

Alicia Muñoz del Pozo

# Caracterización e identificación de alabastro y yeso de calidad estatuaria: aplicación en la determinación de procedencia

Director/es

Gisbert Aguilar, Josep  
Morte García, Carmen

<http://zaguan.unizar.es/collection/Tesis>

© Universidad de Zaragoza  
Servicio de Publicaciones

ISSN 2254-7606

Tesis Doctoral

CARACTERIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE  
ALABASTRO Y YESO DE CALIDAD ESTATUARIA:  
APLICACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE  
PROCEDENCIA

Autor

Alicia Muñoz del Pozo

Director/es

Gisbert Aguilar, Josep  
Morte García, Carmen

**UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA**  
**Escuela de Doctorado**

Programa de Doctorado en Geología

2020





UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

Caracterización e identificación de  
alabastro y yeso de calidad estatuaria:  
Aplicación en la determinación de  
procedencia para proyectos artísticos de  
alabastro realizados en Aragón entre la  
Edad Media y la Edad Moderna

---

Tesis doctoral

**Alicia Muñoz del Pozo**

28/02/2020

Directores:

**Dr. Josep Gisbert Aguilar**

**Dra. Carmen Morte García**





## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a mis directores, Josep Gisbert y Carmen Morte-García, por la dedicación, el esfuerzo y la ayuda que me han ofrecido durante los más de cinco años que suponen la elaboración de esta tesis. También agradecer a los supervisores que me han acogido y ayudado durante las estancias doctorales: Silvana Fais en Cagliari y Wolfram Kloppmann en Orleans.

También me gustaría dar las gracias a Belén Boloqui, José Luis Pano, Ernesto Arce, Juan Mandado, Carolina Naya y Elena Andrés, miembros del equipo de investigación por su ayuda en las diferentes fases de los proyectos en los que hemos colaborado. También le doy las gracias a Enrique Oliver por sus análisis en el laboratorio de geoquímica del Departamento de Ciencias de la tierra, y a los SAI de la Universidad de Zaragoza Servicio de preparación de rocas y materiales duros, Servicio de análisis químico, Servicio de análisis químico y Servicio de microscopia electrónica de materiales.

Agradezco al Ministerio de Economía y Competitividad la ayuda para contratos predoctorales que financió esta tesis y las estancias de Cagliari y Orleans. A la Universidad de Zaragoza por las ayudas para la asistencia a varios congresos.

También quiero dar las gracias a mis amigos, a mis compañeros de tesis y de departamento, y a mi familia.

# Índice

CAPÍTULO I. Introducción	1
1.1. Presentación y justificación del proyecto de tesis	1
1.2. Procedencia etimológica del término alabastro; propuesta de uso y acepción de los distintos términos.	2
1.2.1. El concepto de alabastro	2
1.3. Usos artísticos del Alabastro: Desde la Antigüedad al Arte contemporáneo	4
1.3.1. Uso del alabastro en la Antigüedad	4
1.3.2. Edad Media	5
1.3.3. Edad Moderna	5
1.3.4. Arte Contemporáneo	6
1.4. Definición geológica del concepto de alabastro y propuesta de uso	7
1.4.1. Significado geológico	7
1.4.2. El origen del alabastro	7
1.4.3. Yesos de calidad estatuaría	10
1.4.3.1. Yesos primarios	10
1.4.3.2. Yeso secundario	11
Capítulo II. Metodología de trabajo	12
2.1. Metodología de trabajo en geología	12
2.1.1.-Técnicas usadas para la identificación de los mármoles	12
2.1.2. Adaptación de los criterios al caso del alabastro	15
2.1.3. Metodología de las Técnicas aplicadas	16
2.1.3.1. Localización de las canteras históricas	16
2.1.3.2. Criterios de selección	17
2.1.3.3. Identificación macroscópica (visu)	19
2.1.3.4. Microscopía óptica y electrónica	19
2.1.3.5. Geoquímica	21
2.1.3.6. Fosforescencia	25
2.2. Metodología de trabajo en el campo histórico-artístico: documentación escrita, fuentes gráficas y análisis de las obras	26
2.2.1. Fuentes y recursos	26
2.2.2. Trabajo de campo	27
2.2.2.1. Estudio de las obras artísticas “Visita a museos”	27
CAPÍTULO III. Situación geológica	29
3.1. Contexto geológico general de rocas evaporíticas en la península Ibérica	29
3.1.1. Triásico	30
3.1.2. Cenozoico	31
3.2. Contexto geológico de las Cuencas evaporíticas estudiadas	32
3.2.1. Cuenca del Ebro	34
3.2.1.1. Sector Occidental del Valle del Ebro	35
3.2.1.2. Valle Medio del Ebro	40
3.2.1.3. Sector Oriental del Valle del Ebro y Sector Pirenaico Catalán	49
3.2.2. Cuenca de Calatayud	54
3.2.3. Depresión costera Valenciana	58
3.2.4. Cuenca de Madrid	61
CAPÍTULO IV. TÉCNICAS ANALÍTICAS	65

4.1. Identificación macroscópica	66
4.1.1. Introducción	66
4.1.2. Protocolos y nomenclatura en identificación macroscópica	66
4.1.2.1. Metodología de trabajo	67
4.1.3. Criterios de selección	67
4.1.3.1. Color	68
4.1.3.2. Texturas	68
4.1.3.3. Morfología de venas y discontinuidades	69
4.1.3.4. Translucidez	69
4.1.4. Resultados identificación macroscópica	71
4.1.4.1. Valle del Ebro. Sector Occidental	71
4.1.4.2. Valle del Ebro. Sector Central o Valle Medio del Ebro	72
4.1.4.3. Valle del Ebro. Sector Occidental	73
4.1.4.4. Cuenca de Calatayud	74
4.1.4.5. Depresión costera valenciana	75
4.1.4.6. Cuenca de Madrid	76
4.1.5. Comparación entre las diferentes muestras y litofacies	76
4.1.5.1. Tabla resumen	77
4.1.6. Características para identificar la procedencia.	79
4.2. Microscopía Óptica y Microscopía Electrónica	82
4.2.1. Introducción a la Microscopía Óptica (Petrología)	82
4.2.2. Protocolos y nomenclatura en petrología	82
4.2.2.1. Fichas descriptivas	83
4.2.3. Elementos presentes en las muestras	86
4.2.3.1. Componentes texturales: Yeso	86
4.2.4. Criterios de descripción para microscopía óptica	89
4.2.4.1. Tamaño	89
4.2.4.2. Forma	89
4.2.4.3. Contactos	90
4.2.4.4. Inclusiones	90
4.2.4.5. Porcentaje de cada elemento descrito	90
4.2.5. Resultados microscopía óptica	90
4.2.5.1. Valle del Ebro. Sector Occidental	91
4.2.5.2. Valle del Ebro. Sector Central o Valle Medio del Ebro	92
4.2.5.3. Valle del Ebro. Sector Occidental	94
4.2.5.4. Cuenca de Calatayud	96
4.2.5.5. Depresión costera valenciana	98
4.2.5.6. Cuenca de Madrid	99
4.2.6. Comparación entre las diferentes muestras y litofacies	100
4.2.6.1. Tabla resumen	101
4.2.7. Introducción a microscopía electrónica de barrido (SEM)	103
4.2.8. Protocolos y nomenclatura en SEM	105
4.2.8.1. Elementos presentes en las muestras	105
4.2.8.1.1. Minerales observados con FESEM	106
4.2.9. Características para identificar la procedencia.	108
4.3. Análisis geoquímicos	112
4.3.1. Introducción	112
4.3.1.1. Antecedentes de estudios geoquímicos en yesos	112
4.3.1.2. Aplicación de técnicas isotópicas	113
4.3.1.3. Uso en patrimonio: Análisis geoquímicos e isotópicos	114
4.3.2. Protocolos y nomenclatura en geoquímica	116

4.3.2.1. Análisis por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES)	116
4.3.5. Resultados geoquímica	117
4.3.5.1. Datos obtenidos por espectrometría por dispersión de energías de rayos X (EDS)	117
4.3.5.3. Datos obtenidos de R.I., H <sub>2</sub> O, M.O. y CO <sub>2</sub>	120
4.3.5.4. Datos obtenidos de R.I., H <sub>2</sub> O, M.O. y CO <sub>2</sub>	122
4.3.5.5. Datos obtenidos por espectrofotometría de emisión atómica (ICP-OES)	123
4.3.6. Discusión sobre diferentes procedencias de las muestras	130
4.3.6.1. Datos obtenidos por espectrofotometría de emisión atómica (ICP-OES)	130
4.3.7. Criterios de identificación de procedencia	132
4.4. Fosforescencia	134
4.4.1. Introducción a la técnica analítica basada en la fosforescencia	134
4.4.2. Identificación de procedencias mediante técnicas no invasivas: primeros resultados	136
4.4.2.1. Resumen	136
4.4.2.2. Introducción	137
4.4.2.3. Antecedentes	137
4.4.2.4. Metodología en la construcción del equipo instrumental	138
4.4.2.5. Metodología en la parte de petrología de materiales	140
4.4.2.6. Respuesta fosforescente en el alabastro	142
4.4.2.7. Respuesta fosforescente en los mármoles	143
4.4.2.8. Discusión	144
4.4.2.9. Ejemplo de aplicación del método: El caso del Oratorio de San Jerónimo penitente	145
4.4.2.10. Conclusiones	147
4.4.2.11. Notas bibliográficas	148
CAPÍTULO V. IDENTIFICACIÓN DE PROCEDENCIA DE piezas artísticas realizadas en alabastro	150
5.1. Criterios de identificación	150
5.1.1. Introducción	150
5.1.2. Protocolos para el estudio de piezas artísticas	151
5.1.2.1. Preparación previa	151
5.1.2.2. Estudio in situ	151
5.1.2.3. Trabajo de gabinete	152
5.1.3. Estudio de procedencia	152
5.1.3.1. Valle del Ebro. Sector Occidental	152
5.1.3.2. Valle del Ebro. Sector Central o Valle Medio del Ebro	154
5.1.3.3. Valle del Ebro. Sector Occidental	155
5.1.3.5. Cuenca de Calatayud	157
5.1.3.6. Depresión costera valenciana	158
5.1.3.7. Cuenca de Madrid	159
5.1.3.2. Características relevantes de cada material y cada técnica	159
5.2. Estudio de la procedencia de piezas artísticas	162
5.2.1. Relación de obras de artes estudiadas de la Baja Edad Media	163
5.2.2. Relación de obras de artes estudiadas durante el Renacimiento	164
5.2.3. Relación de obras de artes estudiadas durante el Barroco	165
5.2.4. Reflexiones sobre la evolución de las explotaciones de alabastro	166
5.3. Fichas de piezas artísticas realizadas en alabastro	168

5.3.1. Capitel corintio hispano-musulmán vaciado en 1492	169
5.3.2. Sepulcro de Don Pedro Fernandez de Híjar y Navarra	171
5.3.3. Sepulcro del cardenal Fernando Pérez Calvillo	174
5.3.4. Sepulcro del obispo Pedro Pérez Calvillo	176
5.3.5. Capitel de alabastro con heráldica del Papa Luna (Benedicto XIII)	179
5.3.6. Retablo de la Virgen del Patrocinio.	182
5.3.7. Frente del Sepulcro del obispo Hugo de Urriés	184
5.3.8. Santa Ana, la Virgen y el Niño	187
5.3.9. Absolución del cadáver. Relieve del sepulcro del rey Juan II (1398 - 1479) y de la reina Juana Enríquez (1425 - 1468)	189
5.3.10. Pieza arqueológica 16.98.4H.718	191
5.3.11. Pieza arqueológica 16.98.6H.758	194
5.3.12. Pieza arqueológica 16.98.5H.722	197
5.3.13. Adoración de los Reyes Magos	200
5.3.14. Figura tenante con las armas de Carlos I	202
5.3.15. Retablo de Visitación	204
5.3.16. Sepulcro del Vicecanciller Antonio Agustín	207
5.3.17. Columna tallada de Ntra. Sra. del Portillo	209
5.3.18. Presentación de la Virgen niña en el templo	211
5.3.19. Sepulcro del deán Lope Conchillos	214
5.3.20. Sepulcro del obispo Gonzalo Conchillos	217
5.3.21. Sepulcro del Virrey de Aragón Don Juan de Lanuza	219
5.3.22. Columnas entrepaños y friso	221
5.3.23. Cabeza de Cristo	224
5.3.24. Sepulcro del deán Miguel de Erla y Añón	227
5.3.25. Sepulcro del obispo Don Pedro del Frago	230
5.3.26. San Miguel Arcángel	233
5.3.27. Lápida de Miguel Martín, comendador del Temple	235
5.3.28. Figura de San Marcos	237
5.3.29. Escultura de San Lorenzo	239
5.3.30. Mascarón con adornos	241
5.3.31. Basamento capilla de la Piedad	243
5.3.32. Esculturas orantes de Francisco Palafox y Lucrecia de Moncada, Marqueses de Ariza	246
5.3.33. Sepulcro del obispo de Albarracín Gabriel Sora	249
5.3.34. Estatua orante del sepulcro del obispo José de Palafox	252
5.3.35. Sarcófago del canónigo Juan Orencio de Lastanosa	255
5.3.36. Sarcófago del capitán Vincencio Juan de Lastanosa	258
5.3.37. Escultura del canónigo Juan Orencio de Lastanosa	261
5.3.38. Escultura del capitán Vincencio Juan de Lastanosa	264
5.3.39. Basamento de la fachada de Santa Isabel de Portugal	267
5.3.40. Imagen de Santa Eulalia	270
5.3.41. Figura Pedro Arbués	272
Capítulo VI. Conclusiones	275
CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA	277
ANEXO I. Probetas pulidas	289
ANEXO II. Imágenes de microscopio	297
Microscopio petrográfico	297



Microscopio electrónico de barrido (FESEM)	317
ANEXO III. Tablas de geoquímica	334

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Presentación y justificación del proyecto de tesis

El presente trabajo se enmarca dentro de un proyecto interdisciplinar financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad “El alabastro de las canteras históricas del valle medio del Ebro como material artístico desde la baja Edad Media a la Edad Moderna y su estudio petrográfico-geoquímico” HAR2012-32628, cuyo IP era la Dra Carmen Morte que continuó en el proyecto “Las canteras históricas de alabastro en Aragón y las limítrofes en La Rioja, Navarra y Valencia: Estudio histórico-artístico y petrográfico-geoquímico” HAR2015-66999-P (MINECO).

Su objetivo es el estudio de las piezas artísticas realizadas en alabastro desde la Edad Media hasta la Edad Moderna principalmente en Aragón, junto con la localización y caracterización del alabastro de canteras históricas, tanto en Aragón como de otras comunidades autónomas cercanas, La Rioja, Navarra, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana y Cataluña. Ya que es necesario estudiar el material procedente de las canteras históricas para poder conocer el lugar de procedencia de las piezas artísticas. El carácter multidisciplinar está reflejado en la participación de los Departamentos de Ciencias de la Tierra e Historia del Arte de la Universidad de Zaragoza en el Proyecto, siendo los directores de la presente tesis la Dra. Carmen Morte y el Dr. Josep Gisbert.

Se ha realizado dentro del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016 Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad en I+D+i, Subprograma Estatal de Formación. Gracias a la concesión de las “Ayudas para contratos predoctorales para la formación de doctores 2013” asociada al proyecto HAR2012-32628, que se inicio el 1 de Junio de 2014 hasta 31 de Mayo de 2018. Desarrollando la actividad formativa en la Universidad de Zaragoza, dentro del departamento de Historia del Arte y de la Escuela de Doctorado, en el 489 – Programa de Doctorado en Geología según RD 99/2011.

Por yesos de calidad estatuaria se entiende esencialmente a aquellos compuestos por alabastro y en proporción minoritaria por otros tipos. La elección del alabastro como objeto de estudio, se debe a que es un material utilizado en el mundo artístico desde la Antigüedad, ya en época romana encontramos numerosas esculturas realizadas con este material. Tendencia que continuó durante la Edad Media y la Edad Moderna, y que actualmente está resurgiendo como elemento decorativo. Existen varias razones para la elección de este material como soporte de obras artísticas, tales como su color, generalmente presenta tonos blancos similares a los del mármol aunque también encontramos alabastros de tonos ocres o marrones, y por su baja dureza que lo convierte en un material fácil de trabajar y que permite realizar detalles muy finos en la obra. Otra de sus características es la translucidez, la cual ya era apreciada en el pasado siendo utilizado el alabastro a modo de cristal en ventanales de iglesias y castillos, e incluso hay vidrieras policromadas realizadas en este material.

La importancia histórica de este material, contrasta con los escasos estudios realizados sobre su procedencia, estos son los autores que han trabajado sobre este tema. En la década de los noventa Rodríguez Díaz (1991) realizó una recopilación de los usos del alabastro en la Península Ibérica y de los criterios de identificación frente al mármol; otros autores describen las canteras de evaporitas en la cuenca de antepaís de los Cárpatos, entre Polonia y Ucrania con numerosos ejemplos de su uso en arquitectura y como elementos artísticos (Rajchel *et al.*, 2014). Ya basándose en métodos geoquímicos, y no solamente descriptivos, encontramos trabajos en los que utilizan los análisis de isótopos de Sr en yacimientos arqueológicos de la Edad del Bronce en Grecia (Gale *et al.*, 1988), o incluso estudios en los que se utilizaban los isótopos de Pb en alabastros procedentes de la Toscana y Sicilia, comprobando que este elemento no es relevante para conocer la procedencia (Costagliola *et al.*, 2001); autores españoles aplicaron el análisis de isótopos de S y O en 15 piezas del Museo de Cataluña, revelando que proceden del Valle Medio del Ebro, Cataluña y Valencia (Playà *et al.*, 2012). Los estudios más recientes utilizan la combinación de los isótopos de S, O y Sr para identificar de obras de arte procedentes de diversas partes de Francia, Alemania, Bélgica y España (Kloppmann *et al.*, 2017, 2014).

Nuestro equipo se propuso el objetivo de desarrollar un protocolo para la identificación de procedencia de piezas artísticas realizadas en alabastro, mediante la combinación de diferentes técnicas, como son las descripciones macroscópicas y petrográficas del material, análisis geoquímico para conocer la concentración de elementos menores como son el Sr y Ba en las muestras y técnicas de luminiscencia. Haciendo gala del carácter interdisciplinar del equipo de investigación, se combinaron los datos obtenidos por los historiadores del arte en su labor investigadora rescatando información sobre la procedencia del material utilizado para realizar las obras de arte. Información que es de gran valor para los geólogos del equipo, porque nos orienta acerca de las áreas en las que tenemos que buscar los niveles yesíferos de los que extraían el alabastro en época histórica. De este modo se puede comparar y corroborar la procedencia de las piezas artísticas, al verificar que las muestras tomadas de ellas coinciden con las obtenidas de las canteras.

## **1.2. Procedencia etimológica del término alabastro; propuesta de uso y acepción de los distintos términos.**

### ***1.2.1. El concepto de alabastro***

El termino alabastro es una palabra familiar en una tierra como es el Valle medio del Ebro y el Valle del Jiloca, en la que esta roca de color blanco aparece en los caminos en cuanto nos alejamos de los núcleos urbanos y que hemos visto utilizado en infinidad de obras artísticas en pueblos y ciudades. Como es el caso de la ciudad de Zaragoza, donde nos resulta algo tan cotidiano que llegamos a olvidar su valor, porque para nosotros es normal verla y no nos damos cuenta de la singularidad que representa

poseer tal abundancia de este material. Incluso que esta simple palabra “alabastro” pueda tener distintas connotaciones en función del contexto en el que la utilicemos.

Por este motivo, podemos encontrar materiales que reciben el nombre de alabastro, aunque tengan diferente composición química. Desde un punto de vista geológico el alabastro es una variedad del yeso y su composición química es sulfato de calcio hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Pero podemos encontrar referencias a objetos realizados en alabastro que realmente están realizados con otro material, en la mayoría de los casos por travertinos. Los travertinos son materiales calcáreos de colores claros (blanco, marrón claro u oscuro) y aspecto bandeado que al trabajarlo presentan características similares al alabastro yesoso, ya que son translucidos y su color puede llegar a ser blanco aunque varía entre distintas tonalidades ocres, su composición es carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Conocido generalmente, para diferenciarlo del alabastro yesoso como alabastro oriental o egipcio. Ya que fue utilizado en Egipto de forma destacada para la elaboración de los vasos canopos que eran utilizados para contener las vísceras de los difuntos durante y después del proceso de momificación. Incluso en ocasiones se utiliza en referencia al ónice, ya que en algunos casos puede presentar tonos claros. Aunque el más conocido es el ónix de color negro, este material presenta una amplia gama de colores que van desde el negro al verde y entre ellas hay variedades de colores blancos y marrón claro, su composición es óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ).

Encontramos el término de alabastro o alabastrita al designar al material utilizado para realizar los frascos que guardaban perfumes, según aparece en el libro 36 de La Historia Natural de Plinio el Viejo. Este autor también cita que el término alabastro, recibe el nombre de la ciudad egipcia de Alabastron o Alabastra de cuyas canteras se extraía la alabastrita u ónice, material que era muy apreciado para la realización de los frascos usados para contener ungüentos y perfumes. Su uso fue bastante generalizado, tanto que el nombre de *alabastron* se utiliza para referirse a algunos recipientes utilizados en Egipto y Grecia para contener perfumes o ungüentos, cuya morfología se caracteriza por presentar un cuerpo alargado con un cuello estrecho y un extremo redondeado, y puede estar realizado con diversos materiales desde alabastro (en este concreto se podía tratar tanto de yeso, travertino u ónice) hasta cerámica.

Para comprender la gran cantidad de materiales que reciben el nombre de alabastro, es necesario indicar que este término hasta el siglo XIX y principios del siglo XX, hacía referencia a ciertas características de los materiales, como su color blanco, translucidez, tamaño de grano fino, etc....No fue hasta ese momento en que se empezaron a conocer la composición química de los materiales, cuando se pudo diferenciar entre unos y otros comprobando que su origen y composición eran distintos.

Concretando más el modo en que en el presente trabajo se va a utilizar el término alabastro, es necesario señalar que dentro del material que desde el punto de vista geológico se denomina alabastro o alabastro yesoso, puede haber ciertas matizaciones. En este caso no son relacionadas con su composición química, si no en la textura del

material, propiedad la cual permite diferenciar el alabastro con el yeso de calidad estatuaria. Por lo que definimos el **yeso de calidad estatuaria** como aquel que posee ciertas cualidades como son su aspecto compacto, color, o facilidad para trabajarlo, que lo hacen apto para su uso como material estatuario, o como componente de construcción. Entre ellos está el alabastro *sensu stricto*, el yeso selenítico, el yeso lenticular o yeso bandeado compacto. Estos términos los trataremos con mayor detalle en el apartado de **1.4. Definición geológica del concepto de alabastro y propuesta de uso.**

Para profundizar en este tema, y aclarar las dudas que pudieran surgir al utilizar esta palabra, haremos una revisión de su significado desde el punto de vista etimológico, su uso como material de soporte de piezas artísticas junto a su evolución a lo largo de la historia y finalmente su significado desde el punto de vista geológico.

El término alabastro es un grecismo que el español tomó a través del étimo latino ALABASTRUM, vocablo con el que en latín se refería tanto al citado material como a un cierto tipo de vaso fabricado con esta piedra que servía para llevar perfume (Corominas y Pascual, 1980 - 1991). Por lo tanto, el ALABASTRUM designó tanto la materia como el objeto producido, acepciones que el español adoptó de su lengua originaria (Ortiz-Cruz, 2018).

En la actualidad la definición que encontramos en el Diccionario de la Lengua Española desde 1992 describe el alabastro como "*variedad de piedra blanca, no muy dura, compacta, a veces traslúcida, de apariencia marmórea, que se usa para hacer esculturas o elementos de decoración arquitectónica*". Aunque también se mantiene la referencia al recipiente para contener perfumes o ungüentos "*vaso de alabastro sin asas en que se guardaban los perfumes*".

Significado similar al que podemos ver en el diccionario del uso del español de María Moliner 4ª edición 2016, define alabastro como "*Piedra blanca variedad de yeso, translúcida, bastante blanca y fácil de tallar, que se emplea en escultura*" también diferencia entre alabastro oriental y alabastro yesos aunque sin hacer referencia a su composición química.

## **1.3. Usos artísticos del Alabastro: Desde la Antigüedad al Arte contemporáneo**

### ***1.3.1. Uso del alabastro en la Antigüedad***

Desde el punto de vista histórico – artístico centrándonos en la región de Aragón, vemos su uso en época romana en toda la zona del v

alle medio del Ebro como demuestran su utilización en los yacimientos Celtíberos con influencias romanas del Cabezo de Alcalá (Azaila, Teruel) destruido durante las guerras

Sertorianas en el 75 a. C, en la que se ha encontrado diversas piezas realizadas en este material como pesas de telar, pequeñas aras o soportes rituales, estos hallazgos están incluido en el libro de Beltrán Lloris (1976). También hay vestigios de su uso en los Museos del Foro, del Puerto Fluvial, de las Termas publicas y del Teatro de Caesaraugusta, e incluso en la muralla de romana de la actual Zaragoza fueron utilizados como sillares bloques de alabastro.

### ***1.3.2. Edad Media***

De la época visigoda (Siglos VI y VIII d. C.) se han encontrado sarcófagos trapezoidales tallados en alabastro con tapas también de este material, conservados en el Museo de Borja (Zaragoza).

Ya en la etapa musulmana, se pueden encontrar algunas pequeñas obras depositadas en el Museo del Teatro Romano de Zaragoza o como elementos de construcción en el Palacio islámico de la Aljafería. Recientemente se realizaron excavaciones en Rodén, dejando a la luz los restos de taller de alabastro (Fanlo *et al.*, 2018) datado por carbono 14 como del siglo XI.

Durante el Gótico, Siglos XIV y XV será el material preferido en Aragón para diversos proyectos artísticos. Algunos de los ejemplos más destacables son el sepulcro del arzobispo Lope Fernández de Luna, realizada por el escultor Pere Moragues entre 1376 y 1382, actualmente ubicada en la Parroquieta de San Miguel arcángel de la Seo, y realizada con alabastro procedente de las canteras de Beuda. En el Museo de Zaragoza se expone el sepulcro de Pedro Fernandez de Híjar y Navarra, realizado hacia 1400 en alabastro procedente de las canteras del Valle medio del Ebro, concretamente de Escatrón. Pero la pieza de mayor relevancia de este periodo realizado en alabastro es el retablo Mayor de la Catedral del Salvador de Zaragoza, iniciado en 1434 y finalizado en 1480. Realizado por los escultores Pere Johan, Franci Gomar, Ans Piet Dantzer y Gil Morlanes el Viejo, el alabastro procedía de las canteras de Gelsa (Lacarra, 1999).

### ***1.3.3. Edad Moderna***

El Renacimiento fue la época de máximo esplendor del empleo de alabastro en el mundo artístico aragonés. Ejemplos destacables de este periodo son los retablos mayores del Pilar de Zaragoza (1509 - 1518) y de la Catedral de Huesca (1520 - 1532) realizados por el taller de Damián Forment con alabastro procedente de las canteras de Gelsa. Otros ejemplos importantes son las fachadas monumentales de la Colegiata de Santa María en Calatayud realizada con alabastro de Fuentes de Jiloca y la de la Iglesia de Santa Engracia en Zaragoza donde se empleo alabastro de Gelsa. También fue destacado su uso en sepulcros, algunos de los ejemplos son el retablo-sepulcro del arzobispo don Hernández de Aragón y su madre doña Ana de Gurrea, que se encienta en la capilla de San Bernardo en la Seo de Zaragoza, o el sepulcro de Juan de Lanuza, virrey de Aragón, conservado en parte en el Castillo calatravo de Alcañiz (Teruel) en

ambos casos el alabastro utilizado procedía también de las canteras del Valle medio del Ebro. Podemos encontrar varios ejemplos dentro de la arquitectura civil como son las portadas y patios de los palacios, como el caso del patio de la casa de Gabriel Zaporta, conocida también como patio de la infanta o la portada de la casa de don Pedro Martínez de Luna actualmente sede del Tribunal Superior de Justicia de Aragón en Zaragoza.

Ya en el Barroco siglos XVII y XVIII se fue utilizando cada vez menos el alabastro, y la sustitución del alabastro por el mármol. También es posible que una de las razones por las que se empleó menos en Aragón el alabastro en las obras a partir de 1610 fuera la expulsión de los moriscos, dado que eran los que vivían en las localidades próximas a esas canteras (Valle medio del Ebro) (Morte, 2018). Una excepción la representa la cripta –panteón de los Lastanosa (1645-1681) casi toda de alabastro extraído en de las canteras de la Sierra de Alcubierre y a finales del siglo XVII el cuerpo principal de la portada de a capilla de Santa Isabel Infanta de Aragón, realizada con alabastro y yeso de calidad estatuaria, estos bloques de color marrón fueron traídos de las canteras de Borja (Boloqui, 2019).

#### ***1.3.4. Arte Contemporáneo***

En los siglos XIX y XX el alabastro fue menos utilizado aunque algunos escultores como Eduardo Chillida decidió a explorar las posibilidades plásticas del alabastro. (Castán, 2018).

En época más reciente, también se ha utilizado el alabastro como revestimiento de exteriores, como son el caso del edificio de la CREA (Confederación de Empresarios de Aragón) en Zaragoza, diseñado por el arquitecto José Manuel Pérez Latorre, para ser el pabellón que representó a Aragón en la Explosión Universal de Sevilla (1992), y que posteriormente en 1998 se trasladó a Zaragoza donde ha sufrido problemas de deformación de las placas (Gisbert, J.; Galarreta, 2015). Donde posteriormente se volvió a recurrir a este material para el recubrimiento de la fachada de la Estación Intermodal Zaragoza-Delicias que se inauguró en 2003, en este caso en el lado de la fachada orientado hacia el Oeste estas placas de alabastro se desplomaron (Gisbert, J.; Galarreta, 2015), por fortuna no hubo que lamentar ninguna víctima por este incidente. Este material también se utilizó en la restauración del Palacio de los Condes de Sástago, donde ubicado en la calle del Coso de Zaragoza, ya que originalmente presentaba partes esculturales como parte de la fachada y las columnas del patio central de alabastro, se continuó utilizando este material. Y dentro de Aragón también se utilizó para la construcción del Centro Comarcal del Bajo Martín que fue inaugurado en 2012. En estos casos las placas procedían de las canteras del Valle medio del Ebro (Quinto, Gelsa)

Fuera de Aragón se ha utilizado el alabastro para recubrir la fachada de uno de los edificios del Gobierno de La Rioja, el de la Consejería de Administración Pública

construido en 2003, y que a partir de 2012 se empezaron a detectar problemas en las fachadas con orientación Oeste, en las que las placas se fracturaban y combaban (Equipo Arbotante / Geotransfer, 2016). En Granada se ha utilizado este material en el hotel “Palacio de los Patos”, como revestimiento del edificio de nueva planta ubicado frente al palacio del siglo XIX, este diseño fue ideado por Xavier Claramunt en Agosto de 2005.

Dentro del territorio aragonés, también se ha intentado impulsar la artesanía en alabastro, para que artistas dentro de la comunidad puedan poner en valor el alabastro. Ya que la mayor parte del alabastro que se extrae en Aragón se exporta a diversos lugares, donde es procesado y adquiere un mayor valor de mercado. Bajo estas premisas en el año 2003 se inauguró el *Centro Integral del Alabastro* en la localidad de Albalate del Arzobispo, un complejo de edificios financiados a través del *programa LEADER*, concebidos y equipados para convertirse en un centro tecnológico, de investigación y formación entorno al sector del alabastro (Martínez, 2018). Todo ello con el objetivo de poner en valor el alabastro en la tierra de donde procede.

## **1.4. Definición geológica del concepto de alabastro y propuesta de uso**

### ***1.4.1. Significado geológico***

Desde un punto de vista geológico el término alabastro hace referencia a una de las texturas que pueden presentar las rocas compuestas por yeso. Generándose esta textura tras la hidratación de una roca anhidrítica previa, y se aplica el término de alabastro para definir a los yesos que la presentan. Esta textura se caracteriza porque está constituida por cristales de forma irregular y con tamaños muy variables, aunque predominan los de dimensiones inferiores a 100  $\mu\text{m}$ .

El componente mineralógico fundamental del alabastro yesoso es el yeso,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , una sal de sulfato cálcico que presenta en su estructura dos moléculas de agua. Este mineral, que se caracteriza por su escasa dureza, representa del 95 al 99 % de la mayoría de los alabastros yesosos y el resto está constituido por impurezas de anhidrita, arcillas, carbonatos, etc, que son los responsables de las variaciones naturales de color del alabastro (Mandado, 2018).

### ***1.4.2. El origen del alabastro***

En la naturaleza el yeso precipita por diversos mecanismos, siendo el más habitual la precipitación química a partir de salmueras o soluciones salinas por un proceso de evaporación simple, los yesos formados por estos mecanismos son yesos primarios. Pero también encontramos yesos que posteriormente a su formación, ha sufrido procesos de recristalización o de deshidratación-hidratación, se denominan yesos secundarios.



De modo que según el tipo de textura de los cristales que componen la roca, podemos tener yesos primarios, que son aquellos que mantienen la estructura o textura generada por el medio sedimentario en el que se formaron, y los yesos secundarios, que después de sufrir los procesos diagenéticos han modificado completamente su estructura o textura inicial (Fig.1.4.1).

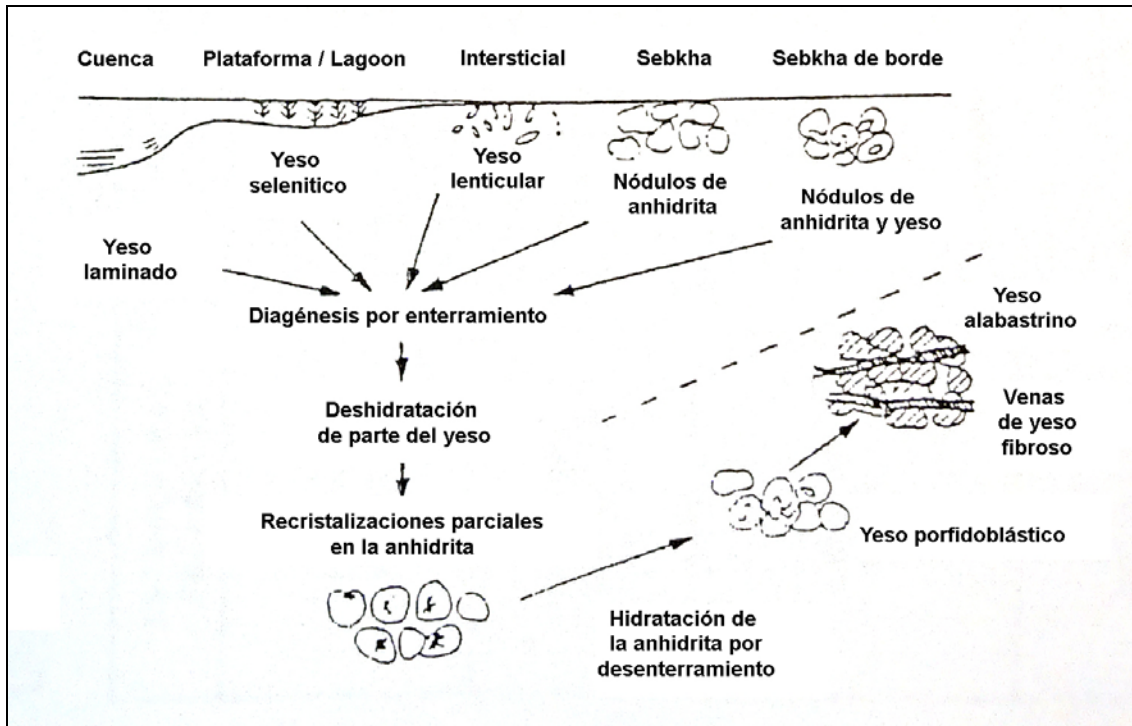


Fig.1.4.1. Ciclo yeso – anhidrita, mostrando los cambios texturales y mineralógicos que se producen. Modificado de Tucker, 2001.

En el yeso primario en función de las texturas podemos conocer las características del medio sedimentario en el que precipitaron. Por ello diferenciamos los yesos que se han formado en lagos salinos y sebjas marinas. Por un lado tenemos el yeso formado bajo lámina de agua y los que precipitan en la zona vadosa. Los primeros presentan cristales de yeso que pueden llegar a tener grandes dimensiones y una textura interna en forma de espina, este es el yeso selenítico. Mientras que en la zona vadosa, dentro de los sedimentos empapados en el agua procedente de la salmuera que se encuentran en la zona de borde del cuerpo de agua, el agua que asciende por capilaridad entre el sedimento. Es aquí donde se evapora y alcanza la sobresaturación, dando lugar a cristales con morfología lenticular, similares a los yesos de las rosa del desierto, y, excepcionalmente, cuando las condiciones de aridez son extremas, puede llegar a precipitar anhidrita, que se dispone en forma de nódulos, a menudo de grandes dimensiones que pueden llegar a alcanzar escala métrica.

En los yesos secundarios, como es el caso del alabastro, las texturas que presentan se producen cuando los depósitos de yeso van quedando enterrados, tal como describió (Murray, 1964). En el proceso de enterramiento el yeso primario ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) pierde

las moléculas de agua de su estructura por el incremento de presión y temperatura, convirtiéndose en anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) y, durante el enterramiento, la presión y temperatura crecientes modifican la anhidrita, que va adquiriendo texturas cada vez más densas, destruyéndose las texturas primarias. Al invertirse el ciclo de enterramiento, ya sea por erosión de los materiales suprayacentes o debido a procesos tectónicos, los niveles con anhidrita comienzan a encontrarse cada vez más próximos a la superficie, con lo cual la presión disminuye y además entran en contacto con el agua del nivel freático. Lo que provoca que la anhidrita vuelva a hidratarse, convirtiéndose en yeso secundario (Fig.1.4.2).

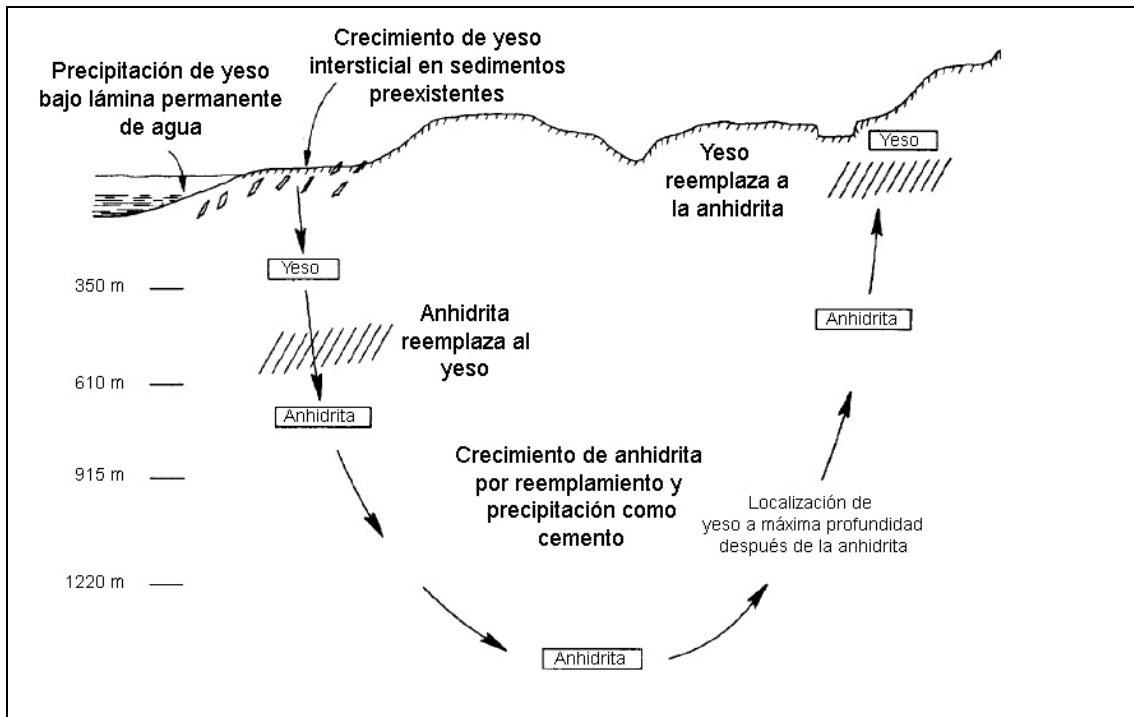


Fig.1.4.2. Ciclo yeso – anhidrita, mostrando las distintas fases por las que pasa un depósito de yeso durante el proceso de enterramiento - desenterramiento. Modificado de Murray, 1964.

Este proceso se realiza por lo general en una roca rígida, sometida a una presión confinante, y por un mecanismo de disolución-precipitación simultáneos; es decir, la anhidrita se disuelve en el agua de infiltración y vuelve a precipitar como yeso; ahora bien, la molécula de yeso es mucho más voluminosa que la precursora de anhidrita y, por lo tanto, el yeso secundario formado no cabe en el espacio dejado por la anhidrita que se disuelve, por lo que los cristales de yeso que se forman tienen que competir por el espacio, de ahí la textura que se genera, con cristales fuertemente interpenetrados. Aún así hay un excedente de salmuera saturada en yeso, con una elevada presión hidrostática, que, por lo general, llega a fracturar la roca y se inyecta como venas de yeso fibroso en las rocas suprayacentes. Si el proceso de hidratación se produce muy lentamente, a profundidades del orden del centenar de metros o más, la penetración del agua es lenta y los primeros cristales de yeso que se forman tienen tiempo a desarrollarse, adquiriendo formas cristalinas perfectas y tamaños grandes; pero si se

produce de forma rápida, el tamaño cristalino será muy reducido y la textura final estará constituida por un fino entramado de cristales que se entrecruzan y fuertemente interpenetrados, el auténtico alabastro (Mandado, 2018).

Otro mecanismo de alteración que puede afectar tanto a yesos primarios como secundarios, es la exposición prolongada a la luz solar o las precipitaciones, en el primer caso se genera sobre la superficie expuesta un aumento de la temperatura, y la recristalización del material, perdiendo la textura alabastrina y generando un mosaico de cristales de mayor tamaño que componen el yeso sacaroideo. Si son las precipitaciones las que afectan al yeso, se produce una disolución del material, y la pérdida de parte de su volumen, que también afecta a su integridad estructural.

### ***1.4.3. Yesos de calidad estatuaria***

Denominamos yesos de calidad estatuaria a todas aquellas variedades de yeso que han sido utilizadas para la elaboración de piezas artísticas, o como elementos de construcción. Todas ellas tienen en común su estructura compacta, lo que le confiere resistencia, aunque hay otras características, que son propias de una u otra de las variedades de yeso, pudiendo ser tanto yesos primarios como secundarios.

#### **1.4.3.1. Yesos primarios**

✓ ***Yeso selenítico:*** Esta variedad de yeso fue utilizada durante época romana, como vidrios, ya que son totalmente transparentes y translucidos. En algunos casos los cristales llegan a alcanzar gran tamaño, como en los yacimientos próximos a Cuenca (España), donde hay canteras de época romana donde se extraía esta variedad de yeso, conocida como *Lapis specularis*, de cuya existencia habla Plinio el Viejo “*la specular, a la que también se califica como piedra, tiene unas características que permiten cortarla con mayor facilidad en láminas todo lo finas que se quiera. Antiguamente sólo se encontraba en la España Citerior, y no en toda ella, sino exclusivamente en un área de cien mil pasos alrededor de la ciudad de Segóbriga (Saelices (Cuenca, España)). [...] En la comarca de Bolonia, en Italia, se encuentran en forma de pequeños cordones adheridos a rocas de sílice, y ambas piedras parecen muy similares. En España la piedra specular se extrae de pozos muy hondos; también se la encuentra en el interior de otra roca, bajo tierra, de donde se extrae el bloque entero o se corta;*” En Bolonia en la actualidad podemos ver esta variedad de yeso selenítico en las torres Garisenda y Asinelli construidas en el siglo XIV.

✓ ***Yeso lenticular:*** Encontramos evidencias del uso de este tipo de yeso en las canteras históricas de la localidad de Borja (Zaragoza, España). Al igual que en numerosas portadas y zócalos de esa misma localidad, también en Zaragoza hay un ejemplo de la utilización de esta variedad de yeso, en la Portada de la Iglesia parroquial de Santa Isabel de Portugal. Se caracteriza por ser un material de color oscuro, no

translucido, muy compacto. Aparece en niveles estratiformes y continuos. Junto con el yeso lenticular, también suele haber porcentajes elevados de carbonatos.

#### **1.4.3.2. Yeso secundario**

✓ **Yeso alabastrino:** Por lo tanto, las rocas que denominamos alabastro son yesos secundarios que han sufrido este ciclo enterramiento-desenterramiento, y presentan texturas alabastrinas, dominan los cristales menores de 100  $\mu\text{m}$ . Su adecuación al uso como material de calidad estatuaria, está condicionado a la pureza del material, siendo seleccionados principalmente para esta actividad los bolos que presentan menor cantidad de impurezas o venas de arcillas, y de color blanco. También es importante el tamaño de los bolos, entre 70 a 150 centímetros de diámetro en la zona del Valle medio del Ebro y en la cuenca de Calatayud. Estas características son apreciadas porque cuantas menos impurezas tenga, será más fácil trabajar el material sin que se fracture, en relación al color se suele seleccionar preferentemente el blanco, y el diámetro de los nódulos está directamente relacionado con el tamaño de las piezas realizadas, que dependiendo de su envergadura pueden necesitar uno o más bloques obtenidos de los nódulos. Ejemplos de su uso los encontramos en los retablos Mayores de La Seo y El Pilar en Zaragoza, o el de la Catedral de Huesca.



## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE TRABAJO**

El presente trabajo de tesis doctoral, se ha desarrollado dentro de un equipo multidisciplinar, lo cual se refleja en las distintas metodologías utilizadas para su desarrollo, en las que se han unido las propias de Geología con las de Historia del Arte, teniendo como uno de los objetivos principales el análisis y estudio de las piezas artísticas realizadas en alabastro y la caracterización del material con el que están realizadas para conocer su procedencia. Centrándonos en el estudio de piezas artísticas hechas principalmente en Aragón desde la Edad Media hasta la Edad Moderna, junto con la localización y caracterización del alabastro de canteras históricas, tanto en Aragón como de otras comunidades autónomas cercanas, La Rioja, Navarra, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana y Cataluña.

De este modo, la parte del equipo formada por geólogos han realizado las tareas de caracterización del material, tanto procedente de canteras como de las propias piezas artísticas, y los historiadores del arte han realizado la labor de recopilar toda información documental presente en los distintos archivos y registros, en los que había referencias sobre la elaboración de las obras de arte y de las canteras históricas. La combinación de estas metodologías, se producía en el estudio de las piezas *in situ*, comprobando su naturaleza alabastrina, su estado de conservación y realizando estudio tanto histórico-artístico como del material.

Para profundizar con más detalle en las distintas metodologías de trabajo, vamos a describir cada una de ellas, y finalmente la parte de trabajo conjunto en las propias piezas artísticas.

### **2.1. Metodología de trabajo en geología**

La metodología aplicada en la parte de geología, se basa principalmente en conocer las características de los alabastros procedentes de distintas canteras y buscar las más relevantes en cada caso, que nos puedan ayudar a diferenciar unas de otras. Para ello hemos empleado descripciones *de visu*, petrográficas, análisis geoquímicos y medidas de luminiscencia del alabastro.

#### ***2.1.1.-Técnicas usadas para la identificación de los mármoles***

En la ponencia presentada por Josep Gisbert y Alicia Muñoz en el I Congreso Internacional “Usos artísticos del alabastro y procedencia del material” (Gisbert y Muñoz, 2018), se presentó un repaso de las técnicas utilizadas para la identificación de mármoles, que podían ser susceptibles de aplicar en el caso del alabastro. Ya que la literatura, y los estudios sobre este material son mucho más extensos que para el alabastro, se tomó como punto de partida, a la hora de aplicar técnicas para identificar la procedencia del material.

Se realizó un listado de los parámetros empleados en la identificación de procedencia de mármoles, y su comparación con las que podemos emplear para el alabastro:

1.-*Bandeados/discontinuidades*: Se usan en las descripciones básicas y en algunos casos son muy características.

2.-*Color*: La identificación con espectrofotómetro se ha empleado con mármoles blancos para distinguir los mármoles de Carrara de otros mármoles usando tan sólo la luminosidad (Zezza, 1999; Zezza *et al.*, 1999).

3.-*El olor fétido*: Es una variable que suele ser constante, al menos a escala de cantera, y frecuentemente a escala regional. Se presenta en contadas ocasiones por lo que se convierte en un interesante parámetro discriminatorio. Rara vez se han analizado los componentes que lo producen (Cramer *et al.*, 2009).

4.-*La mineralogía*: Es un buen elemento de comparación, aunque en los mármoles el componente mayoritario se limita generalmente a calcita y dolomita. Son frecuentes los minerales accesorios, aunque los elementos traza más comunes presentes en los mármoles (grafito, cuarzo, moscovita/sericita, apatito, feldespatos) se encuentran en la mayoría de los mármoles aunque puede variar su concentración (Lazzarini *et al.*, 1980). También hay casos como las plagioclasas de Carrara o la Epidota de Naxos que son de gran utilidad así como sus composiciones químicas, y que resultan útiles en la discriminación.

5.-*La descripción textural básica (petrografía y microscopía electrónica)*: Es el elemento más empleado: Tamaño de grano, tipo de contactos entre los granos, elongación de los mismos, deformaciones intragranulares, etc. El tamaño máximo de grano (MGS: main grain size) es un parámetro sencillo, que es el primero en orientar hacia las posibles procedencias de la pieza (Moens *et al.*, 1988). Históricamente fueron los primeros datos en utilizarse y constituyen la principal información acumulada para cotejar la procedencia de las piezas (Rodolico, 1952; Pieri, 1964; Gorgoni *et al.*, 2002; Capredi y Venturelli, 2004).

6.-*La catodoluminiscencia*: o luminiscencia al vacío de la roca por bombardeo de electrones ha sido utilizada para el estudio de rocas carbonatadas y posteriormente se aplicó al estudio de restos arqueológicos (Marshall y Mariano, 1988; Barbin *et al.*, 1992, 1995; Blanc, 1999; Pagel *et al.*, 2000). Puede suministrar hasta tres variables características:

- a) El color de emisión, que varía en función de las impurezas o defectos de los cristales.
- b) Una intensidad de emisión
- c) Unas texturas peculiares y sólo visibles por catodoluminiscencia.

7.-*La ESR o resonancia del espín electrónico*: Es una propiedad física que depende de los elementos metálicos que están en sustitución del calcio y magnesio en la red de la calcita, así como de los defectos cristalinos (Mandi *et al.*, 1992; Polikreti y Maniatis, 2002; Attanasio, 2003). Esta propiedad (en estos momentos la más discriminante), si la consideramos aisladamente, suele tener un valor relativamente constante a nivel regional y es por ello de gran interés. En esta determinación se miden dos variables distintas: la intensidad de la respuesta y el valor de intensidad del campo magnético SPLI donde se produce la respuesta. Otra gran ventaja de esta técnica es la poca cantidad de muestra requerida para cada ensayo (30mg).

8.-*El estudio geoquímico de elementos traza*: Tuvo en la década de 1980 un período de auge (Germann *et al.*, 1988; Cramer *et al.*, 2004, 2009), pero los numerosos análisis que se hicieron fueron constatando que el método no era operativo fundamentalmente por dos razones:

a) En muchos casos los minerales que acumulan a los elementos traza tienen una variabilidad centimétrica o métrica, con lo cual el volumen de roca para asegurar la repetitibilidad/homogeneidad de resultado es muy grande e inviable para las piezas artísticas.

b) Muchas piezas artísticas han estado períodos prolongados a la intemperie donde la contaminación atmosférica provoca una importante modificación de su geoquímica de detalle, especialmente en la superficie que es donde pueden muestrearse.

A pesar de estos inconvenientes hay algunos autores que han seguido realizando estos análisis, de elementos metálicos (Fe, Sr, Ba, Mg y Mn), principalmente en combinación con otras técnicas como señala Matthews (1997) al completar la base de datos sobre canteras clásicas iniciada por Herz una década antes.

9.- *El estudio geoquímico tierras raras*: Se ha empleado puntualmente ya que es menos sensible a los dos inconvenientes citados para los elementos traza. No obstante su alto coste y relativa escasa relevancia discriminatoria, hace que no sea un método excesivamente empleado (Mello *et al.*, 1988; Moens *et al.*, 1989; Meloni *et al.*, 1995; Matthews, 1997).

10.-*Análisis en isótopos de carbono y oxígeno*: Ha sido la técnica más exitosa, nacida a finales de la década de los 70s (Craig y Craig, 1972; Manfra *et al.*, 1975; Germann *et al.*, 1980; Herz, 1985), sigue empleándose de manera generalizada a pesar de ser sólo útil en casos muy concretos en los que la variabilidad de cantera es pequeña y la composición isotópica no se solapa con otras canteras. Para aunar los datos recopilados por los distintos autores Herz (1987) realizó una base de datos de las canteras clásicas griegas y romanas.

En los trabajos recientes se pone de manifiesto, que se obtienen mejores resultados combinando los datos petrográficos, geoquímicos, físicos e isotópicos, tal y como se



refleja en el trabajo de los siguientes autores (Lazzarini y Antonelli, 2003; Carroll *et al.*, 2008; Cramer *et al.*, 2004, 2009; Brilli *et al.*, 2015; Royo, 2016).

### ***2.1.2. Adaptación de los criterios al caso del alabastro***

No es posible aplicar todas las técnicas descritas anteriormente, al estudio del alabastro, ya que debido las diferencias químicas y físicas entre el mármol y el alabastro, algunas de estas técnicas, como la catodoluminiscencia y el ESR dañarían el material sin proporcionar ningún resultado fiable. Y otras, como en el olor no se han apreciado diferencias (Gisbert and Muñoz del Pozo, 2018).

Durante el desarrollo de la tesis doctoral y de los dos proyectos a los que he estado asociada, las técnicas que hemos utilizado para la identificación de la procedencia del alabastro son las siguientes:

*1- Color:* Aunque generalmente el alabastro es de color blanco, también podemos encontrar variedades con tonos amarillos o marrones. La dificultad de utilizar esta propiedad del material, radica en que el color original material con el que se realizó la pieza puede quedar enmascarado por tratamientos que haya recibido la pieza, como barnices, o la propia suciedad. Además, cuando el alabastro sufre una exposición prolongada a la luz solar, se produce un proceso de recristalización del material. Perdiendo completamente la translucidez y adquiriendo un color blanco lechoso, que varía sustancialmente del blanco original, en el caso de alabastros oscuros, el material se vuelve más oscuro y opaco. Este proceso es más acusado/intenso si además concurren humectaciones periódicas. Los colorantes orgánicos también tiñen al alabastro hasta varios cm de profundidad en un proceso de “difusión” ultramicroscópica del colorante.

*2- Translucidez:* Esta propiedad del alabastro, nos permite, al aplicar un punto de luz blanca ver su estructura interna, en forma de bandeados/nodulizaciones/texturas con distinta traslucidez. Esta pauta puede variar según la facies del estrato y la cantera de procedencia. A estas estructuras las denominamos “patrones de nodulización/bandeado por translucidez o patrones de transmisión” y están originadas por cambios texturales en los cristales de yeso.

*3- Texturas de bandeados-Nódulos-Discontinuidades:* El alabastro en el Valle medio del Ebro, se extrae principalmente en forma de grandes nódulos englobados en una matriz arcillosa. Los tamaños de estos nódulos, su morfología, las venas de arcilla que presenta en su interior, y los bandeados internos, son los “patrones de nodulización/bandeado por reflexión” o “patrones de reflexión” que pueden aportar información de su lugar de procedencia.

*4- La descripción textural básica (petrografía y microscopía electrónica):* La descripción petrográfica de láminas delgadas mediante el microscopio petrográfico, también nos puede aportar información útil. Emplearemos el tamaño de los cristales,

forma, tipo de contactos, las inclusiones, el porcentaje de cristales porfídicos, de cristales con textura alabastrina (C.E.N.U., subidiomorfa, microcristalina), carbonatos y presencia de otros minerales accesorios como anhidrita y celestina (con sus respectivos hábitos/tamaños).

5- *Análisis geoquímico*: La composición química del alabastro, es sulfato de calcio hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), en su estructura interna el calcio (Ca) puede ser reemplazado en algunos casos por estroncio (Sr) o bario (Ba), elementos que pueden aparecer también en mineralogías propias (serie celestina-baritina). El Sr y el Ba son elementos que informan sobre la génesis de los yacimientos de sulfatos, como es frecuente que cada yacimiento tenga condiciones geoquímicas específicas durante su formación la concentración de estos elementos puede proporcionarnos información sobre su origen. Varios autores han realizado estudios sobre los elementos menores y traza presentes en los yesos (Valyashko, 1956; Stewart, 1963; Butler, 1973; Dean, 1978; Fort y Bustillo, 1986; Kasprzyk, 1994).

6- *Estudio de la luminiscencia*: Es posible identificar la respuesta del material a la exposición de luz blanca (todo el espectro visible) de alta intensidad, y observar el color de la radiación que emite y su duración, fosforescencia. Este método está en desarrollo, aunque se han observado resultados que son alentadores, y animan a un estudio en profundidad de la técnica.

7- *Análisis de isótopos*: Como en el caso anterior, las variaciones en la composición isotópica (S, O, Sr) nos puede proporcionar información sobre la cantera de procedencia. Esta es la técnica, utilizada principalmente por otros autores que trabajan en temas relacionados (Gale *et al.*, 1988; Costagliola *et al.*, 2001; Ligęza *et al.*, 2001; Playà *et al.*, 2012; Kloppmann *et al.*, 2014, 2017).

### ***2.1.3. Metodología de las Técnicas aplicadas***

Las técnicas utilizadas durante el desarrollo de la tesis son las siguientes que se desarrollan ampliamente en el **capítulo IV. Técnicas aplicadas**. Aunque antes de centrarnos en ellas es necesario conocer los criterios de selección de las muestras de canteras en las que han sido aplicados.

#### **2.1.3.1. Localización de las canteras históricas**

Se han localizado varias canteras históricas, combinando la información procedente de registros históricos referentes a la ubicación de las canteras en la comunidad de Aragón que podemos encontrar en los trabajos Morte (2018) donde hace referencia a las canteras del Valle medio del Ebro y Fuentes de Jiloca y Boloquí (2018, 2019) que habla sobre la procedencia del alabastro empleado de varios proyectos artísticos tanto en Zaragoza como en Huesca, cuyos materiales provienen de Épila y Fuendetodos en el primer caso, y de la Sierra de Alcubierre en el segundo. También hay referencias a las

canteras de alabastro presentes en Cataluña en el trabajo de Ortí Iglesias (2005). Y en la zona de Valencia hay constancia de su uso y sobre las canteras de las que fue obtenido (Arciniega García, 2018; Martí, 2018).

La información sobre la ubicación de las canteras históricas o de las zonas de extracción activas desde época medieval hasta la Edad Moderna, se utiliza de manera conjunta a la obtenida a través de mapas geológicos y trabajos previos realizados en las zonas de estudio. Con el objetivo de localizar geográficamente y conocer el contexto geológico de las canteras de alabastro históricas y también de aquellas en explotación actualmente.

Se visitaron las siguientes canteras o zonas susceptibles de haber albergado explotaciones de alabastro: Fuentes de Ebro, Escatrón, Sástago, Gelsa, Quinto de Ebro, Azaila y Velilla (Valle medio del Ebro); Fuentes de Jiloca, Rueda de Jalón, Leciñena y Albalate del Arzobispo (en las cuencas de los ríos Jiloca, Jalón, Gállego y Martín, respectivamente); a las que habría que añadir las pedreras de Borja. Todas ellas están en la provincia de Zaragoza, excepto las de Albalate del Arzobispo localizadas en la provincia de Teruel. El modo de trabajo consistió en realizar una descripción de los afloramientos, tomar muestras de las diferentes variedades presentes en los afloramientos o canteras y de las arcillas que las engloban. Estas canteras son generalmente a “cielo abierto”, a excepción de las de Rueda de Jalón y las de Fuentes de Jiloca en el período invernal, que se explotaron en galerías.

Para distinguir los alabastros de los yacimientos aragoneses de aquellos procedentes de fuera de este territorio, se visitaron las canteras de Ablitas - Monteagudo en Navarra, Cogolludo en Guadalajara y de Autol en La Rioja, Niñerola-Picassent en Valencia, Beuda, Igualada-Odena y Sarral en Cataluña, con la consiguiente toma de muestras y estudio del afloramiento. Además, contamos con muestras de alabastros de las canteras de Volterra en Italia.

Al igual que en las obras artísticas, se ha elaborado una ficha para cada una de las canteras donde figuran los datos de las muestras que se han tomado, las descripciones *de visu* y petrográficas, análisis de geoquímica y patrones de translucidez, junto con la descripción de los materiales que aparecen en la cantera, los niveles que se explotan, y el mapa geológico de la hoja de la serie MAGNA.

### **2.1.3.2. Criterios de selección**

Para la selección de las muestras se han tenido en cuenta varios aspectos como son la las ubicaciones según fuentes documentales de las canteras explotadas en período histórico, las variedades presentes en cada cantera y en la zona geográfica donde se ubica. Los depósitos evaporíticos presentes en cada zona y las características del material que de allí se puede extraer.

Gracias al trabajo de investigación llevado a cabo por los historiadores del arte que forman parte del equipo de investigación del proyecto, hemos podido conocer el nombre

de las canteras de las cuales, se realizaban los encargos para la elaboración de los distintos proyectos artísticos realizados en alabastro. Ya fueran para retablos, monumentos funerarios o esculturas de culto de carácter doméstico. A modo de aclaración, es importante saber que en ocasiones el nombre que se les daba a las canteras era el de una localidad, pero realmente no hacía referencia solo a la localidad, sino también a toda la zona colindante. De este modo se amplía el área del cual puede proceder. Un ejemplo lo encontramos el caso de Gelsa, las canteras del Valle medio del Ebro, que aparece reiteradamente en los documentos y generalmente hace referencia al conjunto de explotaciones que había en los municipios cercanos como: Velilla de Ebro, Quinto, Azaila, La Zaida.

Al hablar de alabastro, nos referimos a una roca evaporítica sumamente susceptible a la meteorización, en concreto a los procesos de disolución siendo su solubilidad de 2,1 gr/l a temperatura ambiente y de 2.57 gr/l a 50°C. También es sensible a la exposición directa de la luz solar, que provoca un aumento de temperatura en la superficie del material que tiene un efecto deshidratante. En estas zonas pueden llegar a alcanzarse temperaturas de hasta 65°C, lo que favorece la transformación de los cristales de yeso a basanita con la subsiguiente pérdida de volumen, disminución de la cohesión y progresivo deterioro de la piedra (Gisbert, J. y Galarreta, 2015). En relación a esta característica del yeso, se ha podido comprobar que cuando se emplea en exteriores, su orientación es determinante para su grado de conservación. Siendo la orientación más perjudicial Sur o Suroeste, ya que recibe de modo directo toda la insolación del sol vespertino.

Por lo tanto a la hora de seleccionar las muestras se ha intentado, siempre que ha sido posible tomar muestras procedentes de canteras actualmente en explotación, y en los casos en los que en que no se ha podido, la muestra ha sido tomada de corte fresco. Debido a esta facilidad para meteorizarse, y por el uso continuado en los territorios de las explotaciones, no ha sido posible localizar los frentes de canteras históricas, ya sea porque estos frentes han desaparecido por el uso continuado de las canteras o por que cuando terminaron los trabajos de extracción de dichas canteras, estos frentes se degradaron por acción de la meteorización. Lo cual imposibilita la localización las canteras históricas de las que se extrajeron los nódulos de alabastro utilizados para realizar las piezas artísticas, aunque si se han tomado muestras pertenecientes a los mismo niveles.

A la hora de seleccionar las muestras para estudiar se han tenido en cuenta los criterios que utilizaban los escultores para seleccionar el material empleado en sus obras. Siendo elegidos bloques preferentemente grandes de color blanco, y con la menor cantidad posible impurezas. Ya que estas podían ser un problema durante el proceso de tallado. También se han buscado las distintas variedades de alabastro o yeso de calidad estatuaria que fueron utilizados en la elaboración de piezas artísticas.

### **2.1.3.3. Identificación macroscópica (*visu*)**

#### *2.1.3.3.1. Preparación de muestras*

La elaboración de las preparaciones para descripciones macroscópicas o *de visu* se ha realizado en el *Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros del SAI de la Universidad de Zaragoza*, en modalidad de autoservicio.

Para realizar estas preparaciones que denominamos secciones pulidas, primero se realiza una selección de las muestras tomadas de campo. Para ver cuáles son las que resultan representativas de los materiales presentes en la cantera o afloramiento natural de donde se han tomado las muestras. Para ello se utilizan porciones de roca con tamaños de 20 x 10 x 2 cm, como medidas ideales, aunque no siempre es posible obtener estas dimensiones ya que existe la limitación impuesta por la propia geometría de la muestra tomada en campo. Se intenta obtener la mayor superficie posible para observar las estructuras internas de la muestra. Posteriormente se pule con carborundo 30µm hasta obtener una superficie fina y pulida. No hemos aplicado ningún barniz, cuando ha sido necesario, para apreciar la textura de la roca, se ha humedecido la superficie pulida con un paño mojado agua. Aunque el yeso es un material altamente soluble al ser utilizada poca cantidad de agua y de modo puntual esto no ocasiona daños a las muestras.

#### *2.1.3.3.2. Estudio de las mismas*

El estudio de las muestras se ha llevado mediante la observación directa de las mismas, para medir su color de modo cuantitativo se ha utilizado un espectrofotómetro modelo X – *Rite Ci62*. También se han descrito las dimensiones de las estructuras internas (bandedados, nódulos, facturas...) y medido el grado de translucidez de modo cualitativo, mediante la aplicación de un punto de luz blanca y observando la distancia que alcanza la difusión de la luz dentro del alabastro.

### **2.1.3.4. Microscopía óptica y electrónica**

#### *2.1.3.4.1. Preparación de muestras*

La elaboración de las preparaciones para microscopio o láminas delgadas de alabastro se ha realizado en el *Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros del SAI de la Universidad de Zaragoza*.

Para realizar las preparaciones, primero se realiza una selección de las muestras recogidas en las sesiones de campo. Para eligiendo las que resultan representativas de cada variedad. Las muestras se cortan en porciones con tamaños de 40 x 20 mm, que posteriormente se desbastan hasta alcanzar los 0,03 mm de espesor. Debido a la condición particular del alabastro, se han realizado con alguna modificación del protocolo habitual que utiliza agua durante el proceso de pulido. A causa de la elevada

solubilidad del material, fue necesario emplear taladrina y anticongelante en lugar de agua durante el proceso de desbaste/pulido.

Algunas de las preparaciones para microscopio, se seleccionaron para ser estudiadas con microscopio electrónico. Para observar los materiales mediante este aparato, es necesario que las muestras sean recubiertas por un material que las haga conductoras. Hay dos tipos de recubrimiento de las muestras en alto vacío, uno de ellos es el “Sputtering” de oro, que se utiliza cuando se quieren obtener imágenes de alta calidad, o por hilo de carbono cuando lo que se requiere es realizar microanálisis por rayos X. En nuestro caso las muestras se recubrieron por carbono, con el objetivo de poder realizar análisis semicuantitativos de la composición química de los minerales. Este recubrimiento se realizó en el *Servicio de Microscopia Electrónica de Materiales del SAI de la Universidad de Zaragoza*.

#### 2.1.3.4.2. Estudio de las mismas

✓ **Microscopio petrográfico:** Las láminas delgadas se han analizado en el microscopio petrográfico Carl Zeiss JENAPOL con luz paralela y con nicols cruzados (luz polarizada), para el reconocimiento de las especies minerales presentes en la muestra y el porcentaje de cada una de ellas. Al igual que su forma y tamaño, el contacto entre los cristales y presencia de minerales accesorios. Las láminas que contenían carbonatos han sido tenidas con alizarina.

✓ **Microscopio electrónico:** Las muestras recubiertas con carbono se analizaron con Microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) Carl Zeiss MERLIN™, en el *Servicio de Microscopia Electrónica de Materiales del SAI de la Universidad de Zaragoza*. Para ver la morfología de los cristales de yeso alabastrino, principalmente tipo C.E.N.U., y de celestina. También se realizaron análisis puntuales en cristales de yeso, celestina, calcita principalmente gracias a los detectores de electrones secundarios y retrodispersados en la cámara y en la columna (in-lens). Para conocer su composición química y la relación de los elementos presente dentro de los diferentes minerales, se realizaron mediciones de la dispersión de los electrones mediante el detector EDS para análisis de la energía de los Rayos X dispersados INCA 350 de Oxford Instruments con resolución en energía de 127 eV a 5.9 KeV.

En muchas ocasiones para saber con seguridad que tipo de carbonato es el que estamos viendo es necesario conocer su composición química. Y en este apartado surgieron algunos problemas, ya que los resultados de los análisis mediante espectrometría por dispersión de energías de rayos X, presentaban interferencia debido a la absorción por parte de los carbonatos del pegamento utilizado para fijar la muestra a la pletina de cristal que la soporta. Por este motivo varios de los análisis realizados sobre estos materiales presentan contaminaciones. Esta misma problemática se ha repetido en los análisis realizados sobre los minerales de la arcilla y los óxidos.

## 2.1.3.5. Geoquímica

### 2.1.3.5.1. Preparación de muestras

Para llevar a cabo los análisis en primer lugar se seleccionaron varias muestras representativas de cada cantera estudiada, con pesos unitarios entre 400 a 200 gramos que fueron trituradas y molidas con un molino de aros de ágata del *Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros del SAI de la Universidad de Zaragoza* en modalidad de autoservicio hasta obtener un polvo fino tamizado con una luz de malla de 0.063 mm.

Una vez prepara la muestra se procedió al ataque con ácido clorhídrico (HCl) en el Laboratorio de Geoquímica del Departamento de Ciencias de la Tierra, de cada muestra de cantera se tomaron 0.25 gr de cada muestra que fueron atacadas con 100 ml de ácido clorhídrico (HCl) al 1N a 60°C durante 60 minutos con agitador.

También se aplico otra técnica de digestión para las muestras yesíferas como es el ácido etilendiaminotetracético (EDTA) al 0.2 M a 40°C durante 60 minutos con agitador, con valores de pH entre 10 – 11. Para comprobar que método resultaba más adecuado para atacar las muestras, en vistas de los resultados se decidió atacar las muestras con HCl en vez de con EDTA.

De estas preparaciones se determino el residuo insoluble (R.I.), por gravimetría del residuo resultante tras el ataque que es recogido en los filtros. Para ello se coloca todo el material insoluble procedente de cada muestra dentro de un crisol de porcelana y se calienta a 800°C durante 90 minutos. La ganancia de peso que haya en el crisol expresado en porcentaje, en función del peso de la muestra previo al ataque, representara el contenido en R.I.. Que corresponde a la fracción de minerales arcillosos y detríticos presentes en la muestra.

El análisis del contenido en carbonato presente en las muestras se ha realizado mediante pérdida de peso por combustión. Se parte de la muestra solida en polvo, la cual se somete de forma sucesiva a 200°C, 500°C y 900°C. Estos valores están relacionados con la temperatura a la que arde la materia orgánica 200°C, cuando se produce la pérdida total de agua 500°C, y finalmente la calcinación del carbonato 900°C. La muestra se lleva hasta esas temperaturas y se pesa, de este modo según las variaciones en la masa nos indicaran el contenido en materia orgánica, agua y carbonato.

La preparación de las muestras para los análisis químicos y la obtención del contenido de R.I., materia orgánica, agua y carbonato se realizaron en el *Laboratorio de Geoquímica del Departamento de Ciencias de la Tierra*.

Los análisis de la composición química de roca total, para conocer la concentración de los elementos Sr y Ba, se realizó mediante un espectrofotómetro de emisión atómica

(ICP-OES) modelo *Thermo Elemental IRIS Intrepid*. Estos análisis se hicieron en el *Servicio de Análisis Químico del SAI de la Universidad de Zaragoza*.

#### *2.1.3.5.2. Estudio de las mismas*

##### *2.1.3.5.2.1. Análisis por espectrometría por dispersión de energías de rayos X (EDS)*

Se analizaron 20 muestras aplicando la espectrometría por dispersión de energías de rayos X (EDS). Como se explico en el apartado 4.2. Microscopía Óptica y Microscopía Electrónica, esta técnica permite realizar análisis cualitativos y cuantitativos de los elementos presentes en los minerales la muestra, con un margen de error de hasta un 20% aproximadamente (Martinez, 2010).

##### *2.1.3.5.2.2. Elementos presentes en las muestras*

###### *2.1.3.5.2.2.1 Contenido en R.I.*

El residuo insoluble (R.I.) lo consideramos como un porcentaje proporcional de los minerales arcillosos y detríticos que componen la muestra y son insolubles. Es un valor proporcional porque que durante el ataque con HCl a las muestras una proporción variable de estos componentes pueden pasar a la solución, siendo que se desconoce el valor del factor de disolución (Mandado, 1987). Representa el contenido en material detrítico (cuarzo, minerales de la arcilla, óxidos).

###### *2.1.3.5.2.2.1 2. Contenido en carbonato*

La cantidad de carbonato presente las muestras nos muestra el porcentaje de este componente que tenemos. Los valores se presentan porcentaje de CO<sub>2</sub>

Al realizar su determinación por el método de pérdida de peso por ignición también obtenemos los valores del porcentaje materia orgánica (M.O.) y agua (H<sub>2</sub>O) presentes en la muestra.

Al utilizar esta metodología de ignición hay que tener en cuenta que las pérdidas o ganancias de peso que se producen en los minerales arcillosos, sulfatos y óxidos de hierro por las pérdidas de agua estructural, oxidaciones, volatilizaciones, etc..... sobretodo cuando los materiales que acompañan al carbonato tienen un comportamiento termogravimétrico (Mandado, 1987).

###### *2.1.3.5.2.2.1. 3. Elementos menores y traza*

###### *2.1.3.5.2.2.3. Elementos obtenidos por EDS*

El análisis cuantitativo elemental mediante espectrometría por dispersión de energías de rayos X (EDS) nos permitió conocer los valores, aunque tuvieran cierto margen de error



hasta un 20% según algunos autores, de las concentraciones de diversos elementos tanto mayores O, S, Ca, C, como menores y traza Sr, Mg, Mn, Na, Ba, Fe, Al, Si, Cl, Zn. Los valores vienen expresados en porcentaje en peso ajustado al 100% del total de la muestra.

No son valores absolutos, pero sí que permiten precisar la relación entre el Sr y Ba en los cristales de yeso y celestina, y concretar la especie mineral en los minerales de la arcilla y carbonatos analizados.

#### *2.1.3.5.2.2.2. Estroncio*

Como hemos visto en el apartado de introducción este elemento tiene implicaciones geoquímicas en los materiales evaporíticos. Este catión puede reemplazar al Ca dentro de la estructura del yeso. Aunque el aporte de Sr también puede proceder de los carbonatos tanto como de los sulfatos, en este grupo incluimos también a la celestina (SrSO<sub>4</sub>).

#### *2.1.3.5.2.2.3. Bario*

El Ba es uno de los elementos traza que encontramos en los yesos, e igual que en caso del Sr, el catión de bario puede sustituir al Ca dentro de la estructura del yeso.

#### *2.1.3.5.2.3. Justificación metodología utilizada*

Como ya hemos indicado anteriormente, en el presente trabajo se ha utilizado el análisis geoquímico de elementos menores y traza por espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES) como una de las técnicas empleadas en la determinación de procedencia de piezas artísticas realizadas en alabastro. Con el objetivo de desarrollar una metodología experimental para conocer la procedencia de este material, ya que las técnicas más comúnmente utilizadas como son los análisis de las señales isotópicas de ciertos elementos principalmente el azufre, oxígeno y estroncio debido a limitaciones de fondos no fue posible aplicar.

#### *2.1.3.5.2.3.1. Estroncio y Bario*

En concreto se han analizado las concentraciones de los elementos menores y traza, de Estroncio (Sr) y Bario (Ba) respectivamente. Se han seleccionado estos dos elementos debido a que son unos de cationes que podrían entrar en la red del yeso, que según los análisis que realizó Mandado (1987) en el Terciario de la Cuenca media del Ebro, el Ca<sup>2+</sup> puede ser reemplazado o formar sulfatos propios por Sr<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup> y Fe<sup>2+</sup>. Este autor también señala la relación entre el Sr y el Ba, después de aplicar ecuaciones de regresión múltiple en diferentes elementos, tanto el Sr como el Ba son mutuamente interdependientes.

#### 2.1.3.5.2.3.1.1. Bario

Durante el transcurso de los análisis realizados en el caso del Ba, no fue posible obtener su concentración en todas las muestras analizadas debido al límite de detección de este elemento dentro de método de medición utilizado (ICP-OES), ya que en algunos casos este límite de detección imposibilitaba que pudiéramos conocer la concentración de Ba en la muestra.

#### 2.1.3.5.2.3.1.2. Estroncio

En el caso del Sr su concentración no ha representado ningún obstáculo a la hora de obtener valores de concentración, aunque existe cierta discusión entre los autores de si la procedencia del Sr proviene directamente del yeso o procede de la celestina ( $\text{SrSO}_4$ ).

El Sr es un elemento utilizado en estudio de materiales evaporíticos, ya que es un catión susceptible de sustituir al Ca dentro del yeso, también por aporta información sobre los procesos diagenéticos que han sufrido los materiales, e incluso hay estudios que asocian determinadas texturas a mayores o menores concentraciones de este elemento. Los primeros estudios en el campo del empleo del Sr como indicador del proceso diagenético fue (Murray, 1964) al describir los procesos diagenéticos por los que el yeso se transforma en anhidrita e viceversa observando variaciones texturales y composicionales.

Posteriormente (Fort y Bustillo, 1986) estudiaron los procesos fraccionamiento durante la evolución diagenéticas y cómo influye por el contenido de elementos traza como el Sr en materiales evaporíticos de la Cuenca de Madrid. También se aplicó esta relación entre elementos traza como el Sr para diferenciar dos unidades salinas nuevamente en la Cuenca de Madrid (Ordóñez *et al.*, 1989). Los criterios de distribución de Sr en depósitos de yeso en Sur de Polonia fueron usados por (Kasprzyk, 1994) para diferenciar entre diferentes texturas de yeso, y como las concentraciones de Sr en el yeso pueden variar durante la diagénesis y estar relacionadas con los cristales de celestina.

Algunos autores han incluido el isótopo de  $\delta^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  junto con los isótopos de  $\delta^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ,  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  para identificar procedencias de obras de arte en Francia, Alemania, Bélgica y España (Kloppmann *et al.*, 2014, 2017).

Existen trabajos como (Playa y Rosell, 2005) en los que tratan de desarrollar una metodología analítica para que no exista esta influencia de la celestina en las concentraciones de Sr analizadas. Ya Mandado (1987) indicaba que las concentraciones de Sr obtenidas en los análisis de muestras del Valle del Ebro podían proceder en parte de la celestina.

En nuestro caso, esta metodología no se ha aplicado, porque que la mayor o menor presencia de Sr puede ser indicativo de procedencia, ya que como hemos comprobado la

cantidad de celestina observada en laminada delgada es uno de los criterios de identificación para las muestras de alabastro. Si el estudio estuviera centrado en conocer la fase diagenética del yeso, sí que sería interesante conocer la cantidad de Sr procedente del yeso y la cantidad procedente de la celestina, pero en nuestro caso la cantidad de Sr presente en la muestra nos aporta información tanto si procede de la celestina como si su origen es el yeso.

Los valores de las concentraciones de Sr y Ba en las muestras se ha representado gráficamente mediante el *software Grapher 10*, obteniendo gráficas que permiten junto con el estudio de los valores brutos, máximos y mínimos de las concentraciones de los elementos en ppm, comparar los datos procedentes de las distintas canteras para encontrar dominios que definen y diferencian unas procedencias de otras.

### **2.1.3.6. Fosforescencia**

#### *2.1.3.6.1. Preparación de muestras*

La elaboración de las preparaciones para estudiar la fosforescencia se ha realizado en el *Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros del SAI de la Universidad de Zaragoza*, en modalidad de autoservicio. Se han empleados las muestras preparadas para las descripciones *de visu* que denominamos secciones pulidas.

De este modo podemos comparar las observaciones realizadas con luz natural, con las que aparecen tras someter las muestras a una fuente luz intensa e instantánea.

#### *2.1.3.6.2. Estudio de las mismas*

Las mediciones de la fosforescencia presente en las muestras, se ha realizado mediante un sistema de caja oscura. Es necesario que la muestra se encuentre en total oscuridad tras la exposición al foco de luz para poder recoger la fosforescencia emitida por el material.

Para realizar estas mediciones se ha empleado un flash modelo Metz 30BCT4 Mecablitz, el flash emite una luz con suficiente intensidad para excitar los electrones de la muestra y el tiempo de emisión es muy corto. La imagen se recoge mediante una cámara deportiva GoPro National Geographic Full HD ActionCam, la resolución de la cámara es de 12 MP y el formato en que se guarda la secuencia *\*avi* con una resolución de 1920x1080 píxeles, a la velocidad de fotograma de 30 f.p.s. La cámara esta calibrada con una serie de 12 patrones de color para confirmar la correcta medida de las coordenadas  $L^*a^*b^*$  y se encontró que la desviación promedio en  $L^*$  fue del 15% para el iluminante D65-2° (Gisbert *et al.*, 2019).

## **2.2. Metodología de trabajo en el campo histórico-artístico: documentación escrita, fuentes gráficas y análisis de las obras**

Por parte de la Historia del Arte se ha realizado una compilación de la documentación y la bibliografía sobre las piezas artísticas realizadas en alabastro, los escultores y sus talleres así como de las canteras de las que procedía el alabastro con el que trabajaban.

### ***2.2.1. Fuentes y recursos***

En la comunicación presentada por Alicia Muñoz y Elena Andrés en el XXII Congreso Nacional de Historia del Arte “Vestir la Arquitectura” (Muñoz y Andrés, 2018), se recogen las diferentes metodológicas empleadas por los historiadores del arte del equipo, que ahora procedo a citar.

En primer lugar se consultaron las fuentes bibliográficas tanto relacionadas con las canteras de alabastro, comercio y transporte del material, talleres que lo trabajan y de manera esencial se examinó la bibliografía general para la localización de las obras que se encuentran en Aragón y aquellas que están dispersas por la geografía española: Museos y Colecciones privadas. Además del catálogo de exposiciones y las publicaciones sobre patrimonio emigrado fuera de Aragón, Cataluña, Francia, Reino Unido o Estados Unidos.

Una parte importante para la obtención de esta información es el vaciado de los catálogos de subastas y las propias páginas de los museos españoles (museos europeos y americanos, sin olvidar las importantes bases de datos de algunos países de Europa, como la del Ministerio de Cultura francés y especialmente la base de datos Joconda, siendo un catálogo que reagrupa a más de 500.000 objetos de todo tipo, entre ellos, los artísticos, ofreciendo un impresionante enlace con todo tipo de catálogos colectivos, tales como los fondos de los museos franceses, europeos e internacionales. Esto podría completarse con la consulta de la base de datos del portal del patrimonio cultural europeo, Europeana.

La labor de consulta bibliográfica, también se realizó a través de los catálogos de bibliotecas nacionales e internacionales publicados por internet, y consultando los repositorios y bases de datos de artículos: Gredos, Academia.edu, E-lis, Google Académico, Google Books, Dialnet, Biblioteca Nacional de España, Bibliothèque Nationale de Francia (Gallica) o Base de datos Worldcat. Otras consultas se hicieron en el colectivo de las Universidades españolas (REBIUN), en el Catálogo Colectivo de la Red de Bibliotecas del CSIC, y en la Biblioteca Virtual de CSIC.

Las fuentes documentales abarcan la abundante documentación transcrita y editada o accesible como fuentes primarias en diferentes archivos. La consulta ha sido de manera preferente en Zaragoza: Histórico de Protocolos Notariales, Diputación de Zaragoza, Histórico Provincial, Diocesano y Capitulares de La Seo y del Pilar, así como el

Diocesano de Tarazona y el Archivo de Protocolos de Calatayud. En Huesca cabe destacar el Archivo Histórico Provincial (donde se han recopilado los protocolos de la ciudad y la provincia) y el Archivo Catedralicio, así como el Diocesano y el de la Catedral de Jaca.

Por otra parte también ha sido de gran utilidad la consulta en la red de la web DARA (Documentos y Archivos de Aragón). A la consulta de los fondos de los archivos mencionados, se unen los archivos municipales, parroquiales, conventuales o privados como el del palacio de los Condes de Bureta (Zaragoza) o el Archivo de las Baronas de Valdeolivos (Fonz, Huesca). Fuera de Aragón, la consulta se ha desarrollado en Madrid, concretamente en el Archivo Histórico Nacional, y en Barcelona en el Archivo de la Corona de Aragón. Para estos dos últimos, también ha facilitado la búsqueda la consulta en la red de PARES (portal de Archivos Españoles). De todos los documentos extraídos se ha llevado a cabo el correspondiente análisis, además de revisar los ya publicados.

Por otra parte, se han tenido en cuenta las fuentes impresas y manuscritas que también nos han proporcionado datos de obras, artistas y canteras. En esta investigación documental se han analizado además las fuentes gráficas: dibujos, pinturas y archivos fotográficos antiguos para poder identificar obras vendidas o desaparecidas en diversas circunstancias. En cuanto a la consulta de las imágenes fotográficas, que como documento histórico constituyen una fuente de información importante del patrimonio cultural perdido, enajenado o transformado.

### ***2.2.2. Trabajo de campo***

El trabajo de campo es tarea imprescindible para elaborar un inventario del patrimonio artístico de las obras hechas en alabastro y destinadas a Aragón o a otros lugares con el mineral procedente de las canteras aragonesas.

#### **2.2.2.1. Estudio de las obras artísticas “Visita a museos”**

*In situ* se ha estudiado todo lo relacionado con la escultura y el relieve -funeraria, imágenes exentas, relieves, pilas benditeras, escudos y blasones-, con la arquitectura -patios y portadas de palacios, de iglesias, de capillas y portadas de vivienda-, resultando muy destacada la utilización del alabastro en los palacios renacentistas y barrocos de Zaragoza. Finalmente, un caso aparte lo conforman las vidrieras y cierres de ventanas en alabastro. En este trabajo de campo se visitaron necesariamente museos, numerosos monumentos religiosos (catedrales, iglesias, ermitas y capillas) y civiles.

En relación al material se han realizado descripciones y tomado fotos de detalle de las estructuras características del alabastro. Con el fin de profundizar en la caracterización del material, se observaron las piezas con una lupa digital (*DinoLite 2.0*), y se capturaron imágenes con una cámara de infrarrojos (*FLIR-T420*).

En las obras de especial relevancia, tanto histórica como desde el punto de vista geológico y siempre sin dañar su integridad física, se tomó una muestra menor de 1cm para su posterior estudio en el laboratorio. También se tiene en cuenta la translucidez del alabastro mediante la aplicación de uno o múltiples puntos de luz blanca para observar el patrón de translucidez del material.

De cada obra se ha elaborado una ficha con los siguientes datos: identificación, localización, descripción, clasificación, documentación, procedencia del alabastro (cantera), valoración, protección y estudios realizados. Se acompaña de una o varias fotografías. La catalogación es una herramienta imprescindible para la investigación, preservación y difusión. Los datos obtenidos se han pasado a la aplicación informática del programa FileMaker, que permite una rápida localización de la información y su revisión.



## CAPÍTULO III. SITUACIÓN GEOLÓGICA

### 3.1. Contexto geológico general de rocas evaporíticas en la península Ibérica

Los materiales evaporíticos que encontramos distribuidos en la península Ibérica, corresponden principalmente a dos periodos dentro del tiempo geológico que son el Mesozoico, más concretamente en el Triásico y durante el Cenozoico, entre el Eoceno Superior – Oligoceno y Mioceno. La presencia de evaporitas es reflejo de unas condiciones climáticas muy específicas ya que se desarrollan en momentos con gran aridez y elevadas temperaturas. En el caso de los materiales Triásicos se formaron en medios marinos someros, y en el Cenozoico son el reflejo de la transición de medios marinos someros a medios continentales como los materiales del Eoceno Superior – Oligoceno formados en condiciones marinas someras o con influencias marinas y finalmente el paso a medios lacustres correspondientes al Mioceno.

Varios autores han elaborado mapas con la distribución de los depósitos de yeso en la península Ibérica como el de (Riba and Vilar, 1962; Ríos, 1963) en los que se observaba que el 7% de los afloramientos en España corresponden a rocas evaporíticas (Fig.3.1.1), o los elaborados para representar las zonas afectadas por procesos de karstificación relacionadas con evaporitas (Gutiérrez *et al.*, 2001; Gutiérrez *et al.*, 2008), y más recientemente utilizando software de GIS a través de los datos de la serie MAGNA escala 1:50000 publicadas por el Instituto geológico y minero (IGME) que están incorporados dentro de GEODE, generados a partir de las mapas MAGNA para formar un mapa geológico continuo, con el objetivo de plasmar la distribución de las evaporitas en la península Ibérica en diferentes periodos geológicos



Figura 3.1.1. Mapa con la distribución de los depósitos evaporíticos en España de Ríos (1963).



### 3.1.1. Triásico

Durante el Triásico las cuencas sedimentarias con facies germánicas instaladas sobre la Placa Ibérica registraron varios episodios salinos comprendidos entre el techo de las facies Buntsandstein y la base de las facies del Lías. Las potencias de estas formaciones con cloruros oscilan entre varias decenas y varios centenares de metros y reflejan momentos de fuerte subsidencia diferencial, muy superior a la registrada durante los episodios carbonatados, facilitando así la sedimentación química en las cuencas (Ortí *et al.*, 1996).

Los materiales evaporíticos de edad triásica, son los más abundantes en España, en el caso de materiales bajo la superficie, y los segundos en relación a afloramientos. Ellos también han tenido un papel importante en la evolución tectónica durante la orogenia Alpina, apareciendo en todas las cadena montañosas con materiales mesozoicos (Escay *et al.*, 2012). En el caso de los materiales triásicos, la mayor parte de los mismos se encuentra en el subsuelo, razón por la cual el mineral predominante en estos casos son las rocas anhidríticas.

La facies Keuper (triásico superior) se componen principalmente por una sucesión de calizas, margas y yesos, presentando fuertes diferencias de potencia debidos a los cambios producidos por las deformaciones relacionadas con la orogenia Alpina (Arche *et al.*, 2002)

Las principales áreas receptoras de sedimentación salina triásica se muestran en la (Fig.3.1.4). Estas son: la cuenca Cántabro-Navarra, la cubeta de Ballobar (en la Depresión del Ebro), la cubeta del Maestrazgo, la cuenca de Valencia-Cuenca y el amplio dominio Prebético-Subbético. En general, la definición de estas cuencas salinas no siempre es precisa debido tanto a la insuficiente información de subsuelo disponible como a la frecuente acción distorsionadora del diapirismo y a la existencia de grandes áreas alóctonas (Surpirenaica y Subbética, principalmente) (Ortí *et al.*, 1996).

