente.

Sin embargo no he llegado á ver ni una sola vez que las aguas estén enteramente transparentes é incoloras y que no emitan emanaciones peligrosas.

TRABAJOS TECNICOS

Con objeto de hacer un estudio lo más exacto posible y tener resultados que más se acercaran á la verdad, hicimos mi Ayudante y yo, la toma de las muestras á diversas horas del día y de la noche y en días diferentes. De este modo conseguimos obtener mejores resultados.

MANERA DE TOMAR LAS MUESTRAS

Usé una serie de frascos de vidrio, de 10 litros de capacidad cada uno, provistos de tapones esmerilados.

Al llegar á la corriente lavábamos varias veces el frasco con el agua que se iba á estudiar y lo llenábamos enteramente, teniendo cuidado de taparlo adentro del agua.

Una vez terminada esta operación sacábamos el frasco fuera del agua, lo secábamos, sujetábamos el tapón con un fuerte hilo de cáñamo, lo lacrábamos y sellábamos á fin de asegurarnos en el Laboratorio de que no había sido tocado el líquido encerrado.

En el mismo lugar donde tomábamos la muestra y en el momento de la operación poníamos etiquetas en cada frasco indicando el número de orden, el lugar, el día y la hora de la toma.

Estas muestras eran llevadas á la Prefectura de San Angel de donde se remitían al Instituto Geológico.

En el Laboratorio comprobábamos el buen estado de los frascos y que los sellos estaban intactos.

ANÁLISIS QUÍMICO CUALITATIVO

Procedí á hacer un examen físico al microscópio para examinar las materias en suspensión y después hice un análisis cualitativo, ciñéndome á la técnica clásica de Fresenius, Wanklyn, y adoptando algunos consejos prácticos de De la Coux.

ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO

Terminado el análisis químico cualitativo hice el cuantitativo, no despreciando los detalles más insignificantes, á fin de dar en conciencia un informe enteramente justificado.

Después de 208 cuanteos he podido resumir en el cuadro adjunto los análisis de las muestras de agua que recogimos mi Ayudante y yo.

En la primera columna he puesto el número de orden, en la segunda el nombre de la fábrica, en la tercera el día y en la cuarta la hora de la toma

de la muestra. Después siguen varias columnas en las que están indicadas arriba el nombre de la substancia cuanteadas y en la línea correspondiente el peso de la misma substancia.

Ciertas indagaciones como la del arsénico y de los metales tóxicos se hicieron con cuidado muy especial á fin de asegurar en lo posible su existencia.

DISCUSIÓN DE LOS ANÁLISIS

A pesar del cuidado que hemos tenido en tomar las muestras, los resultados obtenidos no representan el estado medio de la composición de las aguas del Río de la Magdalena, porque varía diariamente debido á la complejidad y variedad de las manipulaciones empleadas en las tintorerías de las fábricas. Aumentando el número de análisis se encontrarían resultados más exactos pero siempre alejados de la verdad por las razones arriba indicadas. Sin embargo, la parte común y el error de que adolecen todos los propietarios de las fábricas consiste en arrojar al Río todo género de inmundicias, particularmente las materias fecales de los excusados.

La constitución química de las materias colorantes, siendo tan extremadamente difícil de definir exactamente, no lo hemos podido hacer con todos sus detalles en el Laboratorio del Instituto, por carecer de elementos para ello y nuestro trabajo sobre este particular se concretó á buscar substancias venenosas en esas materias colorantes.

Generalmente no son las materias colorantes las nocivas, sino las sales con que están combinadas ó bien otros productos químicos que sirven para su fabricación.

PURIFICACIÓN DE LAS AGUAS

En el caso especial en que se encuentran las fábricas y la escasez del agua, es natural que la relación de las materias nocivas á la cantidad de agua sea muy grande cuando ésta disminuye por cualquiera circunstancia.

De aquí se deduce que hay urgente necesidad de aumentar por todos los medios posibles la cantidad del agua.

Pero esto simplemente serviría para diluir, por decirlo así, la cantidad de materias nocivas, y para que éstas disminuyan hay que quitar la causa para que cese el efecto.

¿Cómo llevarlo á cabo de un modo práctico?

Tres son los factores diferentes y las principales causas de la mala calidad del agua:

- 1º Las materias fecales.
- 2º Las materias orgánicas, otras que las fecales contienen en suspensión.
- 3º Las substancias solubles minerales y orgánicas.

86

cantidad de yodamina	Amplio salto	Amplio abundancia	Metales óxidos	Materia orgánica valorada en etanoácido
0.0037	0.0000	0.0000	0.0	0.6732
0.0032	0.0000	0.0000	0.0	0.0430
0.0063	0.0023	0.0021	?	0.2 87
0.0034	0.0019	0.0016	"	0.2300
0.0051	0.0024	0.0015	"	0.3090
0.0065	0.0023	0.0017	"	0.3800
0.0085	0.0021	0.0019	"	0.3950
0.0054	0.0021	0.0016	"	0.5210
0.0064	0.0016	0.0014	"	0.4670
0.0330	0.0017	0.0018	"	0.5540
0.0200	0.0012	0.0014	"	0.5300
0.0167	0.0032	0.0043	"	0.5100
0.0053	0.0073	0.0014	"	0.2790



MATERIAS FECALES

Después de muchos estudios de diferentes sabios higienistas se ha llegado á demostrar que ciertos agentes químicos y microbios transforman las materias fecales en productos útiles á la Agricultura.

Así es que si se facilita esta transformación se eliminará la primera causa.

Para esto debe de obligarse á los propietarios de las fábricas á construir fosas sépticas y tanques de depuración biológica, é impedir por todos los medios legales que la gente arroje inmundicias á la corriente.

Todas las muestras analizadas acusan la presencia de nitratos, nitritos, amoníaco salino y amoníaco albuminoide. El papel de estos cuerpos está ya enteramente definido en la Agricultura, y según la opinión de los tratadistas son benéficas estas substancias en vez de ser nocivas.

Consulté á este respecto la muy inteligente opinión del señor Ingeniero Agrónomo D. Andrés Basurto, quien estuvo de acuerdo con mis conclusiones.

