

Resumen de principales características macroscópicas de minerales observables en muestras de mano

Vlamir Muñoz Pavlov

e-mail: vlamir.geologia2023@gmail.com; vlamir.geologia2024@outlook.com

1. Introducción

Se presenta aquí, para fines de divulgación y de apoyo en clases prácticas de mineralogía, un resumen de las propiedades macroscópicas de minerales, observables en muestras de mano, definidas también como “propiedades organolépticas” es decir observables por los sentidos del ser humano con el apoyo de elementos muy básicos, de fácil aplicación en terreno y laboratorio.

A este tipo de observaciones se les denomina también “de visu” y solo requieren de un imán común o lápiz imán, un rayador de tungsteno, una cerámica y ácido clorhídrico diluido al 8 a 10%, idealmente de una lupa de mano de aumentos de 5x a 20x, siendo el de 10x el más habitual, disponer de iluminación preferentemente natural solar, o en su defecto artificial de buena calidad tipo luz día, así como de una colección de muestras de mano idealmente del tamaño de un puño. Para registrar la descripción se debe contar con una plantilla que permita dibujar y documentar las observaciones, de la cual se agrega un modelo de ejemplo al final de este documento presentado como “**Ficha de descripción de minerales**”.

Lo que se pretende por medio de este documento es que los estudiantes de materias como Geología General y Mineralogía, así como las personas aficionadas e interesadas en la mineralogía, dispongan de un apunte de consulta rápida y confiable.

En esta guía se incluyen enlaces a videos de apoyo desarrollados laboratorios, a presentaciones que complementan gráficamente este texto, a documentos y videos de apoyo adicional incluyendo a la “**Ficha de descripción de minerales**” donde el desarrollo habitual de las observaciones en los minerales suele seguir un orden que incluye: color, brillo, transparencia, raya o huella, dureza, magnetismo, reacción al ácido clorhídrico, hábito y otras propiedades.

La información aquí expuesta es de carácter básica y proviene de una amplia variedad de libros de mineralogía y de geología, así como sitios web dedicados a estos temas. Parte de la información reunida proviene de la formación profesional del autor como geólogo y magister en ciencias mención geología, sumada a las experiencias prácticas con estudiantes de instituciones de educación superior correspondientes a universidades e institutos en clases de laboratorio de carreras de Geología, Ingeniería Civil en Minas y Técnico en Minería. Por ello no se incluyeron citas bibliográficas específicas en el texto y al final del documento se presenta listas bibliográficas de referencia, cuya consulta es recomendable para quienes requieran profundizar cada tema. Para la grabación de los videos se contó con las muestras de la colección personal del autor y muestras del Laboratorio de Geología de la USS, así como con la colaboración del Dr. Andrés Soto Bubern y del Ingeniero Civil en Minas Sebastián Campos quien editó los videos según las indicaciones del autor.

Las propiedades de los minerales y temas detallados a continuación se agrupan en:

- Conceptos Fundamentales.
- Propiedades identificables principalmente por observación visual del mineral.
- Propiedades observables por interacción física y/o química con el mineral.
- Estructuras, texturas y asociaciones mineralógicas.
- Rocas y ambientes genéticos.
- Enlaces a documentos y videos de apoyo adicional.
- Bibliografía.

➤ [Enlace a Video: Mineralogía Descripción Sistemática de Minerales](#)

2. Conceptos Fundamentales.

Se presenta en este ítem algunos conceptos fundamentales que se deben tener presentes en los temas tratados en este resumen de propiedades de los minerales.

2.1 Mineral.

La mineralogía, rama específica de la geología, es la ciencia que estudia los minerales, y la “Comisión de Nomenclatura Mineral y Nuevos Minerales” de la “Asociación Mineralógica Internacional” conocida como **IMA** (International Mineralogical Association) publica la lista de los nombres válidos de minerales, su fórmula química y bibliografía específica. La definición actual del término mineral, según la IMA, es:

“Un mineral es un elemento o un compuesto químico, de composición química característica, inorgánico, cristalino, y que se ha formado de manera natural como consecuencia de procesos geológicos”.

Respecto de esta definición es necesario un análisis detallado que se presenta a continuación.

- **Composición y estado:** Un solo elemento químico puede constituir un mineral, al igual que un compuesto de elementos químicos diferentes, siempre que ese material cumpla tenga origen inorgánico y una organización espacial específica y repetitiva de sus átomos y, por lo tanto, sea materia cristalina, es decir que su organización atómica corresponda a un sistema cristalográfico, lo cual solo es posible si el material está en estado sólido. Así, por ejemplo, el agua al estar en estado líquido, en condiciones ambientales, no puede ser considerada un mineral, pero al congelarse se forman cristales de hielo que si corresponden a un mineral.
- **Génesis de un mineral:** Según su definición, también un mineral debe haberse formado por procesos geológicos, es decir en la corteza del planeta. Por ejemplo, los minerales que componen el caparazón de los moluscos son, en estricto rigor, minerales biogénicos, es decir que se debe precisar su origen no geológico. Dichos caparazones se pueden integrar al material que conforma a una roca, donde nuevos minerales reemplazaran a los minerales biogénico, dando origen a un fósil, entonces como la

fosilización es un proceso que ocurre en la corteza estos nuevos minerales, originados por proceso geológicos y que componen los fósiles son minerales en sentido estricto.

- **Temas en discusión:** La definición de mineral es aún objeto de revisión, especialmente con respecto a la exigencia de no ser material biogénico, así como respecto al límite entre una estructura atómica ordenada versus una desordenada. También nuevas tecnologías de estudio de minerales han permitido determinar que algunos materiales de origen geológico, que eran considerados y clasificados como un mineral específico, en realidad corresponden a una mezcla microscópica de distintos minerales.

2.2 Especie mineral.

Una especie mineral está constituida por individuos minerales que se caracterizan por una estructura cristalina determinada y por una composición química que pertenece a un rango específico de variaciones continuas y que se encuentran en equilibrio bajo condiciones termodinámica determinadas.

2.3 Variedades de un mineral.

Las variedades de un mineral son el conjunto de minerales que abarca las variaciones sutiles de composición y/o estructura, posibles dentro de una especie mineral, incluyendo modificaciones en las propiedades químicas, físicas y morfológicas de los cristales, pero manteniendo las características fundamentales de la especie mineral a la que pertenecen.

2.4 Clasificación de Strunz.

La clasificación de Strunz es un sistema de clasificación mineralógica ampliamente utilizado y que propone un agrupamiento por composición química con subdivisiones estructurales para los silicatos. Los grupos de minerales a considerar en la "Clasificación de Strunz", creada en 1938 por el mineralogista alemán Karl Hugo Strunz, ajustada posteriormente en 2004 por la IMA, son en términos generales los siguientes:

- **Grupo I : Elementos o Minerales Nativos:** se componen de un solo elemento. Ej.: oro nativo, plata nativa, azufre.
- **Grupo II : Sulfuros y Sulfosales:** por ej. pirita, calcopirita, bornita, rejalgar, calcosina, molibdenita, pirargirita, tetraedrita.
- **Grupo III : Haluros:** como los fluoruros, cloruros, bromuros y yoduros. Conocidos también como halogenuros o sales haloideas. Por ej. fluorita, atacamita, halita, silvina.
- **Grupo IV : Óxidos e Hidróxidos:** por ej. hematita, magnetita, oligisto, limonita.
- **Grupo V : Carbonatos, Nitratos y Boratos:** por ej. calcita, aragonito, nitratina, kernita, bórax, ulexita.
- **Grupo VI : Sulfatos, Cromatos, Molibdatos y Wolframatos:** por ej. baritina, yeso, alunita, chalcantita.
- **Grupo VII : Fosfatos, Arseniatos y Vanadatos.** por ej. wolframita, scheelita.

- **Grupo VIII :Silicatos:** por ej. cuarzo, ortoclasa, plagioclasa, olivino, piroxeno, anfíbola, muscovita, biotita. Este grupo se subdivide en subgrupos estructurales que se presentan más adelante
- **Grupo IX : Sustancias Orgánicas:** correspondiente a un grupo opcional en cuya formación han concurrido conjuntamente agentes biogénicos y geológicos.

2.5 Subgrupos de los Silicatos

Los Silicatos (Grupo VIII) se clasifican en subgrupos basados en la organización espacial del enlace entre tetraedros de Si y O, donde el Si está en el centro del tetraedro y los O están en sus cuatro vértices. La clase de los Silicatos se subdivide en 6 subclases estructurales principales según como se enlazan los tetraedros de Si y O:

- **Nesosilicatos:** tetraedros unidos por enlaces iónicos por medio de cationes intersticiales. Por ej. zircón, olivino, granate, andalucita, titanita, estauroлита, cianita.
- **Sorosilicatos:** pares tetraédricos enlazados por un oxígeno compartido en un vértice común. Cada par tetraédrico se enlaza con otro par por un catión. Por ej. epidota, vesubianita, lawsonita.
- **Ciclosilicatos:** anillos de 3, 4 o 6 tetraedros enlazados por átomos de oxígeno, compartidos por estos tetraedros. Estos anillos se enlazan entre sí por cationes. Por ej. turmalina, berilo.
- **Inosilicatos:** cadenas simples de tetraedros que comparten átomos de oxígeno a lo largo de la cadena. También dos cadenas simples se pueden unir lateralmente compartiendo otro oxígeno dando origen a una cadena doble. Estas cadenas ya sean simples o dobles se enlazan por medio de cationes conformándose así el mineral. Por ej. piroxeno, anfíbola.
- **Filosilicatos:** se conforman por una extensión indefinida de tetraedros enlazados que comparten 3 oxígenos, conformando capas de tetraedros. Estas capas de tetraedros se enlazan por medio de capas de cationes, con los que forman los enlaces más débiles. Por ej. las micas como la muscovita, biotita, clorita, serpentina, caolinita, talco, crisocola.
- **Tectosilicatos:** armazón tridimensional de tetraedros que comparten todos sus átomos de oxígenos y que pueden incorporar otros elementos, como Na, K y Ca, reemplazando al Si en el centro de cada tetraedro. Por ej. cuarzo, ortoclasa, plagioclasa, sanidina, microclina.