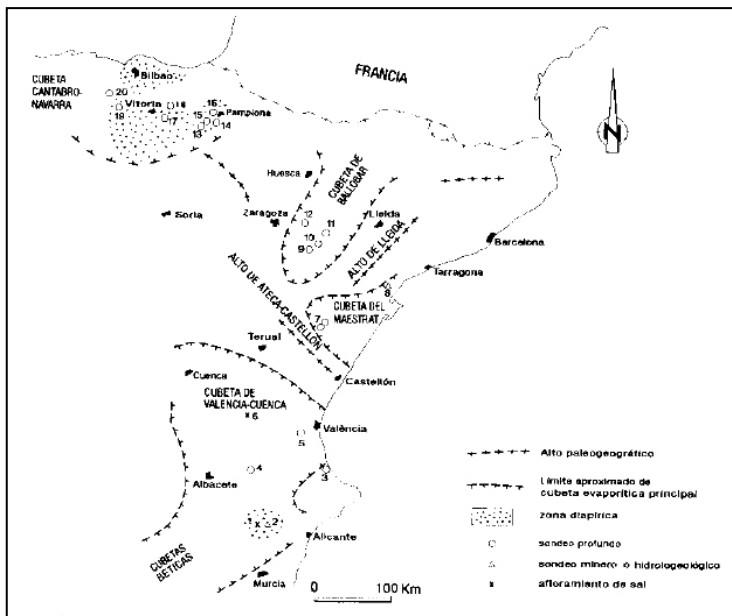


Fig.3.1.2. Esquema de situación de cubetas peninsulares durante el Triásico (Ortí *et al.*, 1996).

### 3.1.2. Cenozoico

Las cuencas cenozoicas, incluidas las portuguesas, cubren una amplia superficie de la Península Ibérica plasmada en una gran representación cartográfica (Fig.3.1.3.). Se encuentran en todo el territorio peninsular ocupando posiciones tanto interiores como epicontinentales cerradas o abiertas al Mediterráneo o Atlántico y con unas características estrechamente relacionadas con el proceso de su formación y su evolución posterior (Pardo *et al.*, 2004).

Las de mayor extensión reciben el nombre del río o cuenca fluvial principal que las drena (Tajo, Ebro, Duero, etc.). Otras reciben el nombre de las comarcas, localidades o poblaciones más importantes ubicadas en ellas, como Cerdanya, Coria, Calatayud, etc. La configuración actual de las cuencas cenozoicas es la respuesta final a la convergencia de las placas europea e ibérica, colisión de las placas ibérica y africana, giro de la península y cambio del régimen extensional mesozoico a compresional terciario (Pardo *et al.*, 2004).

Se observa que un grupo de cuencas están asociadas a los momentos compresionales, localizadas en la Cordillera Bética y Cadena Pirenaica. Son cuencas con un grado de deformación bastante elevado a lo largo del Terciario, por la tectónica alpina. Un segundo grupo, localizado paralelo a la costa mediterránea, está asociada a la etapa extensional oligocena-neógena, ligada a la creación y estructuración del surco de Valencia y con geometría de horsts y graben. Un tercer grupo de cuencas, con una baja o nula deformación tectónica y relacionadas con el Macizo Ibérico, son las cuencas interiores del Duero y Tajo, separadas por el Sistema Central o la del Guadalquivir, abierta al Atlántico o la cuenca del Ebro, al Mediterráneo (Pardo *et al.*, 2004).

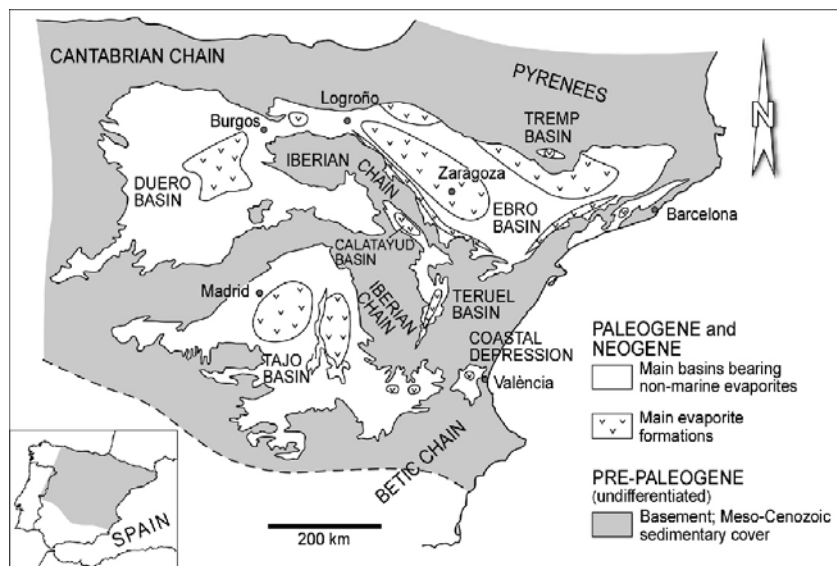


Fig.3.1.3. Distribución de las formaciones evaporíticas de las cuencas Paleógenas y Neógenas, en el centro y noreste de España (Ortí *et al.*, 2010).

### 3.2. Contexto geológico de las Cuencas evaporíticas estudiadas

Las canteras estudiadas durante el desarrollo de la tesis doctoral han sido las ubicadas en zona Noreste de la Península Ibérica. Las primeras canteras que se estudiaron fueron que se encuentran en el Valle medio del Ebro y en la cuenca de Calatayud. Esto fue durante el primer proyecto del MINECO “*El alabastro de las canteras históricas del Valle medio del Ebro como material artístico desde la baja Edad Media a la Edad Moderna y su estudio petrográfico-geoquímico*” HAR2012-32628. Conforme se avanzaba tanto en la identificación del alabastro procedente de estas canteras y en el estudio de las obras de arte aragonesas desde la Edad Media hasta la Edad Moderna, se confirmó la necesidad de ampliar la zona de estudio de las canteras de alabastro a regiones limítrofes como La Rioja, Navarra, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana y Cataluña. El proyecto “*Las canteras históricas de alabastro en Aragón y las limítrofes en La Rioja, Navarra y Valencia: Estudio histórico-artístico y petrográfico-geoquímico*” HAR2015-66999-P (MINECO) permitió continuar con esta línea de investigación.

Para conocer la procedencia de una obra de arte es necesario tener muestras de las canteras de procedencia, para realizar la comparación que confirme que proviene de una cantera u otra. En el siguiente mapa se muestran las canteras que se han estudiado (Fig.3.1.4.)

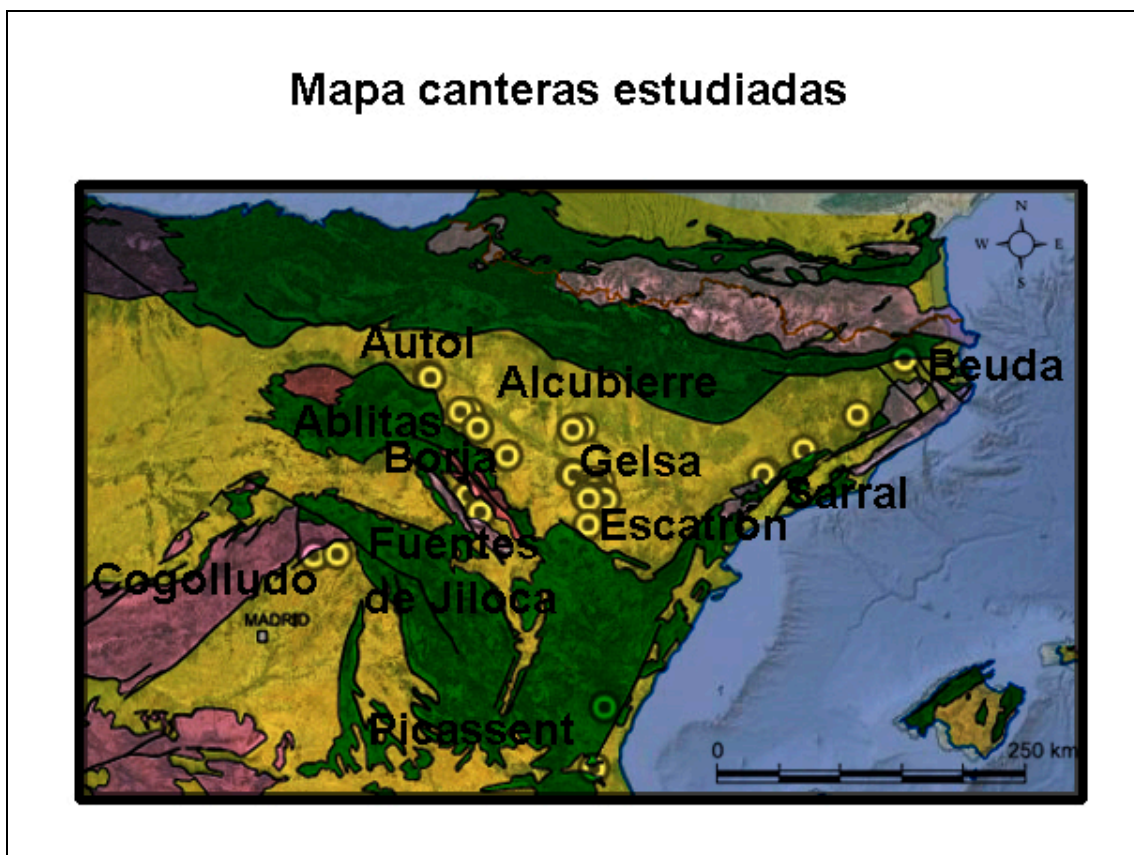


Fig.3.1.4. Ubicación de las canteras estudiadas dentro de las Cuencas Cenozoicas en el contexto estructural de la Península Ibérica (modificado de Pardo et al., 2004).

Las canteras de alabastro y yeso de calidad estatuaria estudiadas se sitúan en el sector NE de la península Ibérica. Principalmente corresponden a materiales evaporíticos formados en condiciones continentales durante el Mioceno, salvo las canteras de Beuda que son del Oligoceno formadas en condiciones marinas someras.

Al analizar la procedencia de las piezas estudiadas y las canteras de alabastro explotadas en época histórica, se aprecia que están ubicada en los materiales de edad Miocena, a pesar de que en estas regiones también hay abundantes afloramientos de yesos triásicos. La preferencia entre unos materiales y otros queda constatada, las razones para esta elección pueden tener en los tipos de afloramientos y los materiales presentes en unos y otros.

Los materiales triásicos corresponden facies evaporíticas Keuper, generalmente aparecen asociados a arcillas de tonos rojizos. Estos materiales han experimentado varios eventos tectónicos, tanto ligados a la extensión condición que domino en la península durante gran parte del mesozoico, y más recientemente a eventos compresivos ligados a la orogenia alpina, en los que el Keuper suele actuar como nivel de despeque de los cabalgamientos tanto en el Pirineo como en la cordillera Ibérica. Lo que nos indica que estos materiales aparecen deformados, con diferentes procesos de disolución – precipitación y englobados en una matriz arcillosa. Además parte de ellos ha sido reciclada, siendo el aporte principal de sulfatos en la génesis de las formaciones evaporíticas terciarias.

Por el otro lado los materiales evaporíticos miocenos, incluso los oligocenos de Beuda, aparecen menos tectonizados que los anteriores, en forma de grandes nódulos dentro de afloramientos en los que los estratos estas prácticamente horizontales. Lo que les permite conservar las características texturales y de pureza que era valorado y buscado en los alabastros. Los nódulos de alabastro una vez quitada la parte más superficial es un material compacto sin apenas impurezas y relativamente fácil de trabajar.

Esta podría ser la razón de que en España tienen materiales evaporíticos tanto triásicos como terciarios (Oligoceno - Mioceno), haya una clara predilección por los segundos, como podrían ser las características del material y las condiciones de afloramiento. Aunque sabemos que en otros países las unidades de las que se extrae el alabastro o yeso de calidad estatuaria son de edad triásica, como es el caso de Francia e Inglaterra. Pero como en España, cuando hay disponibles yacimientos más modernos, miocenos en este caso el alabastro es tomado de ellos, ejemplos son las canteras de Volterra y Sicilia en Italia, y los de la cuenca de antepaís de los Cárpatos en Polonia.

### 3.2.1. Cuenca del Ebro

La Cuenca terciaria del Ebro esta geográficamente enmarcada por los Pirineos, la Cordillera Ibérica y las Cadenas Costero-catalanas. De forma triangular, en su extremo occidental enlaza con la Cuenca del Duero. Representa la última fase de evolución de la cuenca de antepaís surpirenaica y sus límites y estructura actual se establecieron entre el Oligoceno superior y el Mioceno inferior (Pardo *et al.*, 2004). La geometría del relleno de la cuenca, presenta una forma de prisma abierto hacia el norte (Fig.3.1.7). Sobre esta superficie basal, el Terciario presenta una tendencia al solapamiento expansivo hacia el sur con los materiales más antiguos recubriendo tal superficie en el margen pirenaico y los más modernos hacia el margen ibérico (Riba *et al.*, 1983).

No obstante, la Cuenca del Ebro no es uniforme en sus rasgos, y puede dividirse en tres sectores sobre la base de la estructura, historia de la subsidencia y edad de los materiales aflorantes (Pardo *et al.*, 2004).

- ✓ Sector occidental del Valle del Ebro.
- ✓ Sector central o Valle medio del Ebro.
- ✓ Sector oriental del Valle del Ebro.

Estos son los sectores que utilizaremos para describir los materiales estudiados a lo largo del Valle del Ebro.

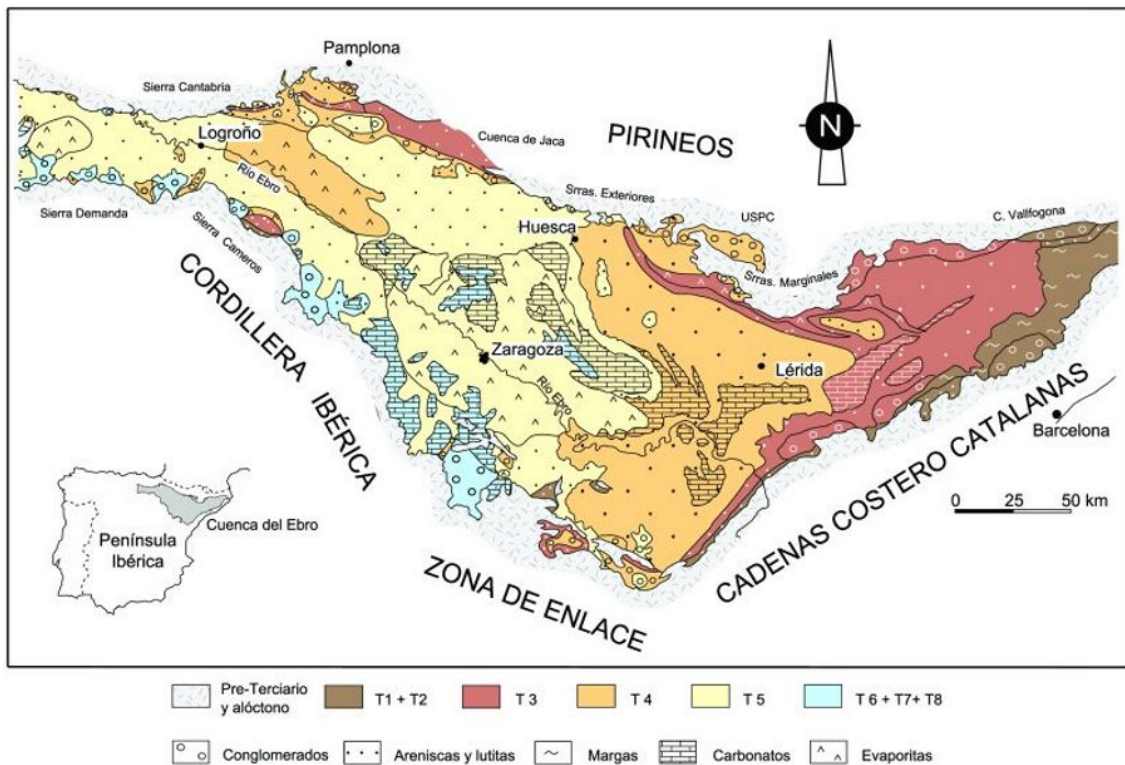


Fig.3.1.7. Mapa geológico de la Cuenca del Ebro (Pardo *et al.*, 2004).

### 3.2.1.1. Sector Occidental del Valle del Ebro

Es el sector Noroeste de la cuenca, englobando los materiales terciarios de Navarra y La Rioja (Fig.3.1.8.). Los márgenes norte y sur de la cuenca están constituidos principalmente por unidades detríticas gruesas, que forman potentes series de conglomerados y areniscas procedentes del desarrollo de sistemas de abanicos aluviales, Hacia centro de cuenca los conglomerados y areniscas pasan lateralmente y de forma rápida a facies detríticas finas (lutitas y areniscas), que constituyen las facies aluviales distales. Entre las lutitas se sitúan diversas unidades lacustres, que son de carácter principalmente evaporíticos en el Oligoceno y de carácter evaporítico o carbonatado en el Mioceno (Salvany, 1989a).

Se diferencian cuatro unidades evaporíticas, las muestras que se tomaron proceden de tres pequeñas subunidades yesíferas conocidas con los nombres de Monteagudo (Castiella *et al.*, 1978), Grávalos (Muñoz *et al.*, 1986) y Ribafrecha (Castiella *et al.*, 1978), que son correlacionables con las también pequeñas unidades yesífera aragonesas de Borja y Pozuelo (Salvany, 1989b).

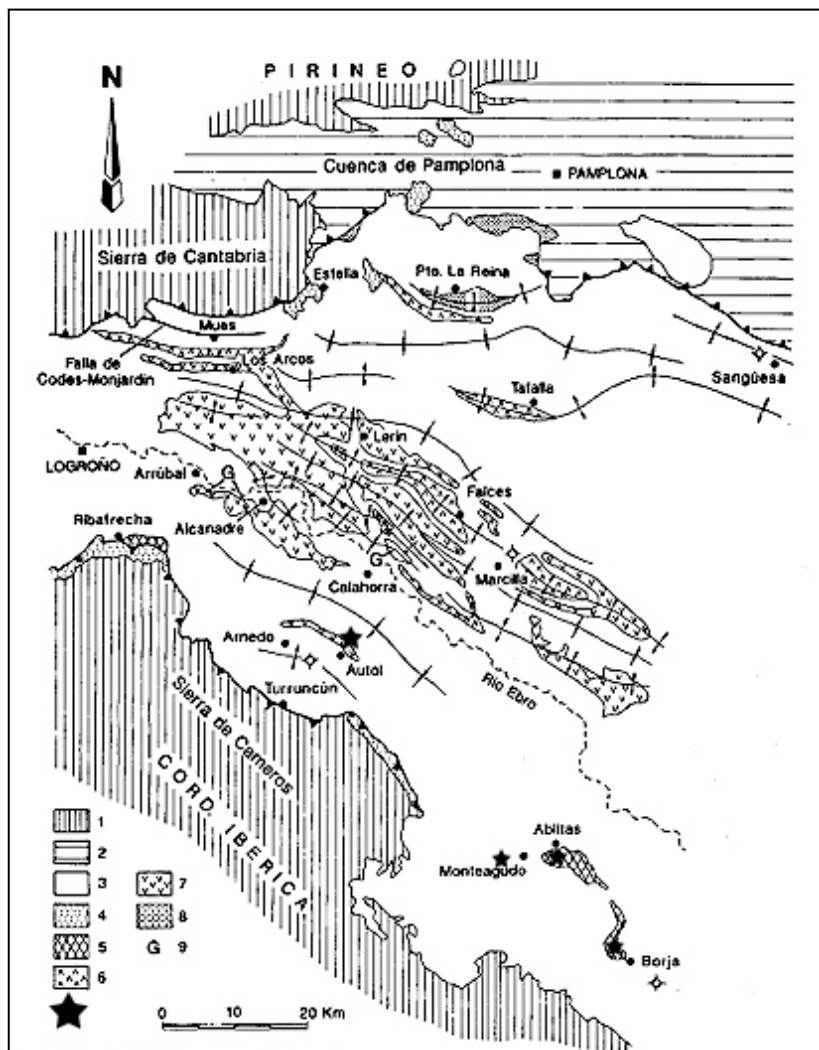




Fig.3.1.8. Mapa geológico del sector navarro-riojano de la cuenca del Ebro con situación de los afloramientos de las unidades evaporíticas del Terciario continental.



- 1: Mesozoica.
  - 2: Terciario marino.
  - 3: Terciario continental detrítico.
  - 4: Diapiros triásicos.
  - 5: Yesos de Monteagudo-Grávalos-Ribafrecha.
  - 6: Yesos de Falces.
  - 7: Yesos de Lerín.
  - 8: Yesos de Puente La Reina.
  - 9: Afloramientos de Glauberita.
- Estrella: Canteras muestreadas.  
Modificado de Salvany (1989b).



3.2.1.1.1. Autol



Ubicación	Se accede desde la AP-68, tomando la salida 16, sigue por N-232 hacia LR-115 hasta llegar a Autol.		
Coordenadas	Lat: 42° 12.960''N y Long: 1° 59.68''W Lat: 42° 12.944''N y Long: 1° 59.654''W		
Explotación activa	No	Empresa	
Concesión	Afloramiento		
Descripción material			
<p>Situación: S de la hoja 243, Calahorra, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>En frente de la gasolinera afloran evaporitas con alternancia de yesos y arcillas en bancos de 2 a 4 m. Los estratos de yesos son sacaroideos y margosos (con mucha impureza arcillosa) y con nódulos de alabastro de 0,5 a 1m de diámetro; hay también grietas verticales transversales con yesos fibrosos.</p> <p>Cerca del vertedero se pueden ver grandes estratos alternantes de yesos y arcillas en bancos de 2 a 3 m. Los estratos de yesos son sacaroideos y margosos (con impureza arcillosa) y con nódulos de alabastro de 0,5 a 1m de diámetro.</p>			
Muestras	AU-1, AU-2, AU-3, AU-4, AU-5, AU-6, AU-7		
			

3.2.1.1.2. Ablitas



Ubicación	Se accede desde la AP-68, tomando la salida 18 sigue por NA-3010 hasta llegar a Ablitas.		
Coordenadas	Lat: 41° 57.763''N y Long: 1° 37.119''W		
Explotación activa	No	Empresa	
Concesión	Cantera histórica "Las Yeseras" activa hasta mitad del Siglo XX		
Descripción material			
<p>Situación: NW de la hoja 320, Tarazona, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Afloran niveles de yeso de edad miocena nodulares alternando con arcillas marrones y grises, los nódulos de yeso llegan a alcanzar 80 cm de diámetro de color blanco. Crecimiento de venas de yeso fibroso afectando tanto a los nódulos de alabastro como a las lutitas englobantes.</p>			
Muestras	ABL-1, ABL-2, ABL-3, ABL-4		
			



3.2.1.1.3. Monteagudo

Ubicación	Se accede desde la AP-68, tomando la salida 18 sigue por N-121C hasta llegar a Monteagudo.		
Coordenadas	Lat: 41° 57.398 ''N y Long: 1° 41.840 ''W		
Explotación activa	No	Empresa	
Concesión	Cantera histórica "Las Yeseras" activa hasta mitad del Siglo XX		
Descripción material			
<p>Situación: N de la hoja 320, Tarazona, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Los materiales son la continuación lateral de los yesos presentes en la localidad de Ablitas, en este caso son materiales yesíferos de color marrón dispuestos en niveles estratiformes con espesores que llegan a superar el metro, con alternancia de arcillas y margas con disposición horizontal en niveles de 10 a 30 cm. Es yeso primario.</p>			
Muestras	MO-1, MO-2		
			

3.2.1.1.4. Borja

Ubicación	Se accede desde la AP-68, tomando la salida 19 sigue por N-122 hasta llegar a Borja. En el camino de las canteras al N de Borja.		
Coordenadas	Lat: 41° 50.871''N y Long: 1° 32.625''W		
Explotación activa	No	Empresa	
Concesión	Cantera histórica, camino de las canteras activas durante el Siglo XX		
Descripción material			
<p>Situación: SE de la hoja 320, Tarazona, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>En la muela de Borja afloran materiales evaporíticos. Los niveles de yeso que aparecen son de color marrón dispuestos en niveles estratiformes con espesores alrededor de 50 cm. Los niveles de yesos presentan pequeños nódulos blancos y venas de arcilla. Los yesos están intercalados con arcillas y margas dispuestos horizontalmente.</p> <p>Hay marcar de las labores de explotación de las canteras inactivas. Presencia de yeso especular.</p>			
Muestras	BO-1, BO-2, BO-4A, BO-4B, BO-5, BO-6, BO-7		
			

### 3.2.1.2. Valle Medio del Ebro

Este es el sector central o aragonés del Valle del Ebro. En esta área los materiales se disponen de un modo subhorizontal con escasa deformación. Las formaciones yesíferas que contienen los nódulos de yeso alabastrino, se encuentran en la Fm. Yesos de Zaragoza, definida por Quirantes (1978). Dentro de esta formación este autor define:

- ✓ **Yesos de Retuerca:** Se extienden desde las proximidades de Bujaraloz hasta cerca de Zaragoza, continuando hacia el Norte bordeando la Sierra de Alcubierre, está compuesta principalmente por yesos masivos y limos yesíferos de tonalidades claras. Alternan con yesos, margas y arcillas yesíferas.
- ✓ **Yesos de Mediana:** Se extienden desde el sur de Zaragoza y sus características litológicas son similares a las anteriormente descritas.
- ✓ **Yesos de Alfocea:** Situados al norte de Zaragoza se extienden hasta Zuera, son yesos masivos y alabastrinos que alternan con limos y margas yesíferas.
- ✓ **Yesos de Remolinos:** Se sitúan hacia el Noroeste y están compuestos por limos yesíferos, yesos y sales.
- ✓ **Yesos de Vinacete:** Situados al Sur están formados por yesos, limos y algunos niveles de calizas

Los yesos estudiados (Fig.3.1.9) corresponden a los yesos de Retuerca, Mediana y Alfocea, que según indica el autor esta división es por motivos geográficos, presencia de cauces fluviales que dividen los afloramientos que por litología. También entraría los Yesos de Vinacete.

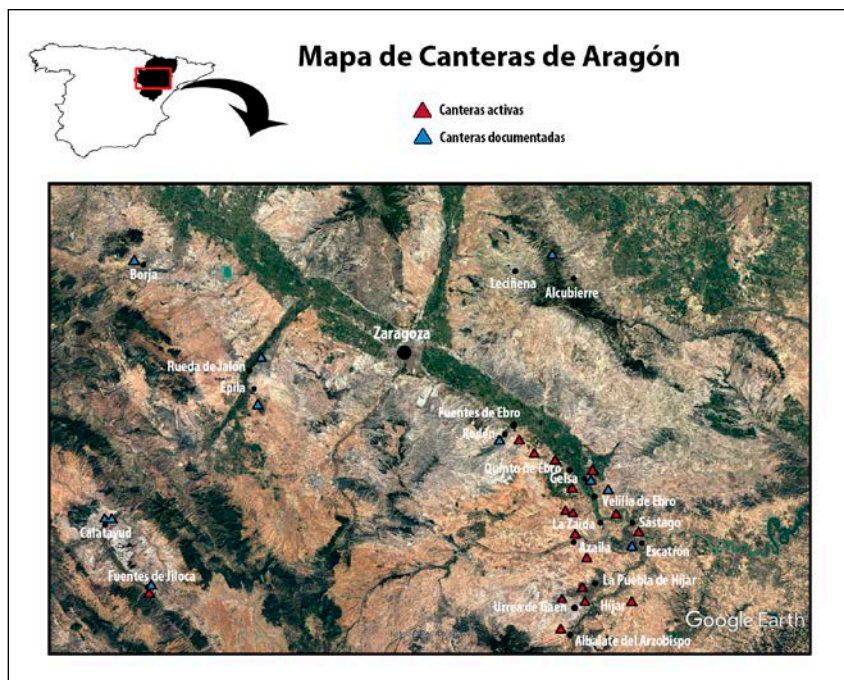






Fig.3.1.9. Mapa de situación del Valle medio del Ebro con situación de las canteras de alabastro activas e inactivas.





3.2.1.2.1. Gelsa

Ubicación	Próximo a la localidad de Gelsa, se accede por las carreteras N-232 y A-1105. Tomando un desvío a la derecha antes de llegar a Gelsa. Corta activa en el momento de la toma de muestras.		
Coordenadas	Lat:41°24'29.48''N y Long:0°27'58.17''W		
Explotación activa	Si	Empresa	Exportadora Turolense
Concesión	Concesión Velilla		
Descripción material			
<p>Situación: W de la hoja 413, Gelsa del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Los materiales aflorantes, pertenecen a la Unidad Galocha - Ontiñena de edad Miocena Inferior (Aqutiense), y esta unidad presenta una evolución en la vertical desde sedimentos fluviales hasta sedimentos lacustres de tipo carbonatado y evaporítico. En este punto encontramos arcillas de colores marrones-naranjas, donde son frecuentes los nódulos de yesos secundarios.</p> <p>En la cantera se explotan niveles de yeso nódulares. Aparecen dos variedades una blanca y translúcida, y otra con un color más grisáceo con mayor cantidad de impurezas. Hay muestras de los niveles de ambas variedades, y de los niveles de arcillas adyacentes a los nódulos.</p>			
Muestras	GE-1, GE-2		
			



3.2.1.2.2. *Quinto*

Ubicación	Entre las a localidades de Quinto y Azaila, se accede por las carreteras N-232. Pasado Quinto tomando un desvío a la derecha antes de llegar a Azaila. Corta activa en el momento de la toma de muestras.		
Coordenadas	Lat: 41°20'45.68''N y Long: 0°29'7.46''W		
Explotación activa	Si	Empresa	Exportadora Turolense
Concesión	Concesión Lopín		
Descripción material			
<p>Situación: SW de la hoja 413, Gelsa, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Los materiales aflorantes, pertenecen a la Unidad Mequinenza - Ballobar de edad Oligocena (Chattiense), y está compuesta por facies lacustres-palustres carbonatadas, la zona más distal se encuentra en Mequinenza y la proximal en Ballobar.</p> <p>En este punto encontramos arcillas de colores marrones-naranjas, con intercalaciones de calizas blancas y yesos tabulares.</p> <p>En la cantera se explota los niveles de yeso tabulares de textura alabastrina.</p>			
Muestras	QT-1		
			

3.2.1.2.3. Azaila



Ubicación	Próximo a la localidad de Azaila, se accede por la carretera N-232. Antes de llegar a Azaila, tomando un desvío a la derecha, se ve desde la carretera. Corta activa en el momento de la toma de muestras.		
Coordenadas	Lat: 41°18'20.581''N y Long: 00°29'22.909'' W		
Explotación activa	Si	Empresa	Exportadora Turolense
Concesión	Concesion Teresa		
Descripción material			
<p>Situación: SW de la hoja 411, Híjar, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Los materiales aflorantes, pertenecen a la Unidad Torrente de Cinca de edad Oligocena Superior - Mioceno Inferior(Chattiense - Ageniense), y está compuesta por facies lacustres-palustres carbonatadas.</p> <p>En este punto encontramos arcillas rojizas amarillentas, que son cortadas por venas de yeso, y entre las que aparecen niveles tabulares con yesos o nódulos sueltos de variedad alabastrina.</p>			
Muestras	AZ-1		
			

3.2.1.2.4. Fuentes de Ebro

Ubicación	Próximo a la localidad de Fuentes de Ebro, se accede por la carretera N-232. Tomando el desvío a Fuentes de Ebro, antes de salir de la localidad se toma un desvío a la derecha. Corta activa en el momento de la toma de muestras.		
Coordenadas	Lat: 41°29'20.56''N y Long: 00°36'45.90'' W		
Explotación activa	Si	Empresa	ABE (Alabastro Blanco Europa)
Concesión	Concesión Joan		
Descripción material			
<p>Situación: SW de la hoja 384, Fuentes de Ebro, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Los materiales aflorantes son principalmente yesíferos, se les atribuye una edad Ageniense alto para la parte aflorante más baja, mientras que el resto de la unidad, podría extenderse hasta el Aragoniense inferior-medio, con lo que puede situarse de forma aproximada en el Mioceno inferior-medio, equivalente a la edad atribuida a la Fm. Zaragoza de Quirantes (1978), Mioceno (?) -Aragoniense medio.</p> <p>En este punto encontramos arcillas grises, entre las que aparecen niveles tabulares con yesos o nódulos sueltos de variedad alabastrina. En algunos puntos aflora anhidrita</p>			
Muestras	FE-1, FE-2, FE-3, FE-4		
			



3.2.1.2.5. Escatrón



Ubicación	Próximo a la localidad de Escatrón y al lado del Monasterio de Rueda, se accede por la carretera N-232. Tomando el desvío a Escatrón pasado Azaila, al de salir de la localidad en dirección al Monasterio se toma un desvío a la izquierda. Corta en el momento de la toma de muestras.		
Coordenadas	Lat:41°18'2.45''N y Long:0°19'38.90''W		
Explotación activa	No	Empresa	
Concesión	Cantera histórica		
Descripción material			
<p>Situación: N de la hoja 441, Híjar, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Presentan niveles de yeso en forma de nódulos dispersos en la lutita, ya en venillas de yeso fibroso, ya constituyendo niveles estratificados de espesor centimétrico a métrico. Las lutitas son de color rojo intenso y presentan, además del yeso, intercalaciones de areniscas.</p>			
Muestras	E-2, E-4		
			





3.2.1.2.6. Albalate del Arzobispo

Ubicación	Se accede por la carretera nacional N-232. En las proximidades de Híjar, tomando la A-224 hasta Albalate se atraviesa la terminación suroriental de los derechos mineros. Desde Albalate, tomando la carretera A-223 hacia Lécera, se atraviesa la zona NO. Partiendo de esta, en dirección a Ariño, se encuentra la vía de carácter rural VF-TE-44 que recorre la terminación suroriental del PI Juan.		
Coordenadas	Lat:41°18'2.45''N y Long:0°19'38.90''W		
Explotación activa	Si	Empresa	Yesos alabastrinos, S.L.
Concesión	Concesiones Juan, Virgen de los arcos, Virgen de los arcos 2 y Virgen de la paz.		
Descripción material			
<p>Situación: N de la hoja 468, Albalate del Arzobispo, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Los materiales dominantes en la zona son yesos alabastrinos y arcillas, que se organizan en una veintena de unidades geológicas pertenecientes al Paleógeno y, mayoritariamente, al neógeno.</p> <p>La unidad yesífera está constituida por una alternancia de yesos nodulosos alabastrinos con arcillas grises o rojas, en bancos decimétricos a métricos. La potencia de la unidad en la zona cartografiada oscila entre un mínimo de 45 metros y más de 100.</p>			
Muestras	ALBA-1, ALBA-2, ALBA-3, ALBA-4, ALBA-5, ALBA-6		
			

### 3.2.1.2.7. Rueda de Jalón – Épila

Ubicación	Se ubica a 49 km al W de Zaragoza por la carretera A-1305.		
Coordenadas	Lat: 41°38'0.54"N, Long: 1°16'12.13"W Lat: 41°38'4.97"N, Long: 1°16'20.27"W		
Explotación activa	No	Empresa	
Concesión	Afloramientos de yesos y cantera inactiva		
Descripción material			
<p>Situación: NE de la hoja 382 Épila, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Se diferencia un potente nivel de yeso, con abundante presencia de arcillas, y textura nodular. Este afloramiento, es el frente de una antigua explotación, que suministraba material a la fábrica de yeso próxima al barranco, que funciono en 1920s – 1930s. El estrato de yeso da relieve, y parece que la explotación se extendió a todo el barranco.</p> <p>Cuevas excavadas en materiales arcillosos, en el cortado que bordea el pueblo hacia el Oeste. Posiblemente se trate de una antigua cantera abandonada. Las cuevas se realizaban sobre las arcillas para debilitar la estabilidad de los materiales suprayacentes que son yesos, para posteriormente hacer los caer por gravedad. En la base del nivel de yeso, hay crecimiento de cristales secundarios macrocristalinos.</p>			
Muestras	RU-1, RU-2		
			

3.2.1.2.8. Leciñena – Sierra de Alcubierre

Ubicación	Se ubica a 40 km al NE de Zaragoza, por la carretera A-129.		
Coordenadas	Lat: 41°48'59.01''N, Long: 0°37'4.49''W Lat: 41°49'36.06"N, Long: 0°31'7.00"W		
Explotación activa	No	Empresa	
Concesión	Afloramientos de yesos		
Descripción material			
<p>Situación: NW de la hoja en la hoja 355 Leciñena, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Los materiales yesíferos se caracterizan por presentar una textura macrocristalina en unos casos y alabastrina en las muestras menos alteradas. Hay en las muestras hay un alto porcentaje de arcillas de colores marrones y grises.</p> <p>Cerca de la divisoria de la Sierra de Alcubierre, hay un camino hacia el NW que corta los materiales evaporíticos. En este afloramiento, se ha encontrado una capa de yeso nodular de 70 a 90 cm de potencia, y los niveles inferiores y superiores, son arcillas de colores oscuros, marrón – gris. El yeso en este nivel presenta colores blancos – rosados, y un alto porcentaje de arcillas oscuras.</p>			
Muestras	LE-1, LE-2, LE-3, LE-4		
			

### 3.2.1.3. Sector Oriental del Valle del Ebro y sector pirenaico catalán

El sector final del Valle del Ebro engloba varias provincias de Cataluña, en este sector encontramos depósitos yesíferos de origen marino como los de Beuda, en la zona pirenaica de Gerona, las facies transicionales en Tona y Odena y continentales como es el caso del Sarral (Fig.3.1.10).

Los materiales más antiguos del Eoceno, estos materiales se depositaron en condiciones marinas restringidas, a partir de ese momento la cuenca del Ebro queda descolgada de cualquier influencia marina (Pardo *et al.*, 2004). Los materiales que corresponden a este momento son los yesos de Beuda se localizan próximos a la localidad de Beuda los cuales pueden llegar a presentar espesores de 80 metros, son yesos alabastrinos dispuestos en estratos tabulares. Los yesos de Odena y Tona, son yesos de transición entre condiciones marinas y continentales.

La Cuenca de Barbera es donde se localizan los yesos del Sarral (Ortí *et al.*, 2007), estos ya totalmente continentales, y de edad miocena. Se disponen nódulos de yeso alabastrino entre niveles de arcillas y margas.

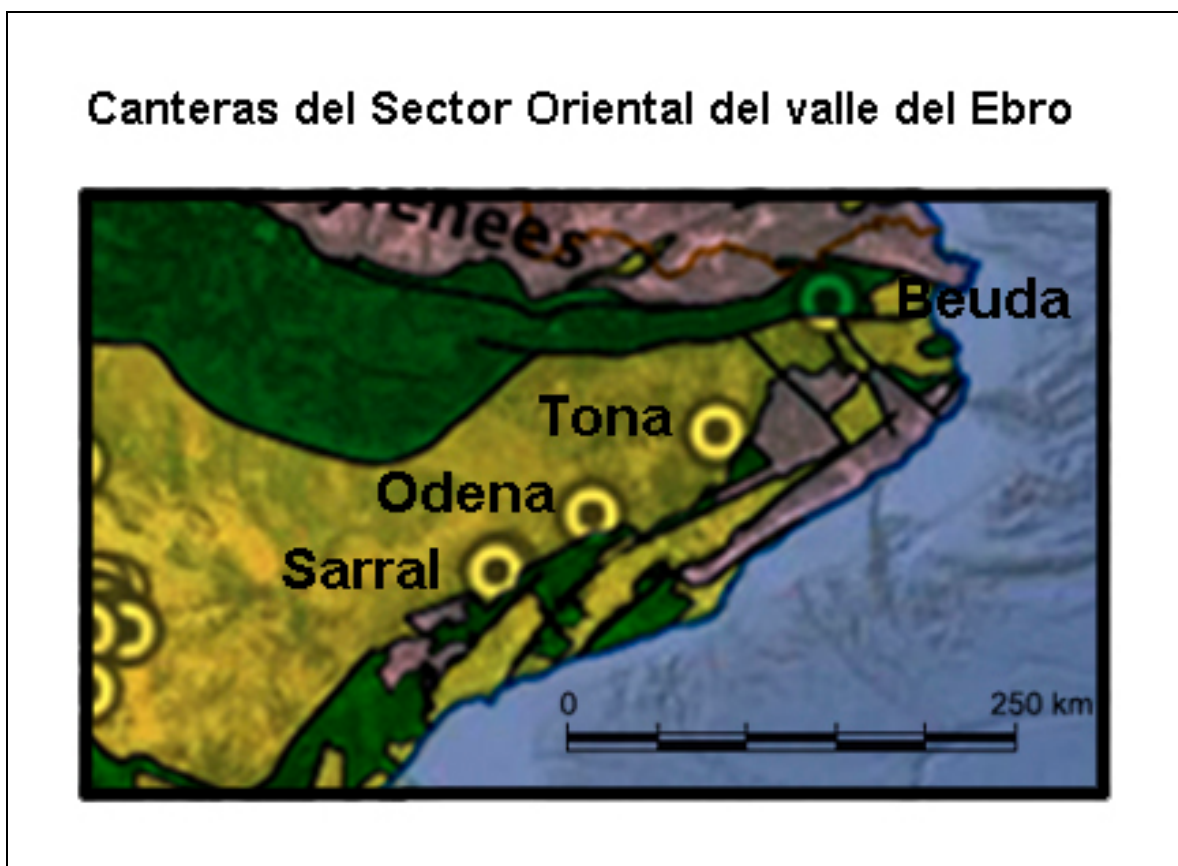




Fig.3.1.10. Mapa de geológico con la ubicación de las canteras Sector Oriental del Valle del Ebro.





3.2.1.3.1. Sarral

Ubicación	Se accede desde la AP-2, tomando la salida 9 sigue por N-240 hasta tomar C-14, después C-241d hasta llegar a Sarral.		
Coordenadas	Lat: 41° 26.520 ''N y Long: 1° 13.203 ''E Lat: 41° 27.065 ''N y Long: 1° 15.178 ''E		
Explotación activa	No	Empresa	Exportadora turolense
Concesión			
Descripción material			
<p>Situación: E de la hoja 418, Montblanch, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>En los alrededores de la localidad de Sarral afloran materiales evaporíticos, dispuestos en niveles tabulares hay una alternancia de lutitas marrones y rojizas con niveles de yeso que pueden variar de espesor y esta compuestos por nódulos de yeso alabastrino.</p> <p>Se muestreo en dos puntos diferentes, uno en un frente de cantera abandonado al E de la población, y el otro punto en el NW, en una corta que acaban de abrir.</p>			
Muestras	SAR-1, SAR-2, SAR-3, SAR-5A, SAR-5B, SAR-6		
			



### 3.2.1.3.2. Beuda

Ubicación	Se accede desde la AP-2, hacia A-2 y C-25 hacia C-37 tomando la salida 69 hacia C-17 sigue por N-240 hasta tomar C-14 sigue por C-152 hasta A-26 hacia N-260, después GIV-5234 hasta llegar a Beuda.		
Coordenadas	Lat: 42° 14.275''N y Long: 2° 43.467''E Lat: 42° 14.131''N y Long: 2° 42.897''E		
Explotación activa	Si	Empresa	Yesos Ibéricos, S.A.
Concesión	Concesión Blancfort		
Descripción material			
<p>Situación: E de la hoja 257, Olot, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>En los alrededores de la localidad de Beuda afloran materiales evaporíticos cenozoicos más antiguos de la cuenca del Ebro, dispuestos en niveles tabulares, el frente de cantera alcanza los 30 m. Los niveles de yeso alabastrino se disponen en estratos masivos con potencia entre 10 a 15 m. Entre los niveles de yeso hay algún nivel de arenisca intercalado.</p> <p>Hay una explotación activa en la actualidad, la que dificulta acercarse al frente de cantera, aunque fue posible localizar una zona inactiva y allí se pudo muestrear.</p>			
Muestras	BE-1, BE-2, BE-3, BE-4, BE-5, BE-6		
			

3.2.1.3.3. Odena

Ubicación	Se accede desde la AP-2, hacia A-2 hacia C-37z hasta llegar a Odena.		
Coordenadas	Lat: 41° 36.479 ''N y Long: 1° 38.367 ''E		
Explotación activa	No	Empresa	
Concesión	Afloramiento		
Descripción material			
<p>Situación: N de la hoja 391, Igualada, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>En los alrededores de la localidad de Odena afloran materiales encontramos niveles de yesos con frente que alcanza hasta 15 m de ponencia, dispuestos en niveles tabulares.</p> <p>Los yesos tienen aspecto nodular con dimensiones máximas en 30 a 40 cm, con vetas de arcillas de color negro. Intercalados con los niveles de yesos hay también niveles arenosos y de yesos arcillosos.</p>			
Muestras	OD-1, OD-3, OD-4		
			

3.2.1.3.4. Tona

Ubicación	Se accede desde la AP-2, hacia C-25 después hacia C-17 hasta llegar a Tona.		
Coordenadas	Lat: 41° 50.623''N y Long: 2° 11.926''E		
Explotación activa	No	Empresa	
Concesión	Afloramiento		
Descripción material			
<p>Situación: S de la hoja 332, Vich, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Los niveles de yeso de mayor ponencia se sitúan en zona superior del afloramiento, se observa una alternancia de niveles yesíferos con arenisca y lutitas de colores negros y marrones.</p> <p>La muestra se ha tomado de los bloques caídos del nivel de yesos superior, buscando un bloque lo menos alterado posible. Los bloques caídos de yeso muestran gran cantidad de impurezas, venas de arcilla o yeso fibroso, de color gris y negro.</p>			
Muestras	TO-1, TO-2, TO-3		
			



### 3.2.2. Cuenca de Calatayud

La cuenca de Calatayud se sitúa dentro de la Cordillera Ibérica, es una fosa tectónica que se generó durante un episodio distensivo en el Mioceno Inferior siguiendo la dirección ibérica (NW-SE) (Gutiérrez *et al.*, 1996). En la Cuenca de Calatayud, se reconocen tradicionalmente durante el Neógeno tres unidades sedimentarias mayores denominadas Unidad Inferior, Intermedia y Superior separadas por dos rupturas sedimentarias principales. Las dos primeras tienen carácter evaporítico, mientras que la última tiene un carácter fluvio-lacustre (Sanz-Rubio *et al.*, 2003).

El relleno sedimentario terciario de la Cuenca de Calatayud comprende sedimentos detríticos de carácter aluvial (conglomerados, areniscas, limos y arcillas) en los sectores de margen de cuenca que pasan a sedimentos lacustres (evaporitas y carbonatos) en los sectores centrales de la cuenca, donde se acumulan potencias de hasta 1.200 m (Sanz Rubio, 1999). En la Unidad Inferior es donde se encuentran las explotaciones de yeso alabastrino, se caracteriza por la presencia de yesos nodulares entre capas de lutitas rojas con algún nódulo de sílex (Ortí y Rosell, 1998). Los nódulos que ahora encontramos como yeso alabastrino originalmente eran nódulos de anhidrita, que posteriormente fue reemplazado por yeso mediante hidratación.

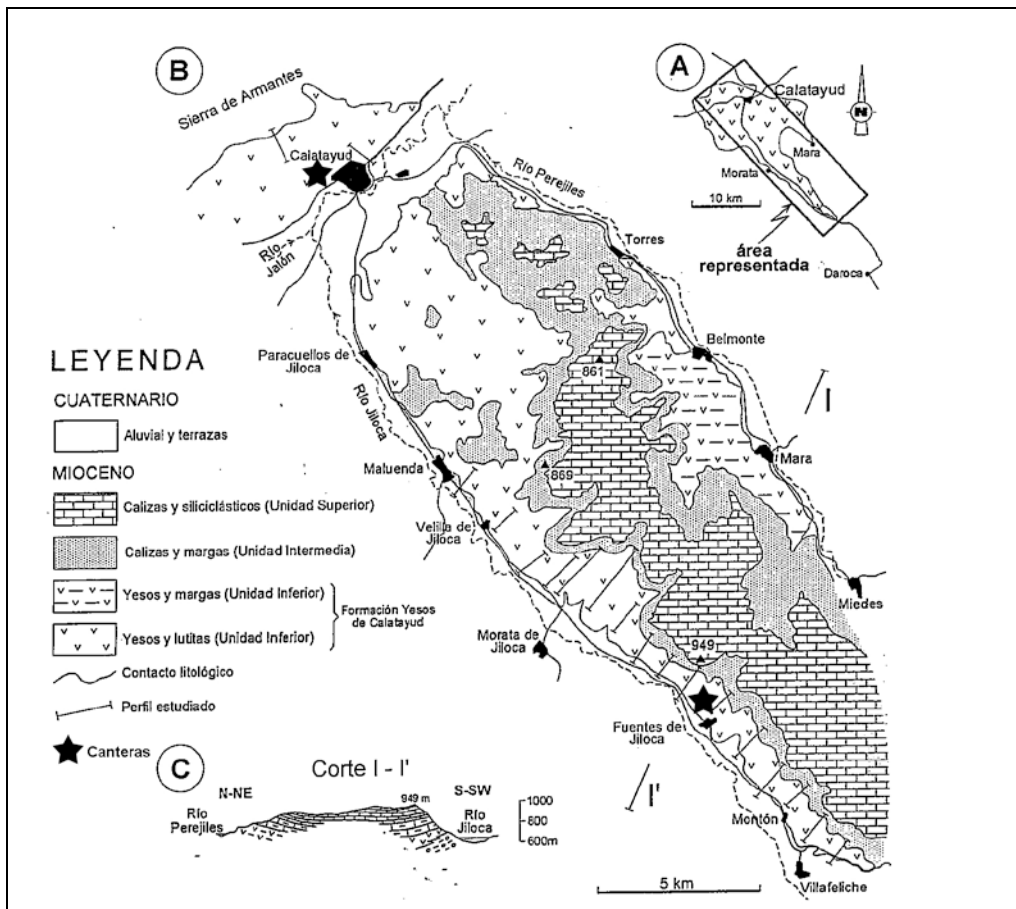






Fig.3.1.11. Distribución cartográfica de los yacimientos de yeso de Calatayud. Modificado de Ortí y Rosell (1998).



3.2.2.1. Fuentes de Jiloca – Jiloca Stone

Ubicación	Se accede desde la carretera N - 234, tomando un desvío a la izquierda antes de llegar a de Fuentes de Jiloca.		
Coordenadas	Lat: 41°14'15.10''N y Long: 1°32'26.65''W		
Explotación activa	Si	Empresa	Jiloca Stone
Concesión	Concesión Soledad		
Descripción material			
<p>Situación: SE de la hoja 437, Ateca, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Materiales arcillosos con niveles de nódulos de yeso de edad Miocena (Aragoniense).</p> <p>La unidad está formada por niveles de arcillas rojas y grises entre las que hay intercaladas capas de yeso nodular (Alastrino) que alcanza potencias de hasta 3 metros. La potencia total es superior a 100 m.</p>			
Muestras	FJ-1, FJ-2, FJ-3, FJ-4, FJ-5, FJ-6, FJ-7, FJ-8, FJ-9, FJ-10, FJ-11		
			

3.2.2.2. Fuentes de Jiloca – Cantera inactiva

Ubicación	Se accede desde la carretera N - 234, tomando un desvío a la izquierda a la entrada de Fuentes de Jiloca.		
Coordenadas	Lat: 41°13'56.9''N y Long: 1°32'20.4''W		
Explotación activa	No	Empresa	
Concesión	Antigua explotación en galería		
Descripción material			
<p>Situación: SE de la hoja 437, Ateca, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Materiales arcillosos con niveles de nódulos de yeso de edad Miocena (Aragoniense).</p> <p>La unidad está formada por niveles de arcillas rojas y grises entre las que hay intercaladas capas de yeso nodular (Alastrino) que alcanza potencias de hasta 3 metros. La potencia total es superior a 100 m.</p>			
Muestras	FJ-12, FJ-13, FJ-14, FJ-15, FJ-16, FJ-17, FJ-18, FJ-19		
			

### 3.2.2.3. Calatayud

Ubicación	Se accede desde la A-2, tomando la salida 233 a Calatayud, los afloramientos se encuentran en el sector NW de la localidad.		
Coordenadas	Lat: 41° 21.487''N y Long: 1° 38.825''W		
Explotación activa	No	Empresa	
Concesión	Afloramiento.		
Descripción material			
<p>Situación: SW de la hoja 409, Calatayud, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Materiales arcillosos con niveles de nódulos de yeso de edad Miocena (Aragoniense). Los metriales arcillosos y los niveles de yeso se presentan de forma alternante, en capas de 30 a 50 cm de espesor. En las capas con yesos podemos encontrarlos tanto laminados como en forma de nódulos de 50 a 60 cm de diámetro. Intercalados entre arcillas grises y rojizas.</p>			
Muestras	CA-5, CA-6, CA-7, CA-8		
			



### 3.2.3. Depresión costera Valenciana

Esta depresión limita con el Mediterráneo hacia el E, y con diversas sierras de materiales mesozoicos y paleógenos hacia N, O y S. Los materiales neógenos de relleno poseen origen continental al igual que origen marino en la zona oriental (Pardo *et al.*, 2004).

La unidad Yesos de Ninyerola es un depósito lacustre del Mioceno Medio (Fig.3.1.12), de potencia cercana a los 200 m, que aflora principalmente a lo largo de una estructura anticlinal de orientación NNE-SSW cerca de la ciudad de València. Esta estructura está formada por materiales diapirizados del Keuper (Triásico Superior) en el núcleo y por una sucesión miocena en los flancos. En la base de esta sucesión se desarrolla la citada unidad Yesos de Ninyerola, la cual se encuentra recubierta por depósitos aluviales que gradan verticalmente a sedimentos terrígenos marinos (Ortí y Rosell, 2007). Las facies evaporíticas de los yesos de Ninyerola están principalmente compuestos por sulfatos y carbonatos.

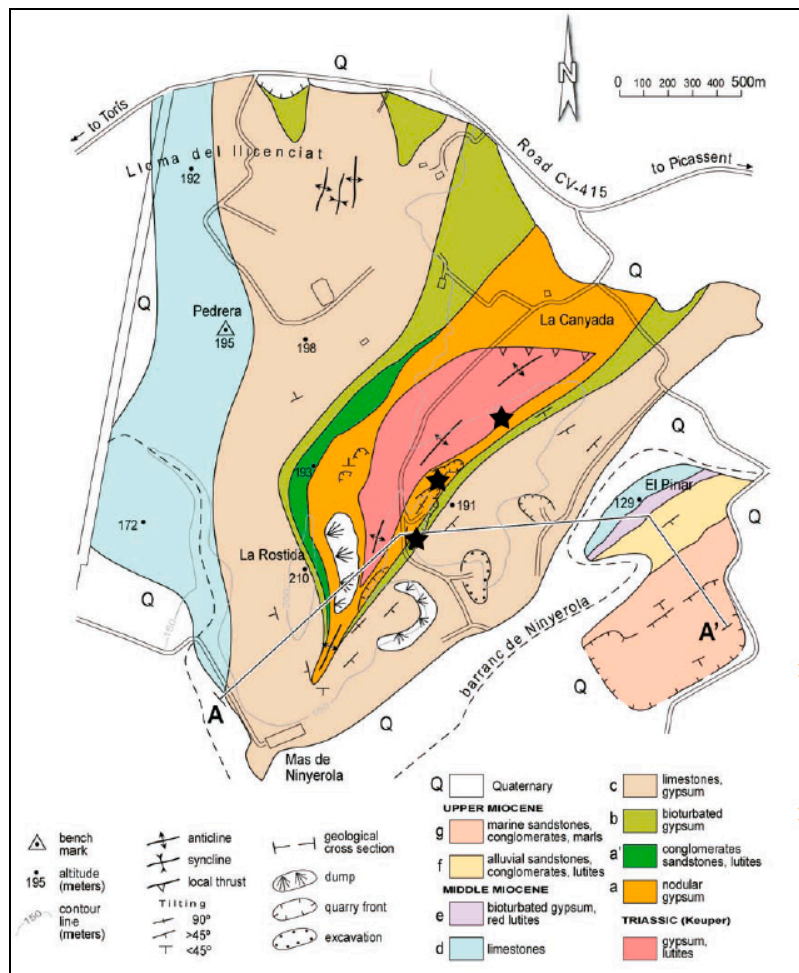






Fig.3.1.12. Distribución cartográfica de los yesos de Ninyerola, marcadas con estrellas están los puntos donde se tomaron muestras. Modificado de Ortí y Rosell (2007).

3.2.3.1. Sot de Ferrer

Ubicación	Se accede desde la A-23, tomando la salida 23 hacia N-234, sigue por la CS-V-6021. Los afloramientos se encuentran Orillas del río Palancia.		
Coordenadas	Lat: 39° 48.567''N y Long: 0° 24.741''W		
Explotación activa	No	Empresa	
Concesión	Afloramiento, escombrera.		
Descripción material			
<p>Situación: S de la hoja 668, Sagunto, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Zona de desechos de la cantera. Presencia de bloques de yeso bandeado, y brechificado. Se ven bloques con pliegues de pequeño tamaño. Orillas del río Palancia.</p> <p>En el frente de la cantera, se aprecian materiales de edad triásica (keuper), sobre los que se asientan los materiales miocenos, con deformaciones y olistolitos de muschelkalk, dentro del Mioceno.</p>			
Muestras	ST-1, ST-2		
			

3.2.3.2. *Picassent*

Ubicación	Se accede desde la A-23, tomando la salida 351 hacia CV-4153 sigue hasta la localidad de Picassent. Los afloramientos se encuentran en el barranco de Ninyerola.		
Coordenadas	Lat: 39° 21.953''N y Long: 0° 31.775''W Lat: 39° 21.89''N y Long: 0° 32.002''W		
Explotación activa	No	Empresa	
Concesión	Afloramiento, cantera inactiva		
Descripción material			
<p>Situación: SE de la hoja 666, Chelva, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Los yesos de Ninyerola se encuentran en una antigua cantera, en algunos puntos dentro de las lutitas, aparecen restos fósiles de plantas. Los materiales aparecen muy deformados, en algunos puntos los estratos están casi verticales, distribuidos en nódulos. Presencia de pequeños pliegues dentro de los nódulos pequeños, dando lugar a esquistosidad.</p> <p>Ha sido posible ver y muestrear yesos primario, de color oscuro en alternancia con arcillar y dispuesto en estratos tabulares.</p>			
Muestras	PS-1, PS-2, PS-3, PS-4, PS-5, PS-6, PS-7		
			

### 3.2.4. Cuenca de Madrid

La Cuenca de Madrid presenta un registro de sistemas lacustres bien desarrollados a lo largo del Mioceno. Los depósitos correspondientes a estos sistemas lacustres quedan integrados en tres unidades tectosedimentarias mayores reconocibles a lo largo de la mayor parte de la cuenca. La Unidad Inferior o Salina está constituida por depósitos característicos de sistemas lacustres evaporíticos con salmueras de naturaleza sulfatada-clorurada sódica (Calvo *et al.*, 1989).

La Unidad Inferior del Mioceno presenta diferentes tipos de sedimentos que se ordenan de acuerdo con un modelo concéntrico de facies. Esta ordenación es el resultado de la distribución de sistemas lacustres hidrológicamente cerrados a lo largo del Mioceno inferior y parte del Mioceno medio (Calvo *et al.*, 1989). Los depósitos lacustres que caracterizan esta unidad en partes centrales de la cuenca son de naturaleza netamente evaporítica, con una asociación bastante compleja de fases sulfatadas, carbonatos y cloruros. Los sedimentos lacustres de la Unidad Inferior se localizan sobre todo en la zona centro-oriental de la Cuenca de Madrid (Fig.3.1.13).

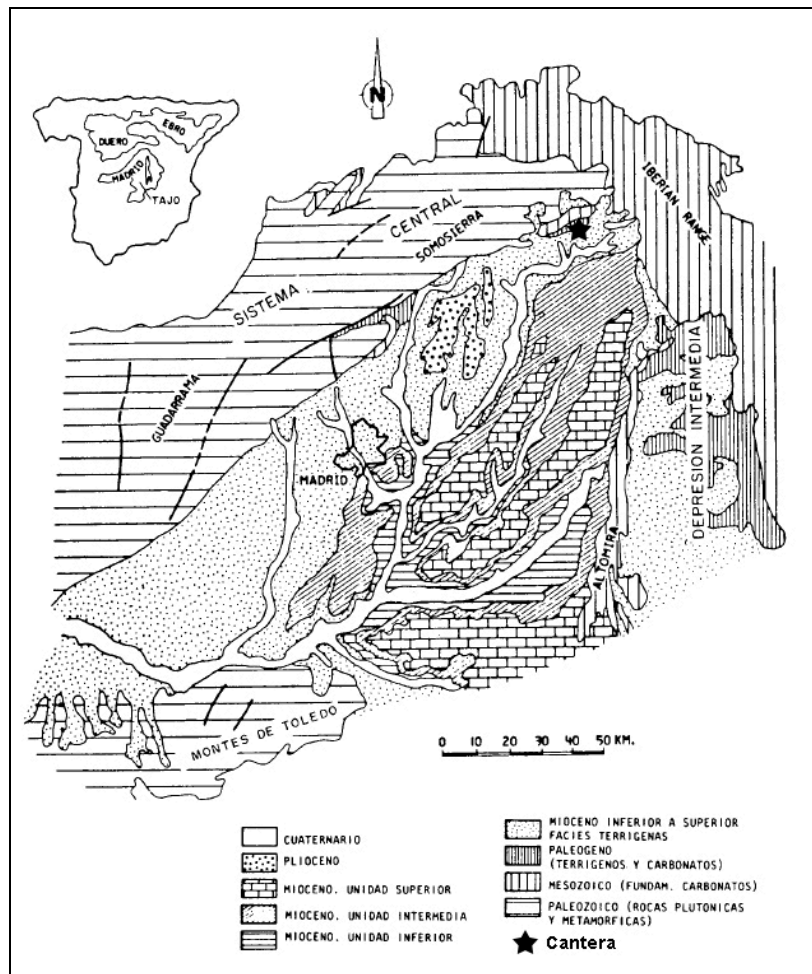






Fig.3.1.13. Situación geográfica y esquema cartográfico de la Cuenca de Madrid. Modificado de Ordóñez *et al.*, (1989).





3.2.4.1. Jadraque

Ubicación	Se accede desde la Autovía A – 2, se accede por la comarcal CM-1000.		
Coordenadas	Lat: 39° 21.953''N y Long: 0° 31.775''W Lat: 39° 21.89''N y Long: 0° 32.002''W		
Explotación activa	No	Empresa	
Concesión	Afloramiento, cantera inactiva		
Descripción material			
<p>Situación: NW de la hoja 486, Jadraque, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Al NW del pueblo de Jadraque, se encuentra una explotación denominada “los Cañales”, que actualmente no está activa. Se diferencian claramente, dos frentes de explotación. Se pueden ver con facilidad los frentes de cantera de donde se extraía el material.</p> <p>Los materiales aflorantes son niveles yesífera estratiformes con nódulos alabastrinos, que en algunos casos presentan tonalidades oscuras y alternancia de arcillas grises.</p>			
Muestras	JA-1, JA-2, JA-3		
			

### 3.2.4.2. Cogolludo

Ubicación	Se accede desde la Autovía A – 2, se accede por la comarcal CM-101.		
Coordenadas	Lat: 40° 56.22’’N y Long: 003° 06.21’’W		
Explotación activa	No	Empresa	
Concesión	Afloramiento, cantera inactiva		
Descripción material			
<p>Situación: NE de la hoja 486, Jadraque, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>Al NW del pueblo de Cogolludo, afloran niveles yesífera dispuestos en nódulos con alternancia de lutitas grises. Estos afloramientos es posible acceder atraves de caminos que salen del propio pueblo.</p> <p>En algunos casos es posible encontrar restos de explotaciones mineras de pequeña entidad de donde se extraía esta roca realizando agujeros en el suelo.</p>			
Muestras	CO-1, CO-4, CO-6A, 6B		
			

3.2.4.3. Aleas

Ubicación	Se accede desde la Autovía A – 2, se accede por la comarcal CM-1000 hasta la CM-101.		
Coordenadas	Lat: 40° 56.22’’N y Long: 003° 06.21’’W		
Explotación activa	Si	Empresa	Escayolas la Nieve, S. A.
Concesión	Concesión Santa Marina		
Descripción material			
<p>Situación: SE de la hoja 486, Jadraque, del mapa geológico, escala 1: 50.000.</p> <p>En las proximidades de la localidad de Aleas se sitúa una explotación de los niveles yesífera que afloran. En el talud de la cantera se puede ver una sucesión de niveles con yesos nodulares alternados con niveles de lutitas grises.</p> <p>Al estar la explotación en funcionamiento no fue posible acercarse al frente de cantera, aunque si se pudieron tomar algunas muestras.</p>			
Muestras	AL-1, AL-2, AL-3, AL-6		
			

# **CAPÍTULO IV. TÉCNICAS ANALÍTICAS**

**4.1. Identificación macroscópica**

**4.2. Microscopía Óptica y Microscopía Electrónica**

**4.3. Análisis geoquímicos**

**4.4. Fosforescencia**

## **4.1. Identificación macroscópica**

### ***4.1.1. Introducción***

La caracterización macroscópica o *de visu* de rocas y minerales se basa en la identificación de sus características y propiedades externas por métodos únicamente visuales. De modo que es la primera etapa para la identificación de cualquier roca que se vaya a estudiar. En el caso del alabastro al ser una roca prácticamente monomineral, las características de este mineral se aplican también a la roca que conforman.

Las propiedades físicas que pueden observarse *de visu* serían el color; esta propiedad es característica de cada roca y es producida por la interacción de la luz con la misma en función de las longitudes de onda dentro del espectro visible que son absorbidas por la roca, en el caso del alabastro el color más característico es el blanco, aunque podemos encontrar otras tonalidades. El brillo; esta propiedad está relacionada con el modo en el que refleja la luz sobre la superficie de la roca, el alabastro de modo general presenta un brillo céreo. La translucidez; capacidad de ser atravesado por la luz. La dureza; que nos indica la resistencia que ofrece la superficie del mineral a ser rallado, el yeso es un mineral con dureza baja tiene 3 en la escala de Mohs.

También se pueden apreciar *de visu* sus características texturales, como son la presencia o ausencia de bandeados, nódulos. Así como fracturas o presencia de venas de arcilla. Y destacar la translucidez propiedad característica del alabastro.

La descripción de estas propiedades físicas características del alabastro aporta información de gran utilidad, y son el primer contacto con el material, que nos ofrece la información necesaria para continuar con el resto de técnicas analíticas.

### ***4.1.2. Protocolos y nomenclatura en identificación macroscópica***

Los resultados que presentamos son el resultado del estudio de cientos de muestras de todas las canteras y más detalladamente de 54 muestras de mano o secciones pulidas de yeso o alabastro procedentes de canteras, mediante la observación directa de la muestra. Junto con las observaciones efectuadas directamente sobre más de cien piezas artísticas, que suponen en muchos casos una “*muestra de cantera*” excepcional dado la superficie que muestran, además el gran tamaño de algunas piezas permite observar texturas y estructuras que en las probetas pulidas de cantera (10 x 20 cm) serían difíciles de ver. Esta metodología es la primera toma de contacto con la muestra, y a partir de las conclusiones que se obtienen en el caso de las obras de arte y siempre que no se ponga en peligro la integridad física de la misma, se procede al muestreo. Estamos por tanto frente a una técnica no invasiva que permite realizar una primera diferenciación de las muestras de yeso y alabastro.

Aunque es una metodología habitualmente utilizada por los distintos autores en escasas ocasiones se explica con cierta profundidad los criterios utilizados y los resultados obtenidos que son empleados como primera discriminación dentro del conjunto de muestras entre los autores que citan esta técnica y las características que buscan en ellas están los siguientes trabajos (Rodríguez Díaz, 1991; Lapuente y Álvarez, 2012; Rajchel *et al.*, 2014; Gisbert y Muñoz, 2018) son casos aplicados al alabastro o mármol en que destacan sus características físicas como color, brillo, tamaño de cristales, presencia de bandeados y translucidez. En la bibliografía científica sobre el tema que nos ocupa, los trabajos se centran en la descripción y resultados de las técnicas analíticas como petrografía, geoquímica, isotopos. Aunque el reconocimiento visual de la muestra es aplicado en todos los casos.

#### **4.1.2.1. Metodología de trabajo**

El procedimiento que se sigue en la aplicación de esta técnica no invasiva, comienza con un reconocimiento de la muestra en el caso de secciones pulidas o de la pieza si estamos estudiando una obra de arte. Este primer contacto con la muestra nos permite comprobar que se trata de una muestra de yeso o alabastro, con el test del HCl, para proseguir con la descripción de sus propiedades.

Con la certeza de que estamos ante una muestra o pieza de alabastro, se prosigue observando el color. Aplicando una fuente de luz blanca sobre la muestra o pieza, es posible ver el grado de translucidez que presenta. Dentro de esta translucidez se analiza su dispersión en el interior de la muestra (ver apartado 4.1.3.4.), si hace visibles estructuras internas que solo son observables de este modo, así como el color. También resulta de interés documentar presencia y medir las dimensiones de los nódulos de alabastro y yeso, y el de las piezas artísticas.

Para realizar estas observaciones es necesario contar con una linterna o foco de luz aplicable sobre la muestra, un metro para realizar las medidas, un frasco con HCl al 10%, una cámara fotográfica con buena resolución y un cuaderno donde anotar las observaciones realizadas. En los estudios de obras de arte es necesario contar con un pequeño cincel y martillo para tomar muestras en los casos que sea posible y siempre en zonas que no afecten a la pieza.

#### **4.1.3. Criterios de selección**

En las muestras analizadas se han distinguido diferentes características propias del material que pueden ser diagnosticas de una procedencia concreta, entre ellas encontramos el color, rasgos texturales, morfologías de venas arcillosas o microfracturas internas, el grado de translucidez y las dimensiones de bolo o estrato del que procede el yeso.

#### 4.1.3.1. Color

Es una propiedad intrínseca de cada material, y viene condicionado por la interacción del mismo con las ondas electromagnéticas, en este caso dentro del espectro visible, esta región comprende las longitudes de ondas desde 380 hasta 780 nm. En función de su composición cada material absorbe unas determinadas longitudes de onda y refleja otras, es por esta razón que las muestras que estudiamos presentan un color u otro.

Dentro del alabastro el color que predomina, y por el que es reconocido, es el blanco. Aunque no es el único tono que pueden presentar los materiales sulfatados con textura alabastrina. Hay alabastro con coloraciones más oscuras pudiendo llegar hasta marrón oscuro, y otros que varían del blanco hacia colores amarillos o incluso rosados. Estas diferencias en el color del alabastro pueden resultar de gran utilidad para conocer su procedencia. El color se ha medido con un espectrofotómetro X-Rite Ci62 sobre superficie pulida con abrasivo de grano 800 usando las coordenadas CieLab.

#### 4.1.3.2. Texturas

Al observar de cerca las muestras de alabastro se pueden diferenciar elementos texturales propio del material que seguidamente referenciamos.

✓ ***Bandeados:*** Alternancia entre dos o más características físicas dentro de la misma muestra. Estos elementos deben disponerse en forma de bandas o alineaciones e ir repitiendo su presencia y patrón en toda la muestra. Los elementos que con mayor frecuencia se repiten, son bandas de diferente coloración o agrupaciones de nódulos.

✓ ***Nódulos:*** Son zonas dentro de la roca que presentar una textura o composición mineralógica/química diferente, microscópicamente estas zonas quedan definidas por cambios en la abundancia de yeso alabastrino microcristalino y cristales C.E.N.U. o en general por diferencia en el tamaño cristalino; también por la abundancia de inclusiones de anhidrita y de cristales de carbonatos o arcillas. Su morfología puede ser variada, hemos identificado nódulos con geometrías circulares, alargadas o romboidales. Al igual que la forma el tamaño también puede cambiar, desde 1 ó 2 cm a estructuras nodulares de 20 cm

Detallamos el tamaño de estas estructuras en cada yacimiento. Si las dimensiones de los bloques de yeso o alabastro son de grandes dimensiones, es posible que procedan de niveles masivos y estratiformes en vez de nódulos, como es el caso de las canteras de Borja y Beuda.

✓ ***Ausencia de estructuras internas:*** En otros casos no se aprecia ningún tipo de estructura interna dentro de la muestra, esta es totalmente homogénea.

La presencia o ausencia de estas texturas internas puede ser de gran relevancia.

#### 4.1.3.3. Morfología de venas y discontinuidades

Algo que también puede identificarse dentro de las muestras de alabastro o yesos de calidad estatuaria es la presencia de venas rellenas de minerales de la arcilla, las cuales serían el resultado de la coalescencia de los nódulos de yeso de menor tamaño durante su proceso de formación hasta alcanzar sus dimensiones finales. También son frecuentes los estilolitos, que no comprometer la integridad física del bloque y que siempre son visibles como discontinuidades que se extienden por la superficie de la muestra y en profundidad, e incluso impiden el paso de la luz cuando se aplica una fuente de luz blanca a la muestra.

La geometría de estas estructuras puede ser planar o recta, o irregular adoptando morfologías concoidales. Y los colores de las arcillas que se presentan son principalmente grises, marrones, rojizos y negros.

***Bandeado vértico:*** Existe una textura planar con aspecto de agrietamiento vértico paralelo a la estratificación basado en cambios granulométricos y texturales de los cristales de yeso (Fig.4.1).

#### 4.1.3.4. Translucidez

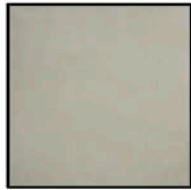
La translucidez es una propiedad física de los materiales por la cual dejan pasar la luz a través de ellos, pero no ver con nitidez. En el caso del alabastro hemos comprobado que está relacionada con la presencia de cristales con textura alabastrina tipo C.E.N.U., y que es una propiedad que puede variar de unas canteras a otras.

El grado de translucidez de la muestra los medimos de modo semicuantitativo, en función de la dispersión de la luz dentro de la misma. En los casos en que la muestra es muy translúcida, tiene un grado alto de translucidez, un bloque o escultura de ese tipo de alabastro se ilumina por completo aplicando un solo punto de luz. Sin embargo si el grado de translucidez es bajo, la propagación de la luz dentro de la muestra no superará el centímetro partiendo desde el punto de aplicación del foco de luminoso estandarizado. E incluso algunas muestras llegan a ser totalmente opacas, no dejan pasar la luz a través de ellas.

Los grados de translucidez que encontramos los clasificamos en ***alto***, la difusión de la luz presenta un amplio recorrido, superando los 20 cm en el interior de la muestra o pieza; ***medio***, la difusión de la luz alcanza hasta 10 cm desde el foco de luz; y ***bajo***, la difusión de la luz es escasa pudiendo ser entre 1 ó 2 cm. También hay muestras que son opacas, no dejan pasar la luz, en este caso su grado de translucidez sería ***nulo***. Para estas medidas hemos diseñado un artefacto ad hoc. (Fig.4.1)



### Color



*Blanco*

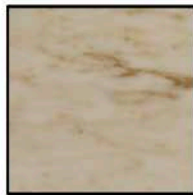


*Amarillo  
o crema*



*Marrón*

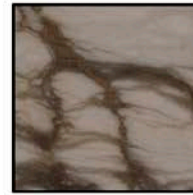
### Texturas



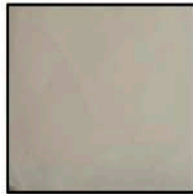
*Bandeado*



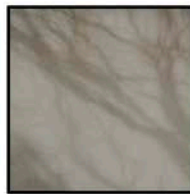
*Nódulos  
romboidales*



*Venas de arcillas*



*Estilolitos*

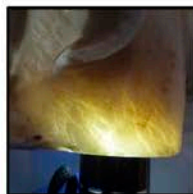


*Bandeado vértico*

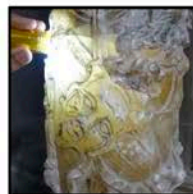


*Nódulos  
circulares*

### Translucidez



*Grado medio*



*Grado alto*



*Medición distancia  
de propagación de la luz*

*Figura 4.1. Color: Ejemplos del color de las muestras de alabastro, en este caso de izquierda a derecha blanco, amarillo o crema y marrón. Texturas: de izquierda a derecha y de arriba abajo. Bandeado por diferencia de color, nódulos alargados y romboidales, venas de arcilla marrón, estilolitos planares, bandeado vértico, nódulos circulares. Translucidez: de izquierda a derecha. Grado medio de difusión de la luz, grado alto, y sistema de medida.*

#### **4.1.4. Resultados identificación macroscópica**

Lo haremos siguiendo el orden de las áreas geológicas descritas en el **capítulo III. Situación geológica.** Empezando por la cuenca del Ebro, la cual dividimos en tres sectores Valle del Ebro, Occidental, Central y Oriental. Seguido por la Cuenca de Calatayud, la Depresión Costera Valenciana y la Cuenca de Madrid. Las descripciones de las facies identificadas se basan en observaciones realizadas tanto en secciones pulidas como en piezas artísticas.

##### **4.1.4.1. Valle del Ebro. Sector Occidental**

En este caso las litofacies se han establecido según las localidades en las que se han tomado muestras, las muestras tomadas no proceden de canteras actualmente en explotación (afloramientos naturales) y solo las de Borja y Monteagudo se han podido tomar directamente de canteras históricas. En el caso de Autol y Ablitas se han tomado directamente del afloramiento siguiendo los niveles que contenían nódulos de yeso alabastrino susceptibles de haber sido utilizados en trabajos escultóricos.

###### *4.1.4.1.1. Autol (facies de yeso alabastrino blanco con presencia de nódulos y translucidez media)*

Alabastro de color blanco (L\*a\*b\*, 86,54 -0,47 0,28), aspecto compacto. Presencia de nódulos con morfologías alargadas o romboidales con tamaños que oscilan entre 1 y 3 cm, su disposición es en bandas paralelas entre sí. Puede presentar venas de arcillas de color marrón y geometría planar y discontinuidades que engloban tanto geometrías planares como curvadas. Su translucidez es media. Los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 80 cm a 1 m.

###### *4.1.4.1.2. Ablitas (facies de yeso alabastrino blanco con discontinuidades y translucidez alta)*

Alabastro de color blanco (L\*a\*b\*, 78,86 -0,57 -1,08), aspecto compacto. No presenta nódulos ni bandeados, pero si es posible observar estilolitos con geometrías concoideas y sin ningún patrón dentro de su distribución. Su translucidez es alta. Los bolos de alabastro extraídos se son de 60 cm a 1 m.

###### *4.1.4.1.3. Monteagudo (facies de yeso lenticular marrón bandeadas)*

Yeso de color marrón (L\*a\*b\*, 61,54 2,45 13,35), que presenta un bandeo interno compuesto por venas de arcillas de 2 mm de espesor entre las que se encuentran pequeños nódulos de color más claro de 1 a 2 cm. Aunque su disposición es en un bandeo paralelo, dentro de este bandeo se diferencian deformaciones dentro de los bandeados de arcilla para acomodar a los nódulos de color claro. Su translucidez es nula. Las dimensiones de los bloques que se pueden obtener estarían limitadas por los niveles estratiformes que tienen entre 60 cm a 1 m de potencia.

#### *4.1.4.1.4. Borja (facies de yeso lenticular marrón con nódulos)*

Yeso de color marrón (L\*a\*b\*, 68,74 2,68 14,52), que presenta nódulos circulares o semicirculares de color blanco con dimensiones entre 1 a 2 cm. Su disposición es irregular a lo largo del estrato. Se identifican estilolitos con geometrías planares o semiconcoidales, dispuesta de forma paralela entre sí. Su translucidez es nula. Las dimensiones de los bloques que se pueden obtener estarían acotadas por los niveles estratiformes que los contienen y que tienen entre 80 cm a 2 m de potencia.

#### **4.1.4.2. Valle del Ebro. Sector Central o Valle Medio del Ebro**

Las litofacies reciben el nombre de las localidades en las que se han tomado muestras, que proceden de canteras actualmente en explotación en el caso de Fuentes de Ebro, Gelsa y Velilla y solo las de Escatrón y se han tomado de una cantera históricas. En el caso de Alcubierre, Leciñena y Rueda de Jalón las muestras proceden directamente del afloramiento, buscando los niveles que contenían nódulos de yeso alabastrino susceptibles de haber sido utilizados en trabajos escultóricos.

##### *4.1.4.2.1. Fuentes de Ebro (facies de yeso alabastrino blanco con presencia de nódulos y translucidez media)*

Alabastro de color blanco (L\*a\*b\*, 88,06 -0,1 0,33), aspecto compacto. Presencia de nódulos con morfologías romboidales con tamaños que oscilan entre 10 y 15 cm y distribución aleatoria. Su translucidez es media. Los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 1 m a 1,5 m. En la zona más profunda (40 m) de los frentes de esta canteras se extraen nódulos de anhidrita.

##### *4.1.4.2.2. Gelsa (facies de yeso alabastrino blanco con presencia de nódulos y translucidez alta)*

Alabastro de color blanco (L\*a\*b\*, 77,89 -0,38 -0,47), aspecto compacto. Presencia de nódulos con morfologías alargadas y romboidales con tamaños que oscilan entre 2 y 10 cm y en bandas paralelas entre sí, es posible encontrar dentro de nódulos de mayor tamaño otros más pequeños. Su translucidez es alta. Los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 1 m a 1,5 m. Es típico la presencia de “bandeado vértico”

##### *4.1.4.2.3. Escatrón – Velilla (facies de yeso alabastrino blanco con presencia de nódulos y translucidez alta)*

Alabastro de color blanco (L\*a\*b\*, 66,69 -0,31 -0,79), aspecto compacto. Presencia de nódulos con morfologías alargadas y circulares con tamaños inferiores a 2 cm dispuestos en bandas paralelas. Su translucidez es alta. Los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 1 m a 1,5 m.

*4.1.4.2.4. Alcubierre (facies de yeso alabastrino blanco / rosado con presencia de nódulos y venas de arcillas negras y translucidez media - baja)*

Alabastro de color blanco rosado con impurezas (L\*a\*b\*, 69,18 0,08 3,8). Presencia de nódulos con morfologías alargadas y circulares con tamaños que oscilan entre 1 y 5 cm, su disposición es en aleatoria. Presentar venas de arcillas de color negras y grises que ocupan el espacio entre nódulos de yeso. Su translucidez es baja. Las dimensiones de los bloques que se pueden obtener estarían contempladas dentro de los niveles estratiformes que contienen los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 60 cm a 80 cm.

*4.1.4.2.5. Leciñena (facies de yeso alabastrino blanco con presencia de nódulos y translucidez media)*

Alabastro de color blanco (L\*a\*b\*, 73,17 -0,41 0,83), presencia de impurezas. Presencia de nódulos con morfologías alargadas y circulares con tamaños entre 3 a 6 cm dispuestos de forma aleatoria y englobados en venas de arcillas de color marrón. Su translucidez es media. Los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 60 cm a 80 m.

*4.1.4.2.6. Rueda de Jalón (facies de yeso alabastrino blanco con presencia de nódulos y translucidez media)*

Alabastro de color blanco (L\*a\*b\*, 80,78 -0,35 -0,12), con elevada presencia de impurezas. Presencia de nódulos con morfologías alargadas y circulares con tamaños entre 5 a 10 cm englobados en venas de arcillas de color marrón y gris, que sigue la morfología que los nódulos de yeso. Su translucidez es media. Las dimensiones bolos que se pueden obtener estarían contempladas dentro de los niveles estratiformes contienen los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 50 cm a 80 cm.

#### **4.1.4.3. Valle del Ebro. Sector Occidental**

Las muestras tomadas para definir las litofacies proceden tanto de canteras activas, como es el caso las muestras tomadas en las cercanías de Sarral y Beuda. Como directamente del afloramiento, tomando muestras en corte fresco de las localidades de Odena y Tona.

*4.1.4.3.1. Sarral (facies de yeso alabastrino blanco con presencia de nódulos y venas de arcillas marrones y translucidez media)*

Alabastro de color blanco (L\*a\*b\*, 85,59 0,24 5,99), con elevada presencia de impurezas. Presencia de nódulos con morfologías alargadas y romboidales con tamaños entre 1 a 5 cm englobados en venas de arcillas de color marrón, que sigue la morfología que los nódulos de yeso también es posible encontrar dentro de nódulos de mayor

tamaño otros más pequeños. Su translucidez es media. Los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 80 cm a 1,2 m.

#### *4.1.4.3.2. Beuda (facies de yeso alabastrino blanco con bandeados de color amarillo y translucidez baja - nula)*

Alabastro de color blanco con bandeado amarillo (L\*a\*b\*, 86,75 1,16 8,65). Dentro de la muestra hay una textura bandeada con líneas de 1 a 3 mm de tonos ocres dispuestas subparalelas entre sí. Su translucidez es baja - nula. Las dimensiones de los bloques que se pueden obtener estarían contempladas dentro de los niveles estratiformes que tienen entre 1 a 2 m de potencia.

#### *4.1.4.3.3. Odena (facies de yeso alabastrino blanco con presencia de nódulos y venas de arcillas y translucidez media - baja)*

Alabastro de color blanco con impurezas (L\*a\*b\*, 81,88 -0,39 -0,49). Presencia de nódulos con morfologías alargadas con tamaños entre 1 a 5 cm dispuestos de forma aleatoria y englobados en venas de arcillas de color negro y gris, que sigue la morfología que los nódulos de yeso. Su translucidez es baja. Los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 30 – 40 cm de potencia.

#### *4.1.4.3.4. Tona (facies de yeso alabastrino blanco con presencia de nódulos y venas de arcillas y translucidez media - baja)*

Alabastro de color blanco con impurezas (L\*a\*b\*, 73,17 -0,41 0,83). Presencia de nódulos con morfologías alargadas con tamaños entre 2 a 8 cm dispuestos de formas aleatorias y englobadas en venas de arcillas de color marrón y negro, que sigue la morfología que los nódulos de yeso. Su translucidez es baja. Las dimensiones de los bloques que se pueden obtener estarían contempladas dentro de los niveles estratiformes que tienen entre 80 cm a 1 m de potencia.

### **4.1.4.4. Cuenca de Calatayud**

La localidad próxima a las canteras de donde se extraen las muestras es Fuentes de Jiloca, donde en la actualidad hay una empresa extrayendo material, la cual nos facilitó muestras de las variedades que aparecen en la zona. También se tomaron muestras de canteras históricas, actualmente en desuso que eran en galería. Por último, se obtuvieron muestras de las proximidades de Calatayud, en este caso directamente de los afloramientos.

#### *4.1.4.4.1. Blanca (facies de yeso alabastrino blanco con discontinuidades y translucidez alta)*

Alabastro de color blanco (L\*a\*b\*, 47,45 -0,55 -2,5), aspecto compacto. No presenta nódulos ni bandeados, pero si es posible observa discontinuidades con

geometrías concoideas y sin ningún patrón dentro de su distribución. Su translucidez es alta. Los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 1 a 2 m.

#### *4.1.4.4.2. Champán (facies de yeso alabastrino amarillo con nódulos y translucidez alta)*

Alabastro de color amarillo (L\*a\*b\*, 59,620,12 6,08), aspecto compacto. Presencia de nódulos con morfologías circulares con tamaños que oscilan entre 0,5 y 1,5 cm distribuidas de forma aleatoria. Su translucidez es alta. Los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 1 m a 2 m.

#### *4.1.4.4.3. Tabaco (facies de yeso alabastrino marrón con nódulos y translucidez media - baja)*

Alabastro de color marrón (L\*a\*b\*, 40,13 0,25 2,75), aspecto compacto. Presencia de nódulos con morfologías alargadas y romboidales con tamaños que oscilan entre 0,5 y 2 cm distribuidos de forma en forma de bandas paralelas, se pueden diferenciar dentro de los nódulos de mayor tamaño otros más pequeños. Su translucidez es baja. Los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 1 m a 2 m.

#### *4.1.4.4.4. Calatayud (facies de yeso alabastrino blanco con discontinuidades y translucidez alta)*

Alabastro de color blanco (L\*a\*b\*, 78,86 -0,57 -1,08), aspecto compacto. No presenta nódulos ni bandeados, pero si es posible observa discontinuidades con geometrías concoideas y sin ningún patrón dentro de su distribución. Su translucidez es alta. Los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 30 a 60 cm.

### **4.1.4.5. Depresión costera valenciana**

Las muestras se tomaron en dos localidades diferentes Sot de Ferrer y Picassent, en ambos casos directamente de los afloramientos, aunque en las inmediaciones de canteras históricas actualmente inactivas.

#### *4.1.4.5.1. Sot de Ferrer (facies de yeso alabastrino blanco con venas de arcillas y translucidez baja)*

Alabastro de color blanco bandeado (L\*a\*b\*, 70,59 0,68 6,06). Dentro de la muestra se diferencian bandas de tonos marrones o rojizos con 2 a 5 mm de espesor dispuestos de forma paralela. Su translucidez es baja. Las dimensiones de los bloques que se pueden obtener estarían contempladas dentro de los niveles estratiformes que tienen entre 1 m de potencia, aunque en el afloramiento los materiales aparecen intensamente plegados.

#### *4.1.4.5.2. Picassent 1 (facies de yeso alabastrino blanco con nódulos y translucidez alta)*

Alabastro de color blanco (L\*a\*b\*, 84,43 0,05 4,69), aspecto compacto. Presencia de nódulos con morfologías alargadas y romboidales con tamaños que oscilan entre 2 y 10 cm y en bandas paralelas entre sí, es posible encontrar dentro de nódulos de mayor tamaño otros más pequeños. Su translucidez es alta. Los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 80 cm a 1,2 m.

#### *4.1.4.5.3. Picassent 2 (facies de yeso lenticular marrón fétidas)*

Yeso de color marrón oscuro fétidas (L\*a\*b\*, 65,14 2,56 13,93). Muestra masiva, no se identifican estructuras en su interior. Su translucidez es nula. Las dimensiones de los bloques que se pueden obtener estarían contempladas dentro de los niveles estratiformes que tienen entre 80 cm a 1 m de potencia.

### **4.1.4.6. Cuenca de Madrid**

Las muestras obtenidas en la provincia de Guadalajara, proceden tanto de canteras activas, inactivas, históricas y afloramientos. En las proximidades de la localidad de Jadraque tomamos muestras de una cantera inactiva, procurando que las muestras procedieran de corte fresco, en el caso de Cogolludo sólo pudimos coger muestras de los afloramientos y de canteras históricas que posiblemente dataran de principios del siglo XX, y finalmente próximo al municipio de Aleas está actualmente en explotación una cantera de yeso, de donde obtuvimos las muestras.

#### *4.1.4.6.1. Cogolludo (facies de yeso alabastrino blanco con nódulos y translucidez media)*

Alabastro de color blanco (L\*a\*b\*, 88,06 -0,1 0,33), aspecto compacto. Presencia de nódulos con morfologías alargadas y romboidales con tamaños que oscilan entre 2 y 5 cm y en bandas paralelas entre sí. Su translucidez es media. Los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 1 m a 1,5 m.

