

son casi idénticas con las que menciona FIELD. Láminas muy finas de contornos angulosos pero irregulares, de un verde muy oscuro y provistas de surcos ó rayas paralelas. La roca que las sostiene fijadas en un lecho ocráceo, está rotulada: «Rodado encontrado en el llano Juego de Chueca, á 3 leguas de la mina Zorraquina, del mineral de Chañarcillito, entre Copiapó y Puerto Viejo de Copiapó, 14 leguas distante del puerto de Caldera. Enero de 1877.»

Oxido de cobre	55.06
Cloro	16.18
Cobre.....	14.47
Agua.....	13.93
Parte insoluble	0.36

15. Otra muestra traída por el finado geólogo Volkmann, de una mina por cuyo nombre apunta el del dueño «Erdmann,» cerca de Copiapó, se parece en todo á la anterior. El residuo insoluble en ácido nítrico es un polvo negro - amarillento algo voluminoso.

Oxido de cobre.....	53.41
Cloro.....	15.64
Cobre.....	13.99
Agua.....	14.04
Sulfato de cal.....	vestigio
Parte insoluble	3.15

16. Ahí pertenece también la atacamita de Los Bordos, pegada en forma de tenues escamas á un criadero arcilloso atravesado por venillas del oxiclورو. Debajo de la sal verde se asoma una capa de óxido moreno de hierro y uno que otro cristal de yeso. Asimismo constituye el óxido de hierro la suma de las partículas que resisten á la acción de los ácidos diluídos.

Oxido de cobre	56.48
Cloro	15.14
Cobre.....	13.54
Agua.....	14.43
Acido sulfúrico	0.13
Parte insoluble	0.45

17. El sulfato de cal es el compañero constante de muchas atacamitas. Según DOMEYKO, el núcleo de las masas es á veces ocupado por un cristal de yeso. Su presencia, que de ninguna manera es esencial para la constitución del oxiclورو, arroja luz sobre su origen. No falta tampoco en otras dos muestras procedentes de la provincia de Atacama, cuya localidad no va designada. En ambas la sal verdinegra se eleva en forma basáltica de un lecho de arcilla blanca, que en todas direcciones va atravesada por venillas verdiclaras. La masa apretada de los cristales filiformes no deja reconocer caras distintas, la sección transversal tiene apariencia celular, porosa como ciertas lavas ó escorias. Uno que otro grano de hierro rojo se esconde en los intersticios; pero al pulverizar se separa fácilmente.

	I.	II.
Oxido de cobre.....	54.55	55.65
Cloro.....	16.30	15.82
Cobre.....	14.58	14.15
Agua.....	13.39	14.30
Sulfato de cal.....	vestigio	vestigio
Residuo.....	0.93	0.08

18. Omíto apuntar la composición de las asociaciones en que la atacamita sale adulterada por ocre, óxidos y sulfatos de varias bases, que abundan por toda la región minera del norte y algunas de las cuales son ricas en plata. Sin embargo, para darse cuenta de los procesos que concurren en la formación del oxiclورو, no es indiferente su vasta difusión por todos los niveles. RAIMONDI lo menciona en compañía con la argentita, ce-

rusita y crisocola de Arequipa, con la mareylita, chalcosina y brochantita del camino de Arequipa y con la kerargirita, argentita y malaquita de Huantajaya.

El mineral que BREITHAUPT (*Berg- und Hüttenmännische Zeitung*, tomo XXIV, pág. 310), describe bajo la denominación de atlasita, procedente del cerro de Chañarcillo, no es más que una malaquita impregnada con atacamita. BIBRA (*Beiträge zur Naturgeschichte von Chile*, pág. 6, en *Denkschriften der Kais. Akademie der Wissenschaften zu Wien*, tomo V), denuncia la última también como existente en el granito de Valparaíso. Tanto en las llamadas blancas como en los carbonatos de cobre naturales, su presencia es muy común. En una malaquita de verdepueerro del manto Tres Gracias, mineral Pueblo Hundido, departamento de Chañaral, encontré:

Oxido de cobre	67.4
Cloro	0.5
Acido sulfúrico	2.4
Cal	2.2
Agua y ácido carbónico	21.4
Residuo	6.1

Valdría un estudio detenido determinar los límites geográficos de esta cloruración, que no puede ser la obra de las aguas circulantes, y más bien indica trastornos de trascendental alcance.