MATERIAS ORGÁNICAS EN SUSPENSIÓN

Estas se pueden quitar filtrando metódicamente las aguas que salen de las fábricas, antes de volverlas al Río.

Muchos filtros se han usado para este efecto y un procedimiento practico consiste en usar un sistema de dos filtros separados que contienen cada uno capas alternadas de arena y carbón. Es conveniente usar dos filtros para que uno trabaje mientras el otro se limpia.

Hay que renovar estas capas cada vez que se observa que el agua que sale está turbia.

MATERIAS MINERALES Y ORGÁNICAS EN DISOLUCIÓN

Los filtros pueden quitar la substancia que existe en suspensión en las aguas, pero es imposible quitar enteramente las substancias disueltas, porque no hay ningún medio práctico que pueda usarse.

Sin embargo, se puede obtener una buena precipitación de las substancias minerales nocivas disueltas, usando la cal como agente químico.

Para esto es conveniente emplear la cal en polvo que se pone en un filtro en capas delgadas alternando con capas de carbón de leña.

La cal precipita las bases nocivas las cuales son detenidas por el carbón.

En cuanto á las substancias orgánicas, materias colorantes, etc., disueltas se pueden quitar aereando las aguas ampliamente y filtrándolas.

A pesar de esta purificación y por más perfecta que sea, el agua es impropia para los usos domésticos.

Algunos higienistas europeos admiten pequeñas cantidades de amoníaco

co albuminoide, pero esta cuestión ha sido muy discutida. Basta encontrar huellas de esa substancia en una agua para desecharla como potable.

En el caso particular de que me ocupo, sólo algunos medios muy complicados darán resultados satisfactorios, pero son muy difíciles de llevar á la práctica.

RESUMEN

1º Las aguas del Río de la Magdalena son impotables y no hay medio práctico para devolverles su potabilidad.

2º La aguas de consumo para la economía doméstica deben de captarse de los manantiales mismos, entubarse y distribuirse.

3º Debe la autoridad, por todos los medios legales, impedir que se arrojen inmundicias al Río.

4º Las aguas que salgan de cada fábrica deberán sufrir una depuración biológica, un tratamiento con cal, una larga aereación y una filtración antes de ser devueltas al Río.

5º Las aguas así purificadas pueden servir para la Agricultura.

Antes de terminar, creo de mi deber hacer pública mi gratitud al señor Prefecto Político de San Angel y al Sr. Lic. D. Eduardo Tamariz, con cuya poderosa ayuda conté para llevar á buen término mi trabajo.

México, Junio 24 de 1909.

LAMINAS

- Lámina I.—Fig. 1. Terreno plano de Santiago Tepalcatlapa para Xochimilco.
,, 2. Acantilados en la barranca de la Magdalena.
- ,, II.—Fig. 1. Cavidades en el basalto de San Mateo Xalpa.
,, 2. ,, ,, ,, ,, las faldas del Teuhctli.
- ,, III.—Fig. 1. Capitas de arena volcánica en la falda Norte del cerro Magdalena.
,, 2. ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,,
- ,, IV.—Fig. 1. Capitas de arena volcánica en la falda oriental del cerro Coaxoayaque.
,, 2. Corrientes de basalto cerca de San Andrés Acuayua.
- ,, V.—Fig. 1. Corrientes de basalto cerca de Tlalpan.
,, 2. Capitas de arena cubiertas por toba arenosa en las cercanías del Guarda.
- ,, VI.—Fig. 1. Borde acantilado de la barranca la Magdalena en el lugar llamado el Ocotol.
Fig. 2. Manantial de Coaxoayaque.
- ,, VII.—Fig. 1. Manantial cerca de Cieneguillitas.
,, 2. ,, del Campanario.
- ,, VIII.—Fig. 1. Manantial en el cerro Zacapatongo.
,, 2. Manantiales de Peña Pobre.
- ,, IX.—Fig. 1. Manantiales de Peña Pobre.
,, 2. ,, ,, ,, ,,
- ,, X.—Fig. 1. Manantiales de Peña Pobre.
,, 2. ,, ,, las Fuentes de Tlalpan.
- ,, XI.—Fig. 1. Manantiales de las Fuentes de Tlalpan.
,, 2. ,, del Santo Niño.
- ,, XII.—Fig. 1. Manantiales del Santo Niño.
,, 2. Pozo brotante de la Taxqueña.
- ,, XIII.—Croquis geológico del borde meridional de la Cuenca de México (1:100,000).
-



Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 1.



Fig. 2.

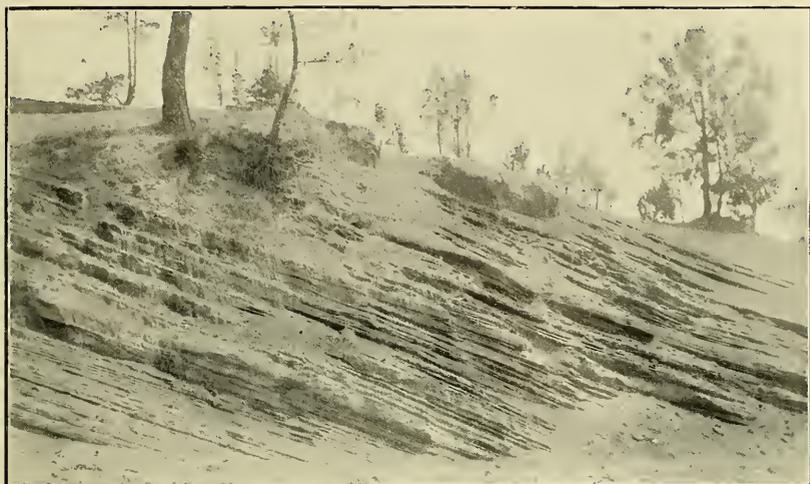


Fig. 1.



Fig. 2.

