

SEGUNDA EDICIÓN AMPLIADA

LA RIQUEZA MINERAL DE CHILE

Fernando Barra, Sofía Otero, Martín Reich
Fotografías: Cristián Prado



Esta publicación es un trabajo original de divulgación del Núcleo Milenio Trazadores de Metales en Zonas de Subducción (NMTM) y ha sido financiado gracias al programa de Proyección al Medio Externo (PME) de la Iniciativa Científica Milenio, perteneciente a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, Gobierno de Chile.

AGRADECIMIENTOS

Los minerales fotografiados en este libro provienen de diversas fuentes: colecciones museográficas y particulares. Agradecemos al Museo Mineralógico de la Universidad de Atacama, en la ciudad de Copiapó, por el acceso a sus muestras, especialmente a su coordinador Gustavo Miranda y a Mario López por facilitarnos su colección personal.

Agradecemos también el apoyo entregado por el proyecto FONDAP ANID #15090013 Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA), al Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y los proyectos ANID-FONDECYT #1140780 y 1190105. Los autores agradecen especialmente a Leyla Ramírez, periodista encargada de la gestión administrativa de esta nueva edición.

Editor general y textos: Dr. Fernando Barra Pantoja, geólogo, subdirector NMTM
fbarrapantoja@ing.uchile.cl

Edición de textos: Dr. Martin Reich Morales, geólogo, director NMTM, mreich@ing.uchile.cl

Colaboradora y textos: MSc. Sofía Otero Cavada, periodista, sofia.otero.c@gmail.com

Diseño gráfico y diagramación: Victoria Martínez Peña, hola@vickymartinez.cl

Fotografías: Cristián Prado Valenzuela, fotografo@cristianprado.cl

ISBN: 978-956-404-308-1

Primera Edición 2017

Segunda edición 2021

Fotografía de portada: Cristián Prado Valenzuela

Impreso en Gráfica Andes

Santiago, 2021

PRÓLOGO

Los minerales son tan únicos y especiales, que la ciencia les ha otorgado su propio reino. Es lo que podría decirse el reino originario, pues es base y sustento de la vida animal y vegetal de la Tierra.

Los minerales poseen características magníficas y exclusivas: ninguna muestra es igual a otra, y cada forma, color, transparencia, textura y dureza revelan pistas sobre su origen. Sus siluetas y volúmenes nos dicen si se construyeron bajo mucha o poca presión, durante cortos, largos o larguísimos tiempos, y si la temperatura era muy alta o más bien baja en su fuente de creación.

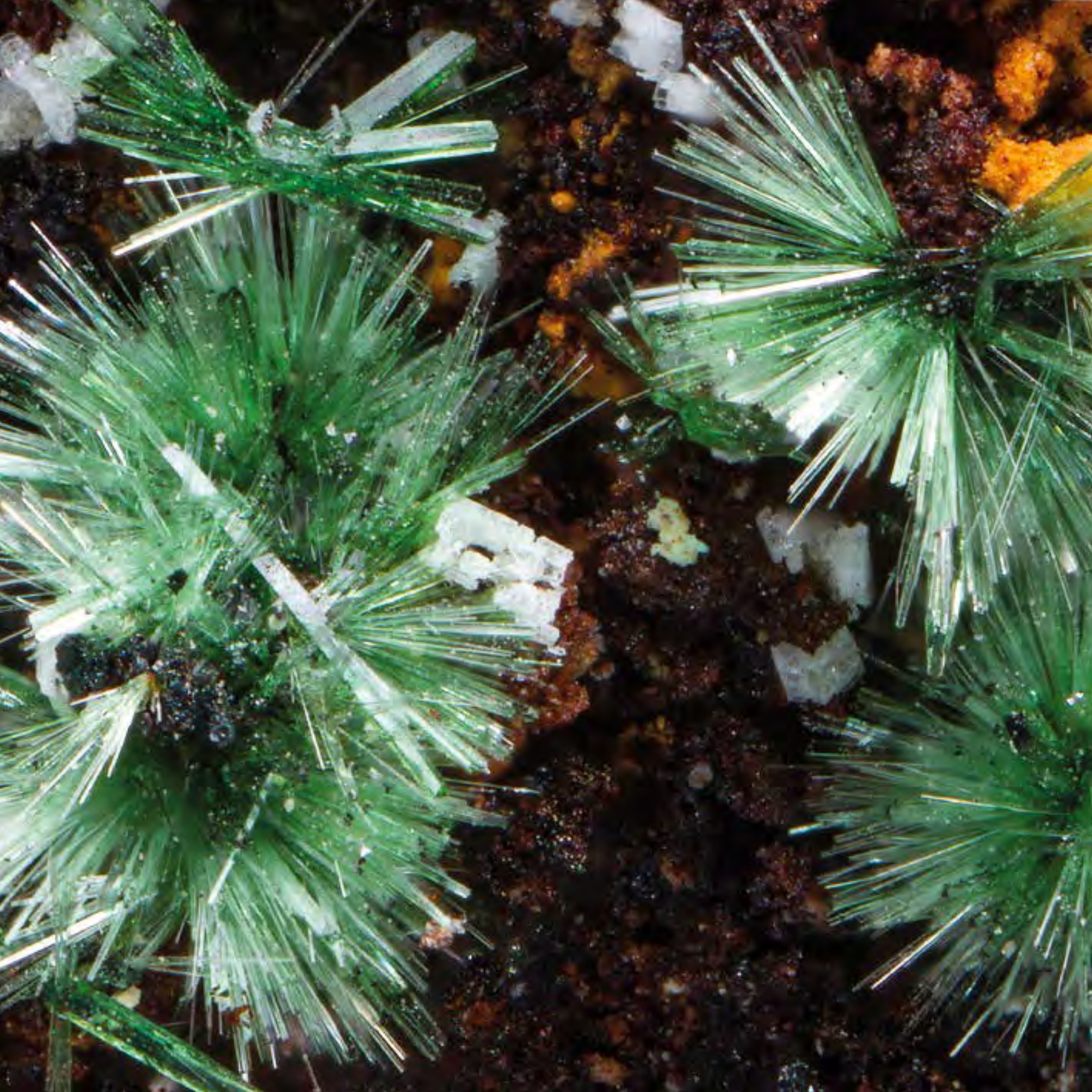
Los minerales son compuestos químicos que se forman naturalmente en nuestro planeta, pero también son constituyentes de todos los cuerpos planetarios rocosos en nuestro Sistema Solar, y más allá. Los elementos químicos circulan disueltos en soluciones acuosas entre las rocas en profundidad y si las condiciones de presión y temperatura son adecuadas, pueden precipitar formando hermosos cristales, los cuales son un reflejo de la estructura interna ordenada que tienen todos los minerales. Pero en la mayoría de los casos, la falta de espacio no permite que los minerales desarrollen cristales, formando masas amorfas o finas manifestaciones que aun así siempre serán únicas.

Los minerales poseen un encanto natural. Estos artefactos naturales y brillantes han encandilado a la humanidad en cada cultura, en cada época. La resistencia de algunos ha permitido crear herramientas que han generado tanto admiración como progreso de las civilizaciones. Las propiedades únicas de otros proyectan grandes avances para nuestra cultura digital y para desarrollar nuevas fuentes de energía limpia para el futuro.

En definitiva, los minerales poseen cualidades únicas que nos han llevado a darles gran valor, al nivel de que la economía de un país puede depender de ellos, como es el caso de Chile.

Así, es natural entender por qué generalmente los apreciamos desde su riqueza económica o sus aplicaciones, y desconocemos la tremenda belleza intrínseca que poseen en su estado bruto.

Este libro presenta una pequeña muestra de algunos minerales que se encuentran en Chile y que son explotados económicamente desde milenios, retratados aquí en sus formas y ocurrencias originales. Con esta selección fotográfica queremos invitarlos a descubrir y a maravillarse con el valor estético de nuestra riqueza mineral.



INTRODUCCIÓN

El mundo físico que nos rodea está hecho de átomos de elementos químicos. La Tierra, el aire que respiramos, nuestras posesiones materiales e incluso nosotros mismos estamos conformados por una combinación de elementos. El cuerpo humano es mayoritariamente oxígeno, carbono, hidrógeno y nitrógeno, elementos que se combinan para formar moléculas orgánicas; pero también está compuesto por varios otros elementos como azufre, calcio, fósforo, potasio, sodio, cloro, magnesio, hierro, zinc, entre otros. Estos elementos indispensables para ciertas funciones metabólicas los obtenemos regularmente de alimentos de origen vegetal y animal o de suplementos nutricionales elaborados de materias primas (minerales) extraídos de la naturaleza.

Los elementos químicos han sido organizados en la Tabla Periódica y actualmente se han identificado 118 de los cuales 92 ocurren en forma natural. Los elementos pueden ocurrir en forma pura o bien formando **compuestos químicos** en donde pueden combinarse entre ellos. Por ejemplo, el oxígeno que en su forma pura es un gas (O_2), puede combinarse con el hidrógeno para formar agua (H_2O), un compuesto que es fundamental para la vida. El oxígeno también puede combinarse con el silicio (Si) para formar dióxido de silicio o sílice (SiO_2), y que corresponde también a la composición química del cuarzo, uno de los minerales más abundantes de la corteza terrestre.

Tabla Periódica de los Elementos

CONDICIONES STANDARD (25° C; 101 kPa)																	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Ne -gas Fe -sólido</p> <p>Hg -líquido Tc -sintético</p> </div> </div>																	
1 H HIDROGENO																	2 He HELIO
3 Li LITIO	4 Be BERILIO																
11 Na SODIO	12 Mg MAGNESIO																
19 K POTASIO	20 Ca CALCIO	21 Sc ESCANDIO	22 Ti TITANIO	23 V VANADIO	24 Cr CROMO	25 Mn MANGANESO	26 Fe HIERRO	27 Co COBALTO	28 Ni NIQUEL	29 Cu COBRE	30 Zn ZINC	31 Ga GALIO	32 Ge GERMANIO	33 As ARSENICO	34 Se SELENIO	35 Br BROMO	36 Kr KRYPTON
37 Rb RUBIDIO	38 Sr ESTRONCIO	39 Y ITRIO	40 Zr CIRCONIO	41 Nb NIOBIO	42 Mo MOLIBDENO	43 Tc TECNECIO	44 Ru RUTENIO	45 Rh RODIO	46 Pd PALADIO	47 Ag PLATA	48 Cd CADMIO	49 In INDIO	50 Sn ESTAÑO	51 Sb ANTIMONIO	52 Te TELURIO	53 I YODO	54 Xe XENON
55 Cs CESIO	56 Ba BARIO	56-71 La-Lu Lantanidos	72 Hf HAFNIO	73 Ta TANTALIO	74 W TUNGSTENO	75 Re RENI	76 Os OSMIO	77 Ir IRIDIO	78 Pt PLATINO	79 Au ORO	80 Hg MERCURIO	81 Tl TALIO	82 Pb PLOMO	83 Bi BISMUTO	84 Po POLONIO	85 At ASTATO	86 Rn RADON
87 Fr FRANCIO	88 Ra RADIO	88-103 Ac-Lr Actinidos	104 Rf RUTHERFORDIO	105 Db DUBNIO	106 Sg SEABORGIO	107 Bh BOHRIO	108 Hs HASSIO	109 Mt MEITNERIO	110 Ds DARMSTADIO	111 Rg ROENTGENIO	112 Cn COPERNICIO	113 Nh NIHONIO	114 Fl FLEROVIO	115 Mc MOSCOVIO	116 Lv LIVERMORIO	117 Ts TENESO	118 Og OGANESON

LANTANIDOS														
57 La LANTANO	58 Ce CERIO	59 Pr PRASEODIMIO	60 Nd NEODIMIO	61 Pm PROMETIO	62 Sm SAMARIO	63 Eu EUROPIO	64 Gd GADOLINIO	65 Tb TERBIO	66 Dy DISPROSIO	67 Ho HOLMIO	68 Er ERBIO	69 Tm TULIO	70 Yb ITERBIO	71 Lu LUTECIO

ACTINIDOS														
89 Ac ACTINIO	90 Th TORIO	91 Pa PROTACTINIO	92 U URANIO	93 Np NEPTUNIO	94 Pu PLUTONIO	95 Am AMERICIO	96 Cm CURIO	97 Bk BERKELIO	98 Cf CALIFORNIO	99 Es EINSTEINIO	100 Fm FERMIO	101 Md MENDELEVIO	102 No NOBELIO	103 Lr LAWRENCIO

FIGURA 1.

La Tabla Periódica es una representación gráfica de los 118 elementos reconocidos hasta el momento. Estos se ordenan de acuerdo a su número atómico, que es el número de protones (partículas con carga positiva) presentes en el núcleo del átomo del elemento y que a su vez establece la cantidad de electrones (partículas con carga negativa) que orbitan en capas o niveles alrededor del núcleo del átomo. El número de electrones de la capa externa determina las propiedades químicas del elemento. Un átomo es generalmente neutro, es decir no tiene carga eléctrica, pero a veces los átomos pueden entregar o atrapar electrones de átomos de otros elementos, lo que les otorga una carga eléctrica debido al desbalance entre el número de protones y electrones. Un átomo con carga se denomina ion.