2.6 Sistema Cristalográfico y Estructura Cristalina.

La cristalización es un proceso por medio del cual se forma un sólido en base a una organización espacial específica de los átomos, de los elementos químicos, que lo conforman. En la organización cristalina de la materia ha sido posible identificar 230 grupos espaciales clasificables según los elementos de simetría que poseen, siendo posible agruparlos en 32 clases de simetría, cada una de las cuales reúne todas las formas cristalinas que comparten los mismos elementos de simetría y que corresponden a puntos, ejes y planos de simetría.

Luego, cuando se asigna o aplica el término **crystal** es porque la organización espacial atómica de la materia sólida, que compone un mineral, considera una distribución espacial específica de sus átomos, lo

que origina formas geométricas específicas y la presencia de algunos elementos de simetría, característicos de un conjunto de figuras geométricas, que es posible agruparlas en **Siete Sistemas Cristalinos** o **Sistemas Cristalográficos Fundamentales**, que se representan por una celda unitaria que corresponde a una figura geométrica específica. Estos sistemas son los siguientes:

- **Cúbico:** celda unitaria representable por un cubo. Es denominado también como Regular o Isométrico.
- **Tetragonal:** celda unitaria representable por un prisma recto de base cuadrada. Es denominado también como Piramidal o Cuadrático.
- **Hexagonal:** celda unitaria representable por un prisma de base hexagonal. En esta lista este sistema Hexagonal excluye al Hexagonal Trigonal.
- **Rómbico:** celda unitaria representable por un prisma recto de base rectangular. También denominado Ortorrómbico, que fue considerado antiguamente como parte del Sistema Digonal.
- **Trigonal:** celda unitaria representable por un romboedro. Incluye al antiguo sistema Romboédrico y, en estricto rigor, es un subsistema del Hexagonal.
- **Monoclínico:** celda unitaria representable por un paralelepípedo inclinado, es decir con un lado en ángulo no recto respecto a los otros lados. Fue considerado antiguamente como parte del Sistema Digonal.
- **Triclínico:** celda unitaria representable por un prisma oblicuo de base paralelograma, es decir un paralelepípedo inclinado sobre sus tres lados.

A lo largo del desarrollo de la Cristalografía han existido cambios en el nombre de los sistemas, así como cambios en la agrupación de las clases de simetría. Es así, que el Sistema Trigonal o Romboédrico aquí mencionado es considerado también como parte del Sistema Hexagonal, y así se considera a solo 6 sistemas como los esenciales. El aquí denominado Sistema Trigonal incluye celdas con Simetrías Hexagonales y Romboédricas. Históricamente existió la Singonía Digonal que se dividía en dos sistemas, Rómbico y Monoclínico, los cuales se tratan hoy por separado. Este es un tópico que requiere un tratamiento mucho más extenso, que escapa al objetivo de este trabajo, pero en el material de apoyo anexado vía enlace se incluye más material de apoyo gráfico al respecto.

2.7 Materia amorfa

La “**sustancia amorfa**” o “**materia amorfa**”, es aquella que carece de una organización cristalina de la materia que la compone, no son minerales y se les agrupa actualmente bajo el nombre de “**mineraloides**”.

En algunos casos, se ocupa el término “**materia vítrea**” como sinónimo de materia amorfa, especialmente en ciertas rocas compuestas por vidrio volcánico como es el caso de la **obsidiana**. Es necesario tener presente que, en varios textos, especialmente los editados previo al año 1995, aparecen estos mineraloides incluidos en los grupos de minerales. Algunos ejemplos de ellos son el **ópalo** (sílice hidratada amorfa), y **ámbar** (de origen orgánico).

3. Propiedades identificables principalmente por observación visual del mineral.

Las propiedades descritas en este ítem se basan principalmente en la inspección visual macroscópica del mineral, puede ser con apoyo de una lupa de mano o lupa binocular, incluyendo diferentes aspectos de formas, colores y efectos ópticos, tales como color, transparencia, brillo (metálico, submetálico y no metálico) e iridiscencia, así como aspectos correspondientes al hábito de los minerales que incluye presencia de caras naturales, forma, estructura cristalográfica y arreglo.

Se incluye en ese ítem algunos aspectos morfológicos que se pueden observar en un conjunto de minerales y que requieren, en algunos casos, de la determinación de cada individuo para poder identificar la propiedad en estudio, tales como macla, pseudomorfismo, isomorfismo y polimorfismo.

3.1 Color.

Se debe describir el color predominante del mineral y los demás colores presentes, utilizando términos que ayuden a precisarlos. Existen efectos ópticos que tienen diversos nombres aplicados especialmente a gemología, como por ejemplo la iridiscencia, que se observa como un efecto de descomposición de la luz en los colores del arcoíris.

También se debe tener presente que una especie mineral puede variar su color con pequeñas cantidades de impurezas o sea de elementos ajenos a su fórmula convencional, como es el caso del **cuarzo** que puede presentarse en las variedades **crystal de roca (cuarzo puro**, transparente y con caras naturales), **cuarzo lechoso**, **cuarzo rosado**, **cuarzo ahumado**, **amatista** y **citrino**, todas variedades con cambios de color producto de impurezas, pero cuya raya tendrá siempre color blanco. También existe un denominado **cuarzo verde** que en realidad corresponde a cuarzo con inclusiones de micas que generan como efecto un color verde.

3.2 Transparencia.

Se observa idealmente en cortes transparentes y también en ejemplares con caras bien desarrollada, ya que un mineral puede ser:

- **Transparente:** si se ve lo que está al otro lado del mineral.
- **Translúcido:** si lo que está al otro lado del mineral se ve de manera difusa.
- **Opaco:** cuando no se ve lo que hay al otro lado del mineral, es decir que la luz no pasa a través de dicho mineral, como la mayoría de los minerales metálicos tales como metales nativos y sulfuros. Se tiende a utilizar erróneamente el término **opaco** para referirse a minerales brillo de baja intensidad, pero en mineralogía el término opaco se debe usar exclusivamente para un mineral no transparente ni translúcido.

3.3 Brillo o Lustre.

El brillo se produce por la luz natural que se refleja en la superficie del mineral. Generalmente un mineral presenta un solo tipo de brillo, aunque excepcionalmente puede tener distintos brillos en diferentes caras naturales y en superficies de fractura. Se debe observar el brillo más intenso del mineral e identificarlo

indicando en primer lugar si pertenece a alguno de los siguientes tipos de brillo: **Metálico**, **Submetálico** y **No Metálico**, los cuales se describen a continuación.

- **Brillo Metálico:** Igual al de los metales limpios y pulidos, habitual en minerales opacos (no transparentes) como los minerales metálicos. Es un brillo intenso, pero no es el más intenso, siendo superado por el brillo adamantino y nacarado, siendo de similar intensidad al vítreo.
- **Brillo Submetálico:** Es el brillo de sustancias que son opacas (no transparentes) cuando son gruesas, pero cuando se exfolian en láminas finas son transparentes. Es similar al de objetos metálicos cuya superficie está sucia. Su intensidad es menor que la del brillo metálico.
- **Brillos No Metálicos:** Ordenados de mayor a menor intensidad, son los siguientes:
 - **Adamantino:** como del **diamante**, referido como el brillo más intenso, cuando una cara de un mineral presenta brillo adamantino este brillo no deja ver la superficie de la cara. Cuando minerales muy pequeños presentan este brillo se generarán puntos de luz intensa o intensos destellos al mover la muestra expuesta a la luz del sol.
 - **Nacarado:** como en las **micas** y el nácar de caparazones, conchas de moluscos y perlas, algo iridiscente, es intenso, denominado también perlado o perlítico, mal denominado micáceo.
 - **Vítreo:** como en el **vidrio**, se observa en caras naturales de **cuarzo**, es intenso.
 - **Resinoso:** como en la **resina**, se observa en el **azufre nativo**, de intensidad media.
 - **Graso:** como en la **grasa**, a veces se observa en las **superficies de rotura del cuarzo**, de intensidad media, denominado también oleoso.
 - **Sedoso:** como en la **seda**, típico de los minerales de hábito fibroso, es de intensidad media.
 - **Selenítico:** como en la luz de la **luna**, como en el mineral **selenita**, es un brillo difuso de intensidad media.
 - **Húmedo:** como el brillo en el **agua**, se observa también en la **fluorita**, es de intensidad baja
 - **Córneo:** como en el brillo en los **cuernos** de un animal, por ejemplo, en la **calcedonia** que casi no brilla.
 - **Terroso:** como en la **bauxita** y **caolín**, brillo muy débil y difuso, presente en minerales que casi no brillan, denominado también como brillo mate. Es conveniente hacer la observación girando el mineral para observar la superficie que presenta este brillo.
- **Consideraciones al Observar el Brillo:** El brillo debe ser estudiado idealmente con el mineral expuesto directamente a la luz del Sol y la observación debe realizarse sobre superficies planas, no oxidadas, limpias y sin pátina de alteración, de manera que la luz se refleje con máxima intensidad. En los agregados masivos, de cristales anhedrales, el brillo puede ser menos intenso que en los cristales euhedrales. En la magnetita el brillo de las caras naturales es metálico, mientras que en agregados masivos de cristales anhedrales puede ser terroso o mate. Para cristales pequeños el brillo puede observarse con una lupa de mano o una lupa binocular. Se debe observar sobre los

planos de exfoliación y caras naturales, donde el brillo es más acentuado que en la superficie irregular del cristal. Se puede determinar asertivamente el brillo de un mineral, si se le compara con distintos brillos de una colección de objetos que contenga vidrio (brillo vítreo) conchas de moluscos (brillo nacarado) diversos metales limpios y seda, entre otros materiales.