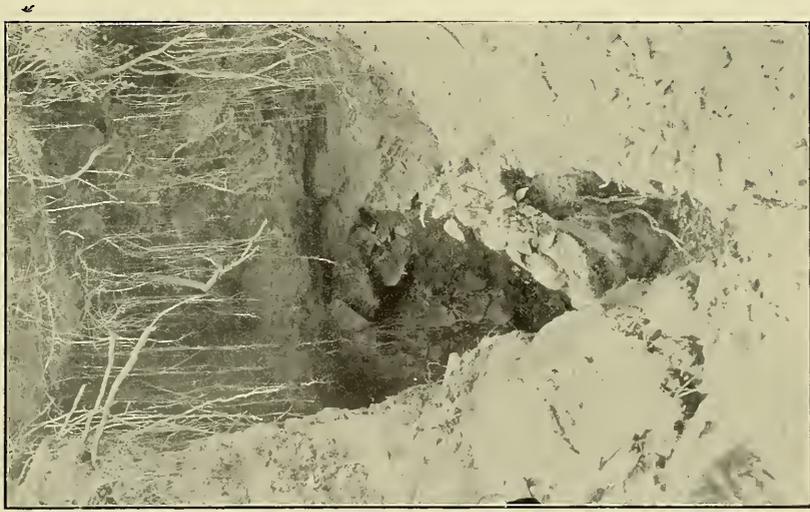


Fig. 1.

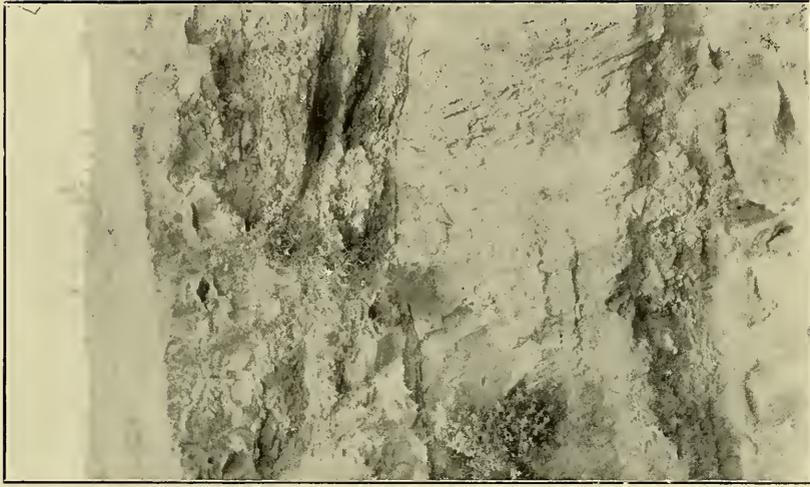


Fig. 2.



Fig. 1.

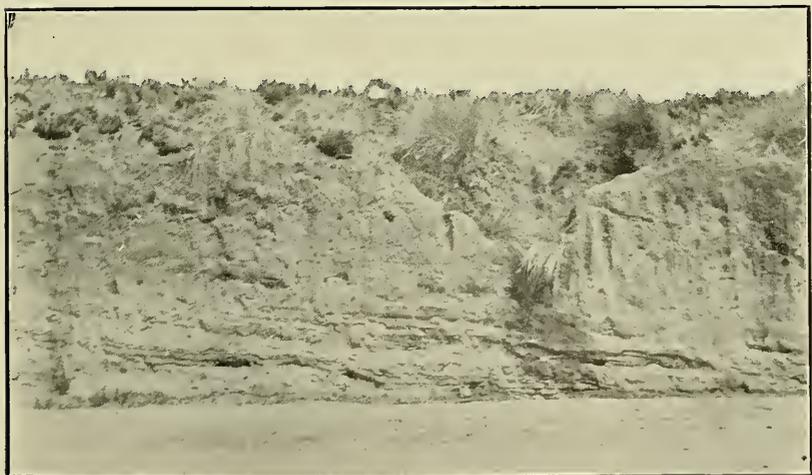


Fig. 2.

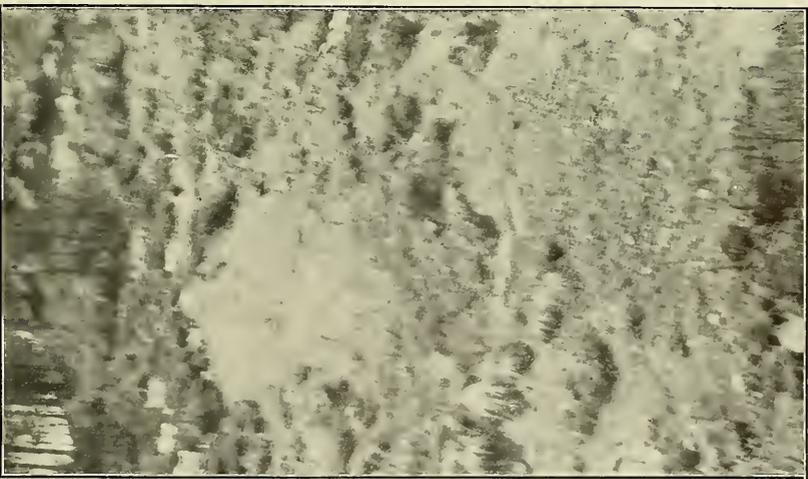


Fig. 1.



Fig. 2.

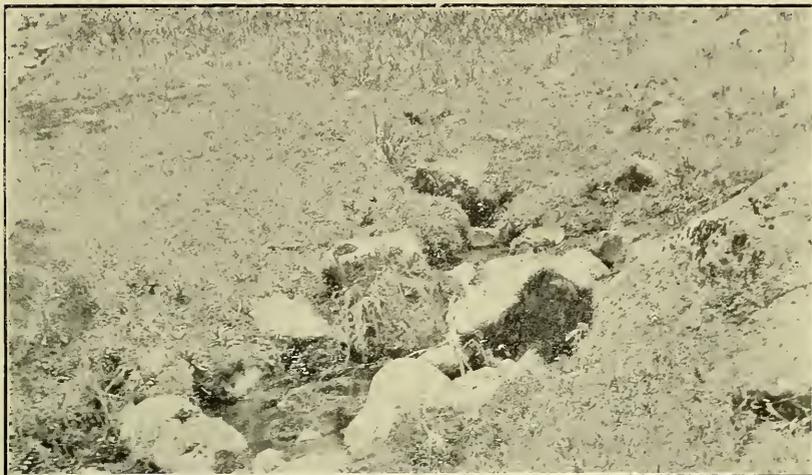


Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 1.



