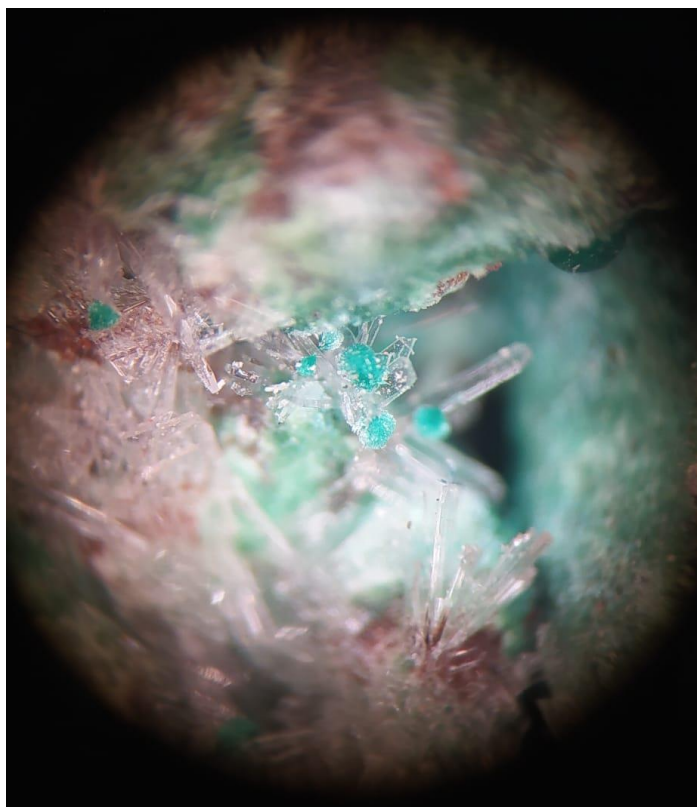




TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Biología

Facultad de Biología – Universidad de Murcia



“Mineralogía en vitrinas: Catálogo, conservación y museología”

Autora: M^aTeresa Gómez Castillo

Curso 2023-2024

Agradecimientos

A mi tutora Asun, por acogerme estos años como alumna interna en el Departamento de Geología, por el esfuerzo y dedicación para que saliese este trabajo adelante y me transmitiese con emoción las ganas de seguir en ciencia y transmitir estos conocimientos.

A Luis y Joaquín, que de manera directa e indirecta me han ayudado mucho con este trabajo y por el aprendizaje que he tenido con ellos.

A mi hermana, mi madre, mi padre y mi abuela, por apoyarme en todos estos años de carrera, por haber estado ahí siempre, sin importar lo que costase.

A mis amigos y amigas de la Panda del Moco, Plasmodio Squad, Super Nenas, Alibustres, otras amistades y aledaños; en especial a Jorge, Cris, Joseco, Domingo, Guille, por estar siempre ahí, escuchando largos monólogos de mis aventuras de alquimia en el laboratorio y resolviéndome mil dudas sobre este trabajo.

Finalmente, a mí, por seguir luchando por aquello que me motiva, me importa y me ilusiona, por no tirar la toalla, aunque hayan sido tiempos difíciles.

Dña. M^aTeresa Gómez Castillo, con DNI nº: 48259748K estudiante del Grado en Biología de la Facultad de Biología de la Universidad de Murcia, **DECLARO:**

Que el Trabajo de Fin de Grado que presento para su exposición y defensa titulado Mineralogía en vitrinas: Catálogo, conservación y museología.

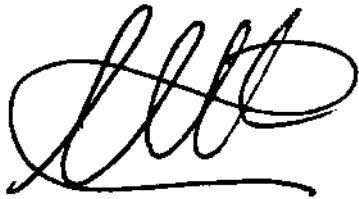
y cuya tutora es

Dña. María Asunción Alías Linares

es original y que todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.

Murcia, 9 de mayo de 2024

Firma

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and curves, likely representing the name María Asunción Alías Linares.

Declaración de originalidad del Trabajo Fin de Grado

Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

La gestión adecuada de una colección de minerales no solo es importante para preservar y promover el conocimiento sobre la diversidad mineralógica de nuestro planeta, sino que también puede contribuir significativamente al Objetivo 4 de Desarrollo Sostenible: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad, y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.

La catalogación e identificación de los minerales en una exposición no solo es relevante para su preservación a largo plazo, sino que también ofrece una importante oportunidad para la educación y el aprendizaje. Al proporcionar información detallada sobre cada mineral, incluyendo su composición química, propiedades físicas y origen geológico, se crea un recurso educativo que puede ser utilizado por estudiantes, investigadores y el público en general. De esta manera, se va haciendo hincapié en el valor de los recursos que ofrece la naturaleza y la importancia de su conservación.

Todo el trabajo que conlleva una museología de una colección de minerales no solo se trata de preservar y exhibir estos tesoros naturales, sino que también puede contribuir de manera significativa al logro del Objetivo 15 de Desarrollo Sostenible: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, y detener la pérdida de biodiversidad.

Los minerales son productos de procesos geológicos que dependen en gran medida de la salud y el equilibrio de los ecosistemas terrestres. La gestión sostenible de los bosques y la protección de la biodiversidad son fundamentales para la conservación de los hábitats naturales donde se encuentran los minerales que también forman parte de las rocas. Al catalogar y estudiar los minerales, se puede obtener información valiosa sobre la geología y la ecología de las áreas donde se encuentran, lo que puede ayudar a informar políticas y prácticas de gestión del medio ambiente.

Además, la exhibición de una colección de minerales puede ser una herramienta educativa poderosa para aumentar la conciencia sobre la importancia de la conservación de los ecosistemas terrestres. Al mostrar la belleza y la diversidad de los minerales y al explicar cómo se forman y por qué son importantes para nuestro planeta, se puede fomentar una mayor apreciación y comprensión de la naturaleza y de la necesidad de protegerla.

En conclusión, una correcta museología de una colección de minerales puede desempeñar un papel importante en la promoción de la gestión sostenible de los bosques, la conservación de la biodiversidad, garantizar una educación de calidad, y promover oportunidades de aprendizaje.

Índice

Resumen.....	1
Abstract	2
1. Introducción	3
1.1. Museología.....	3
1.1.2. Museos y colecciones de minerales.....	4
1.2. Propiedades físico-químicas de los minerales.....	4
1.2.1. Propiedades físicas	4
1.2.1.1. Propiedades ópticas generales	4
1.2.1.2. Propiedades ópticas especiales.....	5
1.2.1.3. Propiedades físicas que dependen del estado de agregación.....	5
1.2.1.4. Propiedades organolépticas o sensitivas.....	7
1.2.1.5. Densidad y peso específico	7
1.2.1.6. Propiedades eléctricas	8
1.2.1.7. Propiedades magnéticas	8
1.2.2. Propiedades químicas	8
1.3. Clasificación y características	8
1.3.1. Estructura cristalina.....	8
1.3.2. Clasificación de Strunz.....	9
1.3.2.1. Clase I: Elementos nativos	9
1.3.2.2. Clase II: Sulfuros y sulfosales	9
1.3.2.3. Clase III: Haluros	10
1.3.2.4. Clase IV: Óxidos e hidróxidos	10
1.3.2.5. Clase V: Carbonatos, nitratos y boratos	10
1.3.2.6. Clase VI: Sulfatos, cromatos, molibdatos y wolframatos	11
1.3.2.7. Clase VII: Fosfatos, arseniats y vanadatos.....	11
1.3.2.8. Clase VIII: Silicatos	11
1.4. Contexto geológico	12
2. Objetivos	12
3. Material y métodos.....	13
3.1. Métodos y técnicas	13
3.1.1. Técnicas no destructivas.....	13
3.1.2. Técnicas destructivas.....	14
3.1.2.1. Difracción de rayos X (DRX)	14
3.1.2.2. Microscopía Electrónica de Barrido de Emisión de Campo (FESEM)	15
3.1.3. Limpieza de minerales	16
3.1.3.1 Limpieza mecánica.....	16
3.1.3.2. Limpieza química.....	17
3.2. Materiales: Catalogación y descripción muestras minerales estudiadas	17

4. Resultados y Discusión	20
4.1. Identificación muestras minerales	20
4.1.1. Identificación mediante VISU y propiedades físicas	20
4.1.2. Identificación mediante Difracción de Rayos X (DRX)	21
4.1.3. Identificación mediante Microscopía Electrónica de Barrido Emisión de Campo (FESEM)	24
4.1.4. Situación geológica y geográfica	28
4.2. Limpieza muestras minerales	28
4.2.1. Cuarzo con óxidos de hierro (MM1)	28
4.2.2. Dolomita (MM2)	29
4.2.3. Galena (MM3)	30
4.2.4. Cuarzo con óxidos de hierro (MM4)	31
4.2.5. Aragonito con cubiertas arcillosas (MM5)	32
4.2.6. Barita con óxidos de manganeso (MM6)	33
4.2.7. Prehnita (MM7)	34
5. Conclusiones	34
6. Bibliografía	35
Anexos	

Listado abreviaturas

ACTI: Área Científica y Técnica de Investigación

BAR: barita

DOL: dolomita

DRX: Difracción de Rayos X

ESEM-EDS: Microscopio Electrónico de Barrido con Analizador de Energías (en español)

FESEM: Microscopio Electrónico de Barrido de Emisión de Campo (en español)

GAL: galena

MM1: muestra mineral 1

SEM: Microscopio Electrónico de Barrido convencional (en español)

VISU: reconocimiento visual

Listado Figuras

<u>Figura 1</u> . Hábitos más comunes de los minerales	6
<u>Figura 2</u> . Escala de Mohs	7
<u>Figura 3</u> . Sistemas cristalinos	9
<u>Figura 4a</u> . Azufre	10
<u>Figura 4b</u> . Pirita	10
<u>Figura 4c</u> . Halita	10
<u>Figura 5</u> . Magnetita	10

<u>Figura 6.</u> Dolomita.....	10
<u>Figura 7a.</u> Celestina.....	11
<u>Figura 7b.</u> Apatito.....	11
<u>Figura 8a.</u> Lepidolita.....	12
<u>Figura 8b.</u> Cuarzo con rutilo.....	12
<u>Figura 9a.</u> Microscopio petrográfico.....	13
<u>Figura 9b.</u> Lupa binocular.....	13
<u>Figura 10a.</u> Detalle de la máquina de difracción de rayos X (DRX).....	15
<u>Figura 10b.</u> Preparación de las muestras minerales en polvo para introducir en la máquina de difracción de rayos X (DRX).....	15
<u>Figura 11a.</u> Ubicaciones del sureste de la Península Ibérica (Región de Murcia) de las muestras minerales empleadas.....	18
<u>Figura 11b.</u> Ubicaciones de la Región de Murcia de las muestras minerales empleadas.....	18
<u>Figura 12.</u> Muestras minerales de MM1 a MM7.....	19
<u>Figura 13.</u> Muestras minerales de MM8 a MM11.....	19
<u>Figura 14a.</u> MM11 visto a la lupa.....	22
<u>Figura 14b.</u> Detalle de MM1 visto a la lupa.....	22
<u>Figura 15.</u> Hemimorfita (MM11a) vista por el FESEM.....	25
<u>Figura 16.</u> Rosasita (MM11b) vista por el FESEM.....	26
<u>Figura 17.</u> Crisocola (MM11c) vista por el FESEM.....	27
<u>Figura 18a y 18b.</u> Antes y después de la limpieza de cuarzo con óxidos de hierro (MM1).....	29
<u>Figura 19a y 19b.</u> Antes y después de la limpieza de dolomita (MM2).....	30
<u>Figura 20a y 20b.</u> Antes y después de la limpieza de galena (MM3).....	31
<u>Figura 21a y 21b.</u> Antes y después de la limpieza de cuarzo (MM4).....	32
<u>Figura 22a y 22b.</u> Antes y después de la limpieza de aragonito (MM5).....	33
<u>Figura 23a y 23b.</u> Antes y después de la limpieza de barita (MM6).....	33
<u>Figura 24a y 24b.</u> Antes y después de la limpieza de prehnita (MM7).....	34

Listado Tablas

<u>Tabla 1.</u> Sistemas cristalinos con ejemplos.....	8
<u>Tabla 2.</u> Descripción de las muestras minerales y su procedencia.....	18
<u>Tabla 3.</u> Identificación de minerales y descripción de pruebas por reconocimiento visual.....	20
<u>Tabla 4.</u> Identificación de minerales y descripción de pruebas por DRX.....	21
<u>Tabla 5.</u> Identificación de minerales y descripción de pruebas por reconocimiento visual.....	21
<u>Tabla 6.</u> Comparación resultados barita MM8 con datos patrón.....	22
<u>Tabla 7.</u> Comparación resultados calcita MM9 con datos patrón.....	23
<u>Tabla 8.</u> Comparación resultados calcita MM10 con datos patrón.....	24
<u>Tabla 9.</u> Valores de $K\alpha$ de los elementos que aparecen en MM11a.....	25
<u>Tabla 10.</u> Valores de $K\alpha$ de los elementos que aparecen en MM11b.....	26
<u>Tabla 11.</u> Valores de $K\alpha$ de los elementos que aparecen en MM11c.....	27
<u>Tabla 12.</u> Cantidad en gramos de ditionito sódico, y observaciones del mineral.....	28
<u>Tabla 13.</u> Cantidad en mililitros de agua fuerte y agua, y observaciones del mineral.....	30
<u>Tabla 14.</u> Cantidad en mililitros de ácido acético y agua, y observaciones del mineral.....	31
<u>Tabla 15.</u> Cantidad en mililitros de lejía, y número de veces.....	33

Listado Gráficas

<u>Gráfica 1.</u> Difractograma con los resultados DRX de MM8.....	22
<u>Gráfica 2.</u> Difractograma con los resultados DRX de MM9.....	23
<u>Gráfica 3.</u> Difractograma con los resultados DRX de MM10.....	23
<u>Gráfica 4.</u> Difractograma con los resultados DRX de MM11.....	24
<u>Gráfica 5.</u> Resultados análisis FESEM de MM11a.....	25
<u>Gráfica 6.</u> Resultados análisis FESEM de MM11b.....	26
<u>Gráfica 7.</u> Resultados análisis FESEM de MM11c.....	27

Listado Anexos

<u>Anexo I.</u> Museos y colecciones minerales en España.....	I
<u>Anexo II.</u> Imágenes de minerales de los diferentes sistemas cristalinos.....	III
<u>Anexo III.</u> Instrumento y producto utilizados para la limpieza química y mecánica de las muestras minerales.....	VIII
<u>Anexo IV.</u> Ubicaciones del sureste de la Península Ibérica y de la Región de Murcia de las muestras minerales empleadas.....	IX
<u>Anexo V.</u> Muestras minerales empleadas para este trabajo.....	X
<u>Anexo VI.</u> Difractogramas con los resultados DRX de MM8, MM9, MM10, MM11.....	XV
<u>Anexo VII.</u> Resultados en FESEM de MM11a, MM11b, MM11c.....	XVII
<u>Anexo VIII.</u> Proceso de limpieza de cuarzo con óxidos de hierro (MM1).....	XX
<u>Anexo IX.</u> Proceso de limpieza de dolomita (MM2).....	XXII
<u>Anexo X.</u> Proceso de limpieza de galena (MM3).....	XXIII
<u>Anexo XI.</u> Proceso de limpieza de cuarzo con óxidos de hierro (MM4).....	XXIV
<u>Anexo XII.</u> Proceso de limpieza de barita con óxidos de manganeso (MM6).....	XXVI
<u>Anexo XIII.</u> Proceso de limpieza de prehnita (MM7).....	XVIII
<u>Anexo XIV.</u> Mapa Geológico de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia a escala 1:200.000 realizados por el IGME.....	XXIX

Resumen

La escasa información bibliográfica encontrada acerca de la preparación previa y estructuración de una exposición de minerales para un museo de Ciencias Naturales hace necesario conocer estos procedimientos, para poder llevarlos a cabo. Este procedimiento científico previo a una exposición se ve reflejado en este trabajo.

Se han llevado a cabo tres métodos de identificación de una serie de muestras minerales pertenecientes en su casi totalidad a la Región de Murcia. El primer método utilizado fue por reconocimiento visual (VISU), teniendo en cuenta fundamentos básicos de mineralogía. Durante este procedimiento ninguna muestra fue dañada. Las otras dos técnicas aplicadas, difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM), sí suponen algún desperfecto en las muestras estudiadas. Sin embargo, estos cambios resultaron no ser significativos o problemáticos para su futura exposición.

Una vez se identificaron las muestras, sobre aquellas que se consideraron que necesitaban una mejora para potenciar su belleza, se realizaron diversos procesos de limpieza química y mecánica. Utilizándose así, baños en ultrasonido y raspado con una grabadora. Por otra parte, se utilizaron sales y ácidos para eliminar cubiertas sobrantes a través reacciones químicas.

Finalmente, tras haber identificado, procesado y limpiado estas muestras minerales se incluyeron en la Colección de Rocas, Minerales y Fósiles de la Facultad de Biología de la Universidad de Murcia, situado en el Laboratorio P7, que actualmente se denomina *“Profesora Purificación Linares Moreno”*.

Palabras Clave: mineral, museos, reconocimiento visual (VISU), difracción de rayos X (DRX), exposición.

Abstract

The scarce bibliographic information found about the previous preparation and structuring of a mineral exhibition for a Natural Science museum makes it necessary to know these procedures in order to be able to carry them out. This scientific procedure prior to an exhibition is reflected in this work.

Three methods of identification of a series of mineral samples belonging almost entirely to the Region of Murcia have been carried out. The first method used was by visual recognition (VISU), taking into account basic mineralogical fundamentals. During this procedure no sample was damaged. The other two techniques applied, X-ray diffraction (XRD) and field emission scanning electron microscopy (FESEM), did involve some damage to the samples studied. However, these changes were not found to be significant or problematic for future exposure.

Once the samples were identified, several chemical and mechanical cleaning processes were carried out on those that were considered to need improvement to enhance their beauty. Thus, ultrasound baths and scraping with an engraver were used. On the other hand, salts and acids were used to eliminate excess coatings through chemical reactions.

Finally, after having identified, processed and cleaned these mineral samples, they were included in the Collection of Rocks, Minerals and Fossils of the Faculty of Biology of the University of Murcia, located in Laboratory P7, which is currently called "*Professor Purificación Linares Moreno*".

Key words: mineral, museums, visual recognition (VISU), X-ray diffraction (XRD), exhibition.

1. Introducción

Los museos de Ciencias Naturales no solo desempeñan un papel crucial en la educación y el ocio, sino que también cumplen una función vital como centros de investigación científica y preservación del patrimonio natural. Cada exhibición y colección conlleva un proceso meticuloso de investigación llevado a cabo por expertos, o al menos así debería ser. Esta labor contribuye significativamente al progreso científico al ampliar nuestro conocimiento sobre la biodiversidad y la geología.

1.1. Museología

En diversos estudios sobre **museología**, los temas se centran en planificar, organizar y administrar museos, además de crear políticas y estrategias para conservar y promover el patrimonio cultural (Ferragut *et al.*, 2015). Esto viene siendo una metodología general para cualquier tipo de museo, ya sea de Ciencias Naturales, de Historia o Arte.

Los museos de Ciencias Naturales son lugares que motivan, inspiran, educan y promueven la conexión con la belleza y complejidad del mundo natural. Estos sitios ofrecen oportunidades para explorar y aprender sobre la historia de la vida en la Tierra, así como los procesos que han dado forma a nuestro planeta a lo largo del tiempo, mediante una diversidad de exhibiciones interactivas, programas educativos y exposiciones científicas. Por lo tanto, constituyen entornos idóneos para la reflexión crítica, el fomento de la conciencia ambiental y la promoción de la conservación del medio ambiente, la biodiversidad y la geodiversidad. No basta con simplemente observar muestras de cualquier área del conocimiento para lograr un aprendizaje completo y una comprensión profunda. Los estímulos auditivos y táctiles provenientes del entorno son algunos de los complementos esenciales que enriquecen la experiencia del aprendizaje. Estas estrategias resultan más atractivas y penetran más profundamente en la conciencia del individuo, fomentando una comprensión más individual. Además, gracias a estos recursos y a las nuevas tecnologías, se superan las barreras de acceso al conocimiento y la cultura, permitiendo una mayor inclusión y acceso del aprendizaje (Ferragut *et al.*, 2015).

Cabe destacar contar con el papel esencial de expertos que supervisen otras medidas técnicas una vez las muestras estén en exhibición. Establecer una política de conservación es crucial para prevenir el deterioro de los ejemplares. Es preciso tener control sobre datos medioambientales (humedad, temperatura), agentes biológicos (plagas), desastres naturales (inundaciones, incendios), factor humano (vandalismo, robos), etc (Marco, 1999).

Una gestión científica correcta para la exposición de muestras minerales en un museo de Ciencias Naturales implicaría la selección, identificación, catalogación, preservación y conservación. Todo ello, implicando una investigación científica, para así poder darle un contexto significativo y coherente. Consecuentemente, se podrá educar y concienciar sobre la cultura y patrimonio. Sin olvidarnos de que todo este procedimiento requiere la formación de investigadores de campos multidisciplinarios, es decir, colaboradores expertos en diferentes áreas de conocimiento. Existe una notable falta de bibliografía que aborde específicamente la investigación y el proceso científico que precede a la exposición de minerales, destacando la gran escasez de escritos que traten sobre la limpieza de minerales o las mejores prácticas para la exposición de muestras geológicas.

1.1.2. Museos y colecciones de minerales

Es relevante mencionar la existencia de otros museos y colecciones distribuidos a lo largo del territorio español. Uno de los más reconocidos en España es el Museo Geominero, ubicado en Madrid, bajo la tutela del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Esta institución alberga una extensa colección de rocas, minerales y fósiles, exhibidos en más de 200 vitrinas (Jiménez *et al.*, 2013). Asimismo, en otras comunidades autónomas como Cataluña y Castilla y León, destacan por la diversidad de museos geológicos que ofrecen. En Anexo I, se encuentra una tabla donde se reflejan los museos y colecciones más relevantes de cada comunidad autónoma de España (López, 2015).

Después de todo el proceso de investigación, catalogación, identificación y procesado de las muestras minerales de este trabajo, serán añadidos en la Colección de Rocas, Minerales y Fósiles de la Facultad de Biología de la Universidad de Murcia. Este museo está situado en el Laboratorio P7, que actualmente se denomina “*Profesora Purificación Linares Moreno*” desde octubre de 2022. El origen de esta colección comienza en el curso 1988-1989 cuando la Facultad de Ciencias, que se encontraba en el Campus de la Merced, se trasladase al Campus Universitario de Espinardo. Se habilitó una sala en la actual Facultad de Biología para poder exponer esta colección de rocas, minerales y fósiles. Actualmente cuenta con 16 vitrinas, de las cuales en 10 vitrinas se exponen minerales siguiendo la clasificación de Strunz; en 3 vitrinas se exponen rocas según su origen; y finalmente en otras 3 se exponen fósiles ordenados por épocas geológicas.