¿Qué es un mineral?

Un mineral es un compuesto químico, conformado por elementos ya sea en su forma pura o bien por una combinación de éstos. Los minerales son materiales sólidos, inorgánicos, formados de manera natural y que tienen una composición química y una estructura cristalina específica; es decir, los átomos de elementos que conforman un mineral se encuentran ordenados espacialmente formando una estructura geométrica, que algunas veces puede manifestarse externamente como cristales. La composición química de un mineral se representa mediante su fórmula química. En este libro cada mineral se ilustra con su nombre y con su fórmula química, la que muestra cuáles son los elementos químicos que lo componen.

¿Cómo se clasifican los minerales?

Existen aproximadamente 5.400 minerales y todos los años se descubren alrededor de 30 a 50 nuevos; claro que algunos son más comunes, mientras que otros constituyen rarezas de la naturaleza.

Un mineral puede estar conformado por uno o varios elementos. Cuando se trata de un elemento en su forma pura hablamos de elementos nativos, por ejemplo, el cobre nativo (Cu), la plata nativa (Ag) y el oro (Au) son clasificados como minerales nativos debido a que están formados por un único elemento. Sin embargo, la gran mayoría de los minerales tienen varios elementos en su estructura que se unen mediante **enlaces químicos** formando un compuesto químico cristalino de origen natural. Para que los átomos de un mineral se unan entre sí mediante enlaces, algunos átomos de elementos van a perder electrones, mientras que otros van a atrapar esos electrones. Entonces, en un mineral algunos elementos tendrán una carga eléctrica positiva, mientras que otros tienen carga negativa. Un átomo con carga eléctrica es un ion y estos pueden ser positivos (cationes) o negativos (aniones).



FIGURA 2.

La sal común que usamos en nuestra cocina es realmente un mineral llamado halita. La halita es un cloruro cuya fórmula química es NaCl y donde el sodio (Na) tiene carga positiva y el cloro (Cl) carga negativa. Ambos iones, catión y anión, respectivamente, se unen mediante un enlace iónico formando este mineral. Cuando agregamos sal al agua caliente para hacer una sopa, la halita se disuelve, es decir, se rompe el enlace que une estos elementos.

La carga de un **ion** está determinada por la facilidad con que el átomo pierde o atrapa electrones adicionales. Dependiendo de cómo estos iones se relacionan químicamente entre sí, los minerales presentarán enlaces iónicos, covalentes, metálicos o débiles, los cuales condicionarán sus propiedades físicas, como por ejemplo su brillo, dureza, conductividad eléctrica y térmica, y propiedades ópticas, entre otras.

Para estudiar los minerales, las personas que se dedican a las ciencias los clasifican en grupos de acuerdo a su composición química y en particular del anión o grupo aniónico. Muchos elementos metálicos o metales como el cobre, hierro, plomo y el zinc se unen al azufre para formar un **sulfuro**. En los sulfuros, el azufre tiene carga negativa y por lo tanto es el anión, mientras que el metal es el catión. El sulfuro más común en la superficie de la tierra es la pirita (FeS_2). Otro anión bastante común es el óxido (O^{2-}), el cual le da su nombre al grupo de minerales conocido como los **óxidos**. En estos dos casos el anión es simple, pero a veces tenemos un grupo aniónico poliatómico (dos elementos unidos que en conjunto tiene una carga negativa) como es el caso del carbonato (CO_3^{2-}) y el sulfato (SO_4^{2-}).

De esta manera, entonces, los minerales pueden clasificarse en ocho grupos principales de acuerdo al anión o grupo aniónico en:

Minerales de **elementos nativos** (conformados por elementos puros, sin anión o grupo aniónico), **sulfuros** (S^{2-}), **haluros** con elementos halógenos como aniones (F^- , Cl^- , Br^- , I^-), **óxidos** (O^{2-}), **carbonatos** (CO_3^{2-}), **sulfatos** (SO_4^{2-}), **fosfatos** (PO_4^{3-}) y **silicatos** (SiO_4^{4-}). Este último es el grupo de minerales más abundante en la corteza y manto terrestre, llamados también minerales formadores de rocas.

Existen otros grupos de minerales tales como los **hidróxidos** (OH^-), **nitratos** (NO_3^-), **wolframatos** (WO_4^{2-}), **molibdatos** (MoO_4^{2-}), **cromatos** (CrO_4^{2-}), **arseniatos** (AsO_4^{3-}), **vanadatos** (VO_4^{3-}) y **sulfosales**, los que son variaciones de los grupos principales. Las sulfosales, por ejemplo, están constituidas por un metal como el cobre (Cu), plomo (Pb), plata (Ag), hierro (Fe), un semimetal como el arsénico (As) o antimonio (Sb), y azufre (S).

¿Por qué son importantes los minerales?

Mucha de la materia prima que necesitamos para nuestro desarrollo industrial y tecnológico es obtenida de materiales geológicos extraídos de la naturaleza. Áridos como la arena, compuesta mayoritariamente de minerales silicatados, y el cemento, elaborado a partir de rocas compuestas de minerales de carbonato, son indispensables para la construcción, como así también lo es el acero fabricado a partir del hierro extraído de minerales como la magnetita (Fe_3O_4) o la hematita (Fe_2O_3). Pero, además, en construcción se requieren otros elementos como el aluminio y el cobre, y compuestos como el yeso y vidrio, este último producido a partir del cuarzo (SiO_2).

Quizás uno de los ejemplos más ilustrativos de la necesidad de materiales geológicos es en el área de la tecnología, donde computadores, televisores y teléfonos celulares concentran una serie de elementos, algunos de los cuales son relativamente escasos en la corteza terrestre. Tomemos por ejemplo un teléfono celular, un artefacto que es considerado indispensable no solo para la comunicación, sino como una herramienta que permite el acceso rápido a la información. Un celular tiene varios componentes electrónicos. Su pantalla táctil está compuesta de oxígeno (O), indio (In), estaño (Sn), aluminio (Al), silicio (Si) y potasio (K), pero además contiene varios elementos del grupo de los lantánidos, también conocidos como tierras raras. Pequeñas cantidades de itrio (Y), disprosio (Dy) y europio (Eu) ayudan a producir los colores en la pantalla de cristal líquido (LCD, de su sigla en inglés), mientras que el gadolinio (Ga), lantano (La) y terbio (Tb) le dan su resplandor. El chip está confeccionado de silicio (Si), fósforo (P), galio (Ga), arsénico (As) y antimonio (Sb), mientras que los circuitos son de cobre (Cu), plata (Ag), oro (Au) y estaño (Sn). Su batería, por otro lado, es de litio (Li), cobalto (Co) y aluminio (Al). Por último, el mi-

crófono y los parlantes contienen boro (B), hierro (Fe), níquel (Ni) y neodimio (Nd). Algunos de estos elementos son relativamente comunes en la corteza, como el hierro o el silicio, mientras que otros, como las tierras raras son más escasos y difíciles de encontrar. A pesar de ello, la totalidad de estos elementos químicos y de todos aquellos necesarios para nuestro desarrollo y supervivencia como especie, en todos los ámbitos de la civilización y en todas las épocas, han sido extraídos, se extraen y se extraerán de los minerales que se encuentran en la naturaleza.

¿Dónde encontramos los minerales?

Los minerales son los componentes principales de las rocas que forman la corteza terrestre, la capa externa de la Tierra que forma los fondos marinos y los continentes con sus cerros, montañas y valles. Las rocas se encuentran en todas partes de la superficie de la Tierra y pueden ser agrupadas en tres tipos de acuerdo a su origen: rocas ígneas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas. Todas las rocas están formadas por minerales principalmente del grupo de los silicatos. Los minerales formadores de roca son el olivino, piroxeno, anfíbol, biotita, feldespatos (potásicos y calcosódicos), moscovita y cuarzo. La corteza, entonces, está conformada principalmente por ocho elementos mayoritarios: oxígeno, silicio, aluminio, hierro, calcio, magnesio, sodio y potasio. Todos los otros elementos de la Tabla Periódica se encuentran dispersos en las rocas en cantidades muy bajas.

Sin embargo, algunos de estos escasos elementos pueden llegar a concentrarse en mayor cantidad por la acción de **procesos geológicos**. Estos procesos son muy variados y pueden ir desde la formación de roca fundida en profundidad, que consigue llegar a la superficie para formar lavas y volcanes (magmatismo), la transformación de rocas por efectos de altas temperaturas y presiones (metamorfismo), la descomposición y desgaste de rocas por la acción del agua, hielo y viento (meteorización química y física), hasta la erosión y la acción de aguas termales y fluidos calientes, también llamados **fluidos hidrotermales**. La acción de estos procesos, ya sea individualmente o en su conjunto, puede llegar a generar un **depósito o yacimiento mineral**.



FIGURA 3.

Izquierda: Si la cantidad y concentración de un metal en la corteza es suficientemente alta para una explotación rentable de ese recurso, entonces se diseña y planifica su extracción. **Derecha:** fragmento de roca mineralizada con una vetilla o guía de sulfuros. Los fluidos acuosos calientes han circulado por una fractura de la roca y a medida que se enfría precipita su carga de metales.

¿Qué es un depósito mineral?

Un depósito o yacimiento mineral es una concentración anómala de ciertos elementos que normalmente se encuentran en muy baja cantidad en la corteza y que se han concentrado debido a la acción y confluencia de procesos y factores geológicos. Tomemos, por ejemplo, el yacimiento El Teniente en la cordillera de Rancagua, que es uno de los depósitos de cobre más grande del mundo. Este yacimiento tiene varios millones de toneladas de cobre, cantidades importantes de molibdeno y renio, además de plomo, hierro y zinc, pero por sobre todo grandes cantidades de azufre. Podemos intuir, entonces, que gran parte de estos metales se encuentran como sulfuros y efectivamente el cobre está presente principalmente como calcopirita (CuFeS_2), el sulfuro de cobre-hierro más común, mientras que el molibdeno se presenta como molibdenita (MoS_2).

Si un depósito reúne las condiciones de volumen y concentración –o “ley” del metal, en la terminología minera– que permite la extracción del recurso mineral con un beneficio económico, entonces se puede diseñar y constituir una mina.

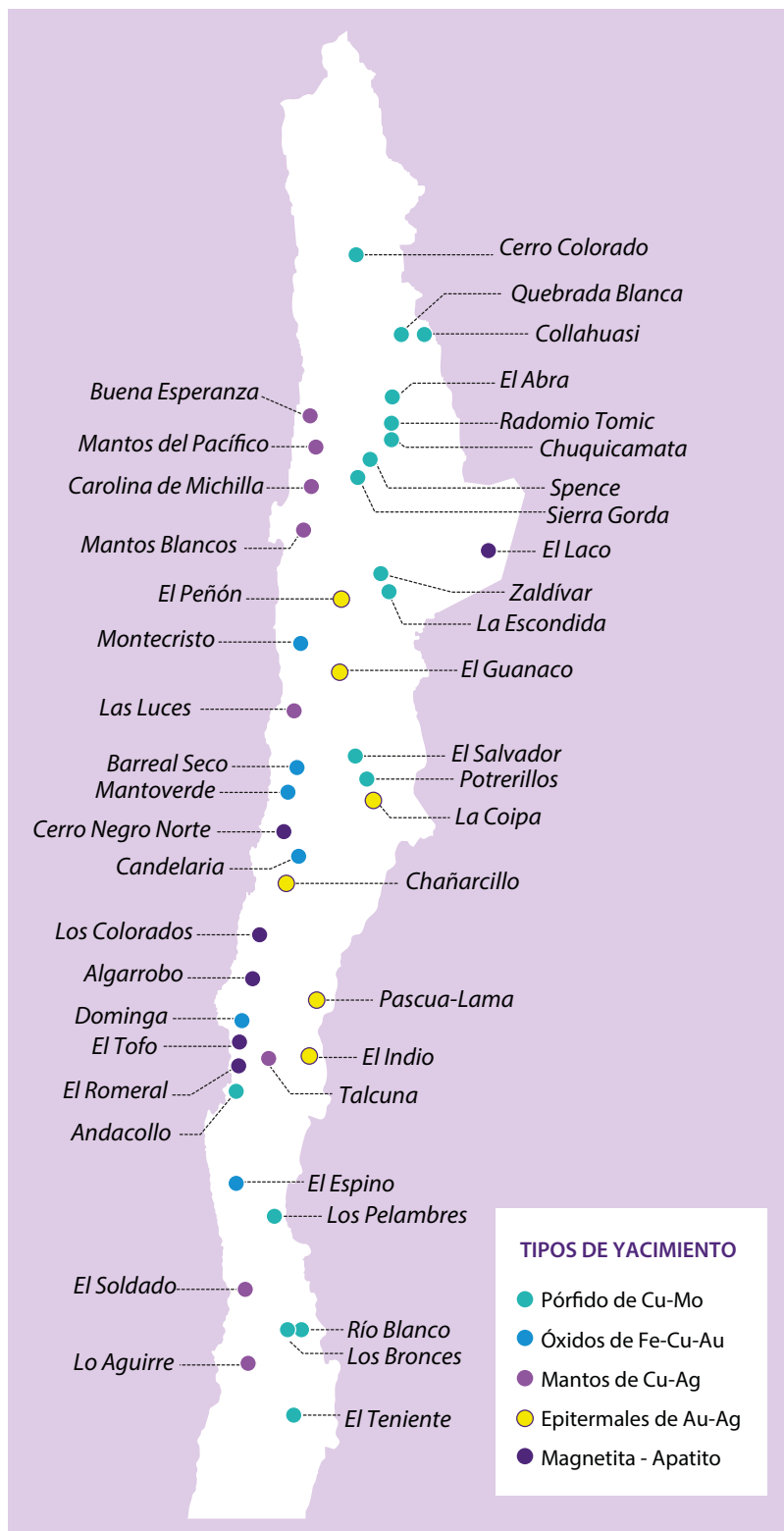
Existen distintos tipos de yacimientos minerales, definidos sobre la base de su origen geológico y los procesos que los forman. En nuestro país los depósitos son principalmente del tipo **magmático-hidrotermal**; es decir, son depósitos formados principalmente por la acción de fluidos calientes derivados de los magmas en profundidad y que transportan elementos disueltos tales como Cu, Ag, Au, Fe, Pb, Zn y S entre otros, en soluciones acuosas. Estas soluciones hidrotermales circulan a través de fracturas o debido a la permeabilidad natural de las rocas y a medida que reaccionan con la roca o se enfrían pueden precipitar estos elementos disueltos formando minerales.