Fig. 2.

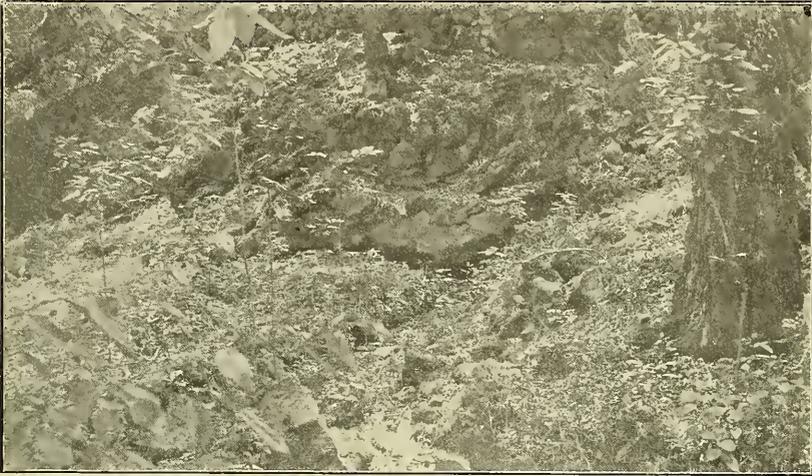


Fig. 1.



Fig. 2.

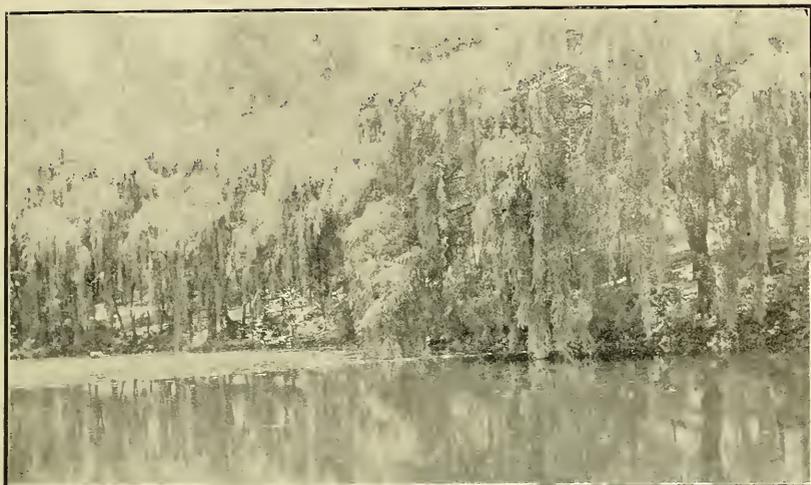


Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 1.

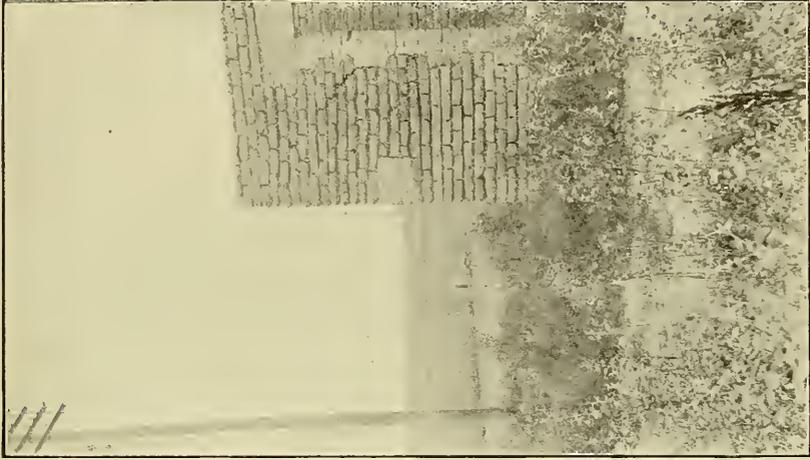


Fig. 2.

CRONOLOGIA GEOLOGICA

PERIODO

CUENCA DE MEXICALCO

ESCALA 1:100,000



EXPLI II

- I Andesita de
- II Andesita d
- III Basaltos, cl
- IV Tobas detr
- V Arenas volc
- VI Arenas y tol
- VII Tobas aren
- Manantial o