#### *4.1.4.6.2. Aleas (facies de yeso alabastrino blanco con nódulos y translucidez media)*

Alabastro de color blanco (L\*a\*b\*, 83,79 -0,28 0,59), aspecto compacto. No presenta nódulos ni bandeados, pero si es posible observa discontinuidades con geometrías planares y sin ningún patrón dentro de su distribución. Su translucidez es media. Los bolos de alabastro extraídos se encuentran entre 1 a 1,5 m.

### **4.1.5. Comparación entre las diferentes muestras y litofacies**

Para diferenciar las posibles canteras de procedencia es necesario conocer las características del material que se extrae y buscar elementos específicos de cada una de

ellas que sean diferentes del resto de canteras. Como son el color del alabastro, así como la presencia o ausencia nódulos o bandeados, o el grado de translucidez de las muestras. A partir de estas características se pueden definir elementos que resulten diagnósticos a la hora de reconocer la cantera de procedencia de una pieza artística.

Para facilitar esta tarea se ha elaborado una tabla resumen en la que se recogen algunas de las características que hemos tenido en cuenta en la definición y descripción de las litofacies. Con similar objetivo se ha desarrollado un organigrama para comparar rápidamente las diferente características diagnosticas de las distintas variedades. Estos esquemas se han pensado como herramientas de ayuda en el proceso de identificación de procedencia, en ellas se recogen los valores medios de los elementos estudiados en las muestras *de visu* después de haber descrito varias muestras de cada variedad.

#### **4.1.5.1. Tabla resumen**

En la siguiente tabla se recogen algunos de los elementos descritos en las litofacies presentes en las canteras estudiadas. Para poder compararlos rápidamente unos con otros tomamos como referencia las siguientes características *de visu*.

Según el color de las muestras de alabastro y yeso que puede ser Blanco (Bl), Marrón (Mr), Amarillo (Am) o Blanco rosado (Rs), y su grado de translucidez Alto (+++), Medio (++) , Bajo (+) o Nulo (-). Con estas siglas y nomenclatura nos referimos a cada uno de los colores y grado de translucidez en cada variedad.

La presencia de venas de arcillas y el color de estas se refleja arcillas marrones (Mr), arcillas negras (Ng) y arcillas grises (Gr). La presencia de discontinuidades y su geometría se indica con estilolitos planares (Ep) y estilolitos concoidales (Ec). Solo se marca en el caso de que estos elementos este presentes.

La presencia de estructuras internas como nódulos, así como su morfología y dimensiones máximas y menores, se indica. Nódulos alargado (Al), nódulos romboidales (Rb) y nódulos circulares (Cr). El tamaño de los mismos se expresa en cm.

También se indican los tipos de bandeados observables en la muestra, y si estos son agrupaciones de nódulos (Bn) o laminas de diferentes tonalidades dentro de la muestra (Bc). Finalmente se india el tamaño máximo de los bolos o bloques de alabastro o yesos que se pueden extraer de cada cantera.



Basin	Variiedad	Color	Grado de Translucidez	Venas de arcillas	Estilolitos	Nódulos forma	Nódulos tamaño máximo (cm)	Nódulos tamaño menor (cm)	Tipos de bandeados	Tamaño máximo bolo / bloques (m)
Valle del Ebro. Sector Occidental	Autol	Bl	++	Mr	Ep-c	Al - Rb	3	1	Bn	1
	Ablitas	Bl	+++		Ec					1
	Monteagudo	Mr	-	Mr					Bc	1
	Borja	Mr	-		Ep-c	Cr	2	1	Bn	2
Valle del Ebro. Sector Central	Fuentes de Ebro	Bl	++			Rb	15	10		1.5
	Gelsa	Bl	+++			Al - Rb	10	2	Bn	1.5
	Escatrón - Velilla	Bl	+++			Al - Cr	2	0.5	Bn	1.5
Valle Medio del Ebro	Alcubierre	Bl/Rs	+	Ng-Gr		Al - Cr	5	1		0.80
	Leciñena	Bl	++	Mr		Al - Cr	6	3		0.80
	Rueda de Jalón	Bl	++	Mr - Gr		Al - Cr	10	5		0.80
	Sarral	Bl	++	Mr		Al - Rb	5	1		1.2
Valle del Ebro. Sector Oriental	Odena	Bl	+	Ng - Gr		Al	5	1		0.40
	Tona	Bl	+	Mr - Ng		Al	8	2		1
Pirineo catalán	Beuda	Bl	±						Bc	2
Cuenca de Calatayud	Blanca	Bl	+++		Ec					2
	Champán	Am	+++			Cr	1.5	0.5		2
	Tabaco	Mr	+			Al - Rb	2	0.5	Bn	2
	Calatayud	Bl	+++		Ec					0.60
Depresión costera Valenciana	Sot de Ferrer	Bl	+						Bc	1
	Picassent 1	Bl	+++			Al - Rb	10	2	Bn	1.2
	Picassent 2 (yeso primario)	Mr	-							1
Cuenca de Madrid	Cogolludo	Bl	++			Al - Rb	5	2	Bn	1.5
	Aleas	Bl	++		Ep					1.5

Tabla 1. Características de visu: **Color:** Bl, blanco; Am, amarillo; Mr, marrón, rosa, Rs; Gr, Grado translucidez: Alto, +++, Medio, ++, Bajo, +, Nulo, - ; **Venas de arcillas (color):** Negra, Ng, Gris, Gr, Marrón, Mr; **Estilolitos:** Planar, Ep; **Concooidal, Ec;** **Nódulos:** Alargado, Al, Romboidal, Rb, Circular, Cr; **Bandeados:** Nodulosos, Bn, Coloración, Bc.

#### ***4.1.6. Características para identificar la procedencia.***

A la hora de identificar la procedencia del alabastro de una pieza artística, hay varias preguntas que podemos hacer y según su respuesta nos irán guiando hacia una posible procedencia u otra. La primera de ellas, aunque parezca muy obvia, sería la de qué color es el yeso o alabastro que estamos estudiando. Ya que en función de si la respuesta es blanco, marrón, amarillo o blanco rosado, tendremos ya una división de las variedades de yeso con capacidad para ser trabajado como material escultórico.

Hay que puntualizar que cuando nos referimos al color del alabastro, en muchas ocasiones no estamos viendo el color real del mismo. Esto tiene relación con la facilidad con la que se tiñe el yeso, ya sea por la presencia de barnices o ceras, e incluso la propia suciedad. El resultado es que el color que vemos en la mayoría de los casos está enmascarado, razón por la cual las mediciones cuantitativas realizadas con el espectrofotómetro no se han aplicado en las piezas artísticas. El valor que se obtendría no sería el verdadero color de la roca. A pesar de ello, es posible apreciar si una escultura está realizada con alabastro blanco o marrón, siendo un dato cualitativo. La translucidez del alabastro también es útil para discriminar el color real de la roca.

Por un lado tendríamos el alabastro de color blanco rosado con alto porcentaje de arcillas negras, que corresponde a las variedades procedentes de la Sierra de Alcubierre. Y si el alabastro es de color amarillo, entonces su procedencia es de las canteras de Fuentes de Jiloca, la variedad Champán.

Si la respuesta a la pregunta del color es marrón, encontramos cuatro variedades que corresponden a esta tonalidad. Por un lado tendríamos que no es translucido o yeso primario, y por otro el que si es translucido es una de las variedades de yeso alabastrino que aparecen en Fuentes de Jiloca, la variedad Tabaco.

✓ Dentro de estas tres variedades de yeso marrón no translucido, podemos fijarnos en sus estructuras internas o ausencia de ellas para identificarlos. Si encontramos nódulos circulares de color blanco, existe la posibilidad de que la muestra corresponda a las canteras de Borja. Pero si lo que vemos es un bandeado entonces la muestra procede de las de Monteagudo. Finalmente si no podemos identificar este tipo de estructura y además al golpear la muestra desprende y un olor fétido, la procedencia de la muestra es Picassent 2.

Partiendo de la premisa de que el color es el alabastro, y la respuesta es blanco. En este caso tenemos una gran cantidad de muestras que corresponden a este color, con lo cual es necesario discriminar un poco más dentro de las muestras de alabastro blanco. Y la primera cuestión a diferenciar es el grado de translucidez, de modo que formulando esta pregunta podemos discriminar cierto grupo de muestras.

✓ Alabastro de color blanco y translucidez escasa o nula, existe la probabilidad de que su procedencia sea de las canteras de Beuda, que junto con la presencia de un bandeado de tonalidad ocre en la muestra confirma este origen.

Siguiente grupo sería el alabastro con translucidez baja.

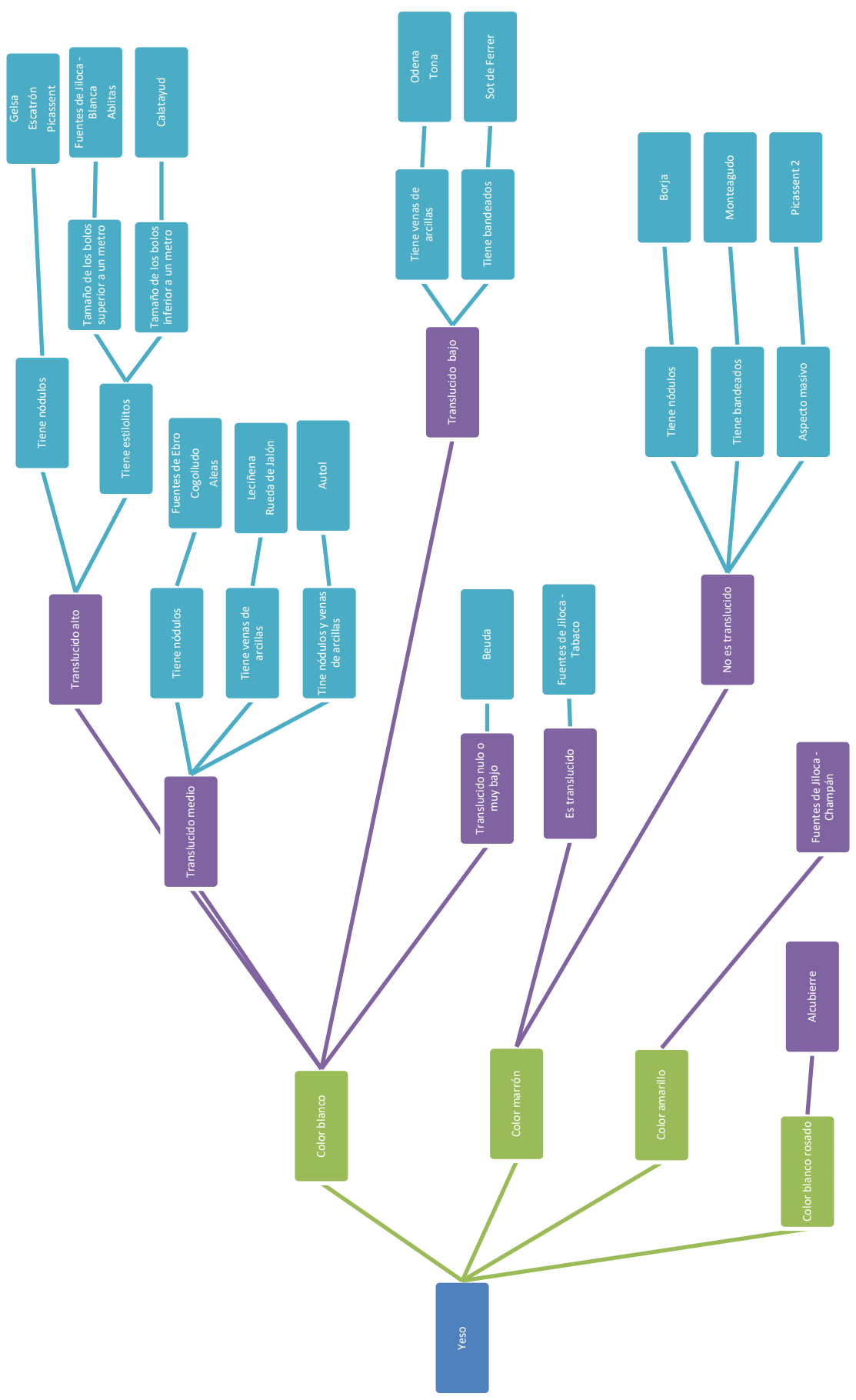
✓ Dentro de este grupo para acotar más la búsqueda de la cantera de origen, podemos diferenciar entre las muestras con mayor concentración de venas de arcillas, que existe la posibilidad de que correspondan a las canteras de Odena y Tona, y la muestra con bandeados de tonalidades marrones y rojizas que sería de las canteras de Sot de Ferrer.

Pasamos a la siguiente, translucidez media. Y como en el caso anterior hay que buscar más criterios para limitar las posibles procedencias.

✓ La primera observación sería si tiene presencia de venas de arcillas, en caso afirmativo existe la probabilidad de que la procedencia de esas muestras sería de las canteras de Leciñena y Rueda de Jalón. La siguiente observación es sobre la presencia de estructuras nodulares, si las tienen las muestras provienen de Fuentes de Ebro, Cogolludo o Aleas. Y en el caso de que tenga tanto arcillas como nódulos sería de las canteras de Autol.

Finalmente quedan las muestras de alabastro blanco con alto grado de translucidez. Una primera división sería observar si presentan nódulos con estructura interna o no. En caso afirmativo su procedencia podría ser de Gelsa, Escatrón y Picassent. Si no presentan estos nódulos internos existe la probabilidad de que su procedencia sea de las canteras de Ablitas, Calatayud y Fuentes de Jiloca. Y una forma de diferenciar esta última de las anteriores, es por el tamaño de los bolos que se extraen de esta variedad, que pueden llegar a alcanzar los 2 metros, en los casos anteriores Ablitas llegaría al metro y Calatayud los nódulos no superan los 60 cm.

Estas sería una forma inicial de comenzar el proceso de identificación de procedencia, para poder obtener un resultado más preciso es necesario en la mayoría de los casos aplicar más técnicas de forma conjunta al reconocimiento *de visu* de las piezas.



## **4.2. Microscopía Óptica y Microscopía Electrónica**

### ***4.2.1. Introducción a la Microscopía Óptica (Petrología)***

La descripción textural básica (petrografía), fue de las primeras técnicas en utilizarse para identificar la procedencia de las piezas artísticas o arqueológicas en materiales similares al alabastro, como es el mármol, y constituye una importante fuente de información (Rodolico, 1952; Pieri, 1964; Capedri y Venturelli, 2004). En estos casos se utilizan ciertos parámetros distintivos del material como son el tamaño de grano, tipo de contactos entre los granos, elongación de los mismos, deformaciones intragranulares entre otras, que pueden ser extrapolables al caso del alabastro. El tamaño máximo de grano (MGS: main grain size) es un parámetro sencillo que es el primero en orientar hacia las posibles procedencias de la pieza en el caso del mármol (Gorgoni *et al.*, 1998).

### ***4.2.2. Protocolos y nomenclatura en petrología***

Los resultados que a continuación vamos a presentar se han obtenido tras el minucioso estudio de 178 muestras de yeso y alabastro mediante microscopio petrográfico. De las cuales 122 son procedentes de canteras y 56 de piezas artísticas. En todas ellas se ha realizado una descripción detallada de su mineralogía y textura cristalina al igual que el porcentaje presente de las distintas variedades cristalinas de yeso y minerales accesorios.

Para realizar el estudio composicional de las muestras no se utilizó el contaje de puntos debido a que el error aumenta conforme el porcentaje de un componente es más bajo, de forma que en los componentes menores se obtiene un error semejante al de comparación visual, además la naturaleza de las muestras son en su mayoría yeso variando tan solo el tipo y tamaño de los cristales, así como los contactos entre los bordes de los mismos. Se decidió finalmente realizar la cuantificación para conocer el porcentaje de tipos de cristales presentes en la muestra mediante comparación visual, ya que los resultados obtenidos en ambos casos eran los mismos, y de este modo permitía agilizar el proceso y tener en todo momento una visión global de la muestra, que en muchos casos es lo que permite diferenciar la procedencia de unas canteras u otras.

También se hicieron pruebas con el software JMicroVision que es específico para el tratamiento de imágenes procedentes de microscopio petrográfico para conocer las proporciones minerales que constituyen la roca así como para estudio y cuantificación de los tipos de porosidad de una roca a través de imágenes digitales de la misma. JMicroVision es un software diseñado por Nicolas Roduit (2007). Finalmente no se utilizó este software debido a la dificultad de diferenciar en una imagen fija las distintas variedades de cristales de yeso y conocer su tamaño real, ya que mayoritariamente son cristales de tipo C.E.N.U. y además se añade la dificultad del bajo contraste de colores, ya que el yeso tiene colores de interferencia de primer orden (gama de grises), de modo que, aunque es muy útil en otros casos, en este en particular no se pudo aplicar.

Para el estudio de las muestras tenemos en cuenta las texturas cristalinas y muy especialmente las diferentes texturas alabastrinas presentes en las mismas al igual que la mineralogía característica de cada cantera. Tomamos como referencia para comparar y

diferenciar unas canteras de otras los tamaños de los cristales, su forma y el tipo de contactos entre los cristales, también son importantes las inclusiones minerales presentes así como su concentración y distribución en la muestra. Señalamos también los minerales accesorios presentes, que generalmente son carbonatos, arcillas, anhidrita y celestina. El término C.E.N.U (cristales con extinción no uniforme), lo usamos en el sentido utilizado por Mandado en su tesis doctoral (Mandado, 1987).

#### **4.2.2.1. Fichas descriptivas**

Para recoger y comparar la información obtenida de las distintas muestras, se elaboró un modelo de ficha descriptiva específica para el alabastro. Se partió de las fichas descriptivas incluidas en la UNE-EN 12407 (2007) de AENOR en la que se recogen modelos de para la descripción petrográfica de rocas piroclásticas, rocas clásticas, rocas sedimentarias, rocas ígneas y rocas metamórficas. Los campos que en estas fichas se contemplan, no resultan representativos para las rocas de precipitación química, por lo que también se utilizaron los modelos elaborados por la empresa *Geoartec Technical Solutions S.L.* (Spin-off de la Universidad de Zaragoza), la ficha confeccionada por Ortí (1977) en un recopilatorio de las características petrográficas de las rocas de yeso secundario y la utilizada por Mandado (1987).

De cada modelo de ficha descriptiva, se tomaron los campos que podían aplicarse al caso de las rocas de yeso con textura alabastrina. De las fichas planteadas en la norma UNE-EN 12407 el modelo que más se asemeja a nuestros requerimientos es de las rocas sedimentarias, aun con todo solo se pueden tomar como referencia los campos de identificación (nº de muestra, situación) ya que el resto de campos hace referencia a componentes específicos de otros tipos de rocas, especialmente rocas detríticas o carbonatadas.

De los modelos utilizados por *Geoartec Technical Solutions S.L.* se partió de los empleados para la descripción de rocas detríticas y carbonatadas, se emplearon los campos relacionados con la identificación de la muestra (sigla, procedencia, descriptor, fecha) el campo destinado a la clasificación de la misma y algunos de los campos destinados a la descripción de los componentes, como son el tipo de contactos y los porcentajes presentes de cada elemento.

En el caso de las fichas utilizadas por Ortí (1977) y Mandado (1987) son específicas para yesos por lo que es mayor la similitud de las fichas presentadas por estos autores con las utilizadas durante el desarrollo de la tesis. Del primer autor se tomaron los campos destinados a los componentes texturales presentes en las rocas de textura alabastrina (porfiroblastos, C.E.N.U., microalabastrino, megacristalina) los minerales accesorios (anhidrita, carbonatos, celestina) al igual que el porcentaje de cada uno de ellos, y las dimensiones máximas y mínimas. De la ficha confeccionada por Mandado (1987) para las rocas químicas se han utilizados los campos referentes a los componentes evaporíticos de (yeso primario, yeso secundario, anhidrita, otros minerales evaporíticos, minerales no evaporíticos) al igual que la tipología, el tamaño de los mismos y su porcentaje dentro de la muestra.

Estos modelos fueron de gran utilizad para elaborar la ficha de descripción petrográfica utilizada para la descripción de los materiales alabastrinos. No se pudieron usar tal cual

fueron concebidas por los autores, ya que para el caso específico del alabastro, al ser una roca monomineral en un 95 – 99%, en muchos casos para diferenciar unas muestras de otras, ha sido necesario centrarse en algunos aspectos muy concretos de esta variedad del yeso, que aparte de cuantificar la presencia de los diferentes elementos texturales presentes y su tamaño, es necesario observar la forma de los cristales, la relaciones de los contactos entre unos y otros, y la presencia o ausencia de inclusiones. También se han tenido en cuenta algunos elementos texturales observados en las muestras como son los cristales recristalizados, relictos de yesos primarios, en concreto lenticulares. Todas estas apreciaciones llevaron a la conformación de la siguiente ficha descriptiva, la cual vamos a proceder a explicar con detalle cada uno de sus campos, y la importancia que tienen para identificar la procedencia de las muestras de alabastro.

Ficha Petrográfica:

Sigla:	Descriptor:	Fecha:
Procedencia:	Cantera:	Pieza artística:

Clasificación:

--

Componentes mineralógicos

% Min. Evaporíticos:	
% Min. Detríticos:	
% Min. Carbonatados:	

Textura		Unidades	%	Tamaño	Forma	Contactos	Inclusiones
Porfidoblástica		5 – 0.15 mm					
Alabastrina	C.E.N.U	3 – 0.15 mm					
	Subidiomorfa	400 – 100 $\mu\text{m}$					
	Microcristalina	100 – 20 $\mu\text{m}$					
Megacristalina		5 – 1 mm					
Yeso lenticular		5 – 1 mm					
Recristalizados		5 – 0.1 mm					
Carbonatos		20 – 1 $\mu\text{m}$					
Detríticos		3 – 0.1 mm					
Otros: Anhidrita		200 – 5 $\mu\text{m}$					
Otros: Celestina		20 – 1 $\mu\text{m}$					



### **4.2.3. Elementos presentes en las muestras**

En las muestras estudiadas se han identificado diferentes componentes texturales presentes en las rocas, siendo el yeso, en concreto el yeso secundario, el componente mayoritario. Aunque es común que haya otros componentes en pequeñas proporciones como celestina y anhidrita, y en menor medida tenemos presencia de carbonatos, yesos primarios o, minerales detríticos (cuarzo predominantemente).

#### **4.2.3.1. Componentes texturales: Yeso**

El yeso es el componente mayoritario en las rocas estudiadas, en concreto el yeso secundario, aunque también hemos observado yeso primario. Dentro la clasificación del yeso hay definidos distintos componentes texturales en función del mecanismo que intervino en la génesis del cristal. Pero todos ellos tienen, como es lógico, los rasgos petrográficos característicos del yeso.

Los componentes texturales que encontramos en las rocas de yeso alabastrino son los siguientes.

##### *4.2.3.1.1. Yesos secundarios*

###### *4.2.3.1.1.1. Yeso porfidoblástico*

Para diferenciar esta variedad tomamos la definición de Mandado (1987), que es más restrictiva que la sugerida por otros autores (Holliday, 1970; San Miguel y Ortí, 1973; Ortí, 1977). Por lo tanto, entendemos como cristales porfidoblásticos, aquellos con morfologías idiomorfas o subidiomorfas con extinción óptica uniforme, los cuales no suelen presentar inclusiones y que en casos de tenerlas son de anhidrita. Su tamaño oscila entre los 5 mm a 150  $\mu\text{m}$ . Se presentan como cristales aislados, envueltos por una matriz alabastrina que actúa como cemento. Las secciones son monocristalinas predominando los hábitos pseudo hexagonales, su orientación es totalmente aleatoria. Los contactos con el resto de cristales secundarios de yeso suelen ser rectos o cóncavo – convexos y suturados.

Su génesis se produce por un reemplazamiento de anhidrita por yeso a gran profundidad y bajo condiciones de equilibrio o cuasiequilibrio, lo que conlleva una nucleación baja y crecimientos cristalinos lentos (Mandado, 2018).

###### *4.2.3.1.1.2. Yeso alabastrino*

Dentro del yeso con textura alabastrina podemos diferenciar tres componentes que definimos en función de su tamaño, entre las que hay una transición gradual. Estos componentes fueron definidos por (Holliday, 1970; Ortí, 1977) y también son empleados por (Mandado, 1987). En este caso se presentan con algunas variaciones a las definiciones presentadas por estos autores, para poder utilizar estos componentes texturales como elemento diferenciador de la procedencia del material, estos componentes son:

- ✓ ***Textura alabastrina microcristalina:*** Está constituido por cristales de yeso de pequeñas dimensiones, entre 100 y 20  $\mu\text{m}$ , generalmente alotriomorfos y con contactos que varían entre rectos, cóncavo-convexos a suturados, pueden presentar inclusiones de anhidrita y extinción ondulante con nicoles cruzados. Suelen ser un porcentaje importante dentro de la muestra.
- ✓ ***Textura alabastrina Subidiomorfa:*** Tienen dimensiones entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y morfologías alotriomorfas, pueden tener inclusiones de anhidrita y extinción ondulante en nicoles cruzados. En comparación con los otros componentes del yeso alabastrino su presencia es sensiblemente menor.
- ✓ ***Textura alabastrina C.E.N.U. (Cristales con extinción no uniforme):*** Son cristales alotriomorfos de grandes dimensiones, alcanzando hasta los 3 mm y llegado a las 150  $\mu\text{m}$ , con abundantes inclusiones de anhidrita y con extinción ondulante en nicoles cruzados.

Se trata de cristales que han crecido muy rápidamente, bajo una fuerte presión confinante que provoca que presenten un gran número de dislocaciones, sólo en los C.E.N.U., en su estructura cristalina, sin que lleguen a diferenciarse cristales individuales, pero sin alcanzar una estructura cristalográfica perfecta como monocristal. Todos estos componentes parecen deberse a un proceso de hidratación rápida, en condiciones de fuerte desequilibrio, en condiciones superficiales a subsuperficiales (Mandado, 2018).

#### 4.2.3.1.1.3. Yeso megacristalino

Tomando la definición de Mandado (1987), este componente se caracteriza por poseer dimensiones apreciables a simple vista entre 5 a 1 mm, con exfoliación muy marcada y origen claramente secundario. Es un componente habitual en las rocas de yeso secundario, aunque no es exclusivo y suele estar asociado a yeso alabastrino. Aunque puede resultar similar a los componentes porfidoblasticos, hay una serie de características ópticas que los diferencian, como son sus morfologías totalmente alotriomorfas y abundantes inclusiones de anhidrita por todo el cristal.

Por su gran tamaño y la abundancia de inclusiones de anhidrita, indica que tuvieron un crecimiento rápido en condiciones de equilibrio o cuasi-equilibrio.

#### 4.2.3.1.1.4. Yeso de recristalización

Es un tipo textural de yeso secundario, resultante de modificaciones posteriores de las facies alabastrinas, la entendemos como un proceso diagenético de transformación de la cristalinidad de la roca en estado sólido. Este tipo de componente se caracteriza por presentar cristales con dimensiones variables, desde 5 mm hasta 100  $\mu\text{m}$ , equidimensionales con extinciones uniformes, sin inclusiones y contactos intercristalinos generalmente rectos. Tienen tendencia a ser cristales idiomorfos o subidiomorfos, que cortan los componentes del yeso secundario a partir del cual han crecido.

#### 4.2.3.1.1.5. Yeso fibroso

Una variedad de yeso que se forma a partir de los fluidos sobresaturados que corresponden a los excedentes de volumen que se generan en el proceso de transformación de la anhidrita en yeso. Estos fluidos se abren camino a través de la roca siguiendo las líneas de debilidad del cuerpo rocoso, generando filones en los que precipita el yeso con un mecanismo competitivo por el espacio que favorece el crecimiento subparalelo de los cristales desde las paredes de las grietas al centro de la misma. Se trata, pues, de cristales fibrosos, carentes de inclusiones de anhidrita, ya que se han formado por cristalización del yeso a partir de un fluido y, desde ese punto de vista, son de origen primario, aunque genéticamente cabe considerarlos como secundarios al generarse en condiciones epidíagenéticas, como consecuencia del proceso de hidratación (Mandado, 2018).

#### 4.2.3.1.2. Yesos primarios

##### 4.2.3.1.2.1. Yeso lenticular

Son cristales de forma lenticular o biconvexa. Sus dimensiones oscilan entre 5 a 1 mm y aparecen distribuidos generalmente en una matriz carbonatada. Los contactos con la matriz son netos o rectos y la morfologías son idiomorfas o subidiomorfas, su extinción óptica es uniforme que permite diferenciar cada uno de los cristales separados por la macla.

Esta variedad de yeso primario se forma en la fase sinsedimentario o diagénica temprana, en la zona vadosa que rodeaba al lago salino, mediante el proceso de bombeo por evaporación. Es un proceso similar al que genera las rosas del desierto.

#### 4.2.3.2. Componentes texturales: *Minerales accesorios*

##### 4.2.3.2.1. Celestina

La celestina es un sulfato de estroncio ( $\text{SrSO}_4$ ) que en pequeñas proporciones está presente en todas las muestras estudiadas pudiendo variar de unas a otras su morfología, tamaño y distribución. Las características ópticas es que es un mineral incoloro y el relieve medio - alto en nicols paralelos; en nicols cruzados sus colores de interferencia son bajos o de primer orden (blanco o gris).

Los cristales pueden aparecer tanto aislados como agrupados de forma aleatoria o a modo de gavilla o como cristales esqueléticos, sus dimensiones también pueden variar desde 200 a 5  $\mu\text{m}$ . También existen variaciones en la forma de los cristales desde idiomorfa a alotriomorfa y en los bordes de los mismos, que aunque suelen ser rectos también pueden encontrarse cristales con contactos cóncavo-convexos.

##### 4.2.3.2.2. Anhidrita

La fase anhidra del Sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) es un mineral incoloro y con relieve alto en nicols paralelos; en nicols cruzados presenta fuerte birrefringencia o colores de interferencia de segundo orden.

En rocas que hemos podido estudiar, en las que representa el componente mayoritario, aparece en forma de cristales tabulares con disposición radial, aunque son más frecuentes las fábricas densadas y aleatorias. Aunque en la mayor parte de los casos la encontramos como relicto en forma de inclusiones dentro de cristales de yeso alabastrino, con hábitos principalmente alotriomorfos, contactos cóncavo – convexos y dimensiones entre 200 a 5  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.3.2.3. Carbonatos

En algunas de las canteras hemos podido encontrar presencia de carbonatos, principalmente de carácter calcítico, que aparecen como cristales de pequeñas dimensiones entre 20 a 1  $\mu\text{m}$ , en los que no es posible distinguir ningún tipo de hábito característico, principalmente se observan como una masa micrítica de color marrón oscuro en nicoles paralelos y con alta birrefringencia en cruzados, ocupando el espacio entre cristales de yeso. Su porcentaje puede oscilar desde 1 al 15 %. Generalmente en las variedades en las que aparece el alabastro presentan tonos oscuros *de visu*.

#### 4.2.3.2.4. Detríticos

Al mencionar a los componentes detríticos, nos referimos principalmente al cuarzo, y en algunas muestras se pueden encontrar pequeños cristales de cuarzo englobados en la matriz alabastrina. Se diferencian del yeso por su bajo relieve en nicoles paralelos y por los bordes redondeados de los cristales que indican que llegaron a la cuenca como aportes detríticos. Su porcentaje es muy escaso y el tamaño de los cristales oscila entre 3 mm a 10  $\mu\text{m}$ .

### **4.2.4. Criterios de descripción para microscopía óptica**

#### **4.2.4.1. Tamaño**

El tamaño máximo (MGS) que pueden alcanzar los componentes texturales anteriormente descritos, puede ser de gran importancia a la hora de conocer la procedencia de una muestra.

Como se comentó anteriormente, el tamaño de máxima longitud de los cristales (MGS) es uno de los criterios de identificación utilizados en mármoles (Moens *et al.*, 1988) en el caso del alabastro nos puede dar información el tamaño máximo (MGS).

Para la celestina, también influye además de su presencia el tamaño máximo (MGS) que alcanzan los cristales, que en algunos casos pueden ser de hasta 200  $\mu\text{m}$ .

#### **4.2.4.2. Forma**

La forma o el hábito de los cristales según el tipo de componente también pueden ser útiles.

En los componentes del yeso alabastrino ya sea C.E.N.U., subidiomorfa o microcristalina, podemos diferenciar entre los cristales que presentan hábitos

equidimensionales o alargados, que en algunos caso pueden incluso reflejar una orientación preferente.

Otro aspecto a tener en cuenta es el de la celestina, que presenta diversas morfologías que pueden ser características de un lugar de procedencia u otro. Hay cristales que son total o casi totalmente idiomorfos, los cuales diferenciamos por presentar hábitos romboidales o prismáticos (bipiramidal, pinacoide facetado), también se pueden encontrar cristales esqueléticos aislados o agrupaciones de cristales alargados en forma de gavilla.

#### **4.2.4.3. Contactos**

Los contactos entre los cristales nos proporcionan información de las condiciones de formación de esa roca, si su crecimiento fue lento o rápido, o si había espacio suficiente para su desarrollo o competencia por el espacio. También se puede deducir el orden en que se formaron los cristales e incluso si hubo influencia tectónica durante o después de su formación.

En el caso de los componentes alabastrinos (C.E.N.U., subidiomorfa o microcristalina) a partir del tipo y características de los contactos intercristalinos este criterio es una útil herramienta para el diagnóstico, ya que en algunas canteras los contactos entre ellos son totalmente suturados y en otras dominan contactos rectos.

#### **4.2.4.4. Inclusiones**

Las inclusiones que encontramos en los materiales estudiados son principalmente de anhidrita, que es un relicto que nos habla del proceso de hidratación de sufrió esta roca para llegar a ser yeso alabastrino.

Las inclusiones suelen encontrarse dentro de los cristales de yeso alabastrino tipo C.E.N.U. y de los componentes megacristalinos. En este caso, lo que resulta relevante es el tamaño de las inclusiones y su cantidad que puede variar de unas canteras a otras.

#### **4.2.4.5. Porcentaje de cada elemento descrito**

La cantidad o porcentaje de cada unos de los componentes texturales, también es un indicativo significativo a la hora de realizar la descripción petrográfica ya que en unas canteras puede ser una de sus características que el mayor porcentaje de yeso alabastrino sea de tipo microcristalino y en otra que sea del tipo C.E.N.U. Al igual que la mayor o menor presencia de minerales accesorios, como son celestina, anhidrita y carbonatos.

### ***4.2.5. Resultados microscopía óptica***

Para definir las litofacies presentes en las canteras estudiadas vamos a seguir el orden de las áreas geológicas descritas en el capítulo **III. Situación geológica**. Empezando por la cuenca del Ebro, la cual dividimos en tres sectores Valle del Ebro: Occidental, Central y Oriental. Seguido por la Cuenca de Calatayud, la Depresión Costera Valenciana y la Cuenca de Madrid.

#### 4.2.5.1. Valle del Ebro. Sector Occidental

En este caso las litofacies se han establecido según las localidades en las que se han tomado muestras, las muestras tomadas no proceden de canteras actualmente en explotación y solo las de Borja y Monteagudo se han podido tomar directamente de canteras históricas. En el caso de Autol y Ablitas se han tomado directamente del afloramiento siguiendo los niveles que contenían nódulos de yeso alabastrino susceptibles de haber sido utilizados en trabajos escultóricos.

##### 4.2.5.1.1. Autol (*facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos y cristales de celestina idiomorfa*)

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina de tipo C.E.N.U. y microcristalina con abundancias relativas de 20 % y 50 % respectivamente, manteniendo un tamaño de cristales de 2.5 a 0.15 mm para los C.E.N.U. y de 100 a 10  $\mu\text{m}$  en el caso de microcristalina. Las dimensiones MGS para C.E.N.U. es de 2.5 mm. Los contactos entre estos componentes oscilan entre cóncavo-convexos a suturados. También hay algunos cristales de carbonatos dispersos dispuestos entre los contactos de los cristales de mayor tamaño que representan del 2 al 7 %. Destacar en algunos casos la presencia de porfidoblastos donde llegan a representar un 10% del total al igual que ocurre con los cristales recristalizados que representa entre el 5 - 8 %, en ambos casos aparecen dispersos por toda la lámina. Presencia del 4 % de cristales idiomorfos de celestina que aparecen tanto agrupados como aislados, tienen hábitos hexagonales y romboidales. Hay un 2% de anhidrita en forma de inclusiones dentro de los cristales de textura alabastrina y porfidoblastos.

##### 4.2.5.1.2. Ablitas (*facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos y cristales de celestina esqueletales*)

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina representada entre el 85% del total y en menor medida la textura alabastrina subidiomorfa con un 10 %, manteniendo un tamaño de cristales bastante homogéneo con hábitos alargados que llegan a alcanzar hasta los 250  $\mu\text{m}$  en el caso de los cristales subidiomorfos y como mínima 20  $\mu\text{m}$  los microcristalinos. Se aprecia una orientación preferente de los cristales y los contactos entre ellos oscilan entre rectos y cóncavo – convexos. Hay presencia de un 1% de detríticos, cuarzo concretamente que aparece como granos redondeados de 20 a 5  $\mu\text{m}$  englobados en los cristales de yesos, sus bordes son redondeados. También podemos ver cristales de celestina el 3%, que pueden alcanzar tamaños de 350  $\mu\text{m}$  en casos de cristales esqueletales, si son menores y están dispersos por la muestra no superan las 20  $\mu\text{m}$ . En el caso de la anhidrita en estas muestras es muy escasa menos del 1%, encontrándose como inclusiones en los cristales de textura alabastrina subidiomorfos y con tamaños entre 10 y 5  $\mu\text{m}$ .

##### 4.2.5.1.3. Monteagudo (*facies de yeso lenticular y carbonatos*)

Mosaico cristalino en el que dominan los cristales de yeso lenticular representando un 60% del total y con tamaños que van desde 400 a 50  $\mu\text{m}$  cuyos contactos son mayoritariamente rectos, podemos encontrar también cristales de yeso recristalizado en un 20% con tamaños de 500 a 50  $\mu\text{m}$ . Destacar la presencia de carbonatos que puede ser

de hasta un 15% del total con tamaños de 100 a 20  $\mu\text{m}$ . En relación con los carbonatos hay cristales de celestina un 2% cuya longitud puede ser de 100 a 5  $\mu\text{m}$ . Destacar la presencia de la presencia de elementos de origen silíceo que por sus relaciones con el resto de cristales precipitaron *in situ* y suelen estar relacionados con la presencia de materia orgánica, en concreto se trata de la variedad de lutecita que se diferencia al cruzar nicoles ya que tienen aspecto de esferulitos y representan un 3% de los elementos presentes, pudiendo alcanzar tamaños de hasta 250 a 100  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.5.1.4. Borja (*facies de yeso lenticular y carbonatos*)

Mosaico cristalino en el que dominan los cristales de yeso lenticular representando un 75% del total con tamaños que van desde 500 a 50  $\mu\text{m}$ . Podemos encontrar también cristales de yeso recristalizado 5% con tamaños de 200 a 30  $\mu\text{m}$ . Destacar la presencia de carbonatos que puede ser de hasta un 15% del total con tamaños de 60 a 5  $\mu\text{m}$ , su composición es calcítica ya que al teñir con alizarina las muestras aparecen los cristales de color rojo, en algunos casos incluso actúa como matriz englobando los cristales de yeso lenticular. Y en relación con los carbonatos hay cristales de celestina un 5% cuya longitud puede ser de 80 a 5  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.5.2. Valle del Ebro. Sector Central o Valle Medio del Ebro

Las litofacies reciben el nombre de las localidades en las que se han tomado muestras, que proceden de canteras actualmente en explotación en el caso de Fuentes de Ebro, Gelsa y Velilla y solo las de Escatrón y se han tomado de una cantera históricas. En los casos de Alcubierre, Leciñena y Rueda de Jalón las muestras proceden directamente del afloramiento, buscando los niveles que contenían nódulos de yeso alabastrino susceptibles de haber sido utilizados en trabajos escultóricos.

##### 4.2.5.2.1. Fuentes de Ebro (*facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos y cristales de celestina esqueléticos*)

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina y textura alabastrina C.E.N.U. representada la primera por un 49% del total y la textura C.E.N.U. por un 30%, siendo el tamaño de los cristales entre 800 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para textura microcristalina, siendo los MGS 0.8 mm, con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. Hay presencia en un 8% de porfidoblastos que llegan a alcanzar 8.5 mm y destacan por la abundante presencia de relictos de anhidrita en su interior. También podemos ver cristales de celestina entre el 2% que pueden alcanzar tamaños de 100  $\mu\text{m}$  los cuales pueden aparecer tanto agrupados en forma de gavilla como dispersos y los son cristales esqueléticos. En el caso de la anhidrita se aprecia su presencia como relicto principalmente en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando un 1% del total y con tamaños oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .

##### 4.2.5.2.2. Gelsa (*facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos y cristales de celestina esqueléticos*)

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina y textura alabastrina C.E.N.U. la primera representa el 45% del total y la C.E.N.U. un

35% con un rango de tamaño de cristales entre 800 y 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 50  $\mu\text{m}$ , siendo el MGS 0.8 mm, los cristales tienen hábitos equidimensionales y contactos cóncavo - convexos. Hay presencia de un 10% de porfidoblastos que llegan a alcanzar 1.2 mm y destacan por la abundante presencia de relictos de anhidrita en su interior. También podemos ver cristales de celestina el 2% que pueden alcanzar tamaños de 150  $\mu\text{m}$ , aparecen agrupados en forma de gavilla o dispersos pero en todos los casos son cristales esqueléticos. La anhidrita podemos encontrarla principalmente como relictos en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando un 1% del total y con tamaños que oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .

#### *4.2.5.2.3. Escatrón – Velilla (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos – C.E.N.U. y cristales de celestina esqueléticos)*

Mosaico microcristalino en el que domina las texturas alabastrinas microcristalina y C.E.N.U., en el primer caso representa un 40% del total y la C.E.N.U. con un 40%, el tamaño de los cristales es de 800 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para microcristalina, siendo los MGS 0.8 mm, con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. Hay presencia de un 10% de porfidoblastos que llegan a alcanzar 6 mm y destacan por la abundante presencia de relictos de anhidrita en su interior. También podemos ver cristales de celestina entre el 2% que pueden alcanzar tamaños de 60  $\mu\text{m}$  y parecen tanto agrupados como dispersos, pero en todos los casos son cristales esqueléticos. La anhidrita se encuentra como relictos principalmente en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando de un 1% del total y tamaños oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ . En algunas muestras se vio granos de cuarzo con contactos redondeados que indican un origen detrítico.

#### *4.2.5.2.4. Alcubierre (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos, cristales de celestina esqueléticos y minerales de la arcilla)*

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina del tipo C.E.N.U. presente entre un 74% y 80% con dimensiones entre 7.5 mm y 0.3 mm y textura alabastrina microcristalina con abundancias relativas de 10% a 20% y tamaños de 100 a 40  $\mu\text{m}$ . Las dimensiones MGS para C.E.N.U. es de 7.5 mm. Los contactos entre estos componentes son principalmente cóncavo-convexos. Hay anhidrita relictos en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina en un 3%, alcanzando tamaños entre 100 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 1% cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados como aislados y cuyos tamaños oscilan entre 100 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos. Asociados a los cristales de celestina hay carbonatos en un 2 – 3% y entre ellos destaca la presencia de óxidos de color rojo y forma granular, se sitúan entre los contactos de los cristales de mayor tamaño.

#### *4.2.5.2.5. Leciñena (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos y cristales de celestina esqueléticos)*

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina perteneciendo del 20% al 55% a cristales del tipo microcristalina cuyos tamaños oscilan entre 100 a 10  $\mu\text{m}$  y el 20% son del tipo C.E.N.U. con dimensiones de 1.5 y 0.2 mm, con hábitos alotriomorfos y contactos entre los bordes de los cristales mayoritariamente cóncavo – convexos



pudiendo llegar a ser rectos en algunos casos, el MGS para C.E.N.U. es de 1.5 mm, en alguna muestra domina la textura subidiomorfa representando el 50% y con tamaños entre 250 a 100  $\mu\text{m}$ . También resulta relevante la presencia de porfidoblastos que alcanzan tamaños de 5 a 8 mm, en varias muestras llegan a ser dominantes pudiendo representar el 60% de ellas, su hábito es alotriomorfo y los contactos entre los bordes son cóncavo – convexos. Hay anhidrita relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 4%, alcanzando tamaños entre 150 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 1% cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueletales) cuyos tamaños oscilan entre 20 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.

#### *4.2.5.2.6. Rueda de Jalón (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales C.E.N.U. y cristales de celestina esqueletales)*

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina del tipo C.E.N.U. cuyas dimensiones son de 1 mm a 0.25 mm y textura alabastrina microcristalina que oscila entre 100 a 30  $\mu\text{m}$  con abundancias relativas en conjunto de 10 al 20% y 77 al 86% respectivamente, con contactos cóncavo – convexos. Las dimensiones MGS para C.E.N.U. es de 1 mm. Los contactos entre estos componentes son cóncavo-convexos. También podemos ver cristales de celestina entre el 2%, que pueden alcanzar tamaños de 150 a 5  $\mu\text{m}$  que vemos tanto agrupados como dispersos. En el caso de la anhidrita se aprecia su presencia como relicto principalmente en los cristales de tipo C.E.N.U. representando menos de un 1% del total y tamaños oscilan entre 50 y 5  $\mu\text{m}$ . En algunas muestras podemos encontrar un 1% de carbonatos entre los que hay óxidos de color oscuro y suelen estar asociados a acumulaciones de celestina.

#### **4.2.5.3. Valle del Ebro. Sector Occidental**

Las muestras tomadas para definir las litofacies proceden tanto de canteras activas, como es el caso las muestras tomadas en las cercanías de Sarral y Beuda. Como directamente del afloramiento, tomando muestras en corte fresco de las localidades de Odena y Tona.

##### *4.2.5.3.1. Sarral 1 (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos, cristales de celestina y oxidos)*

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina y textura alabastrina C.E.N.U. que representan entre el 50 al 60% del total la primera y en menor medida la tipo C.E.N.U. con un 15 al 30%, siendo el tamaño de cristales de 1 a 0.04 mm para los C.E.N.U. y de 100 a 20  $\mu\text{m}$  siendo los MGS 1 mm, los hábitos de los cristales son alargados llegando. Se aprecia una orientación preferente de los cristales y los contactos entre ellos son principalmente suturados. Hay presencia de un 3% al 5% de porfidoblastos que llegan a alcanzar 2 mm y destacan por la abundante presencia de relictos de anhidrita en su interior, que algunos casos se intensifica hacia los bordes. También podemos ver cristales de celestina entre el 3% y 5% que pueden alcanzar tamaños de 150  $\mu\text{m}$  que parecen agrupados o dispersos. Entre la matriz microcristalina se pueden encontrar cristales de yeso procedente de la recristalización ya que tiene hábitos idiomorfos y sus contactos son rectos, se aprecia como cortan los minerales

adyacentes representan el 2 % y alcanzan tamaños de hasta 250  $\mu\text{m}$ . En el caso de la anhidrita se aprecia su presencia como relicto principalmente en los cristales porfiroblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando de un 3% a 5% del total y con tamaños que oscilan entre 100 y 5  $\mu\text{m}$ . También destacar la presencia en algunas muestras de carbonatos que puede representar un 10%, junto a los que está asociada la celestina y unos minerales opacos de morfologías circulares y color oscuro que reconocemos como óxidos.

#### *4.2.5.3.2. Sarral (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales C.E.N.U., cristales de celestina y oxidados)*

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina y textura alabastrina C.E.N.U. la primera representa del 30 al 40% del total y la C.E.N.U. con de un 44 al 60%, manteniendo un tamaño de cristales de 500 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 50  $\mu\text{m}$  siendo los MGS 0.5 mm, con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. Hay presencia entre un 4% - 10% de porfidoblastos que llegan a alcanzar 4 mm y destacan por la abundante presencia de relictos de anhidrita en su interior, que algunos casos se intensifica hacia los bordes. También podemos ver cristales de celestina alrededor del 3% que pueden alcanzar tamaños de 100  $\mu\text{m}$  y que parecen tanto agrupados como dispersos. En el caso de la anhidrita su presencia es abundante como relictos principalmente en los cristales porfiroblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando de un 3% del total y con tamaños que oscilan entre 100 a 5  $\mu\text{m}$ . También destacar la presencia en algunas muestras de carbonatos que puede representar un 20% junto a los que está asociada la celestina y unos minerales opacos de morfologías circulares y color oscuro que reconocemos como óxidos.

#### *4.2.5.3.3. Beuda (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos, cristales de celestina y carbonatos)*

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina representa el 50% del total y por la textura alabastrina subidiomorfa un 40 - 43%, el tamaño de cristales llegan a alcanzar hasta los 250  $\mu\text{m}$  los cristales subidiomorfos y como mínima 20  $\mu\text{m}$  los cristales microcristalinos, los cristales tipo C.E.N.U. representan entre el 3 - 4% de la muestra con tamaños comprendidos entre 500 a 400  $\mu\text{m}$  siendo los MGS 0.5 mm, los contactos entre los cristales son suturados, en algunos casos se aprecia que cristales de menor tamaño fueron creciendo ocupando el espacio de cristales de mayor tamaño preexistentes. Hay presencia entre un 2 al 4% de cristales recristalizados, con dimensiones entre 50 a 200  $\mu\text{m}$  cortando a los cristales con textura alabastrina, sus bordes son rectos. También podemos ver cristales de celestina el 1%, que pueden alcanzar tamaños de 80  $\mu\text{m}$  que aparecen dispersos por la muestra. En este caso la anhidrita casi no se observa en la muestra siendo muy escasa y representando menos del 1% que aparece como inclusiones en los cristales de textura alabastrina subidiomorfos con tamaños entre 20 y 5  $\mu\text{m}$ .

#### *4.2.5.3.4. Odena (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales C.E.N.U., cristales de celestina y oxidados)*

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina con una representación del 48 al 50% del total y la textura alabastrina C.E.N.U. con un 40%, las dimensiones de los cristales son de 1.5 a 0.03 mm para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para microcristalina siendo los MGS 1.5 mm. Los cristales tienen hábitos alargados que en algunos casos reflejan una distribución en forma de abanico o estrella y los contactos entre ellos son principalmente suturados. También podemos ver cristales de celestina un 2% que pueden alcanzar tamaños de 500  $\mu\text{m}$ , los cristales individuales están bien formados alcanzando dimensiones mayores y cuando se encuentran agrupados su tamaño medio es de 5  $\mu\text{m}$ . Entre la matriz microcristalina se pueden encontrar también cristales de yeso procedente de la recristalización, ya que tienen hábitos idiomorfos y sus contactos son rectos, al compararlos con los cristales adyacentes se ve como los cortan, su presencia es de un 5 % y alcanzan tamaños de hasta 750  $\mu\text{m}$ . En el caso de la anhidrita se observa su presencia principalmente como relicto en los cristales de tipo C.E.N.U. representando de un 1% del total y los tamaños de los cristales oscilan entre 80 y 5  $\mu\text{m}$ . También destacar la presencia en algunas muestras de carbonatos que puede representar un 3%, junto a los que está asociada la celestina y unos minerales opacos de morfologías circulares y color oscuro que reconocemos como óxidos.

#### *4.2.5.3.5. Tona (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales C.E.N.U. con orientación preferente y cristales de celestina)*

Mosaico microcristalino en el que dominan las texturas alabastrinas microcristalina y C.E.N.U., la primera representa entre el 50 al 60% del total y la C.E.N.U. entre un 30 a 40%, manteniendo el tamaño de cristales de 1 mm a 100  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 20  $\mu\text{m}$ . Como media de las dimensiones MGS 1 mm, los hábitos de los cristales son alargados y los contactos entre ellos son principalmente suturados. También podemos ver cristales de celestina un 2% que pueden alcanzar tamaños de hasta 100  $\mu\text{m}$  cuando aparecen como cristales individuales con hábitos idiomorfos y sin embargo cuando aparecen agrupados su tamaño es entorno a 5  $\mu\text{m}$ . En el caso de la anhidrita se aprecia su presencia como relicto principalmente en los cristales de tipo C.E.N.U. representando de un 1% del total con tamaños que oscilan entre 20 y 5  $\mu\text{m}$ . También destacar la presencia en algunas muestras de carbonatos que puede representar hasta un 2% junto a los que está asociada la celestina y unos minerales opacos de morfologías cubicas y color oscuro que en algunas zonas tiende a rojizo y que en su mayoría es opaco, a estos elementos los reconocemos como óxidos.

#### **4.2.5.4. Cuenca de Calatayud**

La localidad próxima a las canteras de donde se extraen las muestras es Fuentes de Jiloca, donde en la actualidad hay una empresa extrayendo material, la cual nos facilitó muestras de las variedades que aparecen en la zona. También se tomaron muestras de canteras históricas, actualmente en desuso que eran en galería. Por último, se obtuvieron muestras de las proximidades de Calatayud, en este caso directamente de los afloramientos.

##### *4.2.5.4.1. Blanca (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos y cristales de celestina esqueléticos)*

Mosaico microcristalino en el cual domina la textura alabastrina, los cristales del tipo microcristalina son el 58% del total con tamaños que van desde las 100 hasta 30  $\mu\text{m}$ , los del tipo subidiomorfa son el 15% de los cristales y sus dimensiones varían entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y el 20% corresponden al tipo C.E.N.U. con dimensiones de 2 y 0.4 mm. Estos cristales tienen hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexo e incluso rectos. El MGS para C.E.N.U. es de 2 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales. También resulta relevante la presencia de porfidoblastos que pueden alcanzar tamaños de 1 mm a 250  $\mu\text{m}$  llegando a representar el 2%, sus hábitos son alotriomorfos y los contactos entre los bordes cóncavo – convexo. Hay anhidrita relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 2% alcanzando tamaños de 100 a 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 2 % cristales de celestina cuyos cristales aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) y sus tamaños oscilan entre 250 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.

#### *4.2.5.4.2. Champán (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales C.E.N.U. y cristales de celestina esqueléticos)*

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina C.E.N.U. que representa el 70% del total con tamaños de 8 a 0.4 mm, del tipo subidiomorfo hay un 15% cuyas dimensiones en encuentran entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y los de tipo microcristalina son el 10% de los del total con tamaños entre de 100 a 80  $\mu\text{m}$ , los hábitos de estos cristales son alotriomorfos y los contactos de los cristales son mayoritariamente cóncavo – convexo e incluso pueden llegar a ser rectos, el MGS para C.E.N.U. es de 8 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados sin orientación preferente, aunque se suelen agrupar dando formas arbolescentes. Hay anhidrita relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina en un 2 % alcanzando tamaños entre 60 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavos – convexos, en algunos casos pueden tener forma lenticular. Presencia de 3 % cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) y cuyos tamaños oscilan entre 150 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.

#### *4.2.5.4.3. Tabaco (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos y carbonatos)*

Mosaico microcristalino donde domina la textura alabastrina, en el que el 54% de los cristales pertenecen al tipo microcristalina con tamaños entre de 100 a 20  $\mu\text{m}$ , del tipo subidiomorfa tenemos un 20% de los cristales con tamaños entre de 400 a 100  $\mu\text{m}$  y el 10% son del tipo C.E.N.U. con dimensiones entre 1 y 0.4 mm. Sus hábitos son alotriomorfos y los contactos entre los bordes de los cristales cóncavo – convexo e incluso rectos, el MGS para C.E.N.U. es de 1 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales. Hay anhidrita relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 1% alcanzando tamaños entre 100 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 5 % cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) cuyos tamaños oscilan entre 250 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o

subidiomorfos y contactos rectos. Destacar de igual modo la presencia de carbonatos que puede representar un 10% alcanzando tamaños de 10 a 5  $\mu\text{m}$  con contactos cóncavo – convexos, junto a los que está asociada la celestina. Dispersos por la muestra se aprecian unos minerales opacos y color oscuro que reconocemos como óxidos asociados a los carbonatos y celestina.

#### *4.2.5.4.4. Calatayud (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos y cristales de celestina esqueletales)*

Mosaico microcristalino en el que predomina la textura alabastrina el 50% de los cristales son del tipo microcristalina con tamaños entre 100 y 20  $\mu\text{m}$ , del tipo subidiomorfo hay un 15% con tamaños entre 100 a 400  $\mu\text{m}$  y el 20% son del tipo C.E.N.U. que llegan a alcanzar de los 2 a 0.4 mm, todos ellos con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexo e incluso rectos. El MGS para C.E.N.U. es de 2 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y sin orientación preferente. También resulta relevante la presencia de porfidoblastos que alcanzan tamaños de 1.5 mm a 500  $\mu\text{m}$  llegando a representar el 10%, su hábito es alotriomorfo y los contactos son cóncavo – convexo. Hay anhidrita relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 2% alcanzando tamaños entre 80 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 2 % cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados en forma de gavilla como aislados (cristales esqueletales) cuyos tamaños oscilan entre 100 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.

#### **4.2.5.5. Depresión costera valenciana**

Las muestras se tomaron en dos localidades diferentes Sot de Ferrer y Picassent, en ambos casos directamente de los afloramientos, aunque en las inmediaciones de canteras históricas actualmente inactivas.

#### *4.2.5.5.1. Sot de Ferrer (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos - C.E.N.U, yeso recristalizado y carbonatos)*

Mosaico microcristalino en el cual domina la textura alabastrina microcristalina y textura alabastrina C.E.N.U., la primera representa el 40% del total y la C.E.N.U. el 30%, siendo el tamaño de cristales de 4 mm a 300  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 20  $\mu\text{m}$  para el tipo microcristalina, de este modo el MGS es 4 mm, presentando cristales con hábitos alargados y contactos que oscilan entre suturados a cóncavo – convexos. Podemos ver que los cristales tienen cierta orientación preferente y los correspondientes a la textura textura alabastrina microcristalina están rodeando e incluso ocupando el espacio de los tipo C.E.N.U. Como elemento diferenciador hay un 35% de cristales producto de la recristalización del material previo y de estos elementos recristalizados un 10% presentan extinción ondulante al observarlos con nicols cruzados, al igual que los cristales con textura alabastrina tipo C.E.N.U., los tamaños de estos cristales según si son recristalizados puros está entre 1.4 mm a 30  $\mu\text{m}$ , y en el caso de los presentan extinción ondulante es de 1 mm a 100  $\mu\text{m}$ , los contactos son rectos en ambos casos. También podemos ver cristales de celestina representando un 2% que pueden alcanzar tamaños de 100  $\mu\text{m}$  y que aparecen tanto agrupado como dispersos. Destacar de igual modo la presencia de carbonatos que puede representar un 3% alcanzando tamaños de

550 a 30  $\mu\text{m}$  con contactos cóncavo – convexos, junto a los que está asociada la celestina. Dispersos por la muestra se aprecian unos minerales opacos de morfologías hexagonales y color oscuro que reconocemos como óxidos con tamaños de hasta 60  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.5.5.2. *Picassent 1 (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos y cristales de celestina esquelatales)*

Mosaico microcristalino en el que vemos que predomina la textura alabastrina microcristalina y textura alabastrina C.E.N.U., en el primer caso representa entre el 46 al 56% del total y la tipo C.E.N.U. el 30%, los cristales tienen un tamaño entre 1 mm a 100  $\mu\text{m}$  para los tipo C.E.N.U. y de 100 a 30  $\mu\text{m}$  siendo los MGS 1 mm, con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. Hay presencia en algunas muestras que corresponden a los bordes de los nódulos de hasta un 10% de porfidoblastos que llegan a alcanzar 8 mm y destacan por la abundante presencia de relictos de anhidrita en su interior que algunos casos se intensifica hacia los bordes. También podemos ver cristales de celestina (cristales esquelatales) alrededor del 2%, que pueden alcanzar tamaños de 100  $\mu\text{m}$  que parecen agrupados en forma de gavilla compuesta por cristales de unas 10  $\mu\text{m}$  de espesor o dispersos. En el caso de la anhidrita se aprecia su presencia como relicto de forma destacada cuando aparecen cristales porfiroblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando de un 2% del total y tamaños oscilan entre 200 y 5  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.5.5.3. *Picassent 2 (facies de yeso lenticular y carbonatos)*

Mosaico cristalino en el que dominan los cristales de yeso lenticular que compone el 80% de la muestra, estos cristales alcanzan tamaños entre 300 a 100  $\mu\text{m}$ . En menor medida un 10% también encontramos cristales de yeso porfidobástico que alcanzan dimensiones de 1 a 0.25 mm con contactos cóncavo – convexos, hay cristales con textura alabastrina tipo C.E.N.U. que representan un 2% del total y que miden entre 250 a 750  $\mu\text{m}$  con contactos cóncavo – convexos. Destacar que también podemos encontrar carbonatos un 5% con tamaños en comparación mayores a los que solemos observar en estos materiales de hasta 100  $\mu\text{m}$ , asociados a estos carbonatos hay cristales de celestina un 2% con dimensiones de 50 a 5  $\mu\text{m}$  y contactos rectos. En el caso de la anhidrita, su presencia es muy baja menos del 1%, limitándose prácticamente a relictos dentro de los cristales porfidoblásticos o de tipo C.E.N.U. con tamaños entre 5 a 10  $\mu\text{m}$ .

### 4.2.5.6. Cuenca de Madrid

Las muestras obtenidas en la provincia de Guadalajara, proceden tanto de canteras activas, inactivas, históricas y afloramientos. En las proximidades de la localidad de Jadraque tomamos muestras de una cantera inactiva, procurando que las muestras procedieran de corte fresco, en el caso de Cogolludo sólo pudimos coger muestras de los afloramientos y de canteras históricas que posiblemente dataran de principios del siglo XX, y finalmente próximo al municipio de Aleas está actualmente en explotación una cantera de yeso, de donde obtuvimos las muestras.

#### 4.2.5.6.1. *Cogolludo (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos y cristales de celestina en gavilla)*

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina, siendo los cristales entre el 25% al 45% del tipo microcristalina con tamaños entre de 100 a 20  $\mu\text{m}$ , del tipo subidiomorfa entre un 27% al 35% con tamaños entre de 400 a 100  $\mu\text{m}$  y del 15 al 20% son del tipo C.E.N.U. con dimensiones de 1.5 a 0.4 mm, con hábitos alotriomorfos y contactos entre los bordes de los cristales suturados, el MGS para C.E.N.U. es de 1.5 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales y líneas formadas por estilolitos en el mismo plano en el que están orientados los cristales. También resulta relevante la presencia de porfidoblastos que pueden llegar a alcanzar tamaños de 5 mm y representan el 20% del total, con hábitos alotriomorfos y contactos suturados. Hay anhidrita relictas en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica entre un 2 a 5 %, alcanzando tamaños entre 240 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 3 % cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados en forma de gavilla como aislados cuyos tamaños oscilan entre 100 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.

#### *4.2.5.6.2. Aleas (facies de yeso alabastrino con dominio de cristales microcristalinos y cristales de celestina en gavilla)*

Mosaico microcristalino donde domina la textura alabastrina, el 65% de los cristales son del tipo microcristalina con tamaños entre 100 a 10  $\mu\text{m}$ , del tipo subidiomorfa hay un 25% con tamaños entre de 400 a 100  $\mu\text{m}$  y el 5% son del tipo C.E.N.U. con dimensiones de 1 a 0.4 mm, los cristales tienen hábitos alotriomorfos y contactos suturados. El MGS para C.E.N.U. es de 1 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales y líneas formadas por estilolitos en el mismo plano en el que están orientados los cristales. Hay anhidrita relictas en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina en un 2 %, alcanzando tamaños entre 100 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 3 % cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados en forma de gavilla como aislados cuyos tamaños oscilan entre 100 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.

#### **4.2.6. Comparación entre las diferentes muestras y litofacies**

Para diferenciar las posibles canteras de procedencia es necesario conocer las características del material que se extrae y buscar elementos específicos de cada una de ellas que sean diferentes del resto de canteras. Como son el tipo o tamaño de cristales de textura alabastrina, así como la presencia o ausencia de minerales accesorios. A partir de estas características se pueden definir elementos que resulten diagnósticos a la hora de reconocer la cantera de procedencia de una pieza artística.

Para facilitar esta tarea se ha elaborado una tabla resumen en la que se recogen algunas de las características que hemos tenido en cuenta en la definición y descripción de las litofacies. Con similar objetivo se ha desarrollado un organigrama para comparar rápidamente las diferentes características diagnósticas de las distintas variedades. Estos esquemas se han pensado como herramientas de ayuda en el proceso de identificación de procedencia, en ellas se recogen los valores medios de los elementos estudiados en

las muestras de petrografía después de haber descrito varias muestras de cada variedad. Por lo tanto, para poder realizar una identificación con mayor precisión será necesario estudiar con detalle la muestra procedente de una pieza artística y compararla con las muestras de canteras de modo directo.

#### **4.2.6.1. Tabla resumen**

En la siguiente tabla se recogen algunos de los elementos descritos en las litofacies presentes en las canteras estudiadas. Para poder compararlos rápidamente unos con otros tomamos como referencia las siguientes características petrográficas.

Según la presencia de algunos minerales accesorios como pueden ser Anhidrita (Anh), Celestina (Cel), Carbonatos (Carb) y cuarzo (Qtz), al igual que su distribución y abundancia dentro de las muestras (+++, muy abundante; ++, abundante; +, presente; ±, trazas). Con estas siglas y nomenclatura nos referimos a cada uno de los minerales accesorios y a su representación en cada variedad.

El porcentaje presente de elementos propios de la textura alabastrina como son los tipos C.E.N.U., subidiomorfo y microcristalino son representativos en algunas de las canteras para diferenciarlas. Del mismo modo que la máxima longitud de cristal o MGS de los cristales porfídicos y de tipo C.E.N.U.

La forma de los contactos entre los cristales de yeso (GBS) es en muchos casos una buena referencia para delimitar las posibles procedencias del alabastro. Los tipos de contactos entre los cristales que encontramos en las muestras de alabastro estudiadas son cóncavo – convexo (CC), suturado (Su) recto (Rt).

Destacar que entre las muestras estudiadas y definidas hay variedades de yeso primario con cristales lenticulares, para hacer que esta tabla presente unas valores lo más representativos posibles, también se ha añadido la información referente a estas muestras señalando con asteriscos las respectivas muestras (\*MGS Subidiomorfo en vez de C.E.N.U.; \*\*Yeso lenticular).



Basin	Variiedad	Anh	Cel	Carb	Qtz	C.E.N.U	Sub idiomorfa	Micro alabastrina	MGS porfídico	MGS C.E.N.U.	GBS
Valle del Ebro. Sector Occidental	Autol	+	++	±		20%	10%	50%	2.5 mm	2.5 mm	CC, Su
	Ablitas	+	++		±	60%**	10%	85%	0.4 mm**	0.4 mm*	Rt, CC
	Monteagudo		+	++	+	75%**			0.5 mm**		Rt
	Borja		+	++							Rt
Valle del Ebro. Sector Central o Valle Medio del Ebro	Fuentes de Ebro	+	+			30%	10%	50%	8.5 mm	0.8 mm	CC
	Gelsa	+	+			35%	7%	45%	1.2 mm	0.8 mm	CC
	Escatrón - Vellilla	+	+		±	40%	7%	40%	6 mm	0.8 mm	CC
	Aleubierre	+	+	+		80%	1%	10%		7.5 mm	CC
	Leciñena	++	+			20%	20 - 50%	35 - 65%	8 mm	1.5 mm	CC
	Rueda de Jalón	+	+	±		15%	7%	85%		1 mm	CC
Valle del Ebro. Sector Oriental	Sarral 1	++	++	+		15 - 30%	7%	50 - 60%	2 mm	1 mm	Su
	Sarral 2	++	++	+		55%	7%	35%	4 mm	0.5 mm	CC
	Odena	+	+	±		40%	2%	50%		1.5 mm	Su
	Tona	+	+	+		30 - 40%	3%	50 - 65%		1 mm	Su
Pirineo catalán	Beuda	±	+	+		4%	40%	50%		0.25 mm*	Su
	Blanca	+	+			20%	15%	55%	1 mm	2 mm	CC, Rt
Cuenca de Calatayud	Champán	+	++			70%	15%	10%		8 mm	CC, Rt
	Tabaco	+	++	++		55%	20%	10%		1 mm	CC, Rt
	Calatayud	+	+			20%	15%	50%	1.5 mm	2 mm	CC, Rt
	Sot de Ferrer	+	+	±		30%	10%	40%	2 mm	4 mm	Su, CC
Depresión costera Valenciana	Picassent 1	+	+	±		30%	10%	50%	8 mm	1 mm	CC
	Picassent 2 ( yeso primario)		+	++		80%**			0.3 mm**		CC
Cuenca de Madrid	Cogolludo	++	++			15 - 20%	30%	25 - 45%	5 mm	1.5 mm	Su
	Aleas	+	++			5%	25%	65 %	3 mm	1 mm	Su

Tabla 1. Características petrográficas: CC, cóncavo - convexo; Su, suturado; Rt, recto; Anh, Anhidrita; Cel, Celestina; Carb, Carbonatos; Qtz, cuarzo; MGS porfídico y C.E.N.U., máxima longitud de cristal; GBS, forma de los contactos entre los cristales de yeso; distribución; +++, muy abundante; ++, abundante; +, presente; ±, trazas; Porcentaje presente de elementos propio de la textura alabastrina, C.E.N.U., subidiomorfa, microalabastrina.

\*MGS Subidiomorfo en vez de C.E.N.U.; \*\*Yeso lenticular.

#### ***4.2.7. Introducción a microscopía electrónica de barrido (SEM)***

La técnica denominada microscopía electrónica de barrido (SEM) permite obtener imágenes de alta resolución de los componentes minerales. Su aparición en el ámbito científico se remonta a 1965 cuando la compañía Cambridge Instrument Co. comercializó el primer modelo de SEM. Aunque las bases para su desarrollo habían sido propuestas por Knoll en 1935, después de que Knoll y Ruska en 1932 plantearan los conceptos básicos para el desarrollo del microscopio electrónico de transmisión (TEM). Desde su comercialización en 1965 la microscopía ha avanzado enormemente, siendo una de las técnicas de imagen más usadas por especialistas de distintas áreas.

Esta técnica se basa en la interacción de la materia al ser expuesta a un haz de electrones. Los electrones son emitidos por un cátodo de tungsteno y atraviesan una columna en la que se ha generado vacío entorno a los  $1,3 \cdot 10^{-10}$  atm. Al pasar por esta columna el haz inicial de electrones es concentrado por diferentes lentes electromagnéticas cuyo diámetro varía desde 25000-50000 nm a 10 nm (Renau-Piqueras y Faura, 1994). De forma conjunta también se puede modificar la intensidad de la corriente con un mínimo de  $10^{-14}$  Å hasta los  $10^{-10}$ - $10^{-12}$  Å, lo que se traduce en una emisión mayor o menor de electrones primarios. De modo que tenemos un haz de electrones puntual que recorre toda la superficie de la muestra.

Esta técnica se fundamenta en que cuando se produce la interacción del haz de electrones con la superficie de la muestra se liberan electrones secundarios, los cuales son dirigidos hacia unos detectores que generarán una imagen de la superficie de la muestra. El poder de resolución de las imágenes obtenidas mediante SEM oscila entre las 100  $\mu$ m a 10 nm.

En la señal recibida por los detectores, además de electrones secundarios, también hay electrones reflejados, transmitidos o absorbidos. Los electrones reflejados son aquellos que después de incidir sobre la muestra modifican su trayectoria. Los electrones primarios al incidir sobre la muestra liberan electrones de los orbitales atómicos, estos electrones liberados son los electrones secundarios, las imágenes obtenidas en el SEM han sido tomadas tanto con reflejado como con secundarios, buscando en todo momento obtener una mejor resolución de la superficie de la muestra y de la morfología de los cristales.

Los actuales microscopios SEM trabajan utilizando como fuente de electrones un cañón de emisión de campo (Field Emission Gun, FEG) que proporcionan haces de electrones de alta y baja energía más focalizados, lo que permite mejorar la resolución espacial, minimizar cargas sobre el espécimen a observar, causando además menos daños en muestras sensibles. Para el estudio de las muestras se ha utilizado un Microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) Carl Zeiss MERLIN™. Algunas de las ventajas de este aparato frente a modelos anteriores se encuentra en que

capacidad de resolución puede alcanzar hasta 0.8 nm, y los voltajes empleados oscilan entre 0.02 a 30 Kv, también incluye un detector EDS para Análisis de la Energía de los Rayos X electrodispersados INCA 350 de Oxford Instruments con resolución en energía de 127 eV a 5.9 KeV. El cual permitió realizar análisis elementales en puntos concretos de la muestra.

La espectrometría por dispersión de energías de rayos X (EDS), utiliza la radiación producida por el salto de los electrones entre orbitales, resultado de la exposición al haz de electrones. Para volver al equilibrio el átomo emite un fotón de rayos X, de modo que la energía de los fotones emitidos está directamente relacionada con el peso atómico del elemento emisor. Sabiendo que la diferencia de energía entre orbitales aumenta según lo hace el peso atómico. Podemos asociar cada valor de energía emitida con un elemento de la tabla periódica. Así que, midiendo con un detector los fotones expulsados por la muestra podemos averiguar, cual es el elemento que lo está produciendo (análisis cualitativo) y la cantidad relativa de cada elemento (análisis cuantitativo) (Martínez, 2010).

Los análisis cualitativos y cuantitativos realizados por el EDS, presenta ciertas limitaciones. En el caso de discriminar cada elemento discriminando las energías de rayos X captados por el detector. Resulta más sencillo para elementos ligeros a partir del Boro, y más complejo en elementos pesados. No obstante, como los valores de las distintas energías están lo suficientemente estudiados y definidos, el software del equipo de microanálisis suele hacer un buen trabajo en la detección e identificación de los distintos elementos (Martínez, 2010). Los análisis cuantitativos resultan más complejos, es necesario conocer las características de la muestra, ya que, dependiendo de los elementos que se vaya a analizar, será necesario aplicar mayor o menor intensidad en el haz de electrones. Cuanta mayor sea la intensidad del haz de electrones, más podrá penetrar en la muestra lo que también generara la emisión de rayos X de zonas próximas pero externas al volumen de interacción del haz de electrones. De modo que hay que tener en cuenta la intensidad del haz de electrones necesaria para contabilizar los elementos que queremos y tener en cuenta la zona de influencia del área donde se realiza la medida. No obstante, el software del equipo EDS posee unas tablas internas con constantes determinadas experimentalmente, que pueden utilizarse para calcular un análisis cuantitativo rápido, con un margen de error de hasta un 20% relativo, aproximadamente (Martínez, 2010).

Conociendo las ventajas y limitaciones de esta técnica, tanto del SEM como de los análisis cuantitativos recogidos por EDS, resulta de interés para el estudio de los materiales yesíferos de la zona de estudio, permitiendo observar con mayor resolución la morfología de los cristales alabastrinos, tipo C.E.N.U. y microcristalino, y las variaciones morfológicas presentes en los cristales de celestina procedentes de distintas canteras. Los análisis cuantitativos nos aportan información relevante sobre la relación de los distintos elementos menores dentro del yeso, así como una aproximación de la

composición de la celestina, y de los elementos que con el microscopio óptico son complicadas de diferenciar como diferentes tipos de carbonatos, minerales de la arcilla o incluso óxidos. Teniendo siempre en cuenta las limitaciones analíticas que presenta este método de análisis.

#### **4.2.8. Protocolos y nomenclatura en SEM**

Los resultados que a continuación vamos a presentar se han obtenido tras el estudio de 20 muestras de yeso y alabastro mediante Microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM). Todas ellas son procedentes de canteras, en ellas se ha realizado una descripción de su mineralogía y hábito cristalino al igual que el análisis cuantitativo elemental mediante espectrometría por dispersión de energías de rayos X (EDS).

Para realizar el estudio de las muestras en el FESEM se partió inicialmente de un reconocimiento con microscopio petrográfico de las muestras seleccionadas, se seleccionaron una muestra por cada tipo de facies o litotipos definidos mediante criterios petrográficos. Sobre estas muestras se marcaron los minerales que eran de interés para ser analizados en el FESEM, posteriormente y previo al estudio de las muestras, estas se recubrieron con una capa de carbono para que la muestra fuera conductora y así poder analizarla. El procedimiento de seleccionar previamente los elementos que van a ser analizados, es de gran utilidad, ya que te permite encontrar dentro de la muestra el mineral que quieres analizar de forma mucho más rápida.

El procedimiento seguido consistía en colocar la muestra dentro de la cámara de vacío, se podían poner 2 muestras a la vez, una vez generadas las condiciones de vacío adecuadas el técnico del *Servicio de Microscopia Electrónica de Materiales del SAI de la Universidad de Zaragoza*, buscaba las zonas marcadas en la muestra para tomar imágenes de los minerales y su morfología, según los minerales presentes estas imágenes se tomaban con retrodispersados o con secundarios. Y en las zonas del cristal o conjunto de cristales que podían resultar de interés se seleccionaba un área o un punto para realizar un análisis mediante espectrometría por dispersión de energías de rayos X (EDS). En la imagen se muestra la zona exacta donde se realizó la medición, metodología que es efectiva cuando en los análisis ha podido haber interferencia de los minerales adyacentes al analizado, es otro modo de comprobar la precisión de los resultados del análisis elemental.

##### **4.2.8.1. Elementos presentes en las muestras**

En las muestras estudiadas se han identificado diferentes minerales presentes en las rocas siendo el yeso secundario, el componente mayoritario. También hemos analizado minerales accesorios como celestina, carbonatos, minerales de la arcilla y óxidos.

#### 4.2.8.1.1. *Minerales observados con FESEM*

##### 4.2.8.1.1.1. Yeso alabastrino microcristalino

En las imágenes obtenidas en el microscopio electrónico de barrido, podemos apreciar que, en el caso de las zonas en las que predominan los cristales de yeso alabastrino microcristalino, la mayoría de ellos llegan a alcanzar dimensiones menores a las 10  $\mu\text{m}$ , este es el tamaño mínimo que habíamos podido apreciar con el microscopio petrográfico.

Su distribución dentro de las muestras es totalmente aleatoria, no se aprecia en ninguna orientación preferente. En algunos casos se llega a distinguir morfologías pinacoidales y hábitos planares.

##### 4.2.8.1.1.2. Yeso alabastrino C.E.N.U.

Al observar las imágenes de los cristales alabastrinos de tipo C.E.N.U. se aprecia que alcanzan tamaños mayores que los descritos para el tipo microcristalino. Siendo las dimensiones mínimas de 100  $\mu\text{m}$ . Aunque resulta complicado en muchos caso saber con seguridad dónde empieza y dónde acaba cada cristal individual.

En este caso, lo que es característico y se aprecia en todas las muestras es la distribución de los cristales en bloques, manteniendo el hábito planar, que se diferencia perfectamente. Podemos ver cómo bloques de estos cristales planares se distribuyen por la muestra, destacando que dentro de los bloques se pueden producir giros o rotaciones, e incluso aparecen en contacto bloques con diferentes direcciones de crecimiento. El crecimiento y la distribución de estas agrupaciones es totalmente aleatorio, apreciándose bordes netos entre bloques con direcciones de crecimiento opuestas. En los casos en que el apilamiento de cristales es paralelo a la superficie de la muestra se pueden ver secciones pinacoidales de los cristales de yeso.

##### 4.2.8.1.1.3. Minerales accesorios: Celestina

El caso de la celestina merece especial atención, ya que gracias a la mayor resolución obtenida con el microscopio electrónico de barrido se pueden apreciar con claridad la morfología y hábitos cristalinos de este mineral. Además, las imágenes fueron tomadas con retrodispersados ya que el cristal de celestina destaca sobre la matriz de yeso debido a su mayor densidad.

Las morfologías de cristales de celestina que se pueden observar, y que como en el caso del microscopio petrográfico nos aportan información sobre su procedencia, son los siguientes.

- ✓ **Cristales esqueléticos:** En estos casos el cristal de celestina aparece con oquedades dentro del propio cristal o en las zonas de borde. Estas tipologías se presentan en las muestras procedentes de Ablitas, Fuentes de Ebro, Sástago, Leciñena, Fuentes de Jiloca.

- ✓ **Cristales idiomorfos:** Los cristales de celestina presentan hábitos prismáticos o de pinacoide facetado. Esta tipología aparece en el alabastro procedente de Autol.
- ✓ **Cristales subidiomorfos:** En algunas de las muestras los cristales de celestina mostraban un aspecto compacto, próximo al hábito prismático pero sin llegar a definirlo completamente. Esta variedad aparece en las muestras de las canteras de Beuda, Sarral, Borja, Calatayud, Picassent, Sot de Ferrer.
- ✓ **Cristales agregados o en forma de gavilla:** Cuando los cristales prismáticos de celestina aparecen agrupados, ofreciendo un aspecto de ramillete, es cuando los identificamos como celestina en forma de gavilla. Estos agregados se encuentran en las muestras de Cogolludo, Aleas, Tona, Odena, incluso pueden aparecer de modo más anecdótico en otras canteras como es el caso de Gelsa.

#### 4.2.8.1.1.4. Minerales accesorios: Carbonatos

Diferenciar la presencia de carbonatos en las muestras de alabastro en algunos casos puede resultar complicado utilizando el microscopio petrográfico dado su pequeño tamaño. Con el uso del microscopio electrónico de barrido apreciamos que en la mayoría de los casos los cristales son del orden, en la mayoría de los casos no llegan ni a una micra.

Los análisis químicos confirmaron que los carbonatos presentes en las muestras de Beuda, Sarral y Monteagudo son calcita, y en la muestra de Sot de Ferrer el carbonato es dolomita.

#### 4.2.8.1.1.5. Minerales accesorios: Minerales de la arcilla

En este caso se puede aplicar la misma explicación que en el caso de los carbonatos, muchos de los análisis realizados en las muestras que considerábamos minerales de la arcilla, presentan contaminaciones por la absorción de parte del pegamento utilizado en la elaboración de las láminas delgadas.

Motivo por el cual en muestras sí que ha sido posible identificar los minerales de la arcilla, es arriesgado concretar su mineralogía concreta.

#### 4.2.8.1.1.6. Minerales accesorios: Óxidos

Estos minerales se aprecian como opacos al observar las muestras en el microscopio petrográfico que junto con su reducido tamaño, dificulta conocer el tipo de mineral que se está viendo. Como en los casos anteriores con el microscopio electrónico de barrido es posible obtener más aumentos para observar los minerales.

Al analizar los minerales con espectrometría por dispersión de energías de rayos X realizamos el análisis químico del mineral obteniendo que en la muestra procedente de Tona había magnetita y en la de Leciñena óxidos de hierro y manganeso.

#### ***4.2.9. Características para identificar la procedencia.***

A la hora de identificar la procedencia del alabastro de una pieza artística, hay varias preguntas que podemos hacer y según su respuesta nos irán guiando hacia una posible procedencia u otra. La primera de ellas, aunque parezca muy obvia, sería la de si se trata o no de un yeso primario o secundario. Ya que en función de si la respuesta es afirmativa o negativa, tendremos ya una división de las variedades de yeso con capacidad para ser trabajado como material escultórico. Por un lado tendríamos el yeso primario en el que dominan los cristales lenticulares y por el otro el yeso secundario que ha adquirido la textura alabastrina tras pasar las diferentes fases del ciclo de Murray (1964).

✓ La primera división que encontramos es la que hace referencia a yeso primario, en este caso formado principalmente por cristales de yeso lenticular que serían de Borja, Monteagudo o Picassent 2 (variedad yeso primario). En función del tamaño y del porcentaje de cristales presentes en las muestras podemos diferenciar entre estas tres canteras de origen. Si el tamaño de los cristales es de 0.3 mm y su abundancia ronda el 80% procede de las canteras de Picassent 2 (yeso primario), cuando el porcentaje de cristales lenticulares va disminuyendo y el tamaño máximo es de 0.5 mm estamos ante un yeso de las canteras de Borja y finalmente cuando el porcentaje es del 60% y el tamaño de los cristales de 0.4 mm el yeso procede de las canteras de Monteagudo.

Partiendo de la premisa de que tenemos un yeso secundario de tipo alabastrino, podemos formular la siguiente pregunta. ¿Qué tipo de contactos presentan los cristales? En este caso hay tres posibles respuestas: Recto, cóncavo – convexo o suturado, o algo intermedio entre las tres opciones.

✓ Si la respuesta es recto, es bastante probable que su procedencia sea de las canteras de Ablitas. Pero si es cualquiera de las otras opciones, es necesario seguir realizando averiguaciones, para saber de qué cantera se trata.

✓ En caso de que predominen los contactos rectos y cóncavo – convexos. Nos encontraríamos con que las canteras de procedencia se sitúan en la cuenca de Calatayud y para reconocer las distintas variedades tendríamos que fijarnos en el tamaño de los cristales de tipo alabastrino, si los cristales de textura alabastrina microcristalina son de menos de 20  $\mu\text{m}$  procede de las canteras próximas a Calatayud y si es mayor de 80  $\mu\text{m}$ , es de las canteras de Fuentes de Jiloca de la variedad Champán. Dentro del rango de tamaños de 20 a 100  $\mu\text{m}$  están las variedades de esta misma cantera Blanca y Tabaco, que las diferenciamos gracias a la presencia o ausencia de carbonatos. En el caso de que estén presentes es la variedad Tabaco, si no encontramos carbonatos es la variedad Blanca. En caso de duda entre las variedades de Calatayud y Blanca, también se puede recurrir al porcentaje de porfidoblastos que en el primer caso es considerablemente mayor que en la variedad Blanca.

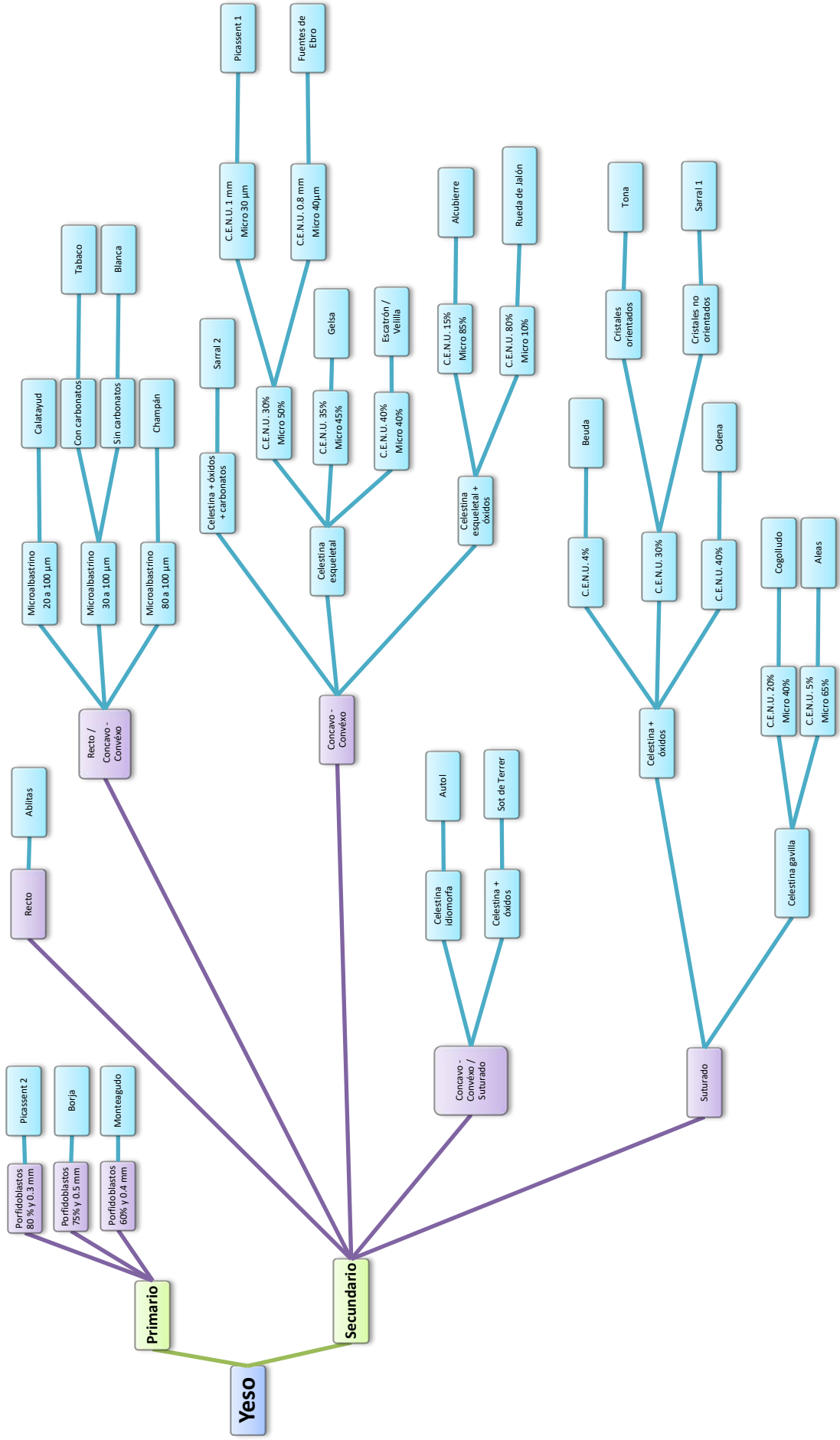
✓ Cuando los cristales presentan en sus bordes contactos del tipo cóncavo – convexo, para realizar una primera criba nos fijaremos en los cristales de celestina, en concreto en su morfología y en la presencia de otros minerales como pueden ser carbonatos u óxidos asociados a este mineral. De este modo tenemos el caso de cristales de celestina con hábitos alotriomorfos mayoritariamente asociados a cristales opacos con hábitos hexagonales y carbonatos, que aparecen en las canteras de Sot de Ferrer. En

el resto de casos la celestina es de tipo esquelético aunque hay un caso en que este tipo de celestina está asociado a minerales opacos que en nicols paralelos tienen tonalidades rojizas, lo que indica que provienen de las canteras de la Sierra de Alcubierre y Rueda de Jalón, las cuales podemos diferenciar entre sí teniendo en cuenta los porcentajes de los cristales de la variedad alabastrina, en concreto en los de tipo C.E.N.U. y microcristalino, clasificándolos del siguiente modo: en el caso de que los porcentajes sean 15% C.E.N.U. y 85% microalabastrina, los materiales corresponden a la variedad Rueda de Jalón y si estos porcentajes son 80% C.E.N.U. y 10% microcristalina será de la variedad de Alcubierre.

- ❖ En los casos en los que la tipología de los cristales de celestina es esquelético, para poder diferenciar distintas procedencias tenemos que basarnos en los porcentajes de los cristales propios de la variedad alabastrina, concretamente en los de tipo C.E.N.U. y microcristalina, clasificándolos del siguiente modo: cuando ambas variedades estén presentes en porcentajes idénticos 40% C.E.N.U. y 40% microcristalina, esos materiales corresponden a la variedad Escatrón / Velilla: pero si estos porcentajes empiezan a variar y tenemos 35% C.E.N.U. y 45% microcristalina será de la variedad de Gelsa. Finalmente si el porcentaje es 30% C.E.N.U. y 50% microcristalina puede tener dos procedencias con bastante diferencia en relación a su ubicación geográfica.
  
- ❖ Para diferenciar los dos posibles orígenes es necesario comparar el tamaño máximo y mínimo de los cristales de variedad alabastrina, o lo que es lo mismo los valores máximo y mínimo de los cristales tipo C.E.N.U. y microcristalina. Cuando encontramos la combinación de cristales tipo C.E.N.U. de 1 mm y microcristalina de 30  $\mu$ m tendremos alabastro procedente de las canteras de Picassent 1 y si los tamaños de los cristales son de 0.8 mm para C.E.N.U. y 40  $\mu$ m para microcristalina es de la variedad de Fuentes de Ebro.
  