¿Por qué Chile tiene tantos depósitos minerales?

La respuesta a esta pregunta se debe a la ubicación y características geológicas del borde occidental del continente sudamericano, donde se ubica Chile. Sabemos que la placa oceánica de Nazca se hunde por debajo de la placa Sudamericana en un proceso conocido como subducción. Si bien la subducción es la causa de los terremotos y gran parte de los procesos tectónicos que afectan regularmente a nuestro territorio, este proceso también ha sido responsable de la formación de la Cordillera de los Andes y sus volcanes. Dichos volcanes son alimentados por magmas (o roca fundida) en profundidad, los que pueden ascender a la superficie durante las erupciones volcánicas. Asociado a estos magmas, que en esencia son una fuente de calor, fluidos y metales, pueden formarse depósitos minerales de origen magmático-hidrotermal, cuando las condiciones de concentración son óptimas al lograrse una confluencia azarosa de distintos factores geológicos. Además, estos mismos magmas en profundidad pueden generar sistemas termales en superficie. Estos sistemas termales no son solo una fuente de recreación, sino que también constituyen una fuente de energía limpia y sustentable con un enorme potencial, considerando que Chile es uno de los países del mundo con mayor actividad volcánica.

La subducción y la actividad magmática asociada ha sido un proceso relativamente continuo que comenzó hace millones de años, por lo que la formación de los yacimientos magmáticos-hidrotermales en Chile, y también a nivel global, se relaciona temporal y espacialmente a esta actividad magmática del pasado.

Una de las primeras manifestaciones del magmatismo y que marca el inicio de la génesis de la cadena andina fue la formación de la Cordillera de la Costa hace aproximadamente 160 millones de años. En la Cordillera de la Costa existen depósitos minerales del tipo cobre-hierro-oro (IOCG) (Candelaria, Mantoverde) y ricos en hierro (El Romeral, Los Colorados) formados entre los 130 a 100 millones de años atrás y que conforman la llamada “Franja Ferrífera Chilena”. Además de este tipo de yacimientos también existen pórfidos cupríferos de edades cercanas a los 100 millones de años, (Andacollo), pero – en general – de menor tamaño en comparación con los grandes pórfidos de Cu-Mo formados hace 30-38 millones de años en el norte de Chile (Chuquicamata, Escondida), y hace 10-5 millones de años en la zona central de nuestro país, (Río Blanco-Los Bronces y El Teniente) en la actual Cordillera de los Andes.



Chile y sus depósitos minerales

Chile es el mayor productor y tiene las mayores reservas de cobre del mundo, además de poseer importantes reservas de molibdeno, oro, litio, yodo y nitratos. El litio se encuentra en las aguas subterráneas de los salares del norte del país, mientras que los nitratos y el yodo están asociados a los suelos de “caliche” – o salitre – del desierto de Atacama. Los metales como el cobre, el molibdeno y el oro, por su parte, se concentran principalmente en depósitos magmático-hidrotermales, formados a gran profundidad en la corteza.

En Chile, los yacimientos magmático-hidrotermales son principalmente de cinco tipos: pórfidos de cobre-molibdeno (Cu-Mo) o pórfidos cupríferos, depósitos de hierro-cobre-oro (IOCG de su sigla en inglés), yacimientos estratoligados de Cu-Ag, también conocidos como Mantos de Cu-Ag y depósitos epitermales de oro-plata. A ellos se suman los depósitos de hierro de la Cordillera de la Costa conocidos como depósitos de magnetita-apatito por dos de los minerales más representativos y abundantes en estos yacimientos.

Sin lugar a dudas, el tipo más importante a nivel global y país son los pórfidos de Cu-Mo ya que la mayor parte del cobre producido en Chile y el mundo proviene de este tipo de depósitos. Nuestro país concentra un alto número de pórfidos cupríferos, entre ellos los grandes yacimientos del norte y centro de Chile, tales como Chuquicamata, El Salvador, Escondida, Quebrada Blanca, Collahuasi, Andacollo, Los Pelambres, Río Blanco-Los Bronces y El Teniente, entre muchos otros. Le siguen en importancia económica los depósitos de cobre-hierro-oro como Candelaria y Mantoverde en la Región de Atacama. Por otra parte, el oro y la plata se concentran en depósitos epitermales tales como El Indio, La Coipa y El Peñón, entre otros, ubicados también en el norte de Chile.

FIGURA 4.

Mapa esquemático de la zona norte y centro de Chile que muestra la distribución y tipo de algunos yacimientos minerales.

Estos depósitos magmático-hidrotermales se forman a unos pocos kilómetros de profundidad en la corteza y los elementos metálicos generalmente se encuentran como sulfuros y en menor medida como sulfosales. Debido a los efectos del alzamiento y la erosión del terreno durante millones de años, los yacimientos minerales formados en profundidad pueden quedar expuestos en superficie o muy cercanos a ella. En estos casos, el agua y oxígeno de la atmósfera reaccionan con los sulfuros oxidándolos o disolviéndolos, dando así origen a nuevos minerales que tienen oxígeno en su estructura tales como los óxidos, hidróxidos y sulfatos. Estos minerales pueden tener una variada gama de colores verde y azul y coloquialmente son llamados como “oxidados de cobre”, refiriéndose así a su carácter secundario, es decir, formados a partir de sulfuros primarios por efecto de procesos de oxidación y disolución cercanos a la superficie.

La génesis de depósitos minerales chilenos está íntimamente ligada al magmatismo y al proceso de subducción. El estudio de la evolución geológica de Chile es fundamental para entender la formación de yacimientos metálicos y generar nuevas herramientas para la exploración de recursos minerales para el desarrollo de nuestro país. En dicho contexto, el estudio de los minerales, de sus características, propiedades y ocurrencias, tiene una relevancia particular y quizás más fundamental aún, y que queremos resaltar en este libro: los minerales son riqueza no solo económica y patrimonial para nuestro país, sino que son parte intrínseca de nuestro territorio y, por ende, de su belleza natural.



FIGURA 5.

Los sulfuros incluidos en la roca cuando son expuestos a los agentes atmosféricos (agua y aire) pueden producir ácido, debido a la presencia de azufre en ellos. Este ácido sulfúrico (H_2SO_4) lixiviana la roca y disuelve algunos de sus componentes – como el cobre contenido en algunos sulfuros – para luego redepositarlos formando nuevos minerales que son estables en un ambiente rico en oxígeno, por ejemplo, óxidos, hidróxidos o sulfatos de cobre.

MINERALES DE
COBRE

MINERALES DE COBRE

El cobre puede presentarse en la naturaleza de diversas formas y colores, generando minerales de distinto tipo. Es así como puede combinarse con oxígeno para formar óxidos de cobre, o con azufre para formar sulfuros de cobre, resultando figuras que combinan tonos verdosos, azulados o rojizos. Cada mineral es un compuesto químico, y por lo tanto tiene una fórmula química definida que refleja los elementos que la conforman. En cada fotografía de minerales de este libro se indica el nombre del mineral y su fórmula química a modo de referencia.

El cobre es un elemento químico que tiene propiedades únicas que lo hacen un componente fundamental en nuestro diario vivir. Es principalmente utilizado como un conductor eléctrico además de usos variados en construcción, electrónica y transporte.

Es por lo tanto, pieza vital para el desarrollo tecnológico e industrial de nuestra sociedad. Chile es el mayor productor del mundo de cobre. Nuestro país se caracteriza por tener la mayor concentración de este elemento a nivel mundial y es bien sabido que la economía chilena se basa en buena parte de la explotación de este recurso mineral. A pesar de que el cobre se ha explotado desde tiempos prehispánicos, no es sino a principios de los 1900 que comienza el desarrollo de grandes minas en el país. Es así como

en 1906 comienza la explotación del yacimiento El Teniente, la mayor mina subterránea de cobre del mundo. Desde entonces se han descubierto un gran número de depósitos minerales de cobre, principalmente los llamados pórfidos cupríferos y entre los cuales se destacan Chuquicamata, El Salvador, La Escondida, entre muchos otros. Pero el cobre no solo se extrae de estas grandes minas. Aún existen en muchas zonas del norte y de la zona central de Chile, esforzados/as pirquineros/as que a punta de picota y pala extraen el cobre de caprichosas y escurridizas vetas. En muchos casos, son en estas pequeñas minas en donde pueden encontrarse hermosas y frágiles muestras de diversos minerales.

Hay ocasiones en que los elementos químicos forman minerales sin combinarse con ningún otro componente; este es el caso de los que llamamos minerales nativos, entre los cuales se destaca el mineral más emblemático de este libro: el cobre nativo.

Las soluciones cargadas con cobre circulan entre las rocas muy cerca de la superficie, y al enfriarse se van quedando allí, solidificadas, formando ramificaciones o bien agregados irregulares como se aprecia en estas fotografías.

COBRE NATIVO

Cu



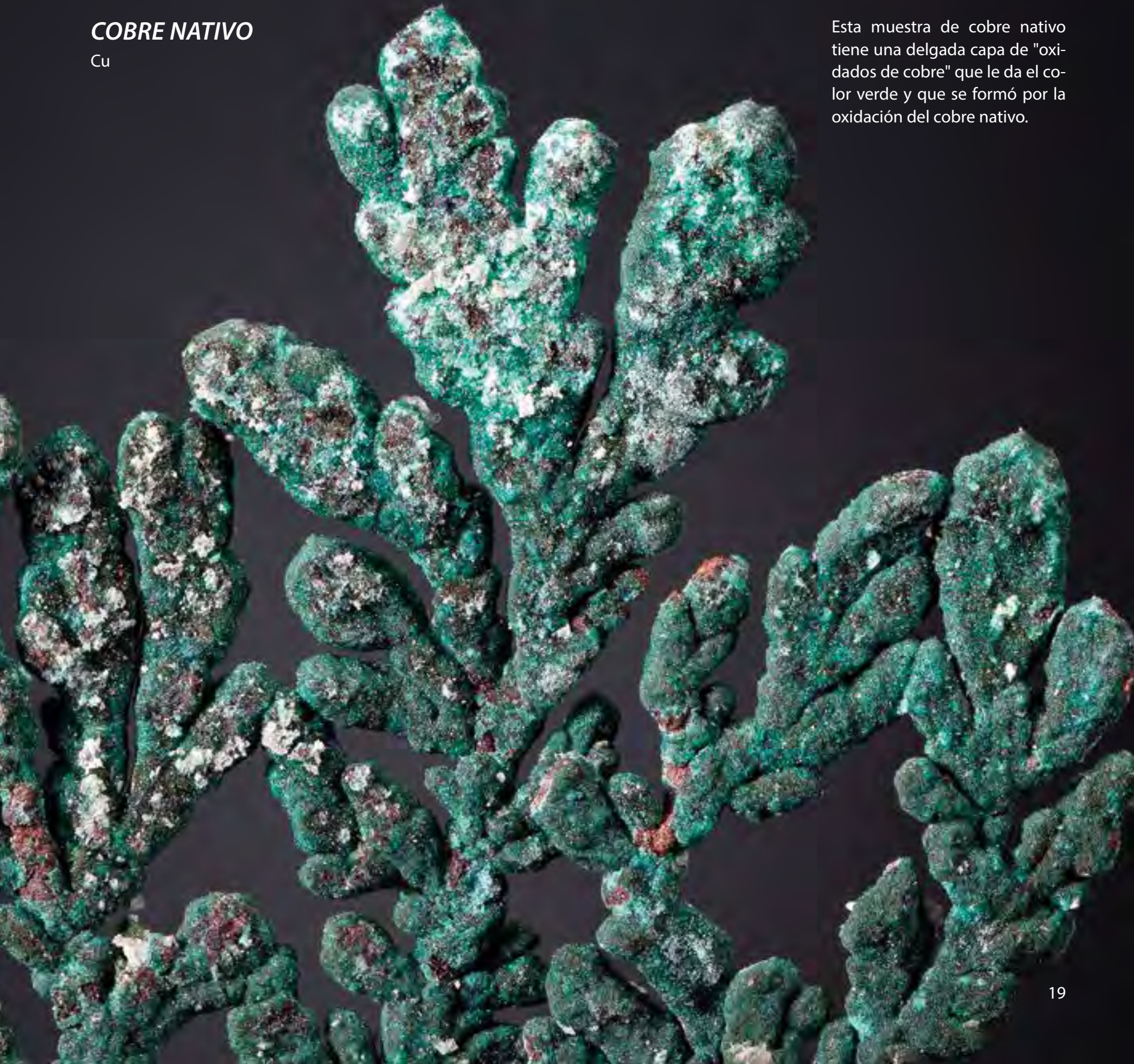
COBRE NATIVO

Cu



COBRE NATIVO

Cu



Esta muestra de cobre nativo tiene una delgada capa de "oxidados de cobre" que le da el color verde y que se formó por la oxidación del cobre nativo.