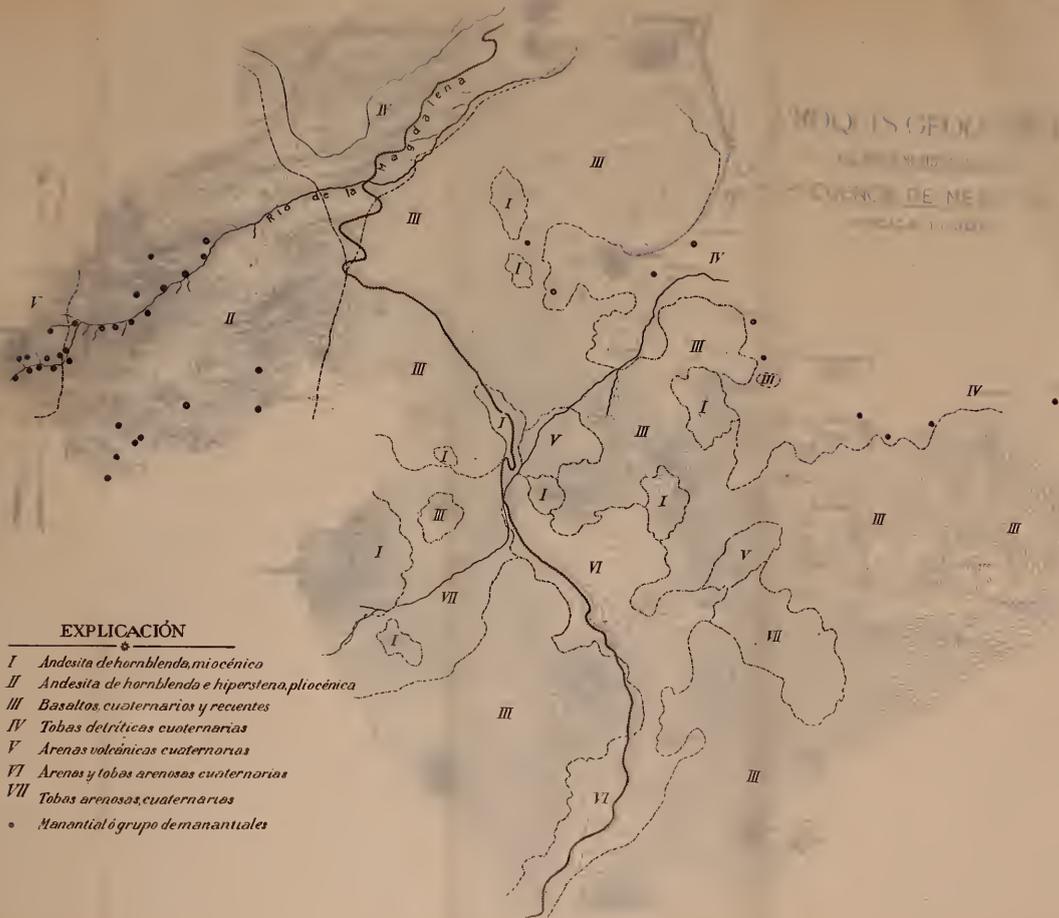


MOQUISGEO

ALBUQUERQUE

CUENCA DE NE

MOCA 1900



PUBLICACIONES DEL INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

BOLETIN (4^o)

- * Núm. 1.—Fauna Fósil de la Sierra de Catorce, por A. del Castillo y J. G. Aguilera.—1895—56 pp., 21 lám.
- * Núm. 2.—Las Rocas Eruptivas del S. O. de la Cuenca de México, por E. Ordóñez.—1895.—46 pp., 1 lám.
- * Núm. 3.—La Geografía Física y la Geología de la Península de Yucatán, por C. Sapper.—1896.—58 pp., 6 lám.
- * Núms. 4, 5 y 6.—Bosquejo Geológico de México.—1897.—272 pp., 5 lám.
- * Núms. 7, 8 y 9.—El Mineral de Pachuca.—1897.—184 pp., 14 lám.
- * Núm. 10.—Bibliografía Geológica y Minera de la República Mexicana, por R. Aguilar y Santillán.—1898.—158 pp.
- * Núm. 11.—Catálogos sistemático y geográfico de las especies mineralógicas de la República Mexicana, por José G. Aguilera.—1898.—158 pp.
- * Núm. 12.—El Real del Monte, por E. Ordóñez y M. Rangel.—1899.—108 pp., 26 lám.
- * Núm. 13.—Geología de los alrededores de Orizaba, con un perfil de la vertiente oriental de la Mesa Central de México, por Emilio Böse.—1899.—54 pp., 3 lám.
- * Núm. 14.—Las Rhyolitas de México (Primera parte), por E. Ordóñez.—1900.—78 pp., 6 lám.
- * Núm. 15.—Las Rhyolitas de México (Segunda parte), por E. Ordóñez.—1901.—78 pp., 6 lám.
- Núm. 16.—Los Criaderos de fierro del Cerro del Mercado en Durango, por M. Rangel, y de la Hacienda de Vaquerías, Estado de Hidalgo, por J. D. Villarello y E. Böse.—1902.—144 pp., 5 lám.
- Núm. 17.—Bibliografía Geológica y Minera de la República Mexicana, completada hasta 1904, por R. Aguilar y Santillán.—1908.—XIII—330 pp.
- Núm. 20.—Reseña acerca de la geología de Chiapas y Tabasco, por el Dr. E. Böse.—1905.—116 pp., 9 lám.
- Núm. 21.—La Faune Marine du Trias Supérieur de Zacatecas par le Dr. C. Burckhardt avec la collaboration du Dr. S. Scalia.—1905.—44 pp., 8 pl.
- Núm. 22.—Sobre algunas faunas terciarias de México, por el Dr. E. Böse.—1906.—96 pp., 12 lám.
- Núm. 23.—La faune jurassique de Mazapil, Zac., par le Dr. C. Burckhardt.—1906.—216 pp., 43 pl.
- Núm. 24.—La fauna de moluscos del Senoniano de Cárdenas, S. L. P., por el Dr. E. Böse.—1906.—95 pp., 18 lám.
- Núm. 25.—Monografía Geológica y Paleontológica del Cerro de Muleros, cerca de Ciudad Juárez, Estado de Chihuahua y descripción de la Fauna Cretácea de la Encantada, cerca de Placer de Guadalupe, Estado de Chihuahua, por el Dr. E. Böse.—1910.—196 pp., 50 lám.
- Núm. 26.—Algunas regiones petrolíferas de México, por el Ing. J. D. Villarello.—1908.—122 pp. 3 lám.
- Núm. 27.—La Granodiorita de Concepción del Oro en el Estado de Zacatecas y sus formaciones de contacto, por el Dr. Alfred Bergeat.—1910.—109 pp., 9 láms. y 15 figs.
- Núm. 28.—Las aguas subterráneas en el borde meridional de la Cuenca de México, por el Ing. J. D. Villarello.—12 láminas y 1 croquis geológico (1:100,000).—Informe sobre las aguas del Río de la Magdalena, por el Prof. J. S. Agraz.—1911.—81 pp.
- Núm. 29.—Faunes jurasiques et crétaciques de San Pedro del Gallo, Durango, par le Dr. C. Burckhardt. 46 pl. [*En prensa*].