1.2. Propiedades físico-químicas de los minerales

Un **mineral** es todo elemento o compuesto químico de origen inorgánico, formado por una estructura cristalina ordenada (Klein & Hurlburt, 1996). Para poder identificarlos y clasificarlos, cada mineral presenta unas propiedades físicas y químicas características. Estos minerales se forman a través de procesos geológicos que ocurren en la Tierra, aunque podemos incluso llegar a encontrar minerales que proceden de cuerpos rocosos que viajan por el espacio y acaban en nuestro planeta.

1.2.1. Propiedades físicas

1.2.1.1. Propiedades ópticas generales

Lo primero en lo que nos fijamos en un mineral es su **color**. La aparición del color es debida a la absorción selectiva por el cristal de determinadas longitudes de onda de la luz blanca (Jiménez & Velilla, 2004). La mayoría de minerales tienen un color característico que los hacen fácilmente reconocibles, como el azufre que suele tener un amarillo característico. Aun así, hay otros minerales que pueden mostrar diversos colores, como el aragonito que puede ser rojizo o de color lila, entre otros. También se puede dar el caso de que algunos minerales tengan diversas tonalidades debido a alteraciones u oxidaciones (Benavente *et al.*, 2020).

El **brillo** de los minerales es el aspecto de la superficie cuando se refleja la luz en ella. Pueden ser de dos tipos según su índice de refracción: metálico y no metálico. El índice de

refracción indica cómo se altera la velocidad de la luz al atravesar un material en comparación con su velocidad en el vacío (Jiménez & Velilla, 2004). Los minerales con brillo no metálico pueden tener brillo vítreo (halita), adamantino (diamante), resinoso (azufre), nacarado (celestina), entre otros. Como ejemplo de brillo metálico tenemos la pirita (Benavente *et al.*, 2020).

La **transparencia** depende de cómo interactúa la luz con la superficie del material. Pueden ser transparentes (cuarzo), translúcidos (flogopita) y opacos (malaquita) (Mindat.org).

1.2.1.2. Propiedades ópticas especiales

Se pueden reconocer e identificar minerales observándolos en una lámina delgada o en granos cristalinos al microscopio petrográfico. Al igual que en el reconocimiento visual (VISU), el **hábito** es lo primero que vamos a observar. Es el aspecto que presenta el cristal o los agregados de los cristales. Se define por la disposición relativa de sus caras y está determinado por las condiciones durante su formación. Al observar un mineral en una lámina delgada y girarlo con la platina del microscopio, se puede mostrar diferentes tonos de color o variaciones en el mismo tono. El **pleocroísmo** ocurre cuando un cristal cambia de color dependiendo de su orientación con respecto al plano de polarización de la luz (Klein & Hurlburt, 1996).

Los minerales se fragmentan o exfolian a lo largo de planos específicos siguiendo su estructura atómica. La identificación se puede realizar usando la presencia o ausencia de **exfoliación**, así como los ángulos formados por múltiples exfoliaciones (si llegan a estar presentes) como criterios. Muchos minerales que no tienen color tienen índices de refracción cercanos al del medio de montaje pueden no presentar límites definidos cuando se observan bajo el microscopio. Cuanto mayor sea la diferencia entre el índice de refracción de un mineral y el del material circundante, mayor será su **relieve**. Si las variaciones en el índice de refracción son leves, tendremos que utilizar la abertura de la platina, cerrándola para poder detectar los cambios en el relieve. Si no está presente esta parte será complejo apreciar el relieve (Dyar *et al.*, 2008).

Otra característica que resulta útil para la identificación es la **birrefracción**. Esta medida cuantifica la doble refracción de aquellos minerales que presentan más de un índice de refracción (MacKenzie & Adams, 1997). Un claro ejemplo donde podemos apreciar este fenómeno es el espato de Islandia, una variedad de la calcita (Mindat.org).

1.2.1.3. Propiedades físicas que dependen del estado de agregación

La estructura externa de un mineral bien cristalizado revela la disposición simétrica de sus átomos. Comprender esta simetría permite predecir su forma macroscópica, y a su vez, examinar la forma del cristal puede proporcionar información sobre su simetría cristalográfica (Benavente *et al.*, 2020).

Un mismo mineral puede mostrar distintos **hábitos** según las condiciones de crecimiento en las que se encuentre. El cuarzo puede presentar una forma masiva o incluso prismática, que depende de diversos factores para su formación (Benavente *et al.*, 2020).

Los hábitos más comunes son los siguientes, algunos reflejados en la Figura 1:

- Cúbico: formando cubos, como la halita.
- Prismático o columnar: formando columnas, como el aragonito.
- Acicular: formando haces o agujas, como el rutilo.
- Granular: formando granos de tamaño medio o grande, como la dolomita.
- Laminar: formando hojas delgadas y aplanadas, como las micas.
- Tabular: formando placa aplanadas, como la barita.
- Drusa: formando una capa de pequeños cristales que suelen acabar en punta, como el cuarzo.
- Masivo o compacto: formando una apariencia irregular y sin forma concreta, como la galena.
- Globular: formando esferas, como la prehnita.
- Dendrítico: formando ramificaciones, como la pirolusita.

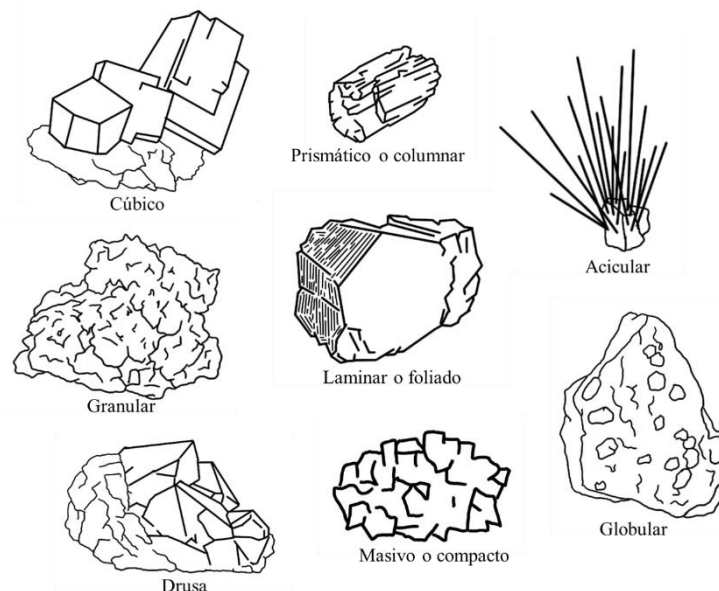


Figura 1. Hábitos más comunes de los minerales. Autoría propia.

La **tenacidad** de un mineral se refiere a su capacidad para resistir ser fragmentado, machacado, doblado o desgarrado. La **exfoliación** es la capacidad de ciertos minerales para romperse a lo largo de planos atómicos. Si un mineral no sigue estas normas de exfoliación, se habla de **fractura** (Benavente *et al.*, 2020). La **dureza** se refiere a la resistencia que opone la superficie de un mineral para ser rayada. Se pueden identificar numerosos minerales según su dureza gracias a la **escala de Mohs**, que va del 1 al 10, siendo el 10 el valor con mayor dureza (Benavente *et al.*, 2020) (Figura 2).

- | | | |
|-------------|------------|--------------|
| 1. Talco | 5. Apatito | 8. Topacio |
| 2. Yeso | 6. Ortosa | 9. Corindón |
| 3. Calcita | 7. Cuarzo | 10. Diamante |
| 4. Fluorita | | |



Figura 2. Escala de Mohs. Autoría propia.

La **raya** es el rastro resultante de rayar la superficie del mineral, que puede o no coincidir con el color del mineral. La rodocrosita es un carbonato de color rojizo cuya raya es blanca (Mindat.org).

1.2.1.4. Propiedades organolépticas o sensitivas

En algunas ocasiones podemos diferenciar minerales gracias a lo que percibimos con los sentidos, además del tacto o la vista (Benavente *et al.*, 2020). Algunos minerales desprenden olores concretos, como el azufre que desprende un olor similar a huevos podridos. Incluso también con el gusto, como la halita que tiene un sabor salado, o la silvina con sabor amargo.

1.2.1.5. Densidad y peso específico

La **densidad** se mide gramo por centímetro cúbico, es decir, estamos midiendo la masa por unidad de volumen (Klein & Hurlburt, 1996). El **peso específico** o densidad relativa de un mineral indica cuántas veces su peso es mayor que el peso de un volumen equivalente de agua a 4°C. Si tenemos una muestra cuyo peso específico es 4, esto determina que el mineral pesa cuatro veces más de lo que pesaría un volumen igual de agua (Nogués *et al.*, 2008).

1.2.1.6. Propiedades eléctricas

Esta propiedad suele tener más interés a nivel industrial, pero sirve de igual manera para identificar minerales. Diversos minerales tienen la capacidad de conducir la electricidad, como el cobre. También hay otros, que se vuelven conductores ya sea sometiendo la muestra a una variación de temperatura o presión, como la turmalina y el cuarzo respectivamente. De esta manera, adquieren carga eléctrica (Klein & Hurlburt, 1996).

1.2.1.7. Propiedades magnéticas

Algunos minerales, tienen la capacidad de ser atraídos por un imán (que presenta un campo magnético concreto). En realidad, hay poca variedad de minerales que se comportan como imanes, así serán fáciles de identificar. El ejemplo más claro es la magnetita (*Mindat.org*).

1.2.2. Propiedades químicas

Algunos minerales pueden reaccionar ante sustancias químicas, tales como los ácidos. Este es el caso de los carbonatos, en los que el anión carbonato (CO_3^{2-}) en presencia de ácidos se vuelve inestable y se descompone para dar CO_2 y H_2O . Esta inestabilidad es la causa de su efervescencia con ácidos, prueba muy empleada para identificar los carbonatos (Klein & Hurlburt, 1996).

1.3. Clasificación y características

1.3.1. Estructura cristalina

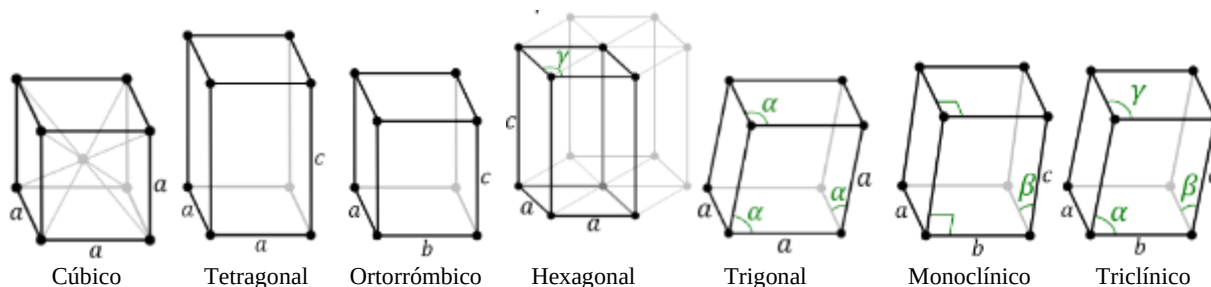
La **estructura cristalina** está formada por la agrupación de partículas (átomos, iones o moléculas) repetidas periódicamente en tres dimensiones, originando una red cristalina. Los elementos cristalográficos están dispuestos en el espacio siguiendo **tres ejes (a, b, c)** que están formando **tres ángulos entre sí (α , β , γ)**. La parte más pequeña de esta red que se repite por traslación ordenada se llama **celdilla unidad**. Según las longitudes de cada lado de esa celdilla unidad y los ángulos que forman entre ellos, se distinguen siete sistemas cristalográficos. En la Tabla 1 y Figura 3 se muestran los distintos sistemas cristalinos. Ver imágenes de estos ejemplos en Anexo II.

Tabla 1. Sistemas cristalinos con ejemplos (Benavente et al., 2020).

SISTEMA CRISTALINO	Cúbico	Tetragonal	Ortorrómbico (rómico)	Hexagonal
EJES	$a=b=c$	$a=b \neq c$	$a \neq b \neq c$	$a=b \neq c$
ÁNGULOS ENTRE EJES	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	$\alpha=\beta=90^\circ$; $\gamma=120^\circ$
EJEMPLO	Pirita	Rutilo	Aragonito	Vanadinita

Tabla 1. Sistemas cristalinos con ejemplos (Benavente *et al.*, 2020).

SISTEMA CRISTALINO	Trigonal (romboédrico)	Monoclínico	Triclínico
EJES	$a=b=c$	$a \neq b \neq c$	$a \neq b \neq c$
ÁNGULOS ENTRE EJES	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	$\alpha = \gamma = 90^\circ; \beta \neq 90^\circ$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma$ $\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$
EJEMPLO	Dolomita	Ortoclasa	Microclina

Figura 3. Sistemas cristalinos (Benavente *et al.*, 2020).

1.3.2. Clasificación de Strunz

El sistema de clasificación de minerales más ampliamente utilizado es la Clasificación de Strunz, que los agrupa en 8 clases. Aunque hay autores que describen una novena clase donde se incluyen sustancias orgánicas como el carbón (*Mindat.org*).

1.3.2.1. Clase I: Elementos nativos

Los **elementos nativos** son aquellos que están compuestos por un solo elemento químico, y en la naturaleza se encuentran en estado nativo (Benavente *et al.*, 2020). Según su composición química se dividen en:

- Metálicos: oro, plata, cobre, platino, hierro.
- Semimetales: arsénico y bismuto.
- No metales: azufre (Figura 4a), diamante y grafito.

1.3.2.2. Clase II: Sulfuros y sulfosales

En esta clase encontramos minerales cuya composición química combina el azufre con metales o semimetales, como los **sulfuros** o **teluros** entre otros, además de **sulfosales**. Suele presentar aspecto y brillo metálico, además de un elevado peso específico. La mayoría son opacos, y al tener en su composición química ciertos metales, son buenos conductores de electricidad y calor. En este grupo podemos encontrar ejemplos como la pirita (Figura 4b) o la galena (Calvo, 2003).

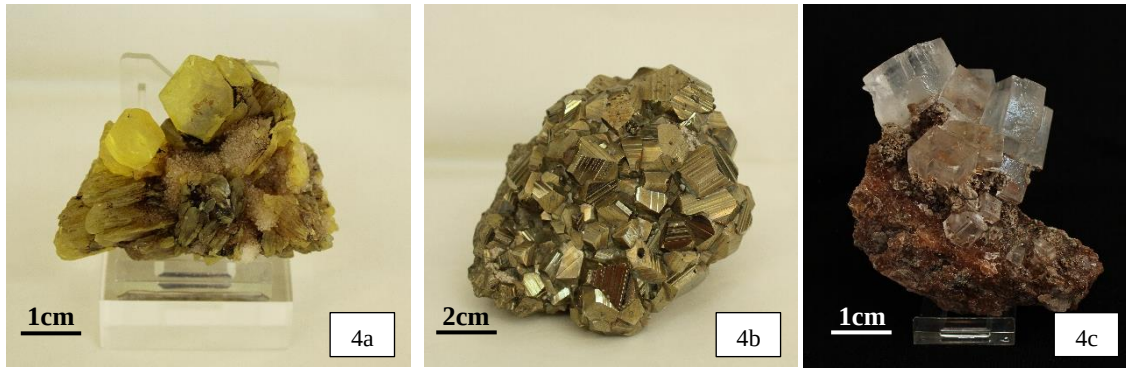


Figura 4a. Azufre. Figura 4b. Pirita. Figura 4c. Halita. Autoría propia.

1.3.2.3. Clase III: Haluros

Los minerales de este grupo se componen de **haluros**, compuestos por la unión de halógenos como flúor, cloro, bromo y yodo, con metales. A diferencia de los minerales metálicos, estos no tienen una apariencia brillante, su dureza es generalmente baja y muchos de ellos son solubles en agua. La mayoría de estos minerales carecen de coloración, y cuando la presentan, suele deberse a impurezas. Aunque los cloruros y fluoruros son los más comunes, los bromuros y yoduros son menos frecuentes en comparación (Benavente *et al.*, 2020). La halita (Figura 4c) o fluorita son algunos ejemplos que están dentro de esta clasificación.

1.3.2.4. Clase IV: Óxidos e hidróxidos

Los **óxidos** son aquellos minerales compuestos por la unión de metales con oxígeno. Tienen una tendencia a ser duros, densos y resistentes al calor. Por lo general, se encuentran como componentes secundarios en rocas ígneas y metamórficas, así como en forma de granos diseminados en sedimentos (Calvo, 2003). En esta clase podemos encontrar el rutilo o la magnetita (Figura 5).



Figura 5. Magnetita. Autoría propia.



Figura 6. Dolomita. Autoría propia.

1.3.2.5. Clase V: Carbonatos, nitratos y boratos

Los **carbonatos** son minerales formados principalmente por carbonato cálcico (CaCO_3). Se caracterizan por tener baja dureza, densidad variable y una amplia gama de colores. En entornos ácidos acuosos se disuelven fácilmente (Klein & Hurlburt, 1996). Como ejemplos, están presentes en esta categoría la dolomita (Figura 6) y calcita. Los **nitratos** son minerales con tonalidades claras y de textura blanda que se encuentran en masas cristalinas o formando eflorescencias. Por otro lado, los **boratos** conforman un grupo mineral poco común, presentando una amplia variedad en cuanto a color y aspecto (Benavente *et al.*, 2020).

1.3.2.6. Clase VI: Sulfatos, cromatos, molibdatos y wolframatos

Los **sulfatos** son minerales que se encuentran en abundancia en la naturaleza. Su estructura está compuesta por un tetraedro de azufre y oxígeno. En los cromatos, molibdatos y wolframatos, el azufre es sustituido por cromo, molibdeno y wolframio, respectivamente. Los sulfatos naturales suelen mostrarse a menudo como incoloros, presentan baja densidad y dureza. Por lo general, son solubles en agua (Calvo, 2003). En este grupo podemos encontrar ejemplos como el yeso o celestina (Figura 7a).

1.3.2.7. Clase VII: Fosfatos, arseniatos y vanadatos

Los **fosfatos** están formados principalmente de fósforo, elemento que no se encuentra en forma libre en la naturaleza. El fósforo lo encontramos en apatito (Figura 7b) formando parte de algunas rocas ígneas. Otra manera de encontrar fosfatos es en lugares donde se acumulan restos y excrementos de seres vivos ricos en este elemento. En la corteza terrestre, el apatito constituye el 95% del fósforo que existe. Los fosfatos poseen una baja solubilidad y tienen la capacidad de precipitarse nuevamente cuando sus soluciones entran en contacto con CaCO_3 u otros metales pesados (Klein & Hurlburt, 1996).

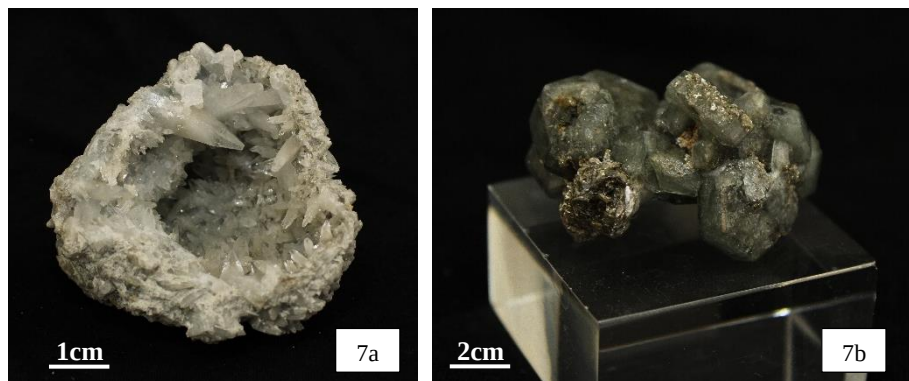


Figura 7a. Celestina. Figura 7b. Apatito. Autoría propia.

1.3.2.8. Clase VIII: Silicatos

Los **silicatos** son la categoría más significativa, representando cerca de un 90% de los minerales que se conocen. Destacan los aluminosilicatos, cuya abundancia es un claro reflejo de elementos mayoritarios en la corteza terrestre, oxígeno, silicio y aluminio (Benavente *et al.*, 2020). En las Figuras 8a y 8b se pueden observar algunos minerales de esta clase. Esta clase a su vez se divide en:

- Nesosilicatos (olivino).
- Sorosilicatos (epidota).
- Ciclosilicatos (turmalina).
- Inosilicatos (augita).
- Filosilicatos (lepidolita).
- Tectosilicatos (cuarzo).

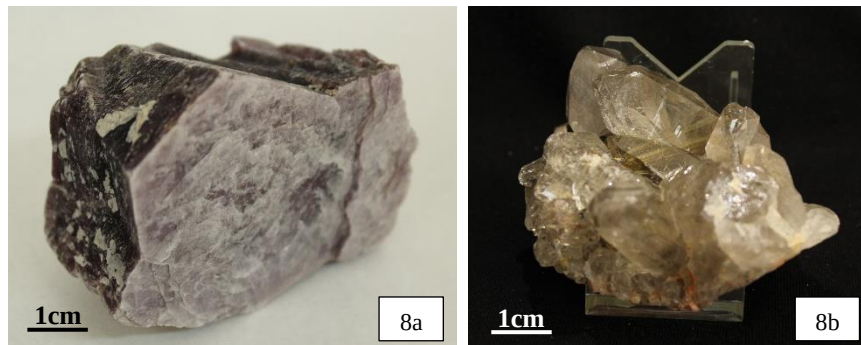


Figura 8a. Lepidolita. Figura 8b. Cuarzo con rutilo. Autoría propia.

1.4. Contexto geológico

La formación de minerales está vinculada estrechamente con los tipos de rocas y entornos geológicos en que se originan. Los minerales también pueden servir como indicadores útiles para determinar la historia geológica de un territorio. Es crucial para identificar los minerales y obtener información sobre la evolución geológica de una región comprender su contexto geológico.

2. Objetivos

Este trabajo tiene como objetivo principal detallar un proceso científico destinado a identificar, clasificar y preservar muestras minerales para su posterior exposición de carácter museística. De esta manera, se establece un protocolo exhaustivo para la identificación de ejemplares mineralógicos, tanto en entornos de campo como en laboratorio. Se desarrollará un método sistemático que considerará criterios morfológicos, ópticos y físicos para la clasificación precisa de los ejemplares minerales presentes en las muestras analizadas.