COBRE NATIVO

Cu

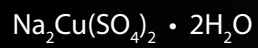


COBRE NATIVO

Cu



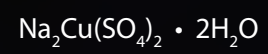
KRONKITA o KRÖHNKITA



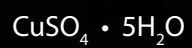
Cuando los sulfuros de cobre formados en profundidad son expuestos a agentes atmosféricos (agua y oxígeno) pueden descomponerse produciendo una variedad de minerales oxidados de cobre. Entre ellos se destacan la kronkita y la chalcantita. La kronkita es un sulfato de cobre con sodio y fue descrito, por primera vez, en el yacimiento de Chuquicamata.



KRONKITA o KRÖHNKITA



CHALCANTITA



La chalcantita es un sulfato de cobre, pero sin sodio. Su nombre deriva del griego chalkos y anthos que significa flor de cobre. Estos sulfatos son altamente solubles en agua por lo que solo se preservan en condiciones muy áridas, como las que caracterizan al Desierto de Atacama.

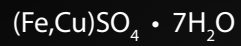


CHALCANTITA

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$



PISANITA O CUPROMELANTERITA



De un aspecto muy parecido a la chalcantita, el componente principal de la pisanita es el hierro, pero algo de cobre puede reemplazar al hierro en la estructura del mineral, lo que le puede entregar comúnmente colores en la gama de azul a verde.

Se le encuentra muchas veces asociado a la melanterita ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), un sulfato de hierro, y a la chalcantita, descrita anteriormente.

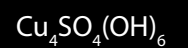
PISANITA O CUPROMELANTERITA

$(\text{Fe,Cu})\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$



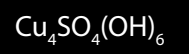


BROCHANTITA



La brochantita es otro sulfato de cobre, también formado en condiciones áridas y como producto de oxidación de sulfuros de cobre. Su color varía desde un verde pálido a un verde esmeralda. El mineral azul es linarita, un sulfato de cobre con plomo.

BROCHANTITA

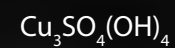


BROCHANTITA

$\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$



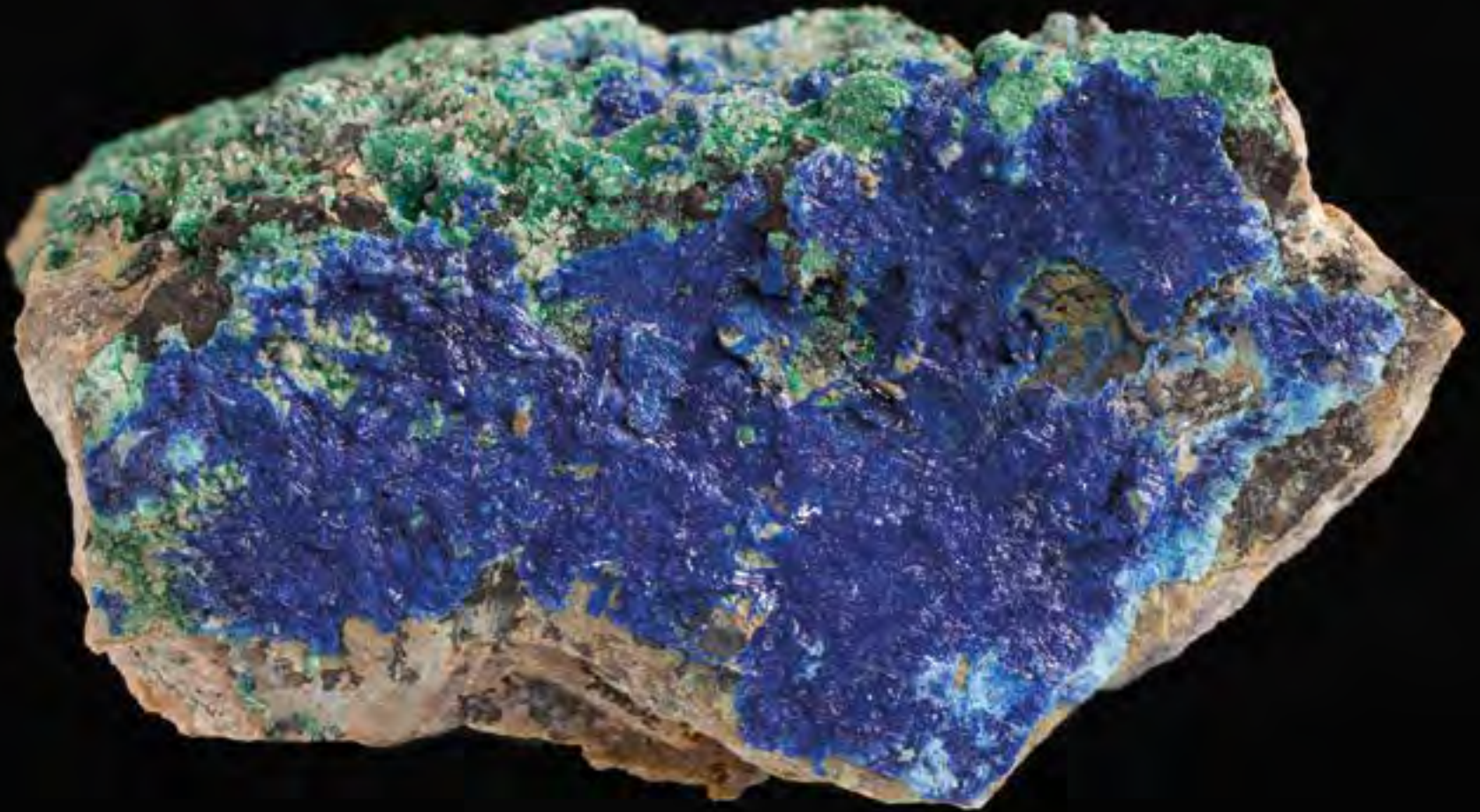
ANTLERITA



La antlerita es muy similar a la brochantita, ambos son sulfatos de cobre y son de color verde intenso. Su distinción no es fácil aun para los más expertos.



LINARITA



La combinación de elementos químicos en los minerales puede ser muy variada, pero a veces las variaciones son menores como es el caso de la linarita, que a diferencia de la brochantita incor-

pora además plomo en la estructura del mineral. Esto se refleja en una variación del color del mineral, mientras la brochantita es de color verde esmeralda, la linarita es de color azul oscuro.

A detailed microscopic view of Linarite crystals. The image shows a dense field of blue, prismatic crystals with sharp, well-defined faces. The crystals are oriented in various directions, creating a complex, interlocking pattern. Some crystals are larger and more prominent, while others are smaller and more numerous. The overall appearance is that of a highly crystalline mineral specimen.

LINARITA

$\text{PbCuSO}_4(\text{OH})_2$

ATACAMITA



Este es otro mineral de cobre que muchas veces se confunde con la brochantita. Su intenso color verde esmeralda la hace uno de los minerales más buscados por los coleccionistas. Su nombre, como puede intuirse, deriva de Atacama, debido a que allí fue descrito por primera vez en 1802. A pesar de su belleza, no es un mineral usado en orfebrería tradicional, debido a que es muy frágil y poco resistente. Este hidroxicloriguro de cobre pertenece al grupo de los haluros y puede disolverse con relativa facilidad en agua, siendo un mineral raro en el mundo, pero muy abundante en el Desierto de Atacama, debido a sus condiciones de extrema aridez. En esta fotografía la atacamita se encuentra junto a otros minerales; la halloysita (de color blanco) un aluminosilicato ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) y posiblemente dioptasa (de color verde azulado). También se reconocen pequeños agregados de cristales verde musgo de libethenita ($\text{Cu}_2(\text{PO}_4)(\text{OH})$).





ATACAMITA

$\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$

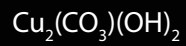


ATACAMITA

$\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$



MALAQUITA



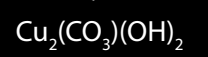
Quizás uno de los minerales de cobre más conocidos es la malaquita. Es ampliamente utilizado en joyería debido a su intenso color verde y a su ocasional textura bandeada.

Puede presentar formas muy variadas y frecuentemente se lo encuentra junto a la azurita. Así como la turquesa, fue un mineral que por su intenso color verde fue empleado por pueblos prehispánicos en la confección de máscaras y ornamentos.

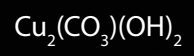




MALAQUITA



MALAQUITA

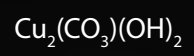


MALAQUITA CON CUPRITA

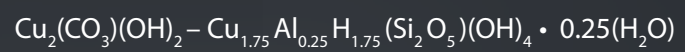
$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2 - \text{Cu}_2\text{O}$



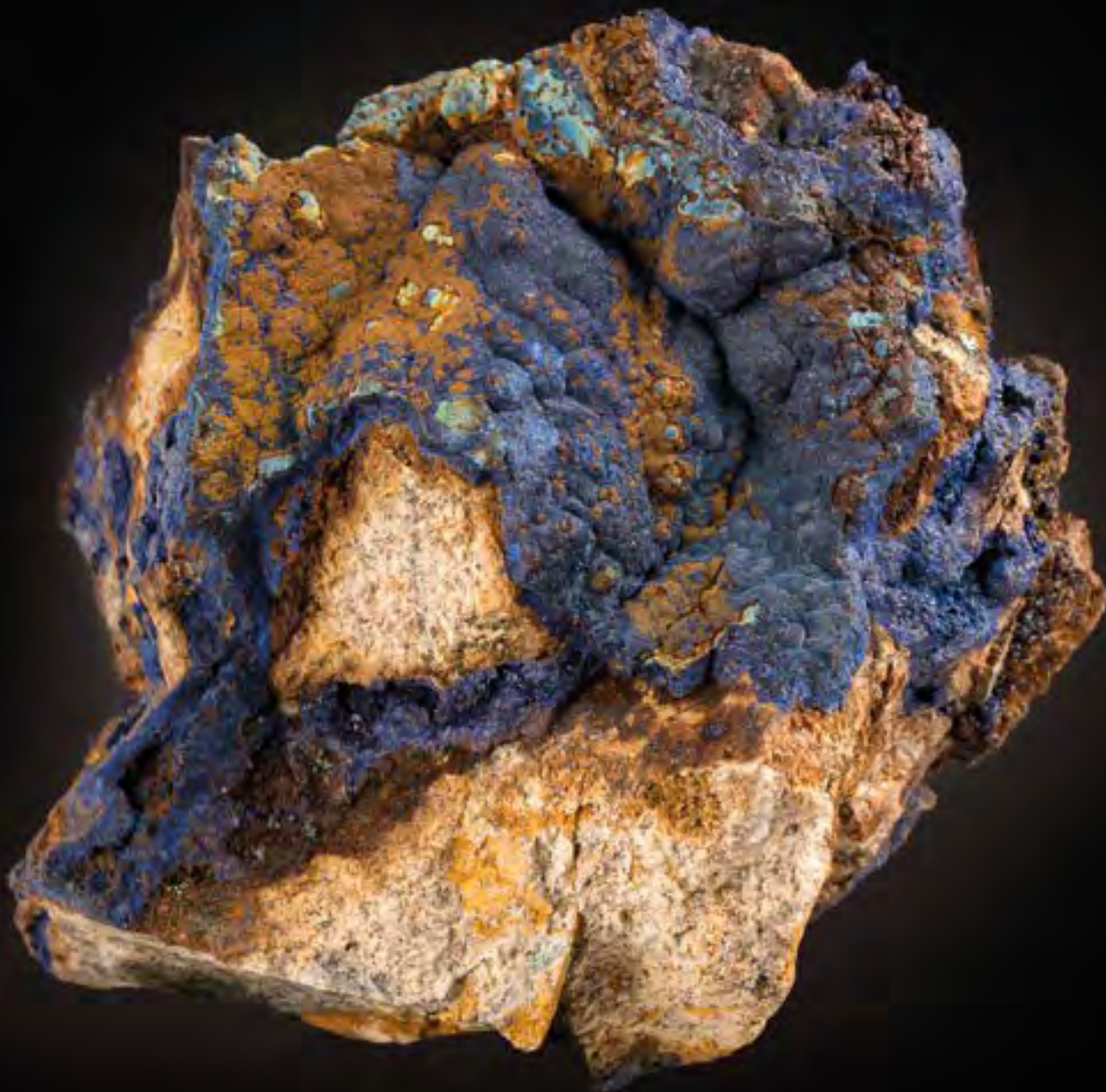
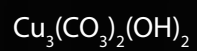
MALAQUITA



MALAQUITA SOBRE CRISOCOLA BOTROIDAL



AZURITA



Las formas en que se pueden encontrar los minerales son muy diversas. En general el cobre es transportado disuelto en fluidos acuosos, y cuando las condiciones son adecuadas, el cobre (o los metales) precipitan formando minerales.