19. En cuanto á la composición química que aquí tratamos de preferencia, basta una mirada á los cuadros insertados para desistir del propósito de referirlos á una sola fórmula típica, aun cuando sólo se la reserve para los números 13 á 17, porque la mayor parte de las sustancias escogidas no son de ejemplar pureza: es preciso no olvidar que las pocas y sencillas operaciones analíticas que se exigen para determinar la proporción de los componentes, no dejan lugar á desviaciones de consideración. El cloro bajo las circunstancias dadas se puede dosificar

con plena exactitud hasta en centésimos por ciento. Es, pues, inadmisibile tomar las variaciones por casuales. Para mayor claridad sigue un cuadro que comprende los minerales antes enumerados, calculados en su estado normal:

	13	14	15	16	17	
					I.	II.
Oxido de cobre...	57.01	54.77	55.26	56.77	55.26	55.70
Cloro	13.79	15.77	16.24	15.21	16.45	15.83
Cobre	12.11	14.10	14.52	13.61	14.72	14.16
Agua	17.09	15.36	13.98	14.41	13.57	14.31

Sin escrúpulo se reunirían los números 6, 7, 9 I, 14, 15, 16, 17 en todo caso en que la complicación de la constitución atómica justificara cierta tolerancia. Porque todos ellos se acercan á $\text{CuCl}_2, 3 \text{CuO}, 3 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$. Los autores asignan á la atacamita, unos la fórmula $\text{CuCl}_2, 3 \text{CuO}, 3 \text{H}_2\text{O}$, otros $\text{CuCl}_2, 3 \text{CuO}, 4 \text{H}_2\text{O}$. Reproducimos los valores para cada una:

	$3 \text{H}_2\text{O}$	$3 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$	$4 \text{H}_2\text{O}$
	II.	II.	II.
Oxido de cobre	55.85	54.72	53.59
Cloro	16.63	16.29	15.96
Cobre	14.87	14.57	14.27
Agua	12.65	14.42	16.18

Me parece que la última de las tres no tiene real existencia en la naturaleza. Pero aun la segunda que aparentemente sostiene diversas cristalizaciones, es demasiado complicada para ser aceptada. Con justa razón se debe suponer las combinaciones más sencillas en los minerales, por ser las únicas duraderas y resistentes. Para los silicatos que parecen formar excepción de este principio establecido por la química sintética, últimamente F. W. CLARKE, en una conferencia celebrada ante la Asociación Británica en Manchester, ha insistido en hacerlo valer en todas sus consecuencias. Y en verdad, los silicatos más

volubles en cuanto á su composición, son precisamente los que han sido demostrados por simples mezclas ó por asociaciones de dos especies perfectamente circunscritas y relativamente poco complicadas en su estructura molecular.

Admitamos por el momento que la segunda formulación exprese bien los casos designados cuyo término medio ni siquiera se aviene con lo que pide la teoría. Entonces habría que inventar para 3, 4, 5, 8, 9 II, III, 12, 13, otros tipos nuevos. La existencia de tan numerosas combinaciones que entre sí distan por fracciones crecidas ó sea por cuotas muy pequeñas, pugna con el hecho de que raras veces dos sustancias son combinables en proporciones que poco difieren entre sí. Además, á estos cambios debían corresponder variaciones de aspecto y de forma que la atacamita no revela en igual grado. Sin embargo, la irregular conformación de los cristales, sus ángulos variables dentro de límites no bien determinados (véase á este respecto los estudios de BRÖGGER y VOM RATH, contenidos en el *Zeitschrift für Krystallographie*, tomos III y V), su aglomeración y aparente mutilación son otros tantos elementos que abogan en pro de la opinión que la atacamita raras veces es una unidad mineralógica, sino que se compone generalmente de dos ó más individuos que se juntan en diversas proporciones.

Este modo de ver es análogo á la teoría de TSCHERMAK sobre los feldespatos, ó para citar un ejemplo que más se acerca al caso presente, á la chabacita y los homólogos que STRENG incluye en ella. Sin duda hay muchos minerales á que debe aplicarse esta génesis que se conforma admirablemente bien con las condiciones de una lenta descomposición que es la más verosímil. Me faltan materiales y datos para pronunciarme sobre los tipos extremos que servirían de base á la atacamita: el uno es probablemente $\text{CuCl}_2, 3\text{CuO}, 3\text{H}_2\text{O}$, como en 6 y 7, el otro es relativamente más rico en óxido de cobre y mucho más en agua, tal vez, $\text{CuCl}_2, 4\text{CuO}, 6\text{H}_2\text{O}$.