PARERGONES (8^o)

- * Tomo I. N^o 1.—Los temblores de Zanatepec, Oaxaca.—Estado actual del Volcán de Tacaná, Chiapas, por Emilio Böse.—1903.—25 pp., 4 lám.
- * Núm. 2.—Fisiografía, Geología e Hidrología de los alrededores de La Paz, Baja California, por E. Angermann.—El área cubierta por la ceniza del Volcán de Santa María, Octubre de 1902, por Emilio Böse.—1904.—26 pp., 3 lám.
- Núm. 3.—El Mineral de Angangueo, Michoacán, por E. Ordóñez.—Análisis de una muestra de granate del Mineral de Pihuamo, Jalisco, por J. D. Villarello.—Apuntes sobre el Paleozoico en Sonora, por E. Angermann.—1904.—34 pp., 2 lám.
- Núm. 4.—Estudio de la teoría química propuesta por el Sr. Andrés Almaraz para explicar la formación del petróleo de Aragón, México, D. F., por J. D. Villarello.—El fierro meteórico de Bacubirito, Sinaloa, por E. Angermann.—Las aguas subterráneas de Amozoc, Puebla, por E. Ordóñez.—1904.—24 pp., 1 lám.
- Núm. 5.—Informe sobre el temblor del 16 de Enero de 1902 en el Estado de Guerrero, por los Dres. E. Böse y E. Angermann.—Estudio de una muestra de mineral asbestiforme procedente del Rancho del Ahuacatillo, Distrito de Zinapécuaro, E. de Michoacán, por el Ing. J. D. Villarello.—1904.—26 pp.
- Núm. 6.—Estudio de la hidrología subterránea de la región de Cadereyta Méndez, E. de Querétaro, por el Ing. J. D. Villarello.—1904.—58 pp., 2 lám.
- Núm. 7.—Estudio de una muestra de grafito de Ejutla, Estado de Oaxaca, por el Ing. J. D. Villarello.—Análisis de las cenizas del Volcán de Santa María, Guatemala, por el Ing. E. Ordóñez.—1904.—26 pp.
- Núm. 8.—Hidrología subterránea de los alrededores de Querétaro, por el Ing. J. D. Villarello.—1905.—56 pp., 3 láminas y 2 figuras.
- Núm. 9.—Los Xalapazcos del Estado de Puebla, por el Ing. E. Ordóñez (Primera parte).—1905.—54 pp., 1 plano y 4 lám.
- Núm. 10.—Los Xalapazcos del Estado de Puebla, por el Ing. E. Ordóñez (Segunda parte).—1905.—45 pp., 3 planos y 8 lám.
- Tomo II.—N^o 1.—Explicación del Plano Geológico de la Región de San Pedro del Gallo, Estado de Durango, por el Dr. Phil. Ernesto Angermann.—Sobre la Geología de la Buía, Mapimí, Estado de Durango, por Ernesto Angermann, Dr. Phil.—Notas Geológicas sobre el Cretáceo en el Estado de Colima, por el Dr. E. Angermann.—1907.—35 pp., 3 lám.

* Agotado.

- Núm. 2.—Sobre algunos fósiles pleistocénicos recogidos por el Sr. Dr. E. Angermann, en la Baja California, por el Dr. E. Bose.—Sobre la aplicación de la Potasa cáustica á la preparación de fósiles, por Emilio Bose y Victor von Vigier.—Sobre las rocas fosforíticas de las Sierras de Mazapil y Concepción del Oro, Zacatecas, por el Dr. Carlos Burckhardt.—1907.—31 pp., 1 lám.
- Núm. 3.—El Volcán Jorullo, por el Ingeniero de Minas Andrés Villafaña.—1907.—58 pp., 8 lám.
- * Números 4, 5 y 6.—El temblor del 14 de Abril de 1907, por el Dr. Emilio Bose, é Ingenieros A. Villafaña y J. García y García.—1908.—124 pp., 43 lám. y 1 cuad.
- Núm. 7.—El Valle de Cerritos, Estado de San Luis Potosí, por el Ing. Ezequiel Ordóñez, p. 263-273.—Fuente termal en Cuitzeo de Abasco, Estado de Guanajuato, por el Ing. Andrés Villafaña, p. 277-287, láminas LVI—LVII.—1908.
- Núm. 8.—Estudio hidrológico de la región de Rioverde y Arroyo Seco, en los Estados de San Luis Potosí y Querétaro, por el Ing. Trinidad Paredes, p. 289-337, lám. LVIII.—1909.
- Núm. 9.—Hidrología subterránea de los alrededores de Pátzcuaro, Estado de Michoacán, por el Ing. J. D. Villarello, pp. 339-362.—El hundimiento del Cerro de Sartenejas, en los alrededores de Tetecala, Estado de Morelos, por el Ing. T. Flores, pp. 363-384, láminas LIX á LXII.—1909.
- Núm. 10.—Catálogo de los temblores (macroseísmos) sentidos en la República Mexicana, durante los años de 1904 á 1908, pp. 389-467.—1909.
- Tomo III.—Nº 1.—El Pozo de Petróleo de Dos Bocas, por el Ing. J. D. Villarello, pp. 5-112, láms. I-XXXVII.—1909.
- Núm. 2.—Estudio geológico de los alrededores de una parte del Río Nazas en relación con el proyecto de una presa en el cañón de Fernández, por el Dr. C. Burckhardt é Ing. J. D. Villarello, pp. 117-135, láms. XXXVIII-XXXVI.—1909.
- Núm. 3.—Estudio hidrológico del Valle de Ixmiquilpan, Estado de Hidalgo, por el Ing. Trinidad Paredes, pp. 141-172, láms. XXXVII-XLIV.—Catálogo de los temblores (macro y microseísmos) sentidos en la República Mexicana, durante el primer semestre de 1909, pp. 173-199.—1909.
- Núm. 4.—Hidrología subterránea de la Comarca lagunera del Tlahuallio, por el Ing. J. D. Villarello, pp. 201-251, láms. XLV-XLVIII.—1910.
- Núm. 5.—Nuevos datos para la Estratigrafía del Cretácico en México, por el Dr. E. Bose, pp. 257-280.—Nuevos datos sobre el Jurásico y el Cretácico en México, por el Dr. C. Burckhardt, pp. 281-301.—1910.
- Núm. 6.—Estudio Geológico de la región de San Pedro del Gallo, Durango, por el Dr. C. Burckhardt, pp. 307-357, láms. XLIX-LI (Plano Geológico, 1:25,000) y 9 figs.—Plesiosaurus (Polyptychodon?) Mexicanus Wieland, por el Dr. G. R. Wieland, pp. 359-365, lám. LII.—1910.
- Núm. 7.—Informe acerca de una excursión geológica preliminar efectuada en el Estado de Yucatán, por Jorge Engerrand y Fernando Urbina, con la colaboración del Ing. J. Baz y Dresch, pp. 369-424, láms. LIII-LXXIV.—Estudio químico y óptico de una labradorita del Pinacate, Sonora, por el Ing. Y. S. Bonillas, pp. 425-432, lám. LXXV.—1910.
- Núm. 8.—Catálogo de los temblores (macroseísmos) sentidos en la República Mexicana y Microseísmos registrados en la Estación Seismológica Central, Tacubaya, D. F., durante el segundo semestre de 1909, pp. 435-496.—1911.
- Núm. 9.—Reconocimiento de algunos criaderos de hierro del Estado de Oaxaca, por Y. S. Bonillas, pp. 499-524, láms. LXXVI-LXXIX.—1911.
- Núm. 10.—Catálogo de los temblores (macroseísmos) sentidos en la República Mexicana y microseísmos registrados en la Estación Seismológica Central, Tacubaya, D. F., durante el año de 1910 [*En prensa*].