- ✓ Si hay dominio conjunto de los contactos entre los cristales de tipo cóncavo – convexo y suturado, nos encontramos entre dos posibles orígenes: para identificarlos correctamente nos tendríamos que fijar en la presencia de celestina, en su forma y si está asociada a algún otro tipo de mineral. Por ejemplo, si vemos cristales de celestina idiomorfos, la cantera de procedencia será las de la localidad de Autol en La Rioja; pero si, por el contrario, estos cristales de celestina presentan morfologías menos definidas y además están asociados a carbonatos y minerales opacos de hábito hexagonal que reconocemos como óxidos, en ese caso procede de Sot de Terrer en la Comunidad Valenciana.
  
- ✓ Si los contactos entre los cristales que encontramos son suturados, para realizar la primera clasificación volveremos a fijarnos en la morfología de los cristales de celestina. Ya que si son cristales de celestina en los que dominan las morfologías alargadas que se agrupan mayoritariamente en forma de gavilla, su procedencia es de las canteras de Cogolludo – Aleas y si los cristales de celestina tienen morfología alotriomorfa y están asociados a minerales opacos con geometrías circulares estas muestras proceden de las canteras catalanas.



- ❖ Volvemos a las variedades de Cogolludo – Aleas con cristales de celestina en forma de gavilla, en este concreto para conocer a cuál de las dos pertenece nos tenemos que fijar en el porcentaje de cristales de tipo alabastrino, en concreto en lo de tipo C.E.N.U. y microcristalina. Si los porcentajes son del rango de 20% C.E.N.U. y 40% microcristalina su origen será de las canteras de Cogolludo y si es de 5% C.E.N.U. y 65% microcristalina entonces procede de las canteras de Aleas.
  
- ❖ Retomando las variedades alabastrinas en las que la celestina aparece asociada a minerales que interpretamos como óxidos. Para el siguiente paso nos fijamos en el porcentaje de los cristales de tipo C.E.N.U., de este modo cuando los cristales tipo C.E.N.U. representan el 4% sabemos que las canteras de procedencia son las de Beuda. Si este porcentaje es del 40% C.E.N.U. la procedencia es de las canteras de Odena. Y la opción del 30% de tipo C.E.N.U. es compartida con dos posible orígenes. Que para conocer su procedencia tendremos que fijarnos en la orientación de los cristales de tipo alabastrino, si están orientados la procedencia será de las canteras de Tona y si por el contrario la orientación de los cristales es aleatoria, entonces es la variedad Sarral 1.



## 4.3. Análisis geoquímicos

### 4.3.1. Introducción

Las rocas evaporíticas han suscitado desde un inicio, el interés de la comunidad científica (Grabau, 1920; Holser *et al.*, 1979). Ya para conocer sus características estratigráficas y las implicaciones climáticas que pudieran extraerse de su presencia, como las diferentes variedades petrográficas que presentan en función de los diferentes procesos implicados en su formación (yeso selenítico o en punta de flecha, lenticular, fibroso, sacaroideo, alabastrino). Junto a ello, resulta de gran interés conocer su composición química, que se puede relacionar con distintos estados diagenéticos o distintas texturas.

#### 4.3.1.1. Antecedentes de estudios geoquímicos en yesos

Dentro de la geoquímica fueron diversos autores, los que se centraron en el análisis de los elementos menores y traza (Sr, Mg, Fe, Na y K). Del estudio de la concentración de cationes, de  $\text{Sr}^{2+}$  en sulfatos de calcio precipitados a partir de salmueras, Butler (1973) extrae la conclusión, de que su concentración depende de las condiciones del medio en el que se ha formado. Los estudios de Dean (1978) destacan la pureza en composición química de las evaporitas, centrándose en las rocas de halita, yeso y anhidrita. Este autor destaca, como el estudio de los elementos menores y traza, puede ser de utilizad para correlacionar unidades, conocer paleosalinidades y los procesos diagenéticos en los cuales el Ca puede ser sustituido por Sr, Mg o Ba. La coprecipitación de los cationes de Sr, Mg, Na, K y Cl en el yeso fue estudiado por Kushnir (1980) para comprobar la influencia que tenían la temperatura, concentración de la salmuera y las tasas de crecimiento, enfocado a su aplicación como indicadores paleoclimáticos.

Los procesos diagenéticos por los que el yeso se transforma, en anhidrita e viceversa, fue estudiado por Murray (1964) que observo variaciones texturales y composicionales, dentro del sulfato de calcio ligado a este proceso. El trabajo que realizaron Fort y Bustillo (1986) en relación a los procesos de fraccionamiento, durante la evolución diagenéticas, analiza el contenido de elementos traza principalmente en el Sr y Mg que pueden ser utilizados como marcadores del estadio diagenético de la formación, sus estudios se basaron en materiales evaporíticos, de la Cuenca de Madrid.

La relación existente entre los elementos traza, fue estudiada por (Ordóñez *et al.*, 1989) para diferenciar dos unidades salinas, Unidad Salina y Unidad detrítico-salina. Los elementos traza que más información aportaron fueron el Sr y Mg, en función de su mayor o menor abundancia permitía diferenciar entre las unidades yesíferas y las detrítico yesíferas.

Kasprzyk (1994) aplicó criterios de distribución de Sr en depósitos de yeso en el Sur de Polonia para diferenciar entre diferentes texturas de yeso. Este autor establece, que las

concentraciones de Sr en el yeso, pueden variar durante la diagénesis, y está relacionado con los cristales de celestina. Los altos contenidos en Sr, están relacionados con alteraciones del yeso durante la diagénesis.

#### 4.3.1.2. Aplicación de técnicas isotópicas

Otro elemento importante en el estudio de los materiales evaporíticos, es el análisis de la composición isotópica del azufre,  $\delta^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  y oxígeno  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ , tal como se deduce de la bibliografía consultada. La relación entre los isotopos  $\delta^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ , con el ciclo biológico del azufre producido, por la reducción bacteriana del sulfato, serian responsables de las fluctuaciones en la relación isotópica, que aparece en los sedimentos marinos a lo largo de la historia geológica, esto fue estudiado por (Thode y Monster, 1965), así como su aplicación al campo del petróleo. Una revisión de los depósitos sulfatados, principalmente yeso y anhidrita, fue llevado a cabo por (Holser y Kaplan, 1966) en muestras procedentes de las cuencas de Inglaterra, y de sondeos marinos. En ellas vieron, como las concentraciones de  $\delta^{34}\text{S}$ , se veían enriquecidas en materiales mesozoicos, respecto a los paleozoicos. Esto podría indicar una transferencia de azufre, de unos materiales a otros. Teniendo en cuenta además, el sulfuro aportado por procesos metamórficos y volcánicos.

La incorporación del isotopo de oxígeno  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ , además del azufre, a los análisis de geoquímica isotópica, fue realizado por (Holser *et al.*, 1979). Principalmente porque el oxígeno presente en los sulfatos, está relacionado con las concentraciones de  $\delta^{18}\text{O}$ , del agua marina en el momento de formación de la roca. El uso de ambos isotopos para ver la evolución de sulfatos marinos, aparece en el trabajo de (Claypool *et al.*, 1980) para elaborar las curvas de variación del ciclo del azufre y oxígeno, en aguas marinas a lo largo del tiempo geológico.

El estudio de la señal isotópica del azufre,  $\delta^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  y oxígeno  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ , se ha aplicado en diversas formaciones evaporíticas de la cuenca del Ebro (Utrilla *et al.*, 1991), e indica que las evaporitas terciarias, se han originado a partir del reciclaje de las evaporitas triásicas. Esta relación entre  $\delta^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  y  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ , se aplicó a las principales formaciones evaporíticas mesozoicas y cenozoicas de España, con el objetivo de diferenciar entre sulfatos de origen continental y marinos, además de aportar información sobre la procedencia del sulfato, en las evaporitas continentales (Utrilla *et al.*, 1992). Llegando a la conclusión de que gran parte de los sulfatos presentes, en los materiales evaporíticos terciarios, eran reciclados de las evaporitas triásicas.

Playà *et al.*, (1995) estudian los yesos mesinienses de la Cuenca de la Fortuna (Murcia) y concluyen, que inicialmente tenían origen continental, que fue pasando gradualmente a marino.

Quijada *et al.*, (2016) estudian los isótopos de azufre,  $\delta^{34}\text{S}$ , de los yesos laminados del Grupo Oncala de la cuenca de Cameros (La Rioja - Soria), para determinar si el origen

de los depósitos eran, marina o continental. Concluyendo que los aportes de agua marina, eran la principal fuente de sulfatos en ese momento en la cuenca de Cameros.

#### **4.3.1.3. Uso en patrimonio: Análisis geoquímicos e isotópicos**

Al aplicar el estudio geoquímico, en obras de arte y patrimonio, parece necesario consultar previamente, los métodos utilizados en el estudio de los mármoles. Ya que poseen ciertas similitudes con el alabastro, como son su color, composición, principalmente monomineral, así como el hecho de que ambas son rocas de precipitación química, que han sufrido procesos de transformación de la roca inicial de la que procedían, antes de transformarse en mármol o alabastro.

##### *4.3.1.3.1. Análisis geoquímicos en mármoles*

El mármol ha sido ampliamente utilizado en la construcción, tanto de monumentos, como para elaboración de obras de arte. Y dada su amplia distribución geográfica y la exclusividad de su uso, destinado a monumentos relevantes o importantes obras de arte, su estudio ha sido objeto de interés.

En la década de los 70s, del siglo pasado autores como (Craig y Craig, 1972) aplicaron análisis isotópicos de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ , a los estudios de determinación de procedencia en mármoles griegos, poco después (Manfra *et al.*, 1975) lo aplicaron en mármoles del Sur de la península de Anatolia. En la misma línea se centraron los trabajos de (Germann *et al.*, 1980; Herz, 1985) trabajando en mármoles griegos y romanos. Con los trabajos que se fueron realizando en los años posteriores (Herz, 1987), realizó una base de datos que contenía la información de los mármoles clásicos griegos y romanos.

En trabajos posteriores, se vio que el resultado de los análisis era más preciso, si se incluían diferentes técnicas, en la determinación de su procedencia (Moens *et al.*, 1988, 1992). Otros autores utilizan otro tipo de análisis químicos, como el de tierras raras RRE en mármoles de Carrara (Meloni *et al.*, 1995), o aumentar el número de elementos traza y ultratrazas, analizados con diferentes técnicas (Mello *et al.*, 1988; Matthews, 1997).

Aunque actualmente y desde comienzo de siglo, se ha comprobado que los mejores resultados se obtienen de la combinación de datos petrográficos, geoquímicos y físicos como se refleja en el trabajo de los autores (Lazzarini and Antonelli, 2003; Carroll *et al.*, 2008; Cramer *et al.*, 2004, 2009; Brilli *et al.*, 2015; Royo, 2016)

Estos trabajos han sido un punto de partida para nuestro equipo a la hora de aplicar técnicas geoquímicas a las obras de arte realizadas en alabastro, con el objetivo de identificar la procedencia de estas piezas.

#### 4.3.1.3.2. Análisis geoquímicos en yesos

En el caso del alabastro, la aplicación de los métodos geoquímicos para identificación de procedencia, es más reciente que con objetivo de conocer el origen del material o los procesos diagenéticos que ha sufrido.

En la década de los noventa Rodríguez Díaz (1991) realizó una recopilación de los usos del alabastro en la Península Ibérica y de los criterios de identificación frente al mármol. Partiendo de la certeza de que es alabastro el material que conforma el conjunto escultórico se realizaron identificaciones de procedencia en función de las características macroscópicas y mineralógicas como es el caso de una de las piezas del retablo de mayor del monasterio de Poblet (Artigau y Playà, 2011). Otros autores describen las canteras de evaporitas en la cuenca de antepaís de los Cárpatos, entre Polonia y Ucrania con numerosos ejemplos de su uso en arquitectura y como elementos artísticos (Rajchel *et al.*, 2014).

Ya basándose en métodos geoquímicos, y no solamente descriptivos, encontramos trabajos en los que utilizan los análisis de isótopos de Sr en yacimientos arqueológicos de la Edad del Bronce en Grecia (Gale *et al.*, 1988), o incluso estudios en los que se utilizaban los isótopos de Pb en alabastros procedentes de la Toscana y Sicilia, comprobando que este elemento no es relevante para conocer la procedencia (Costagliola *et al.*, 2001) en que se demostró que este elemento no es significativo para determinar la procedencia del alabastro; o análisis de los elementos traza para conocer la procedencia de una Madonna Jackowa realizada en alabastro procedente de una iglesia de Lvov (Polonia) de la que no fue posible concretar su procedencia (Ligeza *et al.*, 2001).

Autores españoles aplicaron el análisis de isótopos de  $\delta^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  y  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  en 15 piezas del Museo de Cataluña, revelando que proceden del Valle Medio del Ebro, Cataluña y Valencia (Playà *et al.*, 2012) con resultados positivos. Los estudios más recientes utilizan la combinación de los isótopos de  $\delta^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ,  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  y  $\delta^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  para identificar de obras de arte procedentes de diversas partes de Francia, Alemania, Bélgica y España (Kloppmann *et al.*, 2014, 2017) al igual que los anteriores también ofrecen buenos resultados para determinar la procedencia de las obras de arte realizadas en alabastro. Sin olvidar la contribución que a este campo ha realizado nuestro equipo de investigación en que aplicando técnicas geoquímicas y petrologías propusimos la procedencia de varias obras de arte realizadas en alabastro ubicadas en diferentes puntos de la geografía de Aragón, España, al igual que la caracterización de las canteras de procedencia (Gisbert y Muñoz, 2018).

## ***4.3.2. Protocolos y nomenclatura en geoquímica***

### **4.3.2.1. Análisis por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES)**

#### *4.3.2.1.1. Consideraciones previas*

Durante el presente estudio se han analizado 146 muestras procedentes tanto de canteras como de piezas artísticas. Para realizar el estudio geoquímico se ha aplicado una metodología que permite analizar la fase yesífera mediante el ataque de las muestras con ácido clorhídrico (HCl), se ha teniendo en cuenta que en algunos casos también se podría solubilizar la fase carbonatada e incluso los minerales de la arcilla. También se realizaron ataques a 8 muestras con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA). Para comprobar que método resultaba más adecuado para atacar las muestras, en vistas de los resultados se decidió atacar las muestras con HCl en vez de con EDTA.

Para descartar la influencia de la cantidad de muestras atacada con HCl en el resultado y sobre todo para intentar que la concentración de Ba fuese superior al límite de detección se realizó, un ataque a 12 muestras, con el doble de muestra 0.5 gr en vez de 0.25 gr. Pero después de comparar los resultados, esta variación no era significativa y se decidió continuar utilizando en los siguientes análisis la cantidad de 0.25 gr de muestra y atacarlos con 100 ml y ácido clorhídrico (HCl) al 1N a 60°C.

#### *4.3.2.1.1. Fundamentos de la Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES)*

El plasma de acoplamiento inductivo (ICP) es una fuente de ionización que junto a un espectrofotómetro de emisión óptico (OES) constituye el equipo de ICP-OES.

En esta técnica la muestra líquida, es transportada por medio de una bomba peristáltica hasta el sistema nebulizador donde es transformada en aerosol gracias a la acción de gas Argón. Dicho aerosol es conducido a la zona de ionización que consiste en un plasma generado al someter un flujo de gas Argón a la acción de un campo magnético oscilante inducido por una corriente de alta frecuencia. En el interior del plasma se pueden llegar a alcanzar temperaturas de hasta 8000 K. En estas condiciones, los átomos presentes en la muestra son ionizados/excitados. Al volver a su estado fundamental, estos iones o átomos excitados emiten radiaciones de una longitud de onda que es característica de cada elemento. Esta radiación pasa a través de un sistema óptico que separa la radiación según su longitud onda. A continuación un detector mide la intensidad de cada una de las radiaciones relacionando ésta con la concentración de cada elemento en la muestra. La información es procesada por el sistema informático.

Mediante la espectroscopia de emisión con plasma de acoplamiento inductivo es posible determinar de forma cuantitativa la mayoría de los elementos de la tabla periódica a niveles de traza y ultratrazo, partiendo de muestras en disolución acuosa. Las muestras

se analizaron en el *Servicio de Análisis Químico del SAI de la Universidad de Zaragoza*, en un espectrómetro de emisión atómica mediante plasma ICP (ICP-OES) Thermo Elemental IRIS Intrepid

#### 4.3.5. Resultados geoquímica

##### 4.3.5.1. Datos obtenidos por espectrometría por dispersión de energías de rayos X (EDS)

Los análisis realizados en el FESEM se centraron en minerales puntuales o en grupos de ellos, las tablas del Anexo III. En la siguiente tabla se muestran

##### 4.3.5.1.1. Valores de yeso alabastrino

En la siguiente tabla se muestran las relaciones de los elementos divalentes analizados con EDS. La relación ideal sería de 1:6 para los átomos de O y Ca, y la relación de los diferentes elementos analizados que podrían sustituir al Ca dentro de la estructura del yeso.

Muestra	S=1 O	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Sr	Ba
FE-2	5,62	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FE-2	5,42	1,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
FE-2	5,41	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FE-2	5,53	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FE-2	4,82	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GE-2	5,55	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GE-2	5,68	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GE-2	5,22	0,99	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
LE-4B	5,59	1,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
LE-4B	5,18	0,99	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
LE-4B	5,49	0,98	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
LE-4B	4,84	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LE-4B	5,65	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAS-1	5,58	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAS-1	5,63	0,98	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
SAS-1	5,54	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAS-1	5,46	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TO-2	5,08	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TO-2	5,55	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TO-2	5,48	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAR-2	5,41	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAR-2	5,32	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BE-2	3,85	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BE-2	5,54	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BE-2	5,90	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Muestra	S=1 O	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Sr	Ba
OD-3	5,35	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OD-3	5,57	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FJ-1	5,64	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FJ-1	6,16	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
FJ-1	6,53	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FJ-1	3,42	0,97	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
FJ-1	5,51	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FJ-2	5,57	0,99	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
FJ-3	5,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
FJ-3	5,62	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CA-6	5,71	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PS-2B	5,55	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PS-2B	5,56	1,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
CO-6B	5,65	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO-6B	5,32	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AL-1	5,72	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AL-1	5,65	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ST-2	3,67	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
ST-2	5,60	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ST-2	5,56	1,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
ST-2	5,58	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ABL-1	5,51	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ABL-1	5,67	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AU-1	5,46	0,98	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AU-1	5,55	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BO-5	5,47	1,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BO-5	5,63	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MO-1	5,73	0,98	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
MO-1	5,37	0,98	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

La fórmula del yeso es  $\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ . Vemos que por cada átomo de Ca hay 6 de O. Observando los resultados de las muestras analizadas, se ve que los elementos que pueden estar sustituyendo al Ca dentro de la estructura del yeso, lo hacen en un porcentaje muy bajo.

Además hay que tener en cuenta que las muestras fueron analizadas con una técnica analítica que da errores medios de un 20%. También hay que tener en cuenta que el H no está presente en la analítica, ya que es demasiado ligero para poder ser detectado, y el porcentaje de C es más elevado de lo que corresponde ya que los valores se deben al recubrimiento de la muestra con carbono para analizarla.

Observando los valores de los distintos elementos traza analizados vemos que su porcentaje es bastante bajo en la mayoría de las muestras, por lo tanto hasta donde nos permite llegar este método, la composición del yeso analizado presenta pocos elementos menores y traza dentro de la estructura cristalina del yeso en sustitución del Ca.

#### 4.3.5.1.2. Valores de celestina

En la siguiente tabla se muestran las relaciones de los elementos divalentes analizados con EDS. La relación ideal sería de 1:4 para los átomos de O y Sr, y la relación de los diferentes elementos analizados que podrían sustituir al Sr dentro de la estructura de la celestina.

Muestra	S=1 O	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Sr	Ba
FE-2	3,68	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	0,00
GE-2	3,84	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	0,00
LE-4B	3,72	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	0,00
SAS-1	3,80	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	1,01	0,00
TO-2	3,48	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	0,00
TO-2	4,94	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00
TO-2	3,54	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02	0,00
SAR-2	3,24	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	1,09	0,00
SAR-2	3,64	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	1,03	0,00
BE-2	1,93	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	1,13	0,00
BE-2	3,58	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02	0,00
BE-2	4,91	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	0,01
BE-2	3,87	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	0,00
OD-3	3,71	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	1,02	0,01
OD-3	4,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	0,00
FJ-1	3,64	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00
FJ-2	4,20	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	1,01	0,00
FJ-3	3,58	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	0,00
CA-6	4,13	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01	0,99	0,00
PS-2B	3,64	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
CO-6B	3,55	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
CO-6B	3,69	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
AL-1	3,94	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	1,01	0,00
ST-2	3,52	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00
ST-2	0,46	0,01	0,00	0,00	0,41	0,00	0,17	0,00
ST-2	3,67	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
ST-2	3,63	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	1,00	0,01
ST-2	3,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	1,01	0,00
ABL-1	3,82	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06	0,00
ABL-1	5,45	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ABL-1	3,42	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	0,00
AU-1	3,69	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,96	0,02
AU-1	3,62	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	0,01
BO-5	4,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,99	0,00
BO-5	3,49	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,99	0,00
MO-1	2,73	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	0,00
MO-1	3,70	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00

La fórmula de la celestina es  $\text{SrSO}_4$ . En este caso por cada átomo de Sr hay 4 de O. Existe una solución sólida entre la baritina ( $\text{BaSO}_4$ ) y la celestina, aunque la solución sólida con la anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) es limitada. Las especies naturales rara vez contienen más de un 2 ó 3 por ciento de Ba o Ca (Deer *et al.*, 1999).

Como en el caso anterior las muestras fueron analizadas con una técnica analítica que da errores medios de un 20%, que el H no está presente en la analítica, y que el porcentaje de C es más elevado de lo que corresponde ya que los valores se deben al recubrimiento de la muestra con carbono para analizarla. Además los valores de Sr menores a los obtenidos con la fórmula empírica establecida para la celestina, se deben al tamaño de los cristales, al ser pequeños durante el análisis también había interferencias por los cristales adyacentes.

Como vemos al estudiar los datos dentro de la estructura cristalina de la celestina, tenemos Sr, en algunos casos puede haber entre un 2 al 4 por ciento de Ca, pero la posible procedencia de ese Ca de los yesos que rodean a la celestina, generan cierta duda de donde procede ese Ca.

#### **4.3.5.3. Datos obtenidos de R.I., $\text{H}_2\text{O}$ , M.O. y $\text{CO}_2$**

Los resultados de muestras en porcentaje del residuo insoluble (R.I.), agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), materia orgánica (M.O.) y carbonato expresado tanto en  $\text{CO}_2$  como  $\text{CaCO}_3$  están reflejados en la tabla del Anexo II.

Estos análisis muestran el porcentaje de elementos que acompañan al yeso en las muestras analizadas. Los valores obtenidos, se pueden relacionar con la agrupación Yeso 1 y Yeso 4 que presentó Mandado (1987) al realizar el análisis estadístico de agrupaciones de muestras para los yesos del Valle medio del Ebro. En estos casos los valores que I.R. y  $\text{CO}_3$  son los más bajos y se relacionan con las variedades más puras de yeso, aunque no podía asociarlo a texturas concretas. En nuestro caso, las muestras analizadas corresponden a yesos con textura alabastrina. Las excepciones son las muestras de Borja y Monteaguado que corresponden a yeso lenticular y que presentan valores en porcentaje de I.R. y  $\text{CO}_3$  (0.36 – 2.44; 0.60 – 14.72) y (5.95 – 7.5; 6.57 – 11.01) respectivamente.

En las muestras de yeso alabastrino del valle medio del Ebro, Cogolludo, Picassent, Cuenca de Calatayud los valores de I.R. y  $\text{CO}_3$  ronda valores entorno a (0.2 – 1; 0.3 – 1). Valores algo mayores vemos en las muestras que tanto *de visu* como al microscopio presentan más impurezas Sarral, Beuda, Tona, Odena y Autol donde el porcentaje de I.R. y  $\text{CO}_3$  se encuentra entre (0.7 – 1.9; 1 – 15.36).

Los valores de  $\text{H}_2\text{O}$  se mantienen estables en todas las muestras, con variaciones entre 15.9 a 20 %, son presentar ningún patrón relacionado con estas variaciones.

La materia orgánica M.O. presenta valores bajos de forma homogénea situándose entre 0.2 y 1.5 salvo en las muestras de Fuentes de Jiloca y Picassent en que sus valores son (4.63 a 5.23) para el primero y (4.27 a 5.27) para el segundo. Este mayor porcentaje en el contenido de materia orgánica se podría deber a que estas dos cuencas, Cuenca de Calatayud y Depresión costera valencia, han sufrido un proceso de enterramiento menor por lo que la materia orgánica presente en la roca cuando se formó, ha sufrido una

degradación menor que en los casos en los que los procesos diagenéticos han sido más intensos.

La relación entre estos valores se ha representado en un grafico ternario en que están representados R.I., M.O. y CO<sub>2</sub>.

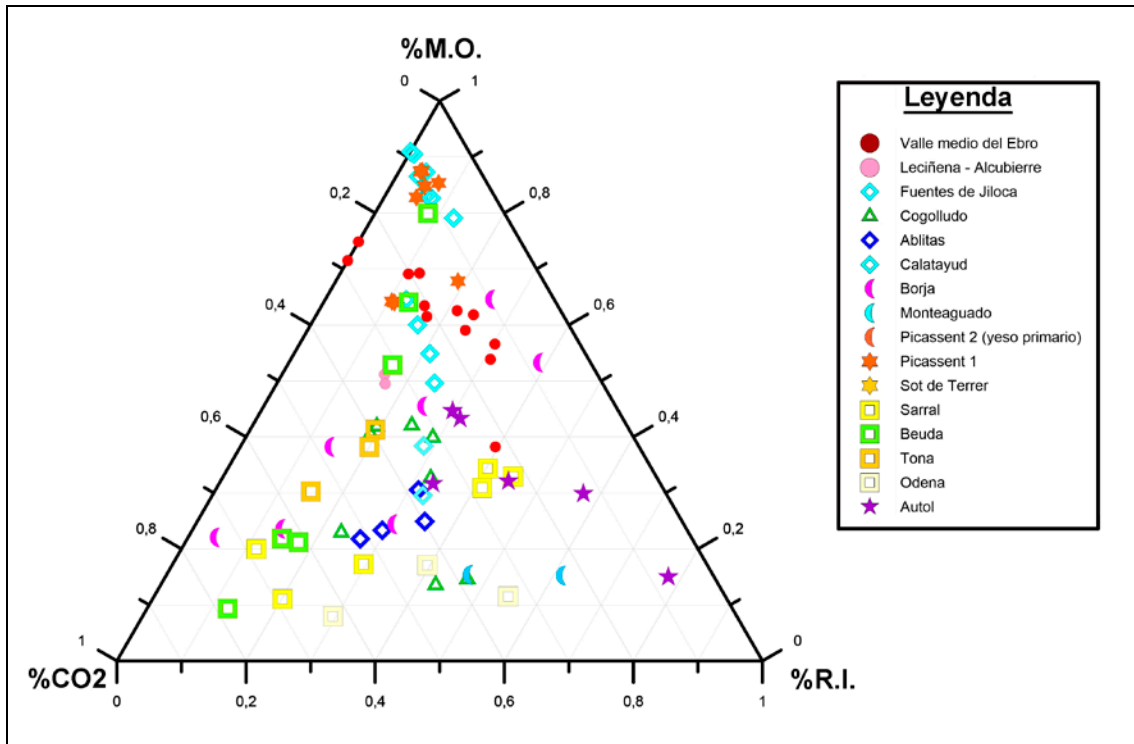


Figura 4.3.1. Grafica ternaria correlacionando R.I., M.O. y CO<sub>2</sub>.

En la representación grafica (Fig.4.3.1) vemos la distribución de las muestras en función de si presentan mayor o menor porcentaje de unos de los tres componentes, y su relación entre ellos.

Las muestras que presenta mayor contenido en M.O. y R.I. y bajo en CO<sub>2</sub> localizamos la mayoría de las muestras de Fuentes de Jiloca, Picassent y una de Beuda. En caso de materiales con alto contenido en R.I. y CO<sub>2</sub> tenemos muestras procedentes de Autol y Monteagudo. En el caso de valores altos de CO<sub>2</sub> y M.O. hay muestras procedentes de Beuda, Sarral, Odena y alguna de Borja.

En la zona central se concentran con valores intermedios de las tres variables se agrupan muestras de Cogolludo, Ablitas, Tona, Calatayud, Alcubierre, e incluso se ubica en este sector alguna de Autol, Sarral y Fuentes de Jiloca. Las del Valle medio del Ebro se encuentran entre la zona central la de mayor porcentaje de M.O. y R.I. y bajo en CO<sub>2</sub> marcando un agrupamiento bastante diferenciado del resto.

#### 4.3.5.4. Datos obtenidos de R.I., H<sub>2</sub>O, M.O. y CO<sub>2</sub>

Como en la anterior tabla se muestran los valores máximos y mínimos obtenidos para el porcentaje de residuo insoluble (R.I.), materia orgánica (M.O.) y carbonatos (CO<sub>2</sub>). El valor medio ( $\bar{X}$ ) de las concentraciones en %, la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el número de muestras (**n**) analizado.

Cuenca / Ubicación geográfica	Variedad	R.I.				M.O.				CO <sub>2</sub>				n
		Min	Max	$\bar{X}$	$\sigma$	Min	Max	$\bar{X}$	$\sigma$	Min	Max	$\bar{X}$	$\sigma$	
Valle del Ebro.	Autol	0.37	3.41	1.21	1.15	0.54	0.76	0.64	0.08	0.31	0.71	0.41	0.16	6
	Ablitas	0.32	0.45	0.4	0.06	0.26	0.43	0.32	0.07	0.51	0.61	0.55	0.04	4
	Monteagudo	5.95	7.49	6.72	1.09	1.87	7.96	1.91	0.063	2.89	4.84	3.86	1.37	2
Sector Occidental	Borja	0.36	2.44	1.05	0.67	1.65	2.14	1.82	0.18	0.26	6.47	2.62	2.33	7
Valle del Ebro.	Valle Medio del Ebro	0	1.07	0.46	0.35	0.99	1.87	1.31	0.29	0.29	0.6	0.4	0.08	12
Sector Central	Alcubierre	0.18	0.19	0.18	0.01	0.56	0.6	0.58	0.03	0.38	0.38	0.38	0	2
Valle del Ebro.	Sarral	0.64	1.97	1.24	0.59	0.48	1.5	0.96	0.36	0.44	6.75	2.82	2.72	6
	Odena	1.03	1.12	1.06	0.04	0.22	0.45	0.32	0.11	0.64	2.38	1.38	0.89	3
	Tona	0.11	0.23	0.19	0.06	0.23	0.49	0.38	0.14	0.42	0.48	0.45	0.03	3
Sector Oriental														
Pirineo catalán	Beuda	0.19	1.48	0.61	0.5	0.76	1.91	1.14	0.39	0.28	9.29	2.72	3.46	6
Cuenca de Calatayud	Fuentes de Jiloca	0	0.79	0.30	0.21	0.88	5.23	3.50	1.97	0.41	0.59	0.49	0.06	11
	Calatayud	0.33	0.4	0.37	0.03	0.37	0.45	0.41	0.05	0.39	0.47	0.43	0.05	2
Depresión costera Valenciana	Sot de Ferrer	0.23	0.52	0.37	0.2	1.35	1.87	1.61	0.36	0.36	0.53	0.44	0.12	2
	Picassent 1	0.16	0.44	0.28	0.1	4.27	5.27	4.82	0.39	0.45	0.68	0.54	0.09	5
	Picassent 2 (y.primario)	0.27	0.27	0.27	0	1.67	1.67	1.67	0	0.66	0.66	0.66	0	1
Cuenca de Madrid	Cogolludo	0.28	1.32	0.64	0.4	0.3	0.99	0.59	0.23	1.26	3.1	1.78	0.6	8

Podemos observar diferencias en las muestras procedentes de las canteras de Borja (0.36 – 2.44; 0.26 – 6.47), Monteagudo (5.95 – 7.49; 2.98 – 4.84) y Picassent 2 (0.27; 0.26 – 0.66) que presentan mayores valores de R.I. y CO<sub>2</sub>, respectivamente, que el resto de muestras analizadas de yesos secundarios. Corresponden a los yesos primarios de las facies de yesos lenticulares.

Dentro de las muestras de yeso alabastrino se diferencian muestras con presentan mayores valores de R.I. y CO<sub>2</sub>, en relación al resto, serian Autol (0.37 – 3.41; 0.31 – 0.71), Sarral (0.64 – 1.97; 0.44 – 6.75), Beuda (0.19 – 1.48; 0.28 – 9.29), Odena (1.03 – 1.12; 0.64 – 2.38) y Cogolludo (0.28 – 1.32; 1.26 – 3.1). Corresponden a las facies de yeso alabastrino con cristales de celestina ideomorfa y subidiomorfa.

En las muestras de yeso alabastrino teniendo en cuenta el porcentaje de M.O. se diferencian muestras con valores más elevados en relación al resto, serian Fuentes de Jiloca (0.88 – 5.23) y Picassent1 (4.27 – 5.27). Corresponden a parte de las muestras de las facies de yeso alabastrino con cristales de celestina esquelital. En ambos casos se han encontrado afloramientos con yeso primario, lo que indica que los procesos

diagenéticos producidos sobre estos materiales han sido moderados en comparación a los yesos alabastrinos con diferentes procedencias.

#### **4.3.5.5. Datos obtenidos por espectrofotometría de emisión atómica (ICP-OES)**

Con las técnicas anteriormente descritas y con el instrumental que disponen el SAI *Servicio de Análisis Químico del SAI* se han analizado los elementos menores y traza, Sr y Ba respectivamente en 121 muestras procedentes de canteras y 24 de piezas artísticas, sumando un total de 146 muestras analizadas.

Las concentraciones de dichos elementos junto con el porcentaje de RI se recogen en la tabla del Anexo II, en la que se muestran los resultados de las muestras de canteras en ppm (partes por millón).

En función de la concentración en Sr y Ba, al representar ambos elementos en un gráfico correlacionando los respectivos valores en cada caso, podemos definir tramos en los que se sitúan los valores referentes a cada cantera y que nos pueden servir como referencia para conocer la procedencia de piezas artísticas.

##### *4.3.5.3.1. Datos totales*

La representación gráfica de estos datos se ha realizado con el *software Grapher 10*, enfrentado los datos obtenidos de Sr y Ba. Y nos da la siguiente gráfica (Fig. 4.3.2), en la que podemos ver que una parte importante de los mismos se agrupa cerca de la intersección de los ejes X e Y, al igual que otro grupo de datos aparece concentrado en distintas zonas de la gráfica, para verlo con más detalle y explicar su posible interpretación es necesario observar la gráfica detalladamente.

Como hemos señalado algunos de los datos presentan mayores concentraciones de Sr y Ba, lo que genera que su representación dentro de la gráfica se aleje de los ejes X e Y, dando lugar a zonas que podrían definir como características de procedencias concretas. Aunque también hay que tener en cuenta que la concentración de Sr en las muestras de yeso está relacionada con la fase diagenéticas, por lo tanto para poder diferenciar la procedencia del alabastro, en primer lugar es necesario representar por separado los datos correspondientes al yeso primario y secundario. Como podemos ver en las siguientes gráficas.

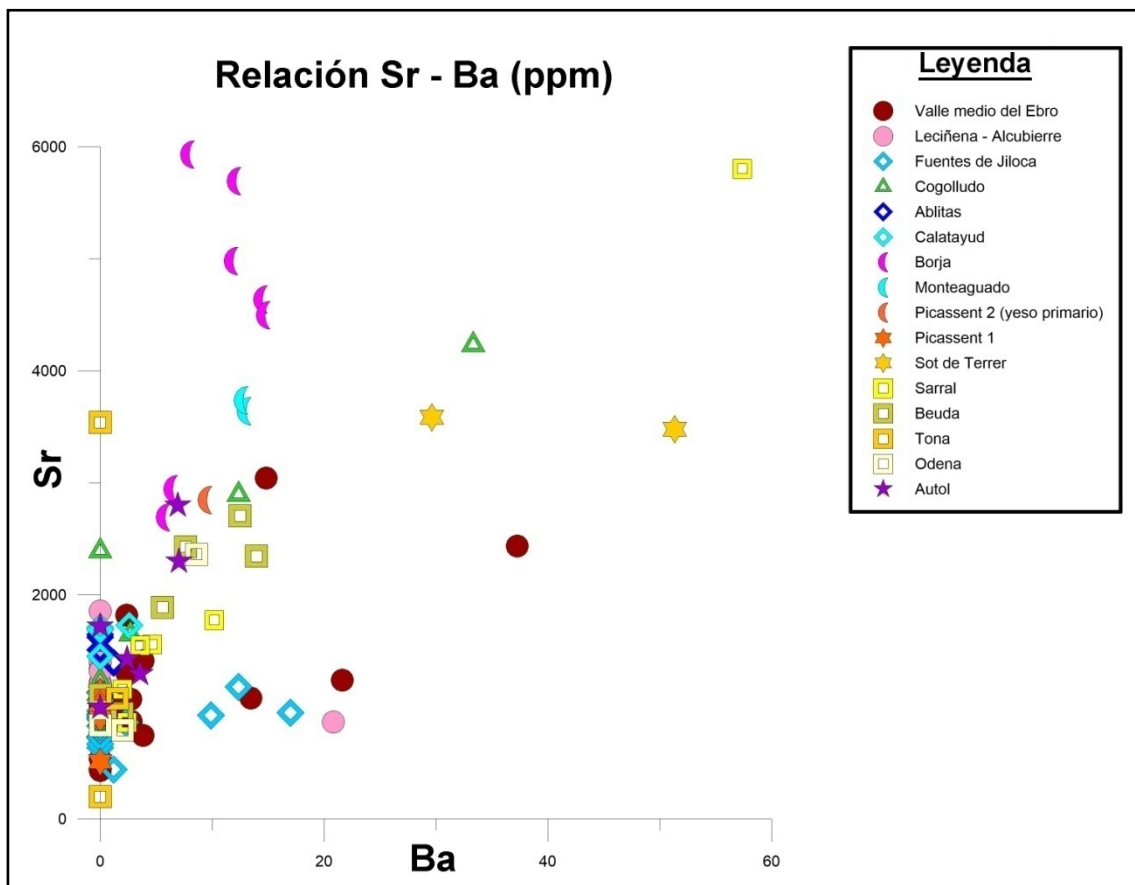


Figura 4.3.2. Grafico de relación de las concentraciones Sr – Ba en ppm, para la totalidad de las muestras procedentes de canteras.

#### 4.3.5.3.2. Yesos primarios y yesos secundarios

En las que vemos representados por un lado en la primera grafica los valores procedentes de las muestras que por *visu* y petrografía hemos identificado como yesos primarios. Y en la segunda las muestras que corresponden a yeso alabastrino *sensu stricto* desde el punto de vista geológico (Fig. 4.3.3) y (Fig. 4.3.4).

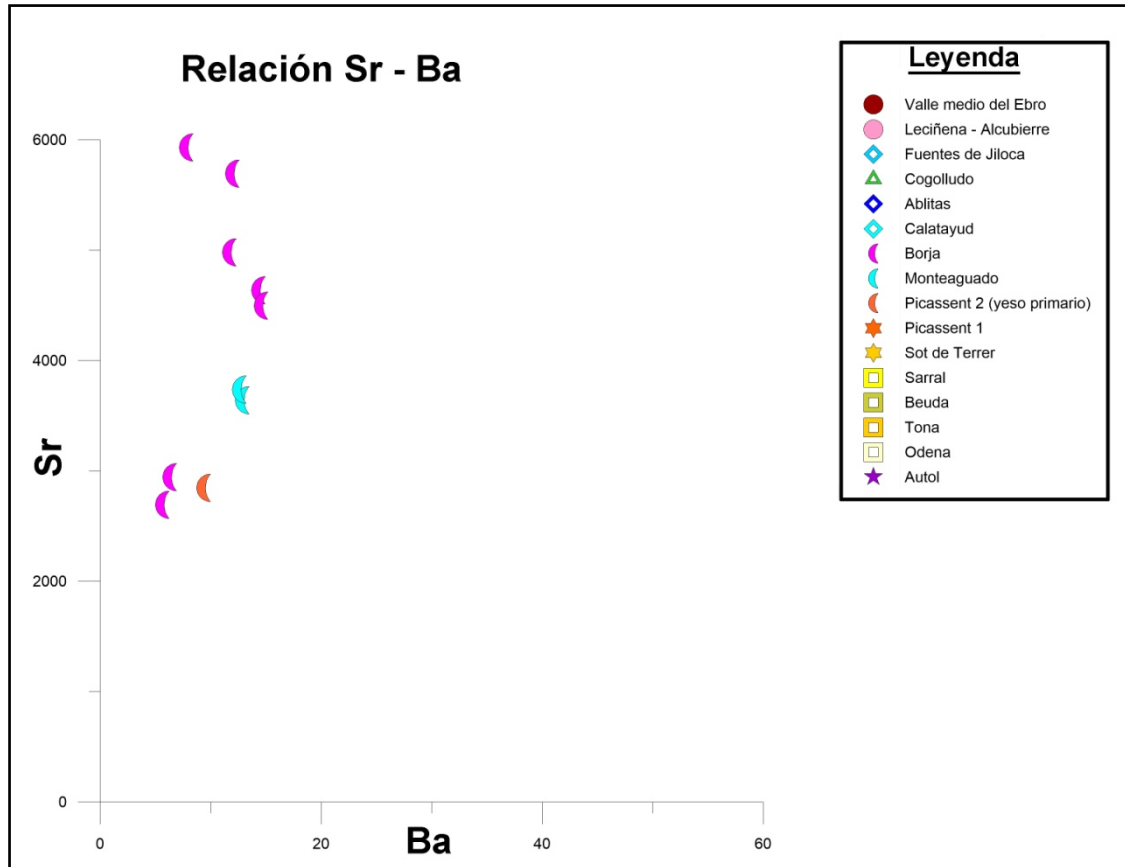


Figura 4.3.3. Grafico de relación de las concentraciones Sr – Ba en ppm. En el grafico superior están representadas de forma individual las muestras pertenecientes a yeso primario correspondientes a las canteras de Borja, Monteagudo y Picassent1, estas muestras corresponden a las facies de yeso lenticular con carbonatos.

La Fig.4.3.3 Podemos representadas únicamente las muestras que corresponden a facies de yeso lenticular con carbonatos, esta morfología lenticular indica que es yeso primario. Afirmación que también es confirmada por los valores de Sr presentes en las muestras como valores entre (3639.21 – 3735.99 ppm) en las muestras de Monteagudo, (2693.11 – 5931.01 ppm) en las de Borja y 2846.39 ppm en la muestra de Picassent2. Estos valores se encuentran dentro del valor medio de Sr de 3270 ppm presentado por (Fort and Bustillo, 1986) medido en las facies evaporíticas de la Cuenca de Madrid.

Dentro de grafica vemos que los valores de Monteagudo se encuentran más agrupados que los de Borja que presentan tanto los contenidos máximos como mínimos de Sr



analizado en este conjunto de muestras. El único dato de Picassent2 tiene valores próximos los más bajos de las muestras de Borja.

La siguiente gráfica representa las muestras de yeso alabastrino analizadas.

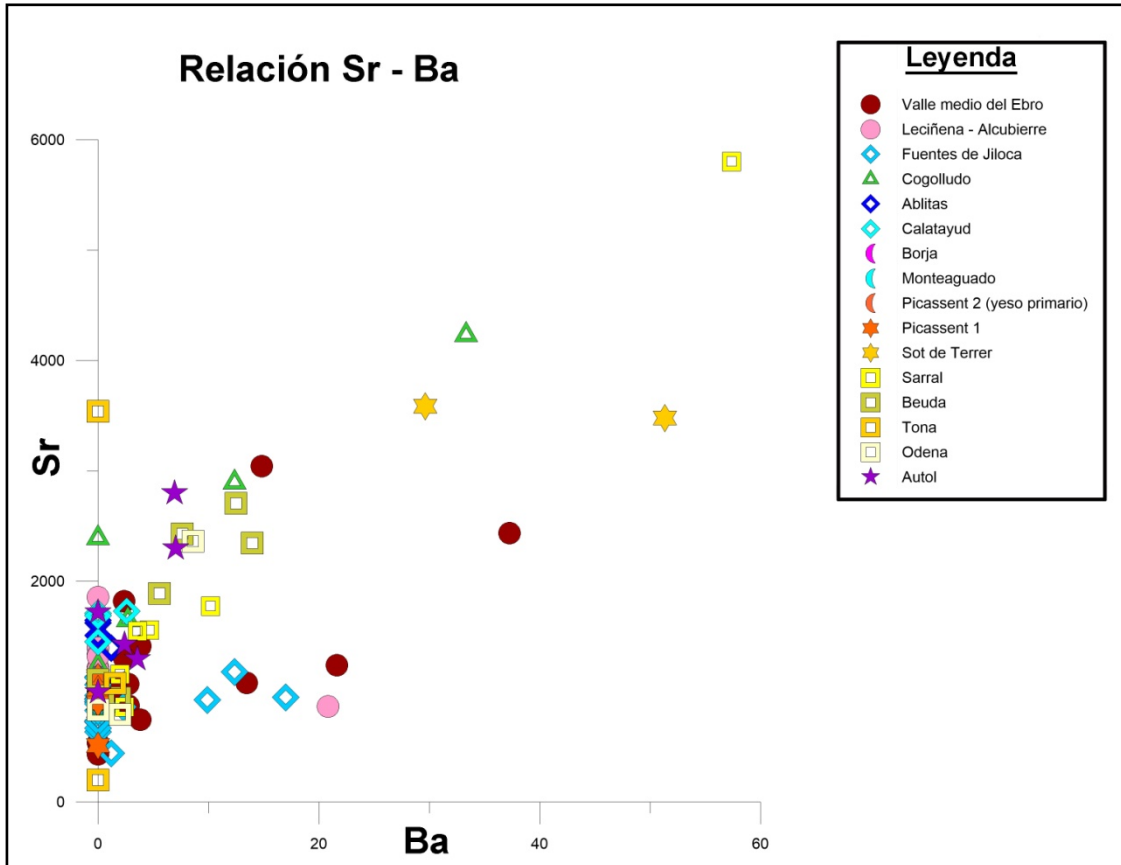


Figura 4.3.4. Gráfico de relación de las concentraciones Sr – Ba en ppm. De las muestras de yeso alabastrino estudiadas en el presente trabajo. Engloba todas las facies diferenciadas como yeso alabastrino.

En la Fig.4.3.4. Vemos representados los valores en concentración de Sr y Ba de las muestras de las facies alabastrinas. Para este tipo de facies de yesos secundarios (Fort and Bustillo, 1986) da valores medios para Sr de 760 ppm. Los valores medios que hemos obtenido en las muestras son mayores con valore medio general próximo a los 1200 ppm en el caso del Sr esto también fue observado por (Mandado, 1987), una posible causa sería que parte del Sr procede de los cristales de celestina presentes en las muestras.

Para definir los dominios de las diferentes facies textural – mineralógicas identificadas en las muestras estudiadas, vamos a representarlas por separado las *facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esqueletal*, por otro lado las *facies de yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina*

subidiomorfa y finalmente las facies de yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina idiomorfa o en gavilla.

Las facies de yeso alabastrino microcristalino - C.E.N.U. y yeso recrystalizado que corresponde a las muestras de Sot de Terror no son representadas por separado en estos grupos porque en el grafico total se diferencian claramente del resto de muestras.

#### 4.3.5.3.3. Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esqueletal

Estas facies corresponden a las muestras tomadas próximas a las localidades de Fuentes de Ebro, Gelsa, Escatrón, Sástago, Leciñena, Sierra de Alcubierre, Rueda de Jalón, Fuentes de Jiloca, Calatayud, Ablitas y Picassent. Su representación gráfica (Fig.4.3.5.) nos muestra que las muestras se encuentran entre valores máximos de Sr próximo a 2000 ppm, salvo dos muestra del Valle medio del Ebro procedentes de Gelsa y Albalate del Arzobispo, y para el Ba los valores máximos entornos a 20 ppm.

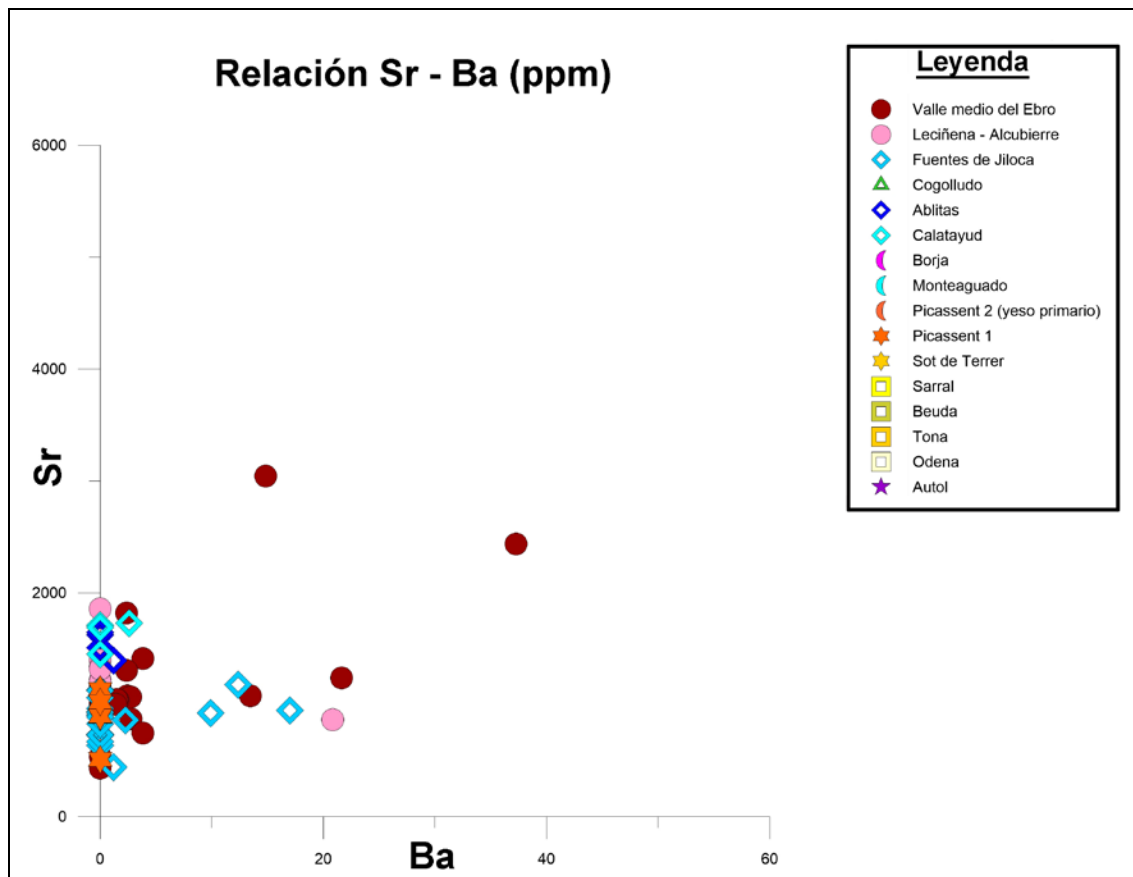


Figura 4.3.5. Gráfico de facies de yeso alabastrino microcristalino y C.E.N.U. con celestina esqueletal.

Los valores máximos y mínimos de contenido en Sr y Ba de las muestras que representadas gráficamente se expresan en la siguiente tabla.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

4.3.5.3.4. *Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina subidiomorfa*

Estas facies corresponden a las muestras tomadas próximas a las localidades de Sarral, Beuda, Tona y Odena. Su representación gráfica (Fig.4.3.6.) nos muestra que las muestras se encuentran entre valores máximos de Sr próximo a 3000 ppm, salvo dos muestras una de Sarral que alcanza valores de Sr y Ba cerca de 6000 y 60 ppm respectivamente, la otra corresponde a Tona con una desviación bastante menor del conjunto valores de Sr entorno a 3500 ppm.

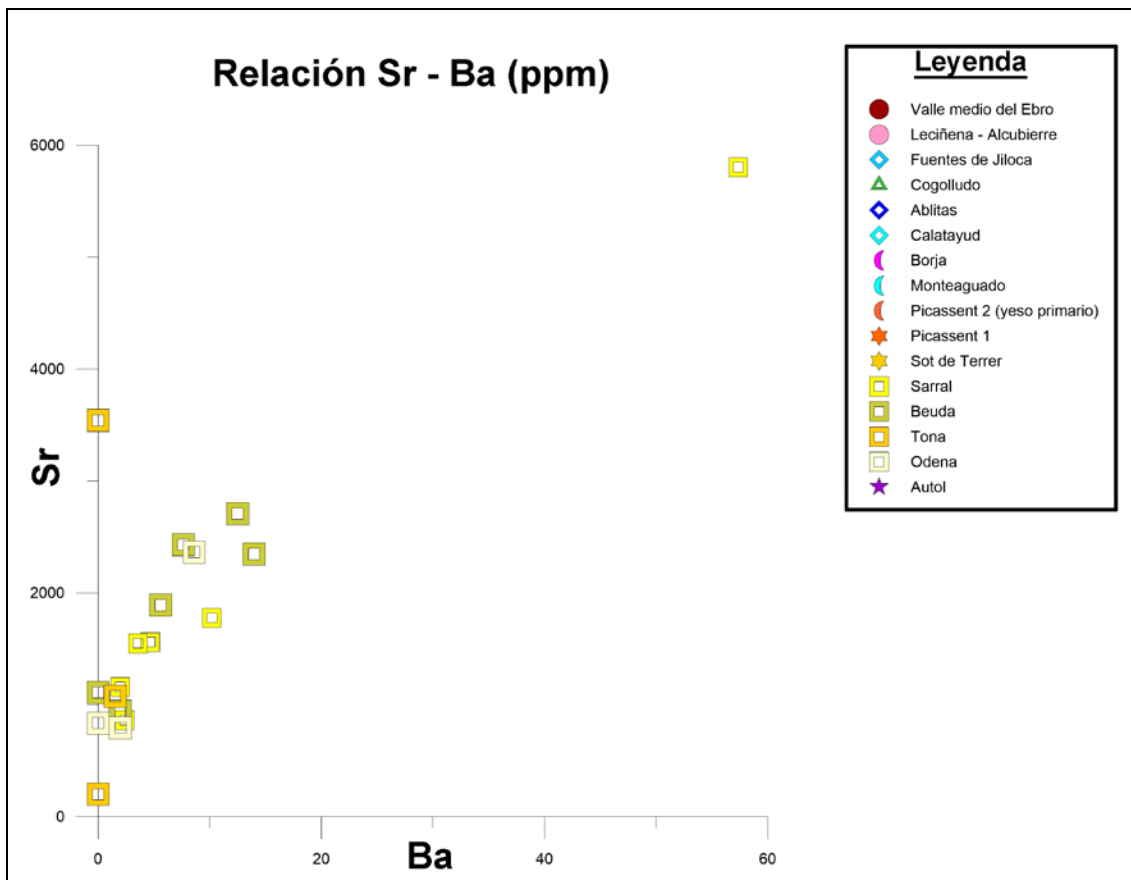


Figura 4.3.6. Gráfico de facies de yeso alabastrino microcristalino y C.E.N.U. con celestina subidiomorfa.

En la siguiente tabla se recogen con detalle los valores máximos y mínimos obtenidos en estas muestras.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
Sarral	861.6	5804.78	57.37	13.36
Beuda	942.38	2708.3	13.94	6.93
Odena	791.58	2362.79	8.61	3.53
Tona	199.92	3539.09	1.52	0.50

4.3.5.3.5. *Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina idiomorfa o en gavilla*

Estas facies corresponden a las muestras tomadas próximas a las localidades de Cogolludo, Aleas, Jadraque y Autol. Su representación gráfica (Fig.4.3.7.) nos muestran que las muestras se encuentran entre valores se encuentran entre 1500 a 3000 ppm de forma homogénea en ambos casos, salvo una muestras de Jadraque que alcanza valores de Sr y Ba cerca de 4000 y 30 ppm respectivamente.

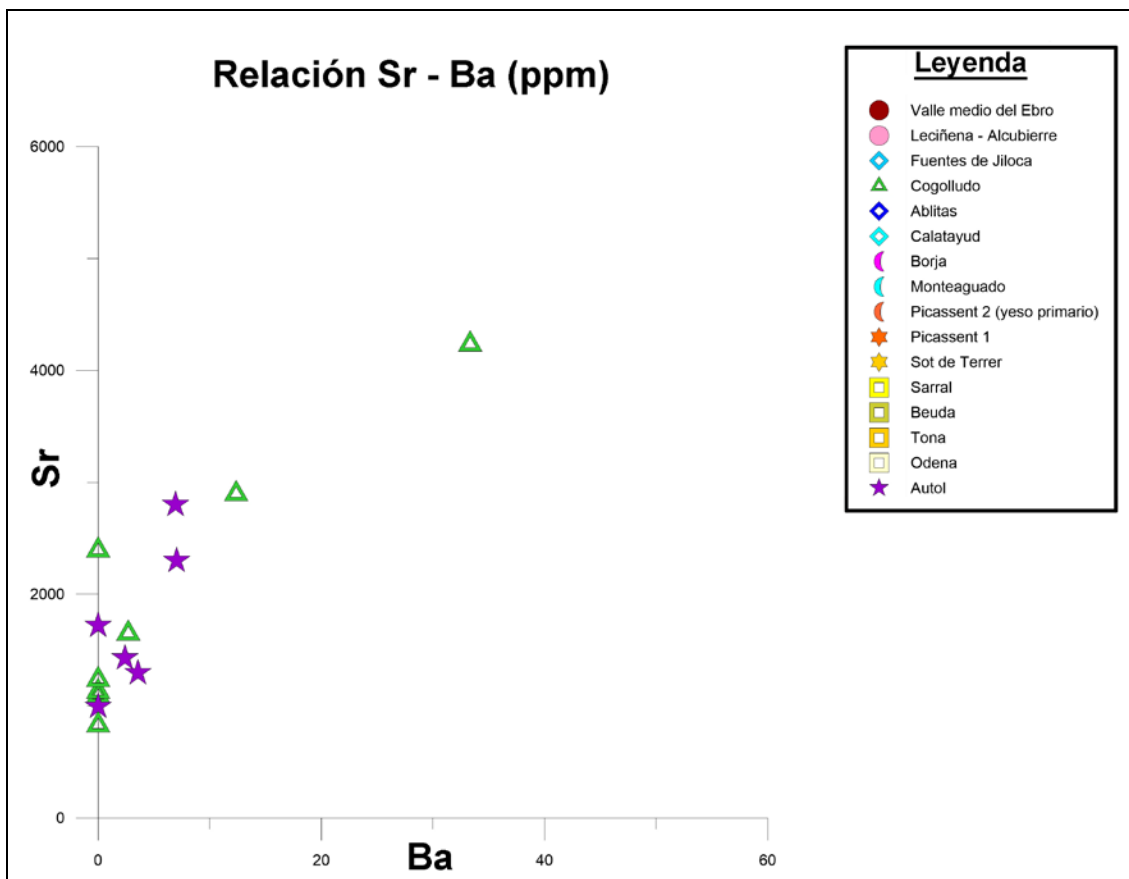


Figura 4.3.7. Gráfico de facies de yeso alabastrino microcristalino y C.E.N.U. con celestina idiomorfa o en forma de gavilla.

En la siguiente tabla se recogen con detalle los valores máximos y mínimos obtenidos en estas muestras.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
Autol	995.88	2799.11	0	7.03
Cogolludo	829.64	4232.66	0	33.35

#### 4.3.6. *Discusión sobre diferentes procedencias de las muestras*

##### 4.3.6.1. Datos obtenidos por espectrofotometría de emisión atómica (ICP-OES)

En la siguiente tabla se muestran los valores máximos y mínimos obtenidos para cada cantera en ppm al igual que el valor medio ( $\bar{X}$ ) de las concentraciones en ppm y la desviación estándar ( $\sigma$ ) que nos aporta información sobre la fiabilidad de los datos obtenidos y su dispersión en función del número de muestras (**n**) analizado. Un valor de  $\sigma$  bajo nos indica que la mayor parte de los datos se encuentran cerca de la media aritmética, sin embargo un valor elevado nos informa de una mayor dispersión dentro de la población de datos.

Cuenca / Ubicación geográfica	Variedad	Sr				Ba				n
		Min	Max	$\bar{X}$	$\sigma$	Min	Max	$\bar{X}$	$\sigma$	
Valle del Ebro.	Autol	995.88	2799.11	1757.12	675.16	0	7.03	3.31	3.15	6
	Ablitas	1395.84	1644.84	1543.01	114.48	0	1.19	0.30	0.59	4
	Monteagudo	3639.21	3735.99	3687.6	68.43	12.61	12.86	12.73	0.17	2
Sector Occidental	Borja	2693.11	5931.01	4482.30	1253.33	5.64	14.58	10.33	3.72	7
Valle del Ebro.	Valle Medio del Ebro	431.84	3042.54	1158.40	469.20	0	37.25	3.29	7.70	34
Sector Central	Alcubierre	866.69	1859.10	1285.092	284.22	0	20.84	2.60	7.36	8
Valle del Ebro.	Sarral	861.6	5804.78	2118.74	1835.16	2.01	57.37	13.36	21.76	6
	Odena	791.58	2362.79	1329.98	894.70	0	8.61	3.53	4.50	3
Sector Oriental	Tona	199.92	3539.09	1604.98	1731.31	0	1.52	0.50	0.87	3
Pirineo catalán	Beuda	942.38	2708.3	1904.62	732.17	0	13.94	6.93	5.56	6
Cuenca de Calatayud	Fuentes de Jiloca	441.93	1178.09	877.38	182.75	0	17	2.13	4.89	20
	Calatayud	1452.81	1729.8	1645.70	129.61	0	2.59	0.64	1.29	4
Depresión costera Valenciana	Sot de Ferrer	3480.35	3585.29	3532.82	74.20	29.64	51.32	40.48	15.32	2
	Picassent 1	514.42	1136.45	894.60	234.72	0	0	0	0	5
	Picassent 2 (y.primario)	2846.39	2846.39	2846.39	0	9.37	9.37	9.37	0	1
Cuenca de Madrid	Cogolludo	829.64	4232.66	1932.73	1169.02	0	33.35	6.04	11.82	8

Observando los datos recogidos en esta tabla junto con la interpretación de las representaciones gráficas de los mismos, podemos ver como ya hemos señalado anteriormente según algunos autores (Fort and Bustillo, 1986; Ordóñez *et al.*, 1989) para las facies evaporíticas de la Cuenca de Madrid donde los valores de Sr en yesos primarios se encuentran dentro del valor medio de 3270 ppm. La concentración de Sr es un indicativo de la fase diagenética del yeso.

Podemos observar diferencias en las muestras procedentes de las canteras de Borja (2693.11, 5931.01), Monteagudo (3639.21, 3735.99) y Picassent 2 (2846.39) que presentan mayores valores de Sr que el resto de muestras analizadas de yesos secundarios. Estas facies corresponden a yesos lenticulares que son yesos primarios. También se puede apreciar este aumento de concentración en el caso del Ba.

El resto de muestras correspondientes a facies de yeso alabastrino presenta de modo general valores máximos y mínimos de Sr comprendidos entre 800 a 2000 ppm.

Concretando estos resultados de las facies de yeso alabastrino de modo conjunto con las facies textural – mineralógicas descritas en el apartado anterior, podemos definir los dominios de estas muestras como los siguientes.

✓ ***Facies de yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esqueletal:*** Las muestras de este conjunto proceden de Fuentes de Ebro, Gelsa, Escatrón, Sástago, Leciñena, Sierra de Alcubierre, Rueda de Jalón, Fuentes de Jiloca, Calatayud, Ablitas y Picassent. Se caracterizan por presentar valores de concentraciones Sr (431.84 - 3042.54 ppm) y Ba (0.03 – 37.25 ppm). Afinando más esta delimitación las muestras de Fuentes de Jiloca y Picassent están en valores de Sr entre (441.93 -1178.09 ppm), que se diferencian de las muestras procedentes de Ablitas y Calatayud con concentraciones de Sr (1395.84 – 1729.8 ppm), próximos a estos valores están los de Leciñena / Alcubierre (866.69 – 1859.10 ppm). Las procedentes del Valle medio del Ebro tienen una distribución más amplia con valores para Sr de (431.84 - 3042.54 ppm).

✓ ***Facies de yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina subidiomorfa:*** Las muestras de este conjunto proceden de Sarral, Beuda, Tona y Odena. Se caracterizan por presentar valores de concentraciones Sr (199.92 – 5804.78 ppm) y Ba (0.03 – 57.37 ppm). Afinando más esta delimitación las muestras de Beuda y Odena están en valores de Sr entre (791 -2708.3 ppm), que se diferencian de las muestras procedentes de Tona con concentraciones de Sr (199.92 – 3539.09 ppm), que muestran una dispersión mayor que las anteriores. Las procedentes del Sarral la distribución más amplia con valores para Sr de (861.6 – 5804.78 ppm).

✓ ***Facies de yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina idiomorfa o en gavilla:*** Las muestras de este conjunto proceden de Cogolludo, Jadraque, Aleas y Autol. Se caracterizan por presentar valores de concentraciones Sr

(829.64 – 4232.66 ppm) y Ba (0.03 – 33.35 ppm). Afinando más esta delimitación las muestras de Autol están en valores de Sr entre (995.88 -2799.11 ppm), que tienen menor rango de distribución que las muestras procedentes de Cogolludo - Jadraque con concentraciones de Sr (829.64 – 4232.66 ppm), que muestran una dispersión mayor que las anteriores.

#### **4.3.7. Criterios de identificación de procedencia**

A la hora de diferenciar procedencias en función de las concentraciones de Sr y Ba en las muestras junto con los porcentajes de R.I., M.O. CO<sub>2</sub>. La primera diferenciación en función de procedencia sería separar las muestras de yeso primario del secundario.

Los yesos primarios presenta valores más elevados en la relación Sr – Ba y R.I. – CO<sub>2</sub>, que junto con los criterios texturales nos permiten diferenciar estas muestras de las facies de yesos lenticulares. Estas muestras proceden de **Borja, Monteagudo y Picassent 2**.

Partiendo de esta diferenciación, con los datos de las concentraciones de Sr y Ba en las muestras junto con los porcentajes de R.I., M.O. CO<sub>2</sub> podemos encontrar agrupaciones dentro de los yesos secundarios.

Una diferenciación sería las facies de yesos alabastrinos con cristales de celestina esqueletal, que presentan un rango de valores de Sr (431.84 - 3042.54 ppm) y Ba (0.03 – 37.25 ppm). Estas muestras corresponden a **Fuentes de Ebro, Gelsa, Escatrón, Sástago, Leciñena, Sierra de Alcubierre, Rueda de Jalón, Fuentes de Jiloca, Calatayud, Ablitas y Picassent 1**. Dentro de este grupo en función de la concentración de M.O. diferenciamos las muestras procedentes de **Fuentes de Jiloca y Picassent 1**, ya que presentan valores más elevados que el resto de muestras.

Un grupo con valores más elevados de Sr y Ba, lo encontramos en las facies de yeso alabastrino con celestina subidiomorfa cuyos valores son Sr (199.92 – 5804.78 ppm) y Ba (0.03 – 57.37 ppm), y en las facies de yeso alabastrino con celestina idiomorfa los valores son Sr (829.64 – 4232.66 ppm) y Ba (0.03 – 33.35 ppm). Estas muestras también presentan valores más elevados que las facies de yeso alabastrino con celestina esqueletal de R.I. y CO<sub>2</sub>. La procedencia de estas muestras es **Sarral, Beuda, Tona, Odena, Cogolludo, Jadraque, Aleas y Autol**.

Un caso aparte sería el de las muestras de **Sot de Ferrer**, las cuales presentan valores elevados tanto de Sr (3480.35 – 3585.29 ppm) como de Ba (29.64 – 51.32 ppm), razón por la que se sitúan dentro de la gráfica separadas del la nube de puntos del resto de muestras.

Siguiendo las consideraciones anteriormente expuestas, la aplicación de esta técnica en la determinación de procedencia de piezas artísticas realizadas en alabastro, alcanza una mayor efectividad si se utiliza de modo conjunto con las caracterizaciones *de visu* y

petrográficas de las muestras. Juntando los datos geoquímicos obtenidos con diversas técnicas y las identificaciones texturales – mineralógicas que se realizan mediante microscopio petrográfico, junto las características macroscópicas propias de cada muestra, configuran una metodología de trabajo efectiva para la determinación de procedencia de piezas artísticas realizadas en alabastro.



## 4.4. Fosforescencia

### 4.4.1. Introducción a la técnica analítica basada en la fosforescencia

El estudio presentado en este apartado está basado en la técnica no invasiva que emplea la fosforescencia propia de cada material para identificar su procedencia. En este caso se ha aplicado a 30 muestras de alabastro procedentes de diversas canteras de España y una de Italia (Volterra) y a 39 muestras de mármoles procedentes de España, Portugal, Francia y Grecia. Se ha empleado en ambos materiales para comprobar si esta técnica es también efectiva en el caso del mármol.

El fundamento de esta técnica se basa en la fotoluminiscencia propia del material en concreto en la fosforescencia. Cuando una sustancia absorbe energía electromagnética, en este caso dentro del espectro de la luz visible es posible provocar la excitación de los electrones, que pasan una posición de mayor energía pero al cesar la fuente de emisión estos electrones vuelven a su posición de origen liberando energía. Esta energía será de menor orden que la que ha sido necesaria para provocar su cambio de posición, por lo tanto emitirá luz en un orden de longitud de onda inferior al que había absorbido. La diferencia entre fluorescencia y fosforescencia se determina en función de la duración de la emisión del material tras la exposición, en el caso de la fluorescencia cesa al mismo tiempo que lo hace la fuente de emisión, y la fosforescencia prolonga su emisión más tiempo, esta duración puede variar desde fracciones de segundo a horas.

Para realizar las mediciones se ha utilizado un “equipo de captura” formado por una caja negra en la que está integrado un foco de emisión lumínico (flash) y un detector para la recogida de los datos (cámara de video). Tras realizar las mediciones las imágenes obtenidas son procesadas hasta obtener las coordenadas  $L^*a^*b^*$ , para obtener el color de fosforescencia y la pauta de fosforescencia. Las medidas se realizaron sobre pastillas de roca (4x2.5x1.5) o placas (10x10x1.5) que en su mayoría estaban pulidas aunque también se realizó en muestras no pulidas para comprobar si había variaciones en su comportamiento.

Los activadores de la fosforescencia pueden ser por presencia de materia orgánica o tierras raras. Los resultados obtenidos muestran una variación de las longitudes de onda de emisión y en el color de fosforescencia obtenido para las muestras de alabastro con un rango entre 700 a 254 nm, en los mármoles la respuesta es más homogénea entorno a 620 nm. Junto con el color de fosforescencia también fue posible apreciar distintos patrones (bandedados, parcheados, reticulados) que han resultado tan interesantes para caracterizar el alabastro como el color en sí.

Esta técnica se aplicó de manera conjunta con las anteriormente expuestas, a la identificación de procedencia de una pieza de alabastro adquirida por el Museo del Prado, obra de Damian Forment. Aunque la técnica es muy útil y operativa, se ha empleado en un número reducido de piezas histórico artísticas ya que el principal

trabajo durante la tesis ha sido la puesta a punto de la técnica que sólo ha estado operativa al final de nuestro trabajo

## IDENTIFICACIÓN DE PROCEDENCIAS MEDIANTE TÉCNICAS NO INVASIVAS: PRIMEROS RESULTADOS.

Desarrollo de un sistema para medir fosforescencia en piezas histórico-artísticas como criterio en la identificación de la procedencia del material:  
construcción del equipo físico y primeras medidas sobre alabastros y mármoles

**“Provenances’ identification through non-invasive techniques: initial findings.**

**Development of a system to measure phosphorescence in artistic-historical pieces to identify the material provenance: physical machinery building and alabaster and marble’s first measures.”**

**J. Gisbert Aguilar, A.I. Sánchez-Cano, C. Morte García, A. Muñoz del Pozo\***

Recibido: 11-6-2019

Aceptado: 30-7-2019

### Resumen

Se ha construido un aparato para medir fosforescencia en mármoles y alabastros de usos estatuarios. El aparato se prueba con éxito y describimos los protocolos para las medidas y realizamos determinaciones en una amplia muestra de mármoles (39) y alabastros (30) de la península Ibérica. En el caso de los mármoles, la fosforescencia es siempre muy parecida, mientras que en el caso de los alabastros es mucho más variada y susceptible de permitir identificaciones precisas de la procedencia del material. Como ejemplo se realiza la identificación de la procedencia del alabastro del *Oratorio de San Jerónimo penitente* del Museo Nacional del Prado.

**Palabras clave:** *Identificación, Cantera de procedencia, Medida de fosforescencia, Alabastro, Mármol.*

### Abstract

An instrument has been constructed to measure phosphorescence in marbles and alabasters of statuary uses. The apparatus is successfully tested and we describe the protocols for the measurements and we make determinations in a large sample of marbles (39) and alabasters (30) of the Iberian Peninsula. In the case of marbles, the phosphorescence is always very similar while in the case of alabaster it is much more varied and capable of allowing precise identifications of the origin of the

\* J. Gisbert Aguilar, Dpto. Ciencias de la Tierra. [gisbert@unizar.es](mailto:gisbert@unizar.es). A.I. Sánchez-Cano, Dpto. de Física Aplicada. [anaisa@unizar.es](mailto:anaisa@unizar.es). C. Morte García, Dpto. de Historia del Arte. [cmorte@unizar.es](mailto:cmorte@unizar.es). A. Muñoz del Pozo, Dpto. Ciencias de la Tierra. [amdpozo@unizar.es](mailto:amdpozo@unizar.es). Universidad de Zaragoza. Este artículo se enmarca entre las iniciativas del proyecto de excelencia i+d+i del Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España (HAR 2015-66999-PH).

material. As an example, the identification of the alabaster origin of the *Oratorio de San Jerónimo penitente* of the Museo Nacional del Prado is carried out.

**Keywords:** *Identification quarry of origin, Measurement of phosphorescence, Alabaster, Marble.*

## Introducción

---

Dentro de las investigaciones para identificar la procedencia del material pétreo en obras de arte, siempre han sido de especial interés las técnicas no invasivas. En este campo, la fluorescencia y la fosforescencia del material ocupan un lugar destacado. Las pruebas de fluorescencia con longitud de onda larga y corta de ultravioleta (UV) son interesantes en materiales pétreos, pero adolecen de un inconveniente: la rugosidad de la superficie influye mucho en la respuesta y tener que pulimentar la superficie de la pieza histórica supone un tratamiento bien inaceptable o bien agresivo. Esta agresividad se sitúa al mismo nivel que otras pruebas que requieren extracción de muestra y que, en muchos casos, dan la misma información o incluso una más relevante.

No obstante, hemos comprobado que la fosforescencia no sufre modificación sustancial con la rugosidad de la superficie y el único requisito para realizar la medida de forma repetitiva es que la superficie esté limpia y sin tratamiento superficial. La limpieza con agua destilada sí es un tratamiento asumible en la mayoría de los casos y hace que la fosforescencia pueda emplearse de forma generalizada.

## Antecedentes

---

La fluorescencia y la fosforescencia son dos tipos de fotoluminiscencia, es decir, son sucesos en los que la energía de activación del proceso tiene origen electromagnético<sup>1</sup>. En la primera, una sustancia absorbe energía en forma de radiación electromagnética del espectro UV para luego emitir parte de esta energía en la misma forma, pero en longitudes de onda más largas, habitualmente en espectro visible. La fosforescencia es un proceso similar al anterior, aunque la diferencia fundamental entre ambas es el tiempo en el cual se finaliza el ciclo completo. La fluorescencia tiene una duración igual al tiempo de excitación mientras que en la fosforescencia se libera la energía absorbida de forma más lenta y puede observarse una vez detenida la excitación<sup>2</sup>. La luminiscencia en minerales se suele asociar a tres causas principales: luminiscencia intrínseca a la composición del mineral, luminiscencia por impurezas en el material o luminiscencia por inclusión en el mineral de sustancias, habitualmente orgánicas<sup>3</sup>. Al aplicar este tipo de ensayos a minerales, se descubre que muchos de ellos tienen una

---

1 Stokes, 1852: 463-562.

2 Valeur / Berberan-Santos, 2011: 731-738.

3 Taga / Kono / Yamashita, 2011: 169-174. Eaton-Magaña / Breeding, 2016: 2-17. Gaft / Nagli / Panzer / Waychunas / Porat, 2008: 158-167. Liu / Shi / Wang, 2014. Fritsch / Megaw / Spano / Chauviré / Rondeau / Gray / Hainschwang / Renfro, 2015: 490-508.

respuesta variable en función del lugar de procedencia. En realidad, la variabilidad es función de pequeñas cantidades de elementos introducidos en la red cristalina y que condicionan la emisión foto-luminiscente; estos elementos traza suelen ser característicos de las condiciones de formación del mineral en un entorno geográfico determinado, por lo que posibilitan su adscripción espacial y temporal al mismo<sup>4</sup>. Actualmente, este tipo de técnica se aplica en la identificación de la procedencia de gemas, campo donde ha adquirido un gran desarrollo. En las rocas el proceso resulta más complejo porque, obviamente, el espectro de emisión es resultado de la suma de los espectros de emisión de todos los minerales presentes<sup>5</sup> y, en general, la composición/textura de la matriz es notablemente más compleja. Hasta el presente no hay prácticamente datos publicados al respecto excepto en espeleotemas<sup>6</sup>; esta comunicación es la primera que trata directamente el tema.

## Metodología en la construcción del equipo instrumental

---

### Construcción del sistema de medida

En primer lugar, necesitábamos una fuente de excitación que proporcionara una intensidad convenida durante un cierto tiempo y, en segundo lugar, que fuese estándar. Era preciso irradiar la muestra con las longitudes de onda que provocan la excitación (variable según el tipo de muestra). Las lámparas de UV que poseíamos (una de onda corta y otra de onda larga) eran una fuente de intensidad aceptable pero relativamente monocromáticas. Además, su interruptor manual daba problemas para regular con exactitud el tiempo de irradiación.

Nos decantamos por emplear un flash que emitiera un espectro muy amplio de longitudes de onda con gran intensidad. De esta forma resolvíamos los tres problemas con una misma actuación. Fuera cual fuera la longitud de onda necesaria para excitar la muestra, esta se encontraba siempre en la fuente de emisión, la intensidad era grande y el tiempo de excitación es siempre el mismo y está estandarizado.

Seguidamente, procedimos a construir una caja negra con cámara de vídeo y flash integrados y con una ventana abierta en posición opuesta a la cámara de vídeo. Lo llamaremos “equipo de captura”. Se usó un flash modelo “Metz 30BCT4 Mecablitz” y una cámara deportiva GoPro National Geographic Full HD ActionCam de 12Mp para la excitación y captura de imágenes (se capturan a máxima resolución). Las características de esta cámara permitieron grabar en vídeo las secuencias de excitación y fosforescencia, en formato AVI 1920x1080 píxeles, a 30 f.p.s. Se calibró la cámara con una serie de 12 patrones de color para confirmar la correcta medida de las coordenadas  $L^*a^*b^*$  y se encontró que la desviación promedio en  $L^*$  fue del 15% para el iluminante D65-2° (Fig. 1).

---

4 Sinh / Osanai / Lenz / Nakano / Adachi / Belousova / Kitano, 2019: 1-18.

5 Bruce / Kopylova / Longo / Ryder / Dobrzhinetskaya, 2011: 14-22. Pandit / Kumar / Mohapatra / Bangotra / Mehra / Singh, 2019: 212-221.

6 Shopov, 2004: 25-33.

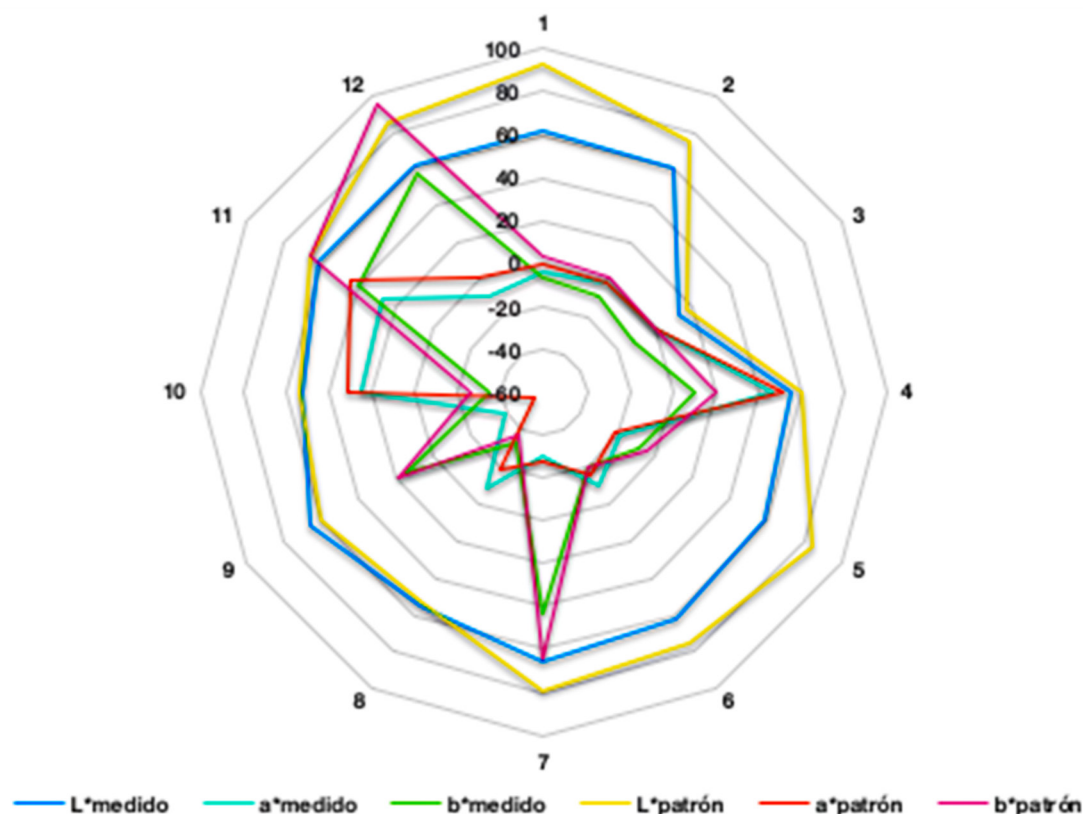


Fig. I. Desviación del registro del color en la cámara empleada frente a medidas estándar. Resultados de la medida de los patrones de color con la cámara GoPro National Geographic. Patrones de color NCS: 1. S 0500-N; 2. S 2500-N; 3. S 9000-N; 4. S 0565-R; 5. S 0530-B50G; 6. S 0540-B; 7. S 0565-G50Y; 8. S 1565-B; 9. S 1565-G; 10. S 0580-Y50R; 11. S 0580-Y50R; 12. S 0580-Y. Valores nominales  $L^*a^*b^*$  de los patrones NCS para el iluminante D65, observador 2.º y medidas realizadas con la cámara GoPro.

### Protocolos de registro y procesado

- 1.º Encendido de la cámara de vídeo y posicionamiento del “equipo de captura”.
- 2.º Disparo del flash y apagado de la cámara.
- 3.º Descarga del vídeo y procesado del mismo en los siguientes pasos:
  - a) Descomponer el vídeo en pictogramas \*.jpg y selección de los pictogramas con registro fosforescente.
  - b) Medida del tiempo total de fosforescencia
  - c) Sobre la imagen \*.jpg de máxima fosforescencia, establecer la *pauta de fosforescencia* referida a estos cuatro patrones:
    1. Homogénea
    2. Heterogénea zonada
    3. Heterogénea en parcheado
    4. Heterogénea reticulada
  - d) Usando el programa de software libre “ImageJ” medimos las coordenadas  $L^*a^*b^*$  delimitando un sector homogéneo de 30.000x20.000 píxeles calculando el valor medio y la desviación estándar. Luego, se transforman en: tono  $h = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}$  y croma  $c = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ , ya que el valor angular  $h$  es el que permite medir mejor la diferencia de longitud de onda en la emisión.

En el registro detallaremos si se produce una segunda emisión de luz pasado un tiempo después de la primera respuesta. En algún caso se ha detectado, pero para tratar mejor el “doblete” de emisión en

una misma muestra hay que ir a colocar un flash con distintas intensidades y hacer varios registros. Esto no lo hemos puesto a punto todavía en nuestro prototipo.

Con los equipos empleados, las imágenes capturadas del vídeo corresponden a intervalos de 0,1 segundos (s). En la mayoría de los casos los intervalos de emisión han sido muy cortos: entre 0,1 y 0,4 s. Consecuentemente, no se han conseguido medidas precisas del intervalo temporal de emisión. Así tal como realizamos ahora los registros, cada muestra queda caracterizada por:

- 1.º Pauta de fosforescencia
- 2.º Color de fosforescencia (primando los valores h y L\*)

### **Reproducibilidad de los registros**

Se repitieron numerosas medidas para evaluar la reproducibilidad con resultados positivos. Así, la distancia del flash a la muestra, la intensidad del flash y la distancia de la cámara de registro a la muestra, influyen en la intensidad de la emisión y en su adecuado registro. Fijando estos parámetros la reproducibilidad era buena dentro de la precisión de los instrumentos de registro.

La cámara nos ha dado problemas debido a que su velocidad de registro es muy baja y como las fosforescencias producidas son muy cortas solo hemos obtenido un tiempo de fosforescencia entre 0,1 y 0,2 s. Además, esa baja velocidad de registro da, en el 20% de los casos, registros ambiguos, pues se captura en la misma imagen el final de la iluminación del flash y el comienzo de la fosforescencia. Esto provoca una ambigüedad tanto en el tiempo como en el color de la emisión fosforescente.

Una limitación importante que se ha encontrado es la falta de conocimiento del perfil de color de la cámara de vídeo, que repercute en el registro del color de las muestras. Empleando unos patrones calibrados, de coordenadas de color  $L^*a^*b^*$  conocidas, hemos caracterizado la desviación que produce el sensor de color en la cámara respecto al color de los patrones. Se ha comprobado la fuerte dependencia que existe entre el tipo de fuente de luz utilizado en la iluminación de las muestras de color y el color registrado con la cámara. Se ha encontrado que la mejor correlación entre valores nominales y medidos se obtiene con iluminación equivalente a luz día (D65). El hecho de que se haya utilizado la misma cámara para la realización de todas las medidas experimentales elimina esta falta de exactitud en los valores obtenidos, no obstante, no pueden considerarse estos valores de  $L^*a^*b^*$  como absolutos ni comparables con medidas realizadas con otro tipo de dispositivos.

### **Metodología en la parte de petrología de materiales**

---

Se han utilizado pastillas de roca de 4x2,5x1,5 cm; en algún caso placas de 10x10x1,5 cm con la superficie rectificada con abrasivo de 60 micras (P240). No obstante, se hicieron pruebas con superficies no pulidas y pudo constatarse que la emisión fosforescente no variaba con la rugosidad superficial (véase Fig. 2).

Esta inalterabilidad de la emisión por la geometría de la superficie ha sido uno de los motivos que nos han animado a desarrollar la técnica de la fosforescencia, pues también pudo comprobarse que la



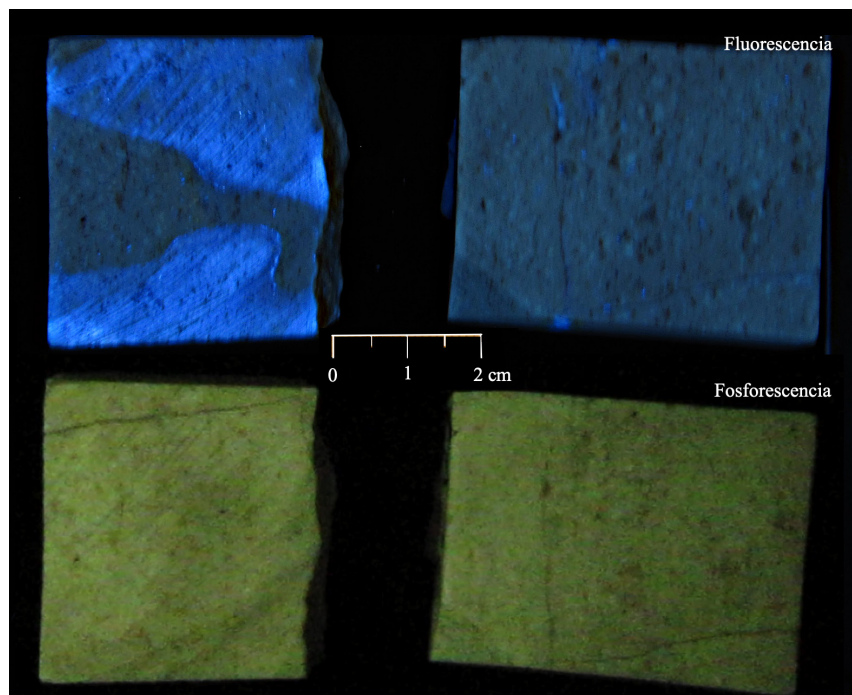


Fig. 2. Análisis comparativo de la emisión fluorescente-fosforescente. Las dos muestras superiores están iluminadas por dos lámparas de UV (una de 254 y otra de 365 nm). La imagen inferior es una captura de la respuesta fosforescente de estas dos mismas muestras tras la emisión de un disparo de flash. Son piezas de la misma roca, pero la pieza derecha está perfectamente pulimentada con abrasivo de 40 micras, mientras que la pieza izquierda solo tiene una playa central pulimentada. La imagen de fluorescencia de la pieza izquierda delimita perfectamente la zona pulimentada de la rugosa con distinto color de emisión mientras que la repuesta fosforescente no muestra esta diferencia.

fluorescencia se veía afectada por la rugosidad superficial. Sin embargo, para obtener mayor fiabilidad, las medidas se estandarizaron tal como se ha descrito.

Se han medido muestras de alabastro de 13 procedencias y 30 litotipos y mármoles de 15 procedencias y 39 litotipos (véase tabla 1), todos ellos recogidos en sus respectivas canteras de origen por los firmantes del trabajo.

No damos, todavía, unos resultados numéricos en forma de tabla para cada litotipo/cantera, porque deseamos depurar el sistema de medida y procesado de valores experimentales para que los datos publicados puedan compararse sin problemas entre diferentes investigadores.