En el ámbito analítico, se evaluarán y seleccionarán técnicas apropiadas, tanto destructivas como no destructivas, para el estudio detallado de las muestras minerales. Se explorarán métodos como la microscopía y la difracción de rayos X, entre otros, con el fin de obtener información sobre la composición y estructura de los minerales sin causar daños a las muestras o evitando un deterioro considerable.

Adicionalmente, se elaborará una guía para la limpieza mecánica y química, aplicada a muestras escogidas para el caso práctico, con el objetivo de prepararlas adecuadamente para su estudio y exhibición. Este protocolo asegurará la preservación de las muestras y mejorará su apariencia estética para una óptima visualización y comprensión en el contexto del museo.

En definitiva, y haciendo alusión a los Objetivos de Desarrollo Sostenible previamente mencionados, el propósito es utilizar una exhibición de minerales como medio educativo para promover la conciencia acerca de la significancia de la conservación de la geodiversidad.

3. Material y métodos

3.1. Métodos y técnicas

Para identificar minerales podemos utilizar diferentes técnicas y métodos, de los cuáles algunos mantienen intactas la muestras, mientras que en otros será necesaria su degradación parcial o completa (Benavente *et al.*, 2016).

- Técnicas no destructivas para la identificación de minerales:
 - Reconocimiento visual (VISU) mediante propiedades físicas y químicas.
 - Reconocimiento mediante propiedades ópticas especiales.
- Técnicas destructivas para la identificación de minerales:
 - Difracción de polvo de rayos X (DRX).
 - Microscopía Electrónica de Barrido Emisión de Campo (FESEM).

3.1.1. Técnicas no destructivas

Mediante la observación de las propiedades físico-químicas de los minerales, mencionadas en anteriores apartados, se puede realizar un **reconocimiento visual** (VISU) para identificar de manera sencilla las muestras de interés.

El estudio de las propiedades ópticas de las muestras a través de la **lupa** y el **microscopio**, nos ayudará también a identificar minerales de manera más detallada. En la lupa se puede observar color y hábito de los cristales, mientras que con el microscopio petrográfico se estudian otras propiedades como el índice de refracción, relieve, o pleocroísmo, entre otras (Jiménez & Velilla, 2004). Realmente la mera observación al microscopio no es destructiva como tal. Sí resulta serlo la propia preparación de la lámina delgada del mineral o roca.

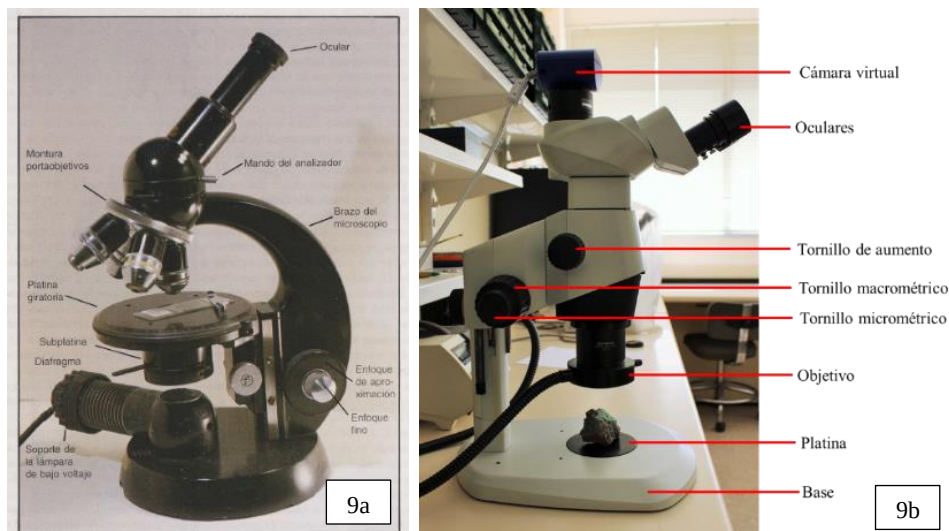


Figura 9a. Microscopio petrográfico (MacKenzie & Adams, 1997).

Figura 9b. Lupa binocular. Autoría propia.

El **microscopio petrográfico** (Figura 9a) tiene la misma apariencia y sigue los mismos fundamentos que el microscopio biológico, a diferencia de que el primero posee una lente polarizadora (Jiménez & Velilla, 2004). Además presenta una platina giratoria, que nos permitirá

apreciar los cambios de luz y relieve de la muestra. El microscopio petrográfico empleado para este trabajo es de la marca *Carl Zeiss* ®. Con la **lupa binocular** ocurre lo mismo que lo anterior, pero a diferencia del microscopio, no presenta tantos aumentos y no posee luz polarizada. Este instrumento utilizado es de la marca *Olympus SZX16* (Figura 9b).

3.1.2. Técnicas destructivas

Una vez hemos empleado las técnicas anteriores y todavía no hemos logrado identificar nuestro mineral, tendremos que recurrir a las siguientes técnicas destructivas. Gracias a técnicas como la difracción de rayos X (DRX) combinado con el microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM), podemos identificar minerales, aunque haya que destruir parcialmente la muestra.

3.1.2.1. Difracción de rayos X (DRX)

La **difracción de rayos X (DRX)** es una técnica ampliamente utilizada en diversos campos, como la industria farmacéutica o metalurgia. En el mundo de la cristalografía es una herramienta de suma relevancia para analizar las estructuras de los minerales y para investigar las redes cristalinas en detalle (Velandia & Hurtado, 2017).

A las muestras seleccionadas para este estudio se les extrajo un fragmento de la muestra, intentando dañarlo lo menos posible. Una vez separado el fragmento se pulverizan en un mortero de ágata hasta hacerlo polvo cristalino. Se filtra en un tamizador de tamaño de luz 50µm (micras). Se pesa el polvo para que tengamos mínimo 1 gramo de polvo de cada muestra. Se llevaron las muestras de los minerales escogidos para analizarlos mediante DRX en el Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica (SAIT) ubicado en la UPCT (Universidad Politécnica de Cartagena), (Figura 10a). El equipo utilizado fue un Difractómetro de rayos X de polvo “*Bruker D8 Advance*”, que dispone de una carcasa de protección total contra la radiación de rayos X. Allí se realizó una preparación de cada muestra introduciendo el polvo mineral en una base metálica que lo prensaba (Figura 10b). El sistema D8 consta de: un goniómetro theta/theta, generadores de

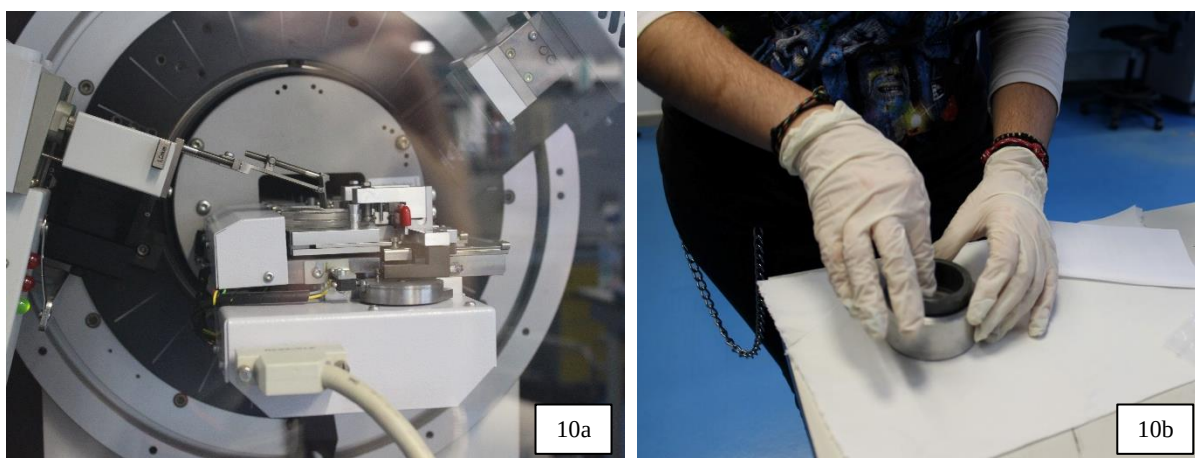


Figura 10a. Detalle de la máquina de difracción de rayos X (DRX).

Figura 10b. Preparación de las muestras minerales en polvo para introducir en la máquina de difracción de rayos X (DRX). Autoría propia.

rayos X “*Kistallofex K 760-80F*”, unidades informáticas (paquete de programas DIFRACPLUS; base de datos ICDD, PDF 2 y PDF 1) y base de datos ICSD. Con estas unidades informáticas se compararon unas fichas patrón incluidas en una base de datos con los resultados de este trabajo (Abad & Velilla, 2018).

Los difractogramas se realizaron con una longitud de onda $\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$ que corresponde con rayos X convencionales de cobre $K\alpha$. Se identificaron las fases cristalinas presentes en las muestras a través de su comparación con la base de datos.

Una vez introducimos la muestra en polvo, los rayos X incidirán en ella. Esto hará que los electrones que orbitan en torno al núcleo se dispersen. Estas ondas salen disparadas en todas direcciones, que interfieren entre ellas. Según el tipo y dirección de las interferencias, podrán tener una naturaleza constructiva o destructiva (Ali *et al.*, 2022). Si son interferencias constructivas se cumple la Ley de Bragg, representada en la siguiente ecuación.

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

Si la interferencia resulta ser destructiva no se cumplirá la Ley de Bragg, dando lugar a un pico muy bajo, es decir, una baja intensidad de señal. En caso de tratarse de una interferencia constructiva observaremos un pico. La separación entre los planos cristalinos es característica y concreta de cada material, lo que posibilita el uso de DRX en el análisis de la composición de una sustancia (Rodríguez, 2020). Cada mineral posee una estructura cristalina característica, que se reflejará en un patrón único de difracción de rayos X. Esto permite identificar rápidamente los minerales en una muestra de roca o suelo (Bunaciu *et al.*, 2015).

Además de la difracción de rayos X, se pueden emplear otras técnicas como la espectrometría de fluorescencia de rayos X, o catodoluminiscencia (Mange & Maurer, 2012).

3.1.2.2. Microscopía Electrónica de Barrido de Emisión de Campo (FESEM)

El **microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM)** es un instrumento similar al microscopio electrónico de barrido convencional (SEM), capaz de proporcionar una amplia gama de información de la superficie de la muestra, pero con una resolución y un rango de energía superiores (Andara *et al.*, 2011). La diferencia clave entre un FESEM y un SEM convencional está en la forma en que se generan los electrones. En el FESEM, se utiliza un cañón de emisión de campo para generar haces de electrones altamente focalizados, con una amplia gama de energías. El FESEM ofrece una resolución espacial mejorada, junto con una mayor profundidad de campo que proporciona una apariencia más tridimensional a las imágenes y una resolución nanométrica (Ali *et al.*, 2023). Además, ayuda a minimizar las cargas sobre la muestra observada y reduce los daños en las muestras sensibles al haz electrónico (Harris *et al.*, 2007).

Los SEM convencionales pueden incluir un detector de rayos X dispersivo en energía (EDS, siglas en inglés) que posibilita la identificación de las energías de los rayos X emitidos por la muestra. Esto nos permite identificar los elementos químicos presentes en la muestra (Melgarejo i Draper *et al.*, 2010).

En el caso del estudio de los minerales, el FESEM resulta ser destructivo, debido a que es necesario extraer los cristales de la muestra para su observación. Este proceso se llevó a cabo minuciosamente bajo la lupa binocular y empleando unas pinzas de punta muy fina. Además, para identificarlos, son recubiertos por una capa de platino, oro o grafito (Ali *et al.*, 2023). De esta manera, se pierden las propiedades originales. Se emplea platino para que los electrones reboten y pueda visualizarse en el FESEM. Los cañones de emisión de campo precisan tener un ambiente frío ya que si la temperatura es elevada la técnica no funciona correctamente. Funciona con la aplicación de un campo eléctrico muy alto a una punta finamente puntiaguda, lo que resulta en proporcionar el haz más brillante con una desviación muy pequeña en la energía de los electrones (Ali *et al.*, 2023).

Se llevaron las muestras de tres minerales al Servicio de Microscopia y Análisis de Imagen, incluido como Servicio en el Área Científica y Técnica de Investigación (ACTI), situado en el edificio SACE. El equipo donde se ha trabajado es un FESEM modelo ApreoS de la casa Thermofisher (Brno, Czech Republic). Las muestras se montan sobre un pedestal de aluminio y se pegan con cinta conductora de carbono de doble cara. Las muestras llevan un recubrimiento de platino (5nm) hecho en la máquina de alto vacío *Leica EM ACE 600* (Ali *et al.*, 2023). Además, consta de un detector para microanálisis EDX de EDAX y el software MAPS incorporado.

3.1.3. Limpieza de minerales

En muchas ocasiones, los minerales que encontramos en el campo y los que vemos en los museos no tienen nada que ver. Una amplia mayoría están recubiertos por otros materiales, ya sean orgánicos (restos vegetales) o inorgánicos (óxidos o arcillas, entre otros). Para diversas colecciones, se tiende a limpiar los minerales para mostrar su mejor parte, y para ello se utilizan distintos métodos y técnicas para su limpieza. Cabe destacar, que no sólo se puede emplear un tipo de limpieza u otra, si no que suele ser complementarias.

Una parte negativa para realizar este proceso previo es que la bibliografía sobre ello es bien escasa. Por este motivo, mucha información extraída procede principalmente del documento “Apuntes sobre la Limpieza de Minerales” (Prado, 2004) y, de forma secundaria, foros sobre minerales donde aficionados y expertos dan sus opiniones, como el Foro de Mineralografía Formativa.

3.1.3.1 Limpieza mecánica

Las técnicas usadas para este procedimiento de índole mecánico son esencialmente una máquina de ultrasonidos, un cepillo de dientes y una grabadora con mango blando (*Dremel Engraver*®) (Anexo III). Otros materiales que se pueden utilizar para la limpieza mecánica son brochas, punzones, prensas, etc. Las cubetas de ultrasonido se fundamentan en micro vibraciones generadas por una fuente de ultrasonidos con diferentes frecuencias. Se sitúa en una cubeta la muestra y se sumerge en agua o en una solución con otros aditivos. Estas vibraciones de alta frecuencia facilitan la eliminación de partículas adheridas en la muestra (Prado, 2004). En el caso práctico de las muestras minerales de este trabajo, se utilizará esta técnica con agua y jabón.

3.1.3.2. Limpieza química

Si la limpieza mecánica no hay sido suficiente, se puede complementar con la química. Se incluye un amplio abanico de técnicas y métodos para limpiar minerales usando reactivos. Suele ser un proceso mucho más lento que el mecánico, llegando a abarcar rangos de minutos a horas, hasta días o semanas. Aun así, gracias a estos reactivos químicos se pueden llegar a mostrar resultados que con limpieza mecánica no se alcanzaría.

Para la limpieza química se utilizan sustancias como ácidos, bases o sales, incluso también materiales tensoactivos como jabón de manos o detergentes, y el disolvente universal, el agua. Algunos de estos productos se podrán adquirir de marcas comerciales, como el agua fuerte (ácido clorhídrico diluido al 24%) o productos tensoactivos (*“Limpia plata y metales en crema”*) (Anexo III). Otros reactivos son productos químicos de laboratorio, como el ácido acético.

Es importante conocer tanto el mineral que queremos mantener como el material que queremos eliminar. En muchas ocasiones se puede saber a simple vista, ya que estas cubiertas suelen ser óxidos, arcillas, cubiertas vegetales... A la hora de preparar las diluciones o disoluciones que eliminen lo que no queremos mantener, hay que tener en cuenta ciertas precauciones (Prado, 2004). Algunos de estos reactivos pueden, ya no sólo dañar nuestro mineral, sino también irritar la piel, producir quemaduras, inhalar gases tóxicos... Por ello, es significativo realizar esta limpieza bajo campana extractora de laboratorio, usar guantes, bata de laboratorio y gafas de seguridad.

3.2. Materiales: Catalogación y descripción muestras minerales estudiadas

A continuación, se desarrolla un listado de minerales de las once muestras seleccionadas para realizar una identificación práctica. Estas muestras se nombran de la siguiente manera: Muestra Mineral, y el número corresponde con cada ejemplar.



Figura 11a. Ubicaciones del sureste de la Península Ibérica de las muestras minerales empleadas.
Figura 11b. Ubicaciones de la Región de Murcia de las muestras minerales empleadas. Imágenes extraídas de Google Earth.

Se realizaron varias salidas de campo por algunas zonas de la Región de Murcia, concretamente por diversas ubicaciones de la zona de la Unión y Sierra de Ricote. En estas localizaciones se recogieron algunas de las muestras minerales, junto con el Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología de la Universidad de Murcia. El resto de ejemplares, que pertenecen a otras ubicaciones de Murcia (Pastrana, San Ginés de la Jara y Cehegín), Cuenca y Almería (Figura 11a y 11b, para una mejor visualización ver Anexo IV), fueron donaciones de excursiones anteriores del departamento.

En la Tabla 2 se encuentra la descripción y procedencia de las muestras minerales. En las Figuras 12 y 13 se muestran las imágenes de todas las muestras. Para una mejor visualización, ver Anexo V.

Tabla 2. Descripción de las muestras minerales y su procedencia.

Nº DE MUESTRA	PROCEDENCIA	DESCRIPCIÓN
MM1	Paraje minero Los Pajarillos, Sierra Minera de la Unión, Murcia.	Cristales piramidales recubiertos de una pátina de óxidos marrones.
MM2	Sierra de Ricote, Murcia.	Cristales prismáticos de color beige, en algunas zonas se puede apreciar una pátina de óxidos oscuros.
MM3	Sierra Minera de la Unión, Murcia.	Presenta hábito masivo y granular, recubierto de material ocre, dejando ver algunas zona de color oscuro y plateado brillante.
MM4	Paraje minero Los Pajarillos, Sierra Minera de la Unión, Murcia.	Se aprecian dos minerales a primera vista. Uno de color blanquecino y granular que recubre el mineral principal. Este otro mineral, presenta una forma de cristales prismáticos, recubiertos de una pátina negra, aunque en algunas zonas se puede apreciar este mismo mineral sin las pátinas, dejando ver zonas claras y translucidas.
MM5	La Pesquera, Cuenca.	Presenta hábito prismático, principalmente de color rojizo, aunque en algunas zonas se aprecia azul grisáceo. Aun así, el mineral está recubierto por un material rojo arcilloso.
MM6	San Ginés de la Jara, Murcia.	Cristales de hábito tabular, recubiertos por una pátina negra.
MM7	Sierra de Ricote, Murcia.	Cristales de hábito globular, de color verde blanquecino, recubierto por un material granular de color beige claro.
MM8	Pastrana, Murcia.	Presenta hábito columnar, de color blanquecino.
MM9	Mina Gilico, Cehegín, Murcia.	Presenta hábito granular. Se observa un color blanquecino en su mayoría, pero en otras zonas es de color grisáceo, en el que se puede apreciar minerales más pequeños de color dorado metálico.
MM10	La Unión, Murcia.	Cristales blancos agrupados en drusas pequeñas.
MM11	Benahadux, Almería.	Presenta hábito granular. Se observan varios colores, predomina un mineral rojizo o rosáceo, en otras zonas aparecen otros minerales de color verde azulado.

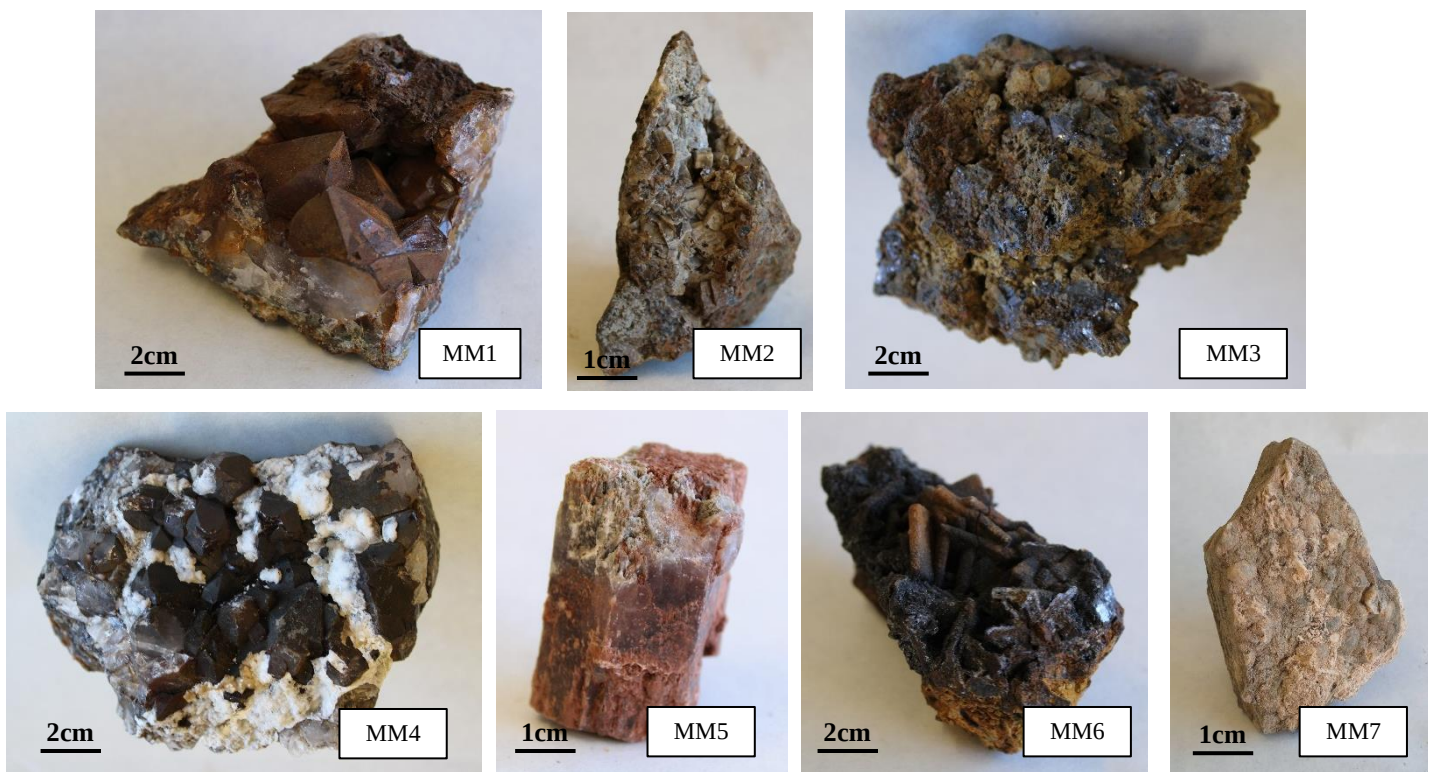


Figura 12. Muestras minerales de MM1 a MM7. Autoría propia.