* Agotado



INDICE

	Páginas
INTRODUCCION.....	1
FISIOGRAFIA	3
Sierras que limitan á la cuenca de México.....	3
Planicie de México.....	4
Ríos que nacen en las sierras de Monte Alto, Las Cruces y el Ajusco.....	5
Notables diferencias en el gasto de los ríos que bajan de la sierra del Ajusco, comparado con el de los ríos que descienden de las sierras de Las Cruces y Monte Alto.....	5
El relieve de la serranía del Ajusco.....	6
Cambios de fisonomía del terreno en la sierra del Ajusco.....	8
Sistema hidrográfico superficial en la sierra del Ajusco	9
El relieve del terreno en los alrededores del río de la Magdalena y hacienda de Eslava..	9
La barranca de la Magdalena.....	10
GEOLOGIA DE LA REGION	13
Historia geológica de la región.....	13
Literatura geológica de la región.....	15
La andesita de hornblenda miocénica que constituye el núcleo de la sierra del Ajusco...	15
La andesita de hornblenda é hyperstena de los alrededores del río de la Magdalena y hacienda de Eslava.....	16
Material arcilloso que cubre en parte á la andesita anterior.....	17
Brechas y tobas que cubren á las andesitas en la parte baja de las serranías del Ajusco y las Cruces.....	18
Los basaltos cuaternarios y recientes del Ajusco.....	18
Arenas y cenizas volcánicas depositadas sobre el basalto en el Ajusco, y sobre la andesita en el río de la Magdalena.....	19
Relleno del fondo de la cuenca de México.....	22
HIDROLOGIA DE LA REGION.....	25
Permeabilidad relativa de las rocas de la región.....	25
Impermeabilidad del núcleo de andesita de hornblenda de las sierras del Ajusco y las Cruces.....	28
División de las aguas subterráneas por el núcleo impermeable anterior.....	29
Superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos que desaguan por los manantiales del río de la Magdalena, hacienda de Eslava, Tlalpan, Xochimilco y Chalco.....	29
Trayecto poco profundo de las aguas subterráneas de la región	29
División del terreno estudiado en tres zonas.....	30
Hidrología de la zona del río de la Magdalena y hacienda de Eslava.....	30
Rocas que afloran en esta zona.....	30
Coeficientes aproximados de infiltración de estas rocas.....	31

	Página.
Superficie de alimentación en esta zona.....	31
Receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en la andesita de hornblenda é hyperstena.....	32
Manantiales de la hacienda de Eslava y algunos del río de la Magdalena.....	33
Importancia del material arcillo-arenoso que cubre á la andesita anterior.....	36
Efecto nocivo de la erosión en los depósitos de arena ó arcillo-arenosos de esta zona.....	37 y 39
Manantiales del Ocotal y Cieneguillas.....	40
Ciénagas en esta zona.....	41
Reinfiltración de una parte del agua que sale por los manantiales.....	43
Geología é hidrología de las lomas de San Bartolo y Tetelpa, al Sur Poniente de S. Angel.....	44
Volumen de agua que anualmente circula en el subsuelo de esta zona.....	45
Hidrología de la zona La Magdalena-Tlalpan.....	46
Rocas que afloran en esta zona.....	46
Superficie de alimentación en esta zona.....	47
Coefficientes aproximados de infiltración.....	47
Altura total de lluvia anual en el Ajusco.....	49
Volumen de agua que anualmente circula en el subsuelo de esta zona.....	50
Receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en los basaltos del Ajusco.....	50
Velocidad de circulación subterránea del agua en los basaltos de la región.....	51
Los depósitos de arena como reguladores de la circulación subterránea del agua.....	51
Circulación subterránea del agua en las brechas y tobas.....	54
Manantiales de los alrededores de Tlalpan.....	50, 53 y 55
Hidrología de la zona Cuautzín-Teuhctli-Xochimilco.....	56
Rocas que afloran en esta zona.....	56
Superficie de alimentación en esta zona.....	57
Coefficientes aproximados de infiltración.....	57
Volumen de agua que anualmente circula en el subsuelo de esta zona.....	57
Zona de contacto de los basaltos y tobas del Ajusco, con los sedimentos lacustres del fondo de la cuenca.....	59
Manantiales de Xochimilco y Chalco.....	60
Hidrología de la cuenca de México.....	61
Rocas que constituyen el fondo y el relleno de la cuenca de México.....	22 y 61
Receptáculos acuíferos subterráneos contenidos en el subsuelo de esta planicie.....	60 y 62
Aguas freáticas, artesianas y brotantes de esta planicie.....	63
Agua brotante acompañada de gases.....	64
Los cerros aislados de la planicie de México y los manantiales situados al pie de estos cerros.....	65
La vegetación forestal y el aumento de volumen de las aguas subterráneas.....	66
Los bosques y la distribución de las lluvias locales.....	66
La vegetación arbolada como coraza vegetal que impide la erosión del terreno.....	67
Los despojos vegetales y la infiltración del agua.....	67
El follaje y la evaporación del agua infiltrada.....	68
Los despojos vegetales y la regularización de las corrientes de agua subterráneas y superficiales.....	69
Manera práctica de aumentar el caudal de agua que anualmente circula en el subsuelo de la región estudiada.....	70
Obras de captación de aguas subterráneas.....	71
Socavones en la zona del río de la Magdalena y hacienda de Eslava.....	74
Socavones en las zonas la Magdalena-Tlalpan, y Cuautzín-Teuhctli-Xochimilco.....	74
Pozos al pie de la serranía del Ajusco.....	60 y 75
Temperatura de las aguas subterráneas de esta región.....	29, 36, 40, 55 y 64
Cuestiones de salubridad pública.....	46, 56 y 60
CONCLUSIONES.....	76
INFORME sobre las aguas del Río de la Magdalena, por el Prof. J. S. Agram.....	81