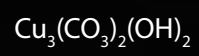
En el caso de la fotografía, la azurita, mineral de color azul oscuro, ha precipitado sobre la superficie de la roca de manera caprichosa, formando lo que parece ser una máscara azul sobre la roca amarillenta.

En esta muestra de azurita, las condiciones de formación fueron adecuadas para generar hermosos cristales de un azul profundo. Esto refleja uno de los aspectos más interesantes de los minerales: que cada espécimen es único y sin igual.

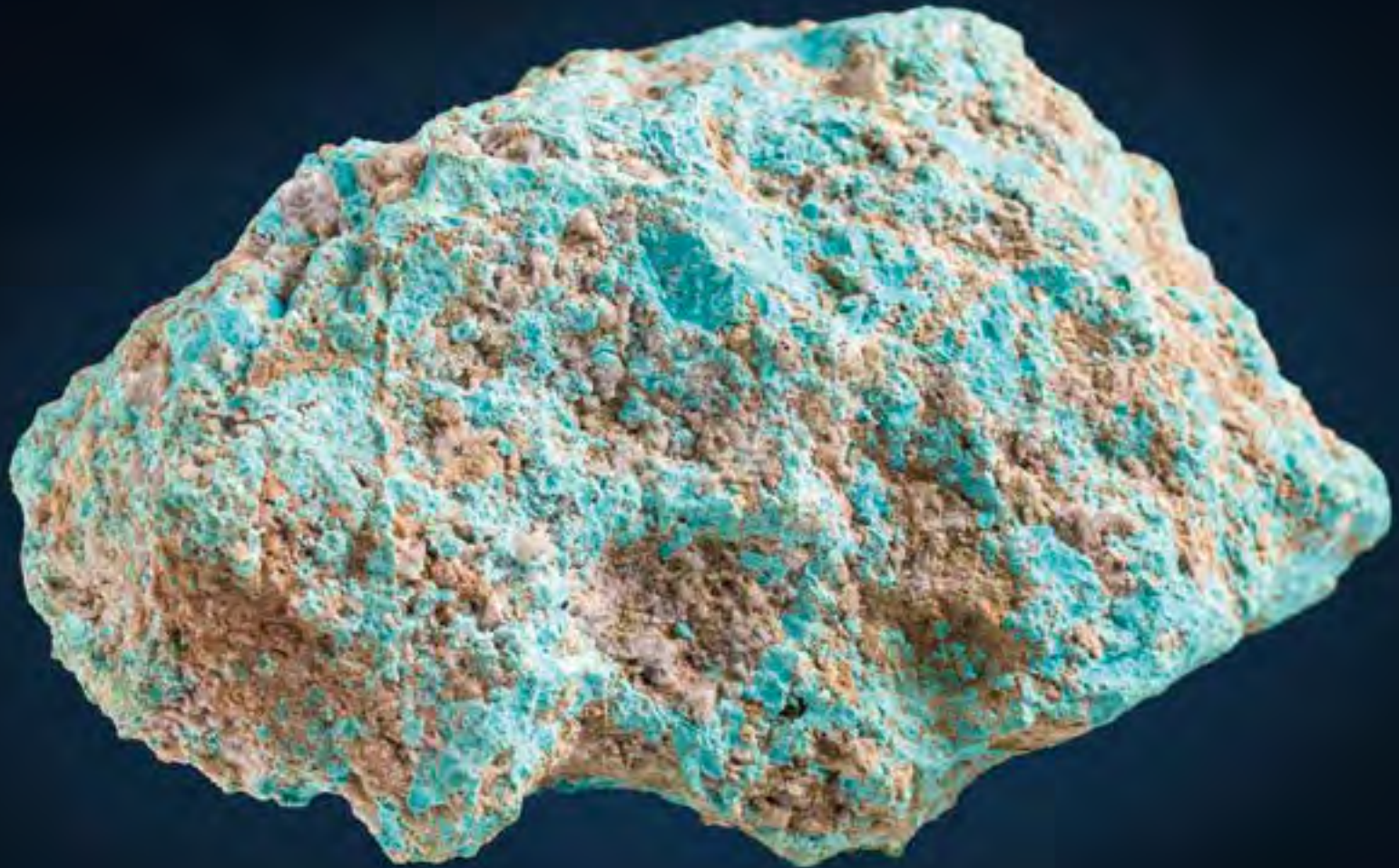
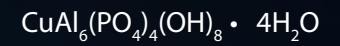
AZURITA
 $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$



AZURITA



TURQUESA



La turquesa es un fosfato de cobre y aluminio, con un color especial que la ha llevado a ser un mineral muy utilizado en orfebrería desde tiempos prehispánicos. La belleza de esta piedra semi preciosa ha sido reconocida desde los inicios de la civilización y es así como fue empleada, por ejemplo, en la máscara

mortuoria de Tutankamón, y en América por los pueblos azteca y tolteca para la confección de máscaras y en esculturas como la serpiente de dos cabezas. En la zona sur andina, la turquesa fue un mineral importante en las transacciones comerciales.

AURICALCITA



La auricalcita es un mineral difícil de manipular y conservar debido a su delicadeza. Se suele presentar en formaciones de finos rosetones espigados o manchas aterciopeladas. Además, el contacto con el agua le hace perder su brillo. Se manifiesta en colores traslúcidos desde el celeste al verde claro, y su interés económico está fundamentalmente ligado a los coleccionistas de muestras.



AURICALCITA

$(\text{Zn,Cu})_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$





DIOPTASA

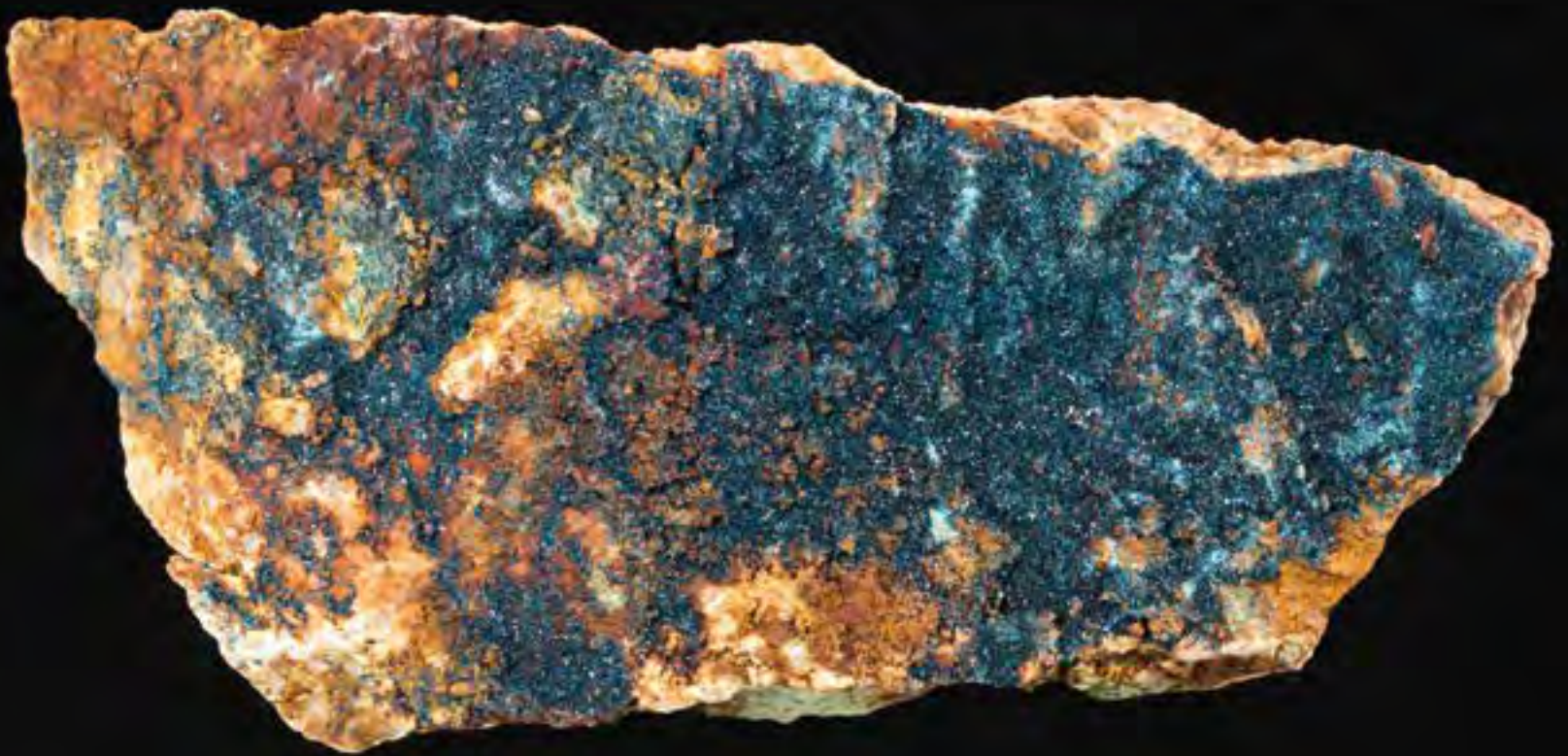
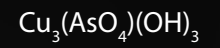
$\text{CuSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Considerada como una piedra preciosa por coleccionistas y orfebres, los cristales de verde intenso transparente le han asignado su nombre que en griego alude a su capacidad de ver en su interior.

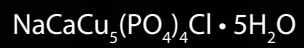


El cobre también puede asociarse con elementos considerados nocivos y tóxicos, como el arsénico. Es por ello que a pesar de que muchos minerales pueden tener cobre, la presencia de otros elementos o impurezas no hace viable que este mineral sea tratado metalúrgicamente para extraer el cobre que contiene.

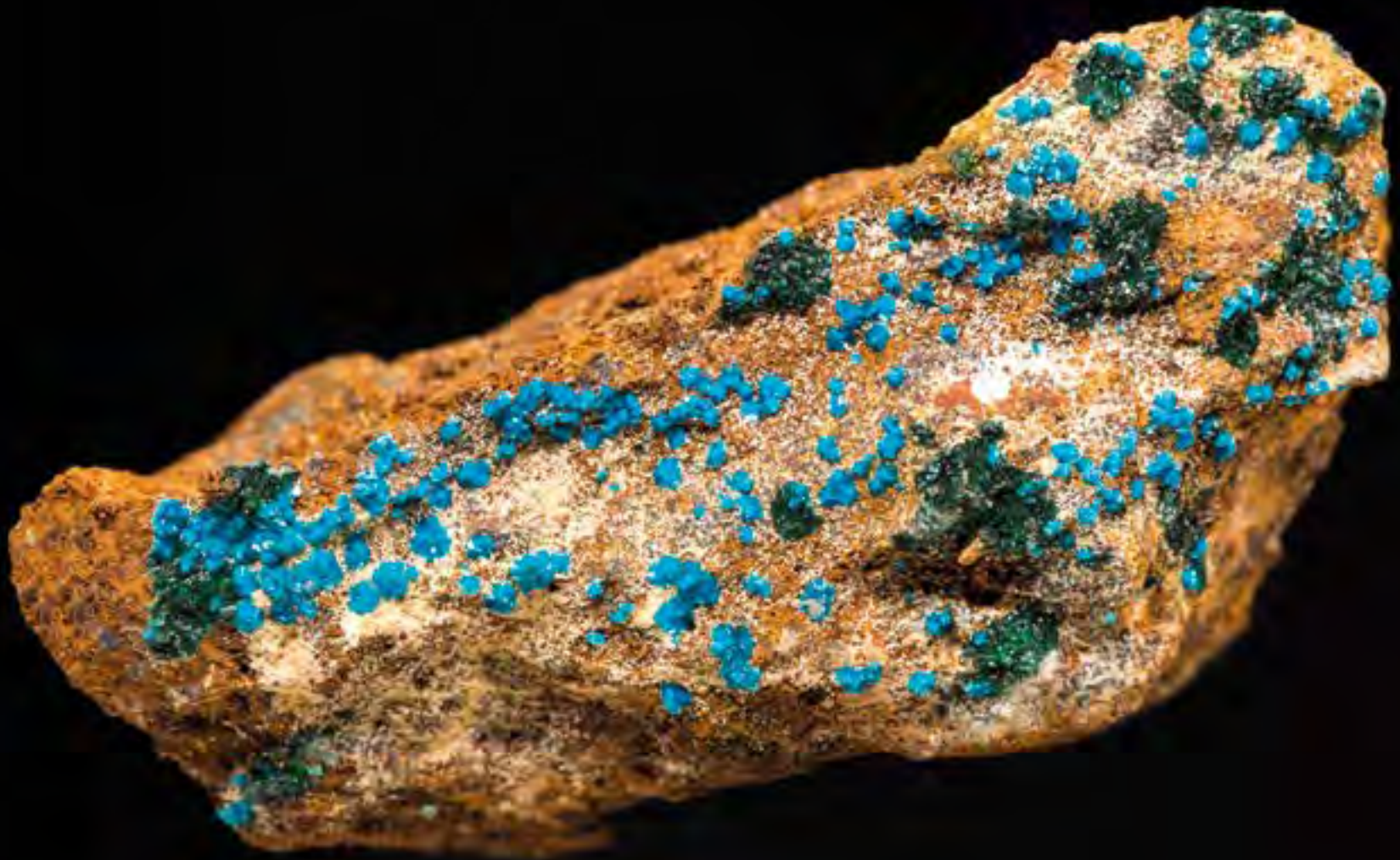
CLINOCLASA



SAMPLEÍTA



La sampleíta es un fosfato de cobre que en la fotografía se aprecia como agregados de finos cristales de color celeste intenso junto a atacamita, que es de color verde.