### ALABASTROS

Localidad	Nº Litotipos
Ablitas (Navarra)	3
Autol (La Rioja)	1
Gelsa (Zaragoza)	2
Quinto de Ebro (Zaragoza)	1
Azaila (Teruel)	1
Fuentes de Jiloca (Zaragoza)	3
Sarral (Tarragona)	1
Beuda (Gerona)	1
Aleas (Guadalajara)	3
Cogolludo (Guadalajara)	2
Jadraque (Guadalajara)	3
Picassent (Valencia)	8
Volterra (Italia)	1
<b>Total</b>	<b>30</b>

### MÁRMOLES

Localidad	Nº Litotipos
Viana d'Alentejo (Portugal)	2
Trigaches (Portugal)	1
Estremoz/Sousa (Portugal)	3
Alconera (Badajoz)	3
Sierra de Carija (Badajoz)	2
Mijas (Malaga)	4
Almaden de la Plata (Sevilla)	3
Urda (Toledo)	2
N de Astorga (León)	4
Macael (Almería)	6
Portalet-Canfranc (Pirineo-Huesca)	2
St Beat-Boux Pirineo-(Francia)	4
Creta-Paros-Naxos (Grecia)	3
<b>Total</b>	<b>39</b>

Tabla I. Procedencias de los materiales estudiados.



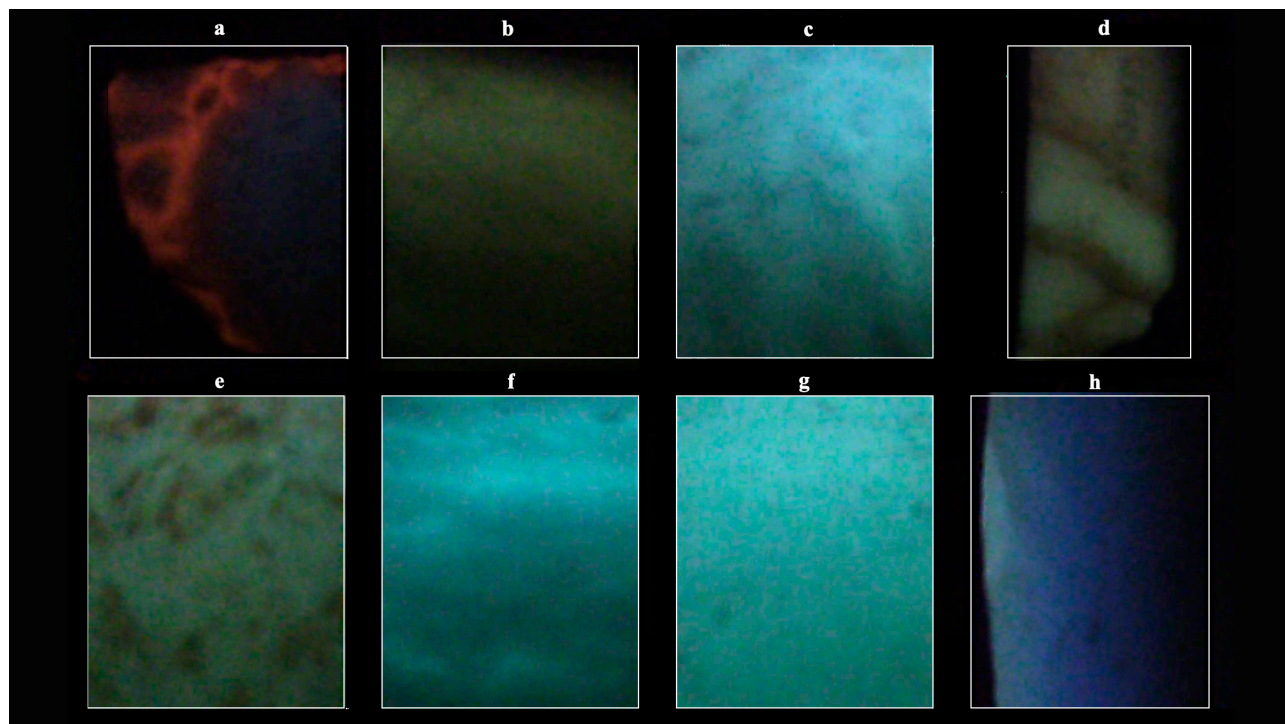


Fig. 3. Fosforescencia de alabastros de la península Ibérica.

- a.- Emisión roja reticulada con máxima intensidad en las zonas donde el alabastro incluye muchas partículas arcillosas. Alabastro de Volterra (Italia).
- b.- Emisión gris-amarillenta relativamente homogénea. Picassent (Valencia).
- c.- Emisión verde-azulada ligeramente parcheada. Alabastro de Gelsa (Zaragoza).
- d.- Emisión reticulada marrón-amarillenta. Alabastro de Cogolludo (Guadalajara).
- e.- Emisión parcheada verde-amarillenta. Alabastro de Aleas (Guadalajara).
- f.- Fosforescencia verde-azulada bandeada-reticulada. Alabastro de Azaila (Teruel).
- g.- Fosforescencia verde claro homogénea. Alabastro de Fuentes de Jalón. (Zaragoza).
- h.- Emisión bandeada Azul-verde en el alabastro de Ablitas (Navarra).

## Respuesta fosforescente en el alabastro

Los alabastros estudiados son todos de la península Ibérica y representan al 75% de las localidades que poseen yacimientos de esta roca en el entorno geográfico considerado. En la figura 3 pueden verse algunos registros de las emisiones y en la figura 4 están los resultados de los valores promedio con delimitación de las áreas que albergan valores de esa procedencia. Hay pocos solapamientos entre canteras distintas y los colores son diferentes y discriminantes.

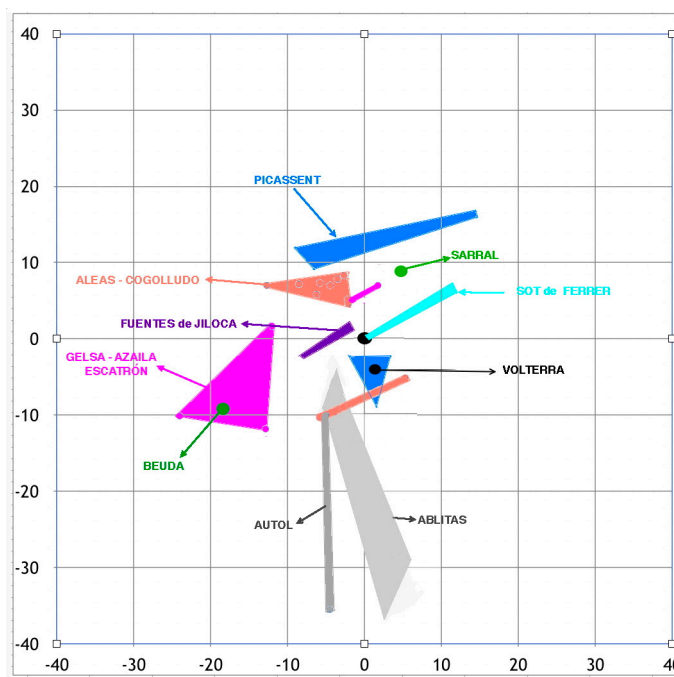


Fig. 4. Áreas donde se agrupan los valores del color de la emisión fosforescente de alabastros de distintas procedencias. El diagrama representa los valores de las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  del sistema CIE  $L^*a^*b^*$ . La región de Gelsa (dentro del Valle Medio del Ebro) posee un área doble (triángulo en el azul verdoso y rectángulo en el naranja) al presentarse bandeados con estos dos colores.

## Respuesta fosforescente en los mármoles

Los mármoles estudiados son, esencialmente, de la península Ibérica; tres mármoles son de islas griegas. En la figura 5 se observan algunos de los registros y en la figura 6 están representados los resultados de los valores promedio con delimitación de las áreas que albergan valores de esa procedencia. La agrupación en una recta con geometría del radio del sólido de color indica un mismo matiz de color ( $h = 42^\circ$ ) con distintas intensidades y grados de mezcla con el gris.

Los situados en la parte más próxima al eje son aquellos con emisiones muy bajas que, obviamente, dan un registro gris oscuro de baja luminosidad, pero en el que –tal como se ve en su registro  $L^*a^*b^*$ – existe un tono naranja. En este caso, tenemos a todos los de Urda, Islas Griegas, Trigaches y algunos casos individuales de Macael, Pirineo, Viana d’Alentejo y Málaga.

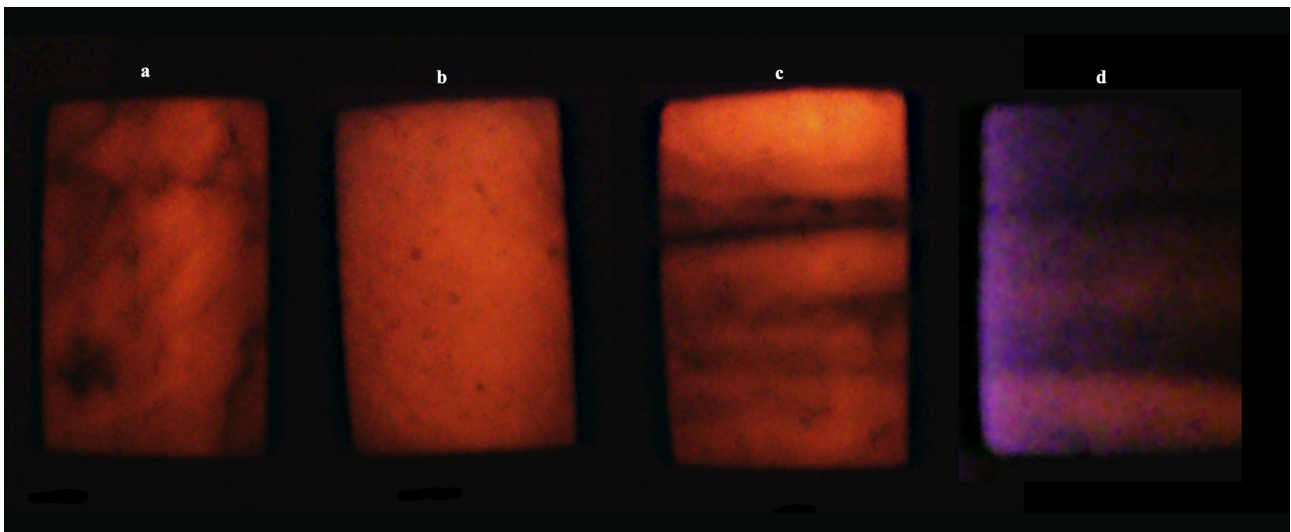


Fig.5. Fosforescencia de mármoles de la península Ibérica.

a.-Canfranc (Huesca-Aragón).  
b.-Portalet (Sallent de Gállego, Huesca, Aragón).  
c.-Sain Beat (Pirineo Francés).  
d.-Anasol (Macael, Almería). Este es el único ejemplar cuya fosforescencia no es amarillo naranja; aun así, nótese que existe alguna banda de este color.

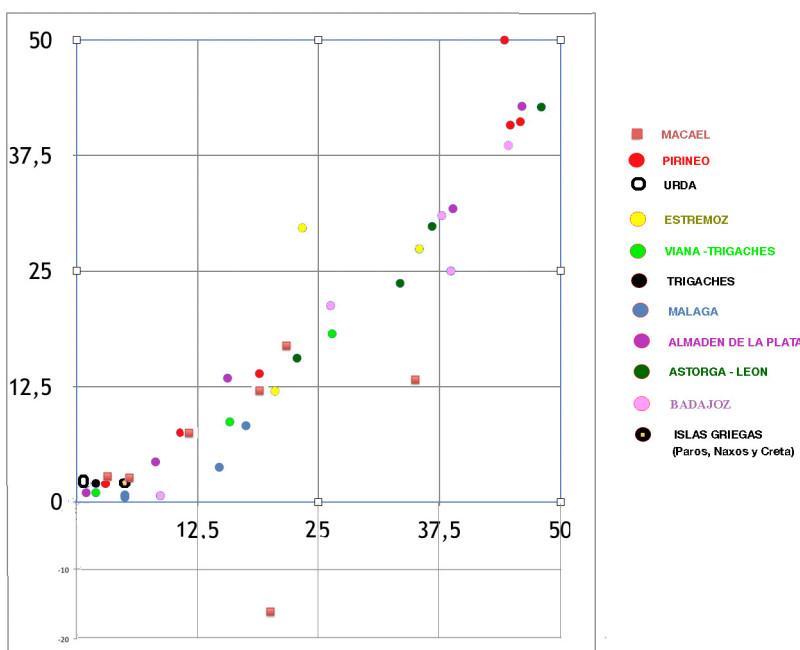


Fig.6. Áreas donde se agrupan los valores del color de la emisión fosforescente de alabastros de distintas procedencias. El diagrama representa los valores de las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  del sistema  $CIEL^*a^*b^*$ . Como se puede apreciar, el 90% de todos los especímenes emiten en el mismo matiz del amarillo-naranja ( $h=42^\circ$ ) diferenciándose sólo por su intensidad. Solo hay uno (Anasol de Macael) que emite tonos azulados y otros tres litotipos que emiten en un amarillo naranja de diferente matiz.

## Discusión

En cuanto al equipo, parece necesario dotarlo de un espectrorradiómetro que permita medir la longitud de onda de forma más exacta y evitar las desviaciones de medida del color que hemos descrito en la metodología. No obstante, conviene mantener una cámara de vídeo con alta velocidad para obtener tanto la pauta fosforescente (homogénea, bandeada...etc.) como una medida más precisa del tiempo de emisión fosforescente. También sería interesante colocar un flash con posibilidad de regular la intensidad lumínica para obtener registros con varios niveles de excitación. El objetivo sería obtener un registro en cada roca a tres niveles de excitación y que comprenda para cada nivel:

- a) Longitud de onda de la emisión
- b) Intensidad de emisión
- c) Tiempo de emisión
- d) Pauta fosforescente

En cuanto a las rocas, vale la pena discutir sobre las diferencias encontradas entre mármoles y alabastros, ya que es probable que ese comportamiento diferencial tenga que ver con la causa de la fosforescencia.

En minerales, las causas de la luminiscencia son<sup>7</sup>:

1. Luminiscencia de los iones aditivos que sustituyen a los iones estructurales en la red cristalina.
2. Activación de la luminiscencia en los iones aditivos por otros iones también ajenos a la estructura mineral original.
3. Luminiscencia por defectos cristalinos por “huecos o vacantes” de los iones principales en la red cristalina.

Estos tres tipos se agrupan en la llamada *luminiscencia intrínseca* y el espectro de emisión consiste en una banda ancha; la forma del espectro no cambia cuando cambia la longitud de onda de excitación.

4. Luminiscencia de moléculas, iones o radicales adsorbidos dentro de la red.
5. Luminiscencia de inclusiones de otros minerales.

Estos dos tipos corresponden a la *luminiscencia de impurezas* que frecuentemente son RE o iones de metales pesados. Los espectros de emisión de los centros RE<sup>3+</sup> (excepto para Ce<sup>3+</sup>) consisten en bandas estrechas características y bandas de emisión debidas a algunos iones RE, por ejemplo, Ce<sup>3+</sup>, Eu<sup>2+</sup> e Yb<sup>2+</sup>; e iones de metales pesados, por ejemplo, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> y Pb<sup>2+</sup>, que se aproximan a las curvas de Gauss cuando los espectros de emisión se dibujan contra una escala de energía de fotones.

6. Luminiscencia de líquidos o inclusiones de gases. Habitualmente son líquidos/gases orgánicos los responsables de esta luminiscencia.

Hay muy buenos registros de la fluorescencia y la fosforescencia de los minerales más importantes, pero esta información es mucho más escasa en rocas. Una de las excepciones, al ser una roca, es el caso de los espeleotemas: la proliferación de estudios ha crecido con la esperanza de encontrar

<sup>7</sup> Shopov, 2004. Taga / Kono / Yamashita, 2011.

criterios de correlación en las láminas. En este caso<sup>8</sup>, parte de los casos luminiscentes se atribuyen a sustancias orgánicas incluidas. En la calcita, se cita al Mn como el principal activador de una fosforescencia que tiene un color amarillo-naranja –620 nm<sup>9</sup>. Parece evidente que este es el activador presente en la mayoría de los mármoles hispanos.

A la hora de evaluar la técnica para identificar la procedencia de mármoles, digamos que, dada la gran homogeneidad en el color de emisión (620 nm), sólo podría ser relevante en la discriminación de procedencia el parámetro de la intensidad de emisión. No obstante, también hemos constatado variaciones muy grandes de intensidad en muestras de la misma procedencia (Badajoz, Pirineo, Estremoz) o bien una gran constancia en las mismas (Urda, enrocado en emisividades muy bajas o nulas). En todo caso, a la vista de estos datos, la fluorescencia se presenta como una técnica secundaria en la caracterización y procedencia de los mármoles.

Un panorama distinto es el del alabastro. En el caso del yeso<sup>10</sup>, se cita como luminiscencia más frecuente el amarillo claro (365 nm) o el azul claro (254 nm). Otras referencias dan una fosforescencia entre 435 y 460 nm<sup>11</sup> o encuentra emisividades que oscilan entre los 300 y 700 nm<sup>12</sup> en yesos de distintas partes del mundo; también<sup>13</sup> atribuye emisividades de 410 a 600 nm al yeso y caracteriza muchas otras emisiones asociadas a materia orgánica de comunidades bacterianas asociadas al yeso. Los activadores más comunes son las “impurezas orgánicas”<sup>14</sup> o el ión uranilo<sup>15</sup> aunque también se citan las tierras raras<sup>16</sup>. No hemos encontrado ninguna referencia relativa a rocas constituidas por yeso.

En el caso de nuestros alabastros, sea cual fuere el activador, parece evidente que se presenta en tipo y cantidad diferente según la región de procedencia. Tanto esté activada por materia orgánica como por tierras raras, es evidente que estos componentes tendrán un origen local y serán característicos de un origen geográfico concreto. Así pues, es prometedor profundizar en este camino, dada la buena discriminación de procedencia que puede realizarse.

### **Ejemplo de aplicación del método: El caso del *Oratorio de San Jerónimo penitente***

Esta obra excepcional (véase fig. 7), incorporada en fecha reciente a los fondos del Museo del Prado, es una de las pocas conservadas de este tipo de devoción privada, si bien fueron frecuentes en el siglo XVI, como se deduce de la documentación escrita. Del escultor Damián Forment

8 Shopov, 2004.

9 Barmarin, 2009-2010.

10 Barmarin, 2009-2010.

11 Vochten / Stoops, 2004: 79-83).

12 Taga / Kono / Yamashita, 2011: 169-174.

13 Emmermann, 2010.

14 Taga / Kono / Yamashita, 2011: 169-174. Rhind / Ronholm / Berg / Mann / Applin / Stromberg / Sharma / Whyte / Cloutis, 2014: 1-12.

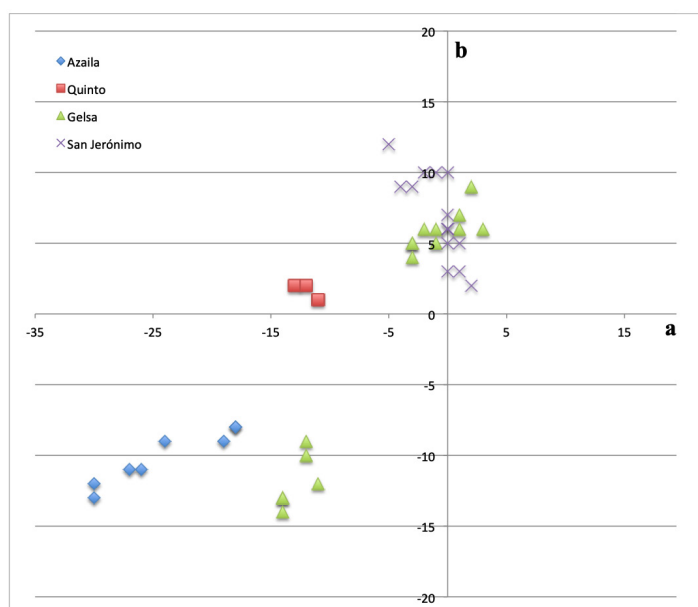
15 Barmarin, 2009-2010.

16 Emmermann, 2010.





Fig. 7. Oratorio de San Jerónimo penitente (relieve en alabastro policromado: 34,2 x 44,5 cm, Damián Forment, c. 1520. Museo Nacional del Prado).



Cabot (c.1475-1540) nos han llegado pocos ejemplares de relieves realizados en alabastro para oratorios portátiles y con una intervención personal del maestro en su ejecución, de ahí la buena calidad que tienen. La importancia concedida a estas obras de Forment lo atestiguan: su protección en una estructura de madera, dejarlas en herencia o donarlas a edificios religiosos y el hecho de que todavía se valoraran bastantes años después, incluso poniendo el nombre del propietario. La placa del oratorio del Museo del Prado se puede fechar hacia 1520 y se protegió hacia 1560 con una arquitectura “al romano” y unas puertecillas con pinturas de otro destacado artista valenciano, Juan de Juanes (c.1505-1579), en cuyo exterior se representó a san José con el Niño y a san Lucas, y en el interior a san Vicente Ferrer y a san Pedro Mártir<sup>17</sup>. Entonces se debió escribir el nombre del propietario –Adrián López del Castillo–, que aparece detrás de la pieza.

El equipo de restauración del Museo del Prado extrajo una micromuestra con la que se realizó una preparación microscópica. También se midió la fosforescencia tanto en la pieza como en la micromuestra. La petrografía resultó ser característica del tramo medio del Valle del Ebro (Zaragoza-Gelsa-Sástago-Escatrón-Azaila) sin que pudiera apreciarse un lugar concreto dentro de

Fig. 8. Representación de los registros de fosforescencia del oratorio junto a los del Valle Medio del Ebro.

17 La Dra. Leticia Ruiz Gómez y la Dra. Carmen Morte García van a publicar el estudio histórico-artístico de este *Oratorio de San Jerónimo penitente*.

esta región. La translucidez del material también era consistente con este origen. Los registros fosforescentes pueden consultarse en la figura 8. Se solapan sin ninguna duda con los del Valle Medio del Ebro pero, además, el alabastro del oratorio presentan un bandeado amarillo naranja característico de la región de Gelsa, lugar donde ubicamos la procedencia del material.

## Conclusiones

---

Se ha construido un equipo para medir fosforescencia en rocas de uso estatuario pensado para registrar valores en piezas de alto valor artístico sin causar ninguna alteración al bien. Del uso realizado se han obtenido criterios para mejorar el prototipo y ejecutar un diseño que se pueda considerar optimizado y definitivo. Las medidas en 39 litotipos de mármoles de la península Ibérica indican un patrón de emisión muy constante próximo a los 620 nm (naranja) con variaciones importantes de intensidad. Este agrupamiento de respuestas semejantes en canteras muy alejadas geográficamente indica que la fosforescencia es un parámetro secundario o de escaso valor a la hora de establecer la procedencia geográfica en los mármoles. Las medidas en 30 litotipos de alabastros de la península Ibérica arrojan un resultado en colores de emisión muy variados (amarillos, azules, verdosos, marrones), con pautas también variadas (homogéneas, bandeadas, parcheadas y reticuladas). Estas respuestas son características de las distintas regiones geográficas con escaso o nulo solapamiento de registro de diferentes canteras. Estos resultados son muy prometedores y apoyan el interés de establecer un método de procedencia del material basado en la emisión luminiscente.

La aplicación del método, en el caso del *Oratorio de San Jerónimo penitente* ha resultado consistente con los datos petrográficos y ha permitido incluso mayor precisión geográfica.

## Notas bibliográficas

---

Barmarin, G. (2009-2010): «Online Database of Luminescent minerals». En: <<http://www.fluomin.org/uk/accueil.php>> [Consultado 20/10/2016].

Bruce, L.F. / Kopylova, M.G. / Longo, M. / Ryder, J. / Dobrzhinetskaya, L.F.(2011): «Luminescence of diamonds from metamorphic rocks». En: *Am. Mineral*, vol. 96, pp.14-22.

Eaton-Magaña, S./Breeding C.M. (2016): «An introduction to Photoluminescence Spectroscopy for Diamond and its Applications in Gemology». En: *Gems & Gemology*, vol. 52,n.º1, pp. 2-17.

Emmermann, A.(2010): «The fluorescence of Gypsum, Betekom, Flemish-Brabant». En: <[https://www.academia.edu/15228771/The\\_fluorescence\\_of\\_Gypsum\\_Betekom\\_Flemish-Brabant\\_Belgium](https://www.academia.edu/15228771/The_fluorescence_of_Gypsum_Betekom_Flemish-Brabant_Belgium)> [Consultado 20/10/2016].

Fritsch, E. / Megaw, P. K. / Spano, T. L. / Chauviré, B. / Rondeau, B. / Gray, M. / Hainschwang, T. / Renfro, N. (2015): «Green-luminescing hyalite opal from Zacatecas, Mexico». En: *Journal of Gemology*, vol. 34, issue 6, pp. 490-508.

Gaft, M. / Nagli, L. / Panzer, G. / Waychunas G / Porat, N. (2008): «The nature of unusual luminescence in natural calcite CaCO<sub>3</sub>». En: *Am. Mineral*, vol. 93, pp. 158-167.

Liu, Y. / Shi, G. / Wang, S. (2014): «Color phenomena of blue amber». En: *Gems & Gemology*, vol. 50, n.º 2, pp. 134-140.

Pandit, P. / Kumar, S. / Mohapatra, M. / Bangotra, P. / Mehra, R. / Singh, A.K. (2019): «Structural, photoluminescence and dielectric investigations of phosphatic shale». En: *Luminescence: The Journal of Biological and Chemical Luminescence*, vol. 34, issue 2, pp. 212-221.

Rhind, T. / Ronholm, J. / Berg, B. / Mann, P. / Applin, D. / Stromberg, J. / Sharma, R.L. / Whyte, G. / Cloutis, E.A. (2014): «Gypsum-hosted endolithic communities of the Lake St. Martin impact structure, Manitoba, Canada: Spectroscopic detectability and implications». En: *International Journal of Astrobiology*, vol. 13 (4), pp. 1-12. DOI: 10.1017/S1473550414000378.

Sinh, V.B.T. / Osanai, Y. / Lenz, C. / Nakano, N. / Adachi, T. / Belousova, E. / Kitano, I. (2019): «Gem-Quality ZirconMegacrysts from Placer Deposits in the Central Highlands, Vietnam—Potential Source and Links to Cenozoic Alkali Basalts». En: *Minerals*, vol.9, n.º 89, pp. 1-18.

Shopov, Y.Y. (2004): «Activators of Luminescence in speleothems as source of major mistakes in interpretation of luminescence paleoclimatic records». En: *Int. J. Speleol.*, vol. 33 (1/4), pp. 25-33.

Stokes, G.G. (1852): «On the change of refrangibility of light». En: *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, vol. 142, pp. 463-562.

Taga, M. / Kono, T. / N. Yamashita, N. (2011): «Photoluminescence properties of gypsum». En: *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, vol. 106 (3), pp. 169-174.

Valeur, B. / Berberan-Santos, M.N. (2011): «A brief history of fluorescence and phosphorescence before the emergence of quantum theory». En: *J. Chem. Educ.*, vol.88, pp. 731-738.

Vochten, F.C. / Stoops, G. (2004): «Gypsum crystals in Rupelian clay of Betekom (Prov. Antwerpen, Belgium)». En: *Annales de la Société Géologique de Belgique*, T. 101-1978, pp. 79-83.





## **CAPÍTULO V. IDENTIFICACIÓN DE PROCEDENCIA DE PIEZAS ARTÍSTICAS REALIZADAS EN ALABASTRO**

Conocer la procedencia del material con el que está realizada una obra de arte puede aportar valiosa información sobre la historia que ha vivido esa pieza. En función de su procedencia es posible que fuera realizada por un autor u otro, o que fuera un encargo importante en que se invirtió el capital suficiente para traer el material de canteras lejanas al lugar de destino. En otros casos también refleja el gusto de un momento histórico concreto, en función del mayor o menor uso de una roca concreta, o las canteras en explotación que había en cada momento.

Al igual que la trazabilidad del alabastro, conocer las rutas comerciales y hasta donde era exportado, o si por el contrario su uso era más local, esto también es un reflejo de las vías de comunicación de la época y la facilidad para su transporte, lo cual también está reflejado en su distribución geográfica. De modo que son variadas las informaciones que se pueden extraer conociendo de donde procede el material con el que está realizada una obra de arte.

### **5.1. Criterios de identificación**

#### ***5.1.1. Introducción***

Al abordar el estudio de una pieza artística es necesario comprender que se está trabajando un material que a pesar de ser pétreo es delicado, y que debe de ser tratado con el máximo cuidado y respeto. Estos estudios suelen formar parte de informes histórico – artísticos que se realizan para las obras de arte. En los cuales se hace énfasis en la autoría de la pieza, su momento de ejecución, la iconografía que refleja, al igual que la calidad en la ejecución de la misma. También las condiciones en las que se encuentra en el momento actual, las ubicaciones que ha podido tener en el pasado hasta llegar al momento actual.

Conocer la historia de la pieza, puede ayudar a comprender su estado actual. Saber el tipo de material con el que está realizada, ayuda a preservar su integridad física e identificar posible factores dañinos que están afectando o han afectado a la pieza. El caso concreto del alabastro, al ser una roca bastante delicada que se alteraba cuando está expuesta a la intemperie. Las precipitaciones provocan la disolución del material con la consiguiente pérdida de volumen y la exposición directa a la luz solar provoca la “calcinación” o recristalización del alabastro, alterando su color original y su cohesión, que puede desembocar nuevamente en pérdida de material. El alabastro en el interior de un edificio, también puede verse afectado por las humedades presentes en él, como ocurre en numerosas iglesias o criptas, en las que el yeso también muestra evidencias de cristalización de sales o disolución debidas a las humedades.

### **5.1.2. Protocolos para el estudio de piezas artísticas**

Los procedimientos para estudiar las obras de arte, y obtener la información suficiente para obtener información sobre el material que la conforma, requiere preparación previa, seguir un protocolo de actuación cuando se realiza en estudio *in situ* de la misma, y un trabajo de gabinete, en que se revisan los datos tomados *in situ*, las imágenes y si ha sido posible la muestra obtenida de la pieza.

#### **5.1.2.1. Preparación previa**

Previo al trabajo de campo viendo las piezas artísticas, esta la ardua labor de los historiadores del arte del equipo de investigación, que con su investigación en diferentes archivos elaboran un inventario con la obras de arte realizadas en alabastro que se encuentran distribuidas por todo Aragón, también están recogidas piezas que se encuentran en otras provincias e incluso países pero por motivos de presupuesto y distancia el estudio se ha centrado en las obras presentes en Aragón.

Partiendo del inventario, se decide las localidades que se van a visitar en cada jornada de campo, y se seleccionan todas las piezas artísticas presentes en esos emplazamientos. Para cada una de ellas se prepara una ficha en la que recogen los aspectos más importantes, para poder rellenarlos mientras se estudia la pieza.

Estas campañas de campo requieren planificación de semanas, porque es necesario contactar con los responsables de las parroquias, museos, etc. Para que den el consentimiento para acceder y acercarse a las obras de arte.

#### **5.1.2.2. Estudio *in situ***

Una vez que se ha accedido al lugar donde se emplaza la pieza que se va a estudiar, lo primero que se realiza es un reconocimiento preliminar de la misma. Observar las condiciones en las que se encuentra, si ha sufrido alguna alteración de su configuración inicial, conocer si tiene policromía o tenía policromía.

Posteriormente, se procede a un estudio más detallado sobre el color del material, es importante saber si el color que observamos es el original o si ha sufrido alguna modificación por la aplicación de barnices, policromía o restauraciones (aplicación de productos conservantes o de limpieza) o distintas suciedades (ceras, humo de velas etc...). Tomar medidas de las dimensiones de la pieza, tanto del conjunto total cuando sea proyecto artístico de mayor envergadura, como del tamaño de los bloques que lo componen. Identificar si se observan estructuras internas como nódulos, discontinuidades, traslucidez etc.

En los casos en los que se pueda, se extrae una muestra de la pieza con dimensiones de 1x1x0.5 cm, siempre con el consentimiento de los responsables del lugar donde se ubica la obra de arte y en un lugar en que no se vea afectada su integridad física ni su aspecto,

esto suele ser en la parte trasera o inferior si no está tallada, o aprovechando zonas fracturadas previamente. Sobre la muestra o sobre la pieza se mide la fosforescencia, algunas sustancias orgánicas aplicadas a posteriori pueden interferir en esta técnica, siendo preferible pues hacer la determinación sobre la muestra si se sospecha que la pieza ha sufrido aplicación superficial de algún producto.

Todo este proceso es documentado gráficamente, mediante fotos de situación y de detalle, y por escrito anotando las características más importantes de la pieza, tanto desde el punto de vista histórico – artístico como geológico.

### **5.1.2.3. Trabajo de gabinete**

Esta fase engloba el procesado de los datos recopilados durante el trabajo de campo, pasar datos a las fichas de cada pieza, ordenar las fotos y revisarlas en busca de detalles que se hayan podido pasar por alto, para unificar los datos en un mismo documento.

Cuando ha sido posible tomar muestra de la pieza, sobre esta muestra se realizan estudios con microscopio petrográfico y análisis de geoquímica de las concentraciones de Sr y Ba. Los resultados obtenidos se engloban en la ficha de la pieza, para conocer la procedencia del material junto con las observaciones *de visu* que realizaron directamente sobre la pieza.

### **5.1.3. Estudio de procedencia**

Al enfrentarnos a la identificación de procedencia del material con el que está realizada una pieza artística hay que valorar la variedad de alabastro o yeso de calidad estatuaria con el que estamos trabajando y las técnicas que son más relevantes para conocer el origen de esa pieza concreta. Ya que en algunos casos unas técnicas nos pueden aportar más información que otras, y es importante conocer cuáles son estas técnicas y que resultados se van a obtener. Por este motivo es enriquecedor aplicar diferentes técnicas en los estudios sobre identificación de procedencia de materiales, en este caso concreto alabastro y yesos de calidad estatuaria.

Las características propias de cada cantera y variedad son descritas a continuación, como en los capítulos anteriores para realizar las descripciones vamos a seguir el orden de las áreas geológicas descritas en **capítulo III. Situación geológica**. Empezando por la cuenca del Ebro, la cual dividimos en tres sectores Valle del Ebro, Occidental, Central y Oriental. Seguido por la Cuenca de Calatayud, la Depresión Costera Valenciana y la Cuenca de Madrid.

#### **5.1.3.1. Valle del Ebro. Sector Occidental**

En este caso las litofacies se han establecido según las localidades en las que se han tomado muestras, las muestras tomadas no proceden de canteras actualmente en explotación y solo las de Borja y Monteagudo se han podido tomar directamente de

canteras históricas. En el caso de Autol y Ablitas se han tomado directamente del afloramiento siguiendo los niveles que contenían nódulos de yeso alabastrino susceptibles de haber sido utilizados en trabajos escultóricos.

#### *5.1.3.1.1. Autol*

Son alabastros de color blanco con presencia de nódulos de 1 a 3 cm que se agrupan formando bandas, su grado de translucidez es media, en ocasiones tiene venas de arcillas marrones. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U., destacar los cristales idiomorfos de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina idiomorfa o en gavilla con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (995.88, 2799.11) y (0,7.03). Su fosforescencia es una emisión bandeada Azul-verde.

#### *5.1.3.1.2. Ablitas*

Son alabastros de color blanco sin presencia de estructuras internas, su grado de translucidez es alto, en ocasiones se aprecian estilolitos. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina, destacar los cristales esqueléticos de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelética con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (1395.84, 1644.84) y (0, 1.19). Su fosforescencia es una emisión bandeada Azul-verde.

#### *5.1.3.1.3. Monteagudo*

Yeso de calidad estatuaria de color marrón con bandeados por diferencias de color, su grado de translucidez es nulo. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico cristalino en el que dominan los cristales de yeso lenticular. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso primario con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (3639.21, 3735.99) y (12.61, 12.86).

#### *5.1.3.1.4. Borja*

Yeso de calidad estatuaria de color marrón con nódulos circulares de color blanco, su grado de translucidez es nulo. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico cristalino en el que dominan los cristales de yeso lenticular. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso primario con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (3639.21, 5931.01) y (12.61, 14.58).

### **5.1.3.2. Valle del Ebro. Sector Central o Valle Medio del Ebro**

Las litofacies reciben el nombre de las localidades en las que se han tomado muestras, que proceden de canteras actualmente en explotación, es el caso de Fuentes de Ebro, Gelsa y Velilla, y solo las de Escatrón, se han tomado de una cantera histórica. En los casos de Alcubierre, Leciñena y Rueda de Jalón las muestras proceden directamente del afloramiento, buscando los niveles que contenían nódulos de yeso alabastrino susceptibles de haber sido utilizados en trabajos escultóricos.

#### *5.1.3.2.1. Fuentes de Ebro*

Son alabastros de color blanco con presencia de nódulos de 10 a 15 cm distribuidos de forma aleatoria, su grado de translucidez es media, en ocasiones tiene venas de arcillas grises. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U., destacar los cristales esqueléticos de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelética con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (431.84, 3042.54) y (0, 37.25). Su fosforescencia es una emisión verde-azulada ligeramente parcheada.

#### *5.1.3.2.2. Gelsa*

Son alabastros de color blanco con presencia de nódulos de 2 a 5 cm distribuidos en forma de bandas paralelas entre sí, su grado de translucidez es alto, en ocasiones tiene venas de arcillas marrones. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U., destacar los cristales esqueléticos de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelética con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (431.84, 3042.54) y (0, 37.25). Su fosforescencia es una emisión verde-azulada ligeramente parcheada.

#### *5.1.3.2.3. Escatrón – Velilla*

Son alabastros de color blanco con presencia de nódulos circulares de 0.5 a 2 cm distribuidos de forma aleatoria, su grado de translucidez es alto, en ocasiones tiene venas de arcillas marrones. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo C.E.N.U y microcristalina, destacar los cristales esqueléticos de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelética con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (431.84, 3042.54) y (0, 37.25). Su fosforescencia es una emisión bandeada Azul-verde.

#### *5.1.3.2.4. Alcubierre*

Son alabastros de color blanco rosado con presencia de 0.5 a 2 cm distribuidos de forma aleatoria, su grado de translucidez es bajo, tiene abundantes venas de arcillas negras. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U, destacar los cristales esqueletales de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esqueletal con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (866.69, 1859.10) y (0, 20.84).

#### *5.1.3.2.5. Leciñena*

Son alabastros de color blanco con presencia de nódulos de 1 a 3 cm distribuidos de forma aleatoria, su grado de translucidez es media, se aprecian venas de arcillas de color gris. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U, destacar los cristales esqueletales de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esqueletal con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (866.69, 1859.10) y (0, 20.84).

#### *5.1.3.2.6. Rueda de Jalón*

Son alabastros de color blanco con presencia de nódulos de 1 a 3 cm distribuidos de forma aleatoria, su grado de translucidez es medio, se aprecian venas de arcillas de color marrón. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U, destacar los cristales esqueletales de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esqueletal con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (866.69, 1859.10) y (0, 20.84).

### **5.1.3.3. Valle del Ebro. Sector Occidental**

Las muestras tomadas para definir las litofacies proceden tanto de canteras activas, como es el caso de las muestras tomadas en las cercanías de Sarral y Beuda. Como directamente del afloramiento, tomando muestras en corte fresco de las localidades de Odena y Tona.

#### *5.1.3.3.1. Sarral 1*

Son alabastros de color blanco con presencia de nódulos de 10 a 15 cm distribuidos de forma aleatoria, su grado de translucidez es medio, en ocasiones tiene venas de arcillas marrones. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U., destacar los cristales subidiomorfos de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina

subidiomorfa con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (861.6, 5804.78) y (5804.78, 13.36).

#### *5.1.3.3.2. Sarral 2*

Son alabastros de color blanco con presencia de nódulos de 10 a 15 cm distribuidos de forma aleatoria, su grado de translucidez es medio, en ocasiones tiene venas de arcillas marrones. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo C.E.N.U. y microcristalina, destacar los cristales subidiomorfos de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina subidiomorfa con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (861.6, 5804.78) y (13.36, 57, 37).

#### *5.1.3.3.3. Odena*

Son alabastros de color blanco con presencia de estructuras nodulares de tamaño entre 1 a 3 cm, su grado de translucidez es bajo, presenta un elevado porcentaje venas de arcillas marrones. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y subidiomorfa, destacar los cristales subidiomorfos de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina subidiomorfa con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (791.58, 2362.79) y (3.53, 8.61).

#### *5.1.3.3.4. Tona*

Son alabastros de color blanco con presencia de estructuras nodulares de tamaño entre 3 a 5 cm, su grado de translucidez es bajo, presenta un elevado porcentaje venas de arcillas negras. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U., destacar los cristales subidiomorfos de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina subidiomorfa con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (199.92, 3539.09) y (0.50, 1.52).

### *5.1.3.4. Sector pirenaico catalán*

#### *5.1.3.4.1. Beuda*

Son alabastros de color blanco con presencia de bandeados con bandas de color amarillo/marrón claro paralelas entre sí, su grado de translucidez es bajo, en ocasiones tiene venas de arcillas marrones. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U., destacar los cristales subidiomorfos de celestina. En geoquímica esta dentro



del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina subidiomorfa con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (942.38, 2708.3) y (6.93, 13.94). Su fosforescencia es una emisión bandeada Azul-verde.

#### **5.1.3.5. Cuenca de Calatayud**

La localidad próxima a las canteras de donde se extraen las muestras es Fuentes de Jiloca, donde en la actualidad hay una empresa extrayendo material, la cual nos facilitó muestras de las variedades que aparecen en la zona. También se tomaron muestras de canteras históricas, actualmente en desuso que eran en galería. Por último, se obtuvieron muestras de las proximidades de Calatayud, en este caso directamente de los afloramientos.

##### *5.1.3.5.1. Blanca*

Son alabastros de color blanco sin presencia de estructuras internas salvo estilolitos planares, su grado de translucidez es alto, sin venas de arcillas. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U., destacar los cristales esqueléticos de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino y C.E.N.U. y celestina esquelética con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (441.93, 1178.09) y (0, 17). Su fosforescencia es una emisión verde claro homogénea.

##### *5.1.3.5.2. Champán*

Son alabastros de color amarillo o crema con nódulos circulares de 1 a 3 cm distribuidos de forma homogénea, su grado de translucidez es alto, sin venas de arcillas. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo C.E.N.U., destacar los cristales esqueléticos de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino y C.E.N.U. y celestina esquelética con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (441.93, 1178.09) y (0, 17).

##### *5.1.3.5.3. Tabaco*

Son alabastros de color marrón con nódulos romboidales de 1 a 3 cm dispuestos en bandas paralelas entre sí, su grado de translucidez es bajo, sin venas de arcillas. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U., destacar los cristales esqueléticos de celestina y la presencia de carbonatos. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino y C.E.N.U. y celestina esquelética con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (441.93, 1178.09) y (0, 17).

#### *5.1.3.5.4. Calatayud*

Son alabastros de color blanco sin presencia estructuras internas salvo estilolitos planares, su grado de translucidez es alto, sin venas de arcillas. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U., destacar los cristales esqueléticos de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino y C.E.N.U. y celestina esquelética con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (441.93, 1178.09) y (0, 17). Su fosforescencia es una emisión verde claro homogénea.

#### **5.1.3.6. Depresión costera valenciana**

Las muestras se tomaron en dos localidades diferentes Sot de Ferrer y Picassent, en ambos casos directamente de los afloramientos, aunque en las inmediaciones de canteras históricas actualmente inactivas.

##### *5.1.3.6.1. Sot de Ferrer*

Son alabastros de color blanco bandeados de color rojizo, su grado de translucidez es bajo, sin venas de arcillas. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U., destacar los cristales esqueléticos de celestina, la presencia de carbonatos. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (3480,35, 3585,29) y (29,64, 51,32).

##### *5.1.3.6.2. Picassent 1*

Son alabastros de color blanco nódulos de 1 a 3 cm distribuidos de forma homogénea, su grado de translucidez es alto, c venas de arcillas. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U., destacar los cristales esqueléticos de celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino y C.E.N.U. y celestina esquelética con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (514.42, 1136.45) y (0). Su fosforescencia es una emisión gris-amarillenta relativamente homogénea.

##### *5.1.3.6.3. Picassent 2*

Yeso de calidad estatuaria de color marrón masivo, su grado de translucidez es nulo. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico cristalino en el que dominan los cristales de yeso lenticular. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies que presenta yeso primario con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (2846.39) y (9.37).

### **5.1.3.7. Cuenca de Madrid**

Las muestras obtenidas en la provincia de Guadalajara, proceden tanto de canteras activas, inactivas, históricas y afloramientos. En las proximidades de la localidad de Jadraque tomamos muestras de una cantera inactiva, procurando que las muestras procedieran de corte fresco, en el caso de Cogolludo sólo pudimos coger muestras de los afloramientos y de canteras históricas que posiblemente dataran de principios del siglo XX, y finalmente próximo al municipio de Aleas está actualmente en explotación una cantera de yeso, de donde obtuvimos las muestras.

#### *5.1.3.7.1. Cogolludo*

Son alabastos de color blanco nódulos de 1 a 3 cm distribuidos formando bandeados paralelos entre sí, su grado de translucidez es medio, sin venas de arcillas. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U. con contactos suturados, destacar los cristales en forma de gavilla de la celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies de yeso alabastrino microcristalino y C.E.N.U. con celestina idiomorfa o en forma de gavilla con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (829.64, 4232.66) y (0, 33.35). Su fosforescencia es una emisión reticulada marrón-amarillenta.

#### *5.1.3.7.2. Aleas*

Son alabastos de color blanco nódulos de 0.5 a 1 cm distribuidos de forma homogénea, su grado de translucidez es medio. Su descripción petrográfica se caracteriza por un mosaico alabastrino en el que domina la textura alabastrina de tipo microcristalina y C.E.N.U. con contactos suturados, destacar los cristales en forma de gavilla de la celestina. En geoquímica esta dentro del dominio de las facies de yeso alabastrino microcristalino y C.E.N.U. con celestina idiomorfa o en forma de gavilla con valores mínimos y máximos de Sr y Ba (829.64, 4232.66) y (0, 33.35). Su fosforescencia es una emisión parcheada verde-amarillenta.

### **5.1.3.2. Características relevantes de cada material y cada técnica**

Como hemos podido ver en los capítulos anteriores sobre la aplicación y los resultados obtenidos con cada una de las diferentes técnicas, según el tipo de alabastro o yeso de calidad estatuaria que estudiemos hay unas técnicas que ofrecen mejores resultado de otras.

Aunque de modo general podemos diferenciar que las técnicas más relevantes, más información nos aportan son las técnicas de reconocimiento macroscópico a la que le otorgamos en 30% del total en el proceso de evaluación de la procedencia. Y la descripción petrográfica que representa un 40% del análisis realizado. La técnica restante, geoquímica correspondería el 10% restante al igual que la fosforescencia 10%. La combinación de las distintas técnicas analíticas no da una fiabilidad de un 90%

sobre la procedencia de una pieza cuando los resultados de las diferentes metodologías coinciden. Dejamos un 10% de incertidumbre siempre, dado nuestro desconocimiento sobre otras las características de otros yacimientos europeos y del resto del mundo.

A modo de resumen se ha elaborado una tabla (Tabla 5.1.1) que recoge las características identificativas más relevantes de cada técnica y los valores que tienen en cada una de las variedades de alabastro y yeso de calidad estatuaria analizadas.

Basin	Visu (30%)										Petrología (40%)						Geoquímica (10%)				Fosforescencia (10%)				
	Variedad	Color			Translucidez			Textura				Yeso	Alabastrino (%)			GBS	Cel	Dom1	Dom2	Dom3		Dom4			
		Bl	Mr	Ama	Bl/R	Alta	Media	Baja	Nula	Nód	V.arc		Est	Band	Lent								CENU	Sub	Micro
Valle del Ebro, Sector Occidental	Autul	x			x				x	x		x		20	10	50	CC,Su	Idiom.		x				Az/Vrd ban	
	Abilitas	x				x				x					10	85	Rt,CC	Esque	x				x	Az/Vrd ban	
	Monteagudo		x										60%				Rt						x		
	Borja		x										70%				Rt							x	
Valle Medio del Ebro	F. Ebro	x				x								30	10	50	CC	Esque	x						Vrd/Az par
	Gelsa	x				x								35	7	45	CC	Esque	x						Vrd/Az par
	Esca - Vel	x				x								40	7	40	CC	Esque	x						Vrd/Az ban
	Alcubierre										x			80	1	10	CC	Esque	x						
	Leciñena	x					x							20	35	50	CC	Esque	x						
	R. Jalón	x												15	7	85	CC	Esque	x						
Valle del Ebro, Sector Oriental	Sarral 1	x												20	7	55	Su	Subidio						x	
	Sarral 2	x												55	7	35	CC	Subidio						x	
	Odena	x												40	2	50	Su	Subidio						x	
	Tona	x												35	3	60	Su	Subidio						x	
Pirineo catalán	Beuda	x												4	40	50	Su	Subidio							Vrd/Az ban
	Blanca	x												20	15	55	CC,Rt	Esque	x						Vrd hom
Cuenca de Catalunya	Champán													70	15	10	CC,Rt	Esque	x						
	Tabaco		x											55	20	10	CC,Rt	Esque	x						
	Calatayud	x												20	15	50	CC,Rt	Esque	x						Vrd hom
Depresión costera Valenciana	S. Ferrer	x												30	10	40	Su,CC	Subidio							
	Picassent 1	x												30	10	50	CC	Esque	x						Gr/Am hom
	Picassent 2		x										80%				CC							x	
Cuenca de Madrid	Cogolludo	x												20	30	35	Su	Idiom.							Mr/Am ret
	Aleas	x												5	25	65	Su	Idiom.							Vrd/Am par

Tabla 5.1.1. Visu (30%). Color: Bl, blanco; Am, amarillo; Mr, marrón, rosa, Rs; Translucidez: Alto, Medio, Bajo, Nulo; Textura: Nódulos (Nód), Venas de arcillas (V.arc), Estilolitos (Est), Bandedos (Band). Petrografía (40%). Porcentaje de cristales de yeso: Yeso lenticular (Lent), Yeso alabastrino, CENU, subidiomorfa (Sub), microcristalina (Micro), GBS; CC, cóncavo - convexo; Su, suturado; Rt, recto, Habito celestina: Idiomorfo (Idiom), Subidiomorfo (Subidio), Esqueletal (Esque). Geoquímica (10%). Dominio 1: Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina subidiomorfa o en gavilla (Dom2), Dominio 3: Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina subidiomorfa (Dom3), Dominio 4: facies de yeso primario (Dom 4). Fosforescencia (10%). Emisión gris-amarillenta relativamente homogénea (Gr/Am hom), Emisión verde-azulada ligeramente parcheada (Vrd/Az par), Emisión reticulada marrón-amarillenta (Mr/Am ret), Emisión parcheada verde-amarillenta (Vrd/Am par), Fosforescencia verde claro homogénea (Vrd hom), Fosforescencia verde-azulada bandeada-reticulada (Vrd/Az ban), Fosforescencia verde-azulada bandeada-reticulada (Vrd/Az ban).

## 5.2. Estudio de la procedencia de piezas artísticas

Aragón alberga un importante patrimonio material realizado en alabastro durante la Edad Media y la Edad Moderna, como los historiadores del arte del equipo de investigación del proyecto comprobaron en el inventario realizado de las obras hechas con este material, inventario que reúne a más de mil piezas distribuidas por toda la geografía aragonesa (Fig.5.2.1). Este equipo ha estudiado estas obras, con el desplazamiento -que este estudio implica- a zonas remotas de la comunidad con el fin de profundizar sobre el conocimiento del alabastro y las piezas artísticas con él realizadas.

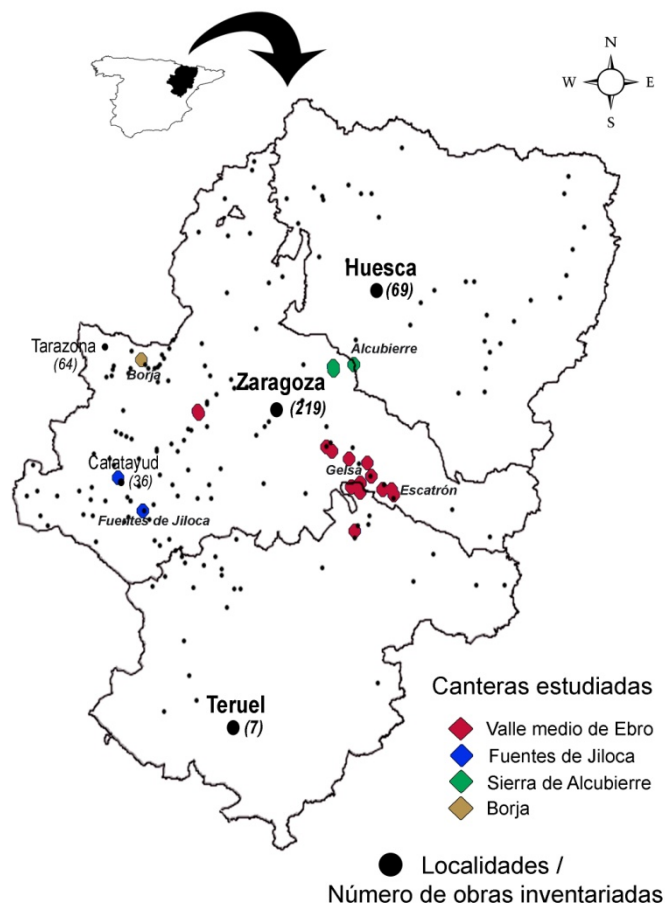


Figura 5.2.1. Mapa de Aragón donde los puntos indican las localidades que acogen piezas artísticas realizadas en alabastro inventariadas y estudiadas por el equipo de investigación. También recoge la ubicación de las canteras estudiadas, aquellas de las que hay documentación escrita de su explotación durante la Edad Media hasta la Edad Moderna. Es indicativo de que el mayor número de obras en alabastro se hicieron en la provincia de Zaragoza, donde se ubican las canteras más importantes (Modificado de Muñoz y Andrés, 2019)

Las piezas fueron examinadas, por los geólogos del equipo realizando en los casos en que eran accesibles un reconocimiento visual, obteniendo la información que nos ofrece esta técnica y que nos permite las condiciones de conservación de la pieza, al darnos una idea aproximada de cuál es el origen de la obra de arte.

En otros casos, fue posible tomar muestras de las piezas mientras se hacía su restauración. De este modo se han elaborado unas fichas de estas piezas (Anexo IV) y una relación de las mismas con la procedencia obtenida después de aplicar varias técnicas analíticas. Esta relación de obras con su procedencia está dividida en periodos históricos de acuerdo a los estilos artísticos. En el conjunto del trabajo hay un total de 350 muestra estudiadas 200 se han estudiado solo *de visu* y en 57 casos se ha podido muestrear.

### 5.2.1. Relación de obras de artes estudiadas de la Baja Edad Media

Las obras estudiadas por el equipo de investigación son más que las recogidas en la siguiente tabla, en ella solamente hemos incluido las muestreadas para aplicar técnicas analíticas como petrografía y geoquímica.

Sigla	Pieza	Ubicación	Localidad	Posible origen Geológico	Fuentes escritas
PA-12	Sepulcro Pedro Fernández de Híjar y Navarra. 32987	Museo de Zaragoza	Zaragoza	Valle medio del Ebro	Valle medio del Ebro Escatrón/Monasterio
PA-16	Capitel corintio hispano-musulmán . 30063	Museo de Zaragoza	Zaragoza	Valle medio del Ebro	
PA-1	Retablo de la Virgen del Patrocinio	Colegiata de Daroca	Daroca	Sin homologo de cantera	*
PA-3	Fragmento del Sepulcro Hugo de Urries	Museo Diocesano	Huesca	Fuentes de Jiloca	
PA17	Relieve funerario. Absolución del cadáver	Museo Frederic Marès	Barcelona	Beuda	¿Valle medio del Ebro?
PA-50	Virgen del castillo	Iglesia parroquial de la Inmaculada Concepción	Cella	Sin homologo de cantera	¿Francia?
PA-51	Sepulcro del Cardenal. Fernando Pérez Calvillo	Catedral de Tarazona	Tarazona	Fuentes de Jiloca ¿?/Ablitas ¿?	
PA-52	Sepulcro del Obispo Pedro Pérez Calvillo.	Catedral de Tarazona	Tarazona	Fuentes de Jiloca ¿?/Ablitas ¿?	
PA-9	Capitel de alabastro con heráldica del Papa Luna	Museo Calatayud	Calatayud	Fuentes de Jiloca	Sierra de Armantes
PA-26	Santa Ana, la Virgen y el Niño. 09191	Museo Zaragoza	Zaragoza	Valle medio del Ebro	
PA-38	Pieza arqueológica 16.98.6H.758	Yacimiento arqueológico	Rodén	Valle medio del Ebro	
PA-39	Pieza arqueológica 16.98.5H.722.	Yacimiento arqueológico	Rodén	Valle medio del Ebro	
PA-40	Pieza arqueológica 16.98.4H.718	Yacimiento arqueológico	Rodén	Valle medio del Ebro	

*\*La historiografía artística escribe que los relieves son traídos ya hechos de Nottingham, y aquí se realizó la estructura de madera del retablo que contiene los relieves (Sarriá Abadía et al., 1989).*

De este periodo histórico destacan obras tan singulares como el sepulcro del arzobispo Lope Fernández de Luna en la Parroquieta de la Seo de Zaragoza y el monumental retablo mayor del mismo templo (Lacarra Ducay, 1999). Y en estas obras trabajaron los mejores escultores de la Corona de Aragón: Pere Morages, Pere Joan, Ans Piet Danso, Gil Morlanes “el Viejo”, este último fue el autor del monumento funerario del inquisidor Pedro Arbués financiado por los Reyes Católicos (Ibañez Fernández y Andrés Casabón, 2016), cuyas piezas se conservan en la citada catedral zaragozana. Otras dos obras góticas destacadas se encuentran en la catedral de Tarazona, se trata de los dos sepulcros de los hermanos Calvillo trabajados por el escultor Pedro Corcán (García Lasheras, 2015).

Inventariada alrededor de 50 piezas entre las. Sin embargo hubo piezas de las que si fue posible conseguir un pequeño fragmento de material para su estudio, son las siguientes piezas. De un total de 40 muestra estudiadas 20 se han estudiado solo *de visu* y en 8 casos se ha podido muestrear

### ***5.2.2. Relación de obras de artes estudiadas durante el Renacimiento***

De un total de 150 muestra estudiadas 120 se han estudiado solo *de visu* y en 28 casos se ha podido muestrear las obras de las hemos podido obtener una muestra, son un pequeño reflejo del conjunto total de piezas realizadas en alabastro durante esta época, están recogidas en el inventario más de ciento cincuenta piezas, entre ellas cabe destacar los retablos mayores del Pilar y de la catedral de Huesca, obras del escultor Damián Forment (Morte-García, 2009). Este fue un momento de esplendor en relación a la utilización de este material, no limitándose únicamente a su uso en el ámbito eclesiástico y funerario, se ve también su empleo dentro de la arquitectura civil: patios y portadas de palacios de Zaragoza, siendo los más relevantes el del conde de Sástago o el del mercader Gabriel Zaporta, del que solo se conserva el conocido como Patio de la Infanta. Y este esplendor atrajo consigo a grandes maestros escultores además del ya mencionado Damián Forment, otros trabajaron el alabastro en sus obras como los franceses Gabriel Joly, Esteban de Obray o Pierres del Fuego, los aragoneses Gil Morlanes, el joven, Juan de Liceire, Juan Pérez Vizcaino y Pedro de Moreto, todos afincados en Aragón, mientras que otros vinieron a realizar obras concretas como Alonso Berruguete y Felipe Bigarny (Sepulcro del canciller Selvagio, Real monasterio de Santa Engracia de Zaragoza) o Juan de Anchieta el retablo de la capilla de los Arcángeles la Seo zaragozana. Esta capilla fue restaurada en 2004 momento en que se llevaron a cabo reparaciones en el conjunto escultórico se determinó, que el alabastro se mantenía en buen estado salvo, por las perdidas volumétricas sufridas en algunas imágenes durante actuaciones previas. El estudio histórico artístico fue realizado por Jesús Criado Mainar como recoge el informe sobre su restauración (Méndez, 2004).

La relación de piezas que fue posible estudiar aplicando diferentes técnicas analíticas es la siguiente.



Sigla	Pieza	Ubicación	Localidad	Posible origen Geológico	Fuentes escritas
PA-4	Lápida de Miguel Martín, Comendador del Temple	Iglesia de San Pedro de los Francos	Calatayud	Fuentes de Jiloca	Fuentes de Jiloca.
PA-11	Sepulcro del Virrey Don Juan de Lanuza	Castillo de Calatravo	Alcañiz	Valle medio del Ebro	Valle medio del Ebro
PA-15	Figura de San Marcos. 11166	Museo Zaragoza	Zaragoza	Valle medio del Ebro	
PA-18	San Miguel Arcángel	Museo de tapices de la Seo	Zaragoza	Valle medio del Ebro	
PA-22	Adoración de los Reyes Magos. 9203	Museo Zaragoza	Zaragoza	Valle medio del Ebro	
PA-23	Columna tallada. Procedente de Ntra. Sra. del Portillo. 11175	Museo Zaragoza	Zaragoza	Valle medio del Ebro	
PA-24	Sepulcro del Vicecanciller Antonio Agustín. 11162	Museo Zaragoza	Zaragoza	Valle medio del Ebro	
PA-25	Columnas entrepaños y friso. 11156	Museo Zaragoza	Zaragoza	Borja	
PA-27	San Lorenzo	Museo Colegiata	Borja	Ablitas	Ablitas
PA-28	Mascarón con adornos	Museo Colegiata	Borja	Fuentes de Jiloca	
PA-32	Relieve del sepulcro Luis Fernández de Híjar	Colección particular	Híjar	Valle medio del Ebro	
PA-34	Retablo de la Epifanía	Catedral. Huesca	Huesca	Valle medio del Ebro	
PA-35	Cabeza de Cristo	Particular	Zaragoza	Cogolludo	
PA-41	Relieve de la Presentación de la Virgen, del retablo de Santa Ana del Real Monasterio de Santa María de Sijena. 10380	Museo Zaragoza	Zaragoza	Valle medio del Ebro	
PA-42	Sepulcro del Obispo Pedro del Frago	Iglesia de San Andrés	Uncastillo	Valle medio del Ebro	Valle medio del Ebro
PA-53	Sepulcro del Deán. Lope Conchillos	Catedral de Tarazona	Tarazona	Fuentes de Jiloca ¿?/Ablitas ¿?	
PA-54	Sepulcro del Obispo. Gonzalo Conchillos	Catedral de Tarazona	Tarazona	Fuentes de Jiloca ¿?/Ablitas ¿?	
PA-55	Sepulcro del Deán. Miguel de Erla y Añón	Catedral de Tarazona	Tarazona	Fuentes de Jiloca ¿?/Ablitas¿?	
PA-56	Retablo de Visitación	Catedral de Tarazona	Tarazona	Valle medio del Ebro	Valle medio del Ebro

### 5.2.3. Relación de obras de artes estudiadas durante el Barroco

En este momento el gusto estético empieza a cambiar, el alabastro aunque sigue presente en proyectos artísticos, pierde terreno frente a otros materiales como el mármol, o aparece combinado con otras rocas. Es común encontrar piezas formadas por alabastro blanco y piedra negra de Calatorao (Zaragoza). Se mantiene su uso en el ámbito eclesiástico y funerario, y destaca como soporte para elementos heráldicos y pequeñas piezas de culto doméstico, como las imágenes de la Virgen del Pilar. De este periodo podemos destacar la capilla y cripta de Lastanosa en la Catedral de Huesca (Boloqui Larraya, 2018) y la fachada de la Iglesia de Santa Isabel de Portugal en Zaragoza, realizada con yeso de calidad estatuaria y combinando dos tonalidades de este material clara y oscura (Boloqui Larraya, 2019). Se conocen menos nombres de

escultores que trabajan el alabastro en el siglo XVII y XVIII. Incluso en este último casi desaparece el uso del alabastro en la escultura en beneficio del mármol.

Un factor que también fue decisivo en el menor uso del alabastro en este periodo, está relacionado con la expulsión de los moriscos. Que eran los encargados de extraer y transportar el alabastro en el Valle medio del Ebro (Morte García, 2018). Sin embargo, las canteras de Fuentes de Jiloca, mantuvieron la misma actividad al no haber población morisca.

De un total de 100 muestra estudiadas, 80 se han estudiado solo *de visu* y en 13 casos se ha podido muestrear las piezas para estudiarlas con más detalle, son las siguientes.

Sigla	Pieza	Ubicación	Localidad	Posible origen Geológico	Fuentes escritas
PA-2	Sarcófago del canónigo Juan Orencio de Lastanosa	Cripta Lastanosa	Huesca	Sierra de Alcubierre	Sierra de Alcubierre, término de Leciñena
PA-5	Basamento de la capilla de la Piedad	Colegiata Calatayud	Calatayud	Fuentes de Jiloca	
PA-7	Estatua Orante del Sepulcro de Don José de Palafox	Museo de la Colegiata de Santa María	Calatayud	Valle medio del Ebro	Valle medio del Ebro
PA-10	Marqueses de Ariza	Iglesia de Santa María La Real	Ariza	Fuentes de Jiloca	
PA-19	Figura Pedro Arbués	La Seo	Zaragoza	Cogolludo	
PA-21	Basamento de la fachada de Santa Isabel de Portugal	Iglesia Santa Isabel de Portugal	Zaragoza	Borja	Fuendetodos
PA-37	Sepulcro de Don Gabriel de Sora. Obispo de Albarraçin	Catedral de Albarraçin	Albarraçin	Valle medio del Ebro	
PA-44	Escultura del capitán Vincencio Juan de Lastanosa	Cripta Lastanosa	Huesca	Fuentes de Jiloca	
PA-45	Sarcófago del capitán Vincencio Juan de Lastanosa	Cripta Lastanosa	Huesca	Sierra de Alcubierre	Sierra de Alcubierre, término de Leciñena
PA-46	Escultura del canónigo Juan Orencio de Lastanosa	Cripta Lastanosa	Huesca	Valle medio del Ebro	
PA-47	Imagen de Santa Eulalia	Catedral. Capilla de San Joaquín	Huesca	Valle medio del Ebro	
PA-48	Imagen de San Joaquín	Catedral. Capilla de San Joaquín	Huesca	Valle medio del Ebro	
PA-49	Basamento de la portada Capilla de San Joaquín	Catedral. Capilla de San Joaquín	Huesca	Fuentes de Jiloca	

#### 5.2.4. Reflexiones sobre la evolución de las explotaciones de alabastro

Observando las canteras de procedencia de las piezas estudiadas, y siguiendo la trazabilidad de las obras realizadas con ese material se aprecia, que su uso fue continuo, con mayor o menor volumen, durante la Edad Media hasta la Edad Moderna. Fue extraído de las distintas canteras, principalmente del Valle medio del Ebro como de Fuentes de Jiloca, y empleado en proyectos artísticos tanto dentro como fuera de Aragón. Para transportar el alabastro del Valle medio del Ebro se usaba como medio principal de transporte el río Ebro.

En época medieval hay registro del uso de alabastro del Valle medio del Ebro en territorios más lejanos, como en el sepulcro de los reyes de Navarra (Morte García, 2018). Aunque en algunos casos también se comerciaba con alabastro procedente de otros países, un ejemplo de este caso lo tenemos en el retablo de la capilla de la Virgen del Patrocinio en la colegiata de Daroca, donde la documentación escribe que los relieves son traídos ya hechos de Nottingham, y aquí se realizó la estructura de madera del retablo que contiene los relieves (Sarriá Abadía *et al.*, 1989).

Es durante el Renacimiento cuando el alabastro alcanza su momento de esplendor. Sobre todo en el caso de las canteras del Valle del Ebro, cuyo alabastro es empleado en importantes proyectos dentro y fuera de Aragón. El taller de Damian Forment y otros grandes escultores congregaron en la capital zaragozana y alrededores un importante número de obras realizadas en alabastro y atrajeron a artistas extranjeros, que se sentían interesados por la calidad de los trabajos que aquí se desarrollaban. Prueba de ello es la presencia de Nicolás de Chanterenne, escultor del rey de Portugal. Quien viajó hasta Aragón para conocer de primera mano el trabajo que aquí se llevaba a cabo y para encargar alabastro de Gelsa, que fue empleado en el retablo de alabastro de la iglesia de los Jerónimos de Pena, Sintra (Morte García, 2018). Las canteras de Fuentes de Jiloca, que pertenecen a la Cuenca de Calatayud y se encuentran a pocos kilómetros de la Sierra de Armantes, continuaron siendo explotadas como atestigua la portada de la colegiata de Calatayud (Ibáñez, 2012).

Durante el Barroco el dominio de las canteras del Valle medio del Ebro parece que decae considerablemente, aun es posible encontrar alguna pieza realizada con este material, pero son piezas más pequeñas. La expulsión de los moriscos de la zona de Gelsa en 1610 es posiblemente la causa de ese descenso en la producción de alabastro, ya que ellos eran los encargados de extraer y transportar la materia prima (Morte García, 2018).

También llama la atención el uso de alabastro o yeso de calidad estatuaria que no se había empleado hasta entonces como el de la Sierra de Alcubierre, empleado de modo exhaustivo en la cripta y capilla de Lastanosa en la Catedral de Huesca (Boloqui Larraya, 2018). Los terrenos en los que se sitúan las canteras eran propiedad de la familia Lastanosa, lo cual posiblemente influyó en su elección. El uso de yeso procedente de las canteras de Borja, poco utilizado fuera de las proximidades de esta localidad anteriormente, fue el material elegido para la fachada de la iglesia de Santa Isabel del Portugal en Zaragoza (Boloqui Larraya, 2019).

Las canteras de Fuentes de Jiloca se mantienen como en los periodos anteriores, surtiendo de alabastro a las poblaciones próximas. Aunque también se utilizó ese alabastro en la cripta de los Lastanosa, lo que indica que llegó a ser exportando hasta zonas más lejanas que los siglos anteriores.

### **5.3. Fichas de piezas artísticas realizadas en alabastro**

Las siguientes fichas de obras de arte, están estructuradas de tal modo que primero se hacen unas referencias sobre la procedencia, ubicación, autor, periodo y cantera de procedencia. Posteriormente se presentan los resultados de las técnicas analíticas realizadas a las muestras tomadas de cada una de ellas (*de visu*, descripción petrográfica y análisis geoquímico). Junto con las conclusiones sobre su posible procedencia.

Finalmente se cita la bibliografía más reciente, en la cual están recogidas las referencias a trabajos realizados con anterioridad sobre dicha pieza

## Capitel corintio hispano-musulmán vaciado en 1492

**Procedencia:** Convento de Predicadores.  
Zaragoza

**Ubicación:** Museo de Zaragoza (30063).  
Obra no expuesta.

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Andalusí

**Año:** ca.1065 - 1075

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-16



### ❖ Descripción macroscópica o visu

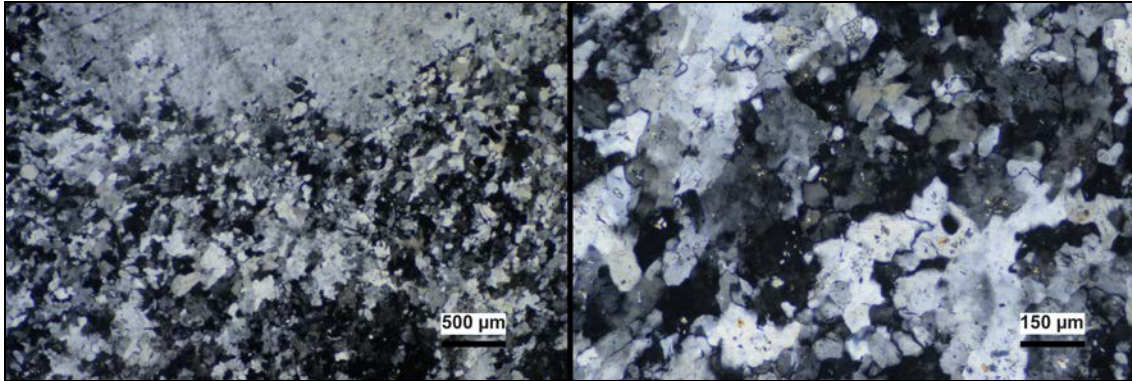
Alabastro de color blanco, englobado en venas de arcilla de color gris, las arcillas representan el 50% de la pieza. Los nódulos de alabastro tienen dimensiones de 10 a 15 cm, con un grado de translucidez medio. El capitel presenta signo de haber sido reutilizado, y pérdidas volumétricas.



### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina perteneciendo del 20% al 55% a cristales del tipo microcristalina cuyos tamaños oscilan entre 100 a 10  $\mu\text{m}$  y el 20% son del tipo C.E.N.U. con dimensiones de 1.5 y 0.2 mm, con hábitos alotriomorfos y contactos entre los bordes de los cristales mayoritariamente cóncavo – convexos

pudiendo llegar a ser rectos en algunos casos, el MGS para C.E.N.U. es de 1.5 mm. Hay anhidrita relictas en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 4%, alcanzando tamaños entre 150 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 1% cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) cuyos tamaños oscilan entre 20 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Arguís Rey, Marisa. “Capitel corintio hispano-musulmán vaciado en 1492”. En *Fernando II de Aragón. El rey que imaginó España y la abrió a Europa*. Comisarios. Morte-García, C. y Sesma Muñoz, J. Á. Editado por Diputación General de Aragón, 2015. Página 112.

## *Sepulcro de Don Pedro Fernandez de Híjar y Navarra*

**Procedencia:** Monasterio de Rueda de Ebro, Escatrón (Zaragoza)

**Ubicación:** Museo de Zaragoza

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Gótico

**Año:** 1400 - 1401

**Cantera:** Valle medio del Ebro.

**Muestra:** PA-12



### ❖ Descripción macroscópica o visu

Alabastro de color blanco y apariencia compacta. El grado de translucidez del alabastro es alto. Presencia de venas de arcillas de color gris con geometrías irregulares, se diferencian niveles de estilolitos asociados a las venas de arcillas. También se pueden identificar nódulos de morfologías circulares de 1 cm de diámetro y distribución bandeada. Hay zonas en las que se distingue parte de la policromía de la pieza.

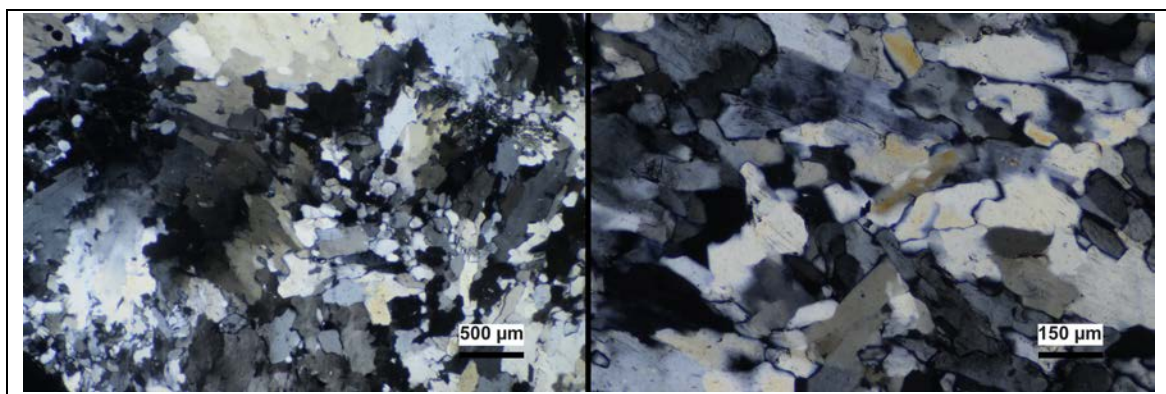


### ❖ Descripción petrográfica

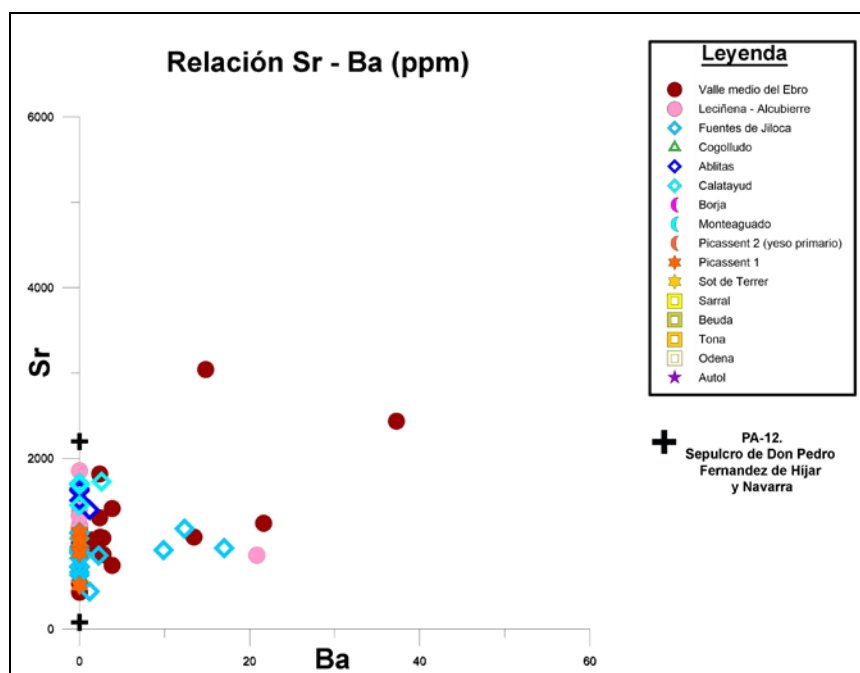
Mosaico microcristalino en el que domina las texturas alabastrinas microcristalina y C.E.N.U., en el primer caso representa un 40% del total y la C.E.N.U. con un 40%, el tamaño de los cristales es de 800 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para



microcristalina, siendo los MGS 0.8 mm y el MnrGS de 40  $\mu\text{m}$ , con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. Hay presencia de un 10% de porfidoblastos que llegan a alcanzar 6 mm y destacan por la abundante presencia de relictos de anhidrita en su interior. También podemos ver cristales de celestina entre el 2% que pueden alcanzar tamaños de 60  $\mu\text{m}$  y parecen tanto agrupados como dispersos, pero en todos los casos son cristales esqueléticos. La anhidrita se encuentra como relicto principalmente en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando de un 1% del total y tamaños oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ . En algunas muestras se visto granos de cuarzo con contactos redondeados que indican un origen detrítico.



## ❖ Análisis geoquímica





Los valores de las muestras tomadas ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (2199.63, 0.00) y (80.58, 0.00), que se aproximan al dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”. Aunque quedan por encima o por debajo del mismo, además el valor de las dos muestras analizadas de la misma pieza genera resultados muy diferentes, lo cual puede ser debido a una contaminación de la muestra. Originalmente el sepulcro está cubierto por una capa de barniz, que se quito antes de realizar los análisis, pero el alabastro es capaz de absorber parte del compuesto químico con que se cubrió la pieza, sería la causa de los resultados anómalos.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

## ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%) y petrografía (40%), coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**, en concreto con de las **procedente de las canteras de Escatrón**. Los valores de geoquímica (10%) en este caso no aportan información diagnóstica para la identificación.

## ❖ Referencia bibliográfica

Lacarra Ducay, M. del C., 2003. *Arte gótico en el museo de Zaragoza*. Gobierno de Aragón, Zaragoza. Páginas 3 - 4.

## *Sepulcro del cardenal Fernando Pérez Calvillo*

**Ubicación:** Catedral de Sta M<sup>a</sup> de la Huerta. Capilla de San Prudencio, San Lorenzo y Santa Catalina en la girola

**Localidad:** Tarazona (Zaragoza)

**Autor:** Pedro Corcán

**Periodo:** Gótico

**Año:** 1404 - 1405

**Cantera:** ¿Fuentes de Jiloca? o ¿Ablitas?

**Muestra:** PA-51



### ❖ Descripción macroscópica o visu

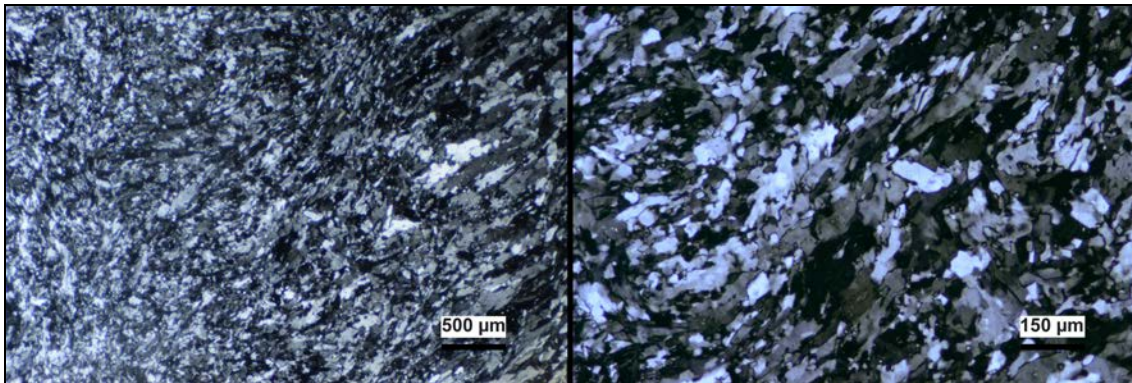
Alabastro blanco, de aspecto compacto, grado de translucido alto. No se aprecian estructuras internas. Escasa o ausente presencia de arcillas. Presencia de fractura, tanto planares como irregulares, estilolitos, que cortan el paso de la luz. Hay una zona que ha sido restaurado empleando un material de color marrón que no es alabastro.



### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el cual domina la textura alabastrina, los cristales del tipo microcristalina son el 58% del total con tamaños que van desde las 100 hasta 30  $\mu\text{m}$ , los del tipo subidiomorfa son el 15% de los cristales y sus dimensiones varían entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y el 20% corresponden al tipo C.E.N.U. con dimensiones de 2 y 0.4 mm. Estos cristales tienen hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexo e incluso rectos. El

MGS para C.E.N.U. es de 2 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales. Hay anhidrita relictas en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 2% alcanzando tamaños de 100 a 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 2 % cristales de celestina cuyos cristales aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) y sus tamaños oscilan entre 250 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos los casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Fuentes de Jiloca**, en concreto con la **variedad Blanca** o con las **canteras de Ablitas**.

### ❖ Referencia bibliográfica

García Lasheras, S. (2015) 'La personalidad artística de Pere de Corçan, maestro de los sepulcros de los Pérez Calvillo en la catedral de Tarazona', *Turiaso*, 22, pp. 137–209.

## *Sepulcro del obispo Pedro Pérez Calvillo*

**Ubicación:** Catedral de Sta M<sup>a</sup> de la Huerta. Capilla de San Prudencio, San Lorenzo y Santa Catalina

**Localidad:** Tarazona (Zaragoza)

**Autor:** Pedro Corcán

**Periodo:** Gótico

**Año:** 1404 - 1405

**Cantera:** ¿Fuentes de Jiloca? o ¿Ablitas?

**Muestra:** PA-52



### ❖ Descripción macroscópica o visu

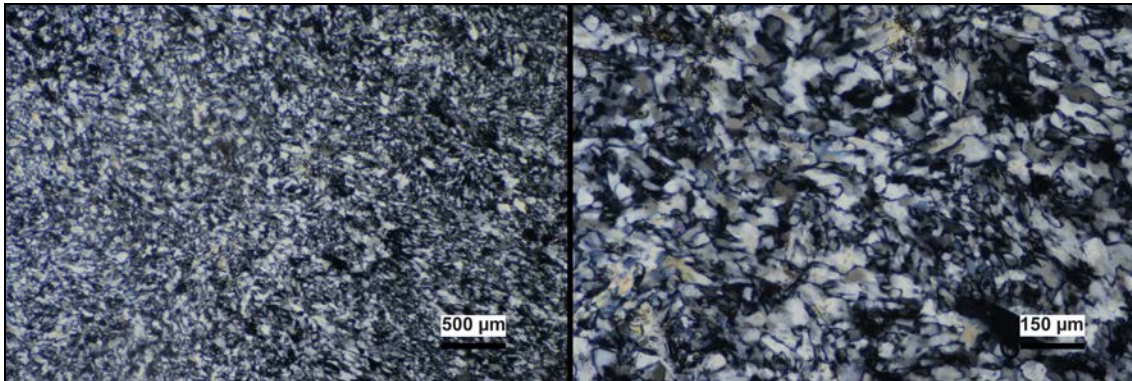
Alabastro blanco, de aspecto compacto, grado de translucido alto. No se aprecian estructuras internas. Escasa o ausente presencia de arcillas. Presencia de fractura, tanto planares como irregulares, estilolitos, que cortan el paso de la luz. Hay una zona que ha sido restaurado empleando un material de color marrón que no es alabastro.



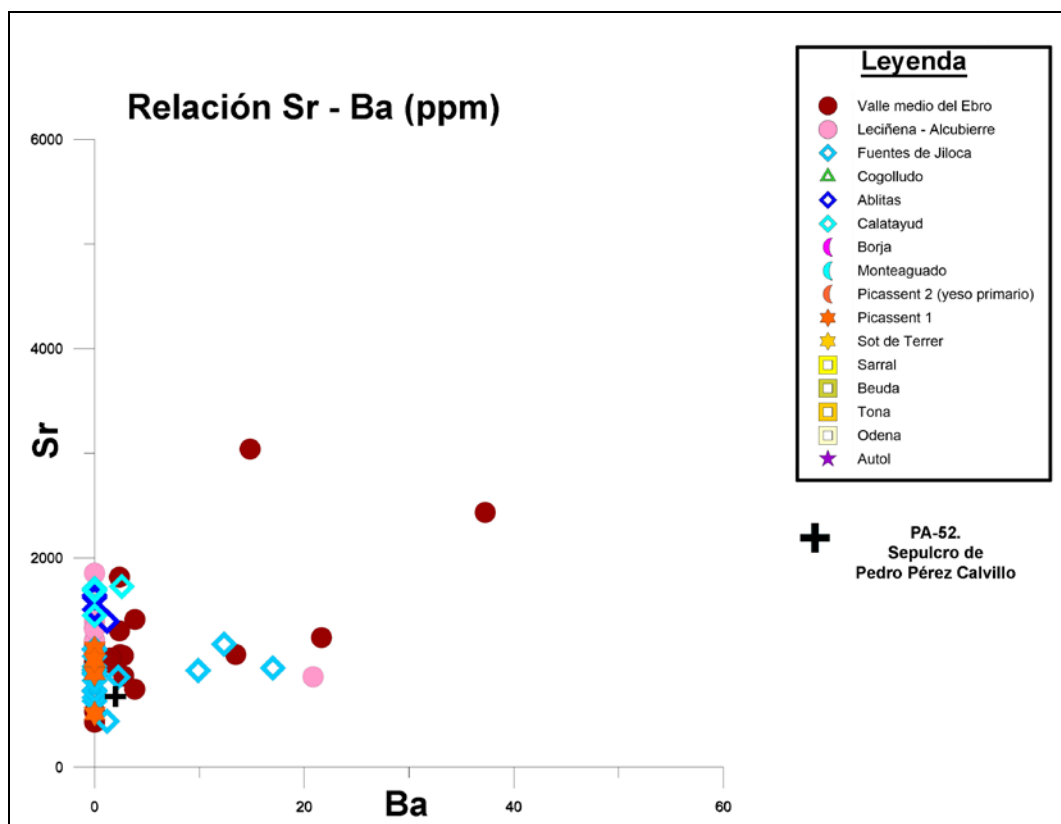
### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el cual domina la textura alabastrina, los cristales del tipo microcristalina son el 58% del total con tamaños que van desde las 100 hasta 30  $\mu\text{m}$ , los del tipo subidiomorfa son el 15% de los cristales y sus dimensiones varían entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y el 20% corresponden al tipo C.E.N.U. con dimensiones de 2 y 0.4 mm. Estos cristales tienen hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexo e incluso rectos. El MGS para C.E.N.U. es de 2 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales. Hay anhidrita

relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 2% alcanzando tamaños de 100 a 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 2 % cristales de celestina cuyos cristales aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) y sus tamaños oscilan entre 250 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.



### ❖ Análisis geoquímica





Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (678,77, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Fuentes de Jiloca**, en concreto con la **variedad Blanca** o con las **canteras de Ablitas**.

### ❖ Referencia bibliográfica

García Lasheras, S. (2015) ‘La personalidad artística de Pere de Corçan, maestro de los sepulcros de los Pérez Calvillo en la catedral de Tarazona’, *Turiaso*, 22, pp. 137–209.

## Capitel de alabastro con heráldica del Papa Luna (Benedicto XIII)

**Procedencia:** Posible procedencia de la Iglesia de San Pedro Mártir de Verona, convento dominico panteón de los Luna, desaparecido.

**Ubicación:** Museo de Calatayud

**Localidad:** Calatayud (Zaragoza)

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Gótico

**Año:** h. 1415 - 1420

**Cantera:** Fuentes de Jiloca

**Muestra:** PA-9



### ❖ Descripción macroscópica o visu

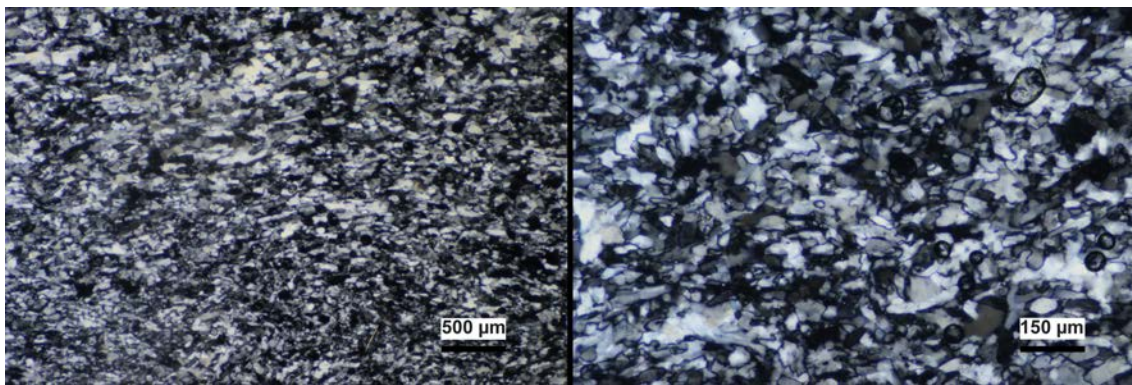
Alabastro blanco, de aspecto compacto, grado de translucido medio. Sin presencia de estructuras internas ni venas de arcilla. Presentas signo de exposición directa a la luz solar “calcinación”, lo que provoca que su grado de translucidez actual se inferior al que tenía originalmente la pieza. También se aprecian pérdidas volumétricas en la zona frontal del capitel.