20. Las analogías que ligan la atacamita y la malaquita y brochantita, confirman estas aserciones. Fué NAUMANN quien

urgió las relaciones que pueden establecerse entre el cloruro y el carbonato, guiado por el propósito de explicar su metamorfosis por un simple cambio de una parte de los constituyentes. Más palpable es la semejanza con la brochantita ó sea el conjunto de los sulfatos básicos que ocurren en circunstancias no muy diversas de la atacamita, á la que se parecen á tal punto por su color y formas cristalográficas, que para la simple vista á veces se confunden. En atención á sus componentes, se repite la misma inconstancia que ha motivado las prolijas comparaciones en 19. Sólo para el subsulfato la nomenclatura ha llegado á hacerse más intrincada, por ser de más frecuente ocurrencia.

Tuve oportunidad de examinar unas agujas finísimas de 6 milímetros de largo y $\frac{1}{3}$ de ancho, procedentes de las cercanías de Tocopilla. Los cristalitos de verde yerba eran de tal suerte embutidos en una misma masa rojo-morena compuesta de infinitos granitos de hierro oxidado que mecánicamente era imposible separarlos. Sigue el cuadro analítico:

Oxido de cobre.....	51.70	69.61
Acido sulfúrico.....	13.25	17.95
Agua.....	9.18	12.44
Parte insoluble.....	26.18	—

Las cifras dan exactísimamente la fórmula $\text{SO}_4\text{Cu}, 3\text{CuO}, 3\text{H}_2\text{O}$, ó sea la proporción tan buscada para la atacamita. Comúnmente á la brochantita se le asigna una fórmula más complicada, y PISANI reclama por la langita $\text{SO}_4\text{Cu}, 3\text{CuO}, 4\text{H}_2\text{O}$, es decir una proporción igual al tipo medio del oxiclورو.

21. Felizmente disponemos de una larga serie de reproducciones artificiales de oxiclورuros que ilustran las leyes de su formación.

Entre los colores de base de cobre que aprovechan los pintores, se comprenden varios cloruros básicos. Al exponer planchas de cobre al aire libre después de humedecidas por sal amo-

niaco ó ácido clorhídrico, resulta un bonito color verde; el llamado azul de Bremen se prepara por precipitación de una mezcla del cloruro con vitriolo por álcali cáustico. El depósito que se obtiene por este procedimiento, varía en su composición según la proporción del precipitante. Al emplear sólo tres quintos del álcali que se necesita para remover el cobre de una solución clorurada, el precipitado corresponde á la fórmula $\text{CuCl}_2, 2 \text{CuO}, 4 \text{H}_2\text{O}$. KANE (*Recherches sur la nature et la constitution des composés d'ammoniaque* en *Annales de Chimie et de Physique*, 2ª serie, tomo 72) ha demostrado que este producto puede perder sucesivamente una, dos y cuatro moléculas de agua. Calentado á 250° centígrados se transforma en un polvo anhidro de color negro, que tratado con agua reverdece y reasume tres moléculas de las que vuelve á despedir dos á 140° centígrados.

El más constante entre los diferentes oxiclururos es el cloruro tribásico $\text{CuCl}_2, 3 \text{CuO}, 4 \text{H}_2\text{O}$ que se origina reemplazando exactamente el cobre por álcali. KANE obtuvo una sal azulada de la fórmula $\text{CuCl}_2, 4 \text{CuO}, 6 \text{H}_2\text{O}$, tratando el cloruro amoniacal por el agua. Mediante el amoniaco, que manifiesta una afinidad particular para el cobre, se pueden procurar también otros compuestos más complicados. Al agregarlo en cantidad insuficiente á la mezcla hirviendo de una parte de vitriolo azul con dos de sal marina resulta un precipitado $\text{CuCl}_2, 3 \text{CuO}, 3 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$. Tomando potasa en lugar de amoniaco REINDEL obtuvo $\text{CuCl}_2, 3 \frac{1}{2} \text{CuO}, 4 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$. Por sobresaturación con amoniaco y subsiguiente legiviación del residuo de evaporación preparó NEUMANN $\text{CuCl}_2, 6 \text{CuO}, 9 \text{H}_2\text{O}$. Calentando á 200 grados la mezcla del nitrato tribásico de cobre ó á 100 grados la del sulfato con sal marina, DEBRAY (*Bulletin de la Société Chimique*, tomo VII, pág. 104) ha logrado producir $\text{CuCl}_2, 3 \text{CuO}, 3 \text{H}_2$.