Algunos minerales pueden presentar excepcionalmente varios brillos distintos según sus caras cristalinas, como por ejemplo el yeso que puede presentar brillo vítreo, subvítreo, sedoso y nacarado. Cuando un brillo es intermedio entre dos de los brillos aquí indicados se puede agregar el prefijo “sub” al brillo más intenso de ese rango, por ejemplo, un brillo entre vítreo y resinoso se puede identificar como subvítreo.

➤ [Enlace a Video: Mineralogía Brillo de Minerales](#)

3.4 Hábito.

Descripción de la forma del mineral, así como de la distribución espacial entre ellos. No siempre un mineral presenta las mismas características de hábito, ya que ello depende de las condiciones genéticas. Se debe describir sistemáticamente: la presencia de **caras naturales**, la **forma geométrica** del mineral y el **arreglo** correspondiente a la distribución espacial entre los minerales y el **tamaño** de los minerales

- **Presencia de Caras Naturales:** La presencia de caras naturales se especifica utilizando una terminología específica para ello:
- **Euhedral:** mineral con todas sus caras macroscópicas bien formadas.
 - **Subhedral:** mineral con algunas caras macroscópicas bien formas.
 - **Anhedral:** mineral sin caras macroscópicas naturales.

Si hay varios cristales en una muestra y con distintas características se debe especificar de lo predominante a lo minoritario, nombrándolos en ese orden (ej. cuarzo: subhedral y anhedral, significa que son más abundantes los individuos subhedral).

En la descripción de rocas se suele usar otra terminología más apropiada para ese contexto que considera la presencia o ausencia de caras naturales.

- **Forma:** Se debe especificar la forma de los minerales como, por ejemplo: **Cubo, Pirámide, Tabular, Hojas, Láminas, Fibras, Acicular, Prismática** (caras opuestas paralelas), **Columnar** (caras opuestas no paralelas), **Capilar** (en forma de pelos), **hojas hexagonales, bpirámide, octaedro, dodecaedro** u otras formas geométricas que describan exactamente la forma de los minerales individuales. La forma que presenta el mineral debe corresponder a las formas que puede adoptar de acuerdo a su Sistema Cristalográfico, así un mineral se puede presentar con diferentes formas siempre que sean consistentes con el Sistema Cristalográfico al cual pertenece. Un detalle y apoyo gráfico se presenta en los documentos de apoyo enlazados en este texto.
- **Arreglo:** Distribución espacial entre minerales, de modo que el arreglo puede ser **Concéntrico, Estrellado, en forma de Drusa, Fibroso, Laminado o Laminar, Hojoso, Reticulado, Dendrítico,**

Globular, Botroidal, Mamilar, Bandeado, Radiado o Radial, Reticular, Reniforme, Masivo y Granular. También pueden presentar **Crecimiento paralelo y Epitaxia.** También están los casos de **Maclas**, que se detallan más adelante, y además se pueden aplicar otros términos que describan asertivamente la organización espacial entre varios cristales. Un apoyo gráfico detallado de estos términos se incluye en los documentos de apoyo adicional. Las definiciones de algunos de estos términos son:

- **Crecimiento Paralelo:** Minerales que pertenecen a la misma especie que quedan en contacto por una cara natural. Suele ocurrir en minerales prismáticos con un paralelismo desarrollado en la misma dirección que el eje mayor de los prismas.
 - **Epitaxia:** Sobrecrecimiento de un mineral sobre otro mineral, que hace de sustrato, de modo que una de las direcciones cristalográficas, de ambos minerales, está alineada. Esto ocurre en planos estructurales que tienen similar espaciamiento entre los átomos, por lo que las direcciones cristalográficas de ambos minerales se alinean.
 - **Granular:** Se ocupa para agrupaciones de cristales con bordes bien definidos, pero sin una organización espacial específica.
 - **Masivo:** Se aplica solo cuando se tiene una masa indistinguible, lo que solo puede ocurrir si los cristales son anhedrales y están aglomerados sin presentar una distribución espacial definida.
- **Tamaño:** El tamaño promedio de los minerales se debe indicar en milímetros, así como su tamaño máximo y mínimo si es posible. En la descripción de rocas se suele usar una terminología específica para describir las relaciones de tamaño entre los minerales que componen la roca. El término **macrocristalino** se refiere a minerales cuya forma cristalina observable a simple vista o con lupa, mientras que el término **microcristalino** a minerales cuya forma cristalina no es observable a simple vista, y tampoco con una lupa, pero si es observable en microscopios petrográficos.

➤ [Enlace a Documentos de Apoyo Adicional](#)

3.5 Irregularidades o imperfecciones en las caras naturales.

En algunos ejemplares se presentan caras curvas, dislocaciones, estrías, cambios de ángulos de caras. Estas imperfecciones o deformaciones se pueden presentar por desplazamientos o dislocaciones en la red cristalina. Esta observación debe hacerse para cada individuo mineral. Por ej. en los cubos de piritita es posible observar estrías en sus caras.

3.6 Pseudomorfismo.

Ocurre cuando un mineral reemplaza a otro mineral siguiendo el arreglo o hábito del primer mineral. Por ejemplo, en zonas de oxidación de yacimientos con sulfuros primarios cuando la **hematita** y **limonita** reemplazan a **pirita** manteniendo su forma externa cúbica; o cuando se reemplazan minerales biogénicos, como cuando el caparazón de moluscos es enterrado en sedimentos, y luego los minerales biogénicos que lo componen son reemplazados por nuevos minerales, formados durante la transformación del sedimento en roca, dando origen a fósiles que preservan formas del material original, Algo similar ocurre cuando

material orgánico como madera es fosilizado, donde el mineral, formado en los espacios que genera la disolución de la materia orgánica, preserva la forma de dicho material generándose un tronco fósil.

3.7 Isomorfismo.

Condición de minerales con la misma estructura cristalográfica y diferente composición química. Esto solo se puede determinar si los minerales estudiados han sido debidamente identificados respecto de su composición química y sistema cristalográfico, donde este último debe ser el mismo. Por lo tanto, se dice que dos minerales son **isomorfos** si tienen la misma estructura cristalográfica.

3.8 Polimorfismo.

Condición de minerales con la misma composición química y diferente estructura cristalográfica. Esto solo se puede determinar si los minerales estudiados han sido debidamente identificados respecto de su composición química, que debe ser la misma, y sistema cristalográfico. Por lo tanto, se dice que dos minerales son **polimorfos** si tienen la misma composición química.

3.9 Inclusiones.

En algunos ejemplares se presentan a veces inclusiones fluidas e inclusiones de otros minerales, lo cual permite inferir condiciones de crecimiento del mineral que los contiene. Existen técnicas de estudio de inclusiones fluidas basadas en su cambio de fases con microscopios y platinas que permiten calentar y enfriar muestras transparentes para determinar la temperatura de las instancias de cambio de fase sólido - líquido - gas. Las inclusiones de otros minerales y de impurezas pueden dar origen a efectos ópticos y zonaciones de color muy llamativas visualmente y que inclusive aportan nombres de variedades para un mineral.

3.10 Iridiscencia.

Efecto óptico que puede generarse tanto en la superficie de un mineral como en su sub-superficie o interior, consistente en la presencia de una variada gama de colores o efectos de formas específicas o sensaciones de profundidad. Dependiendo del mineral la iridiscencia puede presentarse en caras naturales, fracturas, zonas de macla y también en el caso de inclusiones de un mineral en otro, o por estructuras intracristalinas. Diversos minerales presentan iridiscencias particulares que en algunos casos dan origen nombres específicos, tales como:

- **Iridiscencia tipo pecho de paloma:** de colores azules a violetas, típica en **bornita**. La **calcopirita** superficialmente alterada puede presentar una iridiscencia tipo pecho de paloma.
- **Iridiscencia espectral:** correspondiente a iridiscencias celestes y calipso con efecto de profundidad en **labradorita** por lo que a este mineral se le denomina también **espectrolita** en joyería.
- **Opalescencia:** Se presenta en **ópalo** donde se en algunos casos se puede apreciar aprecia una variación interna de colores con forma similar a una llama al interior del **ópalo**. El ópalo es una piedra preciosa formada por sílice hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) con agua al 3% a 21% y generalmente ronda el 6%-10%. Es conocido por su fenómeno óptico llamado opalescencia, que produce destellos de colores iridiscentes

al interactuar con la luz, debido a la forma en que está estructurada su sílice en nanoesferas. Existen varios tipos de ópalo, entre ellos:

- **Ópalo precioso:** Es el más valorado por su juego de colores, con tonos que varían desde el rojo intenso hasta el azul brillante.
- **Ópalo común:** No exhibe opalescencia y puede tener colores opacos a translúcidos.
- **Ópalo de fuego:** Se caracteriza por colores cálidos como naranja, amarillo y rojo, y puede o no tener opalescencia.
- **Aventurescencia:** Ocurre por la presencia de inclusiones que generan destellos de brillos, o efecto de destellos, o de laminillas luminosas, como en los casos de:
 - **Piedra Sol:** Feldespato tipo **Oligoclase** también conocida como **Heliolita** que proviene del griego hélios (sol) y lithos (piedra). Gema con colores cálidos como naranja, amarillo, rojo y marrón de apariencia luminosa y brillante, debido a pequeñas inclusiones de minerales como **hematita**, **cobre** o **goetita** en su estructura. Estas inclusiones reflejan la luz y crean destellos metálicos y dorados que parecen emanar desde dentro de la piedra.
 - **Piedra Luna:** Feldespato tipo **Adularia** que es translúcida con colores que van del blanco al gris, aunque algunas muestran tonos azulados, rosados o anaranjados. Gema conocida por su atractivo brillo iridiscente o luminoso debido a la forma en que la luz se refleja y refracta en capas microscópicas dentro de la piedra, generando un resplandor suave que parece moverse en su superficie. Al efecto óptico en esta gema se le denomina también **adularescencia**.
 - **Cuarzo Aventurina:** Variedad de **Cuarzo** que se caracteriza por un efecto óptico causado por pequeñas inclusiones minerales en su estructura, tales como mica, hematita o goetita, que reflejan la luz generando colores específicos. El **Cuarzo Verde** es una variedad específica con inclusiones de **fuschita** (mica de color verde). También puede encontrarse en otros colores como naranja, marrón, azul y gris, dependiendo de los minerales presentes.
 - **Topacio:** Silicato de aluminio con flúor ($\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F},\text{OH})_2$). Gema que se presenta con una gran variedad de colores, que incluyen amarillo, azul, rosa, verde, naranja y con transparencia. Algunos topacios pueden cambiar de color o ser tratados térmicamente para obtener tonos específicos, como el azul suizo.

3.11 Macla.

Se tiene cuando 2 o más individuos, de un mismo mineral y perfectamente identificables, están organizados conformando un arreglo espacial recíproco específico, con relaciones de geométricas de posición espacial constantes entre los individuos, pudiendo compartir un volumen o un plano cristalográfico específico, con ángulos específicos entre los individuos, lo que permite definir una "Ley de Macla". El volumen o plano compartido pertenece indistintamente a los cristales individuales que participan en la macla, ya que el arreglo estructural de los átomos, que pertenecen a ese volumen o plano, satisfacen la pertenencia a cada cristal que participa en la macla. Esto es posible por las simetrías

presentes en el mineral y que permiten rotaciones, específicas de una estructura, en un ángulo tal que se reproduce la estructura original no rotada.

Esta asociación espacial está controlada por la estructura cristalina del mineral, condiciones genéticas y por cambios posteriores a la génesis primaria del mineral. En inglés se utiliza el término “twinning” traducible literalmente como hermanamiento, y a los cristales que conforman la macla también se les denomina cristales gemelos o mellizos. Se tienen las Maclas Simples y Maclas Compuestas.

- **Maclas Simples:** Se componen por 2 individuos solamente y pueden ser “de contacto” y “de Intersección”.
 - **De Contacto (Yuxtaposición):** se presenta cuando 2 minerales comparten un plano, como en los casos de **yeso** (punta de flecha, cola de golondrina, punta de lanza o de hierro en lanza, mariposa o en forma de corazón), Espinela (macla octaédrica), **calcita** (distintas posibilidades según el plano de macla), **ortoclasa** (macla de Manebach, macla de Carlsbad de contacto, macla de Baveno), Crisoberilo (macla en forma de corazón), y **cuarzo** (macla según Ley del Japón correspondiente a dos cristales unidos con un ángulo de $84^{\circ}33'$ con dos de las caras del prisma de ambos cristales paralelas).
 - **De intersección (Compenetración o interpenetración):** cuando 2 ejemplares comparten un volumen de manera que uno parece inserto en el otro, como en maclas de la **estauroлита** (macla tipo Cruz de San Andrés si es a 60° , Cruz Griega o Latina o de Malta si es a 90°), **fluorita** (cubos interpenetrados), **pirita** (macla Cruz de Hierro), ortoclasa (macla de Carlsbad de interpenetración) y en **cuarzo** (macla según ley del Brasil, ley de Dauphiné o Delfinado).
- **Maclas Compuestas:** Compuestas por 3 o más individuos, relacionados entre sí con la misma Ley de Macla. Pueden ser tanto Polisintéticas como Centradas y Cíclicas.
 - **Polisintéticas o Lamelar:** se presenta cuando se comparten múltiples planos paralelos, como en las **plagioclasas** que suelen presentarse con macla según ley de macla de la albita y ley de macla de la periclina, también se pueden presentar con macla polisintética el aragonito y calcita. Esto es especialmente observable en petrografía microscópica de cortes transparentes. Macroscópicamente en las plagioclasas con macla polisintética se observan líneas paralelas al eje mayor del cristal como si fuesen estrías.
 - **Centradas y Cíclicas:** La **macla centrada** se tiene cuando los individuos maclados se presentan girados respecto a un centro, pudiendo además ser una **macla cíclica** cuando los especímenes están maclados de manera tal que la aplicación repetida de la ley de macla lleva a la formación de un bucle cerrado, así los especímenes aparecen girados uno con respecto al otro, pero la apariencia externa es la de un mineral con elementos de simetría distintos que las de un individuo solo, en cuyo caso también se les denomina macla mimética. Por ejemplo, se presentan con macla cíclica el **aragonito** (agregado pseudo hexagonal de mineral ortorrómbico), **crisoberilo** (macla cíclica en rueda pseudo hexagonal) y en el caso del rutilo (geniculada o maclas en codo cíclicas).

3.12 Otras características basadas en efectos ópticos.

Existen diversos efectos luminosos con nombres particulares especialmente utilizados en gemología, tales como

- **Chatoyancia:** También conocido como **Ojo de Gato**, fenómeno óptico que otorga a ciertas gemas la apariencia de una línea de luz brillante que parece moverse sobre su superficie cuando se gira o se ilumina la muestra. Esta banda móvil es similar a la pupila de un ojo de gato. Este efecto es causado por inclusiones internas fibrosas o aciculares (como fibras de rutilo) que reflejan la luz generando el efecto de Ojo de Gato. Se presenta en minerales como el **crisoberilo variedad ojo de gato**, también conocido como **cimofana**, y en otros minerales como el cuarzo, la turmalina y el apatito.
- **Asterismo:** Es un fenómeno óptico en el que una piedra preciosa muestra un efecto de estrella en su superficie al ser iluminada con luz directa. Este efecto aparece como un patrón de rayos que se cruzan, generalmente en forma de una estrella de 4, 6 o incluso más puntas. El asterismo ocurre debido a la presencia de inclusiones microscópicas (como agujas de rutilo) dentro de la gema, que reflejan y dispersan la luz en direcciones específicas. Este fenómeno es más común en piedras cortadas en forma de cabujón (una superficie convexa y lisa) para maximizar su visibilidad. Algunas gemas famosas que pueden mostrar asterismo son **Zafiros estrella** (estrella de 6 puntas es el más común) y **Rubíes estrella**.
- **Piedra Cruz:** Es producto de **inclusiones carbonosas** en posiciones estructurales específicas de la **quistolita** (silicato de Aluminio) conformando una cruz gris en una sección perpendicular al eje mayor del mineral, por lo que este mineral se comercializa como **piedra cruz**.

4. Propiedades observables por interacción física y/o química con el mineral

Se presenta a continuación un conjunto de propiedades que se pueden observar en la medida que se interactúa física y/o químicamente con el mineral, aquí se incluyen también la aplicación de todos los sentidos del ser humano.

4.1 Raya o Huella.

Se obtiene al aplicar (raspar o moler) el mineral sobre una superficie de cerámica, ya que existen cerámicas específicas para ello, deslizándolo y presionándolo sobre la superficie para molerlo finamente, para así observar el color de la raya o de la huella, o sea del material pulverizado que queda sobre la cerámica. La raya de un mineral tiene un color bien definido, aunque contenga impurezas, y a veces presenta características especiales, como algún brillo particular, o bien al momento de rayar la cerámica con el mineral se percibe alguna facilidad o dificultad especial que ayuda a la identificación.

Si el mineral tiene dureza menor que 7 también se puede moler el mineral con la punta de un lápiz de Tungsteno y luego pasar el dedo sobre el polvo generado o bien se puede dejar caer el material pulverizado sobre un ahoja blanca, para observar su color.

Algunos minerales son especialmente blandos y dejan una huella muy distintiva por lo que es posible escribir con ellos en una hoja de papel, como en el caso del **grafito** y de la **molibdenita**.

La **pirita** es un sulfuro de hierro que se presenta con un color dorado y con brillo metálico, y que popularmente se le menciona como “**el oro del tonto**” porque hay personas que las confunden con oro, pero se distingue del **oro** especialmente porque tienen una raya de color gris oscuro a negra, mientras que el **oro** tiene una raya amarilla de igual color al del oro. La **pirita** suele presentarse además con formas cúbicas. También la **calcopirita** que es un sulfuro, en este caso de cobre y hierro, puede confundirse con oro y se distingue por una raya negra a gris y porque puede presentar pátinas de alteración. Por otro lado, se debe tener presente que existe también **pirita aurífera** que corresponde a pirita con microinclusiones de oro determinables por análisis geoquímicos y petrográficos.