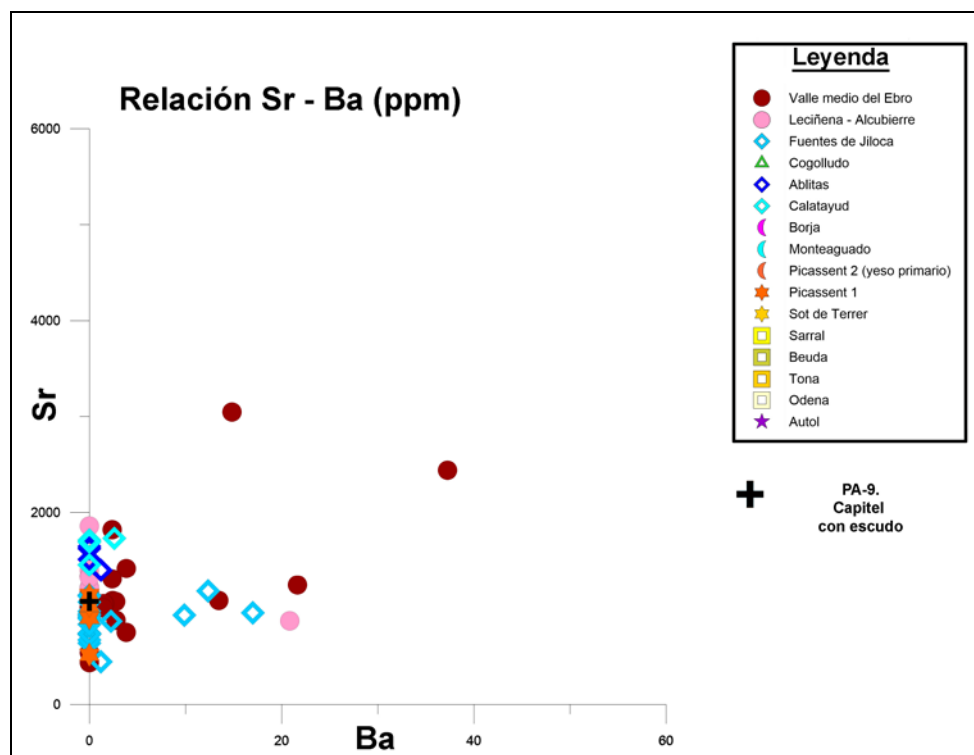
### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el cual domina la textura alabastrina, los cristales del tipo microcristalina son el 58% del total con tamaños que van desde las 100 hasta 30  $\mu\text{m}$ , los

del tipo subidiomorfa son el 15% de los cristales y sus dimensiones varían entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y el 20% corresponden al tipo C.E.N.U. con dimensiones de 2 y 0.4 mm. Estos cristales tienen hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexo e incluso rectos. El MGS para C.E.N.U. es de 2 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales. También resulta relevante la presencia de porfidoblastos que pueden alcanzar tamaños de 1 mm a 250  $\mu\text{m}$  llegando a representar el 2%, sus hábitos son alotriomorfos y los contactos entre los bordes cóncavo – convexo. Hay anhidrita relictas en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 2% alcanzando tamaños de 100 a 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 2 % cristales de celestina cuyos cristales aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) y sus tamaños oscilan entre 250 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.



## ❖ Análisis geoquímica





Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (1069,75, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Fuentes de Jiloca**, en concreto con la **variedad Blanca y Calatayud (Sierra de Armantes)**.

Proponemos que la cantera de procedencia del capitel sea **Fuentes de Jiloca**, porque el material que se extrae de estas canteras tiene las dimensiones necesarias para realizar este tipo de piezas. Sin embargo los nódulos de alabastro que se extraen en Calatayud (Sierra de Armantes) son demasiado pequeños sus dimensiones no superan los 60 cm, de modo que no sería posible hacer una pieza del tamaño del capitel.

### ❖ Referencia bibliográfica

Cuella Esteban, O., 1984. *Aportaciones culturales y artísticas del papa Luna (1394-1423) a la ciudad de Calatayud*. Institución Fernando el Católico, Zaragoza. Página 59.

## *Retablo de la Virgen del Patrocinio*

**Ubicación:** Colegiata de Santa María de los Corporales

**Localidad:** Daroca (Zaragoza)

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Gótico

**Año:** 1430 - 1440

**Cantera:** Sin homólogo de cantera

**Muestra:** PA-1



### ❖ Descripción macroscópica o visu

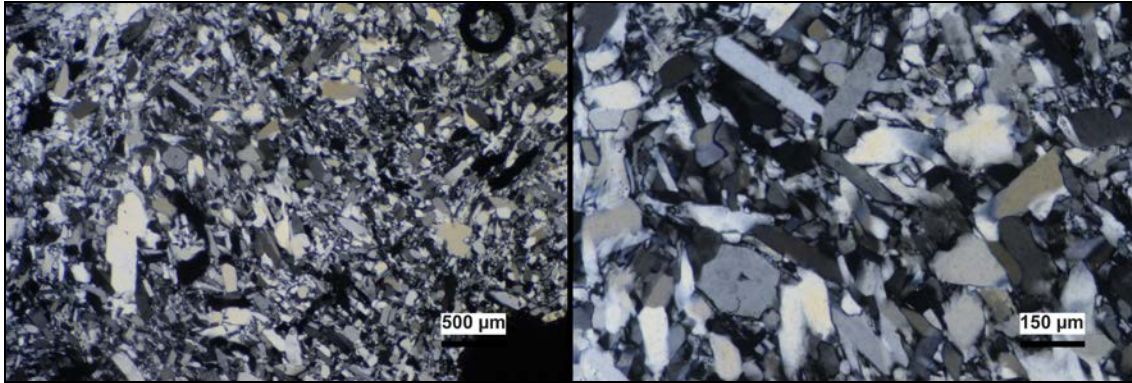
Alabastro blanco, de aspecto compacto y grado de translucido medio – bajo, la capa de suciedad junto con la policromía dificultan estimar el grado de translucidez. Como estructura interna al aplicar un foco de luz es posible ver un bandeado paralelo a estilolitos con geometría planar. No se llevan a diferenciar formas nodulares ni venas de arcillas.



### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el cual domina la textura alabastrina microcristalina representa el 50% del total, siendo el tamaño de cristales de 100 a 20  $\mu\text{m}$ , presentando cristales con hábitos equidimensionales y contactos que oscilan entre rectos a cóncavo – convexos. También podemos ver cristales de celestina representando un 2% que pueden alcanzar tamaños de 80  $\mu\text{m}$  y que aparecen tanto agrupado como dispersos con hábitos

idiomorfos. Destacar la presencia de cristales recristalizados que representan un 30% del total, con dimensiones que alcanzan 1 mm hasta 150  $\mu\text{m}$ . Los contactos de estos cristales son rectos y se ve como cortan a los cristales propios de la textura alabastrina.



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en este caso las características del alabastro de la pieza no coinciden con ninguna de las variedades de estudiadas, por lo tanto no poseemos un homologo de cantera con el que poder comprar la muestra para conocer su procedencia.

Desde el punto de vista de la historia del arte, la ejecución de la obra coincide con las piezas realizadas en Inglaterra durante este periodo. Posiblemente su procedencia sea de las canteras de Nottingham (dentro de esta denominación se encuentran las canteras de este núcleo urbano y áreas próximas). Se compraron los relieves ya hechos y a su llegada se añadió el soporte ligneo.

### ❖ Referencia bibliográfica

Sarriá Abadía, F., Serrano Gracia, R., Hernansanz Merlo, Á., Calvo Esteban, R., Miñana Rodrigo, M.L., 1989. "La capilla del Patrocinio de la iglesia colegial de Daroca", en: *V Coloquio de Arte Aragonés*. Zaragoza, pp. 183–206.

## ***Frente del Sepulcro del obispo Hugo de Urriés***

**Procedencia:** Catedral de Huesca.

**Ubicación:** Museo Diocesano

**Localidad:** Huesca

**Autor:** Pere Joan

**Periodo:** Gótico

**Año:** h. 1441 – 1443

**Cantera:** Fuentes de Jiloca

**Muestra:** PA-3



### ❖ **Descripción macroscópica o visu**

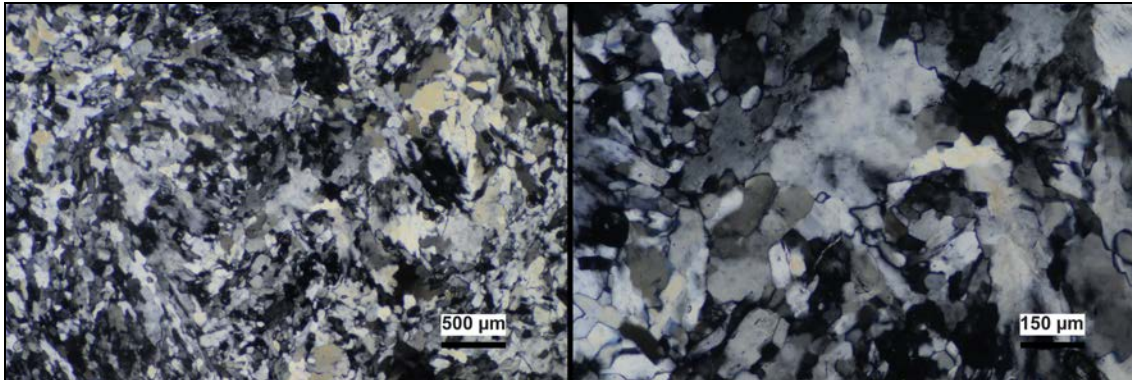
Alabastro de color blanco y aspecto compacto, la presencia de venas de arcillas es escasa. No se aprecian estructuras internas. Su grado de translucidez es alto. Se puede apreciar que la pieza conserva la mayoría de su policromía original.



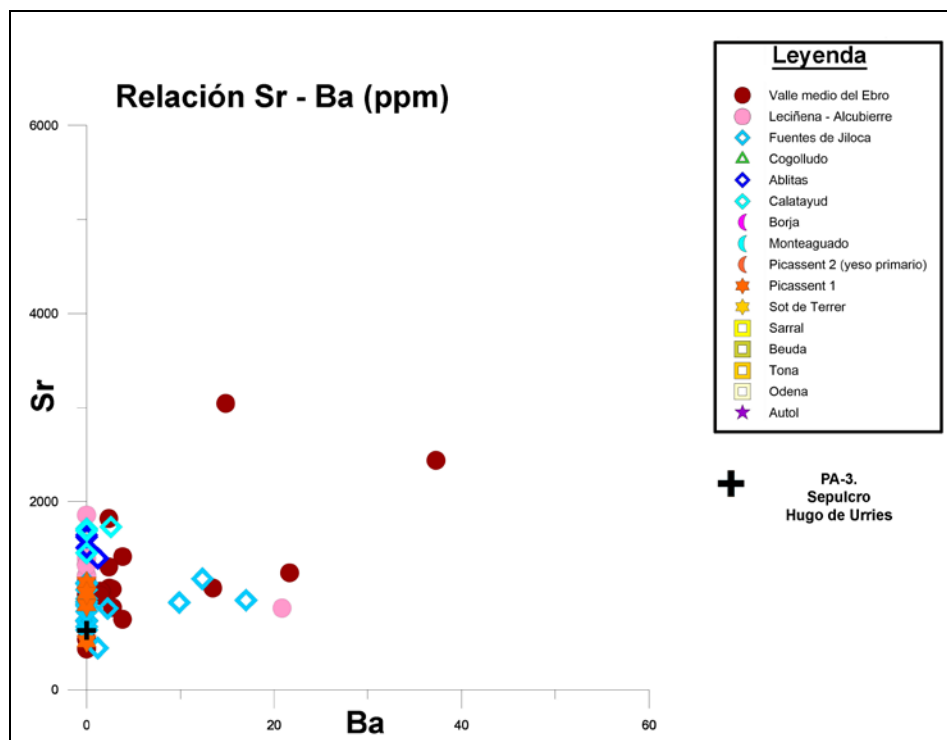
### ❖ **Descripción petrográfica**

Mosaico microcristalino en el cual domina la textura alabastrina, los cristales del tipo microcristalina son el 50% del total con tamaños que van desde las 100 hasta 30  $\mu\text{m}$ , los del tipo subidiomorfa son el 15% de los cristales y sus dimensiones varían entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y el 25% corresponden al tipo C.E.N.U. con dimensiones de 2 y 0.4 mm. Estos

crisales tienen hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexo e incluso rectos. El MGS para C.E.N.U. es de 2 mm. Los crisales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los crisales. Hay anhidrita relicta en forma de inclusiones dentro de los crisales de yeso con textura alabastrina en un 2% alcanzando tamaños de 100 a 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 2 % crisales de celestina cuyos crisales aparecen tanto agrupados como aislados (crisales esqueletales) y sus tamaños oscilan entre 250 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.



## ❖ Análisis geoquímica



Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (629,01, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Fuentes de Jiloca**, en concreto con la **variedad Blanca**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Lacarra Ducay, C., Morte-García, C., 1984. "Catálogo del Museo Episcopal y Capitular de Huesca". *Guara Editorial, S. A.*, Zaragoza. 236 pp. Página 21.



## *Santa Ana, la Virgen y el Niño*

**Procedencia:** Colegio de San Camilo de Lemis.

**Ubicación:** Museo de Zaragoza (09191)

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Gótico

**Año:** 1467 - 1477

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-26



### ❖ Descripción macroscópica o visu

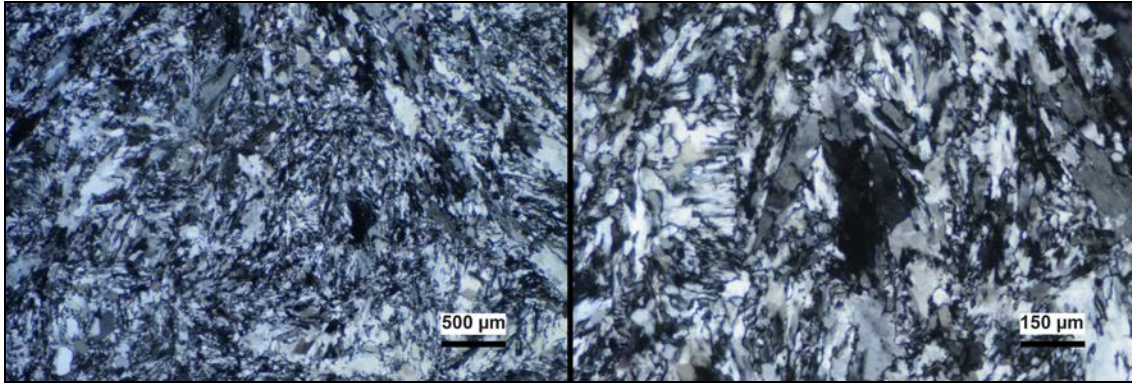
Alabastro blanco, de aspecto compacto. Aunque presenta signos de “calcinación”, resultado de la exposición directa a la luz solar. Se aprecian estructuras nódulares con geometrías romboidales de 1 a 3 cm de longitud. Debido a la recristalización del alabastro no es posible ver la translucidez del mismo.



### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina y textura alabastrina C.E.N.U. representada la primera por un 49% del total y la textura C.E.N.U. por un 30%, siendo el tamaño de los cristales entre 800 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para textura microcristalina, siendo los MGS 0.8 mm, con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. También podemos ver cristales de celestina entre el 2% que pueden alcanzar tamaños de 100  $\mu\text{m}$  los cuales pueden aparecer tanto agrupados en forma de gavilla como dispersos y los

son cristales esqueléticos. En el caso de la anhidrita se aprecia su presencia como relicto principalmente en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando un 1% del total y con tamaños oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Lacarra Ducay, M. del C. (2003) *Arte gótico en el museo de Zaragoza*. Zaragoza: Gobierno de Aragón. Páginas 13 - 15.



## **Absolución del cadáver. Relieve del sepulcro del rey Juan II (1398 - 1479) y de la reina Juana Enríquez (1425 - 1468)**

**Procedencia:** Panteón Real de la iglesia del monasterio de Santa María de Poblet, Tarragona

**Ubicación:** Museo Frederic Marès. (936)

**Localidad:** Barcelona

**Autor:** Atribuido a Gil Morlanes “El Viejo”

**Periodo:** Gótico

**Año:** ca. 1495 -1499

**Cantera:** Beuda

**Muestra:** PA-17



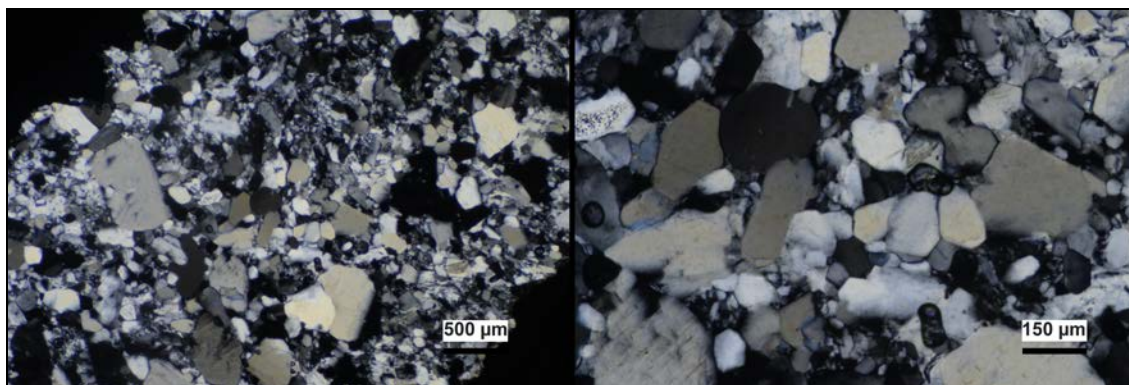
### ❖ **Descripción macroscópica o visu**

Alabastro de color blanco, aspecto compacto. Su grado de translucidez es bajo. Como estructuras internas es posible ver un bandeo marcado por bandas de tonos amarillentos paralelos unos a otros. La pieza muestra signos de disolución y “calcinación” en algunas zonas, evidencias de su exposición a la intemperie durante un periodo de tiempo prolongado.



## ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina representa el 40% del total y por la textura alabastrina subidiomorfa un 30%, el tamaño de cristales llegan a alcanzar hasta los 250  $\mu\text{m}$  los cristales subidiomorfos y como mínima 20  $\mu\text{m}$  los cristales microcristalinos, los cristales tipo C.E.N.U. representan entre el 4% de la muestra con tamaños comprendidos entre 500 a 400  $\mu\text{m}$  siendo los MGS 0.5 mm, los contactos entre los cristales son suturados. Hay de 15 % de cristales recrystalizados, con dimensiones entre 50 a 200  $\mu\text{m}$  cortando a los cristales con textura alabastrina, sus bordes son rectos. También podemos ver cristales de celestina el 1%, que pueden alcanzar tamaños de 80  $\mu\text{m}$  que aparecen dispersos por la muestra. En este caso la anhidrita casi no se observa en la muestra siendo muy escasa y representando menos del 1% que aparece como inclusiones en los cristales de textura alabastrina subidiomorfos con tamaños entre 20 y 5  $\mu\text{m}$ .



## ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Beuda**.

## ❖ Referencia bibliográfica

Macías Prieto, Guadaira. “Absolución del cadáver. Relieve del sepulcro del rey Juan II (1398 - 1479) y de la reina Juana Enríquez (1425 - 1468)”. *El rey que imaginó España y la abrió a Europa*. Comisarios. Morte-García, C. y Sesma Muñoz, J. Á. Editado por Diputación General de Aragón, 2015. Página 160.

## **Pieza arqueológica 16.98.4H.718**

**Procedencia:** Yacimiento arqueológico de Rodén, (Zaragoza)

**Ubicación:** Museo de Zaragoza

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Andalusí

**Año:** Siglos XI -XIV

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-40



### ❖ **Descripción macroscópica o visu**

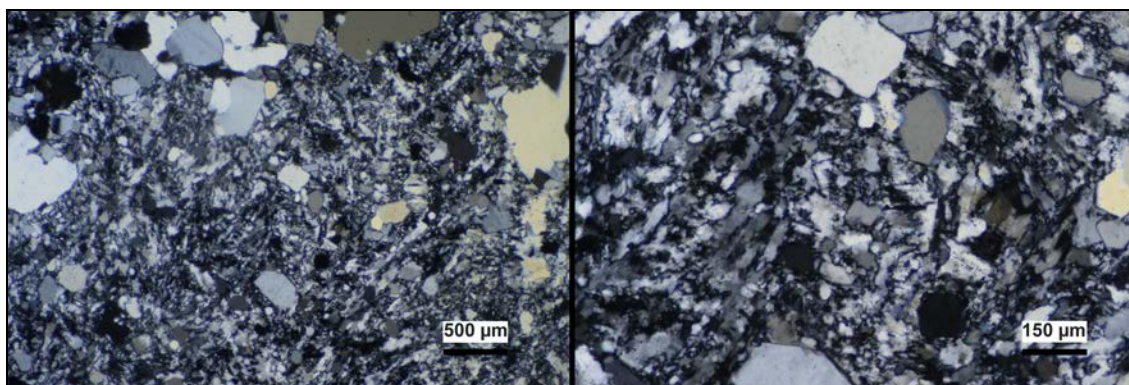
Alabastro blanco, de aspecto compacto. Esta recristalizado, posiblemente por su exposición a la intemperie durante un espacio de tiempo prolongado. No tiene translucidez o es muy baja, y no se pueden observar estructuras internas como nódulos, se han perdido debido a recristalización del yeso.



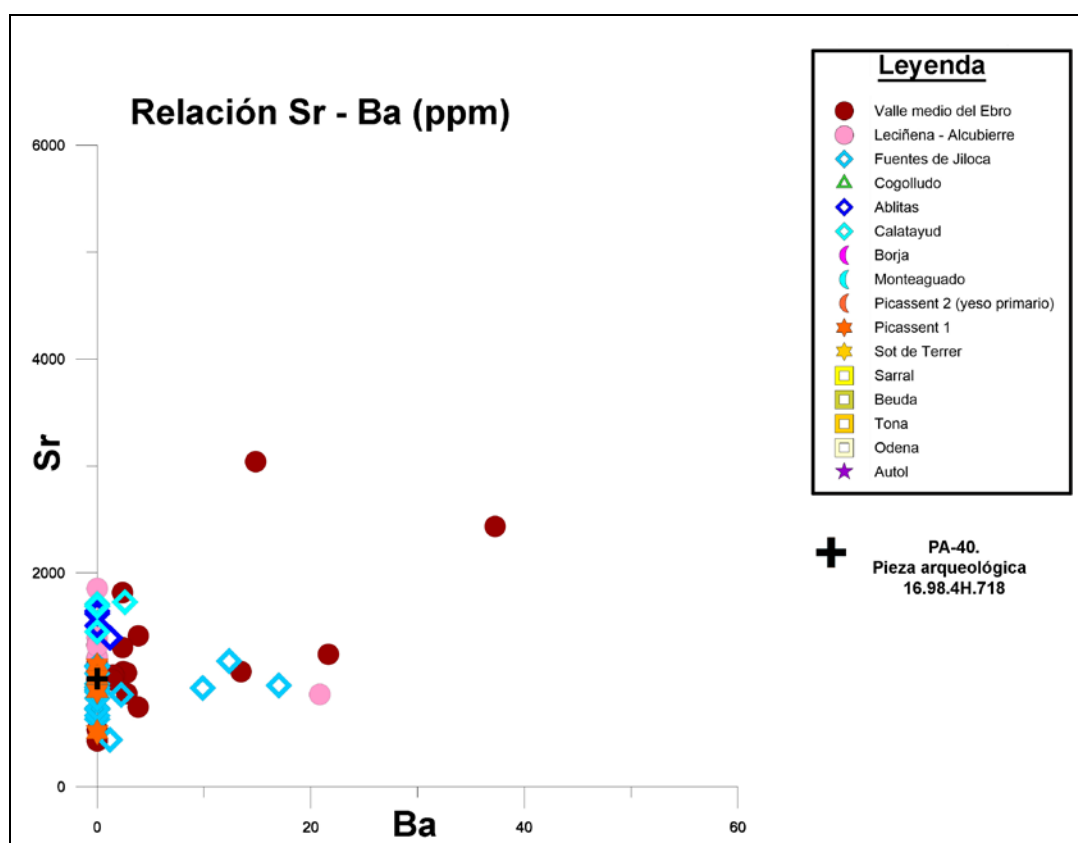
### ❖ **Descripción petrográfica**

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina y textura alabastrina C.E.N.U. representada la primera por un 49% del total y la textura C.E.N.U. por un 30%, siendo el tamaño de los cristales entre 800 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para textura microcristalina, siendo los MGS 0.8 mm, con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. También podemos ver cristales de celestina entre el 2% que pueden alcanzar tamaños de 100  $\mu\text{m}$

los cuales son cristales esqueléticos. Hay cristales de yeso recristalizados un 3%, con hábitos idiomorfos y contactos entre los cristales retos, sus dimensiones varían entre 100 a 700  $\mu\text{m}$ . En el caso de la anhidrita se aprecia su presencia como relicto principalmente en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando un 1% del total y con tamaños oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .



## ❖ Análisis geoquímica



Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (1013,14, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**, en concreto con la **variedad Fuentes de Ebro**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Fanlo Loras, J., Picazo Millán, J. V. and Soro Gayán, A. (2018) ‘Un taller de vasos de alabastro de época andalusí en Rodén (Fuentes de Ebro, Zaragoza)’, in Morte García, C. (ed.) *Usos artísticos del alabastro y procedencia del material. Actas I Congreso Internacional*. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza, pp. 499–520.



## **Pieza arqueológica 16.98.6H.758**

**Procedencia:** Yacimiento arqueológico de Rodén, (Zaragoza)

**Ubicación:** Museo de Zaragoza

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Andalusí

**Año:** Siglos XI -XIV

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-38



### ❖ **Descripción macroscópica o visu**

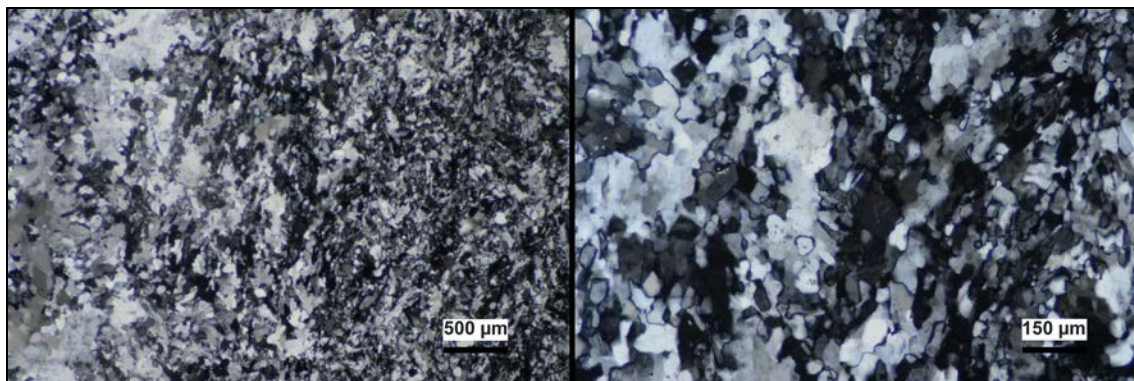
Alabastro blanco, de aspecto compacto con un grado de translucido medio. En las zonas más lisas de la pieza, se ven nódulos con morfología romboidal de 3 cm de longitud. Sin presencia de arcillas.



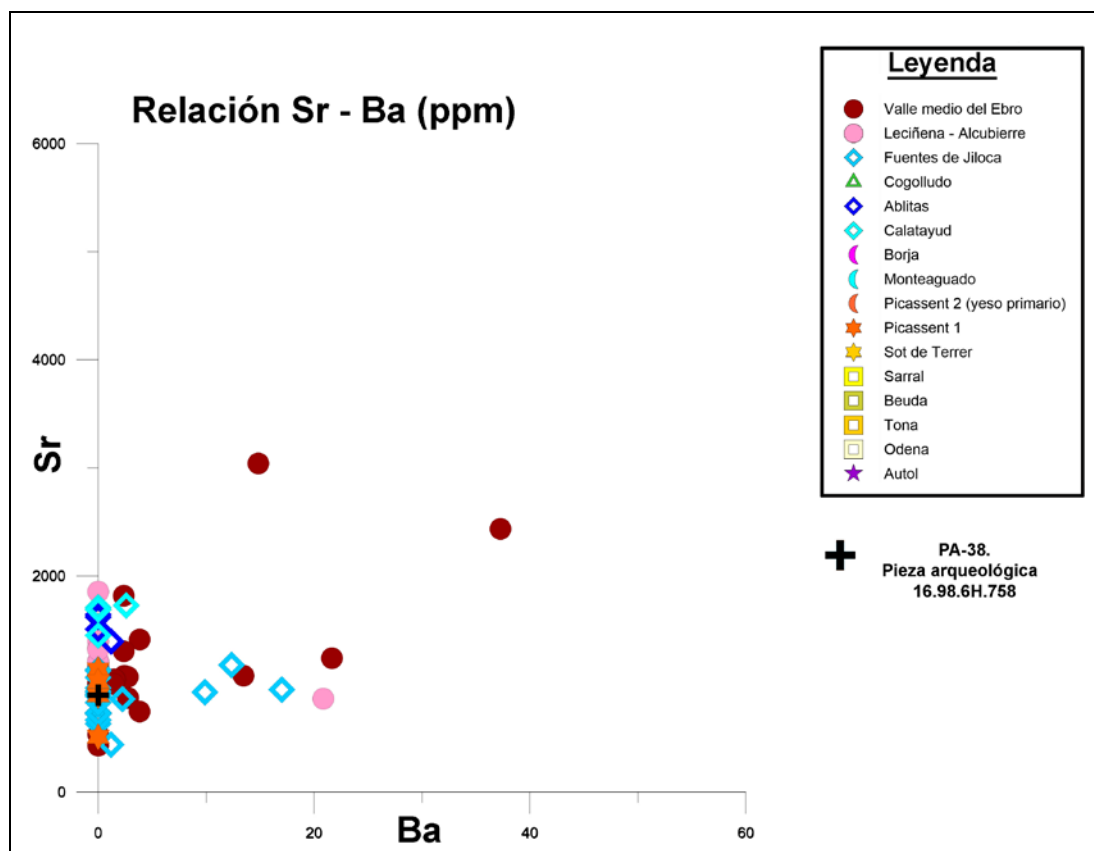
### ❖ **Descripción petrográfica**

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina y textura alabastrina C.E.N.U. representada la primera por un 49% del total y la textura C.E.N.U. por un 30%, siendo el tamaño de los cristales entre 800 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para textura microcristalina, siendo los MGS 0.8 mm, con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. También podemos ver cristales de celestina entre el 2% que pueden alcanzar tamaños de 100  $\mu\text{m}$  los cuales pueden aparecer tanto agrupados en forma de gavilla como dispersos y los son cristales esqueletales. En el caso de la anhidrita se aprecia su presencia como relicto

principalmente en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando un 1% del total y con tamaños oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .



### ❖ Análisis geoquímica



Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (898,64, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**, en concreto con la **variedad Fuentes de Ebro**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Fanlo Loras, J., Picazo Millán, J. V. and Soro Gayán, A. (2018) ‘Un taller de vasos de alabastro de época andalusí en Rodén (Fuentes de Ebro, Zaragoza)’, in Morte García, C. (ed.) *Usos artísticos del alabastro y procedencia del material. Actas I Congreso Internacional*. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza, pp. 499–520.



## **Pieza arqueológica 16.98.5H.722**

**Procedencia:** Yacimiento arqueológico de Rodén, (Zaragoza)

**Ubicación:** Museo de Zaragoza

**Localidad:** Zaragoza

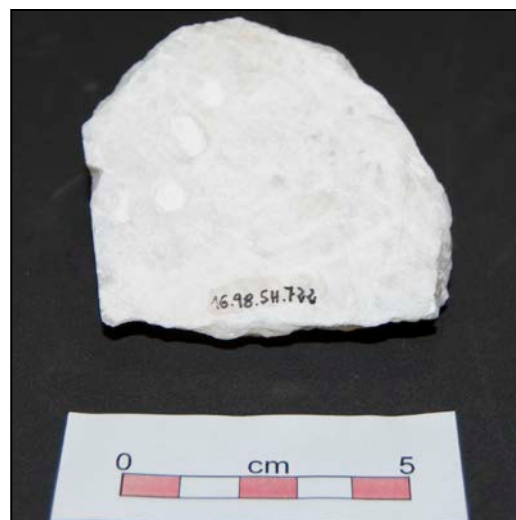
**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Andalusí

**Año:** Siglos XI -XIV

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-39



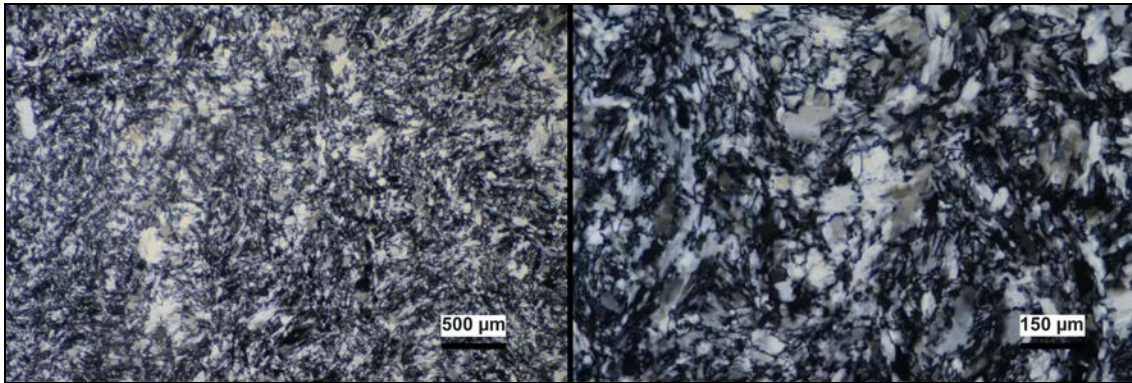
### ❖ **Descripción macroscópica o visu**

Alabastro blanco, de aspecto compacto con un grado de translucido medio. No se llegan a distinguir estructuras internas, como nódulos, debido a la superficie irregular que presenta la pieza. Sin presencia de arcillas.

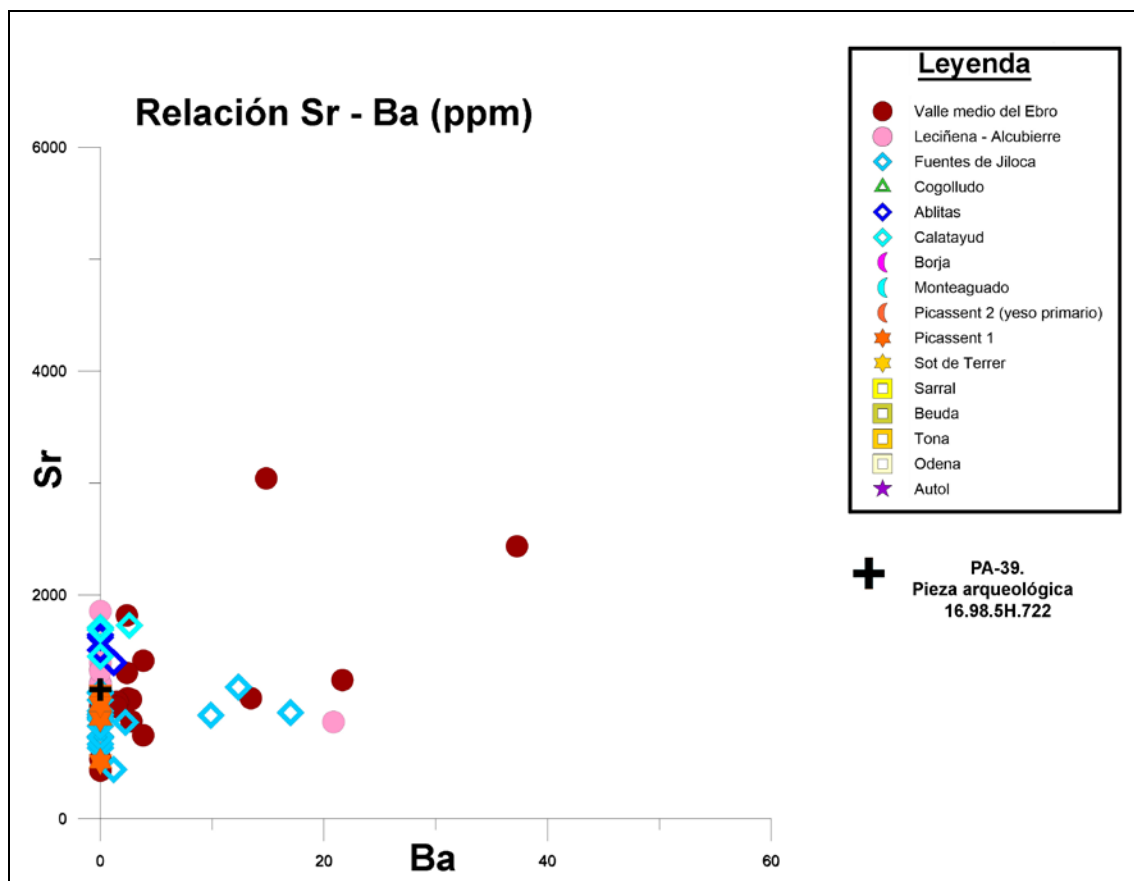


### ❖ **Descripción petrográfica**

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina y textura alabastrina C.E.N.U. representada la primera por un 49% del total y la textura C.E.N.U. por un 30%, siendo el tamaño de los cristales entre 800 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para textura microcristalina, siendo los MGS 0.8 mm, con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. También podemos ver cristales de celestina entre el 2% que pueden alcanzar tamaños de 100  $\mu\text{m}$  los cuales son cristales esqueléticos. En el caso de la anhidrita se aprecia su presencia como relicto principalmente en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando un 1% del total y con tamaños oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .



## ❖ Análisis geoquímica



Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (1156,76, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**, en concreto con la **variedad Fuentes de Ebro**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Fanlo Loras, J., Picazo Millán, J. V. and Soro Gayán, A. (2018) 'Un taller de vasos de alabastro de época andalusí en Rodén (Fuentes de Ebro, Zaragoza)', in Morte García, C. (ed.) *Usos artísticos del alabastro y procedencia del material. Actas I Congreso Internacional*. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza, pp. 499–520.

## **Adoración de los Reyes Magos**

**Procedencia:** Monasterio de Santa Engracia, Zaragoza. Desaparecido.

**Ubicación:** Museo de Zaragoza (9203)

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** Damián Forment

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** ca. 1517 - 1519

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-22



### ❖ **Descripción macroscópica o visu**

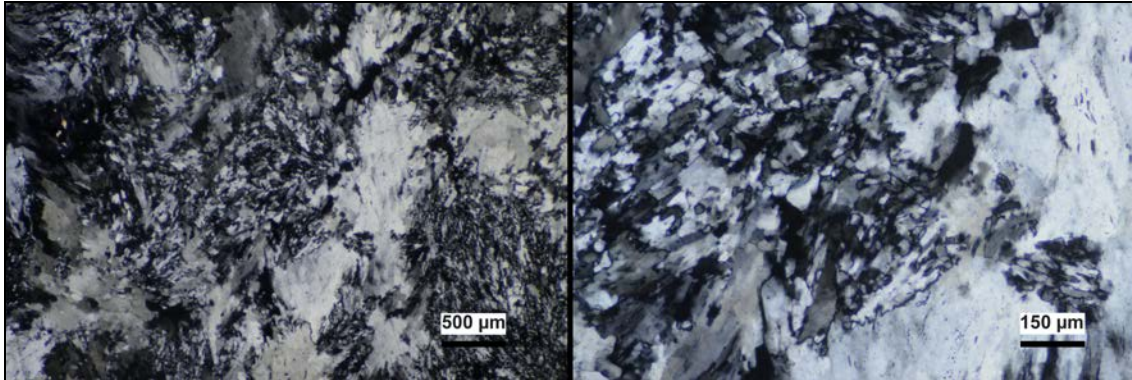
Alabastro blanco. Presenta signos de “calcinación” y disolución, resultado de la exposición durante un intervalo de tiempo prolongado a la luz solar y la lluvia. Por este motivo ha perdido la característica translucidez del alabastro. Se observan grietas en la pieza, causadas por la recristalización del mismo, y en varios puntos hay pérdida de material.



### ❖ **Descripción petrográfica**

Mosaico microcristalino en el que domina las texturas alabastrinas microcristalina y C.E.N.U., en el primer caso representa un 40% del total y la C.E.N.U. con un 40%, el tamaño de los cristales es de 800 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para microcristalina, siendo los MGS 0.8 mm, con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. También podemos ver cristales de celestina entre

el 2% que pueden alcanzar tamaños de 60  $\mu\text{m}$  y parecen tanto agrupados como dispersos, pero en todos los casos son cristales esqueléticos. La anhidrita se encuentra como relicto principalmente en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando de un 1% del total y tamaños oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos los casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Morte-García, Carmen. “Damián Forment. “Adoración de los reyes Magos. Padre Eterno”. En: *El esplendor del Renacimiento en Aragón*: Museo de Bellas Artes de Bilbao: junio, septiembre de 2009; Museo de Bellas Artes de Valencia: octubre de 2009, enero de 2010; Museo de Zaragoza: febrero, abril de 2010. Zaragoza (m): Gobierno de Aragón; Museo de Bellas Artes de Bilbao, Generalitat Valenciana, 2009. pp. 164-165.



## *Figura tenante con las armas de Carlos I*

**Procedencia:** Sepulcro de Juan Selvagio, Gran Canciller de Aragón, en la iglesia del Monasterio de Santa Engracia

**Ubicación:** Museo de Zaragoza (9201)

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** Alonso Berruguete y Felipe Bigarny

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** 1520

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-57



### ❖ Descripción macroscópica o visu

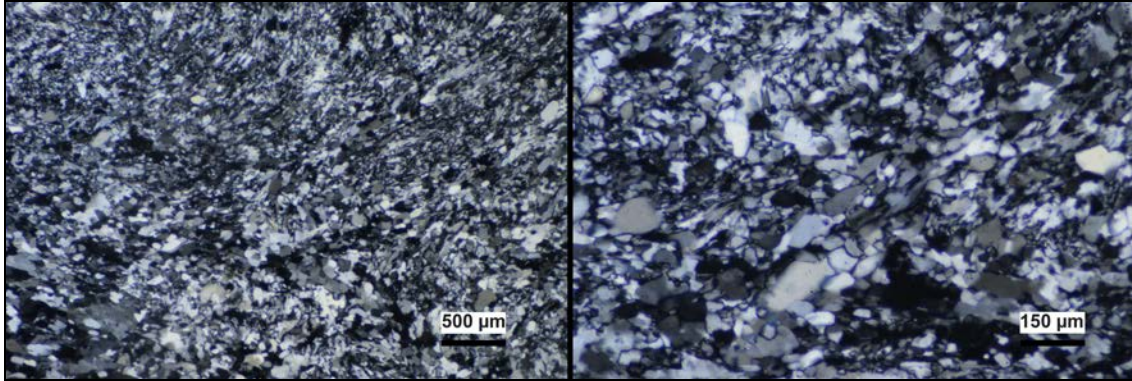
Alabastro blanco, de aspecto compacto, grado de translucidez alto. Hay zonas donde puede haber nódulos de escala centimétrica. Escasa o ausente presencia de arcillas. Presencia de estilolitos, que cortan el paso de la luz. Hay zonas de color marrón rojizo, posiblemente debido a la capa de barniz, que dificulta la apreciación del color original del alabastro.



### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina y textura alabastrina C.E.N.U. la primera representa el 45% del total y la C.E.N.U. un 35% con un rango de tamaño de cristales entre 800 y 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 50  $\mu\text{m}$ , siendo el MGS 0.8 mm, los cristales tienen hábitos equidimensionales y contactos cóncavo - convexos. También podemos ver cristales de celestina el 2% que pueden alcanzar tamaños de 150  $\mu\text{m}$ , aparecen agrupados o dispersos pero en todos los

casos son cristales esqueléticos. La anhidrita podemos encontrarla principalmente como relicto en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando un 1% del total y con tamaños que oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Arias Martínez, Manuel. *Alonso Berruguete. Prometeo de la escultura*, Diputación de Palencia, 2011. Página 75.

## **Retablo de Visitación**

**Ubicación:** Catedral de Sta M<sup>a</sup> de la Huerta.  
Capilla y retablo de la Visitación (lado del evangelio)

**Localidad:** Tarazona (Zaragoza)

**Autor:** Discípulo de Damián Forment.

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** 1523 - 1525

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-56



### ❖ Descripción macroscópica o visu

Alabastro blanco, de aspecto compacto, grado de translucido alto. Debido a la policromía y la suciedad no es posible llegar a apreciar estructuras internas.

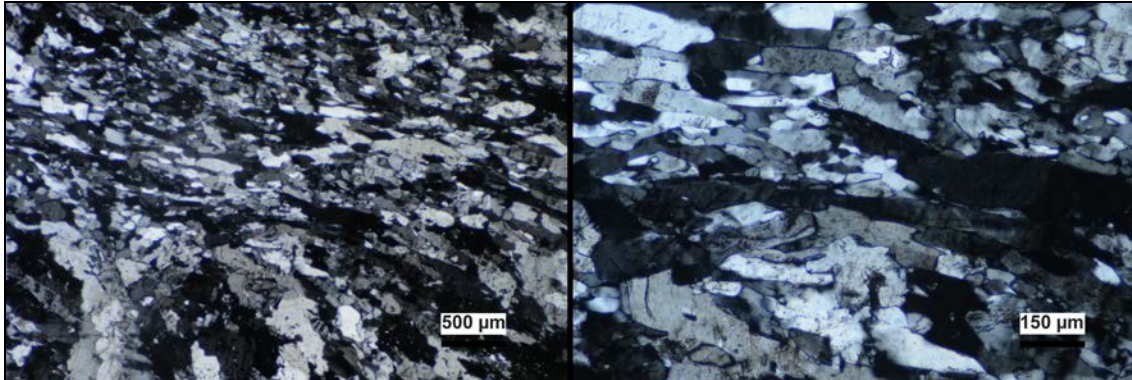


### ❖ Descripción petrográfica

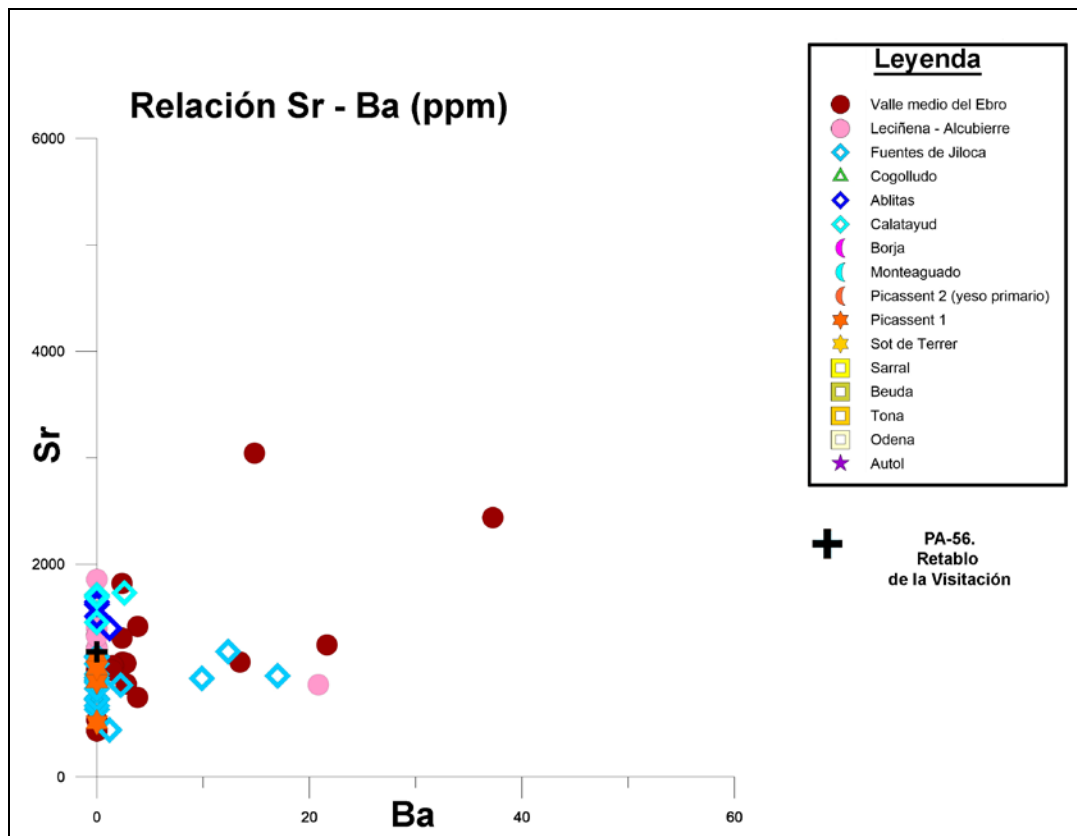
Mosaico microcristalino en el cual domina la textura alabastrina, los cristales del tipo microcristalina son el 58% del total con tamaños que van desde las 100 hasta 30  $\mu\text{m}$ , los del tipo subidiomorfa son el 15% de los cristales y sus dimensiones varían entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y el 20% corresponden al tipo C.E.N.U. con dimensiones de 2 y 0.4 mm. Estos cristales tienen hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexo e incluso rectos. El MGS para C.E.N.U. es de 2 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales. Hay anhidrita relictas en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 2% alcanzando tamaños de 100 a 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos



y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 2 % cristales de celestina cuyos cristales aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) y sus tamaños oscilan entre 250 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.



### ❖ Análisis geoquímica



Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (1175,96, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (20%), petrografía (50%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del valle medio del Ebro**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Criado Mainar, J. (2013) *La catedral de Santa María de la Huerta de Tarazona*. Diputación Provincial de Zaragoza. Página 160

## *Sepulcro del Vicecanciller Antonio Agustín*

**Procedencia:** Capilla de San Jerónimo del Monasterio de Santa Engracia, Zaragoza. Desaparecido.

**Ubicación:** Museo de Zaragoza (11162)

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** Gil Morlanes “El Joven”

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** h. 1527

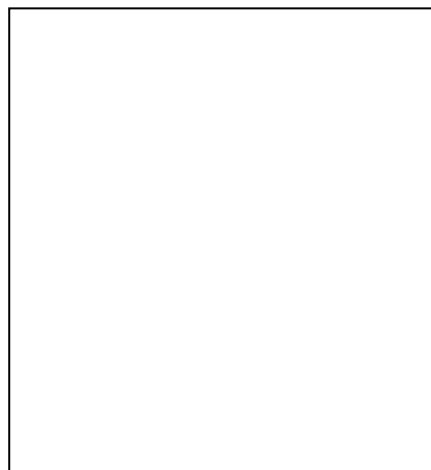
**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-24



### ❖ Descripción macroscópica o visu

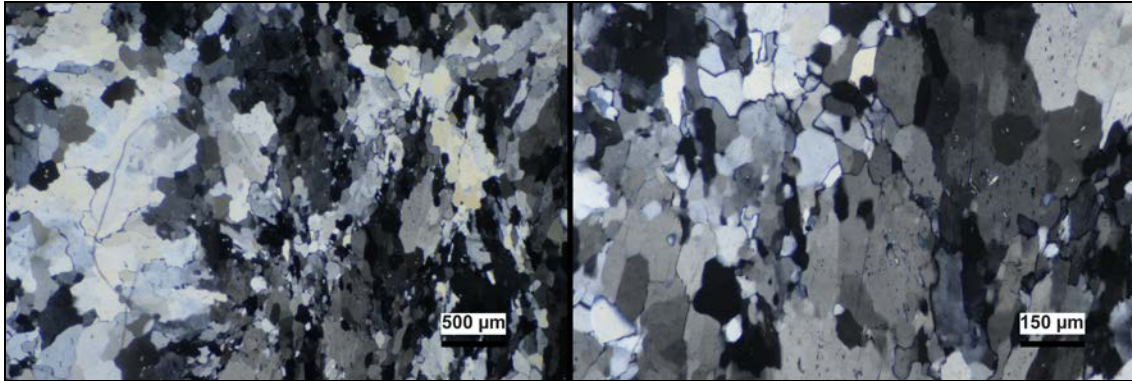
Alabastro blanco, hay venas de arcilla de color gris. Presenta signos de “calcinación” y disolución, resultado de la exposición durante un intervalo de tiempo prolongado a la luz solar y la lluvia. Por este motivo ha perdido la característica translucidez del alabastro. Se observan grietas en la pieza, causadas por la recristalización del mismo, y en varios puntos hay pérdida de material.



### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el que domina las texturas alabastrinas microcristalina y C.E.N.U., en el primer caso representa un 40% del total y la C.E.N.U. con un 40%, el

tamaño de los cristales es de 800 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para microcristalina, siendo los MGS 0.8 mm, con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. También podemos ver cristales de celestina entre el 2% que pueden alcanzar tamaños de 60  $\mu\text{m}$  y parecen tanto agrupados como dispersos, pero en todos los casos son cristales esqueléticos. La anhidrita se encuentra como relicto principalmente en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando de un 1% del total y tamaños oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos los casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Beltrán Lloris, M. *et al.* (2003) *Guía del museo de Zaragoza*. Ed: M. Beltrán Lloris y J. Á. Paz Peralta. Zaragoza: Gobierno de Aragón, Departamento de Cultura y Turismo. Página 198.

## *Columna tallada de Ntra. Sra. del Portillo*

**Procedencia:** Iglesia de Nuestra Señora del Portillo

**Ubicación:** Museo de Zaragoza (11175)

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** Gil Morlanes “El Joven”

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** h. 1527 - 1529

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-25



### ❖ Descripción macroscópica o visu

Alabastro blanco, de aspecto compacto. Aunque presenta signos de “calcinación”, resultado de la exposición directa a la luz solar. Se aprecian estructuras nódulares con geometrías romboidales de 1 a 3 cm de longitud. Debido a la recristalización del alabastro no es posible ver la translucidez del mismo.

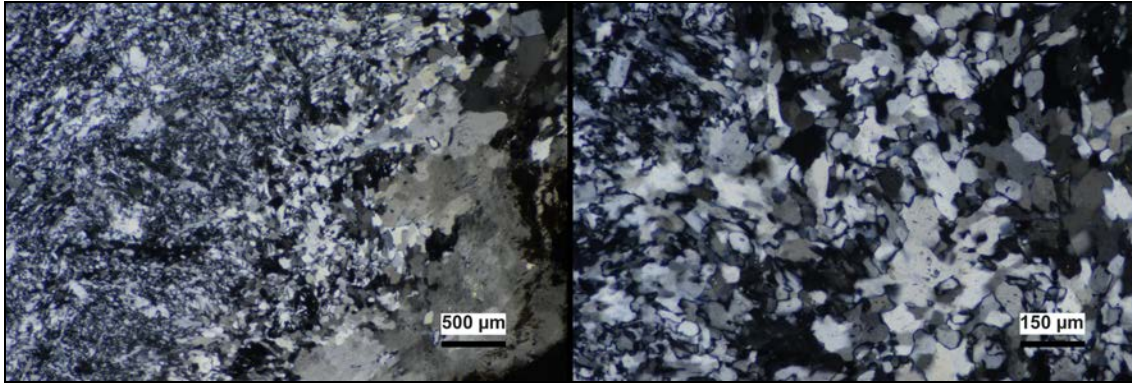


### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina y textura alabastrina C.E.N.U. la primera representa el 45% del total y la C.E.N.U. un 35% con un rango de tamaño de cristales entre 800 y 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 50  $\mu\text{m}$ , siendo el MGS 0.8 mm, los cristales tienen hábitos equidimensionales y contactos cóncavo - convexos. Hay presencia de un 10% de porfidoblastos que llegan a alcanzar 1.2 mm y destacan por la abundante presencia de relictos de anhidrita en su interior. También podemos ver cristales de celestina el 2% que pueden alcanzar tamaños de 150  $\mu\text{m}$ , aparecen agrupados en forma de gavilla o dispersos pero en todos los casos



son cristales esqueléticos. La anhidrita podemos encontrarla principalmente como relicto en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando un 1% del total y con tamaños que oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Hermoso Cuesta, Miguel. "Gil Morlanes, el Joven. "Pareja de columnas". En: *El esplendor del Renacimiento en Aragón*: Museo de Bellas Artes de Bilbao: junio, septiembre de 2009; Museo de Bellas Artes de Valencia: octubre de 2009, enero de 2010; Museo de Zaragoza: febrero, abril de 2010. Zaragoza (m): Gobierno de Aragón; Museo de Bellas Artes de Bilbao, Generalitat Valenciana, 2009. Página 179.

## **Presentación de la Virgen niña en el templo**

**Procedencia:** Retablo de Santa Ana del Real monasterio de Sijena, Huesca

**Ubicación:** Museo de Zaragoza.

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** Gabriel Joly

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** h. 1529

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-41



### ❖ **Descripción macroscópica o visu**

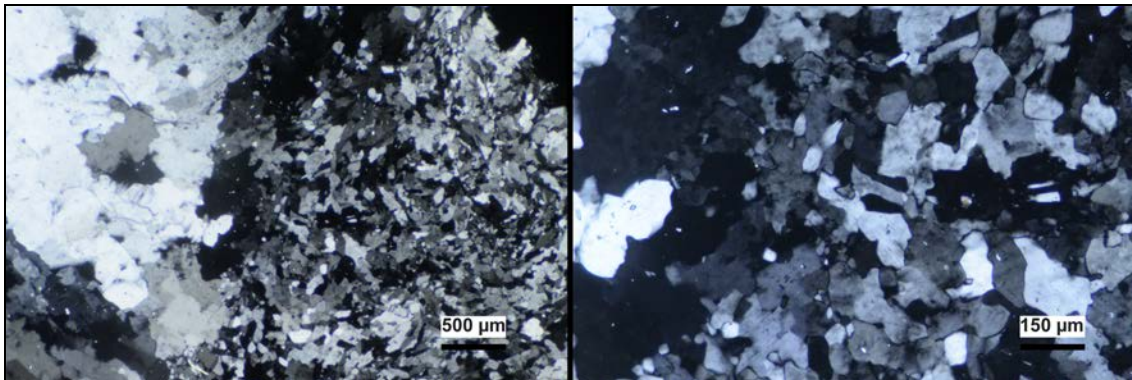
Alabastro blanco, de aspecto compacto, grado de translucido alto. Escasa presencia de nódulos con geometrías circulares que no superan el centímetro de diámetro. Sin presencia de arcillas. Se pueden observar estilolitos, que cortan el paso de la luz. Se conserva gran parte de la policromía de la pieza.



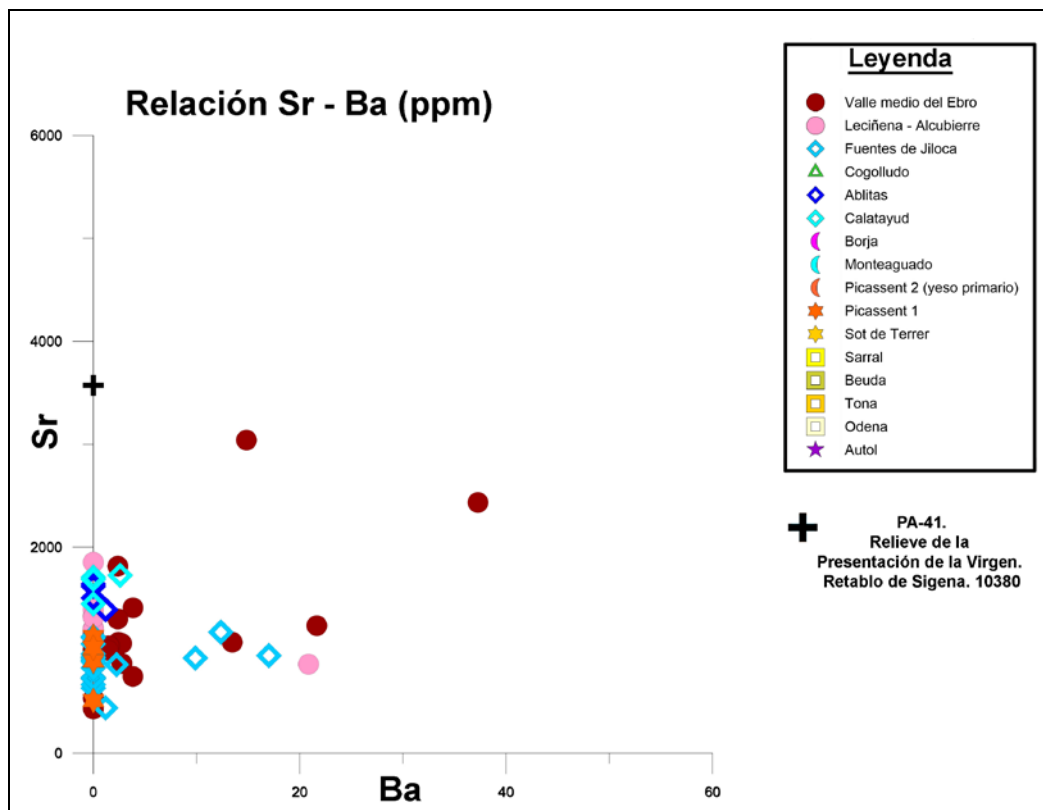
### ❖ **Descripción petrográfica**

Mosaico microcristalino en el que domina las texturas alabastrinas microcristalina y C.E.N.U., en el primer caso representa un 40% del total y la C.E.N.U. con un 40%, el tamaño de los cristales es de 800 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para microcristalina, siendo los MGS 0.8 mm, con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. También podemos ver cristales de celestina entre el 2% que pueden alcanzar tamaños de 60  $\mu\text{m}$  y parecen tanto agrupados como dispersos, pero en todos los casos son cristales esqueletales. La anhidrita se encuentra

como relicto principalmente en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando de un 1% del total y tamaños oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .



### ❖ Análisis geoquímica



Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (3573,89, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso*”



*alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*". Los valores obtenidos son superiores a los hallados en las muestras del Valle medio del Ebro, esta desviación de los valores medios se puede deber a contaminaciones presentes en la muestra a causados por los productos utilizados sobre la pieza.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

## ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos, salvo en para los valores de geoquímica, las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**.

## ❖ Referencia bibliográfica

Morte García, C., 2018. "El alabastro piedra blanca y muy bella", signo de identidad de Aragón", in: Morte García, C. (Ed.), *Usos artísticos del alabastro y procedencia del material*. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 23–70. Página 29.

## *Sepulcro del deán Lope Conchillos*

**Ubicación:** Catedral de Sta M<sup>a</sup> de la Huerta. Capilla de la Inmaculada y del Crucifijo.

**Localidad:** Tarazona (Zaragoza)

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** 1535

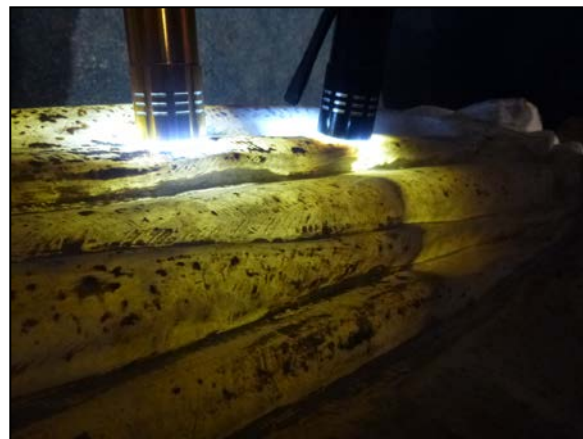
**Cantera:** ¿Fuentes de Jiloca? o ¿Ablitas?

**Muestra:** PA-53



### ❖ Descripción macroscópica o visu

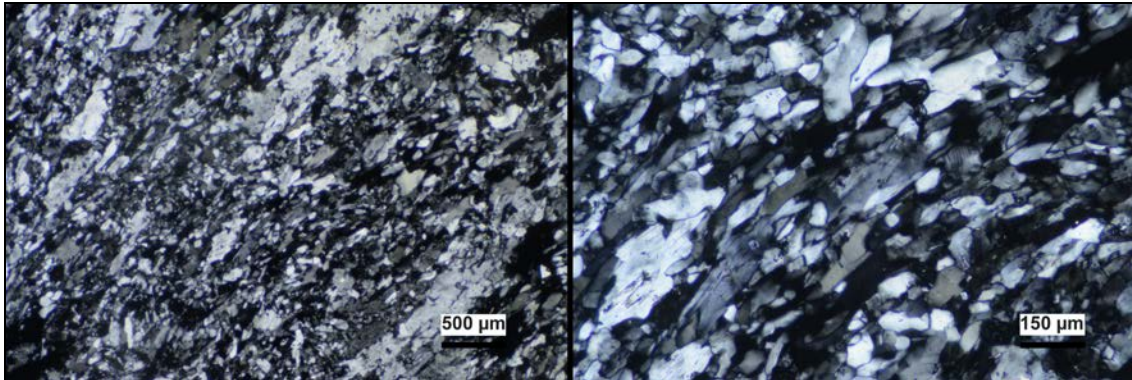
Alabastro blanco, de aspecto compacto, grado de translucido alto. No se aprecian estructuras internas. Escasa o ausente presencia de arcillas. Presencia de fractura, tanto planares como irregulares, estilolitos, que cortan el paso de la luz.



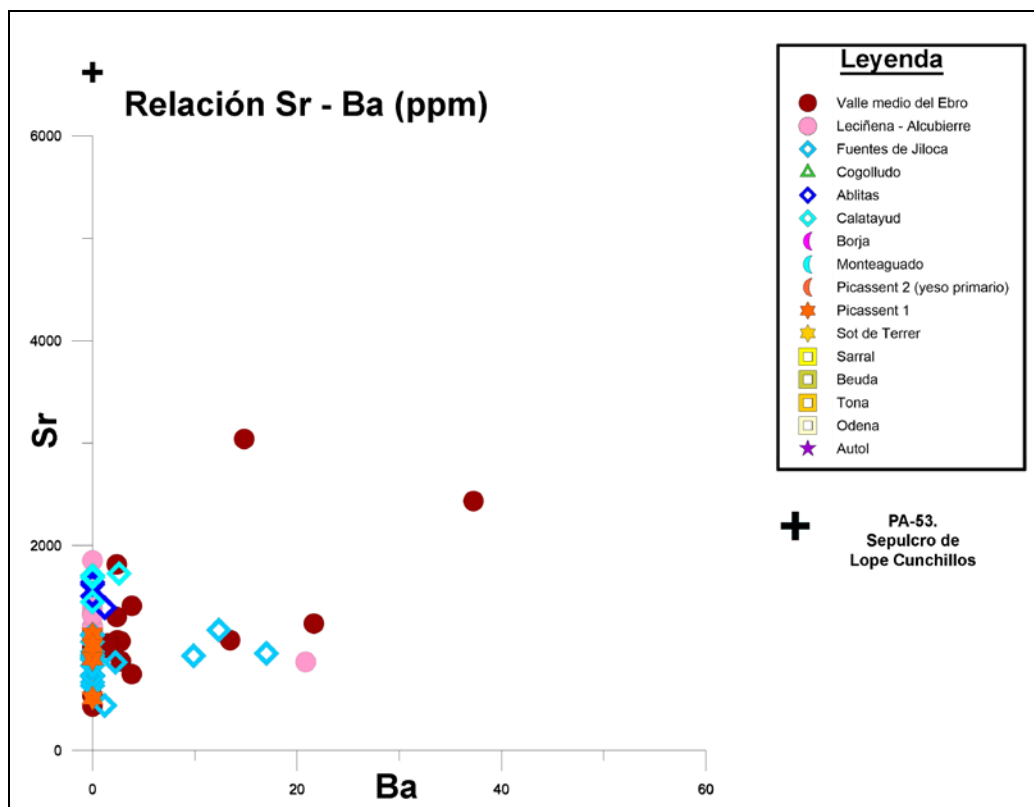
### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el cual domina la textura alabastrina, los cristales del tipo microcristalina son el 58% del total con tamaños que van desde las 100 hasta 30  $\mu\text{m}$ , los del tipo subidiomorfa son el 15% de los cristales y sus dimensiones varían entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y el 20% corresponden al tipo C.E.N.U. con dimensiones de 2 y 0.4 mm. Estos cristales tienen hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexo e incluso rectos. El

MGS para C.E.N.U. es de 2 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales. Hay anhidrita relictica en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 2% alcanzando tamaños de 100 a 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 2 % cristales de celestina cuyos cristales aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) y sus tamaños oscilan entre 250 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.



### ❖ Análisis geoquímica



Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (6620,58, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”. El valor obtenido para las concentraciones de Sr es demasiado elevado para que podamos considerarlo para determinar su procedencia, son se ajusta a los valores calculados para este tipo de facies.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos, salvo para los valores de geoquímica, las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Fuentes de Jiloca**, en concreto con la **variedad Blanca** o con las **canteras de Ablitas**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Criado Mainar, J. (2013) *La catedral de Santa María de la Huerta de Tarazona*. Diputación Provincial de Zaragoza. Página 161

## ***Sepulcro del obispo Gonzalo Conchillos***

**Ubicación:** Catedral de Sta M<sup>a</sup> de la Huerta. Capilla de la Inmaculada y del Crucifijo.

**Localidad:** Tarazona (Zaragoza)

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** c.1535

**Cantera:** ¿Fuentes de Jiloca? o ¿Ablitas?

**Muestra:** PA-54



### ❖ **Descripción macroscópica o visu**

Alabastro blanco, de aspecto compacto, grado de translucido alto. No se aprecian estructuras internas. Escasa o ausente presencia de arcillas. Presencia de fractura, tanto planares como irregulares, estilolitos, que cortan el paso de la luz.

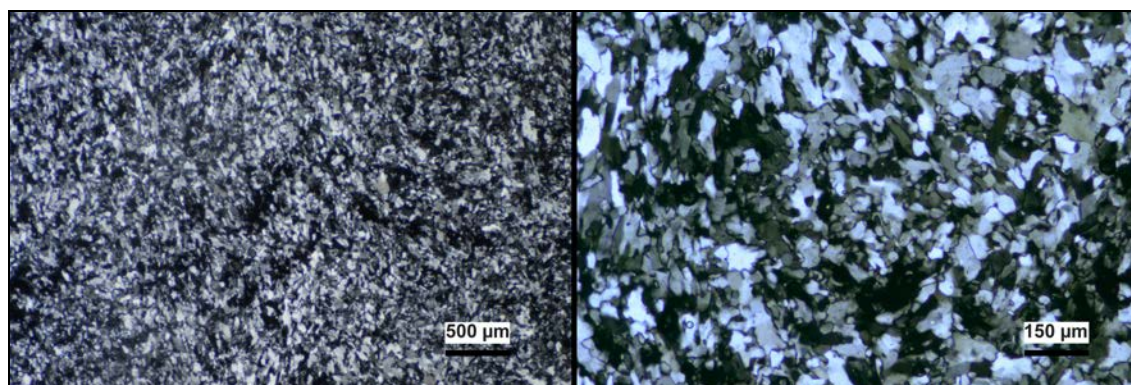


### ❖ **Descripción petrográfica**

Mosaico microcristalino en el cual domina la textura alabastrina, los cristales del tipo microcristalina son el 58% del total con tamaños que van desde las 100 hasta 30  $\mu\text{m}$ , los del tipo subidiomorfa son el 15% de los cristales y sus dimensiones varían entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y el 20% corresponden al tipo C.E.N.U. con dimensiones de 2 y 0.4 mm. Estos cristales tienen hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexo e incluso rectos. El MGS para C.E.N.U. es de 2 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales. Hay anhidrita



relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 2% alcanzando tamaños de 100 a 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 2 % cristales de celestina cuyos cristales aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) y sus tamaños oscilan entre 250 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos casos, salvo para los valores de geoquímica, las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Fuentes de Jiloca**, en concreto con la **variedad Blanca** o con las **canteras de Ablitas**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Criado Mainar, J. (2013) *La catedral de Santa María de la Huerta de Tarazona*. Diputación Provincial de Zaragoza. Página 161

## *Sepulcro del Virrey de Aragón Don Juan de Lanuza*

**Ubicación:** Castillo Calatravo

**Localidad:** Alcañiz (Teruel)

**Autor:** Damián Forment

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** 1537-1538

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-11



### ❖ Descripción macroscópica o visu

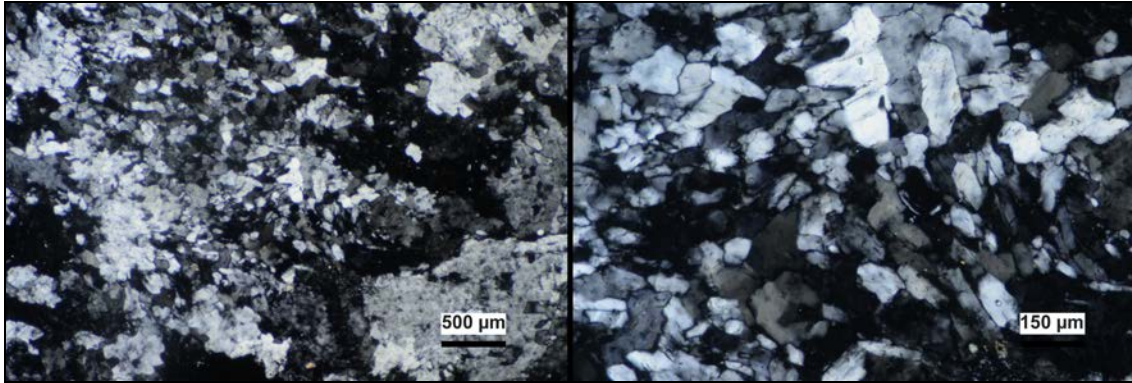
Alabastro de color blanco y apariencia compacta. El grado de translucidez del alabastro es alto. Escasa presencia de venas de arcillas. También se pueden identificar nódulos de morfologías circulares de 1 cm de diámetro y distribución bandeada. Hay zonas que han sido repuestas en restauraciones previas.



### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el que domina las texturas alabastrinas microcristalina y C.E.N.U., en el primer caso representa un 40% del total y la C.E.N.U. con un 40%, el tamaño de los cristales es de 800 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para microcristalina, siendo los MGS 0.8 mm y el MnrGS de 40  $\mu\text{m}$ , con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. Hay presencia de un 10% de porfidoblastos que llegan a alcanzar 6 mm y destacan por la abundante presencia de relictos de anhidrita en su interior. También podemos ver cristales de celestina entre el 2% que pueden alcanzar tamaños de 60  $\mu\text{m}$  y parecen tanto agrupados

como dispersos, pero en todos los casos son cristales esqueléticos. La anhidrita se encuentra como relicto principalmente en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando de un 1% del total y tamaños oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Morte-García, C. (2019) *Al modo romano. El monumento funerario de Damián Forment para el virrey Juan de Lanuza en el castillo de Alcañiz*. Instituto de Estudios Turolenses.



## *Columnas entrepaños y friso*

**Procedencia:** Casa de los diputados del Reino de Aragón en Zaragoza.

**Ubicación:** Museo de Zaragoza (11156)

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** René Troyanus

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** 1539

**Cantera:** Borja

**Muestra:** PA-23



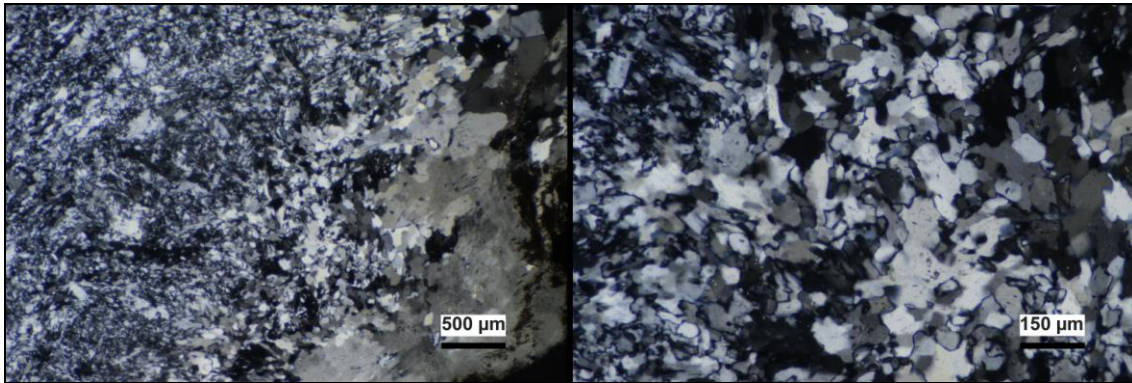
### ❖ Descripción macroscópica o visu

Alabastro marrón, de aspecto compacto, no tiene translucidez. En él se observan nódulos de color más claro con geometría circular y entre 1 y 2 cm de diámetro. Sobre la pieza se han llevado a cabo algún tipo de restauración, ya que es posible apreciar la presencia de una material de color marrón rellenando grietas en un lateral de la columna.

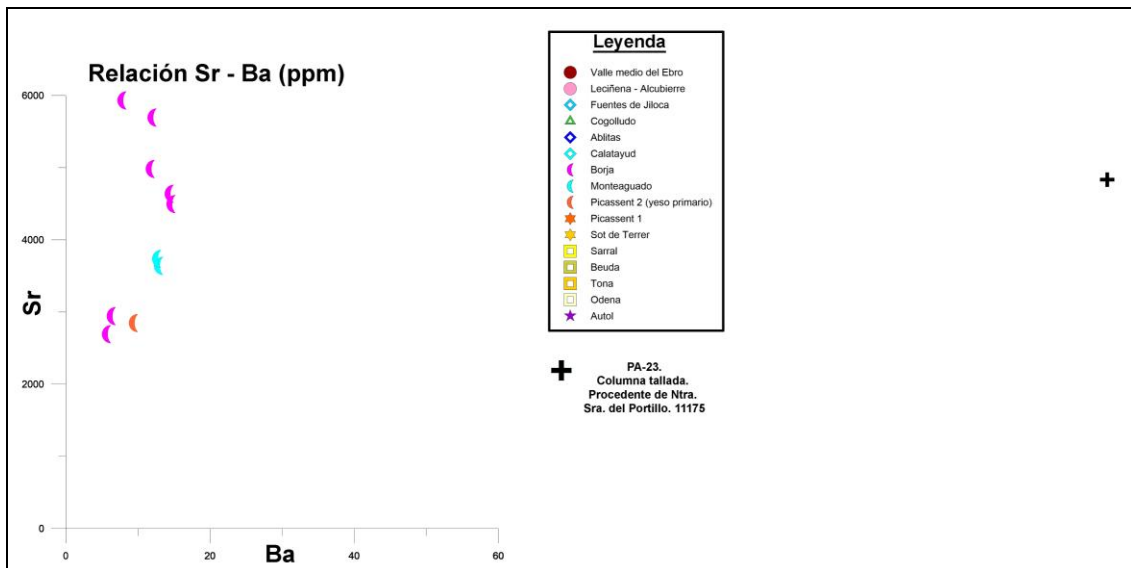


### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico cristalino en el que dominan los cristales de yeso lenticular representando un 75% del total con tamaños que van desde 500 a 50  $\mu\text{m}$ . Podemos encontrar también cristales de yeso recristalizado 5% con tamaños de 200 a 30  $\mu\text{m}$ . Destacar la presencia de carbonatos que puede ser de hasta un 15% del total con tamaños de 60 a 5  $\mu\text{m}$ , su composición es calcítica ya que al teñir con alizarina las muestras aparecen los cristales de color rojo, en algunos casos incluso actúa como matriz englobando los cristales de yeso lenticular. Y en relación con los carbonatos hay cristales de celestina un 5% cuya longitud puede ser de 80 a 5  $\mu\text{m}$ .



## ❖ Análisis geoquímica



Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (4833,46, 144,46), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso lenticular*”. Los valores obtenidos están fuera del dominio de las concentraciones máximas y mínimas obtenidas para estas facies, este resultado puede deberse a una contaminación de la muestra, al examinar la pieza pudimos ver que se habían aplicado productos para consolidar la columna.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
Monteagudo	3639.21	3735.99	12.61	12.86
Borja	2693.11	5931.01	5.64	14.58
Picassent 2	2846.39	2846.39	9.37	9.37

## ❖ **Procedencia del material**

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos, salvo en geoquímica, las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Borja**.

## ❖ **Referencia bibliográfica**

Beltrán Lloris, M. *et al.* (2003) *Guía del museo de Zaragoza*. Ed: M. Beltrán Lloris y J. Á. Paz Peralta. Zaragoza: Gobierno de Aragón, Departamento de Cultura y Turismo. Página 196.

## **Cabeza de Cristo**

**Ubicación:** Colección particular. Adquirida en mercado del arte.

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** ¿Alonso Berruguete?

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** ca. 1540 - 1550

**Cantera:** Cogolludo

**Muestra:** PA-35



### ❖ **Descripción macroscópica o visu**

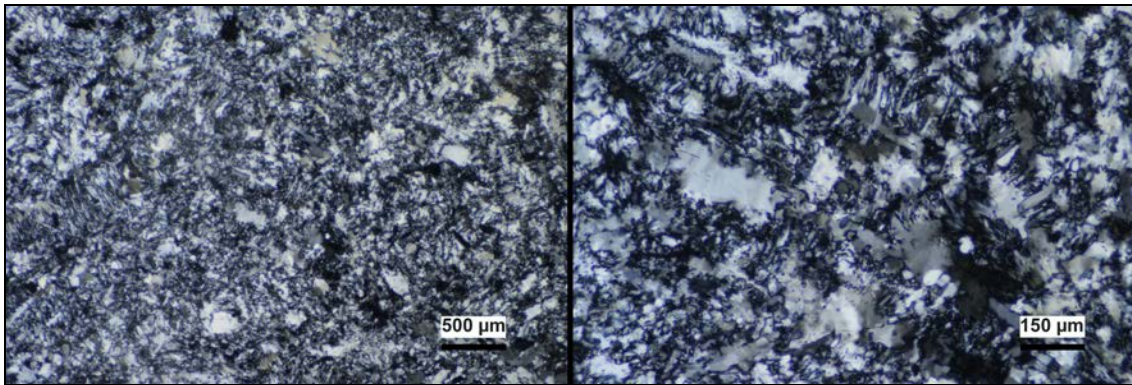
Alabastro color blanco y aspecto compacto y con grado de translucido medio. Se observan estructuras nodulares con geometrías alargadas y dimensiones 2 a 5 cm. No hay presencia de venas de arcillas. Solo se conserva la cabeza de la escultura, en ella se ven machas de color marrón rojizo posiblemente por la oxidación, no son propias del alabastro.



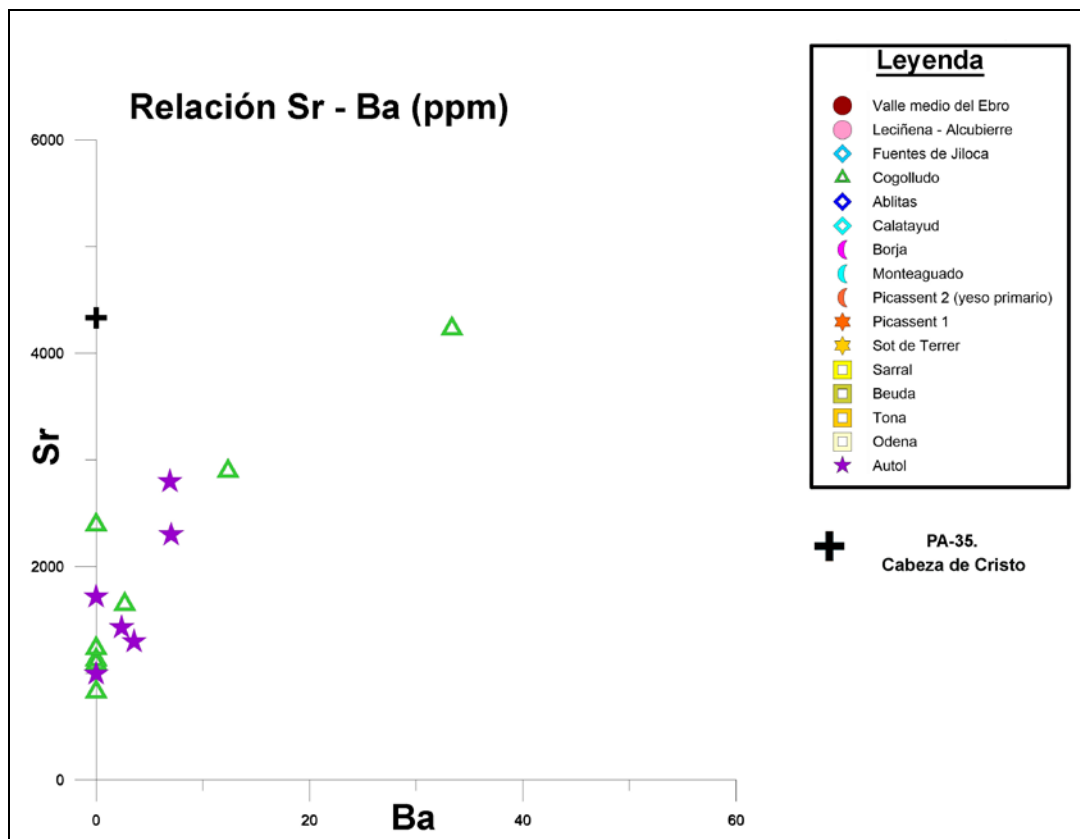
### ❖ **Descripción petrográfica**

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina, siendo los cristales entre el 25% al 45% del tipo microcristalina con tamaños entre de 100 a 20  $\mu\text{m}$ , del tipo subidiomorfa entre un 27% al 35% con tamaños entre de 400 a 100  $\mu\text{m}$  y del 15 al 20% son del tipo C.E.N.U. con dimensiones de 1.5 a 0.4 mm, con hábitos alotriomorfos y contactos entre los bordes de los cristales suturados, el MGS para C.E.N.U. es de 1.5 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una

orientación preferente dentro de los cristales. Hay anhidrita relictas en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica entre un 2 a 5 %, alcanzando tamaños entre 240 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 3 % cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados en forma de gavilla como aislados cuyos tamaños oscilan entre 100 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.



### ❖ Análisis geoquímica



Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (4334,30, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina idiomorfa o en gavilla*”. La muestra se encuentra en el límite del dominio establecido para las muestras de cogolludo.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
Autol	995.88	2799.11	0	7.03
Cogolludo	829.64	4232.66	0	33.35

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las canteras de Cogolludo.

### ❖ Referencia bibliográfica

Inédita



## *Sepulcro del deán Miguel de Erla y Añón*

**Ubicación:** Catedral de Sta M<sup>a</sup> de la Huerta.  
Capilla de San Pedro y San Pablo.

**Localidad:** Tarazona (Zaragoza)

**Autor:** Pierres del Fuego

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** 1550

**Cantera:** ¿Fuentes de Jiloca? o ¿Ablitas?

**Muestra:** PA-55



### ❖ Descripción macroscópica o visu

Alabastro blanco, de aspecto compacto, grado de translucido alto. No se aprecian estructuras internas. Escasa o ausente presencia de arcillas. Presencia de fractura, tanto planares como irregulares, estilolitos, que cortan el paso de la luz.



### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el cual domina la textura alabastrina, los cristales del tipo microcristalina son el 58% del total con tamaños que van desde las 100 hasta 30  $\mu\text{m}$ , los del tipo subidiomorfa son el 15% de los cristales y sus dimensiones varían entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y el 20% corresponden al tipo C.E.N.U. con dimensiones de 2 y 0.4 mm. Estos cristales tienen hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexo e incluso rectos. El MGS para C.E.N.U. es de 2 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales. Hay anhidrita relictas en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y





Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (1128,16, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Fuentes de Jiloca**, en concreto con la **variedad Blanca** o con las **canteras de Ablitas**.

### ❖ Referencias bibliográficas

Criado Mainar, J. (1996) *Las artes plásticas del Segundo Renacimiento en Aragón. Pintura y escultura*. Centro de Estudios Turiasonenses. Páginas 229 - 232.

Criado Mainar, J. (2013) *La catedral de Santa María de la Huerta de Tarazona*. Diputación Provincial de Zaragoza. Página 160

## ***Sepulcro del obispo Don Pedro del Frago***

**Ubicación:** Iglesia de San Andrés

**Localidad:** Uncastillo (Zaragoza)

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** h. 1584

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-42

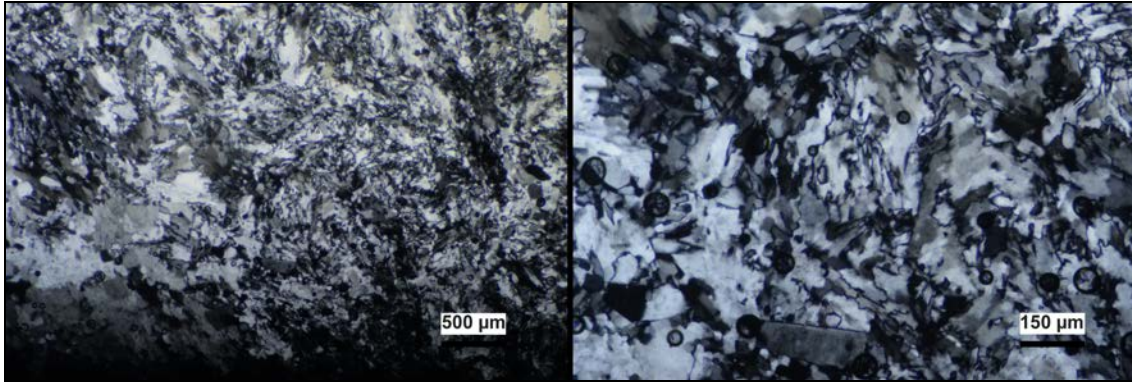


### ❖ **Descripción macroscópica o visu**

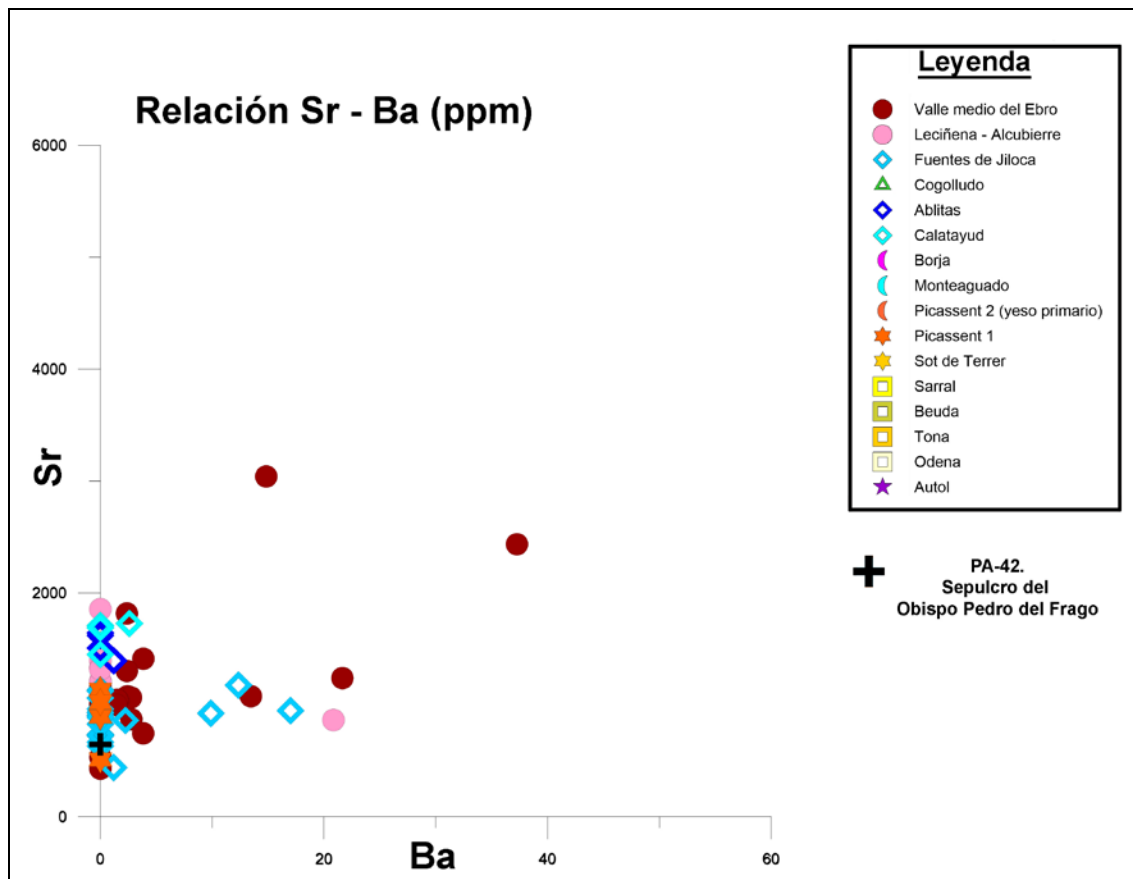
Alabastro blanco, de aspecto compacto y grado de translucidez alto.