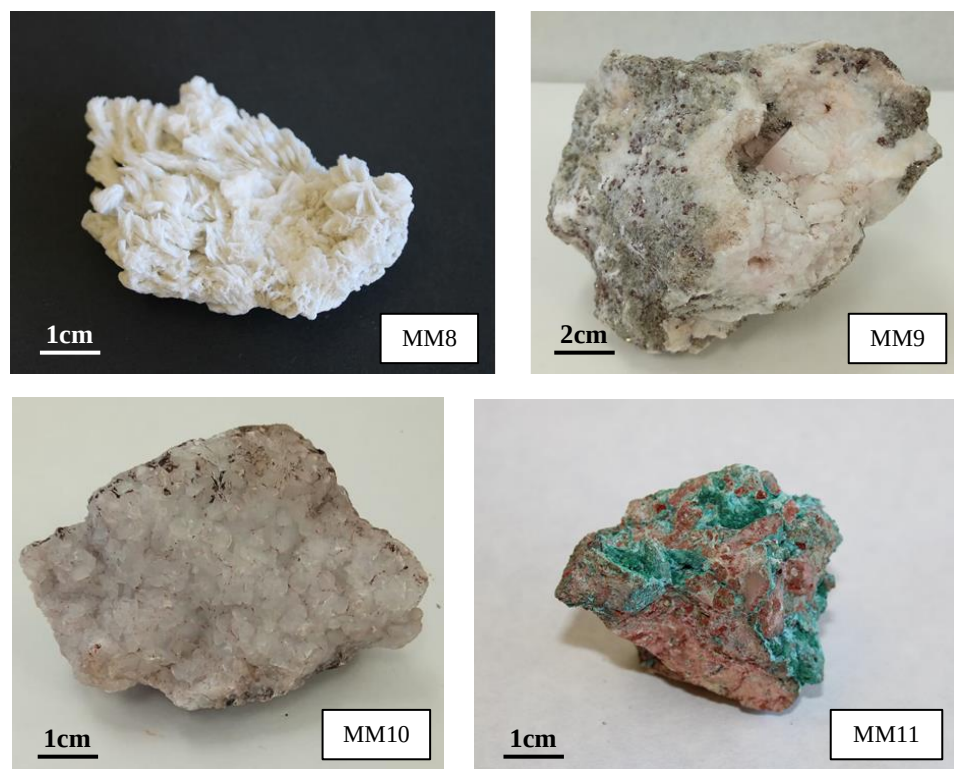


Figura 13. Muestras minerales de MM8 a MM11. Autoría propia.

4. Resultados y Discusión

4.1. Identificación muestras minerales

4.1.1. Identificación mediante VISU y propiedades físicas

De las once muestras estudiadas, la identificación de las muestras MM1 a la MM7 se pudo realizar estudiando sus propiedades físicas más características. En la Tabla 3 se recogen las pruebas que se realizaron a cada una de estas muestras y el mineral que finalmente se identifica. Una vez identificados los minerales, estas muestras se limpiaron mediante técnicas físicas y químicas. Las muestras minerales que se describen en esta categoría se ven reflejadas en la Tabla 3 y en la Figura 12.

Tabla 3. Identificación de minerales y descripción de pruebas por reconocimiento visual.

Nº DE MUESTRA	MINERAL	PRUEBA REALIZADA
MM1	Se trata de cuarzo recubierto por óxidos de hierro, de tonos pardos.	Se ha comprobado que se trata de este mineral tras una prueba rayando el mineral con otro cuarzo. Se realizó en las zonas que no estaban cubiertas de la pátina. Observación al microscopio petrográfico muestra fractura irregular y colores de interferencia en tonos grises (Gil-Crespo, 2009).
MM2	Se trata de dolomita.	Se ha comprobado que se trata de este mineral, realizando una prueba con gotas de HCl, efervesce ligeramente. Observación al microscopio petrográfico muestra exfoliación romboédrica y relieve alto (Gil-Crespo, 2009).
MM3	Se trata de galena.	Se ha comprobado que se trata de este mineral mediante VISU. Se observa un mineral opaco, gris plomo con brillo metálico (Calvo, 2003). Al estar formado mayoritariamente de plomo, se aprecia un peso considerable a pesar de ser una muestra pequeña.
MM4	El mineral principal se trata de cuarzos recubierto por óxidos de hierro, dándole esa tonalidad negruzca. Además lo acompaña calcita.	Se ha comprobado que se trata de este primer mineral, realizando una prueba rayando el mineral con otro cuarzo. Se realizó en las zonas que no estaban cubiertas de la pátina. Se utilizaron unas gotas de HCl para comprobar la calcita, efervesce ligeramente. Observación al microscopio petrográfico muestra fractura irregular y colores de interferencia en tonos grises (Gil-Crespo, 2009).
MM5	Se trata de aragonito con cubiertas arcillosas.	Se ha comprobado que se trata de este mineral mediante VISU. Se observa un mineral translúcido, de color rojizo con zonas lilas, y brillo vítreo-resinoso. Presenta un hábito prismático característico (Calvo, 2003).
MM6	Se trata de barita recubierto por óxidos de manganeso, de tonalidad negra.	Se ha comprobado que se trata de este mineral mediante VISU. Se observa un mineral opaco, de color blanquecino-beige, y brillo resinoso (Calvo, 2003). Presenta cristales con hábito tabular.
MM7	Se trata de prehnita.	Se ha comprobado que se trata de este mineral mediante VISU. Se observa que es un mineral translúcido, de color verde pastel, y brillo vítreo (Calvo, 2003). Presenta agregados esféricos sobre una roca matriz.

4.1.2. Identificación mediante Difracción de Rayos X (DRX)

La identificación de las muestras MM8 a MM11 no fue posible solo en base a propiedades físicas y su VISU, ya que existían varias posibilidades y resultaba difícil su clasificación sin ninguna duda. La técnica seleccionada para poder identificarlos fue la difracción de rayos X (DRX). Además, la muestra MM11 observada en lupa binocular (Figura 14a y 14b), mostraba la presencia de, al menos, tres fases minerales distintas, en forma de cristales muy pequeños, imposibles de identificar a simple vista. Las muestras minerales que se describen en esta categoría se ven reflejadas en la Tabla 4-5 y Figura 13.

Tabla 4. Identificación de minerales y descripción de pruebas por DRX.

Nº DE MUESTRA	MINERAL	PRUEBA REALIZADA
MM8	Se sospecha que pueda ser barita o calcita.	Para comprobarlo, se realiza un estudio mediante DRX.
MM9	Se sospecha que pueda ser calcita dolomita.	Para comprobarlo, se realiza un estudio mediante DRX.
MM10	Se sospecha que puede ser calcita o dolomita.	Para comprobarlo, se realiza un estudio mediante DRX.
MM11	Se sospecha que puedan ser los minerales reflejados en la Tabla 5.	Para comprobarlo, se realiza un estudio mediante DRX.

Tabla 5. Identificación de minerales y descripción de pruebas por reconocimiento visual.

Nº DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN MINERAL	SOSPECHAS
MM11a	Blanco-translúcido, tabular	Calcita, cerusita, hemimorfita, o smithsonita
MM11b	Verde, esférico	Conicalcita, duftita, o rosasita
MM11c	Azul, granular	Auricalcita, o crisocola

Para terminar de confirmar finalmente la identificación de MM11a, MM11b y MM11c, se les realiza un análisis por DRX, y FESEM, desarrollado en los siguientes apartados.

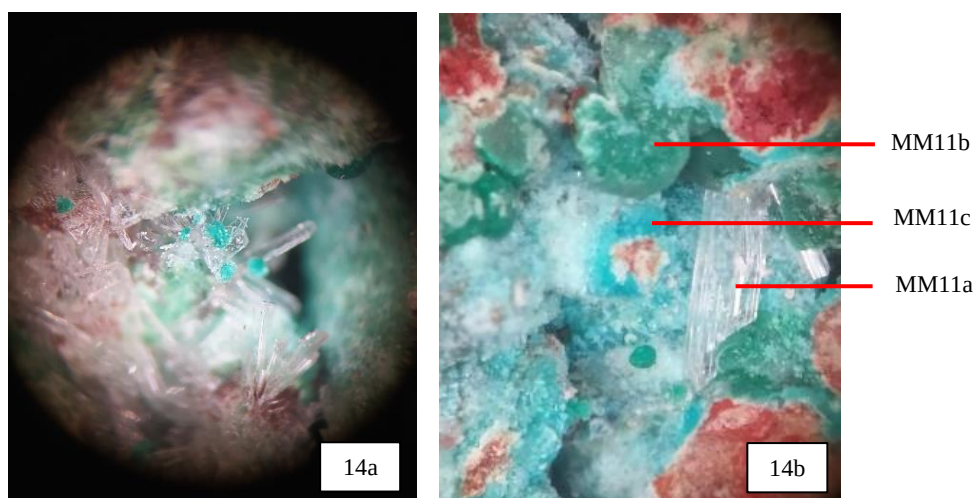


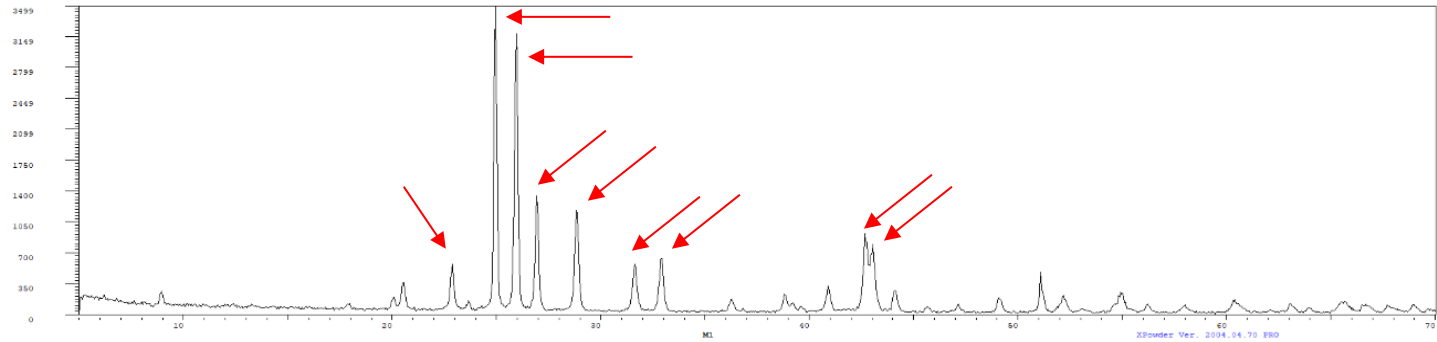
Figura 14a. MM11 visto a la lupa. Figura 14b. Detalle de MM1 visto a la lupa, a mayor aumento, las flechas rojas indican los minerales que se observan. Autoría propia.

La difracción de rayos X nos da la información de la muestra estudiada en forma de difractogramas, gráficos donde se representan los picos de cada mineral para los que se cumple la ley fundamental de la difracción o ley de Bragg. En el eje de ordenadas aparece la intensidad de los picos y en el eje de abscisas el valor del ángulo de Bragg. Los datos obtenidos se ven reflejados en las gráficas que se muestran a continuación. Para ver una mejor visualización de las mismas, ver en Anexo VI.

Los resultados obtenidos del DRX realizado para **MM8** se reflejan en la Gráfica 1. Como se puede observar, las flechas rojas señalan los picos característicos de mayor intensidad de la **barita**. Gracias a estos resultados se puede descartar que fuese calcita. En la Tabla 6, se observan los datos analíticos obtenidos comparados con los datos patrón de la barita, donde se aprecia la correlación del espaciado interplanar d (Anthony *et al.*, 2023).

Tabla 6. Comparación resultados barita MM8 con datos patrón (Anthony *et al.*, 2023).

BARITA (MM8)			BARITA PATRÓN		
d	2θ	I	d	2θ	I
3,86	22,90	(20)	3,90	22,77	(50)
3,43	24,93	(100)	3,45	25,79	(100)
3,57	25,94	(90)	3,32	26,82	(70)
3,30	26,90	(40)	3,10	28,76	(100)
3,09	28,80	(30)	2,84	31,46	(60)
2,83	31,61	(20)	2,73	32,76	(50)
2,71	32,92	(20)	2,12	42,59	(40)
2,11	42,74	(35)	2,11	42,81	(40)
2,10	43,04	(30)			

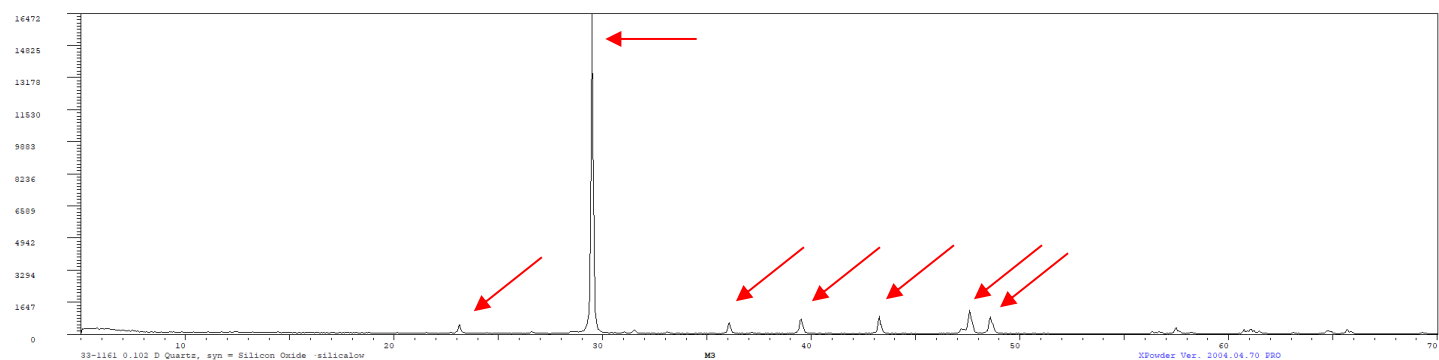


Gráfica 1. Difractograma con los resultados DRX de MM8.

Los resultados obtenidos del DRX realizado de **MM9** se reflejan en la Gráfica 2. Como se puede observar, las flechas rojas que se señalan corresponden con los picos característicos de **calcita**. En la Tabla 7, se observan los datos analíticos obtenidos comparados con los datos patrón de la calcita, donde se aprecia la correlación del espaciado interplanar d (Anthony *et al.*, 2023).

Tabla 7. Comparación resultados calcita MM9 con datos patrón (Anthony *et al.*, 2023).

CALCITA (MM9)			CALCITA PATRÓN		
d	2θ	I	d	2θ	I
3,83	23,15	(5)	3,860	23,01	(12)
3,03	29,48	(100)	3,035	29,39	(100)
2,49	36,05	(2)	2,285	39,38	(18)
2,28	39,50	(5)	2,495	35,95	(14)
2,09	43,23	(5)	2,095	43,12	(18)
1,91	47,59	(5)	1,913	47,47	(17)
1,87	48,68	(5)	1,875	48,49	(17)

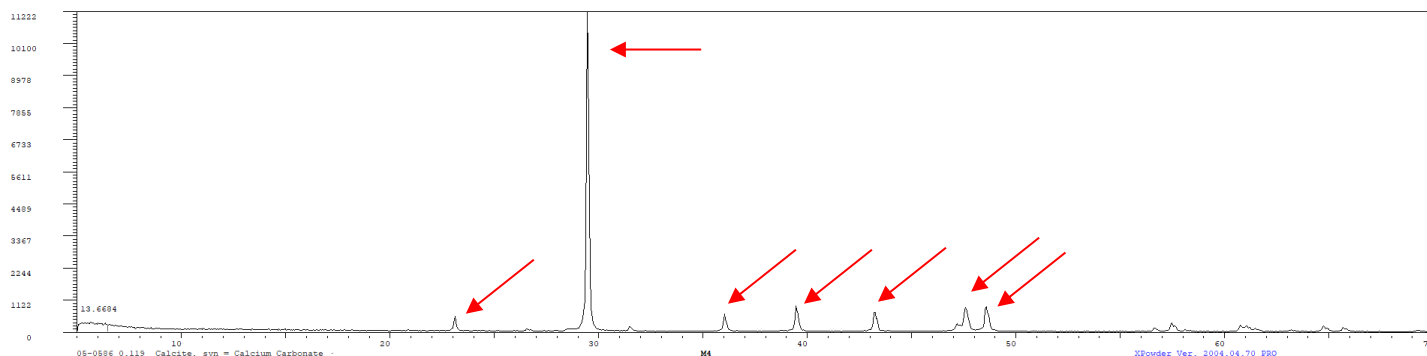


Gráfica 2. Difractograma con los resultados DRX de MM9.

Los resultados obtenidos del DRX realizado de **MM10** se reflejan en la Gráfica 3. Como se puede observar, las flechas rojas que se señalan corresponden con los picos característicos de **calcita**. Gracias a estos resultados se descartó que fuese dolomita. En la Tabla 8, se observan los datos analíticos obtenidos comparados con los datos patrón de la calcita, donde se aprecia la correlación del espaciado interplanar d (Anthony *et al.*, 2023).

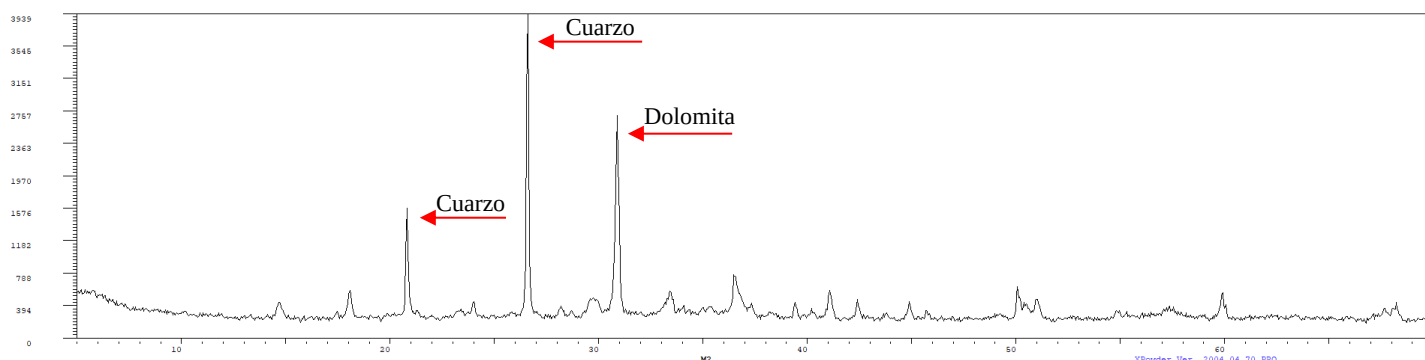
Tabla 8. Comparación resultados calcita MM10 con datos patrón (Anthony *et al.*, 2023).

CALCITA (MM10)			CALCITA PATRÓN		
d	2θ	I	d	2θ	I
3,83	23,15	(5)	3,860	23,01	(12)
3,03	29,48	(100)	3,035	29,39	(100)
2,49	36,05	(2)	2,285	39,38	(18)
2,28	39,50	(5)	2,495	35,95	(14)
2,09	43,23	(5)	2,095	43,12	(18)
1,91	47,59	(5)	1,913	47,47	(17)
1,87	48,68	(5)	1,875	48,49	(17)



Gráfica 3. Difractograma con los resultados DRX de MM10.

Los resultados obtenidos del DRX realizado de **MM11** se reflejan en la Gráfica 4. Las flechas rojas que se señalan son típicas de cuarzo y dolomita. Además, el análisis cuantitativo, nos da una composición de 30% cuarzo y 70% dolomita. Como no son los resultados de los minerales esperados, se concluye que se deben a los minerales de la roca matriz. Sin embargo, de los minerales verdes no se obtuvieron datos significativos. Para identificar finalmente estos cristales se comprueba con FESEM.



Gráfica 4. Difractograma con los resultados DRX de MM11.

4.1.3. Identificación mediante Microscopía Electrónica de Barrido Emisión de Campo (FESEM)

Puesto que los resultados de difracción de rayos X de MM11 no fueron concluyentes, se realizó un análisis mediante FESEM complementario usando para ello, un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) *APREO-S*, con microanálisis por EDX. Las muestras se prepararon manualmente seleccionando los cristales bajo la lupa binocular *Olympus SZX16* y fueron recubiertas con platino. Se obtuvieron imágenes tridimensionales y datos que se analizan a continuación.

Para una mejor visualización y apreciación de datos complementarios, ver Anexo VII.

Según los resultados obtenidos para **MM11a** (Figura 15 y Gráfica 5), vemos que los elementos que nos aparecen mayoritariamente son oxígeno (O), silicio (Si) y zinc (Zn), cuyos valores de $K\alpha$ se ven reflejados en la Tabla 9. Comprobando las fórmulas químicas de los minerales que sospechábamos, concluimos que se trata de **hemimorfita** ($\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Este mineral pertenece a la clase de los silicatos, concretamente de los sorosilicatos (Calvo, 2003). La hemimorfita es un mineral transparente, incoloro o blanco, brillo vítreo, y con hábito tabular. Presenta una exfoliación perfecta y fractura desigual (Klein & Hurlburt, 1996).