➤ [Enlace a Video: Mineralogía Raya de los Minerales](#)

4.2 Magnetismo.

Se debe revisar con un imán normal si hay algún mineral donde la atracción entre el mineral y el imán sea fácilmente perceptible. Ya sea porque el imán se mueve atraído hacia el mineral o viceversa. Esto es observable en minerales ferromagnéticos como: **magnetita, franklinita, ilmenita, pirrotina (pirrotita) y siderita**, aunque en estos dos últimos minerales no siempre se percibe el magnetismo.

Algunos minerales que no son ferromagnéticos pero que igualmente son atraídos por un imán, deben esa atracción a la presencia de microinclusiones de minerales ferromagnéticos, lo que se puede comprobar moliendo el mineral y verificando si todo el material molido es magnético o no lo es. También alteraciones de magnetita a limonita y hematita pueden presentar magnetismo. El magnetismo es de gran utilidad en el procesamiento metalúrgico de las menas de Fe ya que permite concentrar los minerales magnéticos aplicando un imán al material molido siendo este proceso de menor costo unitario y menos contaminante que la flotación.

En los minerales diamagnéticos y paramagnéticos no se observa atracción ante un imán normal, por lo que se dice que no presentan magnetismo evidente, pero si es posible medir reacciones específicas ante un electroimán a alta intensidad.

Lo ideal es realizar la observación con un lápiz imán para geología, o con un rayador de tungsteno que tenga montado un imán en su otro extremo o bien con el imán pequeño (como el de un audífono) adherido a una cuerda delgada y liviana (ej. de lana). La observación debe hacerse acercando lateralmente el imán a la muestra.

➤ [Enlace a Video: Mineralogía Magnetismo y Minerales Ferromagnéticos](#)

4.3 Sensación al tacto.

Un mineral puede sentirse untuoso o graso (como la molibdenita), frío, áspero o provocar otra sensación táctil distinguible. Algunos minerales se sienten especialmente fríos como los minerales metálicos nativos y el diamante, debido a su alta conductividad térmica por lo que extraen calor al tocarlos con la mano, generando una percepción sensorial de frío especialmente si la temperatura ambiente es menor a la temperatura corporal humana de 36°C.

4.4 Olor.

El olor natural de un mineral se debe especificar si es posible percibirlo. Las personas tienen diferentes capacidades de percepción al respecto y no es una propiedad de fácil observación y en muchos casos los minerales no expelen olores. Regularmente solo se incluye en la descripción de un mineral si hay un olor bien definido asociado al mineral o bien si al aplicarle al mineral ácido clorhídrico diluido o la llama de un encendedor ocurre que el mineral reacciona expeliendo un olor claramente distinguible. Esto ocurre por ejemplo con la galena que al aplicarle ácido clorhídrico diluido al 8 a 10% expelle un penetrante olor a huevo podrido. También ocurre con el azufre que emite un potente olor a azufre al aplicarle la llama de un encendedor.

4.5 Reacción al contacto con la lengua.

Algunos minerales presentan reacciones específicas al ponerlos en contacto con la lengua tales como:

- **Sal Gema:** Sabor salado, porque la sal, NaCl, se disuelve en la saliva formando una salmuera. Basta con aplicar la punta de la lengua en el mineral y esperar un momento a que se genere la sensación del gusto salado. También la halita se disuelve fácilmente en agua.
- **Chalcantita (Calcantita):** Es un **Sulfato de cobre pentahidratado** que presenta un sabor ácido y amargo, porque el mineral se disuelve formando un fluido ácido. Esta prueba se realiza aplicando la punta de la lengua en el mineral solo por un instante corto. También la calcantita se disuelve fácilmente en agua, generando un líquido azul que libera cobre al introducir un objeto de acero en el líquido.
- **Crisocola:** Es un **Silicato de Cobre Hidratado** al cual la lengua se pega debido a un proceso de hidratación del mineral. Esta prueba se realiza aplicando la punta de la lengua en el mineral solo por un instante corto e intentando separar la lengua del mineral.
- **Zeolita:** Las **zeolitas** son un grupo de minerales silicatados formados por **aluminosilicatos hidratados** de metales alcalinos o alcalinotérreos, como sodio, calcio o potasio. Tienen una estructura cristalina con una red de cavidades y canales microscópicos, que le permiten absorber y filtrar moléculas pequeñas. Si el material está poco compacto se puede pegar fácilmente en la lengua, soltándose de la muestra, debido a su capacidad de absorber agua. Esto se consigue aplicando una superficie mayor que la punta de la lengua y dejándola un instante en contacto con la muestra, para luego separarla de la muestra y percibir si se quedan adheridos pequeños fragmentos blancos en la lengua.
- **Silvinita:** La silvinita es una roca compuesta principalmente por **silvina** o **silvita** (cloruro de potasio KCl) y **halita** (cloruro de sodio NaCl) presentando un sabor a sal fuerte o picante, con posible regusto amargo o metálico. Puede contener otros elementos que resulten ser tóxicos.

4.6 Escala de Dureza de Mohs.

La escala de dureza de Mohs está definida para minerales considerando 10 niveles de dureza posibles enumerados de 1 a 10 y con la posibilidad de tomar valores intermedios. La dureza de Mohs es convertible a otras escalas de dureza. Su determinación requiere rayar un mineral con otro, pasando un mineral sobre otro apoyado en una superficie fija, presionando y observando cual es el mineral dañado. Este test debe hacerse de ida y vuelta, es decir apoyando un mineral primero y rayándolo con el otro y luego proceder a aplicar el primer mineral sobre el segundo. El mineral que resulte dañado tendrá marcas (surcos) visibles en su superficie que se pueden percibir también al tacto, y es más blando que el mineral no dañado. Si ambos minerales se dañan mutuamente tienen la misma dureza. Cuando un mineral pinta a otro sin dañarlo es porque es más blando que el mineral pintado. Al rayar los minerales con el rayador de tungsteno se suele desarrollar la sensibilidad adecuada para estimar el rango de dureza del mineral.

- **Tabla de Escala de Dureza de Mohs:**

Dureza en escala de Mohs	Mineral de referencia	Observaciones
1	Talco	Se raya con la uña. La tiza para escribir en pizarrones o tableros de madera tiene dureza de 1 a 2, al igual que el grafito.
2	Yeso	Se raya apretando fuertemente con la uña. Las micas presentan dureza de 2 a 3.
3	Calcita	Se raya con el Cobre, no se raya con la uña. El cobre, fácilmente conseguible como alambre para instalaciones eléctricas, tiene una dureza levemente superior a 3.
4	Fluorita	Se raya con vidrio comercial y mutuamente con acero de buena dureza, como un clavo de concreto, pero no con el cobre
5	Apatito	El vidrio comercial y el apatito se rayan mutuamente, le puede rayar un acero de navajas de gran calidad.
6	Ortosa	El rayador de tungsteno le raya sin dificultad. Los Feldespatos pueden presentar durezas de 6 a 6,5 y 7.
7	Cuarzo	No se raya con el acero de alta calidad ni con el vidrio comercial. El cuarzo y el Rayador de Tungsteno se rayan mutuamente.
8	Topacio	No se raya con el Rayador de Tungsteno.
9	Corindón	Se raya con esmeriles fabricados con Carburo de Silicio.
10	Diamante	Raya a todo, nada le raya. Si bien el diamante se compone de Carbono, tal como el grafito, su estructura cristalina, o su organización espacial atómica, le confiere su alta dureza.

- **Determinación rápida de dureza:** Lo habitual es disponer de un set de minerales de la escala de Mohs, que puede ser provisto por muestras mineralógicas o lápices con puntas de diferentes minerales o materiales. Sin embargo, también es posible usar materiales comunes para disponer de una escala personal, de bajo costo, para una determinación rápida de la dureza de Mohs aplicando: uña (dureza 2 a 2,5), cobre (dureza levemente superior a 3), clavo de acero normal (aceros dulces o de bajo carbono tienen dureza cercana a 4), clavo de acero para concreto o acero

templado (dureza 4 a 5), Vidrio (dureza 5 a 5,5), Cuarzo (dureza 7), Rayador de Tungsteno (dureza 7 si raya al cuarzo).

Así, se pueden inferir las siguientes durezas cuando:

- **Se raya con la uña:** ≤ 2 (ej.: Talco, Yeso)
- **Se raya con el cobre:** ≤ 3 (ej.: Talco, Yeso, Calcita)
- **Se raya con vidrio y acero duro (clavo de concreto):** ≤ 4 (ej.: Talco, Yeso, Calcita, Fluorita)
- **Se raya con vidrio y no con aceros duros:** ≤ 5 (ej.: Calcita, Fluorita, Apatito).
- **Se raya con el cuarzo y con rayador de Tungsteno** < 7 (ej.: Apatito, Ortosa)
- **No se raya con el cuarzo ni con rayador de Tungsteno:** 8 a 10 (ej.: Topacio, Corindón, Diamante)

➤ [Enlace a Video: Mineralogía Dureza en objetos comunes](#)

➤ [Enlace a Video: Mineralogía Escala de Dureza de Mohs y variedades mineralógicas](#)

4.7 Densidad.

Para medir densidad de minerales, la muestra cuya densidad se desea estimar debe estar compuesta de un solo mineral, es decir se debe contar con una muestra monomineral, ya que si hay más de un mineral se estará midiendo una densidad ponderada de acuerdo a la densidad de los minerales presentes en la muestra.

Una forma simple de medir densidad consiste en pesar la muestra para obtener su Masa y aplicar el método de “volumen desplazado en agua”, basado en el “Principio de Arquímedes”, para obtener su Volumen y luego calcular la Densidad como Masa dividida por Volumen ($D=M/V$). Suele expresarse en gramos por centímetro cúbico (gr/cm^3), kilogramos por litro (kg/l) y tonelada métrica por metro cúbico (tm/m^3), teniendo el mismo valor numérico en estas unidades.