L'Institut Géologique National du Mexique

recevra avec grand intérêt les publications concernant la Géologie, la Géographie physique et l'Histoire Naturelle en général, qu'on voudra bien lui envoyer, en échange de son BULLETIN qui se publie par fascicules in 4° avec figures et planches. Le numéro 1 de ce recueil a paru en 1895 sous le titre de BOLETÍN DE LA COMISIÓN GEOLÓGICA DE MÉXICO.

L'Institut est installé définitivement dans son nouveau bâtiment 6^a DEL CIPRÉS N^o 176; on est prié de vouloir bien prendre note de sa nouvelle adresse, et aussi de ce qu'il est entièrement indépendant de l'Ecole des Ingénieurs qui lui a accordé autrefois une gracieuse hospitalité.

Adresse:

Instituto Geológico de México,

6^a del Ciprés núm. 176.

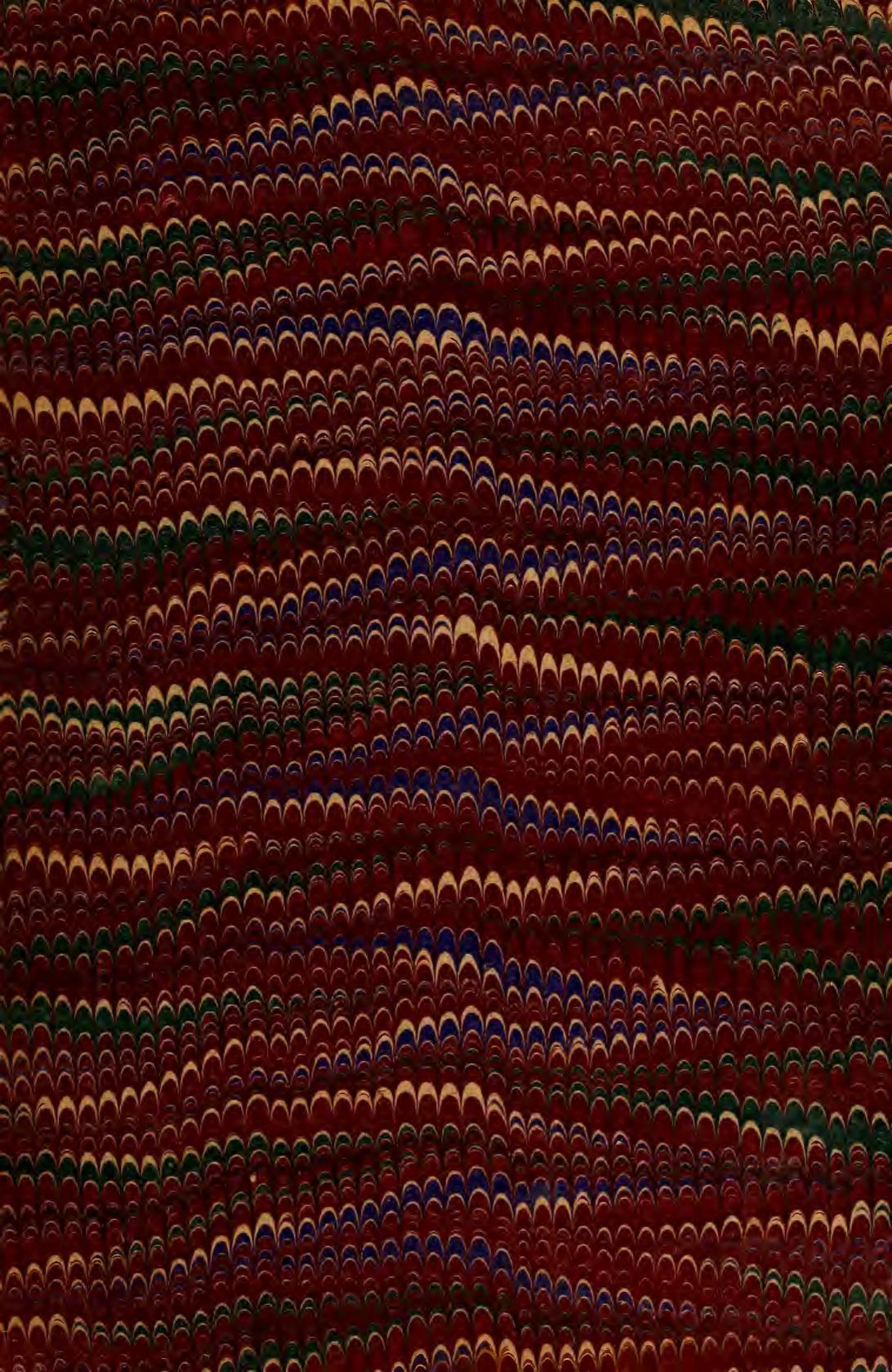
MÉXICO, D. F.

MEXIQUE.

Amérique du Nord.

On est instamment prié d'accuser réception. Dans le cas où cette formalité aurait été négligée, on serait considéré comme ne désirant plus continuer à recevoir les publications de l'Institut Géologique du Mexique.





SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES



3 9088 01224 2509