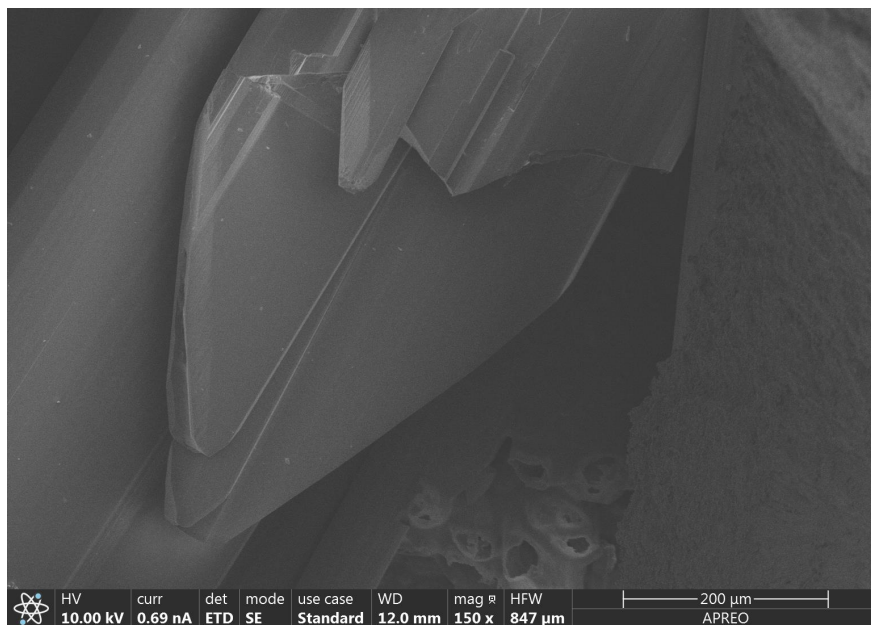
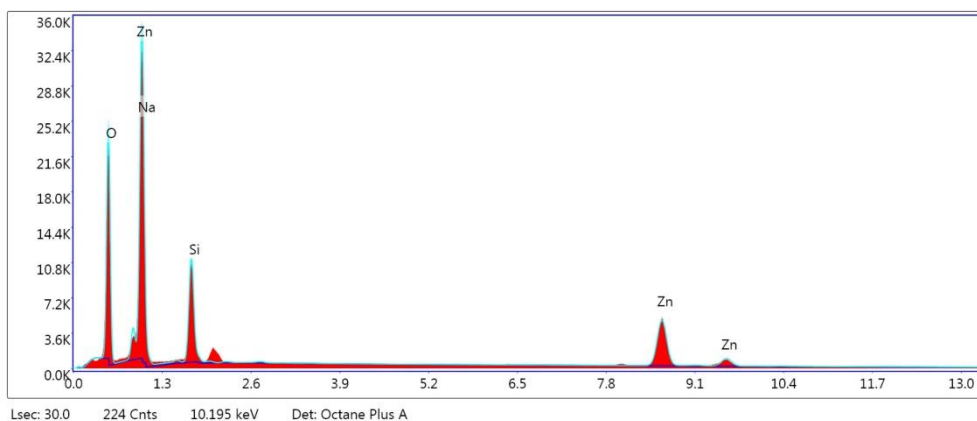


Figura 15. Hemimorfita (MM11a) vista por el FESEM. Imagen FESEM.



Gráfica 5. Resultados análisis FESEM de MM11a.

Tabla 9. Valores de $K\alpha$ de los elementos que aparecen en MM11a.

MM11a	
Oxígeno (O)	$K\alpha$ 0,525
Silicio (Si)	$K\alpha$ 1,739
Zinc (Zn)	$K\alpha$ 1,012

Según los resultados obtenidos para **MM11b** (Figura 16 y Gráfica 6), vemos que los elementos que nos aparecen mayoritariamente son oxígeno (O), cobre (Cu), y zinc (Zn), cuyos valores de $K\alpha$ y $L\alpha$ se ven reflejados en la Tabla 10. Comprobando las fórmulas químicas de los minerales que sospechábamos, concluimos que se trata de **rosasita** $((\text{Cu,Zn})_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2)$. Este mineral pertenece a la clase de los carbonatos (Calvo, 2003). La rosasita es un mineral translúcido, de color azul verdoso, brillo vítreo-sedoso, y con hábito esferulítico radiado (Klein & Hurlburt, 1996).

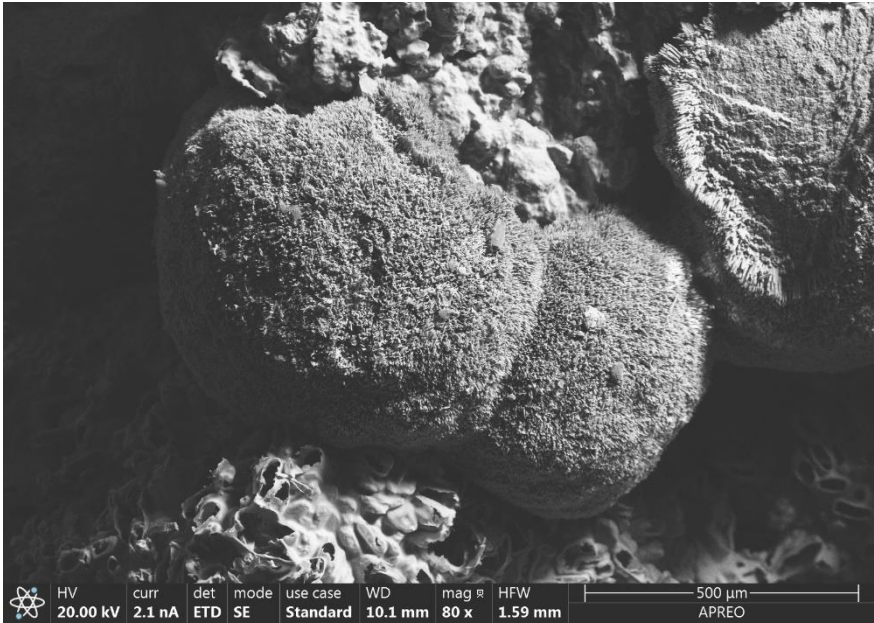
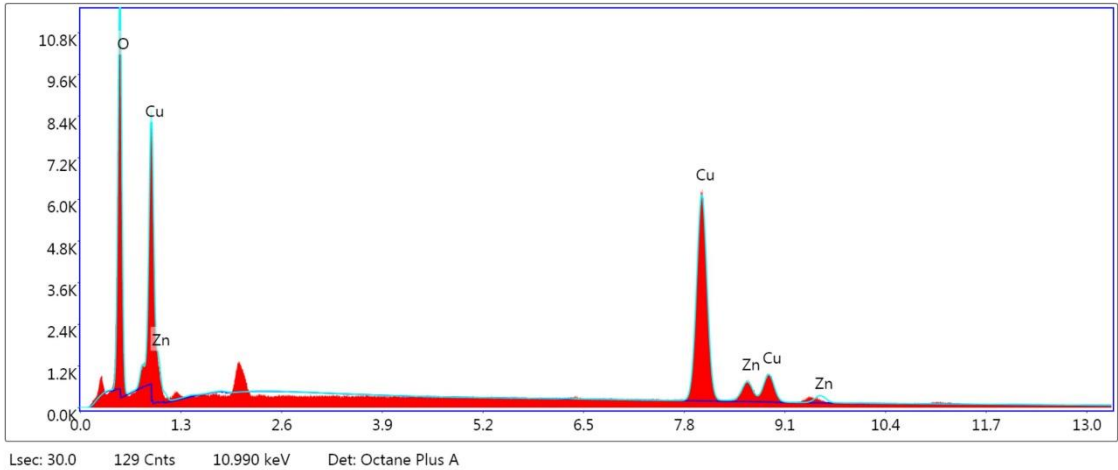


Figura 16. Rosasita (MM11b) vista por el FESEM. Imagen FESEM.



Gráfica 6. Resultados análisis FESEM de MM11b.

Tabla 10. Valores de $K\alpha$ de los elementos que aparecen en MM11b.

MM11b	
Oxígeno (O)	$K\alpha$ 0,525
Cobre (Cu)	$K\alpha$ 8,040 $L\alpha$ 0,930
Zinc (Zn)	$K\alpha$ 1,012

Según los resultados obtenidos para **MM11c** (Figura 17 y Gráfica 7), vemos que los elementos que nos aparecen mayoritariamente son oxígeno (O), aluminio (Al), silicio (Si), hierro (Fe), cobre (Cu), y zinc (Zn), cuyos valores de $K\alpha$ se ven reflejados en la Tabla 11. Comprobando las fórmulas químicas de los minerales que sospechábamos, concluimos que se trata de **crisocola** $((\text{Cu},\text{Al})_4\text{H}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}\cdot n\text{H}_2\text{O})$). Este mineral pertenece a la clase de los silicatos, concretamente de los filosilicatos (Calvo, 2003). La crisocola es un mineral traslúcido casi opaco, de color azul, brillo vítreo, y con hábito masivo (Klein & Hurlburt, 1996).

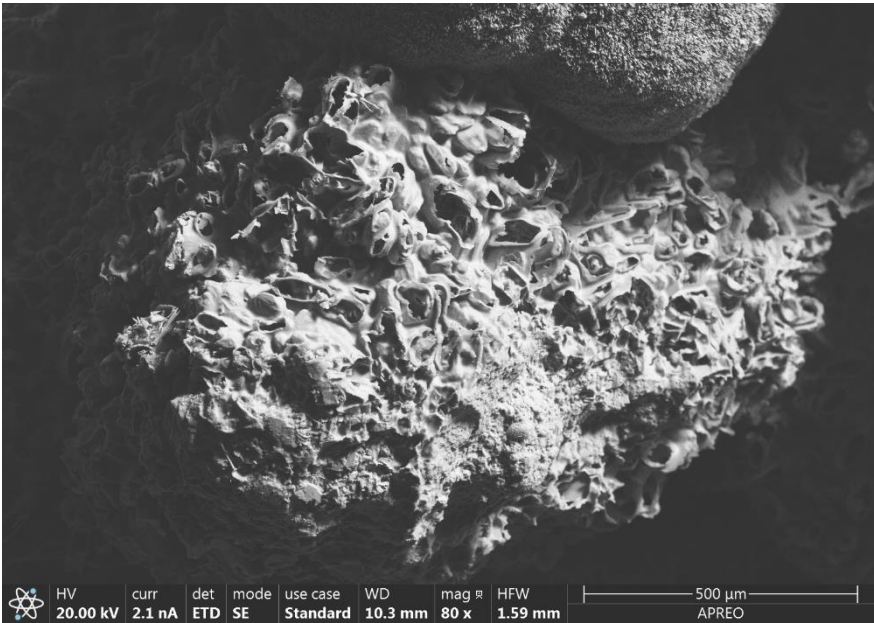
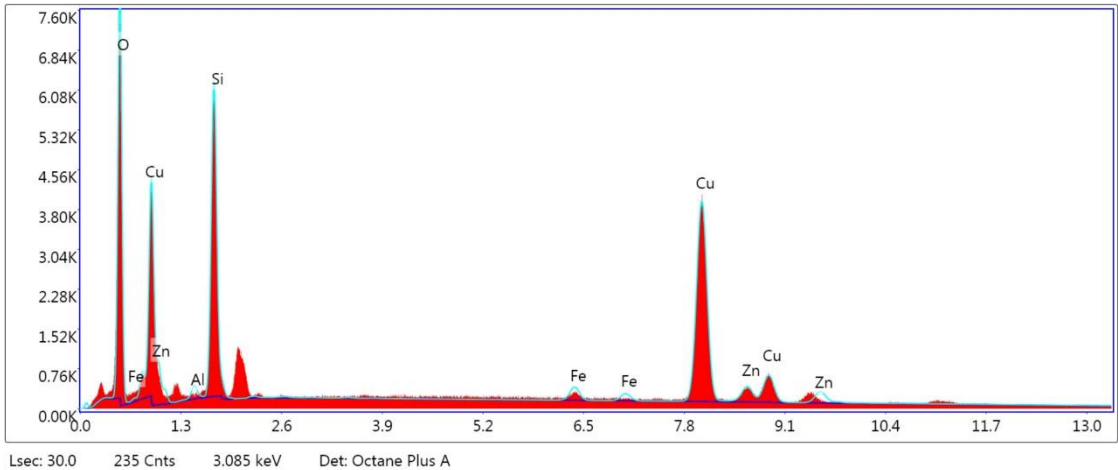


Figura 17. Crisocola (MM11c) vista por el FESEM. Imagen FESEM.



Gráfica 7. Resultados análisis FESEM de MM11c.

Tabla 11. Valores de $K\alpha$ de los elementos que aparecen en MM11c.

MM11c			
Oxígeno (O)	$K\alpha$ 0,525	Aluminio (Al)	$K\alpha$ 1,486
Cobre (Cu)	$K\alpha$ 8,040 $L\alpha$ 0,930	Hierro (Fe)	$K\alpha$ 6,398 $L\alpha$ 0,705
Zinc (Zn)	$K\alpha$ 1,012	Silicio (Si)	$K\alpha$ 1,739

4.1.4. Situación geológica y geográfica

Explicado anteriormente, entender el contexto geológico de una área contribuye a una comprensión más profunda de la historia geológica y la geodiversidad del territorio. Asimismo, las muestras de este trabajo pertenecen en su mayoría a la Región de Murcia. Esta región tiene una gran riqueza mineralógica y geológica (Anexo XIV).

El **cuarzo** es un silicato muy común en la región. Se puede encontrar como mineral fundamental y accesorio en una gran diversidad de rocas ígneas y metamórficas. Al ser un mineral hidrotermal, es habitual hallarlo en fracturas de ofitas y metabasitas. La **galena** es un sulfuro que se suelen encontrar en zonas de explotación mineras, es lógico encontrar en la zona de la Unión, sobre todo en los yacimientos mineros. También se puede hallar junto con rocas metamórficas y sedimentarias, además de fracturas hidrotermales, en los que están asociados con algunos minerales como cuarzo y barita. La **dolomita** es un carbonato que suele hallar en filones hidrotermales; asociados a galena, pirita, y barita, entre otros; y es habitual encontrarlos en ambientes sedimentarios. Este mineral puede dar lugar a dolomías y mármoles dolomíticos. La **barita** es un sulfato que se puede encontrar en filones hidrotermales. Es habitual encontrarlo en explotaciones mineras, como La Unión o San Ginés de la Jara. La **prehnita** es otro silicato que puede encontrarse en rocas metamórficas. Al ser un mineral hidrotermal, es habitual hallarlo en fracturas de ofitas y metabasitas (*Minerales - Región de Murcia Digital*).

4.2. Limpieza muestras minerales

4.2.1. Cuarzo con óxidos de hierro (MM1)

Para la limpieza del cuarzo con óxidos de hierro MM1 se utilizó ditionito sódico ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$). Esta sal es soluble en agua, pero hay que tener cuidado y realizarlo en campana, puesto que se descompone en ácidos sulfurosos; además desprende un olor bastante desagradable y si se humedece puede inflamarse (Prado, 2004). Importante que el agua utilizada sea agua destilada, no agua corriente del grifo.

Se preparó una disolución en un vaso de precipitado de plástico, pesando previamente la sal, y añadiendo agua destilada en la campana extractora. Antes de sumergir el mineral en esta solución, se disolvió la sal en agua destilada mezclando con una varilla de cristal. En la Tabla 12 se ven reflejadas las cantidades y cambios en el mineral.

Tabla 12. Cantidad en gramos de ditionito sódico, y observaciones del mineral.

CANTIDAD $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	OBSERVACIONES
15g	No se observan cambios aparentemente.
20g	No se observan cambios aparentemente.
30g	La pátina de óxidos que recubría el cuarzo antes opacos y de color terroso, después de añadir 30g parece que los cristales centrales presenta algo más de transparencia. Otros cristales de la periferia parecen más blanquecinos, sin cubierta de óxidos.

Tabla 12. Cantidad en gramos de ditionito sódico, y observaciones del mineral.

35g	Los cristales se transparentan cada vez más, pero siguen teniendo color terroso. Los cristales de la periferia están cada vez más blancos y transparentes.
40g	No se aprecian cambios más allá de un ligero aumento de transparencia en los cristales.
50g	No se aprecian cambios más allá de un ligero aumento de transparencia en los cristales.
70g	No se aprecian cambios más allá de un ligero aumento de transparencia en los cristales.
85g	No se aprecian cambios más allá de un ligero aumento de transparencia en los cristales.

Después de varios días realizando este proceso, cambiando la solución cada vez que se añadía nueva cantidad de ditionito sódico, se apreciaba mayor transparencia de los cristales de cuarzo. Sin embargo, los cristales de mayor tamaño centrales seguían manteniendo un color marrón. De esta manera, se concluye que en la muestra hay **cristales de cuarzo** (los que son blanquecinos y transparentes) y **cuarzo ahumado** (los que son transparentes pero con colores terrosos). Ver ejemplar original sin limpiar y resultado final en Figura 18a y 18b; para una mejor visualización de todo el proceso, ver Anexo VIII.

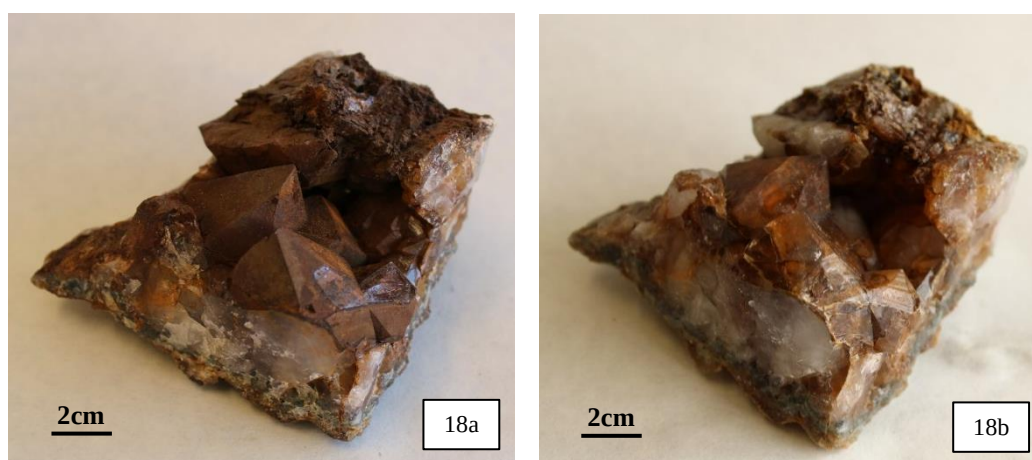


Figura 18a y 18b. Antes y después de la limpieza de cuarzo con óxidos de hierro (MM1). Autoría propia.

4.2.2. Dolomita (MM2)

Para la limpieza de la dolomita MM2 se comenzó a lavarlo con agua y jabón en la máquina de ultrasonidos. Se puso a máxima potencia, a 0°C de temperatura, realizando intervalos de 10 minutos. Cada vez que transcurrían 10 minutos, se cambiaba el agua de la cubeta, desechando materiales que se habían desprendido de la muestra. Se realizó este proceso dos veces, 20 minutos en total, y no se vieron cambios superficiales.

Se procedió a lavar la superficie con agua fuerte (HCl diluido al 24%, producto comercial) y frotando con cuidado haciendo uso de un cepillo. Se realizaron las diluciones que se ven en la Tabla 13.

Tabla 13. Cantidad en mililitros de agua fuerte y agua, y observaciones del mineral.

DILUCIÓN	CANTIDAD	Nº VECES
A _{DOL}	20mL agua fuerte + 30mL agua (50mL total)	2 veces
B _{DOL}	20mL agua fuerte + 10mL agua (30mL total)	1 vez
C _{DOL}	30mL agua fuerte	1 vez

En la dilución A_{DOL} no se apreció ningún tipo de burbujeo. En la dilución B_{DOL} se apreció una ligera efervescencia. En la dilución C_{DOL}, efervesció algo más que en la anterior dilución. El burbujeo resultante fue de color amarillento. Se eliminó parte de la costra beige que lo recubría, además los cristales cúbicos no se dañaron. En algunos cristales se observaban pátinas de óxidos, que al cepillar se eliminaron. Una vez seca la muestra, apareció una costra blanquecina.

Para tratar de eliminar esta nueva recubierta, se repitió el proceso de ultrasonido. Se realizó un ciclo de 10 minutos, en el que después de enjuagar y secar, se pudo observar que había menor cantidad de la costra blanquecina. Finalmente, se da por concluida la limpieza de la **dolomita**. Ver ejemplar original sin limpiar y resultado final en Figura 19a y 19b; para una mejor visualización de todo el proceso, ver Anexo IX.

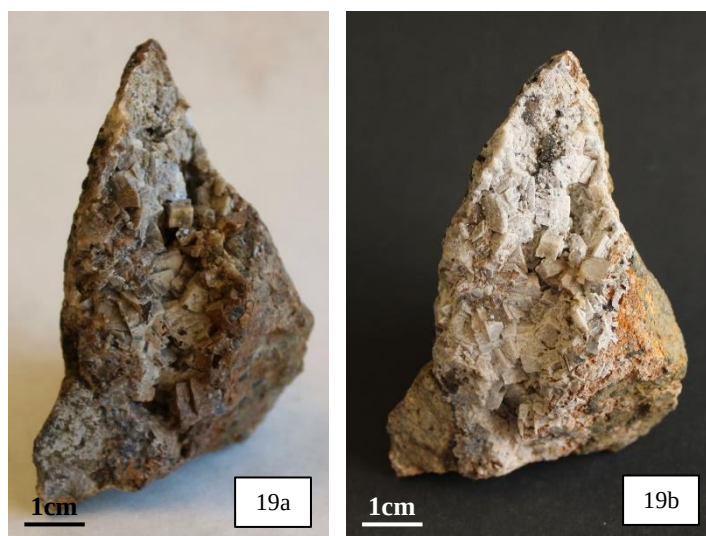


Figura 19a y 19b. Antes y después de la limpieza de dolomita (MM2). Autoría propia.

4.2.3. Galena (MM3)

Se empleó ácido acético glacial (CH₃COOH) para la limpieza de la galena MM3. Se realizó el siguiente procedimiento reflejado en la Tabla 14. Al derramar estas diluciones en la muestra, se frotó con un cepillo. Cabe destacar que todo este proceso de cepillado y diluciones se realizó en campana, ya que se desprendían olores muy fuertes.

Tabla 14. Cantidad en mililitros de ácido acético y agua, y observaciones del mineral.

DILUCIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
A _{GAL}	10mL ac. acético + 40mL agua (50mL total)	Burbujea levemente al frotar.
B _{GAL}	50mL ac. acético	No burbujea al frotar.

Después de las diluciones A_{GAL} y B_{GAL}, al no verse cambios se sumergió la galena en ácido acético durante 20 minutos. Pasado este tiempo y cepillando a conciencia, se pudo abrillantar algunos cristales. Se volvió a sumergir una segunda vez en este ácido, y posteriormente se lavó con agua y se dejó secar al aire.

Haciendo uso del producto “*Limpia plata y metales en crema*”, se le dio brillo con un cepillo a los cristales metálicos de galena. Al salir mucha espuma, de vez en cuando se enjuagó bajo el agua. Después de un cepillado asiduo y tiempo después, se podía apreciar más brillo en las zonas cepilladas. Hay que tener cuidado si se realiza este procedimiento con cepillo, ya que con la fuerza se pueden desprender cristales. Finalmente, se da por concluida la limpieza de la **galena**. Ver ejemplar original sin limpiar y resultado final en Figura 20a y 20b; para una mejor visualización de todo el proceso, ver Anexo X.