La incorporación de acetato de cobre á la solución hirviendo de los cloruros alcalino ó calentando cloruro de cobre con los acetatos alcalinos da lugar á la precipitación de $\text{CuCl}_2, 3 \text{CuO}, 3 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$. FIELD demostró (*Philosophical Magazine*, 4ª se-

rie, tomo XXIV, pág. 123) que al tratar un hipoclorito alcalino por la solución del cloruro cúprico en exceso, el precipitado es representado por $\text{CuCl}_2, 3 \text{CuO}, 4 \text{H}_2\text{O}$; pero cuando la reacción dura corto tiempo, retiene más agua y se convierte en $\text{CuCl}_2, 3 \text{CuO}, 6 \text{H}_2\text{O}$.

Como se ve claro en el último caso, estos símbolos no corresponden necesariamente á una combinación determinada; en general los precipitados son mezcla de diferentes sales cuya naturaleza cambia con las condiciones en que se producen. Con todo eso, es indudable que existen genuinos oxiclururos de diferente constitución.

22. Ninguno de los métodos del laboratorio es aplicable á los procesos que obra la tierra en sus entrañas. Porque en ella no hay álcalis, ni amoniaco, ni hipocloritos. Sólo el experimento de DEBRAY podría excepcionalmente haberse verificado. Luego no hay porqué apelar al fuego volcánico; su acción, á lo más, habrá influido en uno que otro punto para alterar posteriormente las eflorescencias verdes. La agrupación de estas últimas que ordinariamente forman mantos ó costras poco espesas, su acompañamiento por el sulfato y carbonato de cal, su íntima mezcla con el óxido de hierro y óxido de cobre son otros tantos indicios para remontar á su verdadero origen, que si bien se relaciona con una irrupción del mar ó con el descenso de aguas marinas suspendidas en más altos horizontes, exige más detalles para ser trazado paso por paso.

Tanto se deduce de su criadero ordinario que la sal marina que á lo largo ataca el carbonato, sobre los sulfuros no ha reaccionado directamente sino por intermediación de sus productos de oxidación. Las piritas y demás minerales cupríferos que son reclamados por fuente primitiva de las sales oxigenadas, deben haber experimentado con anticipación la influencia destructora del aire atmosférico que en otras partes se manifiesta por inmensas masas de vitriolos ocráceos. La presencia del yeso en cristalizaciones é imbibiciones parece confirmar esta suposición, porque si gran parte del yeso que sirve de criadero en las

minas, descendiendo de épocas más remotas, su inyección en los productos neógenos hace pensar en una metamorfosis del carbonato cálcico que desprendido de las salbandas por medio de las aguas aciduladas, habrá cambiado su ácido inerte por el energético que le prodigaban los sulfatos de cobre y hierro. Separada la parte electro-negativa de estas bases, procedieron á departir entre sí el oxígeno conforme á sus afinidades, quedando el hierro de peróxido y el cobre de óxido, y cambiando el último, respectivamente el carbonato ó silicato donde había, fácilmente en oxiclortro por el agua salada, mientras que del hierro no existe semejante combinación. Muchos afloramientos del cloruro así formado, hoy se encuentran en situación secundaria. El cobre metálico por la acción prolongada del agua salada da origen al mismo producto; como se ha probado en objetos de este metal echados al mar ó en el *aerugo nobilis* de las monedas antiguas.

23. Importantes revelaciones sobre la constitución y el modo de formarse de la atacamita nos ha dado BERTHELOT en la Memoria: *Recherches sur les sels basiques et sur l'atacamite* (*Annales de Chimie et de Physique*, 5ª serie, tomo XXIII, pág. 566). Los datos que suministra la termometría, son un precioso complemento á nuestro bosquejo sobre la atacamita de Chile.

La sal sobre la cual ha obrado BERTHELOT (no dice de dónde era), obedecía á la fórmula $\text{CuCl}_2, 3 \text{CuO} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$. La cantidad del calor desarrollado por la disolución del cloruro en contacto con la potasa era casi igual á la que se desprendía de la reacción sobre el óxido de cobre, mientras que la formación del oxicloruro anhidro apenas era acompañado de calor alguno. Esto prueba «que el lazo principal que une el sistema complejo del oxicloruro es el agua.» Por consiguiente, es imposible que la atacamita sea el resultado de la sustitución del agua de hidratación en el cloruro por el óxido metálico. A la vez el calor de formación es tan grande en la atacamita que pasa del doble del que produce la simple disolución del cloruro anhidro. Basta, pues, que este hidrato sea descompuesto en lo más mínimo por

el calor ó por la presencia de una sal extraña, para ver nacer la atacamita siempre que no falte el óxido necesario. Sería instructivo determinar el calor que corresponde á la incorporación de cada nueva molécula de cobre. Esta rápida y enérgica constitución es una razón más para reconocer en la sal natural cristalizada la influencia de los diversos factores que concurren á modificar su composición.

Santiago, Marzo de 1888.