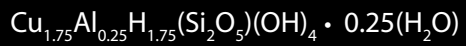




SAMPLEÍTA Y LIBETHENITA

$\text{NaCaCu}_5(\text{PO}_4)_4\text{Cl} \cdot 5\text{H}_2\text{O} - \text{Cu}_2(\text{PO}_4)(\text{OH})$

CRISOCOLA



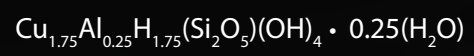
La crisocola es uno de los minerales de cobre más llamativos y comunes en el norte de Chile. Puede presentarse de color azul intenso a pálido y en varias tonalidades de verde. Es algo más resistente a la erosión, debido a que tiene sílice en su estructura, por lo cual es muy utilizado en orfebrería. Muchas veces se lo confunde con la turquesa, pero esta última es más escasa.

Se presenta con formas globulares o bien en bandas de distintas tonalidades azules y verdes. Comúnmente puede estar presente junto a otros minerales oxidados de cobre como la malaquita y la tenorita, además de óxidos negros de cobre y manganeso.

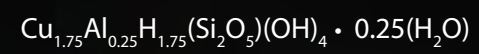




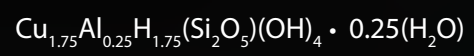
CRISOCOLA



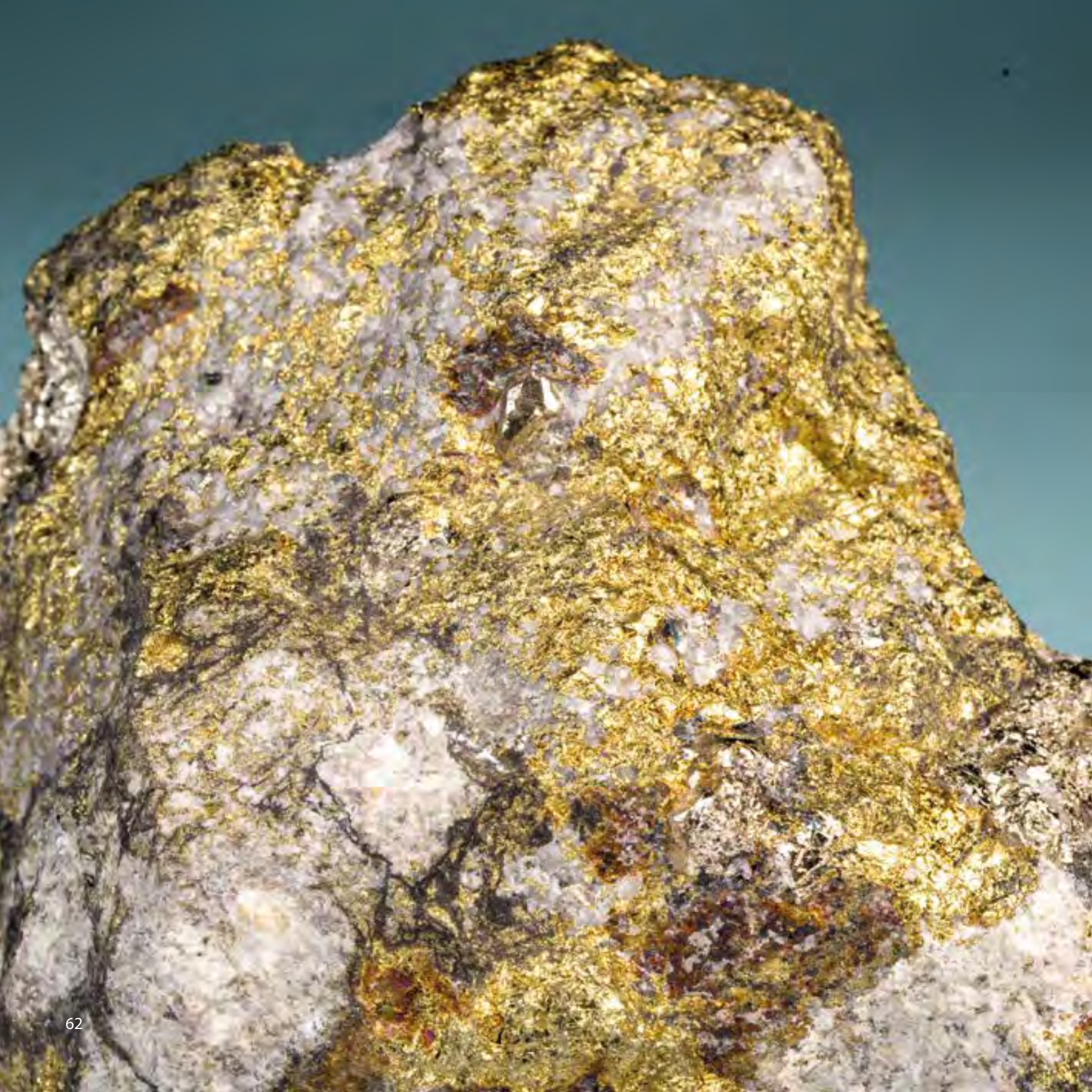
CRISOCOLA



CRISOCOLA







CALCOPIRITA

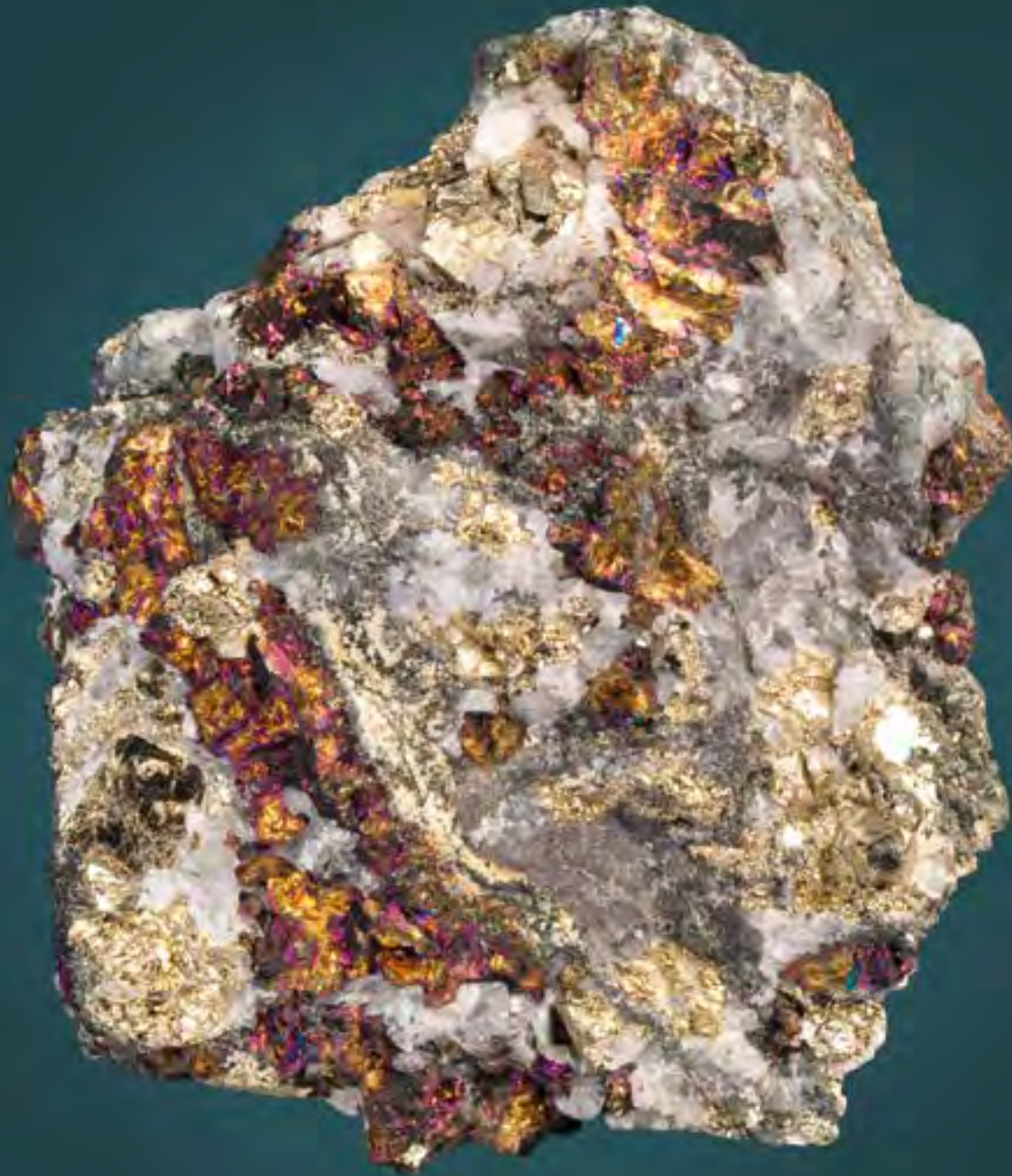


La calcopirita es, sin duda, el sulfuro de cobre más común e importante, debido a que es una de las principales fuentes de cobre. Es característico su color amarillo metálico, lo que lleva a confundirla a la vista con el oro.

En contacto con agentes atmosféricos, como el agua y el aire, produce en ocasiones una fina capa de oxidación por sobre el mineral. Esta pátina de oxidación, por lo general, tiene colores muy llamativos de naranjas, rojos y tonalidades azules iridiscentes. La exposición prolongada al agua y al oxígeno de la atmósfera, además de la presencia de ácidos naturales, hace que este mineral se oxide o se disuelva formando nuevos minerales que son estables bajo estas nuevas condiciones. De esta manera se forman los minerales oxidados de cobre.