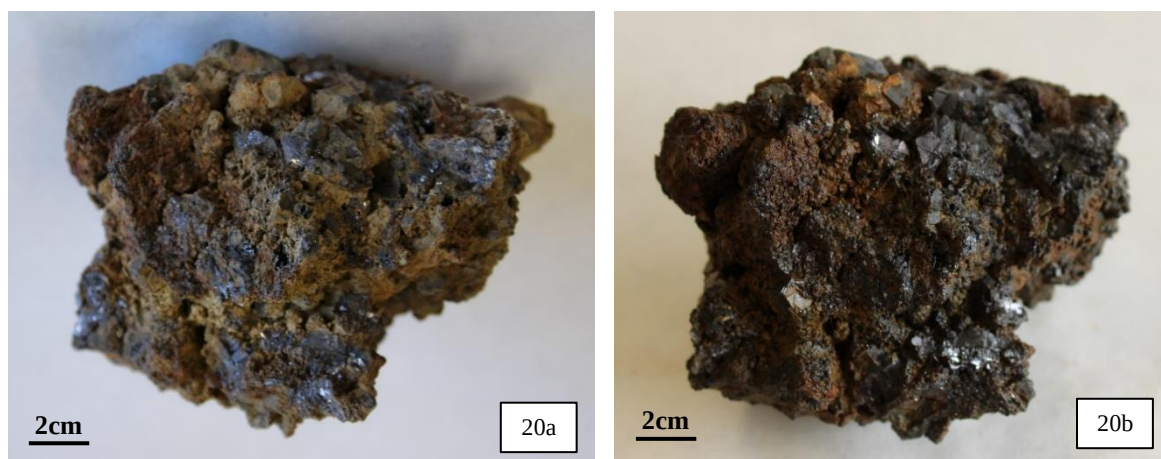


Figura 20a y 20b. Antes y después de la limpieza de galena (MM3). Autoría propia.

4.2.4. Cuarzo con óxidos de hierro (MM4)

Para la limpieza del cuarzo con óxidos de hierro MM4, fue utilizado agua fuerte comercial (HCl diluido al 24%). En un bol transparente se añadió agua fuerte hasta cubrir casi por completo los cristales de la muestra. Hay que llevar precaución en este proceso y realizarlo bajo campana, ya que se pueden desprender gases tóxicos como el cloro gaseoso. Desde el primer instante que se derrama agua fuerte sobre la muestra, burbujea con fuerza. Se dejó sumergido durante unas horas. En el primer cambio de líquidos, la calcita que acompañaba al cuarzo se disolvió por completo.

Se realizó este proceso de sumergir el mineral y lavarlo con agua corriente unas 10 veces a lo largo de varios días. Conforme pasaba este tiempo, se apreciaban cambios notorios. Las pátinas de los óxidos de hierro se iban disolviendo poco a poco, dejando a relucir los cristales blanquecinos del cuarzo subyacente. También se introdujo en la cubeta de ultrasonido en dos ocasiones (con intervalos de 10 minutos, en agua y jabón) para que se desprendiesen materiales que estaban casi despegados de la superficie del cristal.

Transcurridos varios días, los óxidos se habían disueltos casi por completo, excepto en algunos cristales. Se optó por sumergirlos en lejía durante unas horas, ya que los materiales que todavía estaban cubriendo el cuarzo eran de color ocre – amarillentos. Posteriormente, se enjuagó y secó al aire, pero algunas de estas pátinas ocre seguían presentes. Ni el agua fuerte ni la lejía iban a hacer más reacción con esta costra. Para esta ocasión, se empleó una grabadora con mango blando (*Dremel Engraver*®), rascando así la superficie para eliminar esta costra ocre, teniendo cuidado de no rayar el cuarzo. Resultó muy efectivo en las zonas en las que más estaba presente esta pátina, aunque en algunas grietas se puede seguir apreciando. Finalmente, se da por concluida la limpieza del **cuarzo**. Ver ejemplar original sin limpiar y resultado final en Figura 21a y 21b; para una mejor visualización de todo el proceso, ver Anexo XI.

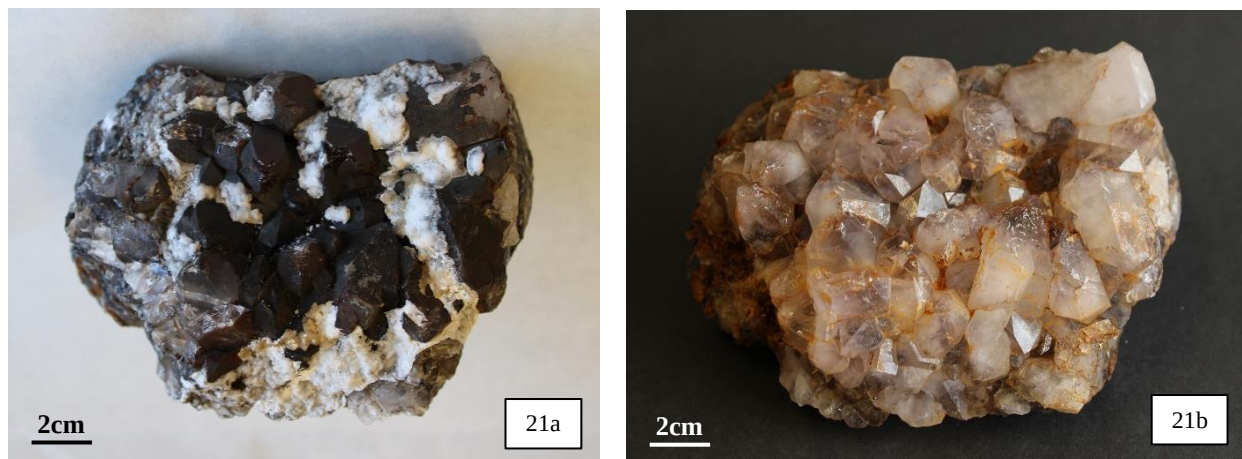


Figura 21a y 21b. Antes y después de la limpieza de cuarzo (MM4). Autoría propia.

4.2.5. Aragonito con cubiertas arcillosas (MM5)

Para eliminar las cubiertas de origen arcilloso del aragonito MM5 se comenzó el lavado con agua y jabón en la máquina de ultrasonidos. Se puso a máxima potencia, a temperatura 0°C (no tocamos el conmutador/selector), realizando intervalos de 10 minutos. Cada vez que transcurrían 10 minutos, se cambiaba el agua de la cubeta, desechando materiales que se habían desprendido de la muestra. Se realizó este proceso cinco veces, 50 minutos en total. Los materiales arcillosos se desprendieron por completo, sin dañar los cristales del aragonito. Finalmente, se da por concluida la limpieza del **aragonito**. Ver ejemplar original sin limpiar y resultado final en Figura 22a y 22b.

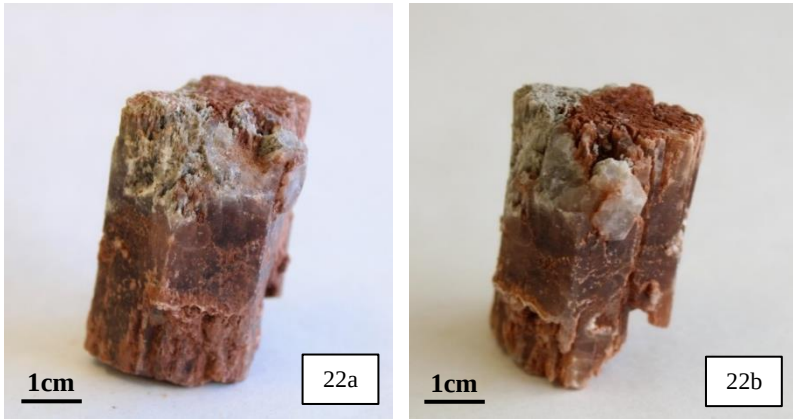


Figura 22a y 22b. Antes y después de la limpieza de aragonito (MM5). Autoría propia.

4.2.6. Barita con óxidos de manganeso (MM6)

Para la limpieza de la barita con óxidos de manganeso MM6, fue utilizado agua fuerte comercial (HCl diluido al 24%). En un bol transparente se añadió agua fuerte hasta cubrir casi por completo los cristales de la muestra. Es necesario seguir las mismas precauciones que se siguieron con la limpieza del cuarzo MM4.

Desde el primer lavado con agua fuerte, los cristales negros se tornaron de colores ocres, haciendo aparición de cristales blanquecinos en otras zonas de la muestra. Tras varios lavados con agua fuerte durante varios días, los cristales empezaron a amarillear. Entonces se hizo uso de la lejía para blanquear el mineral, las cantidades se ven reflejadas en la Tabla 15.

Tabla 15. Cantidad en mililitros de lejía, y número de veces.

DILUCIÓN	CANTIDAD	Nº VECES
A _{BAR}	500mL agua + 30mL lejía (530mL total)	1 vez
B _{BAR}	500mL lejía	1 vez

En la dilución A_{BAR} dio se blanqueó de manera positiva la muestra. Se realizó la dilución B_{BAR} para eliminar los últimos amarillos que manchaban la muestra. Cabe destacar que en ambos tratamientos con lejía, posteriormente la muestra fue lavada con abundante agua. Finalmente, se da por concluida la limpieza de la **barita**. Ver ejemplar original sin limpiar y resultado final en Figura 23a y 23b; para una mejor visualización de todo el proceso, ver Anexo XII.

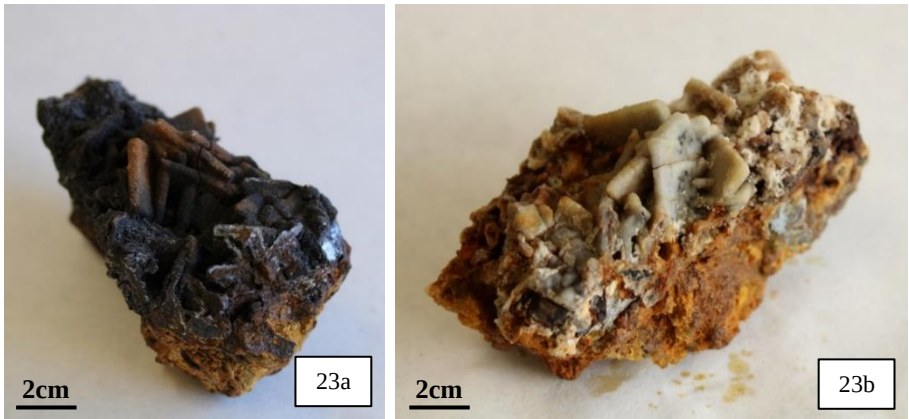


Figura 23a y 23b. Antes y después de la limpieza de barita (MM6). Autoría propia.

4.2.7. Prehnita (MM7)

El proceso de limpieza de la prehnita MM7 fue similar a la del aragonito. Se comenzó el lavado con agua y jabón en la máquina de ultrasonidos. Se puso a máxima potencia, a temperatura 0°C (no tocamos el conmutador/selector), realizando intervalos de 10 minutos. Cada vez que transcurrían 10 minutos, se cambiaba el agua de la cubeta, desechando materiales que se habían desprendido de la muestra. Se realizó este proceso siete veces, sin embargo en dos ocasiones se utilizó durante 15 minutos. No es recomendable más de 10 minutos, debido a que a mayor tiempo de exposición el líquido de la cubeta se calentaba ligeramente, y esto podría causar daños en la muestra. En total estuvo unos 80 minutos.

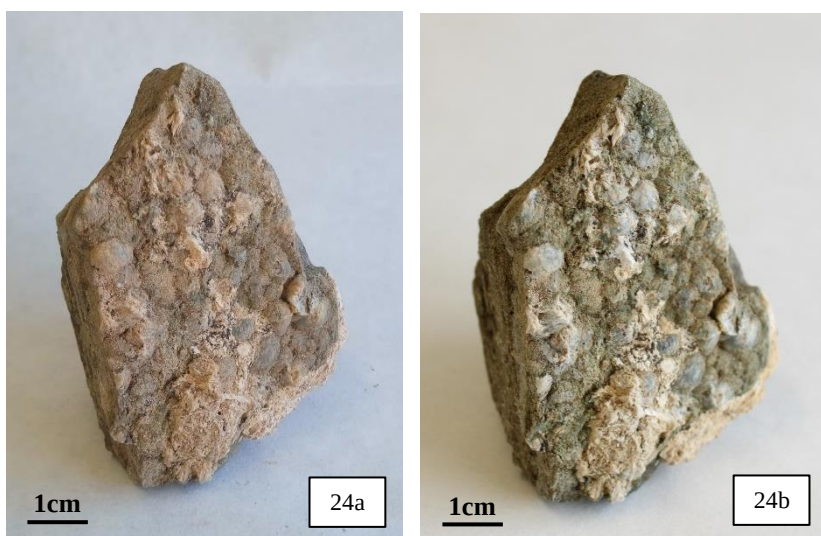


Figura 24a y 24b. Antes y después de la limpieza de prehnita (MM7). Autoría propia.

En el transcurso de este proceso se apreciaban cambios. La cubierta de color beige ya no estaba tan presente, y los cristales globulares de la prehnita se hacían más de notar además de que se apreciaban aún mejor su color verde blanquecino. Finalmente, se da por concluida la limpieza de la **prehnita**. Ver ejemplar original sin limpiar y resultado final en Figura 24a y 24b; para una mejor visualización de todo el proceso, ver Anexo XIII.

5. Conclusiones

La creación y gestión de un museo de Ciencias Naturales involucra un exhaustivo proceso de investigación llevado a cabo por expertos en el campo. Esta labor incluye la identificación, clasificación y preservación adecuada de las muestras minerales, tal como se ha demostrado en el presente trabajo. El protocolo creado y seguido ha sido el siguiente: identificación de las muestras, mediante técnicas destructivas y no destructivas; y de la selección de algunas de ellas, su respectivo proceso de limpieza mecánica y química. Todo esto, haciendo más sencillo el proceso de museología para elaborar el etiquetado correspondiente y su posterior exposición.

Es fundamental considerar el empleo de técnicas destructivas en la identificación y análisis de minerales, como la difracción de rayos X (DRX) y la microscopía electrónica de

barrido (FESEM). Aunque estas metodologías puedan causar cierto deterioro en las muestras, los cambios resultantes no han mostrado ser significativos ni perjudiciales para su futura exhibición.

No obstante, se evidencia la necesidad de contar con una mayor cantidad de información bibliográfica acerca de los procedimientos de limpieza de minerales para su exhibición en museos. Se sugiere fomentar investigaciones científicas más rigurosas en este ámbito, con el propósito de mejorar las prácticas de conservación y exhibición en los museos de Ciencias Naturales.

6. Bibliografía

- Abad, I., & Velilla, N. (2018). ¿De qué está hecho este material? Una introducción al uso e interpretación de las técnicas básicas de caracterización de los minerales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 26(3), 66pp.
- Ali, A., Chiang, Y. W., & Santos, R. M. (2022). X-Ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*, 12, 205pp. <https://doi.org/10.3390/min12020205>
- Ali, A., Zhang, N., & Santos, R. M. (2023). Mineral Characterization Using Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review of the Fundamentals, Advancements, and Research Directions. *Applied Sciences*, 13(23), 33pp. <https://doi.org/10.3390/app132312600>
- Andara, M., Conde, M., Gómez, G., & Romero, J. R. R. (2011). Uso De La Técnica De Microscopía Electrónica De Barrido Como Herramienta Para El Estudio De Liberación De Minerales. *Acta Microscopica*, 20(1), 71-77.
- Anthony, J., Bideaux, R., Bladh, K., & Nichols, M. (2023). *Handbook of Mineralogy* (Mineralogical Society of America, Chantilly). Acceso 8 de mayo de 2024, de <http://www.handbookofmineralogy.org/>
- Benavente, D., Martínez-Martínez, J., Pla, C., Cuevas-González, J., Muñoz-Cervera, M. C., Cañaveras, J. C., & Ordoñez, S. (2016). *Métodos y técnicas de análisis de materiales geológicos: Materiales docentes en el grado en Geología*, 2148-2164.
- Benavente, D., Blanco Quintero, I. F., Cañaveras Jiménez, J. C., Guardiola Bartolomé, J. V., Muñoz-Cervera, M. C., & Rodríguez García, M. Á. (2020). *Propiedades. Minerales de Visu—UA*. Acceso 28 de febrero de 2024, de <https://web.ua.es/es/lpa/minerales-visu/propiedades/propiedades.html>
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. G., & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications: Critical Reviews in Analytical Chemistry. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 288-299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Calvo, M. (2003). Minerales y Minas de España (Vols. 1-9). *Kultura, Gazteria eta Kirol Saila, Arabako Foru Aldundia*. ISBN 978-84-95063-96-0.

- Dyar, M., Gunter, M., & Tasa, D. (2008). Mineralogy and Optical Mineralogy. *Mineralogical Society of America*. ISBN 978-1-946850-02-7, 708pp.
- Ferragut, E., Galimany, E., Párraga, M., & Ferial Alba. (2015). Una museografía para la didáctica. La exposición «Planeta Vida». *Revista de museología*, 64, 82-97.
- Gil-Crespo, P. P. (2009). Atlas de Mineralogía Óptica. *Atlas de Mineralogía Óptica*. Acceso 23 de marzo de 2024, de <https://www.ehu.es/mineralogiaoptica/>
- Harris, K. E., Bunker, K. L., Strohmeier, B. R., Hoch, R., & Lee, R. J. (2007). Discovering the true morphology of amphibole minerals: complementary TEM and FESEM characterization of particles in mixed mineral dust. *Modern Research and Educational Topics in Microscopy*, 3(2), 643-650.
- IGME. Acceso 7 de mayo de 2024, de <https://www.igme.es/>
- Jiménez, J., & Velilla, N. (2004). Óptica mineral. Una herramienta informática para el estudio de los minerales en el microscopio petrográfico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12(1), 57-61.
- Jiménez, R., González Laguna, R., Lozano Fernández, R. P., Paradas Herrero, Á., Baeza Chico, E., Torres Matilla, M. J., & Cabrera Andonaegui, B. (2013). Colección de Minerales de las Comunidades y Ciudades Autónomas del Museo Geominero: Catálogo de la Comunidad de Madrid. *Cuadernos del Museo Geominero*, (16), 70pp.
- Klein, C., & Hurlburt, C. S. Jr. (1996). Manual de Mineralogía. Cuarta Edición. Barcelona: Reverté, S.A., ISBN: 84-291-4608-3, 679 pp.
- López, R. (2015). El uso de un museo de Ciencias para el estudio de los minerales. Universidad de Valladolid.
- MacKenzie, W. S., & Adams, A. E. (1997). Atlas en color de rocas y minerales en lámina delgada. Masson. ISBN 1-874545-17-0, 215pp.
- Mange, M. A., & Maurer, H. (2012). Heavy Minerals in Colour. *Springer Science & Business Media*. ISBN 978-94-010-5019-7, 147pp.
- Marco S., M. (1999). Estudio y análisis de los museos y colecciones museográficas de la provincia de Alicante. Universidad de Alicante.
- Melgarejo i Draper, J. C., Proenza Fernández, J. A., Galí Medina, S., & Llovet, X. (2010). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera: Techniques of mineral characterization and their use in mining exploration and exploitation. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(1), 1-23.
- Mindat.org. Acceso 22 de marzo de 2024, de <https://www.mindat.org/>
- Minerales—Región de Murcia Digital. Región de Murcia digital. Acceso 29 de abril de 2024, de https://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,365,m,108&r=ReP-8398-DETALLE_REPORTAJESPADRE

Nogués, J. M., García Vallès, M., Martínez Manent, S., & Àvila, G. (2008). Los minerales gema: Una propuesta práctica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16(1), 49-56.

Prado, P. (2004). *Apuntes sobre la Limpieza de Minerales*.

Rodríguez, D. (2020). ¿Qué es la difracción de rayos X (XRD) y por qué es tan importante para la industria? *Espectrometros*. Acceso 2 de marzo de 2024, de <https://espectrometria.com.mx/que-es-la-difraccion-de-rayos-x-xrd-y-por-que-es-tan-importante-para-la-industria/>

Velandia, F., & Hurtado, M. F. (2017). Difracción de rayos X: Un mundo de aplicaciones por descubrir. *Ingeciencia*, 2(2), 67-75.

ANEXO I

Museos y colecciones minerales en España (Tabla adaptada de López, 2015).