Para descripciones de muestras de mano basta con hacer una estimación de densidad que, por ejemplo, puede ser en cuatro rangos de densidad ascendente:

- **Baja:** Densidad $< 2,5 \text{ g}/\text{cm}^3$, por ej. yeso, zeolita.
- **Media:** Densidad en el rango $2,5 - 4,0 \text{ g}/\text{cm}^3$, por ej. cuarzo, feldespatos.
- **Alta:** Densidad en el rango $4 - 6 \text{ g}/\text{cm}^3$, por ej. baritina, pirita, calcopirita.
- **Muy Alta:** Densidad $> 6 \text{ g}/\text{cm}^3$, por ej. galena, oro nativo.

Tomar la muestra con la mano para percibir densidad requiere cierta experiencia o contar con muestras de referencia que tengan densidades de referencia para cada rango. Lo más habitual es que se indiquen dos rangos de densidad para una muestra, por ejemplo, Baja a Media, por limitaciones propias de sensibilidad y del tamaño de muestra, además de que hay muestras cuya densidad es cercana a los límites para las categorías aquí propuestas.

Al tomar las muestras con la mano es posible percibir fácilmente, contrastes fuertes de densidad, como al comparar minerales de muy alta densidad, como la galena, con aquellos de densidad media como el cuarzo. El Oro Nativo y la Plata Nativa tienen muy alta densidad, pero evidentemente es difícil tener muestras disponibles de estos minerales para ensayos comparativos. Lo ideal en una apreciación tomando las muestras con la mano, es que todas las muestras de mano tengan un tamaño similar, es decir sean de volumen similar, siendo el tamaño de un puño un tamaño apropiado para ello.

La medición de densidad requiere que la muestra sea monomineral y se debe aplicar una metodología específica, para medir volumen desplazado cuando la muestra es porosa, así como cuando el mineral es higroscópico, ya que absorbe agua, por lo que en aquellos casos se deben hacer mediciones de densidad aparente (impermeabilizando la muestra) y densidad real. En los diversos libros de mineralogía indicados en la bibliografía se presentan los datos de Densidad o Peso Específico.

Triboluminiscencia: Este fenómeno ocurre cuando los materiales emiten luz al ser frotados, triturados o fracturados. La luz se genera debido a la separación y posterior reunificación de cargas eléctricas en el material, lo que puede ionizar el aire circundante y producir destellos luminosos. Es observable en cuarzo y otros minerales.

➤ [Enlace a Video: Mineralogía Densidad de Minerales](#)

4.8 Reacción al ácido Clorhídrico (HCl).

Esta observación se basa en la reacción química de un mineral al aplicar ácido Clorhídrico (HCl) en la superficie del mineral. Cuando sobre la superficie de un mineral tipo carbonato se aplica HCl (ácido clorhídrico) diluido al 8 a 10%, se produce una reacción de efervescencia, esto se debe a la reacción del HCl con el carbonato CO_3 , que conforma el mineral junto con otros elementos, lo que da origen a la generación de burbujas de gas CO_2 . Se debe tener claro que la efervescencia, en este test, solo implica que el mineral contiene carbonato en su composición (CO_3^-) y no permite identificar directamente a los elementos que acompañan a dicho compuesto. Los minerales reaccionan fácilmente con HCl son **calcita, aragonito, dolomita, siderita, malaquita y azurita**.

- **Observaciones para considerar al aplicar HCl:** En algunos casos la reacción es débil y se requiere “escuchar” u “olfatear” la reacción, o es necesario observarla con lupa.

Cuando un mineral carbonatado recubre a uno no carbonatado, lo cual suele ocurrir por la alteración de un mineral no carbonatado, entonces la reacción es solo superficial y restringida al mineral carbonatado. También cuando hay vetillas y micro vetillas de carbonatos ocurrirá que la reacción se restringirá al carbonato de la vetilla, pero como dicha vetilla puede estar cortando a minerales no carbonatados entonces se puede pensar erróneamente que el mineral no carbonatado está reaccionando, por ello se recomienda observar con lupa el sector de la reacción.

Hay minerales que reaccionan sin efervescencia al HCl, pero si emiten fuertes olores (ej. galena con olor a huevo podrido). Si un mineral reacciona diluyéndose al entrar en contacto con HCl, sin generar efervescencia visible a simple vista entonces dicha dilución puede no ser apreciable a

simple vista, pero pueden observarse cambios de color en el líquido que ha entrado en contacto con el mineral o también se puede producir emisión de olores diversos.

- **Recomendaciones de seguridad para manipulación y preparación de Ácido Clorhídrico:** : Al momento de aplicar el ácido clorhídrico se recomienda el uso de guantes de vinilo, látex o nitrilo, para evitar irritaciones en la piel. También se debe evitar derrames accidentales por lo que se debe trabajar en buenas condiciones de orden, disponiendo de toallas de papel absorbente y de una bandeja plástica para dichos ensayos para poder contener algún derrame y de un lavamanos y lavaojos o un grifo flexible. Al contacto de la piel o los ojos con el ácido clorhídrico es necesario lavar con abundante agua para evitar posibles irritaciones que en general son leves en la piel y pueden generar situaciones críticas en la vista y que pueden requerir atención médica.
- **Preparación de Ácido Clorhídrico HCl diluido al 8 %:** Al momento de aplicar el ácido clorhídrico **se recomienda el uso de guantes de vinilo, látex o nitrilo**, para evitar irritaciones en la piel. También se debe evitar derrames accidentales por lo que **se debe trabajar en buenas condiciones de orden, disponiendo de toallas de papel absorbente y de una bandeja plástica para dichos ensayos** para poder contener algún derrame y de un **lavamanos y lavaojos** o un **grifo flexible**. Al contacto de la piel o los ojos con el ácido clorhídrico es necesario lavar con abundante agua para evitar posibles irritaciones que en general son leves en la piel y pueden generar situaciones críticas en la vista y que pueden requerir atención médica.

Para disponer de Ácido Clorhídrico HCl diluido se puede adquirir **Ácido Muriático** comercial, que se ocupa para destapar cañerías, y que tiene una concentración de 16% de HCl, por lo que **debe ser manipulado cuidadosamente solo por el encargado del laboratorio y utilizando guantes y gafas de protección ocular.**

Si bien el ácido estándar para observaciones es al 10% de HCl los ensayos al 8% indicaron que logra cumplir la misma función. Para disponer de Ácido Clorhídrico al 8% se debe mezclar una parte de Ácido Muriático comercial, que es Ácido Clorhídrico al 16%, con una parte igual de agua corriente, o idealmente con agua destilada, para obtener una solución de Ácido Clorhídrico al 8%, aplicable para fines de determinación de carbonatos por efervescencia. **Es necesario hacer la preparación dentro de un lavaplatos o lavatorio con guantes y gafas de protección por si hay derrames o salpicaduras.**

La solución obtenida debe manejarse contenida en un gotario plástico pequeño o un envase que permita dosificar su aplicación por goteo y que esté claramente señalado como contenedor de HCl y **todo envase que contenga ácido clorhídrico debe estar envases etiquetado indicando que es Veneno y Peligroso para la Piel y la Vista**, y se debe utilizar **guantes de vinilo, látex o nitrilo**, para evitar irritaciones en la piel. Este material no puede estar al fácil alcance de niños, y en colegios su uso debe ser supervisado por profesores y encargados de laboratorios.

➤ [Enlace a Video: Mineralogía Reacción al HCl Aspectos básicos](#)

➤ [Enlace a Video: Mineralogía Reaccion al HCl Otras Observaciones](#)

4.9 Exfoliación o Clivaje.

Facilidad con la que un ejemplar se separa en planos naturales al presionar el mineral. Su observación, para que sea válida, debe realizarse solamente en un ejemplar y no sobre un grupo de minerales. Se recomienda evitar romper los minerales si se trata de muestras especiales y observar las caras existentes y planos internos, a fin de no destruir muestras de difícil obtención. La exfoliación o clivaje se clasifica en:

- **Perfecta:** El mineral se deja separar en láminas o planos naturales con gran facilidad y sin esfuerzo o con muy poca presión sobre el mineral, tal como la mica o el yeso.
- **Buena:** Es fácil exfoliar el mineral con un golpe.
- **Mediana:** Pueden observarse planos de exfoliación, aunque sin continuidad en toda la muestra y se requiere varios golpes para separar los por planos naturales.
- **Imperfecta:** El mineral no presenta clivaje aparente o está apenas insinuado. Es difícil conseguir la ruptura por exfoliación, se requiere golpear varias veces el mineral para generar ruptura por planos de exfoliación.
- **Difícil:** Prácticamente no presenta exfoliación, el mineral puede separarse al golpearlo, pero no por planos naturales controlados cristalográficamente por clivaje o exfoliación, ya que se fractura.

4.10 Fractura en Minerales.

Superficies de ruptura no controladas por planos estructurales internos y que se deben observar en un solo individuo y no en un agregado. Para cuidar las colecciones, especialmente en cuanto a muestras que sean escasas, es conveniente observar los planos de ruptura ya existentes en cada individuo y no romper los minerales. Las fracturas se clasifican en:

- **Concoidea:** Se forman superficies cóncavas o convexas de relieve suave.
- **Lisa:** Superficies planas, suaves y sin asperezas.
- **Desigual o irregular:** Aparecen superficies irregulares.
- **Fibrosa o astillosa:** El mineral se rompe como lo haría una madera, formando astillas.
- **Ganchuda:** Las superficies aparecen dentadas.
- **Terrosa:** El mineral se desmorona como un terrón en la zona fracturada.