### ❖ **Descripción petrográfica**

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina y textura alabastrina C.E.N.U. la primera representa el 45% del total y la C.E.N.U. un 35% con un rango de tamaño de cristales entre 800 y 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 50  $\mu\text{m}$ , siendo el MGS 0.8 mm, los cristales tienen hábitos equidimensionales y contactos cóncavo - convexos. Hay presencia de un 10% de porfidoblastos que llegan a alcanzar 1.2 mm y destacan por la abundante presencia de relictos de anhidrita en su interior. También podemos ver cristales de celestina el 2% que pueden alcanzar tamaños de 150  $\mu\text{m}$ , aparecen agrupados en forma de gavilla o dispersos pero en todos los casos son cristales esqueléticos. La anhidrita podemos encontrarla principalmente como relictos en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando un 1% del total y con tamaños que oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .



## ❖ Análisis geoquímica



Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (649,36, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las canteras del Valle medio del Ebro.

### ❖ Referencia bibliográfica

Morte-García, C., 1984. "La iglesia de San Andrés de Uncastillo (Zaragoza), edificio funerario del siglo XVI del obispo Pedro del Frago". *Artigrama*, 1. 147 - 176 pp.

## *San Miguel Arcángel*

**Procedencia:** Basílica de Nuestra Señora del Pilar.

**Ubicación:** Museo de tapices de la Seo

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** Atribuido a Domingo de Yarza

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** ca. 1588 - 1589

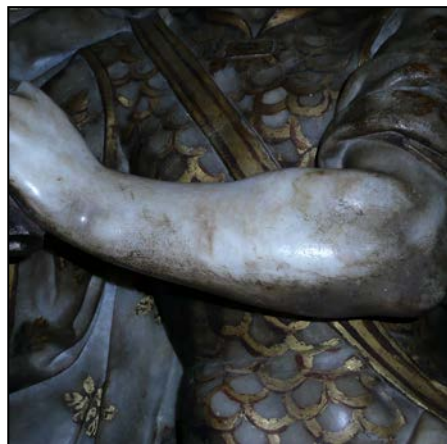
**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-18



### ❖ Descripción macroscópica o visu

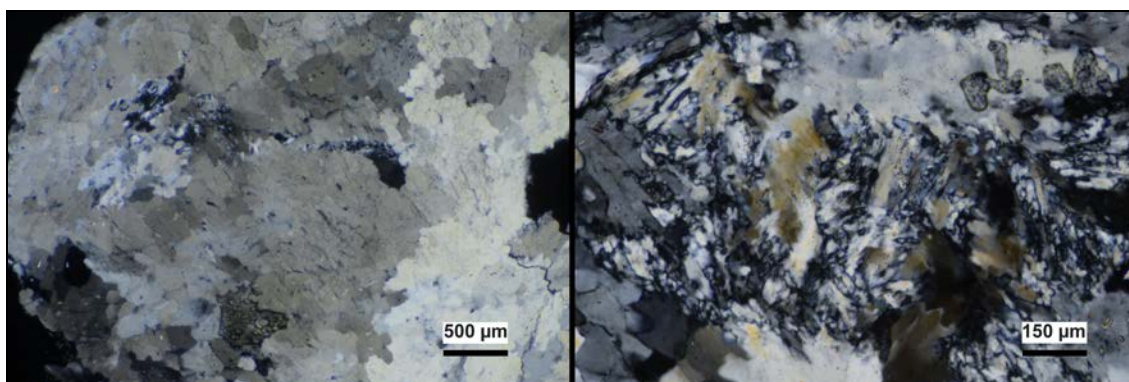
Alabastro de color blanco, aspecto compacto. Su grado de translucidez es alto. Como estructuras internas se aprecian nódulos romboidales con dimensiones entre 1 a 3 cm. La pieza presenta policromía, y una capa mezcla de barniz y suciedad que impide ver el color real del alabastro.



### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el que domina las texturas alabastrinas microcristalina y C.E.N.U., en el primer caso representa un 40% del total y la C.E.N.U. con un 40%, el tamaño de los cristales es de 800 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para microcristalina, siendo los MGS 0.8 mm, con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. También podemos ver cristales de celestina entre el 2% que pueden alcanzar tamaños de 60  $\mu\text{m}$  y parecen tanto agrupados como dispersos, pero en todos los casos son cristales esqueletales. La anhidrita se encuentra

como relicto principalmente en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando de un 1% del total y tamaños oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .



## ❖ Procedencia

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**.

## ❖ Referencia

Morte-García, C. (2015) 'El retablo del obispo Jaime Jimeno (1587) y el escultor Domingo Fernández de Yarza', in Lahoz Gutierrez, M. L., Pérez Hernández, M., (eds) *Lienzos del recuerdo: estudios en homenaje a José M<sup>a</sup> Martínez Frías*. Zaragoza, pp. 425–434.



## *Lápida de Miguel Martín, comendador del Temple*

**Ubicación:** Iglesia de San Pedro de los Francos

**Localidad:** Calatayud (Zaragoza)

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** 1595

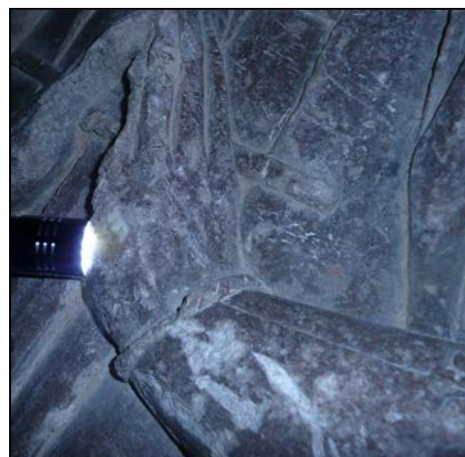
**Cantera:** Fuentes de Jiloca

**Muestra:** PA-4



### ❖ Descripción macroscópica o visu

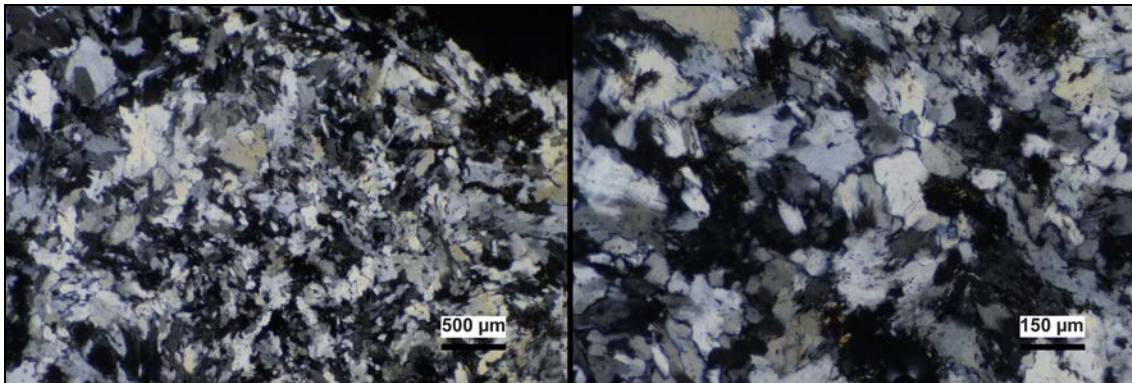
Alabastro marrón oscuro, de aspecto compacto, grado de translucido bajo o nulo. Sobre la pieza hay una capa de suciedad, que dificulta ver la presencia de estructuras internas como son bandeados o nódulos. La escasa translucidez de se observa también está influenciada por la suciedad que cubre la lápida.



### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino donde domina la textura alabastrina, en el que el 54% de los cristales pertenecen al tipo microcristalina con tamaños entre de 100 a 20  $\mu\text{m}$ , del tipo subidiomorfa tenemos un 20% de los cristales con tamaños entre de 400 a 100  $\mu\text{m}$  y el 10% son del tipo C.E.N.U. con dimensiones entre 1 y 0.4 mm. Sus hábitos son alotriomorfos y los contactos entre los bordes de los cristales cóncavo – convexo e incluso rectos, el MGS para C.E.N.U. es de 1 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales. Hay anhidrita relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 1% alcanzando tamaños entre 100 y 5  $\mu\text{m}$  con

hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 5 % cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) cuyos tamaños oscilan entre 250 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos. Destacar de igual modo la presencia de carbonatos que puede representar un 10% alcanzando tamaños de 10 a 5  $\mu\text{m}$  con contactos cóncavo – convexos, junto a los que está asociada la celestina. Dispersos por la muestra se aprecian unos minerales opacos y color oscuro que reconocemos como óxidos asociados a los carbonatos y celestina.



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**, en concreto con la **variedad Tabaco**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Inédita.



## **Figura de San Marcos**

**Ubicación:** Museo de Zaragoza (11166).  
Obra no expuesta.

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** Siglo XVI

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-15



### **❖ Descripción macroscópica o visu**

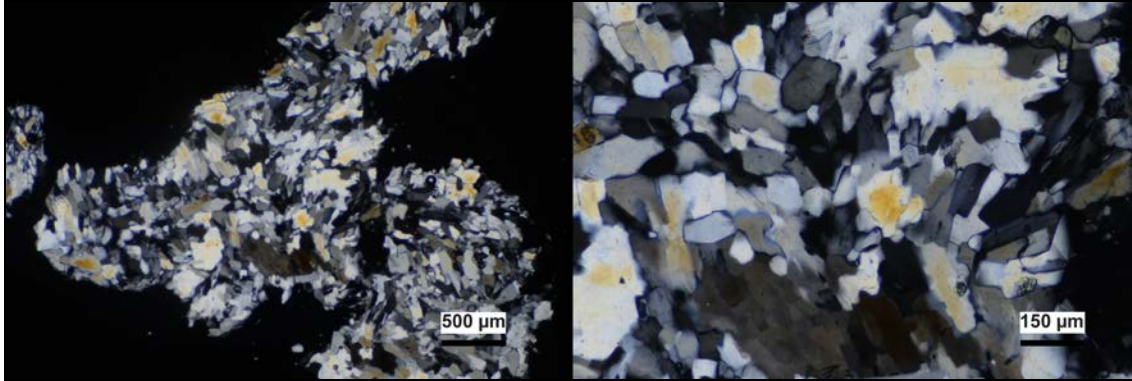
Alabastro blanco, de aspecto compacto, grado de translucido alto. Hay zonas donde puede haber nódulos de escala centimétrica. Escasa o ausente presencia de arcillas. Presencia de fractura, tanto planares como irregulares, estilolitos, que cortan el paso de la luz. Hay zonas, en las que se ven dos colores diferentes dentro del mismo bloque.



### **❖ Descripción petrográfica**

Mosaico microcristalino en el que domina las texturas alabastrinas microcristalina y C.E.N.U., en el primer caso representa un 40% del total y la C.E.N.U. con un 40%, el tamaño de los cristales es de 800 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para microcristalina, siendo los MGS 0.8 mm, con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. También podemos ver cristales de celestina entre el 2% que pueden alcanzar tamaños de 60  $\mu\text{m}$  y parecen tanto agrupados como

dispersos, pero en todos los casos son cristales esqueléticos. La anhidrita se encuentra como relicto principalmente en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando de un 1% del total y tamaños oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Beltrán Lloris, M. *et al.* (2003) *Guía del museo de Zaragoza*. Ed: M. Beltrán Lloris y J. Á. Paz Peralta. Zaragoza: Gobierno de Aragón, Departamento de Cultura y Turismo. Página 200.

## **Escultura de San Lorenzo**

**Procedencia:** Colegiata de Santa María, encontrada en la Cripta del cabildo.

**Ubicación:** Museo de la Colegiata de Santa María.

**Localidad:** Borja

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** Siglo XVI

**Cantera:** Ablitas

**Muestra:** PA-27



### ❖ Descripción macroscópica o visu

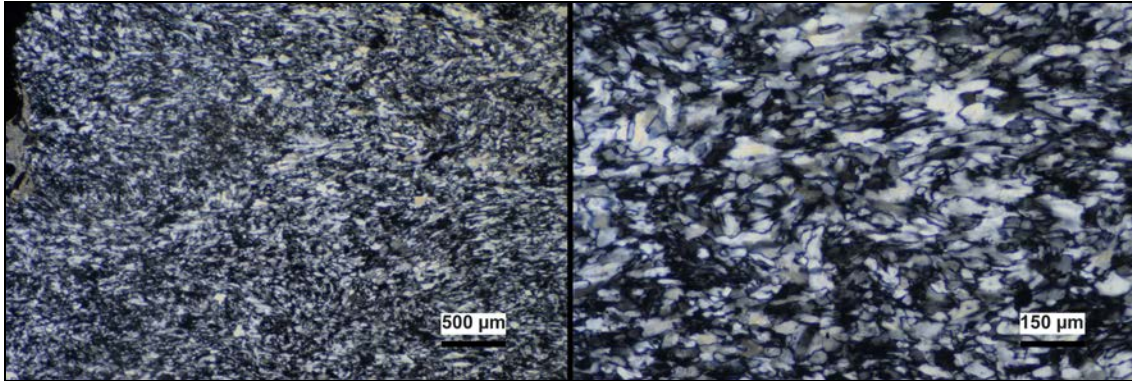
Alabastro blanco, de aspecto compacto, su grado de translucidez es alto. Sin presencia de venas de arcilla, ni estructuras internas. Solo presenta estilolitos con geometrías planares. Se ven manchas de colores rosados, posiblemente por la capa de barniz que presenta, la cual dificulta ver su color original.



### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina representada entre el 85% del total y en menor medida la textura alabastrina subidiomorfa con un 10 %, manteniendo un tamaño de cristales bastante homogéneo con hábitos alargados que llegan a alcanzar hasta los 250  $\mu\text{m}$  en el caso de los cristales subidiomorfos y como mínima 20  $\mu\text{m}$  los microcristalinos. Se aprecia una orientación preferente de los cristales y los contactos entre ellos oscilan entre rectos y cóncavo – convexos. También podemos ver cristales de celestina el 3%, que pueden alcanzar

tamaños de 350  $\mu\text{m}$  en casos de cristales esqueléticos, si son menores y están dispersos por la muestra no superan las 20  $\mu\text{m}$ . En el caso de la anhidrita en estas muestras es muy escasa menos del 1%, encontrándose como inclusiones en los cristales de textura alabastrina subidiomorfos y con tamaños entre 10 y 5  $\mu\text{m}$ .



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Ablitas**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Gracia Rivas, M., Aguilera Hernández, A., 2014. "Museos de Arte Religioso en Borja." *Artigrama*. 29. pp 239–258.

## **Mascarón con adornos**

**Procedencia:** Colegiata de Santa María de Borja.

**Ubicación:** Museo de la Colegiata de Santa María.

**Localidad:** Borja

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Renacimiento

**Año:** Siglo XVI

**Cantera:** Fuentes de Jiloca

**Muestra:** PA-28



### **❖ Descripción macroscópica o visu**

Alabastro blanco, de aspecto compacto, su grado de translucidez es alto. Presencia de venas de arcilla de color gris, pero sin estructuras internas. Solo presenta estilolitos con geometrías planares.

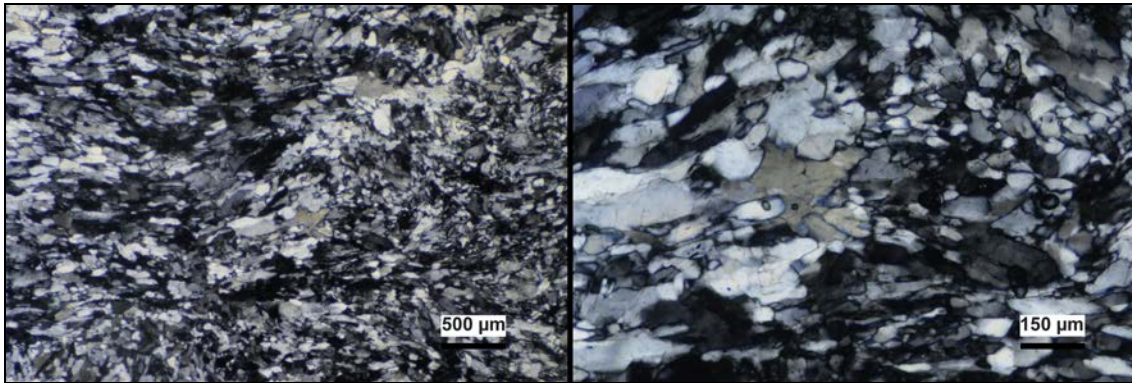


### **❖ Descripción petrográfica**

Mosaico microcristalino en el cual domina la textura alabastrina, los cristales del tipo microcristalina son el 58% del total con tamaños que van desde las 100 hasta 30  $\mu\text{m}$ , los del tipo subidiomorfa son el 15% de los cristales y sus dimensiones varían entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y el 20% corresponden al tipo C.E.N.U. con dimensiones de 2 y 0.4 mm. Estos cristales tienen hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexo e incluso rectos. El MGS para C.E.N.U. es de 2 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales. Hay anhidrita



relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 2% alcanzando tamaños de 100 a 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 2 % cristales de celestina cuyos cristales aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) y sus tamaños oscilan entre 250 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Fuentes de Jiloca**, en concreto la variedad **Blanca**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Gracia Rivas, M., Aguilera Hernández, A., 2014. "Museos de Arte Religioso en Borja." *Artigrama*. 29. pp 239–258.

## **Basamento capilla de la Piedad**

**Ubicación:** Colegiata Calatayud

**Localidad:** Calatayud (Zaragoza)

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Barroco

**Año:** h. 1610 - 1615

**Cantera:** Fuentes de Jiloca

**Muestra:** PA-5



### **❖ Descripción macroscópica o visu**

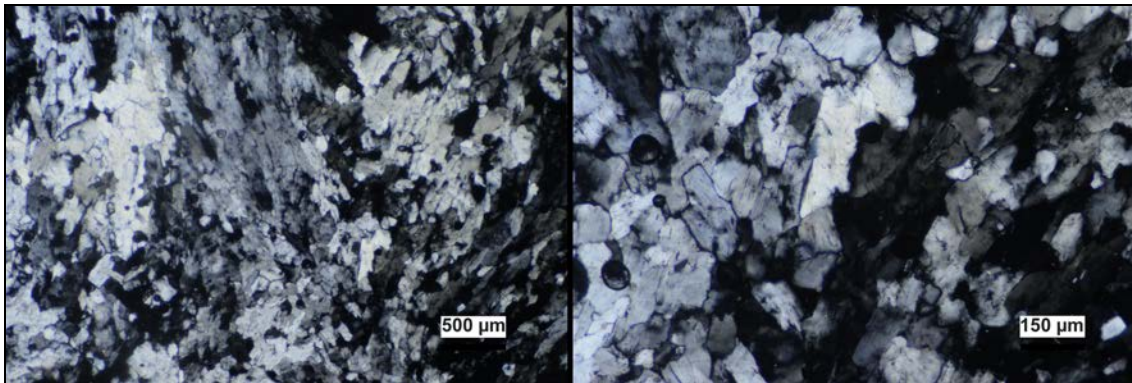
Alabastro color claro -la capa de suciedad dificulta ver el color real de la roca-, su aspecto compacto y con grado de translucido alto. Al aplicar un punto de luz sobre la superficie se observan estructuras nodulares con geometrías circulares y diámetros aproximados de 1 cm. No hay presencia de venas de arcillas. Las condiciones actuales del basamento debido a la capa de suciedad que hay sobre el alabastro dificultan apreciar más detalles.



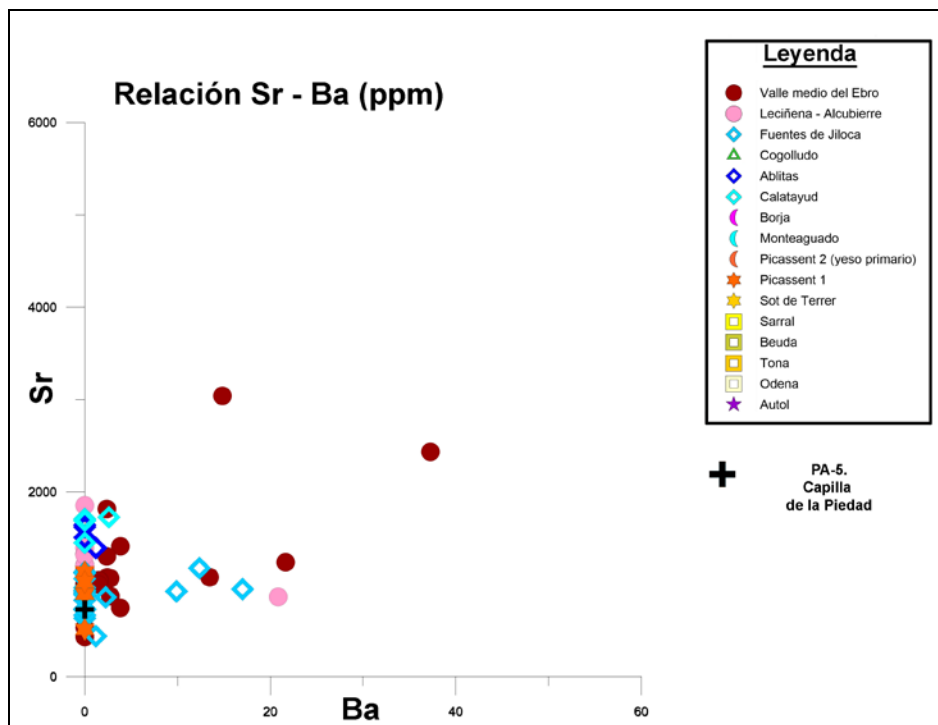
### **❖ Descripción petrográfica**

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina C.E.N.U. que representa el 70% del total con tamaños de 8 a 0.4 mm, del tipo subidiomorfo hay un 15% cuyas dimensiones en encuentran entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y los de tipo microcristalina son el 10% de los del total con tamaños entre de 100 a 80  $\mu\text{m}$ , los hábitos de estos cristales son alotriomorfos y los contactos de los cristales son mayoritariamente cóncavo – convexo e incluso pueden llegar a ser rectos, el MGS para C.E.N.U. es de 8

mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados sin orientación preferente, aunque se suelen agrupar dando formas arbolescentes. Hay anhidrita relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina en un 2 % alcanzando tamaños entre 60 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavos – convexos, en algunos casos pueden tener forma lenticular. Presencia de 3 % cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) y cuyos tamaños oscilan entre 150 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.



## ❖ Análisis geoquímica





Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (730,85, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
Ablitas	1395.84	1644.84	0.03	1.19
Valle Medio del Ebro	431.84	3042.54	0.03	37.25
Alcubierre	866.69	1859.10	0.03	20.84
Fuentes de Jiloca	441.93	1178.09	0.03	17
Calatayud	1452.81	1729.8	0.03	2.59
Picassent 1	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Fuentes de Jiloca**, en concreto con la **variedad Champán**.

### ❖ Referencias bibliográficas,

Javier Ibáñez Fernández, Alegre Arbués, J.F., 2012. *Colegiata de Santa María. Calatayud*. Centro de Estudios Bilbilitanos, Institución Fernando el Católico. Pagina 245 - 248.

Urzay Barrios, J.Á., 2019. "Calatayud: historia, arte, arquitectura y urbanismo : una guía para salvaguardar la ciudad." *Centro de Estudios Bilbilitanos, "Institución Fernando el Católico"*. Página 125.

## *Esculturas orantes de Francisco Palafox y Lucrecia de Moncada, Marqueses de Ariza*

**Ubicación:** Iglesia parroquial de Santa María de la Real

**Localidad:** Ariza (Zaragoza)

**Autor:** Pedro Franco

**Periodo:** Barroco

**Año:** 1612 - 1622

**Cantera:** Fuentes de Jiloca. Variedad Champán

**Muestra:** PA-10



### ❖ Descripción macroscópica o visu

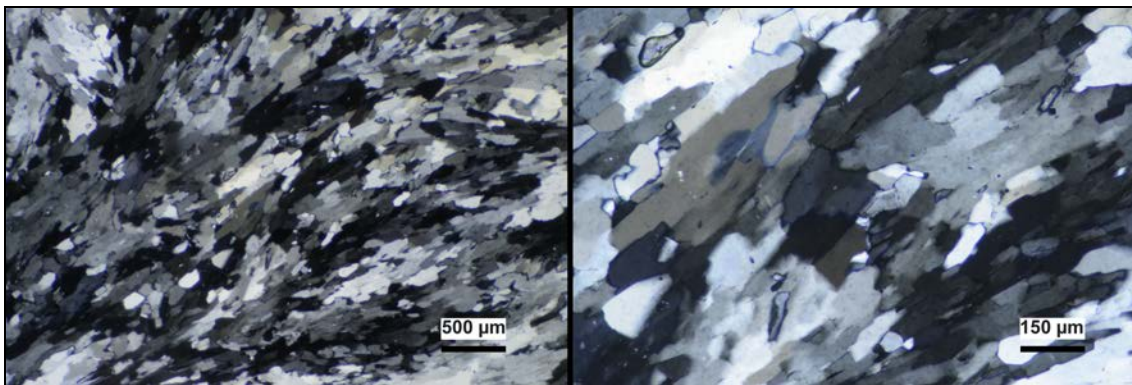
Alabastro de color amarillo con apariencia compacta, se aprecian restos de policromía en algunas zonas. El grado de translucidez del alabastro es alto. Presencia de vetas de arcillas de color marrón, con geometrías concoidales e irregulares, también se pueden identificar nódulos de morfológicas circulares de 1 cm de diámetro y distribución aleatoria. Hay zonas donde la coloración es más oscura dentro del mismo bloque.



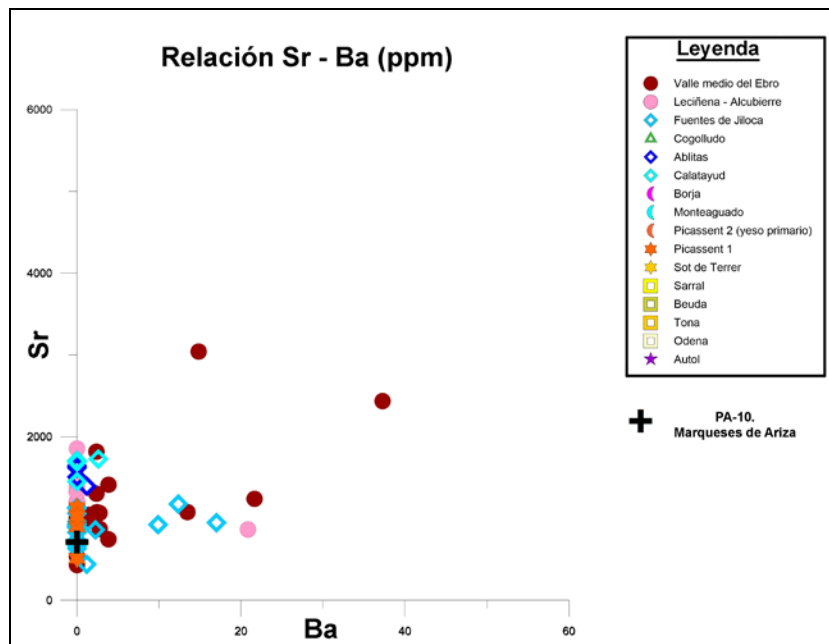
### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina C.E.N.U. que representa el 70% del total con tamaños de 8 a 0.4 mm, del tipo subidiomorfo hay un

15% cuyas dimensiones en encuentran entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y los de tipo microcristalina son el 10% de los del total con tamaños entre de 100 a 80  $\mu\text{m}$ , los hábitos de estos cristales son alotriomorfos y los contactos de los cristales son mayoritariamente cóncavo – convexo e incluso pueden llegar a ser rectos, el MGS para C.E.N.U. es de 8 mm y MnrGS microcristalina de 80  $\mu\text{m}$ . Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados sin orientación preferente, aunque se suelen agrupar dando formas arbolescentes. Hay anhidrita relictas en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina en un 2 % alcanzando tamaños entre 60 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavos – convexos, en algunos casos pueden tener forma lenticular. Presencia de 3 % cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) y cuyos tamaños oscilan entre 150 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.



## ❖ Análisis geoquímica



Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (714.46, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Fuentes de Jiloca**, en concreto con la **variedad Champán**.

### ❖ Referencias bibliográficas

Gisbert, J., Muñoz del Pozo, A., 2018. "Caracterización del alabastro y parámetros útiles para identificar la procedencia en piezas histórico - artísticas", in: Morte, C. (Ed.), *Usos artísticos del alabastro y procedencia del material*. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 135–158.

González, H., 2018. "Polémicas en torno a la identidad y procedencia de los retratos orantes de los Marqueses de Ariza," in: Morte-García, C. (Ed.), *Usos artísticos del alabastro y procedencia del material*. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 393–404.

## *Sepulcro del obispo de Albarracín Gabriel Sora*

**Ubicación:** Catedral de Albarracín. Presbiterio.  
Capilla Mayor. Lado del Evangelio.

**Localidad:** Albarracín (Teruel)

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Protobarroco

**Año:** 1622

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-37



### ❖ Descripción macroscópica o visu

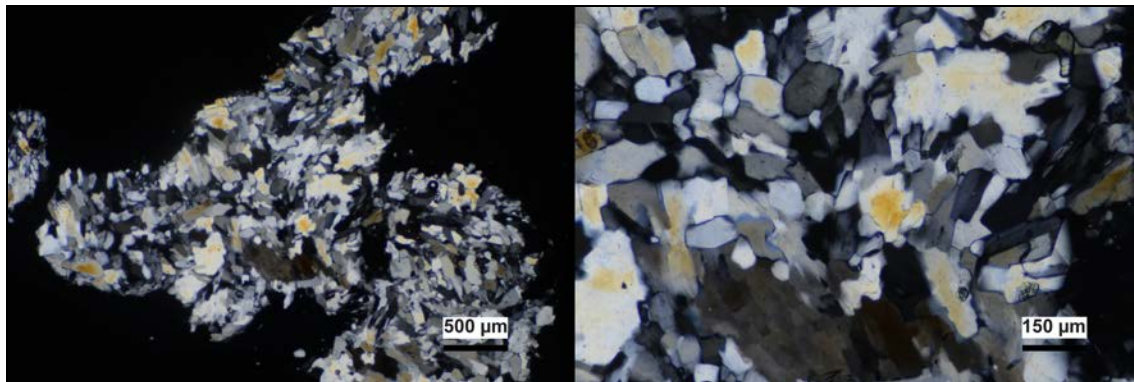
Alabastro blanco, de aspecto compacto, grado de translucido alto. Hay zonas donde puede haber nódulos de escala centimétrica. Escasa o ausente presencia de arcillas. Presencia de fractura, tanto planares como irregulares, estilolitos, que cortan el paso de la luz. Hay zonas, en las que se ven dos colores diferentes dentro del mismo bloque.



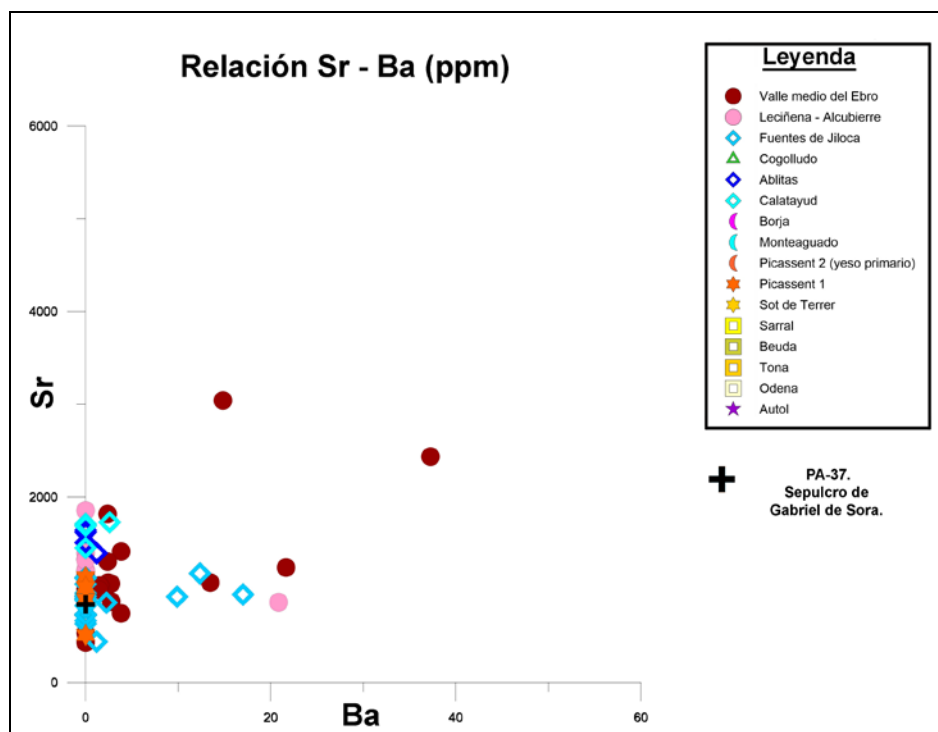
### ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el que domina las texturas alabastrinas microcristalina y C.E.N.U., en el primer caso representa un 40% del total y la C.E.N.U. con un 40%, el tamaño de los cristales es de 800 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para microcristalina, siendo los MGS 0.8 mm, con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. También podemos ver cristales de celestina entre

el 2% que pueden alcanzar tamaños de 60  $\mu\text{m}$  y parecen tanto agrupados como dispersos, pero en todos los casos son cristales esqueletales. La anhidrita se encuentra como relicto principalmente en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando de un 1% del total y tamaños oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .



## ❖ Análisis geoquímica



Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (844,23, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Morte García, C., Pano Gracia, J. L. y Arce Oliva, E. (2017) ‘El cielo de alabastro: Sepulcros renacentistas en Aragón’, in Castán, A. y Lomba, C. (eds) *Eros y Thánatos: reflexiones sobre el gusto III: Simposio*, Zaragoza, Paraninfo de la Universidad de Zaragoza, 16, 17 y 18 de abril de 2015. Instituto Fernando el Católico. pp. 65–96.



## *Estatua orante del sepulcro del obispo José de Palafox*

**Procedencia:** Originalmente se encontraba en el antiguo convento de dominicas de Calatayud, desaparecido.

**Ubicación:** Museo de la Colegiata de Santa María, trasladado en 2018.

**Localidad:** Calatayud

**Autor:** Francisco Franco

**Periodo:** Barroco

**Año:** 1649

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-7



### ❖ Descripción macroscópica o visu

Alabastro de color blanco. Su aspecto muestra claras evidencias de alteración causada por una prolongada exposición a la luz solar y a las precipitaciones, signos de calcinación y disolución. Hay presencia de venas de arcillas con geometrías concoides y formas estilolíticas, generan planos de inestabilidad. Se aprecian nódulos de aspecto alargado y dimensiones entre 5 y 7 cm. Su grado de translucidez es bajo debido a la alteración que ha sufrido la pieza.

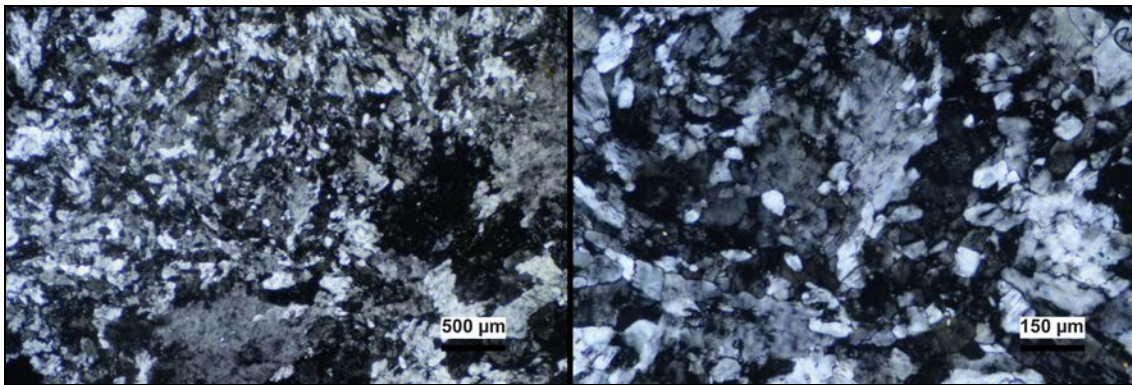


### ❖ Descripción petrográfica

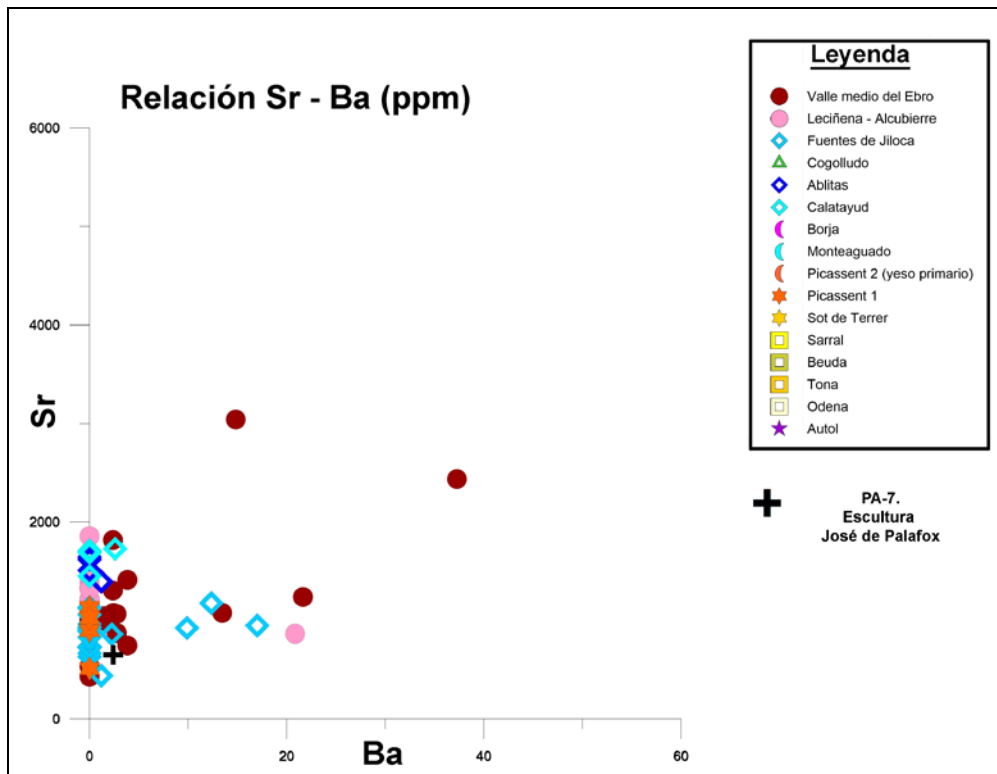
Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina microcristalina y textura alabastrina C.E.N.U. la primera representa el 45% del total y la C.E.N.U. un 35% con un rango de tamaño de cristales entre 800 y 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de



100 a 50  $\mu\text{m}$ , siendo el MGS 0.8 mm, los cristales tienen hábitos equidimensionales y contactos cóncavo - convexos. Hay presencia de un 10% de porfidoblastos que llegan a alcanzar 1.2 mm y destacan por la abundante presencia de relictos de anhidrita en su interior. También podemos ver cristales de celestina el 2% que pueden alcanzar tamaños de 150  $\mu\text{m}$ , aparecen agrupados en forma de gavilla o dispersos pero en todos los casos son cristales esqueléticos. La anhidrita podemos encontrarla principalmente como relictos en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando un 1% del total y con tamaños que oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ . Destacar la presencia 2% de cristales de yeso recristalizados con bordes rectos y tamaños medios de 50  $\mu\text{m}$ .



## ❖ Análisis geoquímica



Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (653,39, 2,39), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**, en concreto con la **variedad de Gelsa**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Boloqui Larraya, B., 2016. "El alabastro como material suntuario. La estatua de D. José de Palafox, obra de Francisco Franco, en el sepulcro de la iglesia del monasterio de San José de las madres dominicas de Calatayud. Vicisitudes del patrimonio histórico", en: *IX Encuentro de Estudios Bilbilitanos*. Centro de Estudios Bilbilitanos, “Institución Fernando el Católico,” Calatayud, pp. 581–604.

## *Sarcófago del canónigo Juan Orencio de Lastanosa*

**Ubicación:** Catedral de Jesús Nazareno. Cripta.

**Localidad:** Huesca

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Barroco

**Año:** ca. 1650

**Cantera:** Sierra de Alcubierre

**Muestra:** PA-2



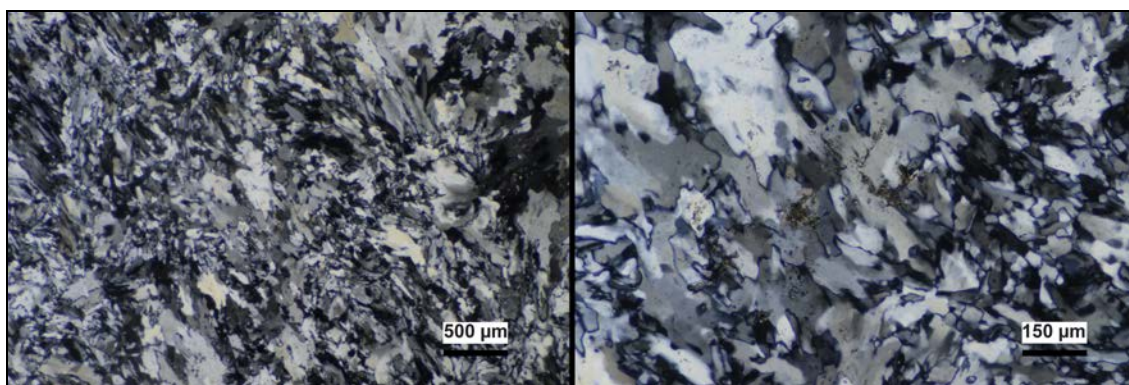
### ❖ Descripción macroscópica o visu

Alabastro de color blanco/rosado, con importante presencia de arcillas negras. Formado por nódulos de alabastro, englobados en arcillas, los nódulos tienen geometrías circulares. Tiene grado de translucidez media, y en algunos casos se pueden ver estructuras internas, como micronódulos de formas alargadas de escala centimétrica.

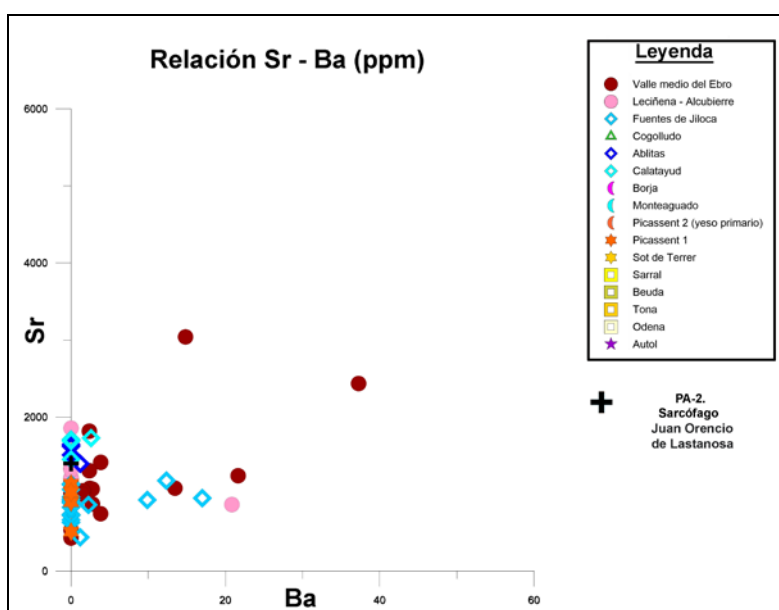


## ❖ Descripción petrográfica

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina del tipo C.E.N.U. presente entre un 74% y 80% con dimensiones entre 7.5 mm y 0.3 mm y textura alabastrina microcristalina con abundancias relativas de 10% a 20% y tamaños de 100 a 40  $\mu\text{m}$ . Las dimensiones MGS para C.E.N.U. es de 7.5 mm y MinGS microcristalina de 40  $\mu\text{m}$ . Los contactos entre estos componentes son principalmente cóncavo-convexos. Hay anhidrita relictas en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina en un 3%, alcanzando tamaños entre 100 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 1% cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados como aislados y cuyos tamaños oscilan entre 100 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos. Asociados a los cristales de celestina hay carbonatos en un 2 – 3% y entre ellos destaca la presencia de óxidos de color rojo y forma granular, se sitúan entre los contactos de los cristales de mayor tamaño.



## ❖ Análisis geoquímica



Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (1400, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelital*”.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de la Sierra de Alcubierre**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Boloqui Larraya, B., 2018. "El alabastro en el barroco en los siglos XVII y XVIII. Alabastros de los Lastanosa en su palacio de Huesca y su capilla-panteón en la catedral de Huesca", en: Morte García, C. (Ed.), *Usos artísticos del alabastro y procedencia del material*. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 89–126.



## *Sarcófago del capitán Vincenzo Juan de Lastanosa*

**Ubicación:** Catedral de Jesús Nazareno. Cripta.

**Localidad:** Huesca

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Barroco

**Año:** ca. 1650

**Cantera:** Sierra de Alcubierre

**Muestra:** PA-45



### ❖ Descripción macroscópica o visu

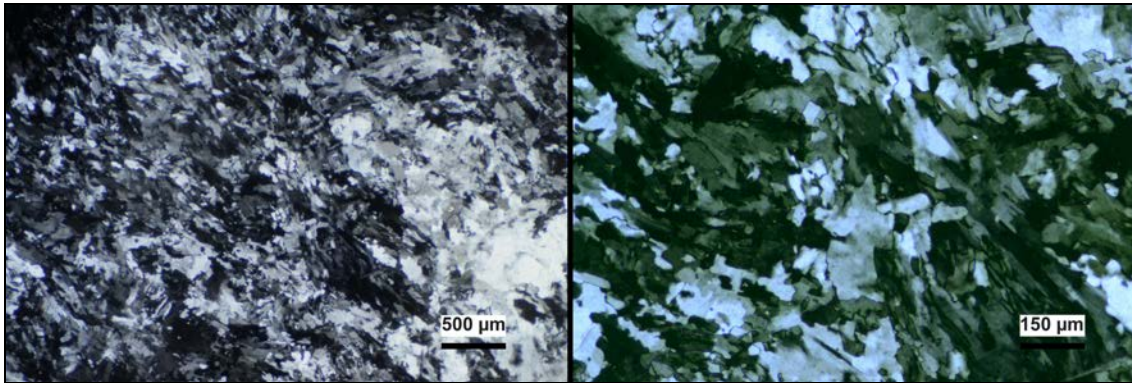
Alabastro de color blanco/rosado, con importante presencia de arcillas negras. Formado por nódulos de alabastro, englobados en arcillas, los nódulos tienen geometrías circulares. Tiene grado de translucidez media, y en algunos casos se pueden ver estructuras internas, como micronódulos de formas alargadas de escala centimétrica.



### ❖ Descripción petrográfica

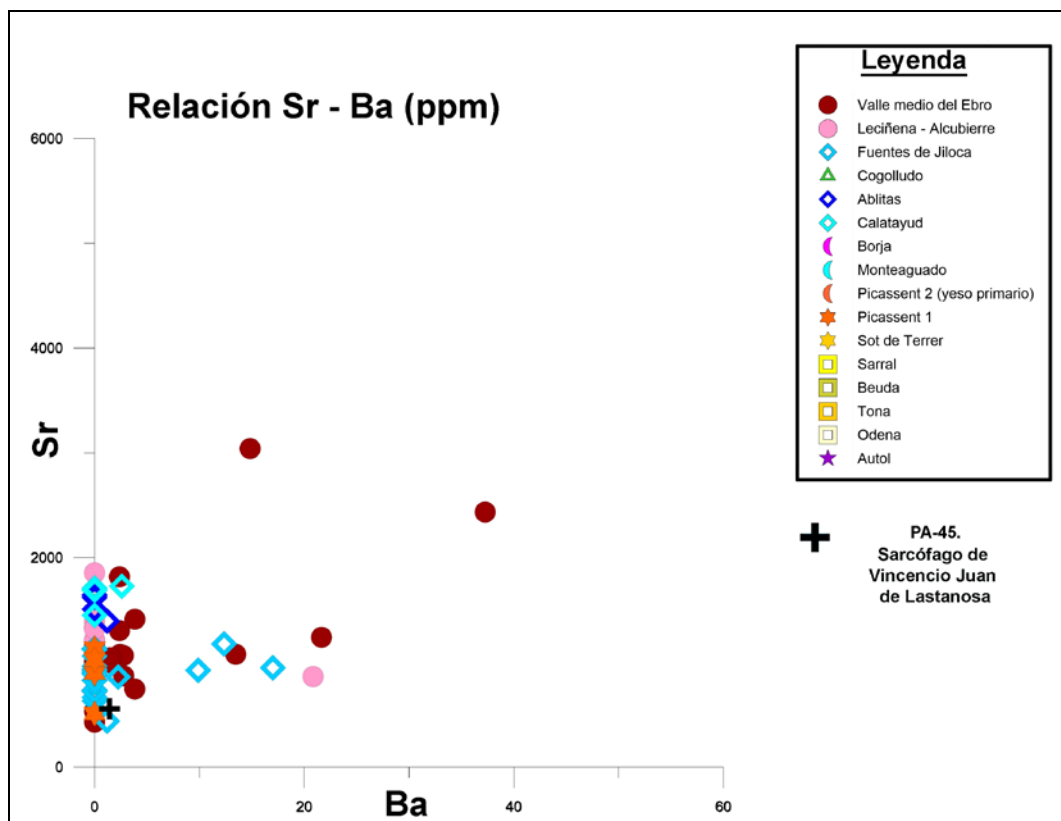
Mosaico microcristalino en el cual domina la textura alabastrina, los cristales del tipo microcristalina son el 58% del total con tamaños que van desde las 100 hasta 30  $\mu\text{m}$ , los del tipo subidiomorfa son el 15% de los cristales y sus dimensiones varían entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y el 20% corresponden al tipo C.E.N.U. con dimensiones de 2 y 0.4 mm. Estos cristales tienen hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexo e incluso rectos. El MGS para C.E.N.U. es de 2 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales. Hay anhidrita relictas en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y

porfidoblástica en un 2% alcanzando tamaños de 100 a 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 2 % cristales de celestina cuyos cristales aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) y sus tamaños oscilan entre 250 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.



## ❖ Análisis geoquímica

Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (649,36, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelética*”.





Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las canteras de la Sierra de Alcubierre.

### ❖ Referencia bibliográfica

Boloqui Larraya, B., 2018. "El alabastro en el barroco en los siglos XVII y XVIII. Alabastros de los Lastanosa en su palacio de Huesca y su capilla-panteón en la catedral de Huesca", en: Morte García, C. (Ed.), *Usos Artísticos Del Alabastro y Procedencia Del Material*. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 89–126.

## **Escultura del canónigo Juan Orencio de Lastanosa**

**Ubicación:** Catedral de Jesús Nazareno. Cripta.

**Localidad:** Huesca

**Autor:** Francisco Franco

**Periodo:** Barroco

**Año:** h. 1669

**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-46



### **❖ Descripción macroscópica o visu**

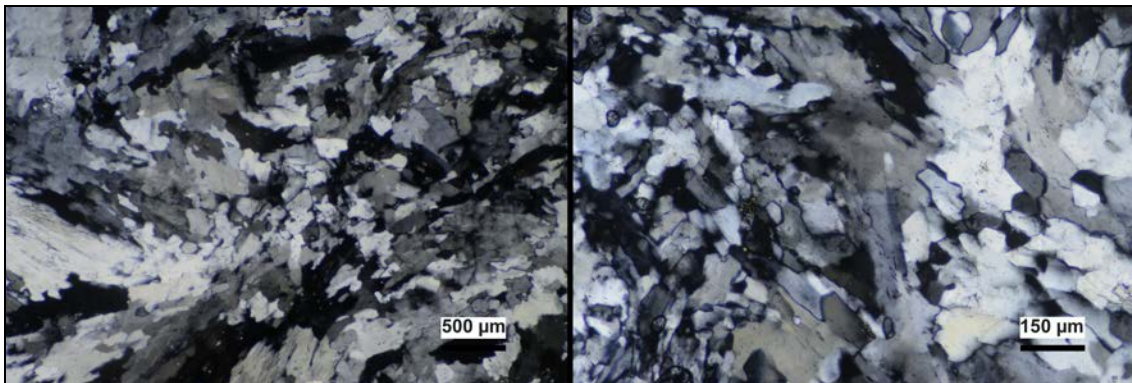
Alabastro de color blanco, muy compacto, con escasa presencia de venas de arcillas, discontinuidades de con geometrías planares y paralelas entre ellas. Al aplicar luz se aprecia su gran translucidez alto, y la presencia de estructuras internas micronodulares de escala centrimétricas.



### **❖ Descripción petrográfica**

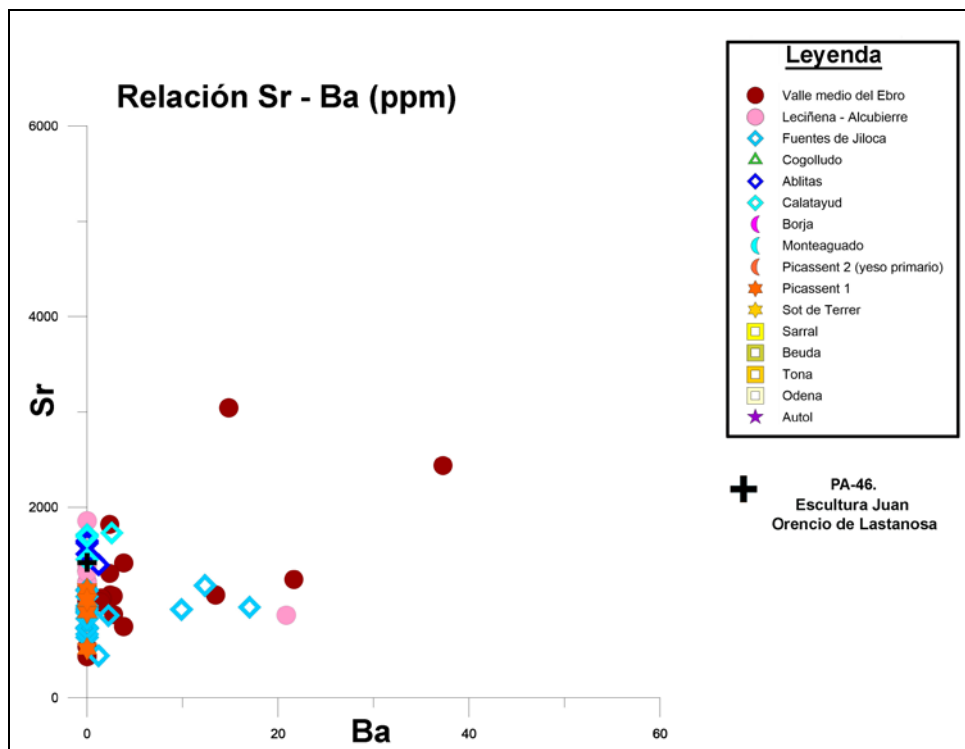
Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina del tipo C.E.N.U. presente entre un 74% y 80% con dimensiones entre 7.5 mm y 0.3 mm y textura alabastrina microcristalina con abundancias relativas de 10% a 20% y tamaños de 100 a 40  $\mu\text{m}$ . Las dimensiones MGS para C.E.N.U. es de 7.5 mm y MinGS microcristalina de 40  $\mu\text{m}$ . Los contactos entre estos componentes son principalmente cóncavo-convexos.

Hay anhidrita relictas en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina en un 3%, alcanzando tamaños entre 100 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 1% cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados como aislados y cuyos tamaños oscilan entre 100 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos. Asociados a los cristales de celestina hay carbonatos en un 2 – 3% y entre ellos destaca la presencia de óxidos de color rojo y forma granular, se sitúan entre los contactos de los cristales de mayor tamaño.



## ❖ Análisis geoquímica

Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (1418,96, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelética*”.



Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Valle medio del Ebro**, en concreto con la **variedad procedente de Gelsa**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Boloqui Larraya, B., 2018. "El alabastro en el barroco en los siglos XVII y XVIII. Alabastros de los Lastanosa en su palacio de Huesca y su capilla-panteón en la catedral de Huesca", en: Morte García, C. (Ed.), *Usos artísticos del alabastro y procedencia del material*. Actas I Congreso Internacional. Pressas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 89–126.

## *Escultura del capitán Vincencio Juan de Lastanosa*

**Ubicación:** Catedral de Jesús Nazareno. Cripta.

**Localidad:** Huesca

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Barroco

**Año:** c. 1675 /1680

**Cantera:** Fuentes de Jiloca

**Muestra:** PA-44



### ❖ Descripción macroscópica o visu

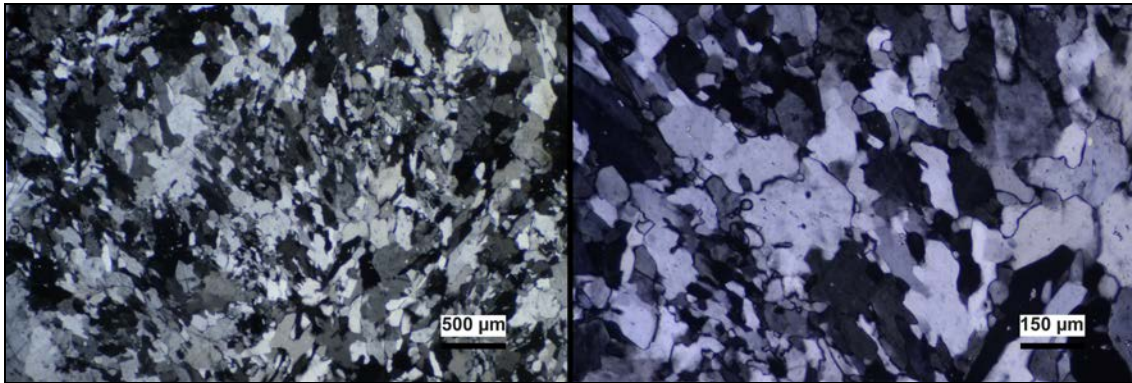
Alabastro de color blanco, compacto, escasa presencia de venas de arcillas. Discontinuidades de geometría planar. La translucidez del material alta, y tan apenas se aprecian estructuras internas.



### ❖ Descripción petrográfica

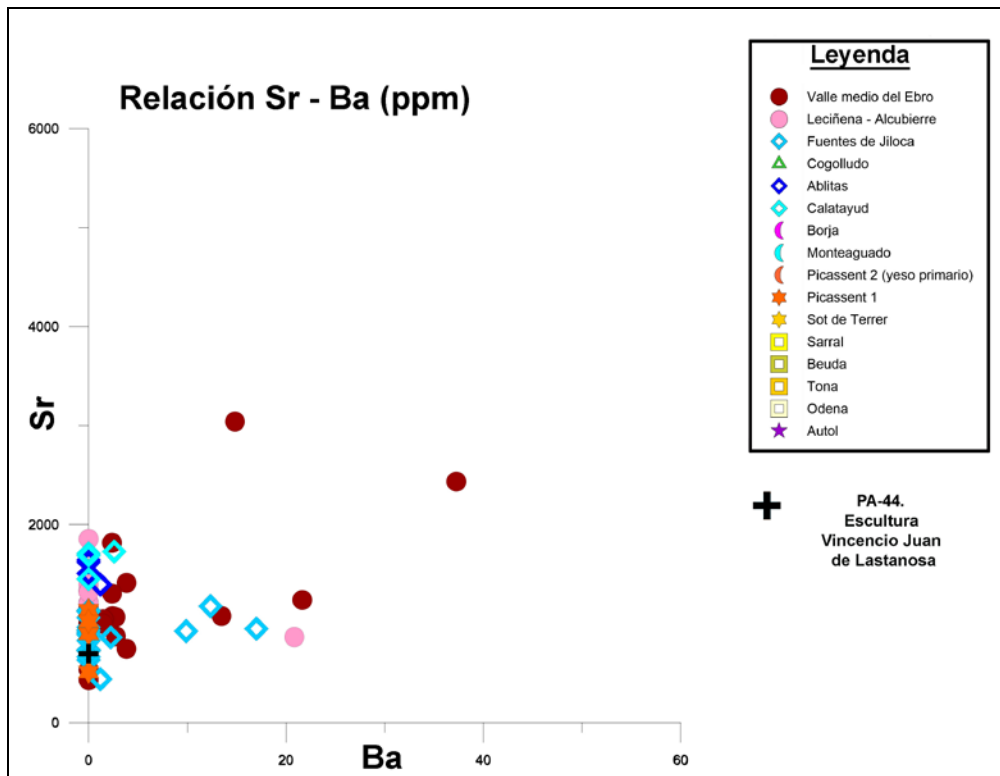
Mosaico microcristalino en el cual domina la textura alabastrina, los cristales del tipo microcristalina son el 58% del total con tamaños que van desde las 100 hasta 30  $\mu\text{m}$ , los del tipo subidiomorfa son el 15% de los cristales y sus dimensiones varían entre 400 a 100  $\mu\text{m}$  y el 20% corresponden al tipo C.E.N.U. con dimensiones de 2 y 0.4 mm. Estos cristales tienen hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexo e incluso rectos. El MGS para C.E.N.U. es de 2 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales. Hay anhidrita

relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 2% alcanzando tamaños de 100 a 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 2 % cristales de celestina cuyos cristales aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueléticos) y sus tamaños oscilan entre 250 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.



### ❖ Análisis geoquímica

Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (699,00, 0.00), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso alabastrino tanto microcristalino como C.E.N.U. y celestina esquelética*”.



Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
<b>Ablitas</b>	1395.84	1644.84	0.03	1.19
<b>Valle Medio del Ebro</b>	431.84	3042.54	0.03	37.25
<b>Alcubierre</b>	866.69	1859.10	0.03	20.84
<b>Fuentes de Jiloca</b>	441.93	1178.09	0.03	17
<b>Calatayud</b>	1452.81	1729.8	0.03	2.59
<b>Picassent 1</b>	514.42	1136.45	0.03	0.03

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Fuentes de Jiloca**, en concreto con la **variedad Blanca**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Boloqui Larraya, B., 2018. "El alabastro en el barroco en los siglos XVII y XVIII. Alabastros de los Lastanosa en su palacio de Huesca y su capilla-panteón en la catedral de Huesca", en: Morte García, C. (Ed.), *Usos artísticos del alabastro y procedencia del material*. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 89–126.



## **Basamento de la fachada de Santa Isabel de Portugal**

**Ubicación:** Iglesia de Santa Isabel de Portugal

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** Pedro de Aguirre y Juan de Aguerreche

**Periodo:** Barroco

**Año:** 1682 - 1685

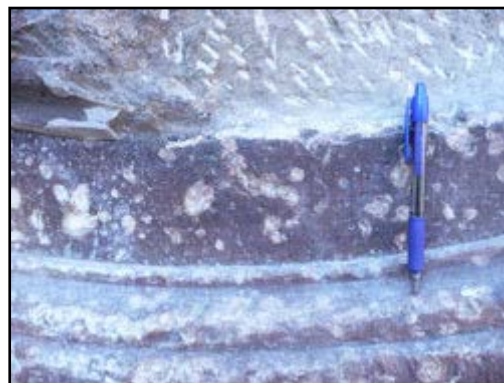
**Cantera:** Borja

**Muestra:** PA-21



### ❖ **Descripción macroscópica o visu**

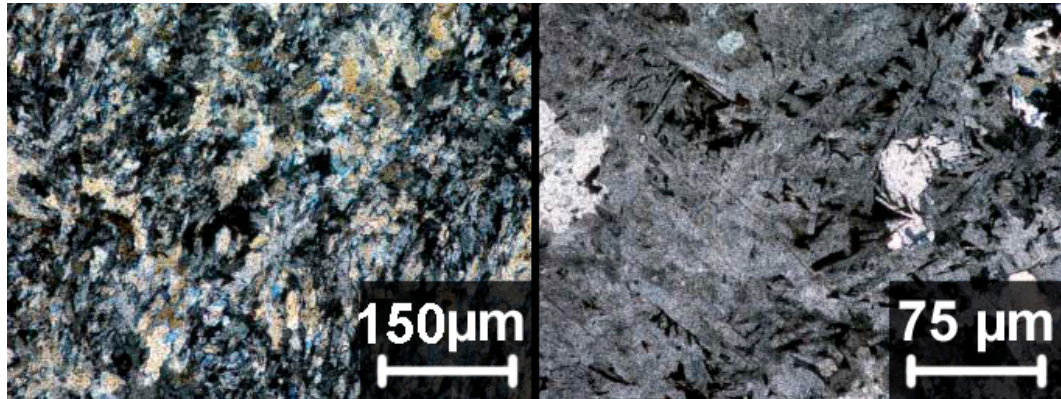
Portada realizada en yeso de calidad estatuaria, de aspecto compacto. Se diferencian dos variedades en función del color, una blanca con la que se han esculpido las esculturas, y otro oscuro con el que están hechos los bloques de la base que alcanzan dimensiones de 178 cm. En ambas variedades se aprecia la presencia de nódulos de color claro, morfología redondeada con tamaños 0,5 y 2 cm de diámetro.



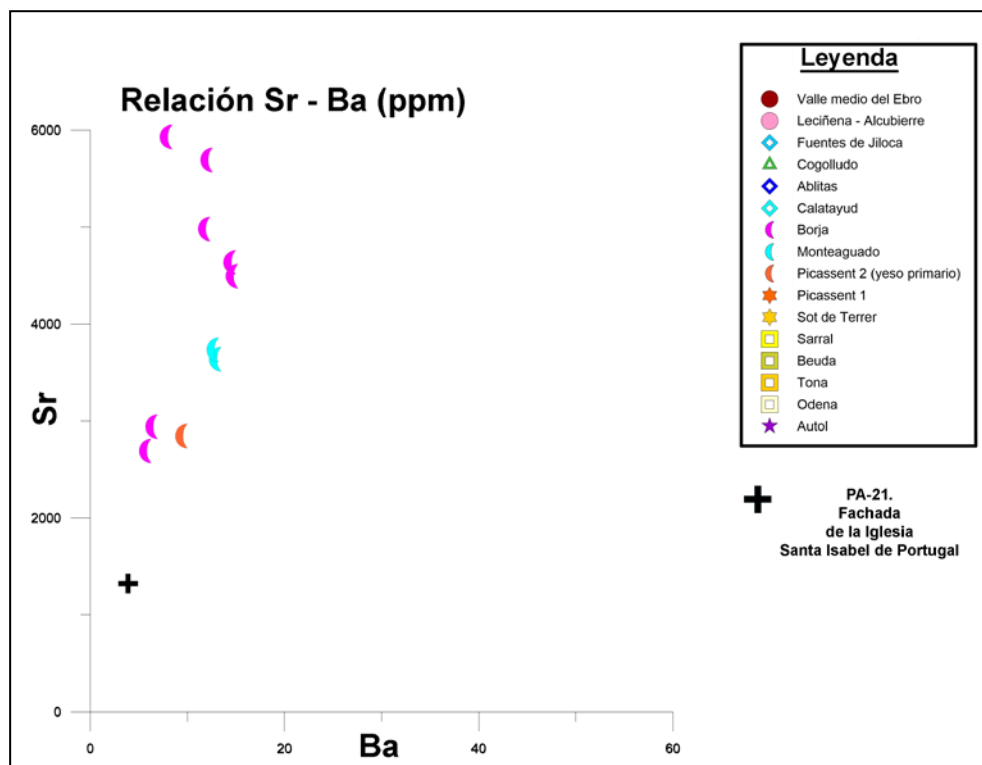
### ❖ **Descripción petrográfica**

Mosaico cristalino en el que dominan los cristales de yeso lenticular representando un 75% del total con tamaños que van desde 500 a 50  $\mu\text{m}$ . Podemos encontrar también cristales de yeso recristalizado 5% con tamaños de 200 a 30  $\mu\text{m}$ . Destacar la presencia de carbonatos que puede ser de hasta un 15% del total con tamaños de 60 a 5  $\mu\text{m}$ , su

composición es calcítica ya que al teñir con alizarina las muestras aparecen los cristales de color rojo. Y en relación con los carbonatos hay cristales de celestina un 5% cuya longitud puede ser de 80 a 5  $\mu\text{m}$ .



### ❖ Análisis geoquímica



Los valores de la muestra tomada ofrecen valores de concentraciones de Sr y Ba (1325,80, 3,89), que corresponde con el dominio de las “*Facies que presenta yeso lenticular*”. Aunque queda el valor de la muestra por debajo de los valores obtenidos en

las muestras de cantera, esta variación puede deberse a una contaminación, la superficie de la fachada presenta una capa de barniz protectora, que a pesar de que la muestra se limpio antes de hacer el análisis químico, la muestra pudo haber absorbido parte de estos componentes.

Variedad	Sr		Ba	
	Min	Max	Min	Max
Monteagudo	3639.21	3735.99	12.61	12.86
Borja	2693.11	5931.01	5.64	14.58
Picassent 2	2846.39	2846.39	9.37	9.37

### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (30%), petrografía (40%) y geoquímica (10%), en todos casos salvo en los resultados de geoquímica, las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Borja**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Boloqui Larraya, B. (2019) ‘Alabastros en la portada de la Real Capilla de Santa Isabel en Zaragoza. Análisis escultórico, iconográfico y simbólico de los ornatos de alabastro, espejo de virtudes de la Diputación del reino de Aragón (1682-1697)’, *Ars & Renovatio*, 7, pp. 120–140.

## **Imagen de Santa Eulalia**

**Ubicación:** Catedral de Jesús Nazareno. Capilla de San Joaquín.

**Localidad:** Huesca

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Barroco

**Año:** Siglo XVII

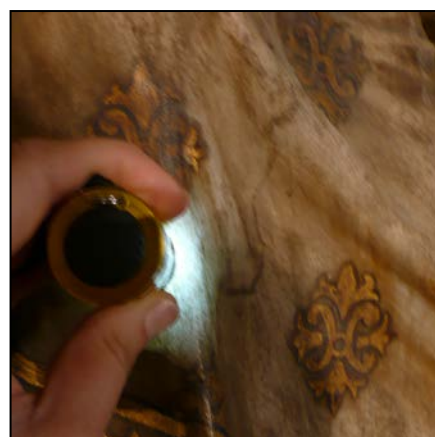
**Cantera:** Valle medio del Ebro

**Muestra:** PA-47



### ❖ **Descripción macroscópica o visu**

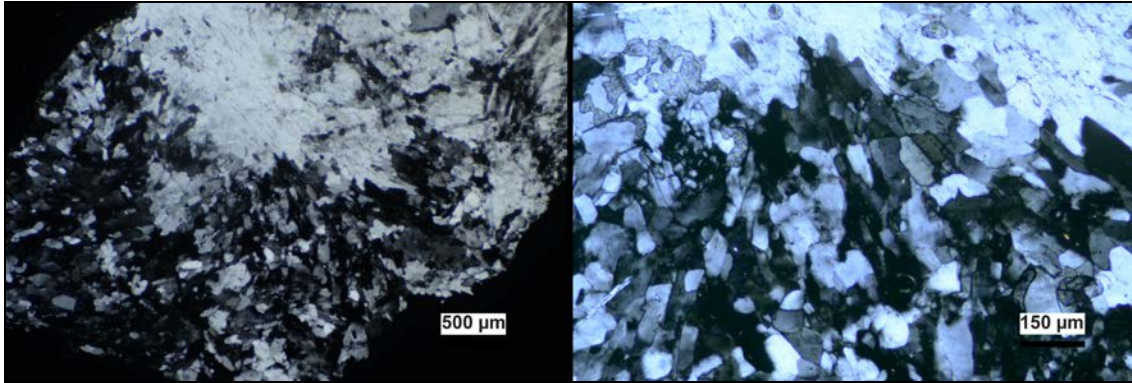
Alabastro blanco, de aspecto compacto, grado de translucido alto. Se observa la presencia de nódulos de geometrías circulares y dimensiones entre 1 y 3 cm. También vemos venas de arcilla y estilolitos con geometrías concoidales. La pieza presenta policromía y una capa de barniz que dificultan apreciar su color original.



### ❖ **Descripción petrográfica**

Mosaico microcristalino en el que domina las texturas alabastrinas microcristalina y C.E.N.U., en el primer caso representa un 40% del total y la C.E.N.U. con un 40%, el tamaño de los cristales es de 800 a 400  $\mu\text{m}$  para los C.E.N.U. y de 100 a 40  $\mu\text{m}$  para microcristalina, siendo los MGS 0.8 mm, con hábitos equidimensionales y contactos entre los cristales cóncavo - convexos. Hay presencia de un 3% de porfidoblastos que llegan a alcanzar 6 mm y destacan por la abundante presencia de relictos de anhidrita en su interior. También podemos ver cristales de celestina entre el 2% que pueden alcanzar tamaños de 60  $\mu\text{m}$  y parecen tanto agrupados como dispersos, pero en todos los casos

son cristales esqueléticos. La anhidrita se encuentra como relicto principalmente en los cristales porfidoblásticos y en los de tipo C.E.N.U. representando de un 1% del total y tamaños oscilan entre 120 y 5  $\mu\text{m}$ .



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras del Valle medio del Ebro**.

### ❖ Referencias bibliográficas

Boloqui Larraya, B. (2018) 'El alabastro en el barroco en los siglos XVII y XVIII. Alabastros de los Lastanosa en su palacio de Huesca y su capilla-panteón en la catedral de Huesca', in Morte García, C. (ed.) *Usos artísticos del alabastro y procedencia del material. Actas I Congreso Internacional*. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza, pp. 89–126. Página 104.

<http://www.patrimoniodehuesca.es/05-catedral-retablo-de-san-joaquin/>  
[Consulta: 17/02/2020]

<http://www.diocesisdehuesca.org/directorio/catedral/capillas/sjoaquin.htm>  
[Consulta: 17/02/2020]



## **Figura Pedro Arbués**

**Ubicación:** La Seo. Sacristía Mayor.

**Localidad:** Zaragoza

**Autor:** Anónimo

**Periodo:** Barroco

**Año:** Siglo XVIII

**Cantera:** Cogolludo

**Muestra:** PA-19



### ❖ **Descripción macroscópica o visu**

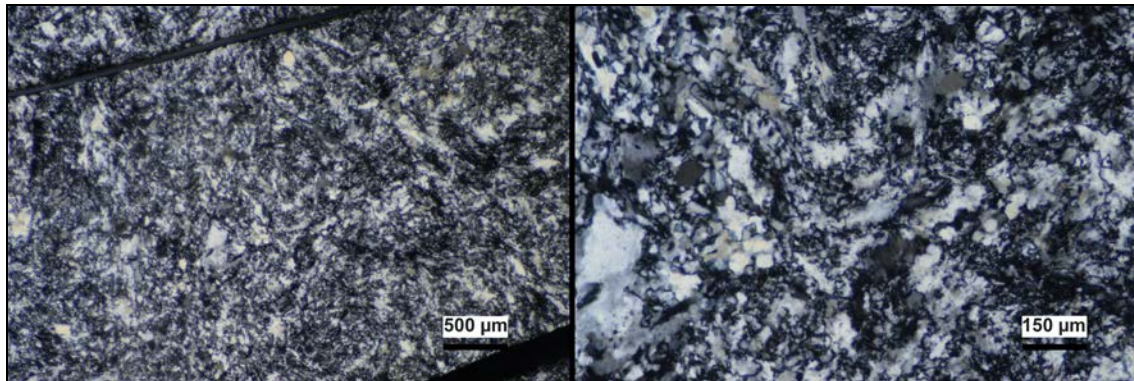
Alabastro de color blanco, aspecto compacto. Su grado de translucidez es medio. Como estructuras internas se aprecian nódulos romboidales con dimensiones entre 3 a 5 cm. No se observan venas de arcillas. Sobre la pieza hay barniz que dificulta ver el color original del alabastro.



### ❖ **Descripción petrográfica**

Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina, siendo los cristales entre el 25% al 45% del tipo microcristalina con tamaños entre de 100 a 20  $\mu\text{m}$ , del tipo subidiomorfa entre un 27% al 35% con tamaños entre de 400 a 100  $\mu\text{m}$  y del 15 al 20% son del tipo C.E.N.U. con dimensiones de 1.5 a 0.4 mm, con hábitos alotriomorfos y contactos entre los bordes de los cristales suturados, el MGS para C.E.N.U. es de 1.5 mm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados. Hay anhidrita relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica entre un 2 a 5 %, alcanzando tamaños entre 240 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 3 % cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados en forma de gavilla como aislados cuyos tamaños oscilan

entre 100 y 5  $\mu\text{m}$  con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos.



### ❖ Procedencia del material

Combinando los datos de visu (40%) y petrografía (50%), en todos casos las características de la pieza coinciden con las descritas para el alabastro de las **canteras de Cogolludo**.

### ❖ Referencia bibliográfica

Inédito



## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

1. Se han caracterizado 24 litofacies de alabastro y yeso de calidad estatuaria del Noreste de la península Ibérica, pertenecientes a distintas cuencas sedimentarias. Empezando por la cuenca del Ebro, hemos dividido en tres sectores: occidental del valle del Ebro, valle medio del Ebro y sector oriental del valle del Ebro, cuenca de Calatayud, la depresión costera valenciana y la cuenca de Madrid. Todos ellos formados en medios continentales de edad miocena, salvo las litofacies de Beuda, ubicadas en el sector pirenaico de Gerona, que se formaron en condiciones marinas durante el Oligoceno.
2. Todas las variedades son yeso alabastrino, en las que predominan las texturas alabastrinas microcristalina y C.E.N.U. sus porcentajes pueden variar según la cantera de procedencia. Son resultado de los procesos de hidratación de la anhidrita precursora, dando lugar a yesos secundarios. Hay tres excepciones a esta afirmación que corresponden a yesos primarios (facies de yeso lenticular).
3. Se ha establecido un procedimiento geológico-petroológico para ordenar y discriminar las litologías de los yesos estudiados e identificar su procedencia. Los aspectos macroscópicos, las diferentes texturas petrográficas, la composición geoquímica y su comportamiento luminiscente, sirven de base para su posterior aplicación al estudio de procedencia de piezas artísticas. Los datos obtenidos aportan nueva información sobre las características propias y distintivas de cada litofacies.
4. La discriminación entre los alabastros y yesos de calidad estatuaria valorados en este trabajo, se realiza aplicando una metodología que combina los resultados obtenidos con diferentes técnicas analíticas, para obtener un porcentaje de probabilidad de procedencia lo más ajustado posible. Conforme más áreas de extracción sean estudiadas, mayor será el conocimiento sobre las características de las diferentes litofacies, y será más precisa la labor de identificación de procedencia de proyectos artísticos realizados con alabastro y yeso de calidad estatuaria. Del mismo modo que la aplicación de varias técnicas analíticas aumenta las posibilidades de conocer la procedencia del material estudiado.
5. Los resultados de la investigación han permitido profundizar en el conocimiento sobre el uso del alabastro y sus canteras de procedencia durante la Edad Media hasta la Edad Moderna. Sobre un total de 350 piezas artísticas se han estudiado *de visu* 200 y se han podido analizar 57 muestras de las que dos han resultado de procedencia incierta,

para las que se descarta un origen del Noreste peninsular y se proponen posibles opciones.

Se verifica el uso del alabastro del Valle medio del Ebro en toda la provincia de Zaragoza al igual que en importantes proyectos en la provincia de Huesca y en menor medida en Teruel. También se emplea de forma destacada el alabastro procedente de las canteras de Fuentes de Jiloca, de todas sus litofacies. Y en momentos puntuales se extrae material de la Sierra de Alcubierre y de las canteras de Borja. Los alabastros procedentes de otras canteras llegarían hasta este territorio por medio de la compra, ya fuese de la pieza terminada o del material en bruto.

Estas identificaciones de procedencia son una herramienta para los historiadores del arte, ya que les permite conocer la trazabilidad de las piezas. Conocer periodos durante los que extrae material de unas zonas concretas y no de otras, y conocer la causa de estos sucesos. Al igual que identificar falsificaciones o ayudar a la identificación de autorías de obras de arte.

## CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA

- Arce Oliva, E., 1988. El Retablo de la Virgen del Rosario de Cella (Teruel), obra del Fintor Silvestre Estanmolín ( 1601 ). *Artigrama* 5, 133–143.
- Arche, A., López-Gómez, J., Vargas, H., 2002. Propuesta de correlación entre los sedimentos Pérmicos y Triásicos de la Cordillera Ibérica Este y de las Islas Baleares. *Geogaceta* 32, 275–278.
- Arciniega García, L., 2018. El alabastro “de singular bellea” de Picassent, entre el mito y el desdén, y su uso en tierras valencianas, in: Morte-García, C. (Ed.), *Usos Artísticos Del Alabastro y Procedencia Del Material*. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 363–378.
- Artigau, M., Playà, E., 2011. El alabastro de Sarral como soporte escultórico . Descripción e introducción geológica. *Unicum, Rev. la Esc. Super. Conserv. y Restauración Bienes Cult. Cataluña*, 2011. 1–13.
- Attanasio, D., 2003. Ancient white marbles. Identification and analysis by Paramagnetic Resonance Spectroscopy, in: *Studia Archaeológica*, 122. L’Érma” di Bretschneider, Roma, p. 284.
- Barbin, V., Ramseyer, K., Decrouez, D., Burns, S.J., Chamay, J., Maier, J.L., 1992. Cathodoluminescence of White Marbles: an Overview. *Archaeometry* 34, 175–183. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1992.tb00490.x>
- Barbin, V., Zezza, U., Sebastian, E., 1995. The cathodoluminescence of Macael White marbles (Almeria, Spain), in: Maniatis, Y., Herz, N., Basiakos, Y. (Eds.), *Asmosia V. The Study of Marble and Other Stones Used in Antiquity*. Archetype Publ. Ltd., London, pp. 131–135.
- Barmarin, G., 2010. Online Database of Luminescent minerals [WWW Document]. <http://www.fluomin.org/uk/accueil.php>.
- Beltrán Lloris, M., 1976. *Arqueología e historia de las ciudades antiguas del cabezo de Alcalá de Azaila*, Teruel, Librería G. ed. Zaragoza.
- Beltrán Lloris, M., Callizo Soneiro, J., Cancela Ramírez de Arellano, M.L., Corral Díaz, R.M., Fayanas Buey, S., Gómez Dieste, C., Martínez Latre, C., Paz Peralta, J.Á., 2003. *Guía del museo de Zaragoza*. Gobierno de Aragón, Departamento de Cultura y Turismo, Zaragoza.
- Blanc, P., 1999. Quantification de la cathodoluminescence des marbres blancs et de leurs minéraux accessoires, in: Schovoever, M. (Ed.), *Archeomatériaux. Marbres et Autres Roches*. Actes de La IVe Conférence Internationale ASMOSIA IV. CRPAA, PUB, Bordeaux, Bordeaux-Talence, pp. 45–54.
- Boloqui Larraya, B., 2019. Alabastros en la portada de la Real Capilla de Santa Isabel en Zaragoza. Análisis escultórico, iconográfico y simbólico de los ornatos de alabastro, espejo de virtudes de la Diputación del reino de Aragón (1682-1697). *Ars Renov.* 7, 120–140.

- Boloqui Larraya, B., 2018. El alabastro en el barroco en los siglos XVII y XVIII. Alabastros de los Lastanosa en su palacio de Huesca y su capilla-panteón en la catedral de Huesca, in: Morte García, C. (Ed.), Usos Artísticos Del Alabastro y Procedencia Del Material. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 89–126.
- Boloqui Larraya, B., 2016. El alabastro como material suntuario. La estatua de D. José de Palafox, obra de Francisco Franco, en el sepulcro de la iglesia del monasterio de San José de las madres dominicas de Calatayud. Vicisitudes del patrimonio histórico, in: IX Encuentro de Estudios Bilbilitanos. Centro de Estudios Bilbilitanos, “Institución Fernando el Católico,” Calatayud, pp. 581–604.
- Braitsch, O., 1971. Salt Deposits Their Origin and Composition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Brilli, M., Giustini, F., Conte, A.M., Lapuente Mercadal, P., Quarta, G., Royo Plumed, H., Scardozzi, G., Belardi, G., 2015. Petrography, geochemistry, and cathodoluminescence of ancient white marble from quarries in the southern Phrygia and northern Caria regions of Turkey: Considerations on provenance discrimination. *J. Archaeol. Sci. Reports* 4, 124–142. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.08.036>
- Bruce, L.F., Kopylova, M.G., Longo, M., Ryder, J., Dobrzhinetskaya, L.F., 2011. Luminescence of diamonds from metamorphic rocks. *Am. Miner.* 96, 14–22.
- Butler, G.P., 1973. Strontium Geochemistry of Modern and Ancient Calcium Sulphate Minerals. *Persian Gulf* 423–452. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-65545-6\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-642-65545-6_21)
- Calvo, J.P., Ordóñez, S., García del Cura, M. a., Hoyos, M., Alonso-Zarza, a. M., Sanz, E., Rodríguez Aranda, J.P., 1989. Sedimentología de los complejos lacustres miocenos de la Cuenca de Madrid. *Acta Geológica Hispánica* 24, 281–298.
- Capedri, S., Venturelli, G., 2004. Accessory minerals as tracers in the provenancing of archaeological marbles, used in combination with isotopic and petrographic data. *Archaeometry* 46, 517–536. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2004.00171.x>
- Carroll, M., Montana, G., Randazzo, L., Giarrusso, R., 2008. Recovering evidence for the use of marble and coloured limestone in the first century AD in excavations at the sanctuary of Venus at Pompeii. *FOLD&R FastiOnLine Doc. Res.* 1–14.
- Castán Chocarro, A., 2018. Usos del alabastro en el Arte Contemporáneo: de Pablo Gargallo a Tacita Dean, in: Morte García, C. (Ed.), Usos Artísticos Del Alabastro y Procedencia Del Material. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 455–468.
- Castiella, J., Sole, J., Valle de Lersundi, J.D., 1978. Memoria explicativa del Mapa Geológico de Navarra (escala 1: 200.000).
- Castillo Herrador, F., 1974. Le Trias evaporitique des bassins de la Vallee de L’Ebre et de Cuenca. *Bull. la Soc. Geol. Fr.* S7-XVI, 666–676. <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.s7-xvi.6.666>
- Claypool, G.E., Holser, W.T., Kaplan, I.R., Sakai, H., Zak, I., 1980. The age curves of sulfur and oxygen isotopes in marine sulfate and their mutual interpretation. *Chem.*

- Geol. 28, 199–260. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0009-2541\(80\)90047-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0009-2541(80)90047-9)
- Corominas, J., Pascual, J.A., 1991. Diccionario crítico etimológico castellano e hispánico, 6 Vols., s.v. alabastro, Gredos. ed. Madrid.
- Costagliola, P., Benvenuti, M., Corsini, F., Maineri, C., Mascaro, I., 2001. Pb-isotope signatures of Italian alabasters: possible application to provenance studies of works of art. *Eur. J. Mineral.* 13, 421–428. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/01/0013-0421>
- Covarrubias, S., 1611. *Tesoro de la Lengua Castellana o Española*, Rey N.S. ed. Madrid.
- Craig, H., Craig, V., 1972. Greek Marbles: Determination of Provenance by Isotopic Analysis. *Science* (80-. ). 176, 401–403. <https://doi.org/10.1126/science.176.4033.401>
- Cramer, T., Germann, K., Heilmeyer, W., Kästner, V., 2009. Marble objects from Asia Minor in the Berlin Collection of Classical Antiquities: stone characteristics and provenance., in: *Proceedings of the 7th International Conference of Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity*. École française d’Athènes., p. 371.
- Cramer, T., Germann, K., Kästner, V., 2004. Provenance determination of marble from Pergamon in the Berlin Collection of Classical Antiquities-methods and results, in: *Architectural and Sculptural Stone in Cultural Landscape*. pp. 53–71.
- Criado Mainar, J., 2013. *La catedral de Santa María de la Huerta de Tarazona*. Diputación Provincial de Zaragoza. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Criado Mainar, J., 2006. El retablo mayor de la catedral de Santa María de la Huerta de Tarazona (Zaragoza): noticias sobre su realización 1605-1614. *Artigrama Rev. del Dep. Hist. del Arte la Univ. Zaragoza* 417–452.
- Criado Mainar, J., 1996. *Las artes plásticas del Segundo Renacimiento en Aragón*. Pintura y escultura.
- Cuella Esteban, O., 1984. Aportaciones culturales y artísticas del papa Luna (1394-1423) a la ciudad de Calatayud. *Institución Fernando el Católico, Zaragoza*.
- Dean, W.E., 1978. Trace and minor elements in evaporites, in: Dean, W.E., Schreiber, B.C. (Eds.), *Marine Evaporites*. S.E.P.M. Short Course 4. Oklahoma, pp. 86–104. <https://doi.org/10.2110/scn.78.01.0086>
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1999. *Rock-Fonning Minerals*. Pearson Education Limited.
- Eaton-Magaña, S., Breeding, C.M., 2016. An introduction to Photoluminescence Spectroscopy for Diamond and its Applications in Gemology. *Gems Gemol.* 52, 2–17.
- Emmermann, A., 2010. The fluorescence of Gypsum, Betekom, Flemish-Brabant [WWW Document]. <https://>

[www.academia.edu/15228771/The\\_fluorescence\\_of\\_Gypsum\\_Betekom\\_Flemish-Brabant\\_Belgium](http://www.academia.edu/15228771/The_fluorescence_of_Gypsum_Betekom_Flemish-Brabant_Belgium).