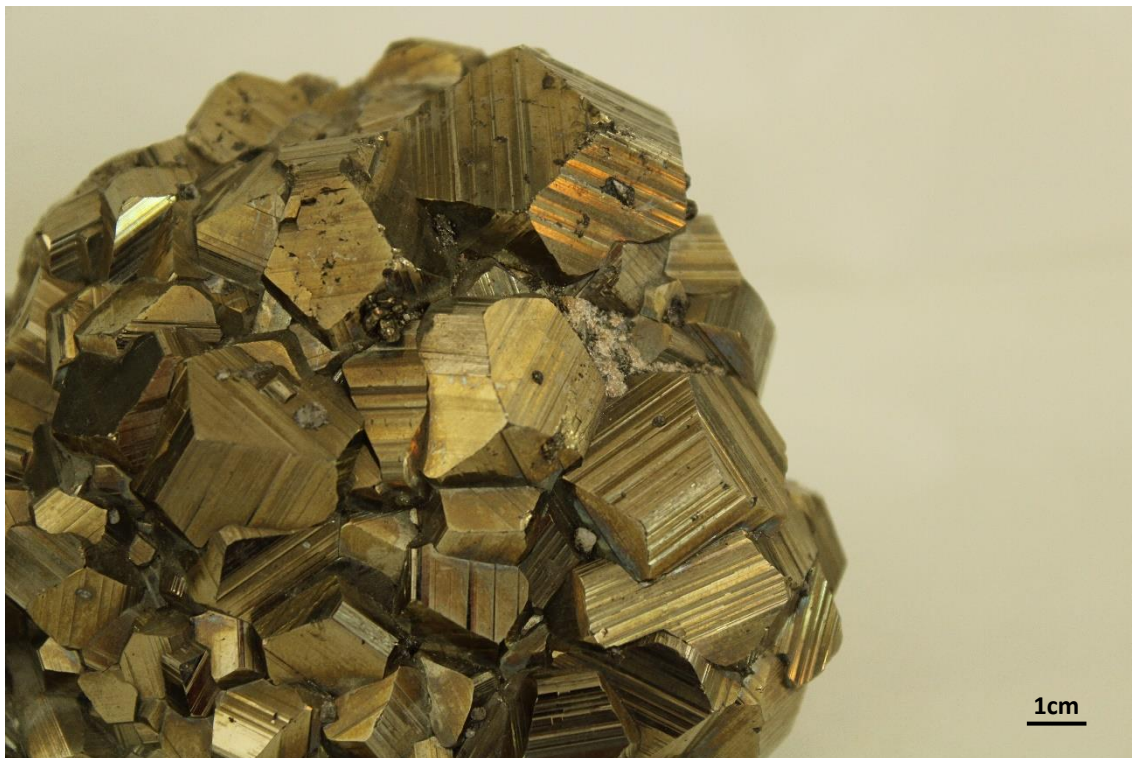
ANDALUCÍA	Colección Mineralógica de la Facultad de Ciencias de Granada	Granada
	Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Sevilla	Sevilla
ARAGÓN	Museo de Ciencias Naturales La Salle–Teruel	Teruel
	Museo de Geología del Parque Geológico de Josa	Teruel
ASTURIAS	Museo de la Minería y de la Industria	Asturias
BALEARES	Museo de Ciencias Naturales de La Salle “Son Rapinyà”	Palma de Mallorca
CANARIAS	Museo de la Naturaleza y el Hombre	Santa Cruz de Tenerife
CASTILLA – LA MANCHA	Museo Histórico Minero “Francisco Pablo Holgado”	Ciudad Real
	Museo Municipal De Puertollano	Ciudad Real
	Museo de la Ciencia y de la Técnica	Cuenca
CASTILLA Y LEÓN	Museo Escolar de la Historia Geológica de la Provincia de Burgos I.N.B. Félix Rodríguez de la Fuente	Burgos
	Museo de Ciencias Naturales	León
	Colección de Minerales, Rocas y Fósiles de la Academia De Artillería	Segovia
	Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Valladolid	Valladolid
CATALUÑA	Museo de Geología Valentí Masachs (Universidad Politècnica de Catalunya)	Manresa
	Museu de Minerals Catalans	Barcelona
	Museo de Geología de Cadaqués-Cap de Creus	Girona
EXTREMADURA	Museo Vicente Sos Baynat	Badajoz
GALICIA	Museo de Historia Natural Luis Iglesias (Facultad de Ciencias Químicas)	La Coruña
LA RIOJA	Museo de Mineralogía de Arnedo	La Rioja
MADRID	Museo Geominero	Madrid
	Museo Histórico Minero de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas (Universidad Politècnica de Madrid)	Madrid
	Museo De Mineralogía De La Universidad Autónoma de Madrid	Madrid
	Colección del Instituto Gemológico Español	Madrid
PAÍS VASCO	Museo de Ciencias Naturales de Álava	Álava
	Museo de Minerales y Fósiles	Vizcaya

REGIÓN DE MURCIA	Colección de Rocas, Minerales y Fósiles de la Facultad de Biología, “Profesora Purificación Linares Moreno” (Universidad de Murcia)	Murcia
	Museo Minero de la Unión	Murcia
COMUNIDAD VALENCIANA	Museo de Ciencias Naturales P. Ignacio Sala	Valencia
	Museo de Geología de la Facultad de Ciencias	Valencia
	Colección Geoda	Castellón

ANEXO II

Imágenes de minerales de los diferentes sistemas cristalinos.

Pirita, sistema cristalino cúbico (autoría propia).



Cuarzo sistema trigonal, con rutilo sistema cristalino tetragonal (autoría propia).



Aragonito, sistema cristalino ortorrómbico (autoría propia).



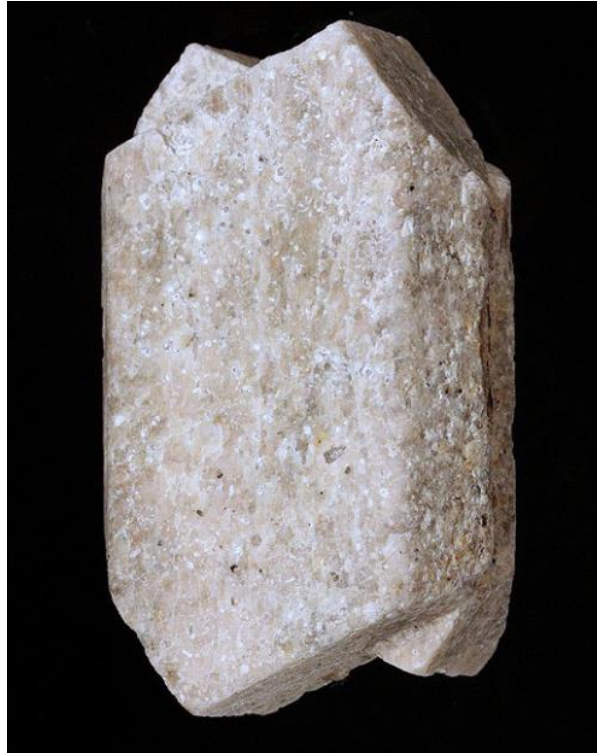
Vanadinita, sistema cristalino hexagonal (autoría propia).



Dolomita, sistema cristalino trigonal (autoría propia).



Ortoclasa, sistema cristalino monoclinico (*Mindat.org*).



Microclina, sistema cristalino triclinico (*Mindat.org*).



ANEXO III

Instrumento y producto utilizados para la limpieza química y mecánica de las muestras minerales (autoría propia).

Grabadora con mango blando (*Dremel Engraver*®).

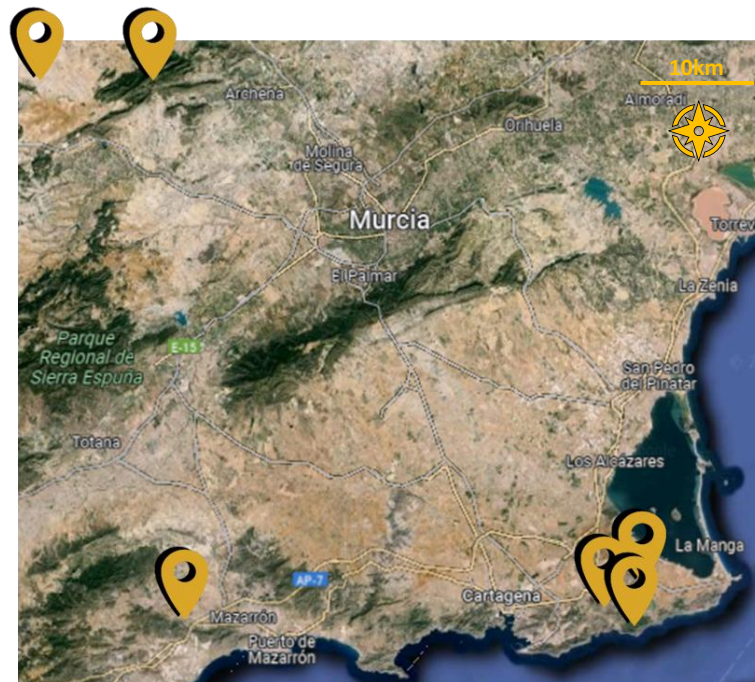


Producto tensoactivo (“*Limpia plata y metales en crema*”).



ANEXO IV

Ubicaciones de la Región de Murcia de las muestras minerales empleadas (imágenes extraídas de Google Earth, edición autoría propia).



Ubicaciones del sureste de la Península Ibérica de las muestras minerales empleadas (imágenes extraídas de Google Earth, edición autoría propia).



ANEXO V

Muestras minerales empleadas para este trabajo, todas las imágenes son autoría propia.

Cuarzo con óxidos de hierro (MM1).



Dolomita (MM2).



Galena (MM3).



Cuarzo con óxidos de hierro (MM4).



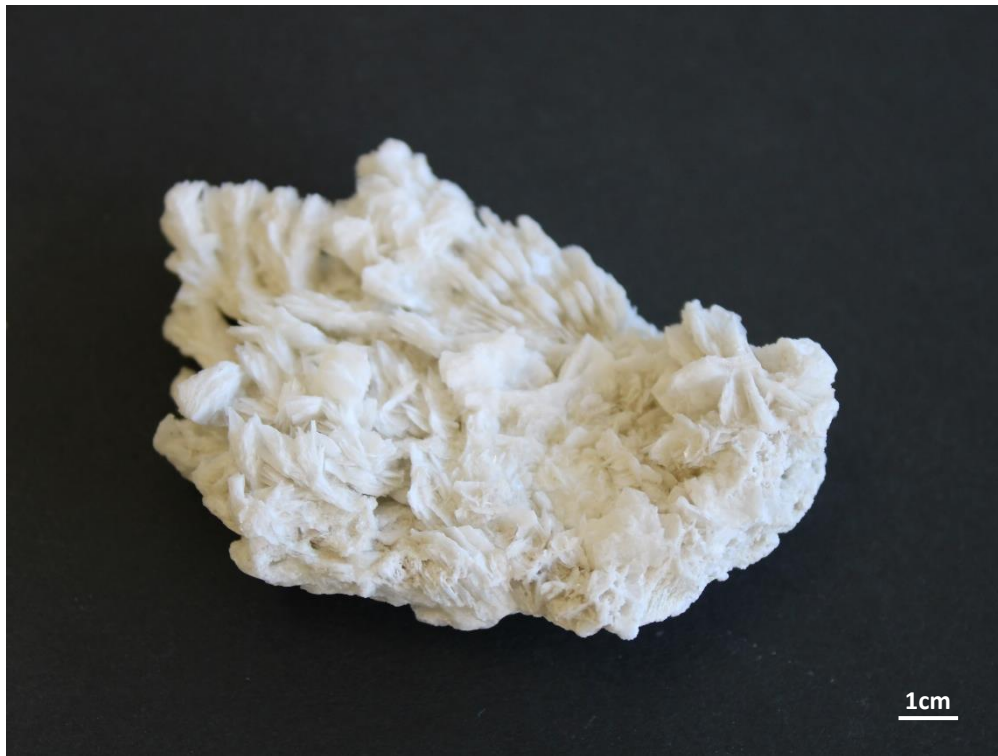
Aragonito con cubiertas arcillosas (MM5), y prehnita (MM7).



Barita con óxido de manganeso (MM6).



Barita (MM8).



Dolomita con pirita (MM9).



Dolomita (MM10).

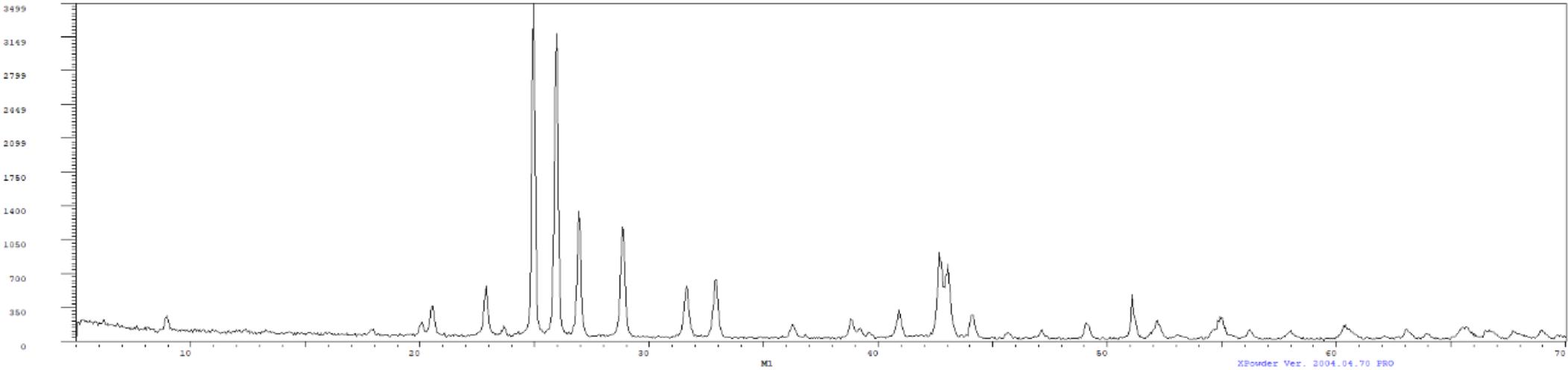


Hemimorfita, rosasita, y crisocola (MM11).

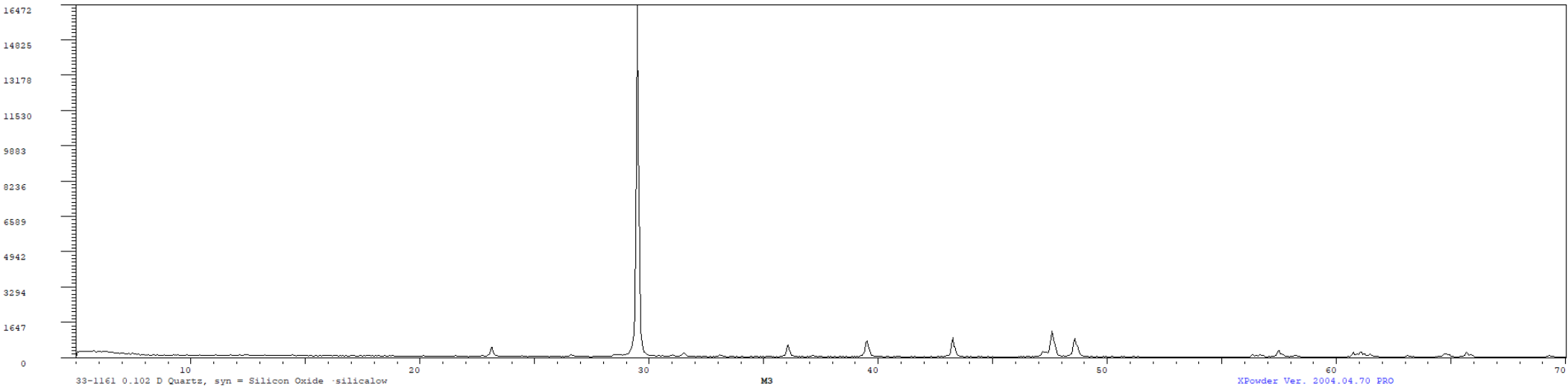


ANEXOS VI

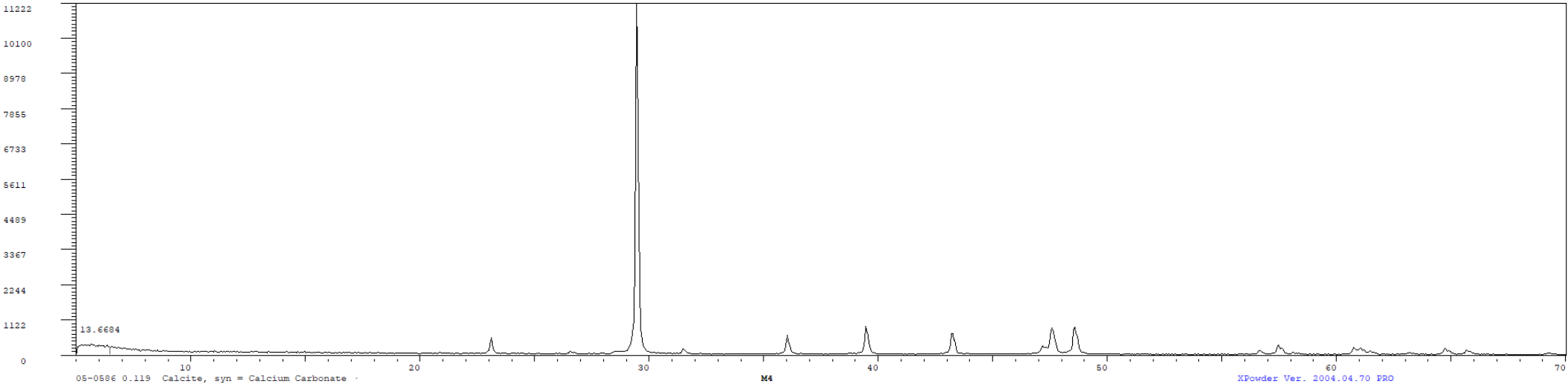
Difractograma con los resultados DRX de MM8.



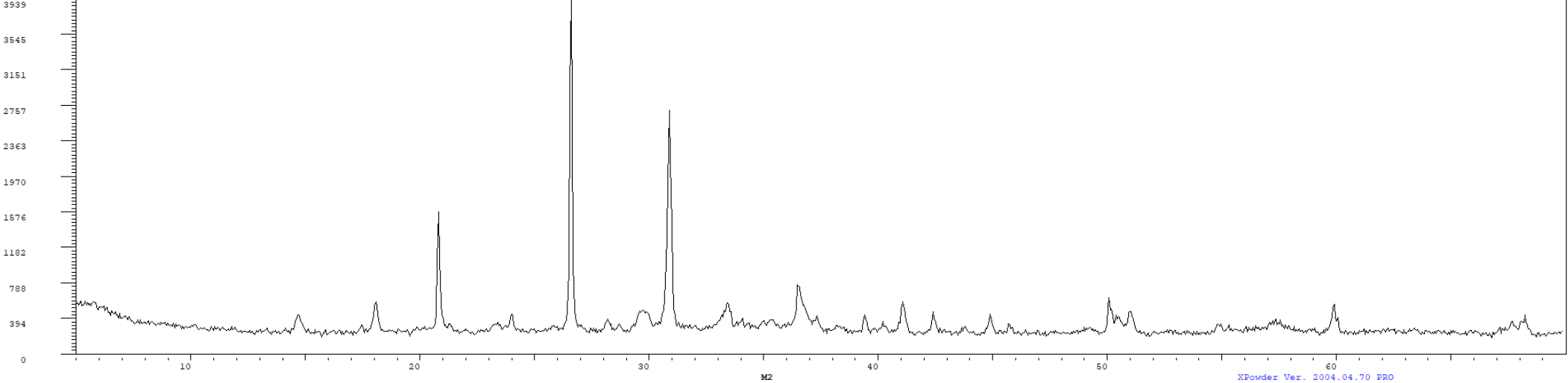
Difractograma con los resultados DRX de MM9.



Difractograma con los resultados DRX de MM10.

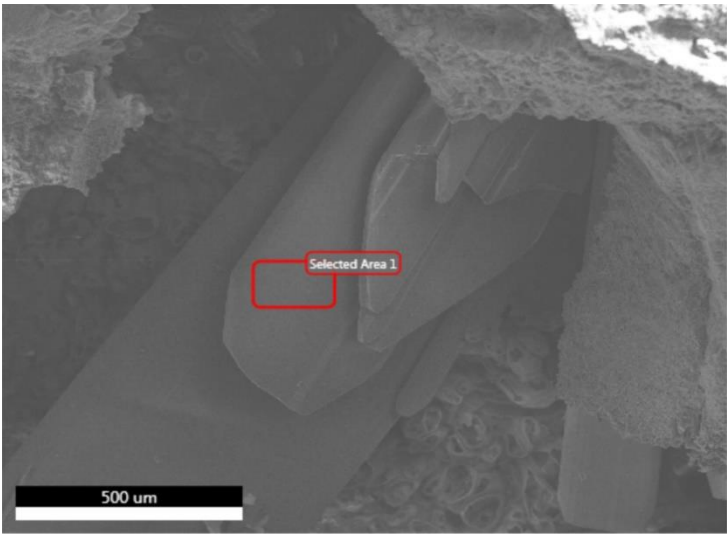


Difractograma con los resultados DRX de MM11.



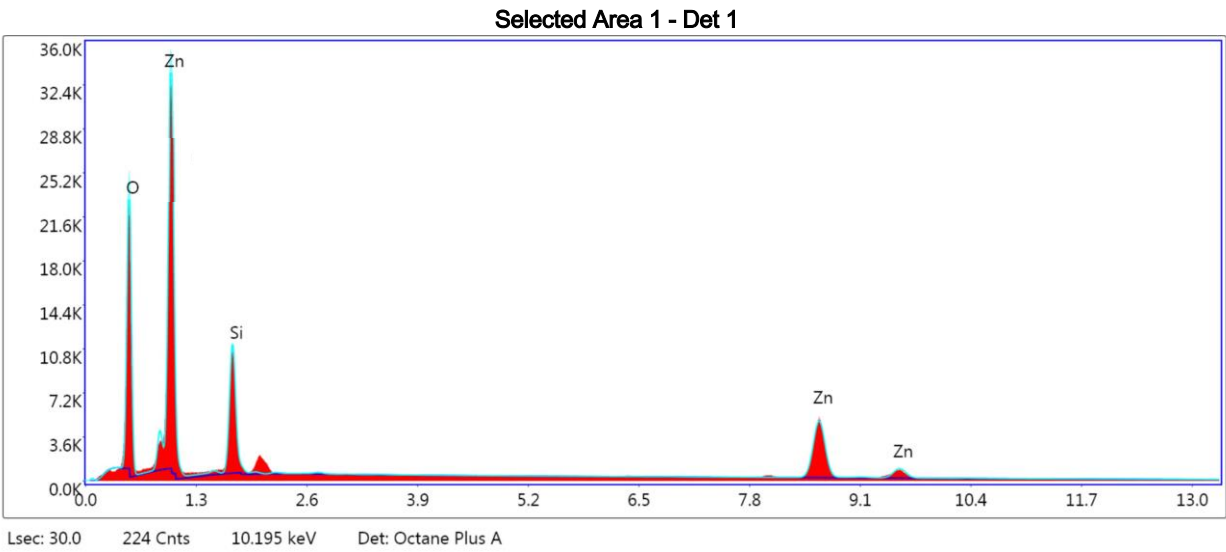
ANEXO VII

Resultados hemimorfita (MM11a) en FESEM.