5. Estructuras, Texturas, Asociaciones y Zonaciones.

La distribución de minerales puede estar controlada por aspectos estructurales en la roca o particularidades de esta misma. También la distribución espacial de los minerales puede generar estructuras y texturas específicas.

5.1 Estructuras y Texturas.

Se tienen, entre las más habituales, las siguientes.

- **Geoda:** Se forman a partir de cavidades rellenas de minerales o con espacios centrales. Los minerales se depositan desde el borde hacia el centro de la cavidad. El origen de las cavidades puede ser por disolución de parte de la roca original o porosidades generadas en la formación de la roca que las contiene. El crecimiento de los minerales es por precipitación desde fluidos que pasan a través de los poros de la roca y se produce desde el borde externo hacia el centro de la Geoda y a veces no se sella quedando una última capa interior de cristales exponiendo sus caras naturales.
- **Concreciones:** Son formaciones geológicas en las que minerales se agrupan y precipitan alrededor de un núcleo central, creando una estructura generalmente más dura que las rocas circundantes. Este núcleo puede estar formado por partículas como fósiles, fragmentos de roca u otros materiales. Las concreciones suelen estar compuestas por capas concéntricas en torno al núcleo y por tener formas externas esféricas, elípticas o incluso irregulares. Se forman por procesos químicos en ambientes sedimentarios, donde los minerales disueltos en agua se acumulan alrededor del núcleo debido a diferencias químicas. Son comunes en rocas sedimentarias, como arenisca, lutita y caliza. Un ejemplo son las **Concreciones de Hierro** en areniscas y otro las **Concreciones de Calcita** en lutitas.
- **Nódulos:** Son cuerpos compactos al interior de las rocas, que suelen tener una composición diferente de la roca matriz y se forman por reemplazo químico, donde minerales como la sílice o la calcita reemplazan lentamente el material original del sedimento. Los nódulos se caracterizan por no crecer concéntricamente ya que en su caso la mineralización ocurre directamente en el núcleo y espacio existente. Un ejemplo son los **Nódulos de Pirita** desarrollados en lutitas o arcillas ricas en materia orgánica, y otro los **Nódulos de Sílex** desarrollados en calizas.
- **Ooides u Oolitos :** Organización concéntrica de minerales consistente en capas de minerales que se organizan conformando una sucesión de esferas en torno a un núcleo original. El crecimiento de minerales es, en este caso, desde el centro al borde externo del ooides y su ambiente genético es sedimentario subacuático y están hechas de carbonato de calcio (CaCO_3), aunque también pueden contener otros materiales como sílice o fosfato. La **oolita** es una roca sedimentaria formada por ooides (oolitos) que se cementan entre sí conformando una roca. La mayoría de las oolitas son calizas; las oolitas están hechas de carbonato de calcio (minerales aragonito o calcita). La oolita se forma cuando los ooides se cementan consolidándose una roca. Las oolitas se desarrollan en lugares con alta energía, como playas o aguas tropicales cálidas, donde el movimiento continuo favorece la deposición concéntrica de minerales.
- **Vesícula:** Cavidades en rocas volcánicas producto del atrapamiento de volátiles en el magma durante su consolidación.
- **Amígdalas:** Vesículas rellenas de minerales de origen posterior a la roca que las contiene. Las amígdalas se reconfirman por el relleno de vesículas, desde su borde a su centro, por cristalización desde fluidos circulantes por la porosidad de la roca volcánica.

- **Drusa:** Mineralización en fracturas, de manera tal que la fractura no se rellena totalmente y los minerales crecen con el eje mayor perpendicular a la superficie de la fractura.
- **Textura Coloidal:** Bandas microscópicas de minerales, donde el bandeamiento se aprecia por cambios de colores. Habitualmente siguen el borde de fracturas, o cavidades o bien cualquier superficie previa que controle la precipitación de los minerales microscópicos que la componen. Suele presentarse en la base de las drusas, entre los cristales de mayor tamaño y la superficie de la roca que les sirve de base.
- **Boxwork:** Moldes de minerales y estructuras relictas, originadas, habitualmente, a partir de la dilución o alteración de sulfuros como **pirita** principalmente y **calcopirita**. Pueden ser formas vacías (moldes) que quedan en la roca producto de la dilución de dichos minerales. Pueden ser formas compuestas por óxidos e hidróxidos de hierro, es decir **hematita** y **limonita**, que reemplazaron a los sulfuros originales manteniendo la misma forma externa de los minerales originales.
- **Pátina de Alteración.:** Alteración superficial de un mineral que genera una película delgada sobre la superficie del mineral alterado. Es muy habitual en calcopirita alterada donde la pátina se parece a la bornita, y esta pátina puede limpiarse raspando la superficie del mineral o bien limpiándola con HCl diluido al 8 a 10%. La pátina puede inducir a errores al intentar identificar el brillo y color de un mineral, así como podría generar complicaciones en el proceso de concentración para fines metalúrgicos.
- **Vetilla:** estructura tabular de ancho milimétrico producto de procesos de mineralización en fracturas. No necesariamente están dispuestas a lo largo de una superficie perfectamente planas, pudiendo presentar curvaturas o inclusive saltos laterales. Como se pueden presentar formadas en distintos eventos entonces a veces es posible identificar vetillas tempranas (más antiguas) y vetillas tardías (más recientes), así como secuencias temporales de sistemas de vetillas.
- **Veta:** Estructura tabular de ancho centimétrico a métrico, e inclusive decamétrico, que se origina por mineralización en fracturas y fallas de corridas métricas a kilométricas (longitud en superficie). Si bien se modelan inicialmente como un cuerpo tabular, al hacer estudios detallados se encuentra que suelen tener formas más complejas con anchos variables tanto a lo largo de su corrida como de su manteo. Su desarrollo espacial puede ser planar o presentar curvaturas con cambios en la orientación espacial de su rumbo y manteo.
- **Stockwork:** Enrejado de vetillas, o fracturas orientadas en diversas direcciones cruzadas entre sí y rellenas por minerales. Típicas de Pórfidos Cupríferos y presente también en otros tipos de yacimientos.
- **Diseminación:** Se dice que los minerales presentes en una roca están distribuidos de manera diseminada cuando los minerales están distribuidos en la roca, pero aislados entre sí, ya que están relleno de poros de la roca, o bien reemplazando a otros minerales.
- **Estalactita:** Acumulaciones verticales en forma de dedos que apuntan hacia abajo y se forman por filtración, goteo y precipitación de aguas saturadas en algún componente que precipita como es el

caso del carbonato de calcio . Pueden ser centimétricos hasta métricos y sirven como indicadores de la vertical. Suelen formarse por carbonato de calcio y otros minerales que estén sometidos a condiciones exógenas de disolución y posterior precipitación.

- **Estalagmita:** Ocasionalmente el goteo que da origen a la Estalactita genera una estructura similar pero invertida, en el piso bajo la estalactita, que se denomina Estalagmita. Se produce donde cae repetitivamente la gota cargada en los elementos químicos que dan origen al mineral que conforma la estalagmita. Suelen formarse por carbonato de calcio y otros minerales que estén sometidos a condiciones exógenas de disolución y posterior precipitación. A veces la estalagmita y la estalactita crecen lo suficiente como para unirse formando una **columna**.

5.2 Asociaciones y Zonaciones Mineralógicas.

La distribución espacial de los minerales y la presencia de conjuntos específicos de minerales se puede describir en los siguientes términos:

- **Asociación mineralógica:** Conjunto de minerales que se encuentran juntos y con la misma distribución espacial.
- **Tipo de alteración:** Minerales de alteración que conforman una asociación mineralógica específica.
- **Paragénesis mineralógica:** término que hace referencia a un conjunto de minerales que se forman simultáneamente o en un mismo evento geológico.
- **Zonación mineralógica:** Corresponde a patrones de distribución espacial de ciertos minerales donde cada zona se identifica por un conjunto específico de minerales. Estas zonaciones pueden producirse en el ambiente genético de una roca, en un proceso posterior en la corteza o inclusive por la interacción entre una roca y sus minerales con el medioambiente. Así una zonación mineralógica puede ser:
 - **Singenética con la roca:** si la zonación mineralógica se formó en el mismo proceso genético que dio origen a la roca. Por ejemplo, en el caso de los estratos de yeso y calcita en depósitos sedimentarios evaporíticos. También es el caso de la acumulación de ciertos minerales en una cámara magmática.
 - **Endogénica o endógena:** Si la zonación se forma al interior de la corteza posteriormente a la génesis de la roca, como en el caso de zonaciones formadas por hidrotermalismo, como por ejemplo en el caso de las vetas, así como aquellas formadas por metamorfismo y metasomatismo. A estos procesos cuando se trata de la formación de yacimientos se les denomina también primarios.
 - **Supergénica o supérgena:** Si la zonación mineralógica se forma por la interacción de la roca y sus minerales con el medioambiente, ya sea por la acción de agentes físicos, químicos o biológicos que alteran los minerales originales. Suele generarse, en este caso, una zonación vertical, con variaciones específicas según la penetratividad e intensidad de los procesos supérgenos, denominados también como secundarios.

6. Rocas y ambientes genéticos.

Se entiende como “Roca” al material sólido formado por procesos geológicos y compuesto de minerales, y que por lo tanto es parte de la corteza del planeta Tierra. Una roca puede ser monomineral, es decir compuesta por un solo mineral, como por ejemplo lo es el **mármol**, que corresponde a una roca metamórfica compuesta por calcita; o bien una roca se puede componer de un agregado de minerales, como por ejemplo los es el **granito**, roca intrusiva formada por cristalización del magma en profundidad. También puede componerse de fragmentos de rocas previas como es el caso de las rocas sedimentarias clásticas, como las **areniscas** y **conglomerados**; o bien es posible la formación de una roca sedimentaria con aporte orgánico en su génesis como es el caso del **carbón piedra**.