CALCOPIRITA

CuFeS_2



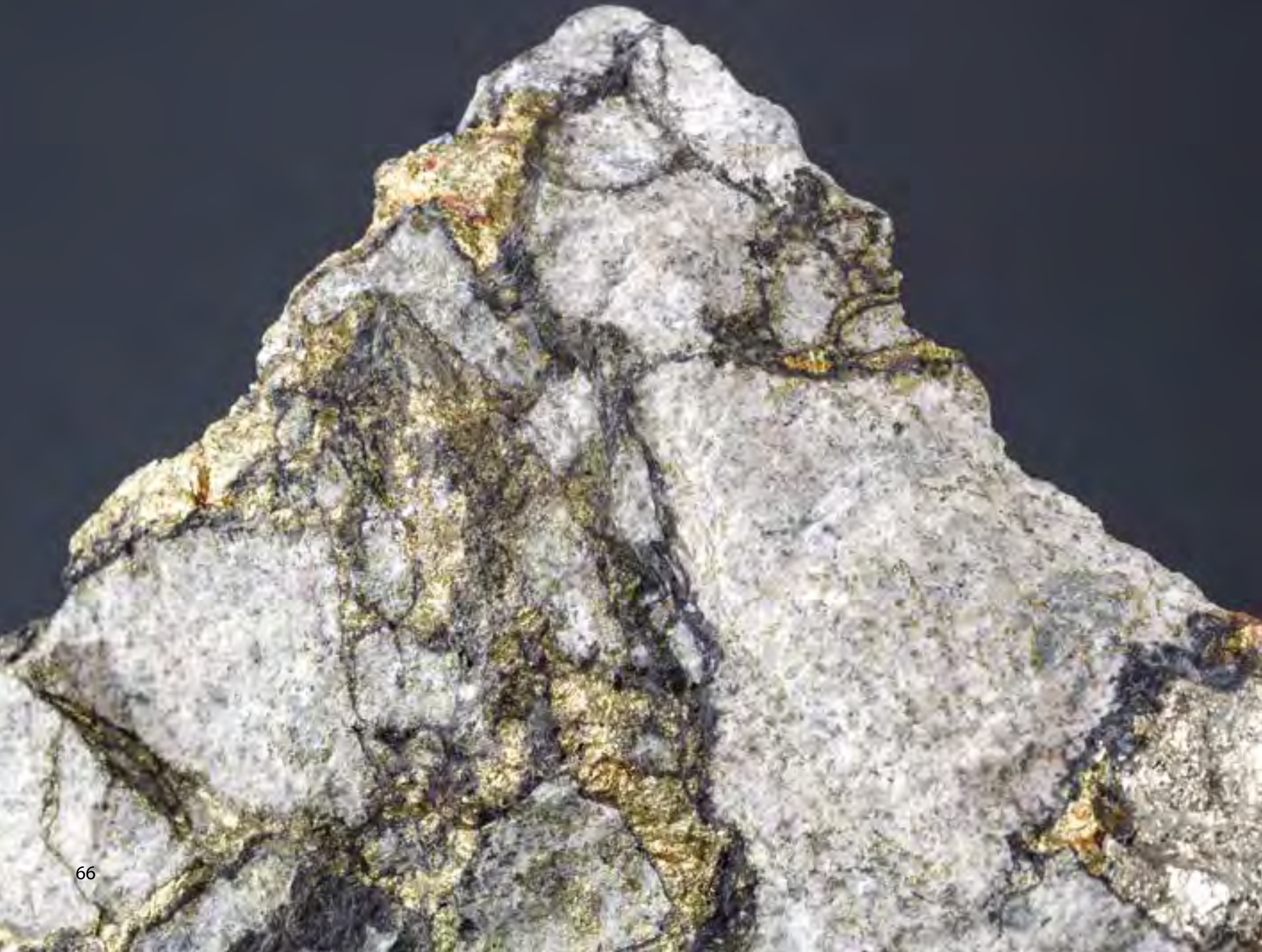
**CALCOPIRITA CON PÁTINA
DE OXIDACIÓN**



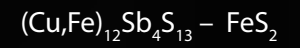
BRECHA HIDROTERMAL DE CALCOPIRITA

Los fluidos hidrotermales que transportan cobre en solución, además de otros compuestos y gases, se encuentran bajo alta presión y temperatura en las profundidades de la corteza terrestre. A medida que este fluido hidrotermal sube por la corteza, puede llegar a romper o fracturar las rocas circundantes lo que

resulta en una descompresión y enfriamiento del fluido. Estos cambios físicos y químicos hacen que el cobre precipite formando minerales, tales como la calcopirita entre los espacios de los fragmentos de roca. El resultado de este proceso es una roca que se conoce como "brecha hidrotermal".



TETRAEDRITA Y PIRITA



Tal como su nombre lo indica, este mineral de cobre se caracteriza por formar tetraedros. Puede contener algo de plata, y cuando el arsénico reemplaza al antimonio en la estructura, el mineral pasa a llamarse tenantita.







CALCOSINA



Así como la calcopirita, este sulfuro de cobre también se oxida en contacto con la atmósfera y el agua, formando minerales oxidados de cobre tales como la crisocola.

En la naturaleza es común encontrar distintos minerales en un mismo conjunto. Esto puede ocurrir porque los minerales se han formado al mismo tiempo o bien debido a que han cristalizado en etapas distintas.

MINERALES PRECIOSOS
(ORO Y PLATA)

ORO

Au

Por lejos, el mineral que más ha fascinado a la humanidad. Desde las civilizaciones antiguas se ha reconocido al oro nativo como un mineral de gran valor y atractivo, ya que es maleable y altamente resistente a la corrosión. Por ello su principal uso es en joyería, pudiendo ser moldeado y manteniendo su brillo y color sin oxidarse. Pese a su alta demanda, el oro es un elemento que se encuentra en forma muy escasa en la corteza terrestre: mil toneladas de roca pueden tener solo 1 gramo o menos de oro. En los yacimientos de oro, en cambio, este elemento se ha concentrado debido a procesos geológicos, alcanzando unos 3 a 6 gramos de oro por tonelada de roca, en promedio.

Por su escasa concentración en las rocas, el oro por lo general no se observa a simple vista, pero en algunas ocasiones puede concentrarse formando masas irregulares que pueden alcanzar gran tamaño en las llamadas zonas de bonanza, como por ejemplo en el yacimiento El Indio, en Chile. Cuando los yacimientos en superficie se erosionan, los granos de oro pueden ser transportados en ríos y arroyos, acumulándose en el sedimento y formando depósitos de tipo placer, de los cuales se pueden separar las pepitas de oro mediante la técnica del bateo.







PLATA NATIVA

Ag

La plata es considerada un metal noble ya que es resistente a la corrosión y oxidación. Su alto brillo y reflectividad lo hacen altamentepreciado en joyería y en la elaboración de monedas y espejos, además de cubiertos de mesa. Tiene propiedades antibacterianas y es sensible a la luz, lo que provocó que uno de los usos más importantes de la plata fuese en películas o filmes para fotografía, sin embargo, con el desarrollo de la fotografía digital este empleo fue relegado a segundo plano. Actualmente el mayor uso de la plata es en la industria electrónica, por su alta conductividad de electricidad y calor.

En Chile, el principal depósito de plata fue el mineral de Chañarcillo. Este depósito ubicado a unos 45 km al sur de Copiapó fue descubierto en 1832 por Juan Godoy, un joven pastor de cabras.

Existen diversas leyendas en torno a su descubrimiento, pero sea cual sea la verdadera historia, este yacimiento fue considerado una de las minas de plata más importantes en América. La explotación y desarrollo de Chañarcillo generó un gran impulso en la economía del país, incluyendo el desarrollo del primer ferrocarril de Chile en 1851.

El mineral de Chañarcillo se agotó a principios del siglo XX y poco queda de esos tiempos; sin embargo, la belleza de los minerales de plata extraídos de esta mina aún puede admirarse en diversas muestras alrededor del mundo. Las fotografías de los minerales de plata aquí presentadas provienen, precisamente, de este yacimiento mineral.

PLATA NATIVA

Ag





Tal como el cobre y oro nativo, la plata también puede presentarse en forma pura, es decir, formando un mineral compuesto exclusivamente por el elemento en cuestión. La plata nativa puede adoptar formas similares a pequeñas ramas de plantas (hábito dendrítico), o bien depositarse en forma irregular. Quizás el hábito más curioso de la plata –y probablemente único dentro de los minerales– es el crecimiento de cristales en forma de alambres finos caóticamente entrelazados.



PLATA NATIVA

Ag



ACANTITA

Ag_2S

De color negro a gris, este mineral carece del impacto visual que tienen otros minerales de plata como la plata nativa y la proustita. Aun así, en algunos casos, también puede llegar a formar cristales que son codiciados por los coleccionistas.

PROUSTITA

Ag_3AsS_3

La proustita es una sulfosal de plata que contiene azufre y arsénico. Su intenso color rojo rubí y su brillo adamantino, lo destaca entre los minerales de plata. Sin embargo, y como todos los minerales de plata este mineral es sensible a la luz, por lo que su exposición prolongada a ella lo oscurece y pone opaco. Es por esto que los más bellos ejemplares de proustita se guardan muchas veces en completa oscuridad.





PROUSTITA

Ag_3AsS_3



PIRARGIRITA



De composición química muy similar a la proustita, este mineral tiene antimonio en vez de arsénico. La pirargirita también tiene un color rojo profundo y al igual que la proustita, también se os-

curece y pierde su brillo bajo la exposición prolongada a la luz, tal como se observa en esta muestra.

OTROS MINERALES
METÁLICOS

OTROS MINERALES METÁLICOS

Además del cobre y los metales nobles tales como el oro y la plata, existen muchos otros elementos que son importantes para el desarrollo tecnológico e industrial.

La gran mayoría de estos elementos forman minerales, que al igual que el cobre pueden encontrarse en su forma más pura como elemento nativo o bien estar asociados con azufre formando sulfuros o con oxígeno formando óxidos. Algunos de estos minerales se encuentran en forma escasa en nuestro país, mientras que otros como la molibdenita (MoS_2) y la magnetita (Fe_3O_4) se hallan en suficiente cantidad para ser explotados.



ARSÉNICO

As

Muchos elementos que son considerados nocivos para la salud, también se presentan en forma natural. Tal es el caso del arsénico nativo, mineral conformado solo por el elemento As. Los finos minerales de color rojo y naranja corresponden a rejalgar (As_4S_4) y oropimente (As_2S_3), respectivamente.



ESTIBINA O ANTIMONITA



La estibina es reconocida porque, generalmente, forma grandes cristales que pueden alcanzar hasta varios centímetros de largo. La estibina es la principal fuente de antimonio, elemento que es usado en la fabricación de baterías, pigmentos, aleaciones y electrónica, además de la fabricación de materiales retardadores de fuego. La estibina en polvo fue usada en el antiguo Egipto como pigmento para maquillaje de ojos.

OROPIMENTE



Su nombre, de origen latino (aurum = oro, pigmentum = pigmento) hace alusión a su intenso color amarillo profundo que le da tonalidades naranjas. Más común que el arsénico nativo, se lo utilizó antiguamente como pigmento amarillo y dorado y también para la elaboración de pócimas venenosas.

MOLIBDENITA

MoS_2



La molibdenita es el principal mineral del cual se extrae el molibdeno en el mundo. En Chile se obtiene como un subproducto de la explotación del cobre en muchos de los grandes yacimientos minerales de las zona norte y centro. La molibdenita es, además, la única fuente de renio a nivel global, elemento que se utiliza fundamentalmente en la industria aeroespacial.

La molibdenita es comparativamente muy blanda y por sus características físicas es utilizada como lubricante, pero el principal uso

del molibdeno es en la industria del acero.

Este mineral se presenta, generalmente, como pequeños granos amorfos o agregados de cristales irregulares en depósitos tipo pórfido cuprífero, tales como Chuquicamata, El Salvador y Escondida, entre otros. En algunos casos puede formar hermosos cristales hexagonales o agregados radiales en láminas.



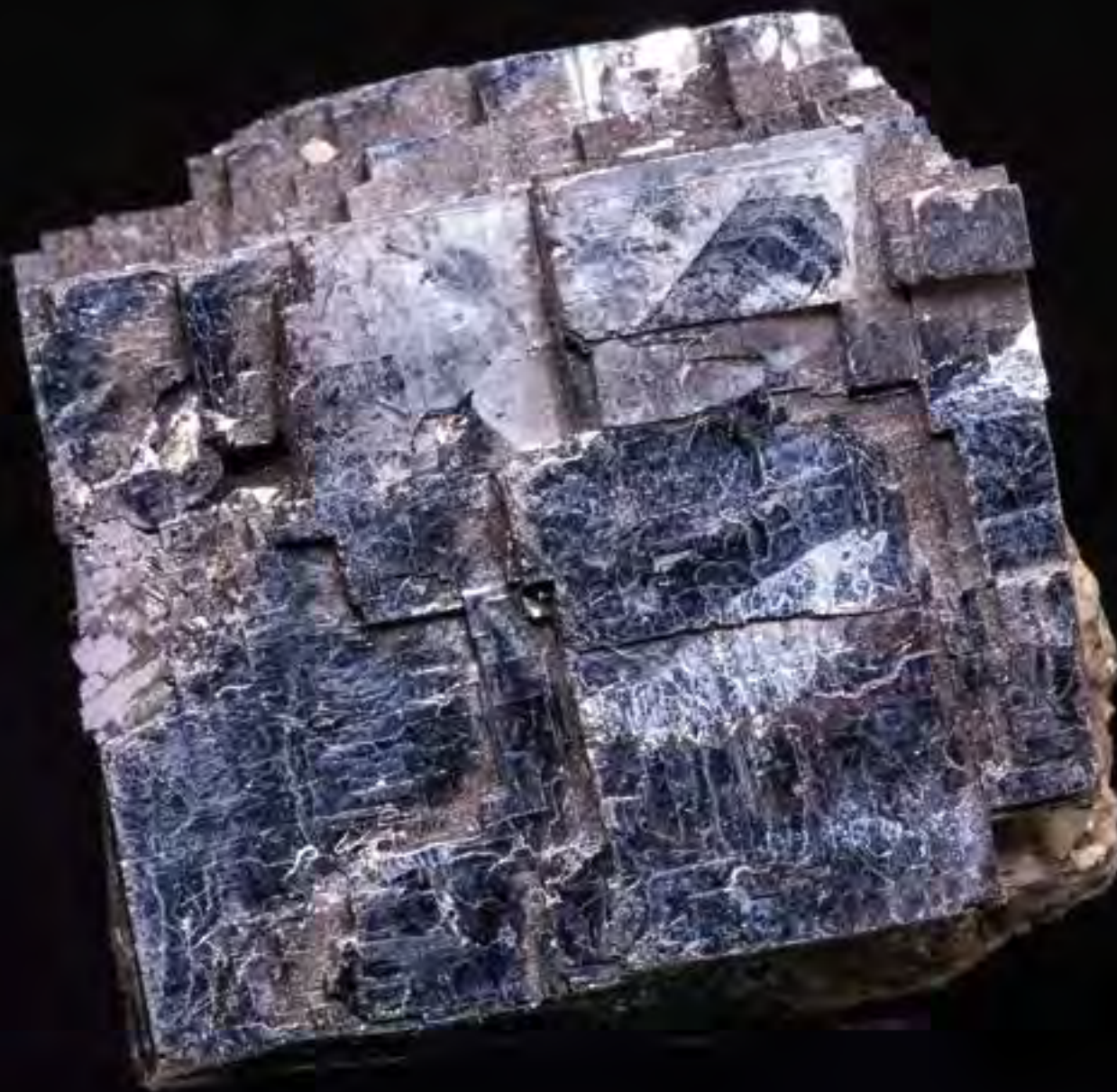
MOLIBDENITA

MoS₂



GALENA

PbS



La galena es la principal fuente de plomo para la industria y es un mineral que ha sido explotado desde los albores de la civilización.