Selected Area 1

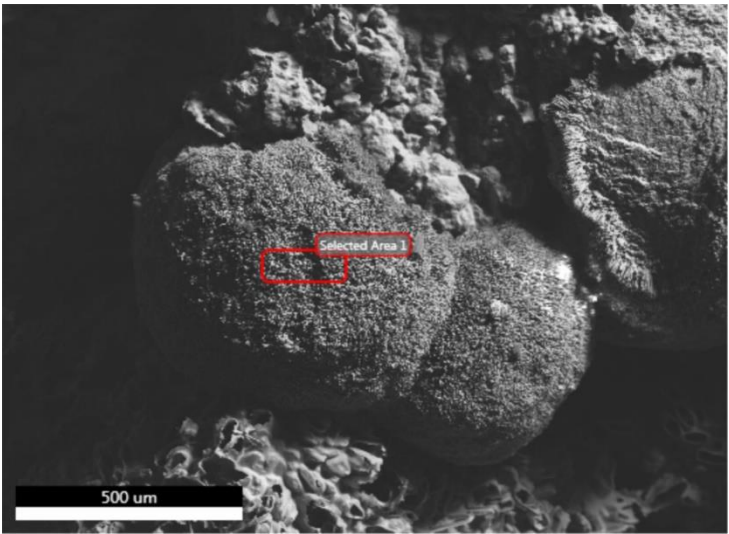
kV: 20 Mag:80 Takeoff: 36 Live Time(s): 30 Amp Time(μs):0.96 Resolution:(eV)131



eZAF Smart Quant Results

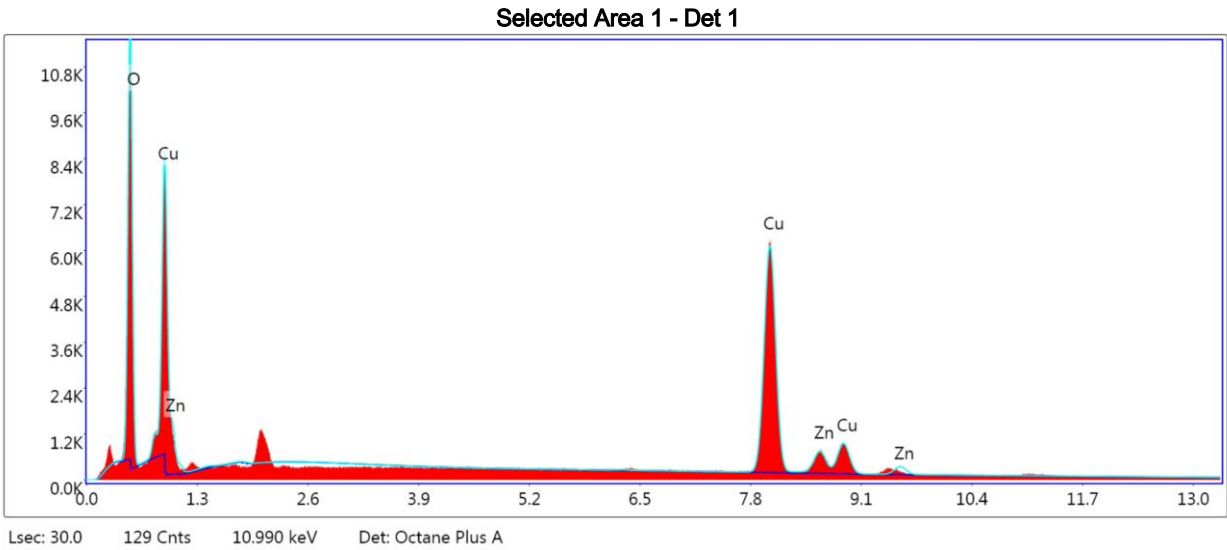
Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
O K	39.97	67.37	10927.41	7.36	0.1696	1.1328	0.3745	1.0000
NaK	0.38	0.45	73.95	32.91	0.0010	1.0334	0.2627	1.0010
SiK	13.83	13.28	6327.12	6.37	0.0715	1.0378	0.4972	1.0024
ZnK	45.81	18.90	5440.59	2.29	0.3948	0.8447	1.0068	1.0132

Resultados rosasita (MM11b) en FESEM.



Selected Area 1

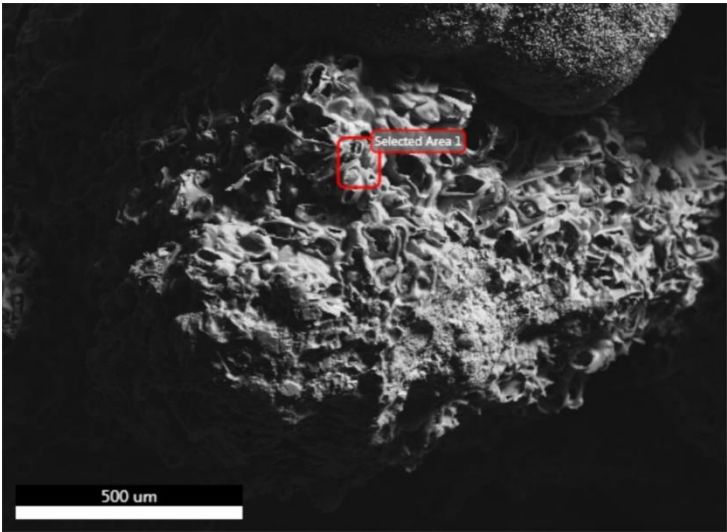
kV: 20 Mag:80 Takeoff: 34 Live Time(s): 30 Amp Time(μs):0.96 Resolution:(eV)131



eZAF Smart Quant Results

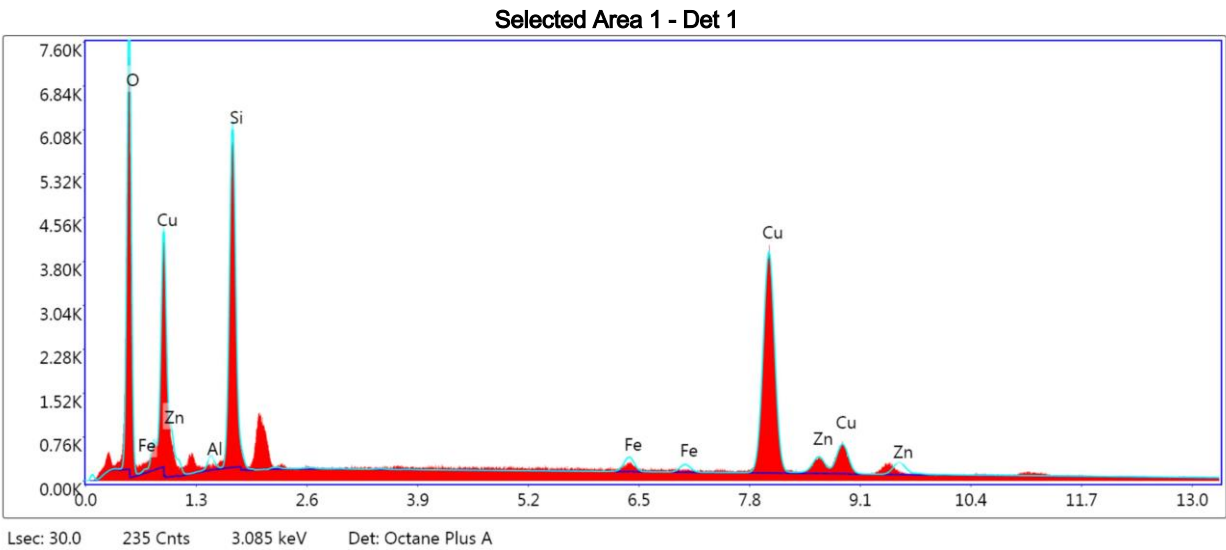
Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
O K	24.89	56.89	4970.25	7.13	0.1233	1.2127	0.4087	1.0000
CuK	67.39	38.79	6626.43	2.03	0.6256	0.9162	1.0047	1.0086
ZnK	7.73	4.32	630.16	4.74	0.0711	0.9150	0.9985	1.0064

Resultados crisocola (MM11c) en FESEM.



Selected Area 1

kV: 20 Mag:80 Takeoff: 34.3 Live Time(s): 30 Amp Time(μs):0.96 Resolution:(eV)131



eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
O K	23.49	49.07	3404.31	7.59	0.1020	1.1829	0.3670	1.0000
AlK	0.79	0.98	132.62	13.95	0.0029	1.0608	0.3397	1.0039
SiK	15.17	18.06	3541.47	6.79	0.0760	1.0854	0.4600	1.0029
FeK	1.41	0.84	236.68	8.17	0.0180	0.9251	0.9949	1.3877
CuK	54.30	28.57	4275.80	2.14	0.4896	0.8893	1.0025	1.0113
ZnK	4.84	2.47	317.14	5.54	0.0434	0.8878	0.9984	1.0114

ANEXO VIII

Proceso de limpieza de cuarzo con óxidos de hierro (MM1).

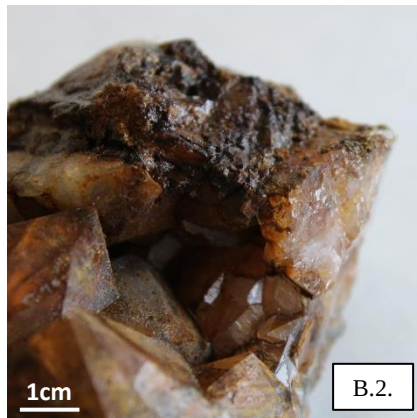
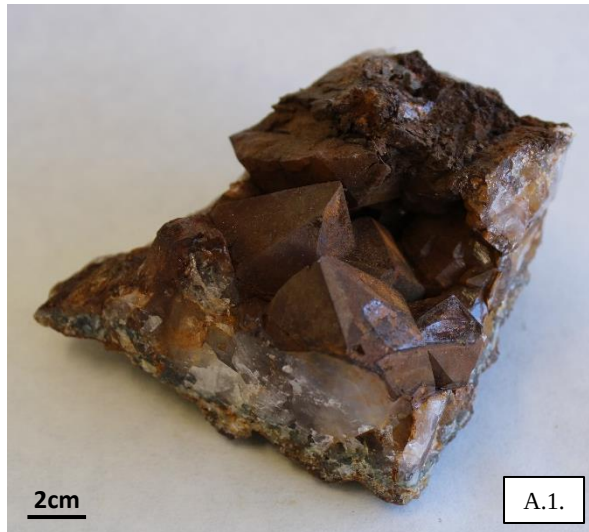




Imagen A.1. Cuarzo con óxidos de hierro sin tratar.

Imagen A.2. Detalle de los cristales del cuarzo con óxidos de hierro sin tratar.

Imagen B.1. Cuarzo después del primer lavado con ditionito sódico. Se sigue apreciando una ligera cubierta de óxidos en algunos de los cristales.

Imagen B.2. Detalle de los cristales después del primer lavado con ditionito sódico.

Imagen C.1. Cuarzo después de varios lavados con ditionito sódico. Ya no se observan los óxidos de hierro que lo recubrían. Se aprecian cristales blancos-transparentes y otros cristales de color ahumado-marrón pero transparentes también.

Imagen C.2. Detalle de los cristales después de varios lavados con ditionito sódico.

Imagen D.1. Cuarzo después de todo el tratamiento con ditionito sódico.

Imagen D.2. Detalle de los cristales después de todo el tratamiento con ditionito sódico.

ANEXO IX

Proceso de limpieza de dolomita (MM2).

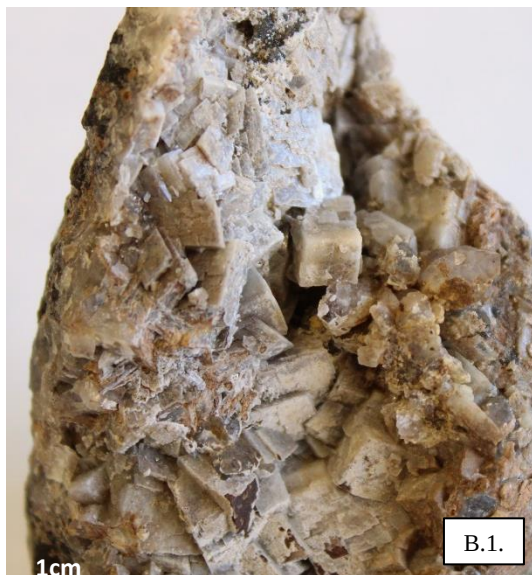


Imagen A.1. Dolomita antes de cualquier tratamiento.

Imagen A.2. Dolomita después de lavados en ultrasonido y tratamiento con agua fuerte.

Imagen B.1. Detalle dolomita donde se pueden apreciar algunas pátinas de óxidos en los cristales cúbicos.

Imagen B.2. Detalle dolomita después de todo el procesos de limpieza química y mecánica, las pátinas de óxidos ya no están presentes.

ANEXO X

Proceso de limpieza de galena (MM3).

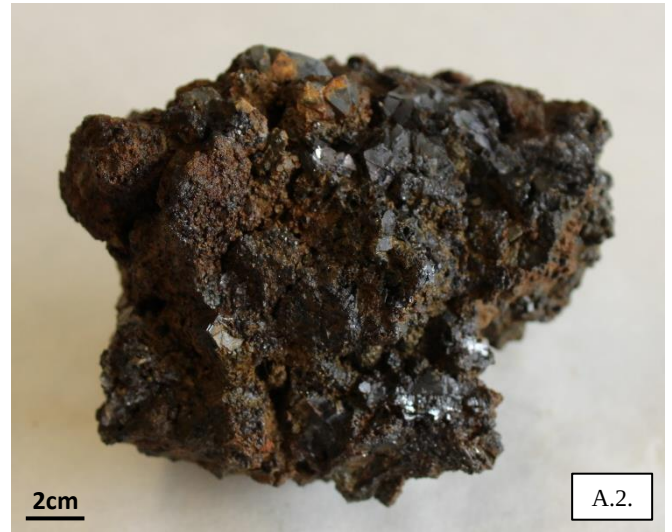


Imagen A.1. Galena antes de cualquier tratamiento.

Imagen A.2. Galena después tratamiento con ácido acético.

Imagen B.1. Detalle galena después de tratamiento con ácido acético.

Imagen B.2. Detalle galena después de abrillantamiento de los cristales con “Limpia plata y metales en crema”.

ANEXO XI

Proceso de limpieza de cuarzo con óxidos de hierro (MM4).

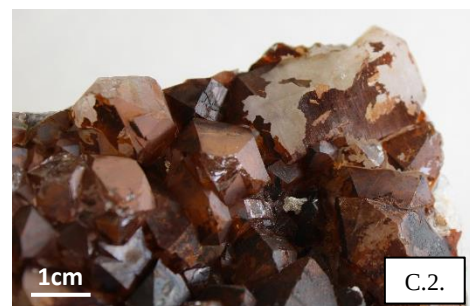


Imagen A.1. Cuarzo con óxidos de hierro y calcita sin tratar.

Imagen B.1. Cuarzo después del primer lavado con agua fuerte. La calcita se ha eliminado con el HCl, algunas pátinas de óxido de hierro empiezan a desaparecer.

Imagen B.2. Detalle de los cristales después del primer lavado con agua fuerte.

Imagen C.1. Cuarzo después del segundo lavado con agua fuerte. Las capas de óxidos son cada vez más finas después del segundo lavado con agua fuerte.

Imagen C.2. Detalle de los cristales después del segundo lavado con agua fuerte.



Imagen D.1. Cuarzo después del tercer lavado con agua fuerte. Algunos cristales se aprecian más blancos e incluso transparentes, hay menos óxidos sobre la muestra.

Imagen D.2. Detalle de los cristales después del tercer lavado con agua fuerte.

Imagen E.1. Cuarzo después de varios lavados con agua fuerte. Se han eliminado casi por completo los óxidos, excepto en una zona que han adquirido una tonalidad ocre brillante.

Imagen E.2. Detalle de los cristales de varios lavados con agua fuerte.

Imagen F.1. Cuarzo después del uso de una grabadora con mango blando. Con precaución de no rayar demasiado el cuarzo, se consigue eliminar la pátina de óxido ocre.

Imagen F.2. Detalle de los cristales después del uso de una grabadora con mango blando.

ANEXO XII

Proceso de limpieza de barita con óxidos de manganeso (MM6).

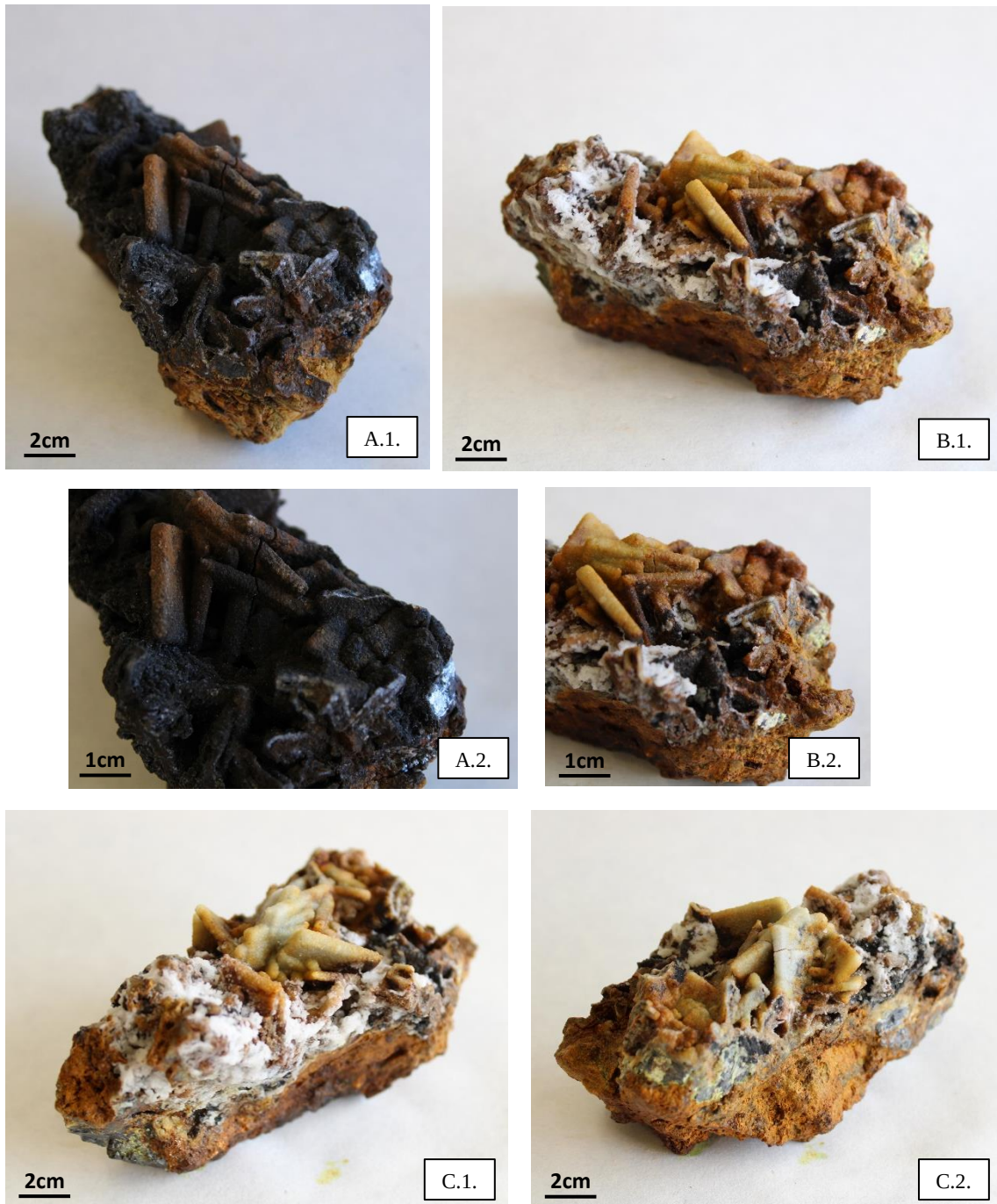


Imagen A.1. Barita con óxidos de manganeso sin tratar.

Imagen A.2. Detalle de los cristales de barita con óxidos de manganeso sin tratar.

Imagen B.1. Barita después del primer lavado con agua fuerte. Los óxidos negros cambian a un color de tonalidad ocre y siendo de menor cantidad.

Imagen B.2. Detalle de los cristales después del primer lavado con agua fuerte.

Imagen C.1. Barita después del segundo lavado con agua fuerte.

Imagen C.2. Barita después del segundo lavado con agua fuerte, desde otra perspectiva.

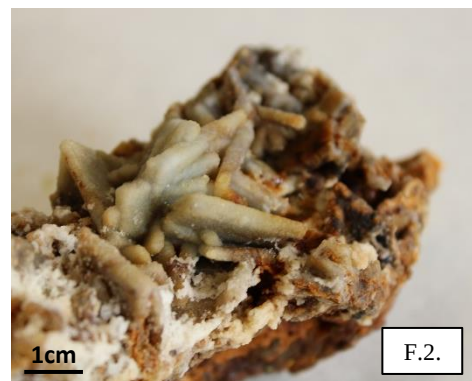
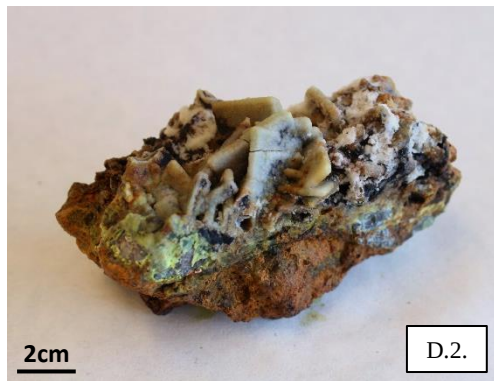
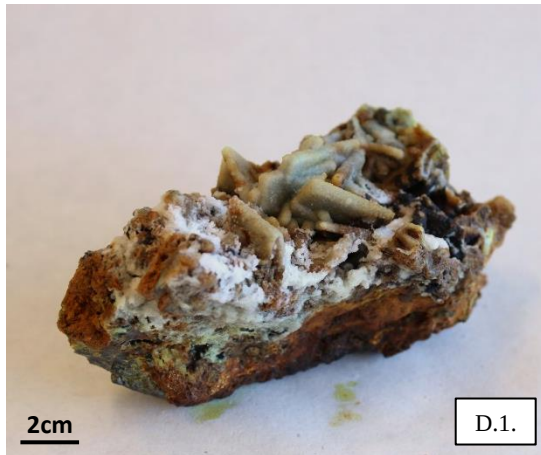


Imagen D.1. Barita después del tercer lavado con agua fuerte.

Imagen D.2. Detalle de los cristales después del tercer lavado con agua fuerte.

Imagen E.1. Barita después de varios lavados con agua fuerte y lejía.

Imagen E.2. Detalle de los cristales de varios lavados con agua fuerte y lejía.

Imagen F.1. Barita después de varios lavados con agua fuerte.

Imagen F.2. Detalle de los cristales de varios lavados con agua fuerte.

ANEXO XIII

Proceso de limpieza de prehnita (MM7).



Imagen A.1. Prehnita sin tratar.

Imagen A.2. Detalle de los cristales de prehnita sin tratar.

Imagen B.1. Prehnita después de varios lavados con agua y jabón en el ultrasonido.

Imagen B.2. Detalle de los cristales después de varios lavados con agua y jabón en el ultrasonido.