Esencialmente las rocas se forman en diferentes ambientes geológicos teniéndose dos grandes ambientes como el **endógeno**, al interior de la corteza, y el **exógeno** correspondiente a la superficie de la corteza ya sea en condiciones subaéreas u subacuáticas. Los materiales que conforman las rocas están vinculados entre sí por el “**Ciclo de las rocas**”, producto de la recirculación del material rocoso en la corteza entre diferentes ambientes geológicos, de modo que los minerales que las componen se forman por lo tanto en el mismo ambiente geológico que da origen a dichas rocas, lo que se conoce y se informa también en diversos textos como el **ambiente genético** o **génesis** de los minerales

Se describen a continuación, en términos generales, los diferentes tipos de rocas presentes en la naturaleza considerando solo sus aspectos más fundamentales, ya que se requiere una descripción más detallada que lo aquí presentado.

6.1 Rocas ígneas.

Las rocas ígneas se generan a partir de solidificación de magma, ya sea en ambiente endógeno o exógeno, se clasifican según textura y composición mineralógica teniéndose 2 grupos principales.

- **Rocas Intrusivas:** formadas por consolidación de magma al interior de la corteza, es decir en ambiente endógeno. Por ej. granodiorita, granito, gabro, granito porfídico.
- **Rocas Extrusivas:** Conocidas también como rocas volcánicas ya que se forman en superficie por actividad volcánica, debido al ascenso del magma y expulsión a la superficie por medio de estructuras volcánicas, es decir que se consolidan en ambiente exógeno y por lo tanto en contacto con el medioambiente. Existen dos subtipos importantes de rocas extrusivas o volcánicas y que son:
 - **Lavas:** producto de magma que fluye en superficie desde cráteres y grietas volcánicas. Por ej. andesita, riolita, basalto y obsidiana.
 - **Rocas piroclásticas:** producto del material expulsado al aire por un volcán y que se puede componer de magma que se consolida como vidrio volcánico, fragmentos líticos de la estructura del volcán y cristales contenidos en el magma expulsado. Por ej. pumicita o ceniza volcánica y brecha volcánica.

➤ [Enlace a Video: Rocas Descripción General Rocas Ígneas](#)

6.2 Rocas Sedimentarias.

Generadas a partir de procesos erosivos y acumulativos en la superficie de la Tierra, es decir que se forman a partir de procesos exógenos, ya sea en ambiente Continentales o Marinos, pudiendo ser subaéreos o subacuáticos. El material meteorizado y erosionado por los agentes químicos, físicos y biológicos es sometido de manera natural a procesos de transporte, acumulación, compactación y consolidación de sedimentos en capas denominadas estratos, que pueden ser del siguiente tipo general.

- **Rocas Clásticas:** Formadas por acumulación y consolidación de fragmentos o clastos de rocas derivados de procesos erosivos y acumulativos en la superficie de la corteza, ya sea en ambiente subaéreo o subacuático, siendo clasificadas prioritariamente por su textura y tamaño de sus clastos. Por ej. la arenisca y el conglomerado.
- **Rocas Químicas:** Formadas en medios subacuáticos por precipitación de minerales y siendo clasificadas principalmente según sus minerales. Por ej. la caliza, que en algunos casos también tiene aporte orgánico.
- **Rocas Orgánicas:** Formadas con el aporte de material de origen orgánico proveniente de seres vivos en el ambiente de sedimentación. Se les denomina también Biogénicas por el aporte de material biológico y se clasifican según su proceso genético y el aporte de material orgánico que habitualmente es transformado en fósiles. Por ej. el carbón piedra.

➤ [Enlace a Video: Rocas Descripción General Rocas Sedimentarias](#)

6.3 Rocas Metamórficas.

Se forman en general en ambiente endógeno, es decir al interior de la corteza, y son el producto de la transformación, en estado sólido, de la mineralogía, textura y estructuras de otras rocas previas, o sea del **protolito**. La transformación metamórfica ocurre sin generarse cambios químicos relevantes, es decir que el protolito y la roca metamórfica presentan una composición química promedio muy similar. El proceso metamórfico está controlado generalmente por su condición cortical y emplazamiento tectónico, teniéndose los siguientes tipos generales:

- **Rocas metamórficas regionales:** donde la presión tiene un efecto predominante en el metamorfismo. Esto ocurre por ejemplo en los prismas de acreción generados por subducción. Estas rocas pueden presentar esquistosidad, o planos de foliación, es decir planos definidos por el paralelismo del eje mayor de minerales que son producto del metamorfismo. Aquí la presión y temperatura juegan un rol relevante en la formación de los nuevos minerales. Por ej. esquistos y gneiss.
- **Rocas metamórficas de contacto:** donde la temperatura tiene un efecto predominante en el metamorfismo. Ocurre cuando cuerpos de magma calientan su roca de caja generando zonaciones mineralógicas 0en torno a la superficie de contacto entre el magma y la roca de caja, que alberga al cuerpo magmático. Aquí la temperatura juega un rol relevante en la formación de los nuevos minerales. Por ej. Roca córnea de granate y mármol.

- **Rocas metamórficas por impacto de meteoritos:** La transformación mineralógica aquí presente involucra importantes presiones y temperaturas que actúan sobre el protolito en un tiempo muy corto, comparado el habitual de los procesos geológicos, producto del impacto de un meteorito en la superficie de la Tierra. Estas rocas presentan minerales y texturas específicas como por ejemplo en las **tektitas** que incluyen material vítreo formado por impacto meteórico.
- **Rocas de metamorfismo dinámico:** Se refiere al metamorfismo que se produce en zonas de falla, es decir donde un bloque de la corteza se desliza respecto a otro bloque, a lo largo de un plano de fractura que se define como falla dado el movimiento relativo de dichos bloques. En las zonas de comportamiento frágil, más cercanas a la superficie, se tiene una **textura cataclástica** dada por una fragmentación de la roca, mientras que, en las zonas de comportamiento dúctil, más profundas, se tiene una **textura milonítica** dada por la deformación, rotación y transformación de los cristales del protolito, presentándose también planos preferenciales producto del orden espacial dado por los nuevos minerales. Por ej. milonita.

➤ [Enlace a Video: Rocas Descripción General Rocas Metamórficas](#)

6.4 Rocas Alteradas.

Son rocas que originalmente eran cualquier tipo de roca, denominada en términos generales como **roca fresca**, y que han sufrido transformaciones químicas y mineralógica producto de su interacción con condiciones específicas como es el caso de las siguientes.

- **Rocas Alterada Endogénicamente:** Corresponden a aquellas cuya alteración se genera en la corteza, bajo la superficie, es decir en ambiente endógeno, habitualmente por el paso de fluidos hidrotermales a través de la porosidad de la roca previa. Los minerales formados en estas condiciones se denominan como hidrotermales o primarios.
- **Rocas Alteradas Supergénicamente:** Corresponden a aquellas cuya alteración se genera en la superficie de la corteza terrestre e influenciada por las condiciones ambientales, es decir en un ambiente supérgeno o exógeno. Los minerales formados en estas condiciones se denominan como supérgenos o secundarios.

➤ [Enlace a Video: Rocas Descripción General Rocas Alteradas](#)

7. Enlaces a Material de Apoyo Adicional

Para apoyar la información aquí presentada, se ha dejado incluido en el texto una serie de enlaces a videos y queda también aquí disponible el enlace a documentos de apoyo para la realización de descripciones mineralógicas macroscópicas incluyendo presentaciones y una ficha de descripción mineralógica respecto de la cual se dan indicaciones para su aplicación en el ítem siguiente.

➤ [Enlace de documentos de apoyo como Fichas de descripción, presentaciones y otros](#)

➤ [Enlace a Videos de apoyo adicionales](#)

8. **Bibliografía on line**

- International Mineralogical Association IMA:
 - <https://mineralogy-ima-wordpress.website/>
 - [CNMNC \(Updated list of IMA-approved minerals\)](#)
- Mindat:
 - <https://www.mindat.org/>
- Wikipedia:
 - <https://es.wikipedia.org/wiki/Mineral>
- GeoVirtual2 y Museo Virtual:
 - <https://www.geovirtual2.cl/>
- Fabre Minerals:
 - <https://www.fabreminerals.com/minerales-de-coleccion.php>
- FMF Foro de Mineralogía Formativa:
 - <https://www.foro-minerales.com/forum/viewtopic.php?t=9242&start=120&sid=aaec900302d2aca2fd42f6da0f14e4f2>

9. **Bibliografía en formato papel**

- Duda, R., Rejl, L., Equipo Susaeta (2005). Atlas ilustrado de los minerales. España: Susaeta ediciones S. A..
- Klein, C. y Hurlburt, C.S., (2002). Manual De Mineralogía de Dana, Cuarta Edición (vol. 1 y vol. 2). España, Editorial Reverté, 4a edición. (también en formato digital pdf).
- Medenbach, O. (2005) Minerales, Guías de la Naturaleza Blume: Editorial Blume.
- Schumann, W. (2004). Guía de Rocas y Minerales. España: Editorial Omega. ISBN 10: 8428208204 / ISBN 13: 9788428208208
- Tarbuck, E. J.; Lutgens, F. K., y Tasa, D. (2005). Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física. España, Editorial Pearson Educación S. A., Madrid. (también en formato digital pdf).