Los cristales son originalmente de aspecto brillante, pero, en general, pierden su brillo con la exposición al aire. Una de las propiedades físicas típicas de la galena es la de romperse de

acuerdo a planos, formando pequeños cubos. Esta propiedad se conoce como exfoliación o clivaje cúbico perfecto. Además de esta propiedad, la galena es reconocida por su alta densidad, haciéndola muy pesada en comparación con otros sulfuros.

GALENA

PbS



GALENA
PbS







MAGNETITA



El hierro que utilizamos en nuestros procesos productivos se obtiene fundamentalmente de dos minerales: la magnetita y la hematita. La magnetita, tal como su nombre lo dice, es un mineral magnético, y en Chile es el que se explota para la producción local y exportación de acero. Algunos científicos piensan que hace alrededor de 100 millones de años, algunos de los depósitos de hierro chilenos se formaron a partir de erupciones volcánicas, con la diferencia de que las lavas en vez de estar conformadas por sílice y otros componentes, estaban constituidas por pequeños cristales de magnetita que fluían hasta la superficie, arrastradas por gases y burbujas de volátiles.

Como ocurre con otros minerales, cuando las condiciones de espacio y tiempo son adecuadas, la magnetita puede cristalizar formando hermosas figuras geométricas, en el caso de esta muestra octaedros o tetraedros.

MAGNETITA

Fe_3O_4

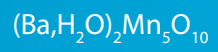


HEMATITA

Fe_2O_3



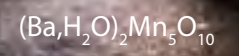
PSILOMELANO



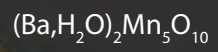
Psilomelano es un nombre antiguo para referirse a un grupo de minerales, principalmente romanechita, que además de manganeso contiene bario. Son típicas las formas con superficies redondas o globulares como las observadas en esta muestra.



PSILOMELANO



PSILOMELANO



El psilomelano también puede formar dendritas de manganeso, que se asimilan a formas ramificadas que fácilmente se confunden con fósiles de plantas, pero no lo son. Estas dendritas se forman en fracturas o sobre la superficie de la roca y pueden estar conformadas por romanechita u hollandita.



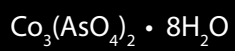
PIROLUSITA

MnO_2

La pirolusita es probablemente el mineral de manganeso más común. Es reconocido por presentarse como finos cristales en forma de aguja, en un arreglo radial, como ramilletes.

Este mineral es una de las principales fuentes de manganeso (Mn), elemento que se usa para la producción de acero. Las latas de bebidas se elaboran principalmente con aluminio, pero contienen, además, alrededor de un 1,5% de Mn.

ERITRINA



La eritrina es un mineral muy llamativo por su intenso color rojo carmesí. Es así que su nombre deriva del griego erythros que significa rojo. Este mineral es un arseniato de cobalto que se forma a causa de la oxidación de sulfuros o arseniuros de cobalto.









PIRITA



La pirita es el sulfuro más común en la superficie de la Tierra. Debido a su intenso brillo metálico y su color amarillo se lo confunde fácilmente con el oro, por lo que la pirita es también conocida como el "oro de los tontos". A diferencia del oro, este mineral es más duro y no es maleable, además, se oxida en contacto prolongado con el agua, formando ácido sulfúrico. Es común encontrarla formando cristales cúbicos o piritoedros como los de esta fotografía.

MINERALES
NO METÁLICOS

MINERALES NO METÁLICOS

Los minerales no metálicos son conocidos también como minerales industriales y son indispensables en el rubro de la construcción.

Los minerales industriales más importantes son la calcita (carbonato de calcio); el yeso, que es un sulfato de calcio; el cuarzo y las arcillas. Los dos primeros son utilizados en construcción; el carbonato de calcio en la fabricación de cemento y el yeso en tabiquería. El cuarzo es un componente fundamental en la fabricación de vidrio, mientras que las arcillas son usadas en cerámicas y porcelanas. Otros minerales no metálicos significativos son el azufre, el yodo, la halita, las sales de litio y los nitratos o salitre. A nivel mundial, Chile es el productor más importante de nitratos naturales, yodo y sales de litio que se extraen de la zona norte de nuestro país.

AZUFRE NATIVO

S

Fácilmente reconocible por su intenso color amarillo, este mineral está íntegramente compuesto por el elemento azufre. Este, por lo general, se combina con otros elementos para formar sulfuros y sulfatos, así por ejemplo se puede combinar con el cobre para formar calcosina (Cu_2S) o con hierro para componer pirita (FeS_2). En su forma nativa el azufre se encuentra generalmente en fumarolas volcánicas.



CALCITA

CaCO₃



La calcita es uno de los minerales más importantes para la industria de la construcción, ya que es el constituyente principal de las rocas calizas, las cuales son explotadas para la fabricación de cemento. Si las calizas son sometidas a presión y temperatura pueden transformarse en mármol. Tanto en las calizas como en el mármol, los cristales de calcita son de tamaño milimétrico y, generalmente, de forma irregular. Por otra parte, si las condiciones son adecuadas la calcita puede formar cristales romboédricos transparentes o de color blanco.

HALITA

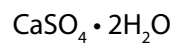
NaCl

Probablemente todos tenemos este mineral en casa: la sal común. Es actualmente el mineral no metálico más explotado del mundo. Se forma en ambientes áridos a partir de la evaporación de salmueras y en el norte de Chile se explota a partir de los salares. Su color puede variar de acuerdo a las impurezas que contenga la muestra, entre tonos rosados, amarillos y hasta negros, entre otros.





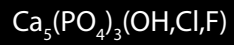
YESO



Un mineral ampliamente usado en construcción, el yeso se extrae fundamentalmente de rocas sedimentarias en donde puede estar asociado a calcita o halita.

El alabastro es una variedad de yeso de grano muy fino utilizado por muchas culturas para la confección de esculturas. Particularmente la cultura mapuche lo empleó también para la elaboración de instrumentos de viento y pipas. Los cristales de yeso traslúcido, también llamado selenita, pueden alcanzar grandes dimensiones. Quizás el caso más impresionante es el de los cristales gigantes de la cueva de Naica en México, donde los cristales alcanzan hasta 12 m de largo. Otro ejemplo de cristales de selenita de gran tamaño se encuentra en la Caverna de los Cristales, en la mina El Teniente.

APATITO



Este es un mineral para confundirse, y su nombre expresa esto, ya que en griego hace referencia al engaño o fraude. Hasta fines del siglo XVIII se confundió este mineral con otros y solo entonces se lo definió como un nuevo mineral no metálico. El apatito es un fosfato de calcio, y se explota en muy pequeña medida como fertilizante. Sin embargo, este mineral tiene un potencial económico muchísimo mayor ya que contiene algunos elementos del llamado grupo de los lantánidos, comúnmente conocidos como tierras raras. Estos elementos son fundamentales para la fabricación de artículos electrónicos como celulares y televisores.







CUARZO

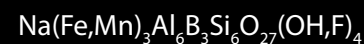
SiO_2

El cuarzo es uno de los minerales más comunes en la corteza terrestre. Se lo encuentra generalmente como granos irregulares en rocas ígneas y algunas rocas sedimentarias, o bien en las arenas de playa que resultan de la erosión de estas. También se lo encuentra en geodas o formando cristales prismáticos de distinto tamaño. Puede tener diversos colores de acuerdo a la presencia de impurezas.

La amatista, por ejemplo, es una variedad de cuarzo que contiene pequeñas cantidades de hierro que le dan una coloración violeta o púrpura, mientras que el cuarzo rosado contiene pequeñas cantidades de titanio.



TURMALINA



La turmalina en realidad corresponde a un subgrupo de silicatos de composición y color muy variables. El más común es el de color negro (turmalina variedad schorlita); sin embargo, las especies más cotizadas por los orfebres son aquellas de color rosado a verde. La turmalina es un mineral piezoeléctrico y piroeléctrico, lo que significa que genera una corriente eléctrica cuando es sometida a estrés o a cambios de temperatura.

SALITRE

Una de las riquezas mineras del desierto de Atacama, también conocido como “oro blanco” por su trascendencia económica durante el siglo XIX y comienzos del XX. Cuando Chile tuvo acceso a este recurso mineral, con la incorporación de Antofagasta y Tarapacá tras la Guerra del Pacífico, nuestro país vivió un auge económico inédito que impactó en la creación de nuevos asentamientos en el norte y el desarrollo del ferrocarril.

El salitre es una mezcla de compuestos de nitrato, mayoritariamente nitrato de sodio (NaNO_3) y nitrato de potasio (KNO_3), y sus usos principales son para fertilización de campos y producción de pólvora. En su estado natural se aprecia en el desierto como costras blanquecinas sobre las rocas.





LAPISLÁZULI

Es la piedra nacional de Chile desde 1984, cuando esta roca ornamental fue declarada en esa categoría por decreto del Ministerio de Minería. En nuestro país el lapislázuli se explota a partir de un único yacimiento llamado Flor de los Andes, ubicado en la cordillera de Ovalle, Región de Coquimbo. Solo dos países en el mundo cuentan con minas para su explotación: Chile y Afganistán. El lapislázuli es una mezcla de minerales compuesta por lazurita, un aluminio silicato de sodio, que es el que le da el color azul.

Además, la roca está conformada por otros minerales tales como la wollastonita y calcita, que corresponden a las zonas grises y blancuecinas comúnmente observadas en las muestras, y de pirita que suele darle un brillo metálico. Esta roca fue reconocida y explotada en la antigüedad y es posible reconocerla en muchos objetos arqueológicos del antiguo Egipto y de culturas precolombinas de Sudamérica.



COMBARBALITA

Sin lugar a dudas no podría faltar en esta selección la combarbalita, que a pesar de no ser un mineral sino una mezcla de minerales es una roca ornamental ampliamente conocida en nuestro país por su uso en artesanías y ornamentación pública. Fue declarada piedra nacional en 1993. Esta roca está compuesta principalmente de arcillas y alunita. Su diversidad de colores, que puede variar desde el rojizo, rosado, marrón, blanco y hasta verde, se debe a la presencia de otros minerales. Su color más típico es el rojizo, que se debe a la presencia de hematita.



INDICE

MINERALES DE COBRE

Cobre nativo	17
Kronkita o kröhnkita.....	22
Chalcantita	24
Pisanita o Cupromelanterita.....	26
Brochantita.....	28
Antlerita.....	31
Linarita.....	32
Atacamita.....	34
Malaquita.....	38
Malaquita con cuprita.....	41
Malaquita sobre crisocola botroidal	43
Azurita	44
Turquesa.....	47
Auricalcita.....	48
Dioptasa	52
Clinoclasa.....	53
Sampleita.....	54
Sampleita y Libethenita	55
Crisocola.....	56
Calcopirita	62
Calcopirita con patina de oxidación	65
Brecha hidrotermal de calcopirita	66
Tetraedrita y pirita.....	67
Calcosina.....	69

MINERALES PRECIOSOS

Oro	72
Plata nativa.....	74
Acantita	81
Proustita.....	82
Pirargirita	85

OTROS MINERALES METÁLICOS

Arsénico.....	89
Estibina o Antimonita	90
Oropimente.....	91
Molibdenita.....	92
Galena.....	95
Magnetita	98
Hematita	101
Psilomelano.....	102
Pirolusita	105
Eritrina	106
Pirita	108

MINERALES NO METÁLICOS

Azufre nativo	113
Calcita	114
Halita	115
Yeso.....	116
Apatito.....	118
Cuarzo.....	120
Turmalina	121
Salitre	122
Lapilázuli.....	124
Combarbalita.....	125



NÚCLEO MILENIO TRAZADORES DE METALES EN ZONAS DE SUBDUCCIÓN

El objetivo principal de investigación del Núcleo Milenio Trazadores de Metales en Zonas de Subducción (NMTM) es entender los procesos y factores geológicos que concentran los metales y forman grandes yacimientos minerales en la corteza. El núcleo es financiado por la Iniciativa Científica Milenio (ICM) programa de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), perteneciente al Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación y convoca a investigadores en las áreas de la geoquímica, geocronología, mineralogía, petrología, geología estructural y geofísica. El NMTM está alojado en el Departamento de Geología de la Universidad de Chile, y se estableció a fines de 2014.

LIBRO FOTOGRÁFICO

LA RIQUEZA MINERAL DE CHILE

Este libro celebra la belleza intrínseca y original – las formas, texturas y colores – de aquellos minerales que históricamente y hasta la actualidad han sido explotados en nuestro territorio. Son más de 80 fotografías que nos invitan a contemplar el atractivo estético que guarda nuestro patrimonio mineral nacional y a valorar la riqueza de estas estructuras más allá de su aporte utilitario.