- Equipo Arbotante / Geotransfer, 2016. Informe técnico de durabilidad en un edificio con dos fachadas en aplacados de alabastro.
- Escavy, J.I., Herrero, M.J., Arribas, M.E., 2012. Gypsum resources of Spain : Temporal and spatial distribution. *Ore Geol. Rev.* 49, 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2012.09.001>
- Fanlo Loras, J., Picazo Millán, J. V., Soro Gayán, A., 2018. Un taller de vasos de alabastro de época andalusí en Rodén (Fuentes de Ebro, Zaragoza), in: Morte García, C. (Ed.), *Usos Artísticos Del Alabastro y Procedencia Del Material*. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 499–520.
- Fort, R., Bustillo, M., 1986. Estudio geoquímico de los yesos Miocenos de la zona Este de la Cuenca de Madrid. *Estud. geológicos* 42, 387–395.
- Fritsch, E., Megaw, P.K., Spano, T.L., Chauviré, B., Rondeau, B., Gray, M., Hainschwang, T., Renfro, N., 2015. Green-luminescing hyalite opal from Zacatecas, Mexico. *J. Gemmol.* 34, 490–508.
- Gaft, M., Nagli, L., Panzer, G., Waychunas, G., Porat, N., 2008. The nature of unusual luminescence in natural calcite CaCO<sub>3</sub>. *Am. Miner.* 93, 158–167.
- Gale, N.H., Einfalt, H.C., Hubberten, H.W., Jones, R.E., 1988. The sources of Mycenaean gypsum. *J. Archaeol. Sci.* 15, 57–72. [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(88\)90019-2](https://doi.org/10.1016/0305-4403(88)90019-2)
- García Lasheras, S., 2015. La personalidad artística de Pere de Corçan, maestro de los sepulcros de los Pérez Calvillo en la catedral de Tarazona. *Turiaso* 22, 137–209.
- Germann, K., Gruben, G., Knoll, H., Valis, V., F.J., W., 1988. Provenance Characteristics of Cycladic (Paros and Naxos) Marbles — A Multivariate Geological Approach, in: Herz, N., Waelkens, M. (Eds.), *Classical Marble: Geochemistry, Technology, Trade*. NATO ASI Series (Series E: Applied Sciences). Springer, Dordrecht.
- Germann, K., Holzmann, G., Winkler, F.J., 1980. Determination of marble provenance: limits of isotopic analysis. *Archaeometry* 22, 99–106.
- Gisbert, J.; Galarreta, S., 2015. El alabastro: patología en su uso arquitectónico y metodología específica para su estudio. *Red Conserv. del Patrim. Arqut.* 11, 8–16.
- Gisbert Aguilar, J., Sánchez-Cano, A.I., Morte-García, C., Muñoz del Pozo, A., 2019. Identificación de procedencias mediante técnicas no invasivas: primeros resultados. Desarrollo de un sistema para medir fosforescencia en piezas histórico-artísticas como criterio en la identificación de la procedencia del material: construcción del equip. *Ars Renov.* 7, 208–221.
- Gisbert, J., Muñoz del Pozo, A., 2018. Caracterización del alabastro y parámetros útiles para identificar la procedencia en piezas histórico - artísticas, in: Morte, C. (Ed.), *Usos Artísticos Del Alabastro y Procedencia Del Material*. Actas I Congreso

- Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 135–158.
- Godfrey P. Butler, 1969. Modern Evaporite Deposition and Geochemistry of Coexisting Brines, the Sabkha, Trucial Coast, Arabian Gulf. *SEPM J. Sediment. Res.* 39, 70–89. <https://doi.org/10.1306/74d71be5-2b21-11d7-8648000102c1865d>
- González, H., 2018. Polémicas en torno a la identidad y procedencia de los retratos orantes de los Marqueses de Ariza, in: Morte-García, C. (Ed.), *Usos Artísticos Del Alabastro y Procedencia Del Material*. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 393–404.
- Gorgoni, C., Lazzarini, L., Pallante, P., Turi, B., 2002. An updated and detailed mineropetrographic and CO stable isotopic reference database for the main Mediterranean marbles used in antiquity, in: *Asmosia*. Boston, pp. 115–131.
- Grabau, A.W., 1920. *Geology of the Non-metallic Mineral Deposits Other Than Silicates: Principles of Salt Deposition*, McGraw-Hil. ed. New York.
- Gracia Rivas, M., Aguilera Hernández, A., 2014. Museos de Arte Religioso en Borja. *Artigrama Rev. del Dep. Hist. del Arte la Univ. Zaragoza* 239–258.
- Gutiérrez, F., Calaforra, J.M., Cardona, F., Ortí, F., Durán, J.J., Garay, P., 2008. Geological and environmental implications of the evaporite karst in Spain 951–965. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0721-y>
- Gutiérrez, F., Ortí, F., Gutiérrez, M., Pérez-González, A., Benito, G., Prieto, J.G., Valsero, J.J.D., 2001. The stratigraphical record and activity of evaporite dissolution subsidence in Spain. *Carbonates and Evaporites* 16, 46.
- Gutierrez Santolalla, F., Gracia Prieto, F.J., Gutierrez Elorza, M., 1996. Consideraciones sobre el final del relleno endorreico de las fosas de Calatayud y Teruel y su paso al exorreismo. Implicaciones morfoestratigraficas y estructurales. *Cad. Lab. Xeol. Laxe* 21, 23–43.
- Hernando Sebastián, P.L., 2018. Uso y procedencia del alabastro en la arquitectura medieval aragonesa. Ejemplo de las iglesias de Mallén, Novillas y Borja, in: Morte García, C. (Ed.), *Usos Artísticos Del Alabastro y Procedencia Del Material*. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 309–316.
- Herz, N., 1987. Carbon and Oxygen Isotopic Ratios: a Data Base for Classical Greek and Roman Marble. *Archaeometry* 29, 35–43. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1987.tb00395.x>
- Herz, N., 1985. Isotopic analysis of marble. *Archaeol. Geol.* 331–351.
- Holliday, D.W., 1970. Petrology of secondary gypsum rocks: A review. *J. Sediment. Petrol.* 40, 734–744.
- Holser, W.T., Kaplan, I.R., 1966. Isotope geochemistry of sedimentary sulfates. *Chem. Geol.* 1, 93–135. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0009-2541\(66\)90011-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0009-2541(66)90011-8)
- Holser, W.T., Kaplan, I.R., Sakai, H., Zak, I., 1979. Isotope geochemistry of oxygen in the sedimentary sulfate cycle. *Chem. Geol.* 25, 1–17.



[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0009-2541\(79\)90079-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0009-2541(79)90079-2)

- Ibáñez Fernández, J., 2012. La Portada de Santa María de Calatayud, Ed: Centro. ed. Centro de Estudios Bilbilitanos de la Institución «Fernando Católico»., Calatayud.
- Javier Ibáñez Fernández, Alegre Arbués, J.F., 2012. Colegiata de Santa María. Calatayud.
- Kasprzyk, A., 1994. Distribution of strontium in the Badenian (Middle Miocene) gypsum deposits of the Nida area, southern Poland. *Geol. Q.* 38, 497–512.
- Kirkland, D.W., Evans, R., 1976. Origin of limestone buttes, gypsum plain, Culberson County, Texas. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 60, 2005–2018.
- Kloppmann, W., Leroux, L., Bromblet, P., Guerrot, C., Proust, E., Cooper, A.H., Worley, N., Smeds, S.A., Bengtsson, H., 2014. Tracing medieval and renaissance alabaster works of art back to quarries: A multi-isotope (Sr, S, O) approach. *Archaeometry* 56, 203–219. <https://doi.org/10.1111/arcm.12008>
- Kloppmann, W., Leroux, L., Bromblet, P., Le Pogam, P.-Y., Cooper, A.H., Worley, N., Guerrot, C., Montech, A.T., Gallas, A.M., Aillaud, R., 2017. Competing English, Spanish, and French alabaster trade in Europe over five centuries as evidenced by isotope fingerprinting. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114, 11856–11860. <https://doi.org/10.1073/pnas.1707450114>
- Knoll, M., 1935. Aufladepotential und sekundäremission elektronenbestrahlter körper. *Zeitschrift für Tech. Phys.* 467–475.
- Knoll, M., Ruska, E., 1932. Das elektronenmikroskop. *Zeitschrift für Phys.* 78. 5–6, 318–339.
- Kushnir, J., 1980. The coprecipitation of strontium, magnesium, sodium, potassium and chloride ions with gypsum. An experimental study. *Geochim. Cosmochim. Acta* 44, 1471–1482. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0016-7037\(80\)90112-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0016-7037(80)90112-X)
- Lacarra Ducay, C., Morte-García, C., 1984. Catálogo del Museo Episcopal y Capitular de Huesca. Guara Editorial, S. A., Zaragoza.
- Lacarra Ducay, M. del C., 2003. Arte gótico en el museo de Zaragoza. Gobierno de Aragón, Zaragoza.
- Lacarra Ducay, M. del C., 1999. El retablo mayor de la Seo de Zaragoza. Zaragoza.
- Lapiente, M.P., Álvarez, A., 2012. Métodos para la identificación de los mármoles, in: García Entero, V. (Ed.), *El Marmor En Hispania: Explotación, Uso Y Difusión En Época Romana*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, pp. 73–90.
- Lazzarini, L., Antonelli, F., 2003. Petrographic and isotopic characterization of the marble of the island of Tinos (Greece). *Archaeometry* 45, 541–552. <https://doi.org/10.1046/j.1475-4754.2003.00127.x>
- Lazzarini, L., Moschini, G., Stievano, B.M., 1980. A contribution to the identification of Italian, Greek and Anatolian marbles through a petrological study and the

- evaluation of Ca/Sr ratio. *Archaeometry* 22, 173–183. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1980.tb00940.x>
- Ligeza, M., Pańczyk, E., Rowińska, L., Waliś, L., Nalepa, B., 2001. A contribution of INAA to the determination of the provenance of the fourteenth century sculpture. *Nukleonika* 46, 71–74.
- Liu, Y., Shi, G., Wang, S., 2014. Color phenomena of blue amber. *Gems Gemol.* 50, 134–140.
- Longinelli, A., 1979. Isotope geochemistry of some Messinian evaporates: Palaeoenvironmental implications. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 29, 95–123. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0031-0182\(79\)90076-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0031-0182(79)90076-2)
- Mandado, J., 2018. Texturas alabastrinas del Terciario en el Valle del Ebro, in: Morte García, C. (Ed.), *Usos Artísticos Del Alabastro y Procedencia Del Material*. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 71–88.
- Mandado, J., 1987. Litofacies yesíferas del sector aragonés de la cuenca terciaria del Ebro. Zaragoza.
- Mandi, V., Maniatis, Y., Bassiakos, Y., Kilikoglou, V., 1992. Provenance investigation of marbles with ESR spectroscopy: further developments, in: *Acta Archaeologica Lovaniensia Monographiae*, 4. pp. 213–222.
- Manfra, L., Masi, U., Turi, B., 1975. Carbon and Oxygen Isotope Ratios of Marbles From Some Ancient Quarries of Western Anatolia and Their Archaeological Significance. *Archaeometry* 17, 215–219. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1975.tb00135.x>
- Marshall, D.J., Mariano, A.N., 1988. Cathodoluminescence of geological materials.
- Martí, M., 2018. El alabastro valenciano y un libro de cantera de piedra del siglo XIV, in: Morte-García, C. (Ed.), *Usos Artísticos Del Alabastro y Procedencia Del Material*. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 255–272.
- Martinez, A., 2010. Microanálisis Por Dispersión De Energías De Rayos-X ( Xeds ). *Serv. Microsc. Electrónica. SCAI. Univ. Málaga* 1–11.
- Martínez Ferrer, S., 2018. Simposio Internacional de escultura en alabastro de Albalate del Arzobispo. Retrospectiva, in: Morte García, C. (Ed.), *Usos Artísticos Del Alabastro y Procedencia Del Material*. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 469–474.
- Matthews, K.J., 1997. The establishment of a data base of neutron activation analyses of white marble. *Archaeometry* 39, 321–332. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1997.tb00809.x>
- Mello, E., Monna, D., Oddone, M., 1988. Discriminating sources of Mediterranean marbles: a pattern recognition approach. *Archaeometry* 30 (1), 102–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1988.tb00438.x>

- Meloni, S., Oddone, M., Zezza, U., 1995. Rare-earth element patterns of white marble samples from ancient quarries in Carrara (Italy)., in: Maniatis, Y., Herz, N., Basiakos, Y. (Eds.), *Asmosia III Athens. Transact. 3rd Symp. Assoc. Study of Marbles and Other Stones Used in Antiquity*. London, pp. 181–186.
- Méndez, J.F., 2004. *La capilla de los Arcángeles de la Seo de Zaragoza : restauración 2004*. Zaragoza.
- Moens, L., De Paepe, P., Waelkens, M., 1992. Multidisciplinary research and cooperation: keys to a successful provenance determination of white marble. *Anc. stones Quarr. trade Proven.* 4, 247–252.
- Moens, L., Roos, P., De Rudder, J., Hoste, J., 1989. Chemical and petrographical identification of White marbles from the Mediterranean área. I. Comparison between Carrara and Marmara marbles, in: *Proceedings of the 25th International Symposium of Archaeometry*. Elsevier, Amsterdam, pp. 613–624.
- Moens, L., Roos, P., De Rudder, J., Hoste, J., De Paepe, P., Van Hende, J., Marechal, R., Waelkens, M., 1988. White marble from Italy and Turkey: An archaeometric study based on minor-and trace-element analysis and petrography. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 123, 333.
- Moliner, M., 2016. *Diccionario del uso del español. Edición especial 50 aniversario*, Gredos S.A. ed.
- Moore, G.W., 1960. *Origin and chemical composition of evaporite deposits*. Yale University.
- Morte-García, C., 2019. *Al modo romano. El monumento funerario de Damián Forment para el virrey Juan de Lanuza en el castillo de Alcañiz*.
- Morte-García, C., 2015. El retablo del obispo Jaime Jimeno (1587) y el escultor Domingo Fernández de Yarza, in: Lahoz Gutierrez, M.L., Pérez Hernández, M. (Eds.), *Lienzos Del Recuerdo: Estudios En Homenaje a José M<sup>a</sup> Martínez Frías*. Zaragoza, pp. 425–434.
- Morte-García, C., 2009a. *Damián Forment escultor del renacimiento. Monografías de Arte CAI, Zaragoza*.
- Morte-García, C., 2009b. *Damián Forment. Adoración de los reyes Magos. Padre Eterno. El esplendor del Renacimiento en Aragón*, in: *Museo de Bellas Artes de Bilbao : Junio, Septiembre de 2009 : Museo de Bellas Artes de Valencia : Octubre de 2009, Enero de 2010 : Museo de Zaragoza : Febrero, Abril de 2010*. Zaragoza (m): Gobierno de Aragón ; Museo de Bellas Artes de Bilbao, Generalitat . pp. 164–165.
- Morte-García, C., 1984. *La iglesia de San Andrés de Uncastillo (Zaragoza), edificio funerario del siglo XVI del obispo Pedro del Frago*. *Artigrama* 1, 147–176.
- Morte-García, C., Sesma Muñoz, J.Á., 2015. *Fernando II de Aragón. El rey que imaginó España y la abrió a Europa*.
- Morte García, C., 2018. El alabastro “piedra blanca y muy bella”, signo de identidad de Aragón, in: Morte García, C. (Ed.), *Usos Artísticos Del Alabastro y Procedencia*

- Del Material. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 23–70.
- Morte García, C., 2013. El Sepulcro Renacentista De Juan De Lanuza, Virrey De Aragón, Comendador Mayor De Alcañiz Y Gran Maestre De La Orden De Montesa. *Ars Renov.* 1, 60–108.
- Morte García, C., Arce Oliva, E., Boloqui Larraya, B., Gisbert, J., Pano Gracia, J.L., Muñoz del Pozo, A., Mandado, J., 2018. El alabastro de las canteras históricas del Valle Medio del Ebro como material artístico desde la Baja Edad Media a la Edad Moderna (siglos XIV al XVIII) y su estudio Petrográfico-Geoquímico., in: Morte García, C. (Ed.), *Usos Artísticos Del Alabastro y Procedencia Del Material*. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 13–22.
- Morte García, C., Pano Gracia, J.L., Arce Oliva, E., 2017. El cielo de alabastro: Sepulcros renacentistas en Aragón, in: Castán, A., Lomba, C. (Eds.), *Eros y Thánatos: Reflexiones Sobre El Gusto III*: [Simposio, Zaragoza, Paraninfo de La Universidad de Zaragoza, 16, 17 y 18 de Abril de 2015] Institución Fernando El Católico. Institución Fernando el Católico, Organismo autónomo de la Excma. Diputación de, Zaragoza, pp. 65–96.
- Muñoz, A., Pardo, G., Villena, J., 1986. Análisis tectosedimentario del Terciario de la Depresión de Arnedo (prov. de La Rioja). *Acta Geol. Hisp* 21–22, 427–435.
- Muñoz del Pozo, A., Andrés Palos, E., 2019. Las canteras históricas de alabastro en Aragón y las limítrofes en La Rioja, Navarra y Valencia: Estudio histórico-artístico y petrográfico-geoquímico, in: *XXII Congreso Nacional de Historia Del Arte. Vestir La Arquitedtura*. Burgos, pp. 1978–1985.
- Murray, R.C., 1964. Origin and diagenesis of gypsum and anhydrite. *J. Sediment. Petrol.* 34, 512–523.
- Nebrija, A., 1495. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, Nuevo Tesoro Lexicográfico de la Lengua Española [NTLLE] [en línea]. [WWW Document]. *Vocab. español-latino apud*.
- Ordóñez, S., Fort, R., Bustillo, M., 1989. Caracterización geoquímica de la ruptura sedimentaria entre los yesos de la unidad salina e intermedia de la cuenca de Madrid. *Estud. Geol.* 45, 45–53. <https://doi.org/10.3989/egeol.89451-2479>
- Ortí, F., 1977. Aproximación al estudio petrográfico de las microestructuras de las rocas de yeso secundario y a su origen. *Inst. Investig. Geológicas, Diput. Prov. Univ. Barcelona* 32, 87–152.
- Ortí, F., García-Veigas, J., Rosell, L., Jurado, M., Utrilla, R., 1996. Formaciones salinas de las cuencas triásicas en la Península Ibérica: caracterización petrológica y geoquímica Formaciones salinas de las cuencas triásicas en la Península Ibérica: caracterización petrológica y geoquímica. *Cuad. Geol. Ibérica* 20, 13–35.
- Ortí, F., Rosell, L., 2007. The Ninyerola Gypsum unit: An example of cyclic, lacustrine sedimentation (Middle Miocene, e Spain). *J. Iber. Geol.* 33, 249–260.
- Ortí, F., Rosell, L., 1998. Unidades evaporíticas de la Cuenca de Calatayud (Mioceno

- inferior - medio, Zaragoza). *Geogaceta* 23, 111–114.
- Ortí, F., Rosell, L., Inglès, M., Playà, E., 2007. Depositional models of lacustrine evaporites in the SE margin of the Ebro Basin (Paleogene, NE Spain). *Geol. Acta* 5, 19–34.
- Ortí, F., Rosell, L., Playà, E., García-Veigas, J., 2010. Large gypsum nodules in the Paleogene and Neogene evaporites of Spain: Distribution and palaeogeographic significance. *Geol. Q.* 54, 411–422.
- Ortí Iglesias, M., 2005. El alabastro en la Edad Media y la Edad Moderna. El caso de Sarra (Tarragona). *Re Met.* 5, 45–61.
- Ortiz-Cruz, D., 2018. Documentación, caracterización y usos del término alabastro a través de los diccionarios españoles, in: Morte García, C. (Ed.), *Usos Artísticos Del Alabastro y Procedencia Del Material*. Actas I Congreso Internacional. Pressas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 291–296.
- Pagel, M., Barbin, V., Blanc, P., Ohnenstetter, D., 2000. *Cathodoluminescence in geosciences*. Springer-Verlag, New York.
- Pandit, P., Kumar, S., Mohapatra, M., Bangotra, P., Mehra, R., Singh, A.K., 2019. Structural, photoluminescence and dielectric investigations of phosphatic shale. *Lumin. J. Biol. Chem. Lumin.* 34, 212–221.
- Pardo, G., González Delgado, J., Alonso-Gavilán Armenteros, G., Alonso-Zarza, A., Anadón, P., Viseras, C., Alcalá, L., Alonso-Gavilán, G., Arenas, C., Cabrera, L., Calvo, J., Carballeira, J., Civis, J., Corrochano, A., Dabrio, C., Fernández, J., Garcés, M., González, A., González-Delgado, J., Goy, J., Huerta, P., Ledesma, S., Luzón, A., Muñoz, A., Ortí, F., Pais, J., Pérez, A., Pérez-Rivarés, F., de Porta, J., Ramos, E., Roca, E., Rodríguez, J., Rosell, L., Sanz-Rubio, E., Sierro, F., Silva, P., Soria, J., Torres, T., Vázquez-Urbez Villena, M.J., Viseras Zazo, C.C., 2004. Cuencas cenozoicas. Editor Jorge Civis, in: Vera, J.A. (Ed.), *Geología de España*. Igme.
- Pidal, R.M., Vallejo, E. V., 1934. Historia Troyana, en Prosa Y Verso: Texto de Hacia 1270, in: Pidal, R.M., Vallejo, E. V. (Eds.), *Revista Filología Española*, Anejo XVIII. Centro Estudios Históricos, Madrid, p. 225.
- Pieri, M., 1964. I marmi d'Italia graniti e pietre ornamentali; mineralogia, geologia, tecnologia e merceologia dei marmi, analisi chimica e microscopica di 110 esemplari, le pigmentazioni coloranti nei marmi, la formazione di macchie deturpanti, i marmi antichi analizz.
- Playà, E., Inglés, M., Rosell, L., Ortí Iglesias, M., Artigau, M., Yeguas, J., Manote, R., Pey, J., 2012. Determining Gypsum Alabaster Provenance in Sculptural Artefacts: an Application Example. *Macla* 16, 50–51.
- Plinio el Viejo, 1993. *Naturae Historiae*. XXXVI-XXXVII. Lapidario, Alianza. ed. Madrid.
- Polikreti, K., Maniatis, Y., 2002. A new methodology for the provenance of marble based on EPR spectroscopy. *Archaeometry* 44, 1–21.

- Quijada, I.E., Suárez-González, P., Benito, M.I., Mas, R., 2016. Los isótopos de S en los yesos del Grupo Oncala: evidencia de influencia marina en los depósitos carbonático-evaporíticos berriasienses de la cuenca de Cameros ( La Rioja-Soria ) S isotopes on gypsum of the Oncala Group: evidence for marine influence in. *Geotemas* 16, 555–558.
- Quirantes Puertas, J., 1978. Estudio sedimentológico y estratigráfico del terciario continental de los Monegros., Institució. ed. Zaragoza.
- Rajchel, J., Śliwa, T., Wardzyński, M., 2014. Alabaster from the Ukrainian Carpathian Foredeep Basin in the architecture and sculpture of Cracow, Poland. *Geol. Q.* 58, 597–616. <https://doi.org/10.7306/gq.1185>
- Real Academia Española., 1992. Diccionario de la lengua española, Vigésima. ed. Madrid.
- Renau-piqueras, J., Faura, M., 1994. Principios básicos del Microscopio Electrónico de Barrido. *Cent. Investig. Hosp. “La Fé”* 73–92.
- Rhind, T., Ronholm, J., Berg, B., Mann, P., Applin, D., Stromberg, J., Sharma, R.L., Whyte, G., / Cloutis, E.A., 2014. Gypsum-hosted endolithic communities of the Lake St. Martin impact structure, Manitoba, Canada: Spectroscopic detectability and implications. *Int. J. Astrobiol.* 13, 1–12. <https://doi.org/10.1017/S1473550414000378>
- Riba, O., Reguant, S., Villena, J., 1983. Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutivo de la Cuenca terciaria del Ebro, in: *Libro Jubilar JM Rios-Geología de España-Tomo 2.* pp. 131–159.
- Riba, O., Vilar, F.M., 1962. Situación, características y extensión de los terrenos yesíferos en España. I Coloq. Int. Sobre las Obras Públicas en los Terrenos Yesíferos *Serv. Geológico Obras Públicas. Minist. Obras Públicas, Madrid.*
- Ríos, J.M., 1963. Materiales salinos del suelo español.
- Rodolico, F., 1952. Il capitolo sulle pietre nelle arti di Giorgio Vasari: opportunità di un commento particolare. *Stud. Vasariani Atti del Convegno Internazionale per IV Centen. della I Ed. delle ‘Vite’ dei Vasari* 129–133.
- Rodríguez Díaz, L.A., 1991. El Alabastro: Un enigmatico mineral industrial ornamental. Criterios para su reconocimiento. *Boletín del Mus. Arqueol. Nac.* 101–112.
- Roduit, N., 2007. JMicroVision: un logiciel d’analyse d’images pétrographiques polyvalent. *Université de Genève.*
- Royo Plumed, H., 2016. Mármoles de la Cordillera Pirenaica: afloramientos norpirenaicos y asociados al “Nappe des Marbres”. Caracterización y uso en época romana. *Universidad de Zaragoza.*
- Salvany, J.M., 1989a. Las formaciones evaporíticas del terciario continental de la cuenca del Ebro en Navarra y La Rioja. *Litoestratigrafía, petrología y sedimentología. Universidad de Barcelona.*

- Salvany, J.M., 1989b. Los sistemas lacustres del Eoceno superior y Oligoceno del sector oriental de la Cuenca del Ebro. *Acta geológica hispánica* 24, 231–241.
- San Miguel, A., Ortí, F., 1973. Procesos porfiroblásticos en yesos. *Rev. Inst. Inv. Geo. Dip. Prov. Univ. Barcelona* 23, 15–44.
- Sanz-Rubio, E., Sánchez-Moral, S., Canaveras, J.C., Abdul-Aziz, H., Calvo, J.P., Cuezva, S., Mazo, A. V., Rouchy, J.M., Sesé, C., Van Dam, J., 2003. Síntesis de la cronoestratigrafía y evolución sedimentaria de los sistemas lacustres evaporíticos y carbonatados neógenos de la Cuenca de Calatayud-Montalban. *Estud. Geol.* 59, 83–105.
- Sanz Rubio, E., 1999. Análisis de los sistemas deposicionales carbonáticos y evaporíticos del Neógeno de la Cuenca de Calatayud (Provincia de Zaragoza). Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC).
- Sarriá Abadía, F., Serrano Gracia, R., Hernansanz Merlo, Á., Calvo Esteban, R., Miñana Rodrigo, M.L., 1989. La capilla del Patrocinio de la iglesia colegial de Daroca, in: *Coloquio de Arte Aragonés*. Alcañiz, pp. 183–206.
- Shopov, Y.Y., 2004. Activators of Luminiscence in speleothems as source of major mistakes in interpretation of luminiscence paleoclimatic records. *Int. J. Speleol* 33, 25–33.
- Sinh, V.B.T., Osanai, Y., Lenz, C., Nakano, N., Adachi, T., Belousova, E., Kitano, I., 2019. Gem-Quality Zircon Megacrysts from Placer Deposits in the Central Highlands, Vietnam—Potential Source and Links to Cenozoic Alkali Basalts. *Minerals* 9, 1–18.
- Stewart, F.H., 1963. Marine Evaporites Data of geochemistry, United States Geological Survey.
- Stokes, G.G., 1852. On the change of refrangibility of light. *Philos. Trans. R. Soc. London* 142, 463–562.
- Taga, M., Kono, T., Yamashita, N., 2011. Photoluminescence properties of gypsum. *J. Mineral. Petrol. Sci.* 106, 169–174.
- Tomás Laguía, C., 1955. Las capillas de la catedral de Albarracín. *Teruel* 7, 156.
- Tucker, M.E., 2001. *Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*, Blackwell. ed. Malden.
- UNE-EN 12407, 2007. Métodos de ensayo para piedra natural. Estudio Petrográfico. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid.
- Urzay Barrios, J.Á., 2019. Calatayud : historia, arte, arquitectura y urbanismo : una guía para salvaguardar la ciudad. Centro de Estudios Bilbilitanos, “Institución Fernando el Católico.”
- Utrilla, R., Pierre, C., Orti, F., Pueyo, J.J., 1992. Oxygen and sulphur isotope compositions as indicators of the origin of Mesozoic and Cenozoic evaporites from Spain. *Chem. Geol.* 102, 229–244. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(92\)90158-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(92)90158-2)



- Valeur, B., Berberan-Santos, M.N., 2011. A brief history of fluorescence and phosphorescence before the emergence of quantum theory. *J. Chem. Educ* 88, 731–738.
- Valyashko, M.G., 1956. Geochemistry of bromine in the processes of salt deposition and the use of the bromine content as a genetic and prospecting criterion.
- Villacampa Sanvicente, S., 2018. Retablo de la capilla de los Reyes en la catedral de Huesca. Informe y revisión tras la restauración de las tallas de alabastro, in: Morte-García, C. (Ed.), *Usos Artísticos Del Alabastro y Procedencia Del Material*. Actas I Congreso Internacional. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 331–340.
- Vochten, F.C., Stoops, G., 2004. Gypsum crystals in Rupelian clay of Betekom (Prov. Antwerpen, Belgium). *Ann. la Société Géologique Belgique* T. 101-1, 79–83.
- Zamora Meca, C., 2017. El sarcófago renacentista de la Casa de Híjar: un discurso platónico entre la guerra y la muerte. *Ars Renov.* 5, 54–76.
- Zeza, U., 1999. Non-destructive colour parameters applied to provenance studies of archaeological mediterranean white marbles. *Archeomateriaux*. Bordeaux: CRPAA-PUB 185–190.
- Zeza, U., Massa, V., Palazzi, S., 1999. Whiteness index characterization for greek marbles, in: *Asmosia IV*. p. 368.



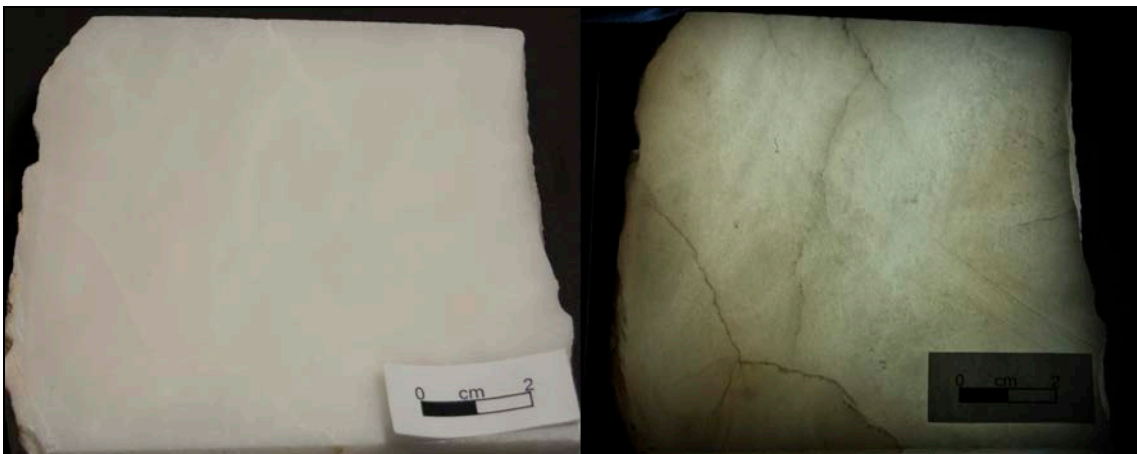
## **ANEXO I. Probetas pulidas**

## Valle del Ebro. Sector Occidental

**Autol:** Derecha vemos la muestra con luz norma, se pueden apreciar nódulos y el color blanco. Izquierda patrón de translucidez, resalta zonas más translúcidas y otras correspondientes a los nódulos que dificultan el paso de la luz, se disponen en bandas paralelas entre sí.



**Ablitas:** Derecha con luz norma en la que no se aprecian estructuras internas. Izquierda patrón de translucidez pone de manifiesto la ausencia de estructuras internas, y destaca los estilolitos planares que recorren la muestra.



**Monteagudo / Borja:** Derecha la muestra corresponde a Monteagudo, en ella se puede ver un bandeado paralelo a la estratificación, formado por bandas de diferentes colores. Izquierda es una muestra procedente de Borja, que destaca los nódulos con geometrías circulares y colores blancos que aparecen dispersos por toda la muestra.



## Valle medio del Ebro

**Fuentes de Ebro:** Derecha con luz norma en la que se distinguen nódulos de casi 10 cm. Izquierda patrón de translucidez pone de manifiesto que la luz atraviesa los contactos entre los nódulos, dándole un grado de translucidez medio.



**Gelsa:** Derecha con luz norma se diferencian claramente la presencia de nódulos con tamaños entre 5 y 1 cm. Izquierda patrón de translucidez se acentúa la estructura interna en forma de nódulos alargado y romboidales, e incluso se llegan a ver estructuras nodulares de menor tamaño dentro de los nódulos mayores.



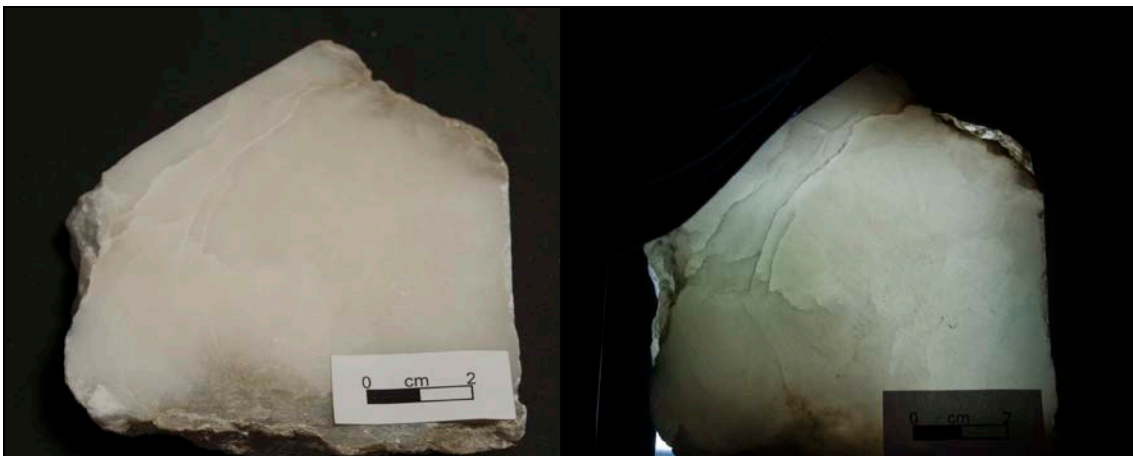
**Escatrón / Velilla:** Derecha con luz norma el aspecto de la muestra es más homogéneo, solo se aprecia alguna estructura nodular circular con dimensiones iguales o menores a 1 cm. Izquierda patrón de translucidez confirma las observaciones anteriores, mostrando la escasa presencia de nódulos y la gran difusión de la luz a través de la muestra que no tiene elementos que limiten su paso.



**Sierra de Alcubierre:** En este caso solo contamos con foto de luz normal, se diferencia el alabastro de color blanco englobado en arcillas marrones en el caso de la muestra, el color blanco del alabastro queda ligeramente teñido por la presencia de las arcillas que rodean los nódulos con tamaños entre 10 a 2 cm.



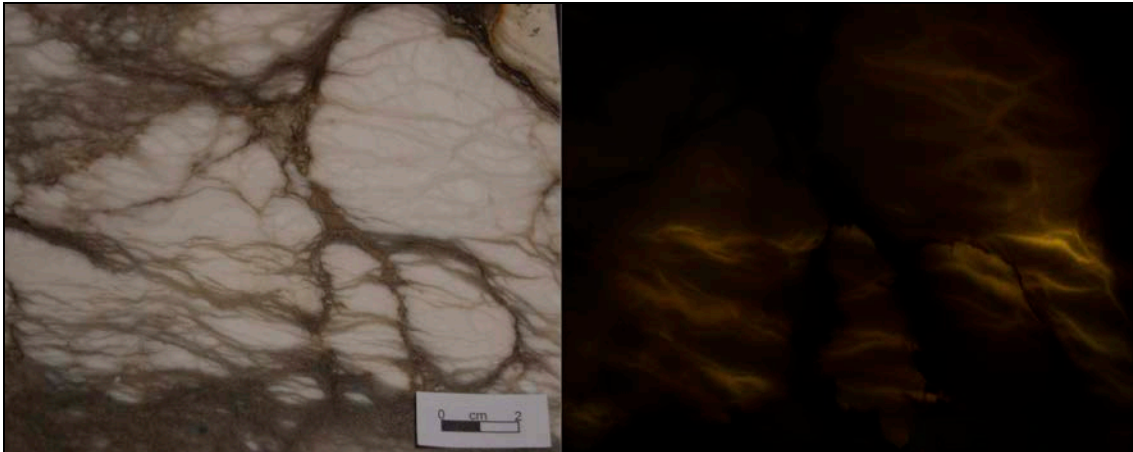
**Leciñena:** Derecha con luz norma en la que no diferencian estructuras internas, salvo estilolitos y venas de arcillas de color gris. Izquierda patrón de translucidez que remarca los estilolitos, que en algunos caso dificultan la difusión de la luz en la muestra, y las venas de arcillas, ya que en las zonas en las que predominan también disminuye la translucidez de la muestra.





## Valle del Ebro. Sector Oriental y Sector pirenaico catalán

**Sarral:** Ambas imágenes corresponden al mismo nódulo de alabastro. Las imágenes de la izquierda con luz normal se distinguen estructuras nodulares de 1 a 3 cm, la principal diferencia entre la de arriba y la de abajo es que la primera tiene mayor cantidad de venas de arcillas marrones. Lo que genera que las imágenes de la derecha sean muy diferentes, en la de arriba la translucidez es escasa dando tonos amarillos, y en la de abajo el grado de translucidez aumenta, haciendo más visibles las estructuras nodulares.



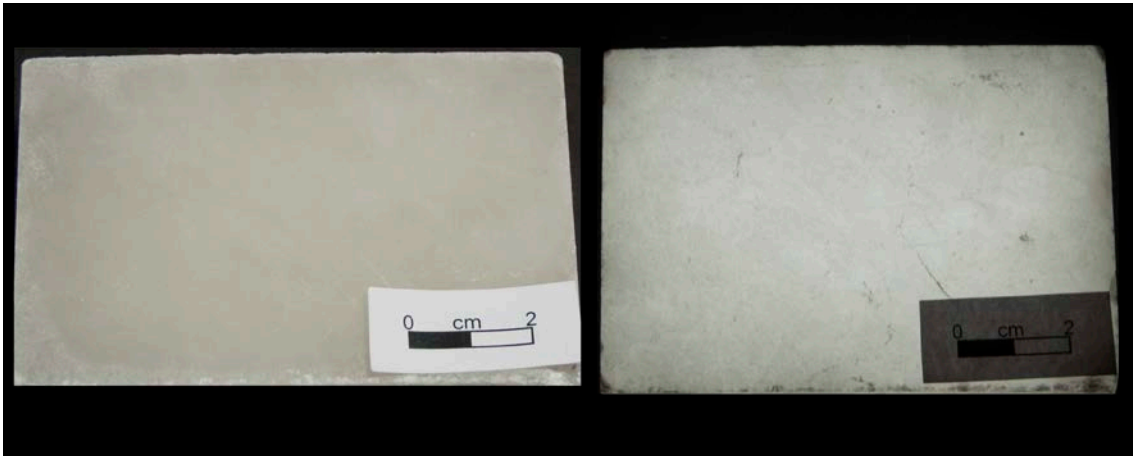
**Beuda:** Debido a que la translucidez de esta variedad de alabastro es baja, no se ha podido añadir su imagen. En la que vemos se puede observar un bandeado formado por unas líneas de color marrón claro que se disponen subparalelas unas de otras distribuidas de forma homogénea por la muestra.



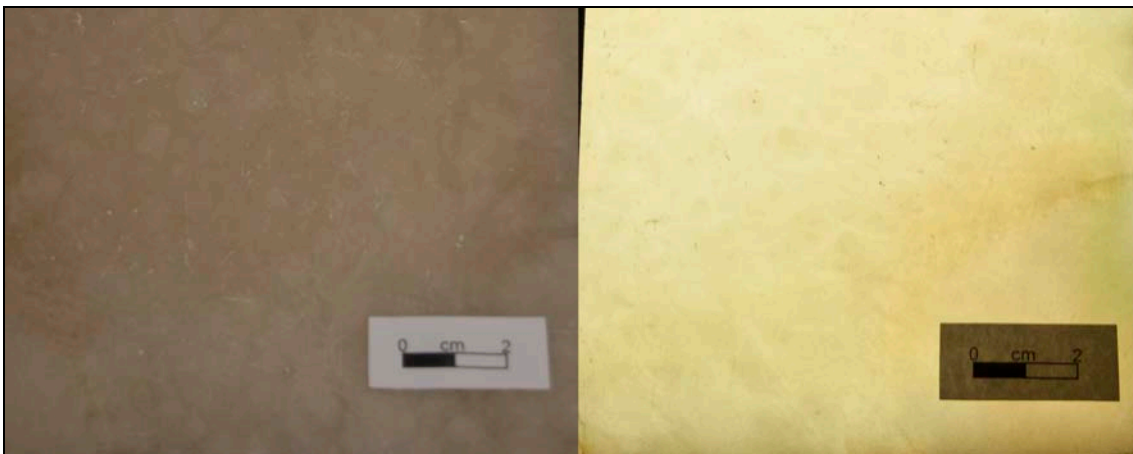


## Cuenca de Calatayud

**Blanca:** Derecha con luz norma es una muestra de alabastro blanco masiva. Izquierda el patrón de translucidez confirma que no presenta estructuras internas.



**Champán:** Derecha con luz norma vemos alabastro de color amarillo o crema y se distinguen estructuras nodulares de geometría circular y dimensiones entre 0.5 a 1 cm distribuidas de forma homogénea por la muestra. Izquierda el patrón de translucidez resalta el color amarillo de la muestra al aplicar luz blanca y los nódulos, aunque estos no dificultan el paso de la luz, es una variedad muy translúcida.

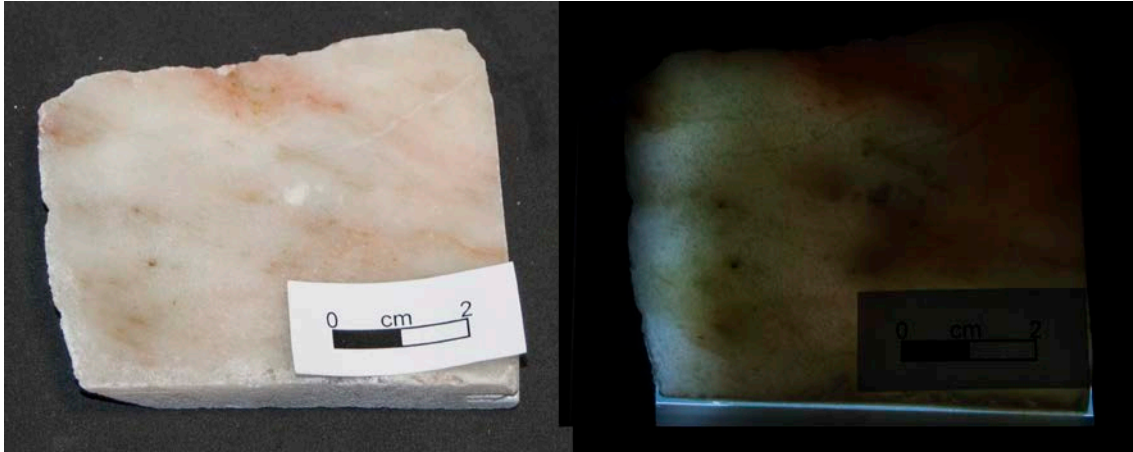


**Tabaco:** Derecha con luz norma se ve un alabastro de color marrón con nódulos de geometría romboidal y tamaño menor de 1 cm. Izquierda patrón el de translucidez remarca la geometría de los nódulos y se ve que el grado de translucidez es bajo.

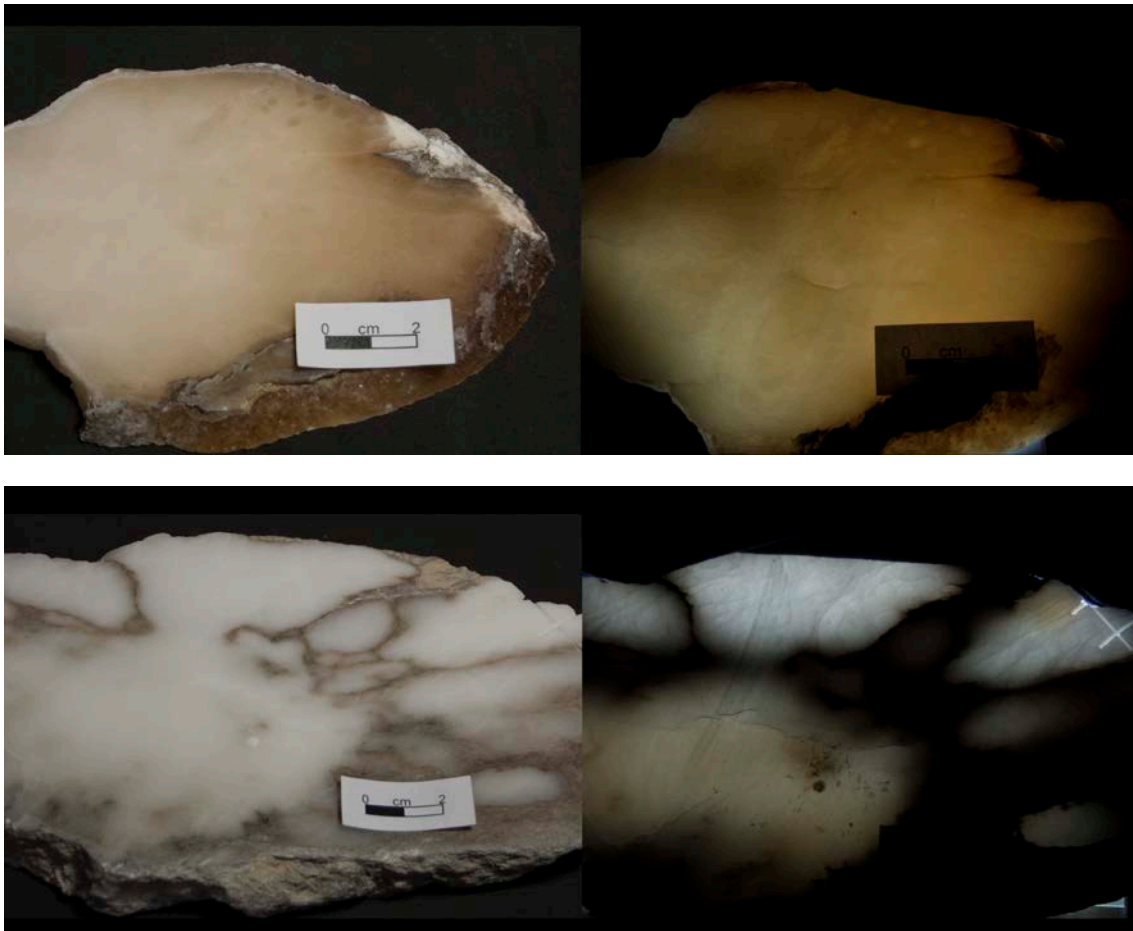


## Depresión costera Valenciana

**Sot de Ferrer:** Derecha con luz norma la muestra tiene color blanco con bandas de tonos rojizos paralelas entre sí. Izquierda el patrón de translucidez remarca este bandeado, dando en las zonas con bandas rojizas zonas rojizas, también hay zonas que no dejan pasar la luz, y el grado de translucidez de la muestra es bajo.

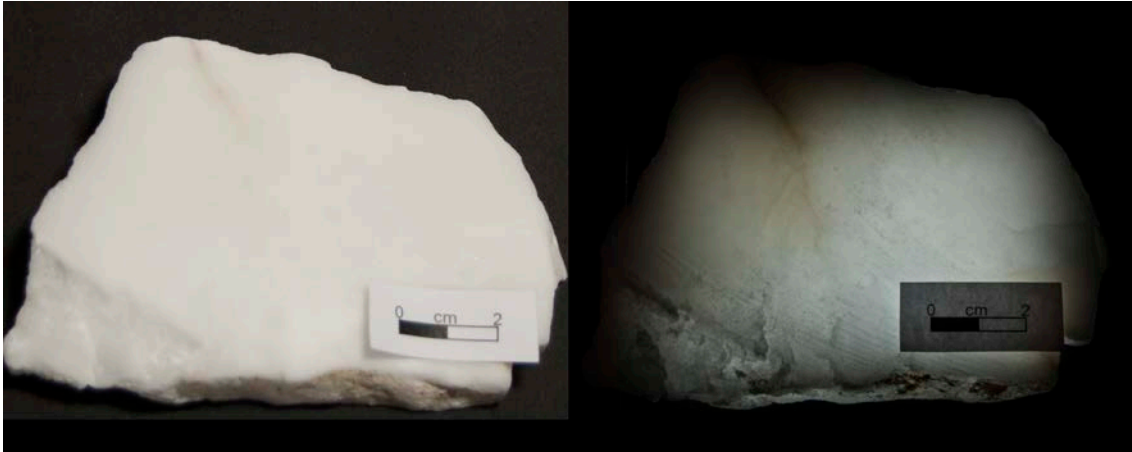


**Picassent:** Las imágenes de la derecha, muestra la de arriba un nódulo de alabastro, se ve el borde arcilloso que lo englobaba, de color blanco y sin presencia de estructuras internas. La imagen de abajo igualmente muestra un nódulo, pero en este caso en la parte interna hay venas de arcillas de color marrón y gris. Las imágenes de la izquierda reflejan el patrón de translucidez. En la muestra de arriba resalta la presencia de estilolitos planares y da un tono amarillento. La de abajo, el color es blanco y se diferencian nuevamente los estilolitos planares.



## Cuenca de Madrid

*Aleas:* En la muestra de la derecha con luz norma tenemos un alabastro de color blanco, sin presencia de estructuras internas. Izquierda el patrón de translucidez deja ver una vena de arcilla de color marrón y estructuras estilolíticas planares.



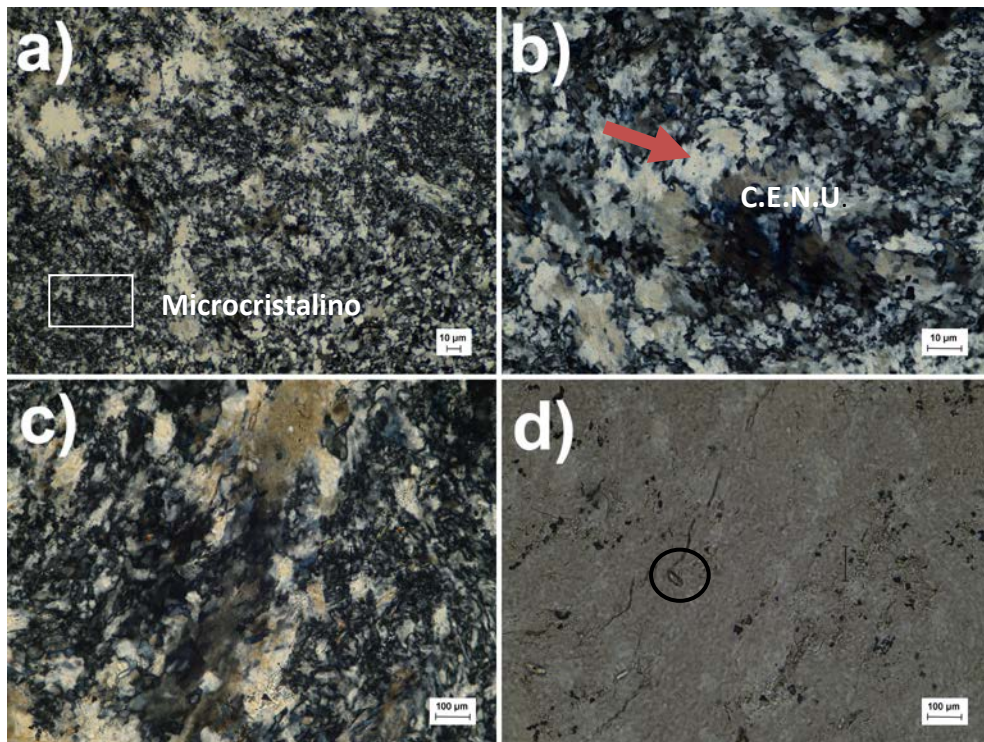
## **ANEXO II. Imágenes de microscopio**

### *Microscopio petrográfico*

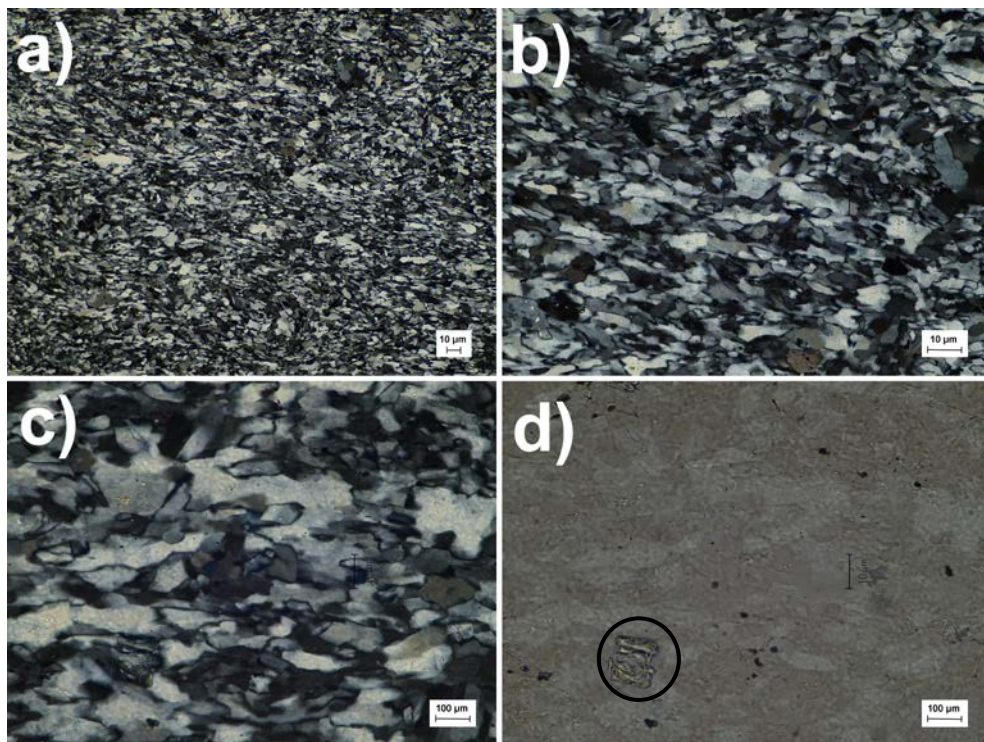


Valle del Ebro. Sector Occidental

Autol: Figura 1

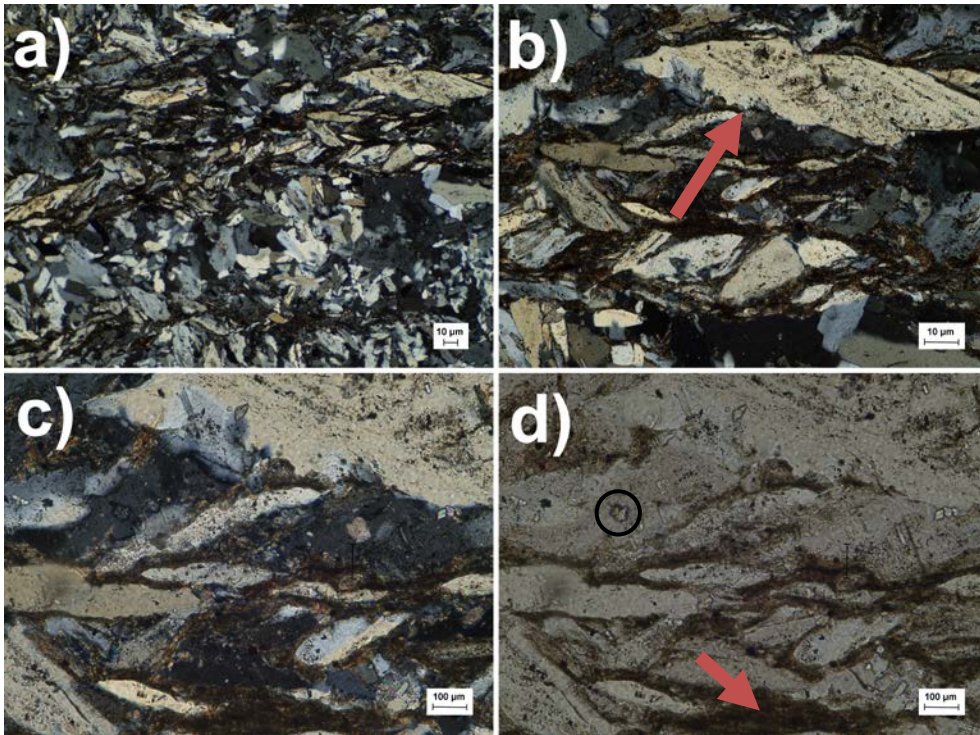


Ablitas: Figura 2

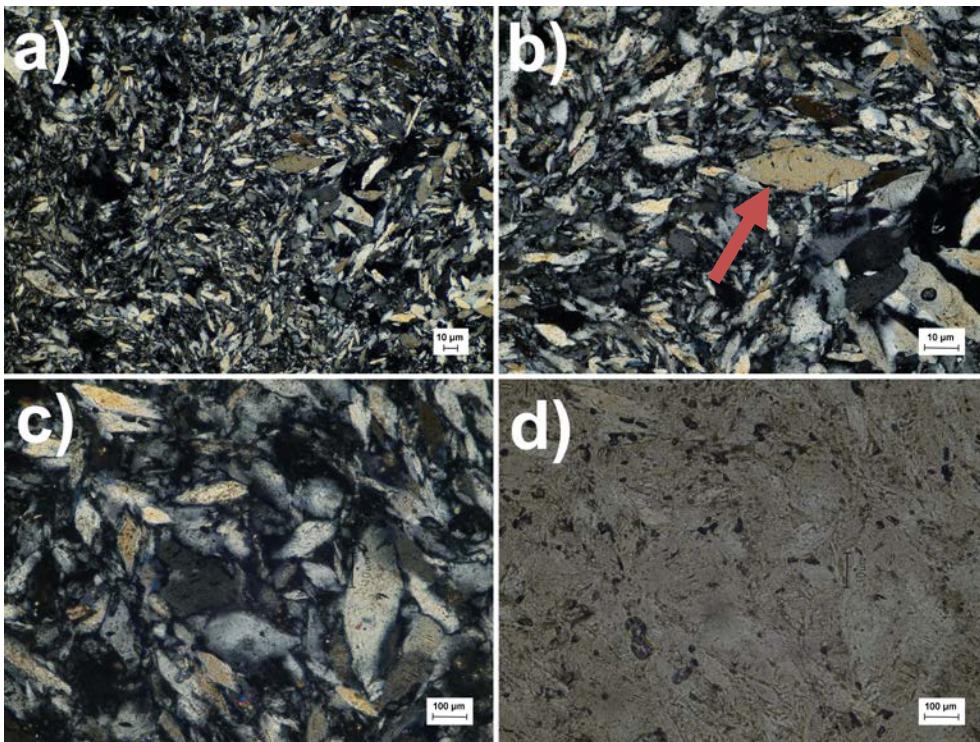




Monteagudo: Figura 3



Borja: Figura 4



## **Valle del Ebro. Sector Occidental**

### **Autol**

Figura 1. En a) b) y c) vemos un mosaico alabastrino en que domina la textura microcristalina. También se diferencian cristales C.E.N.U. y microcristalinos, marcados en la imagen con un cuadrado y una flecha respectivamente. d) Marcado con un círculo se aprecia un cristal idiomorfo de celestina, distintivos de estas canteras. Hay más cristales de celestina dispersos por la muestra.

### **Ablitas**

Figura 2. En a, b y c, vemos un mosaico alabastrino en que domina la textura subidiomorfa, en la que destaca un tamaño homogéneo de los cristales de yeso que además presentan una orientación preferente. En d) se identifica un cristal de celestina esquelético marcado con un círculo.

### **Monteagudo**

Figura 3. En las imágenes a, b y c, muestra cristales de yeso lenticular, señalado en la imagen b) con una flecha roja, entre los cristales hay matriz de carbonatos (calcita) engloban los cristales de yeso. En la imagen d) esta remarcada esta matriz formada por carbonatos con una flecha roja, y dispersos por toda la muestra, tanto en los carbonato como entre los cristales de yeso lenticular hay cristales de celestina, uno de ellos está señalado mediante un círculo negro.

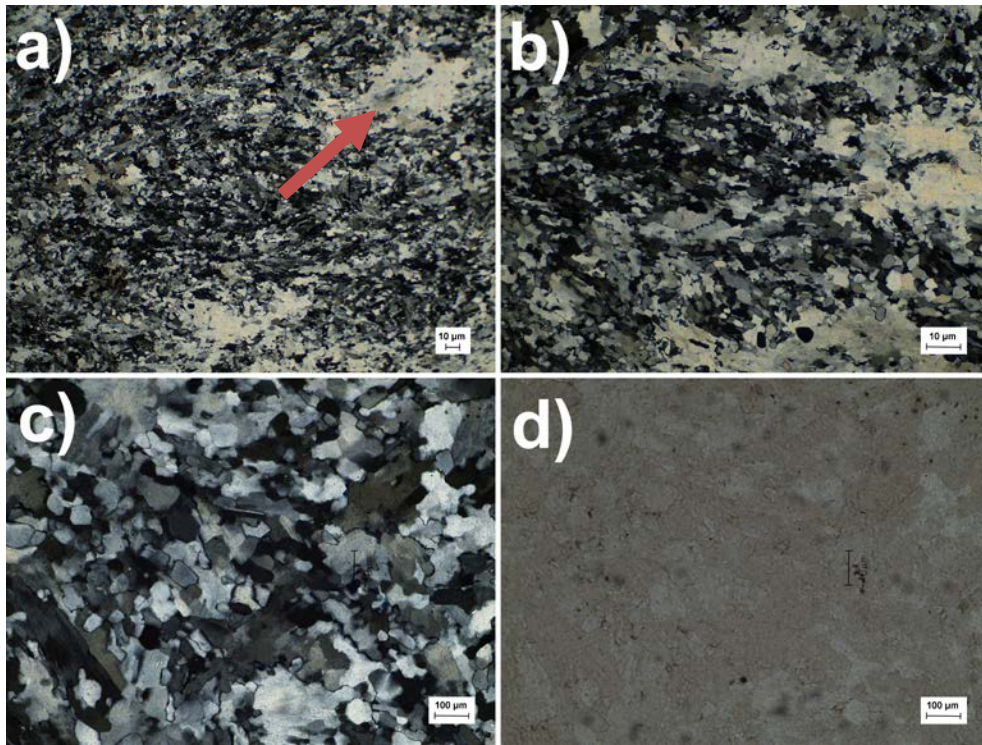
### **Borja**

Figura 4. Vemos en a, b y c cristales de yeso lenticular englobados en cemento yesífero. En la b) se señala uno de estos cristales de yeso lenticular con una flecha.

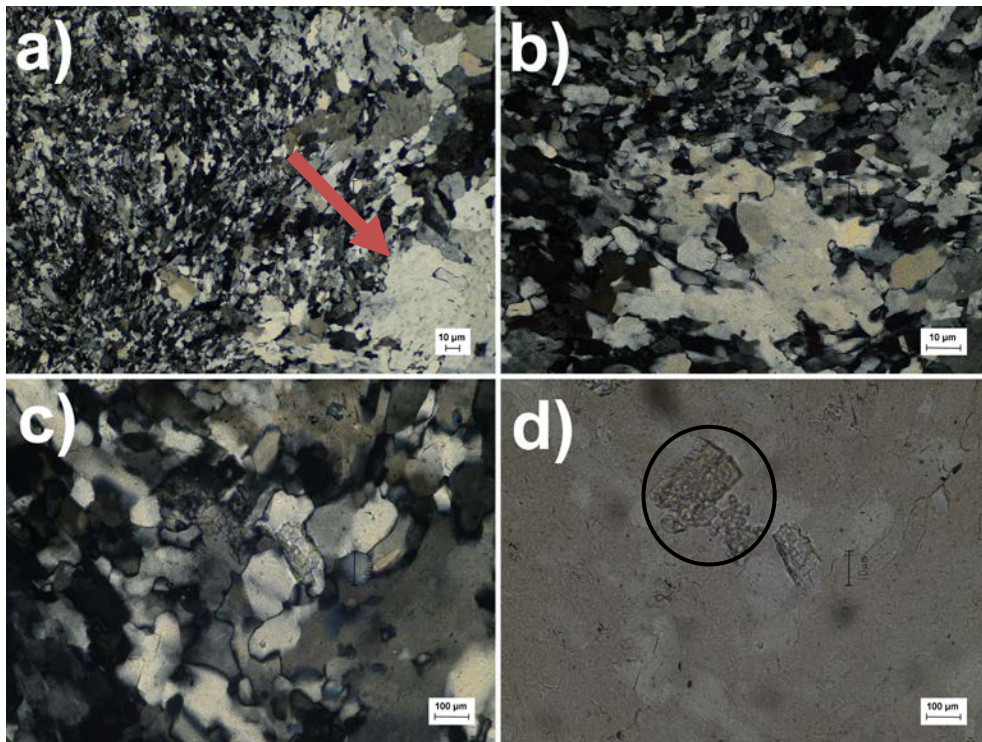


Valle del Ebro. Sector central o Valle medio del Ebro.

Fuentes de Ebro: Figura 5

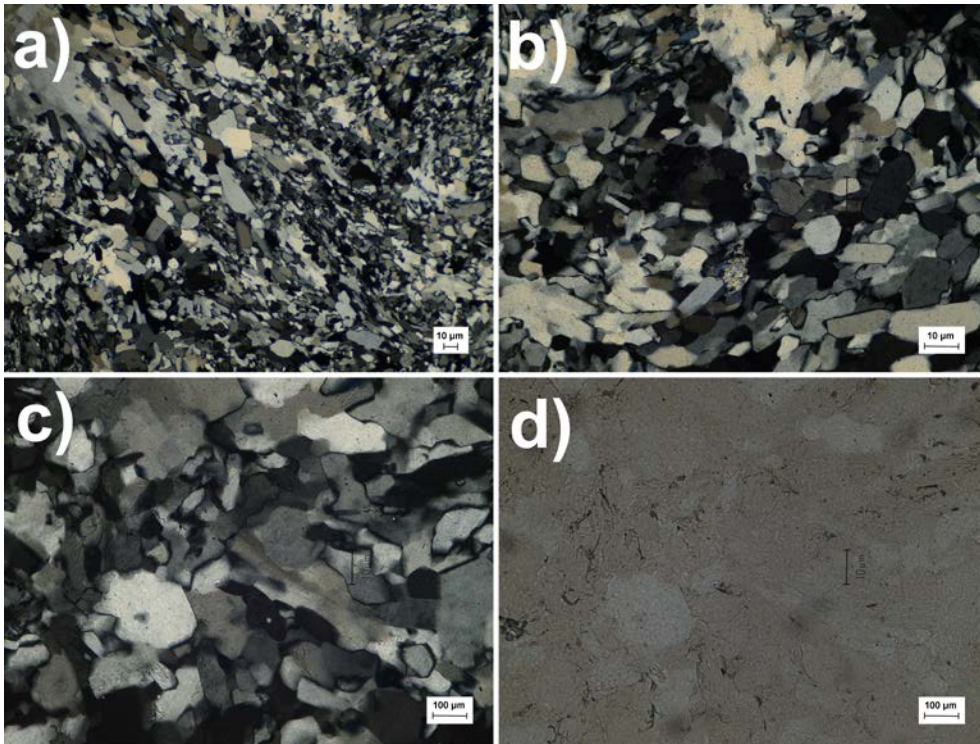


Gelsa: Figura 6

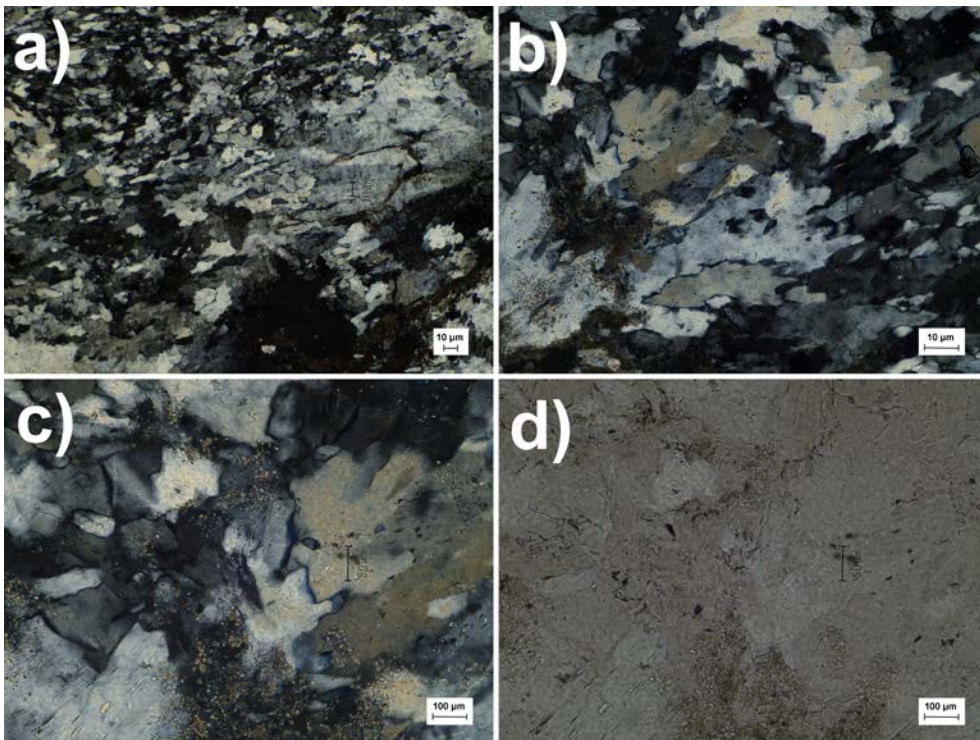




Escatrón – Velilla: Figura 7

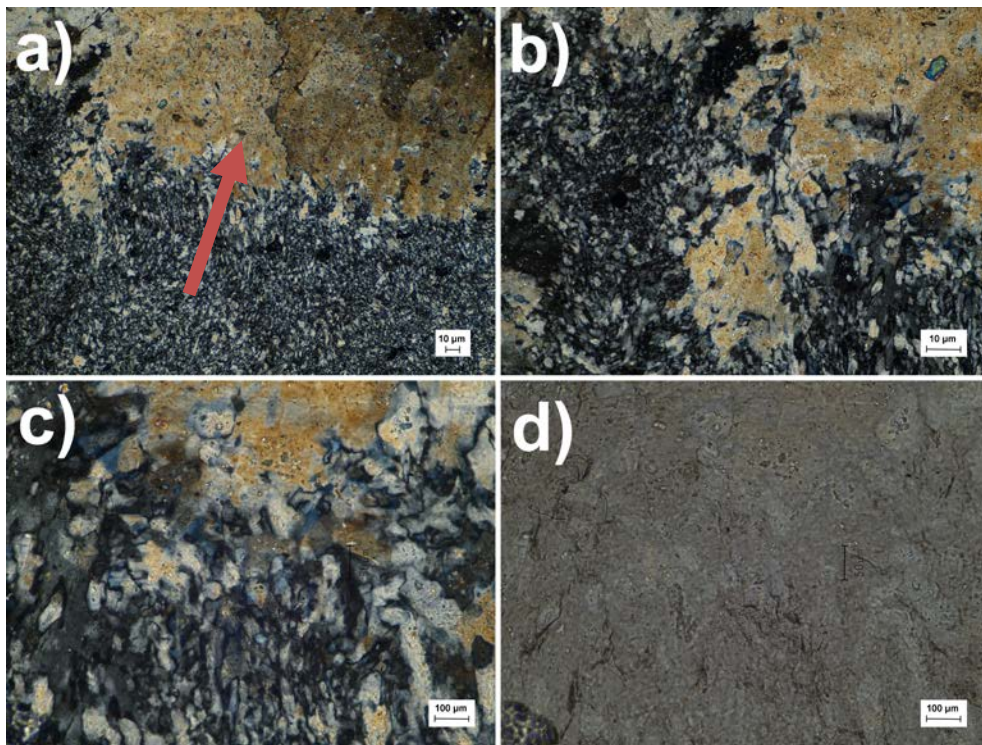


Sierra de Alcubierre: Figura 8

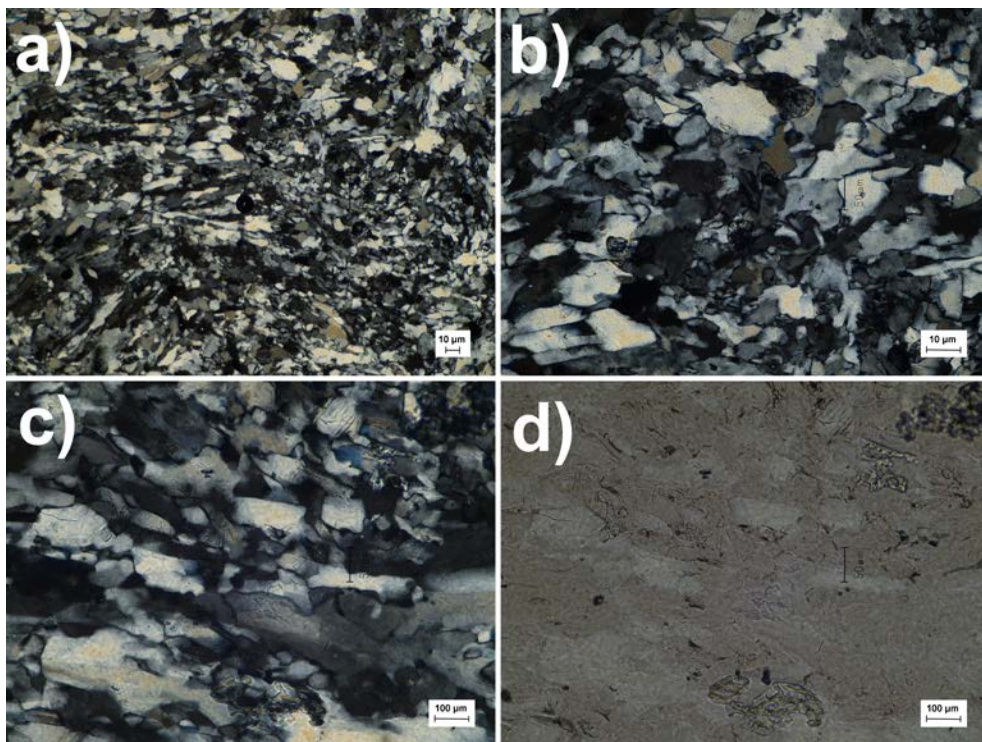




Leciñena: Figura 9



Rueda de Jalón: Figura 10



## **Valle del Ebro. Sector central o Valle medio del Ebro.**

### **Fuentes de Ebro**

Figura 5. En a, b y c, vemos un mosaico alabastrino en que domina la textura microcristalina. Los cristales C.E.N.U., señalado con una flecha en la imagen a) están rodeados por cristales de textura microcristalina.

### **Gelsa**

Figura 6. Mosaico alabastrino en que domina la textura microcristalina, como podemos ver en las imágenes a,b y c. En la a) está señalado con una flecha uno de los cristales C.E.N.U, y la c) es un detalle de la textura microcristalina. En imagen d) rodeado por un círculo hay un cristal de celestina.

### **Escatrón – Velilla**

Figura 7: Mosaico alabastrino en que dominan la textura C.E.N.U. y microcristalina. Los cristales microcristalinos se ven en detalle en la imagen c).

### **Sierra de Alcubierre**

Figura 8: Mosaico alabastrino en que dominan la textura C.E.N.U. y microcristalina. En la figura c) hay un detalle de la textura microcristalina y de cristales de carbonatos, que también se distingue en la imagen d).

### **Leciñena**

Figura 9: En la imagen a) hay un porfidoblasto de yeso, señalado con una flecha, englobado en una matriz de yeso alabastrino microcristalino. La imagen c) es un detalle de esta matriz.

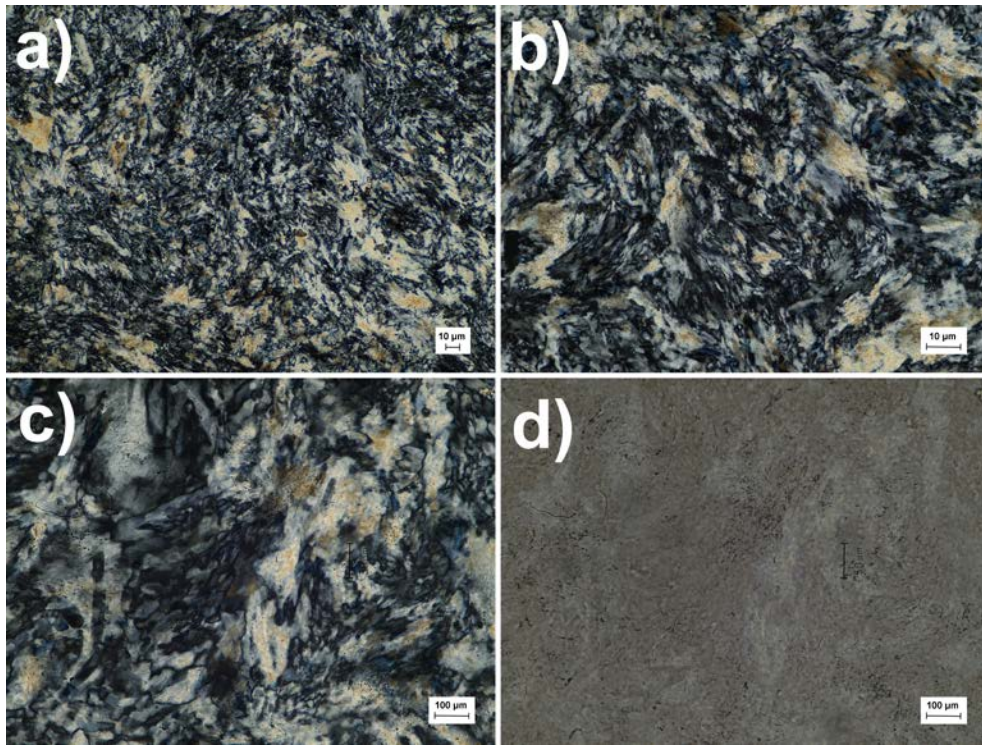
### **Rueda de Jalón**

Figura 10: Mosaico alabastrino en que dominan la textura microcristalina.

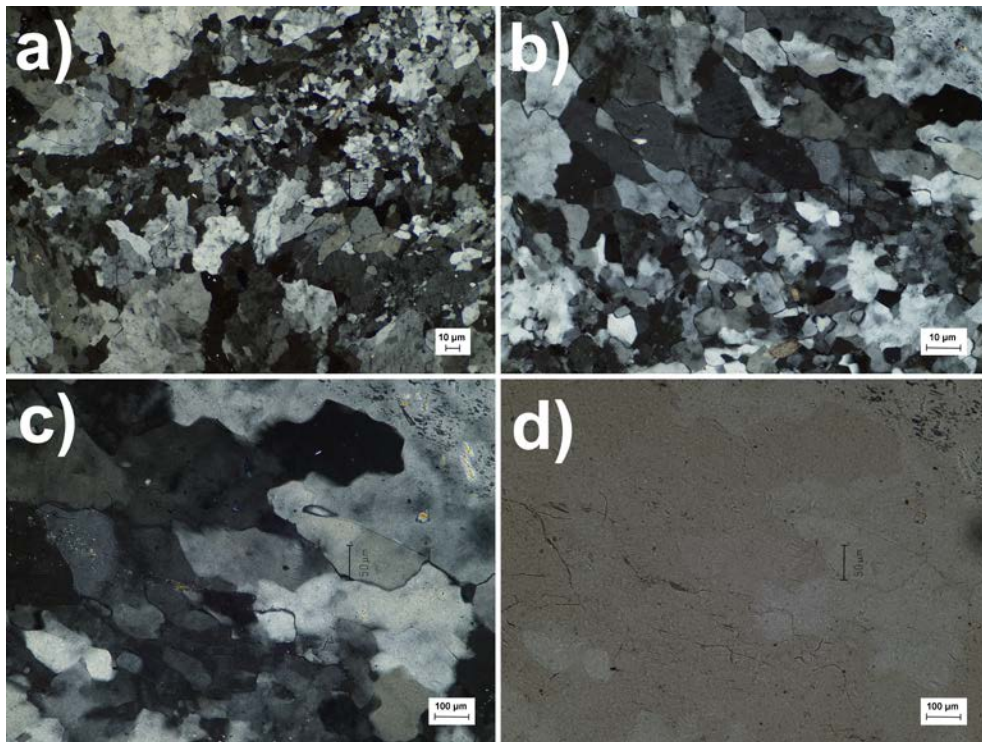


**Sector oriental del valle del Ebro**

Sarral 1: Figura 11

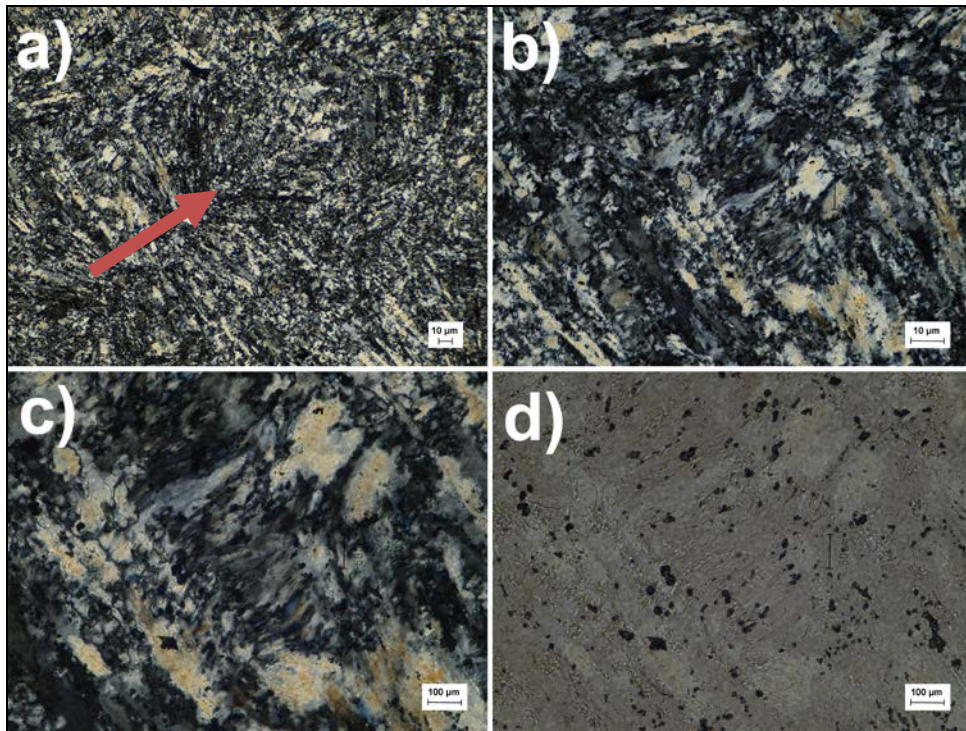


Sarral 2: Figura 12

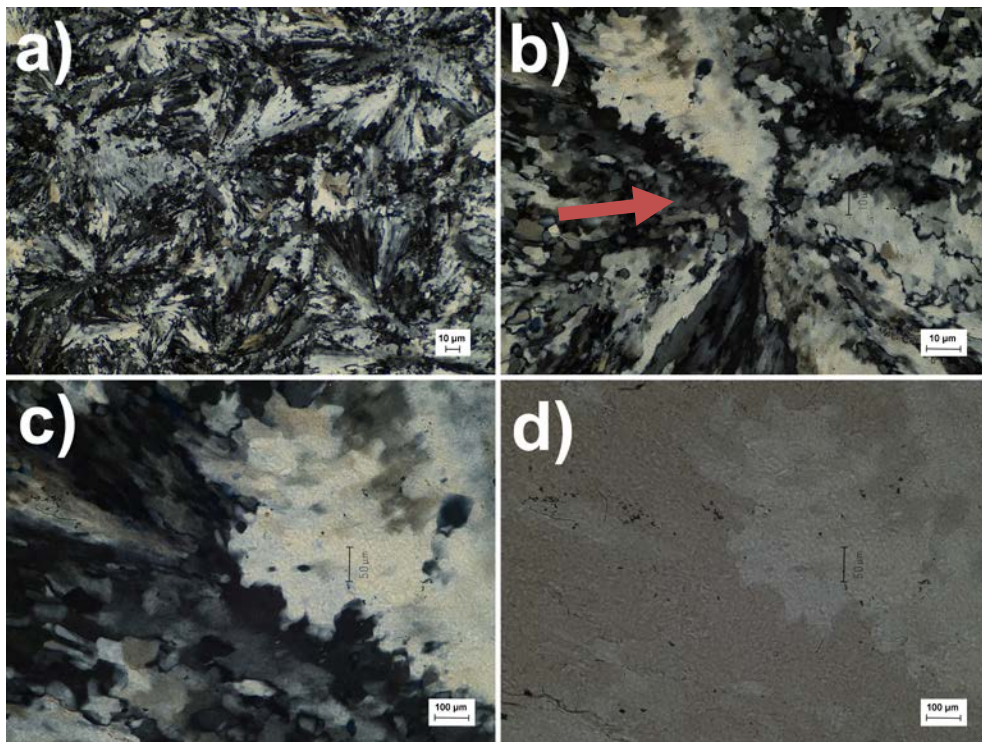




Tona: Figura 13

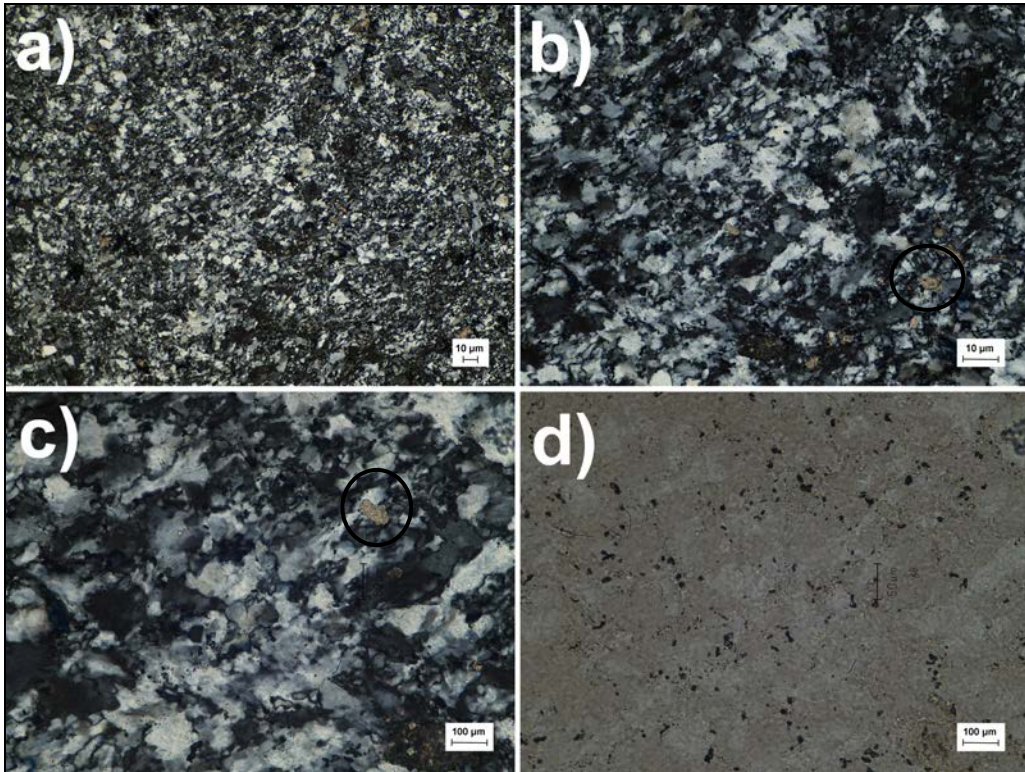


Odena: Figura 14



**Pirineo catalán**

Beuda: Figura 15





## **Valle del Ebro. Sector oriental**

### **Sarral 1**

Figura 11: Mosaico alabastrino en que dominan la textura C.E.N.U. y microcristalina. En la imagen c) hay un detalle de los contactos entre cristales de tipo suturado.

### **Sarral 2**

Figura 12: Mosaico alabastrino en que dominan la textura C.E.N.U. y microcristalina. En la imagen c) hay un detalle de los contactos entre cristales de tipo cóncavo-convexo.

### **Tona**

Figura 13: Mosaico alabastrino en que dominan la textura subidiomorfa y microcristalina, dominan los cristales alargados con disposición radial como el sector que indica la flecha. La imagen c) es un detalle de los contactos suturados entre los cristales.

### **Odena**

Figura 14: Mosaico alabastrino en que dominan la textura C.E.N.U. y microcristalina, dominan los cristales alargados formando esferulitos, como el sector que indica la flecha.

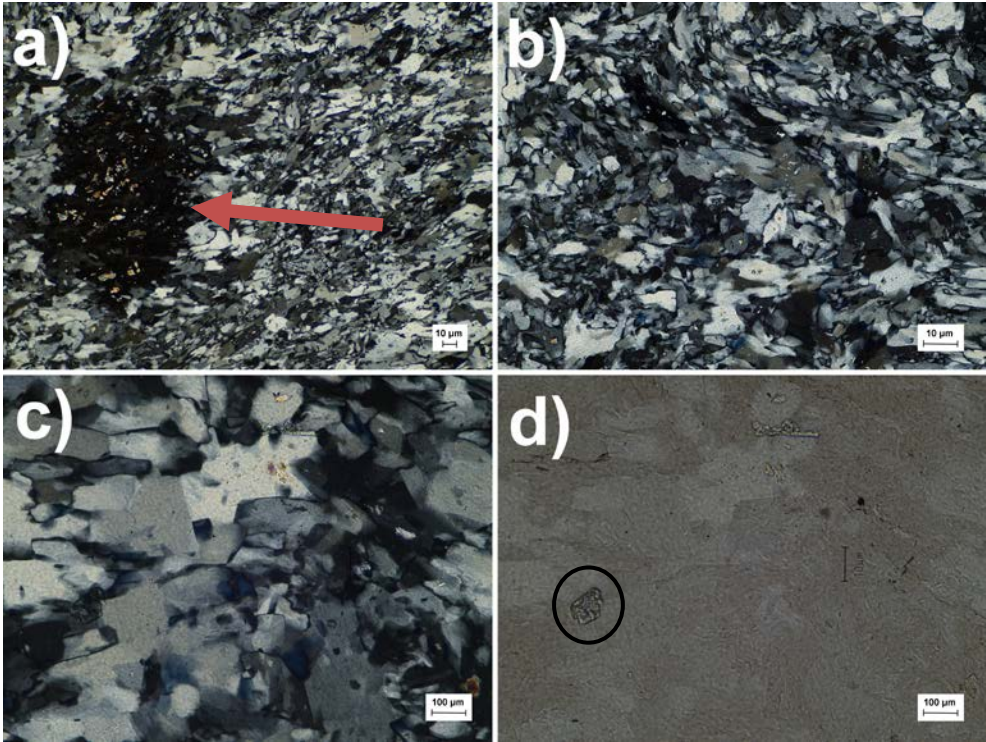
### **Pirineo catalán**

### **Beuda**

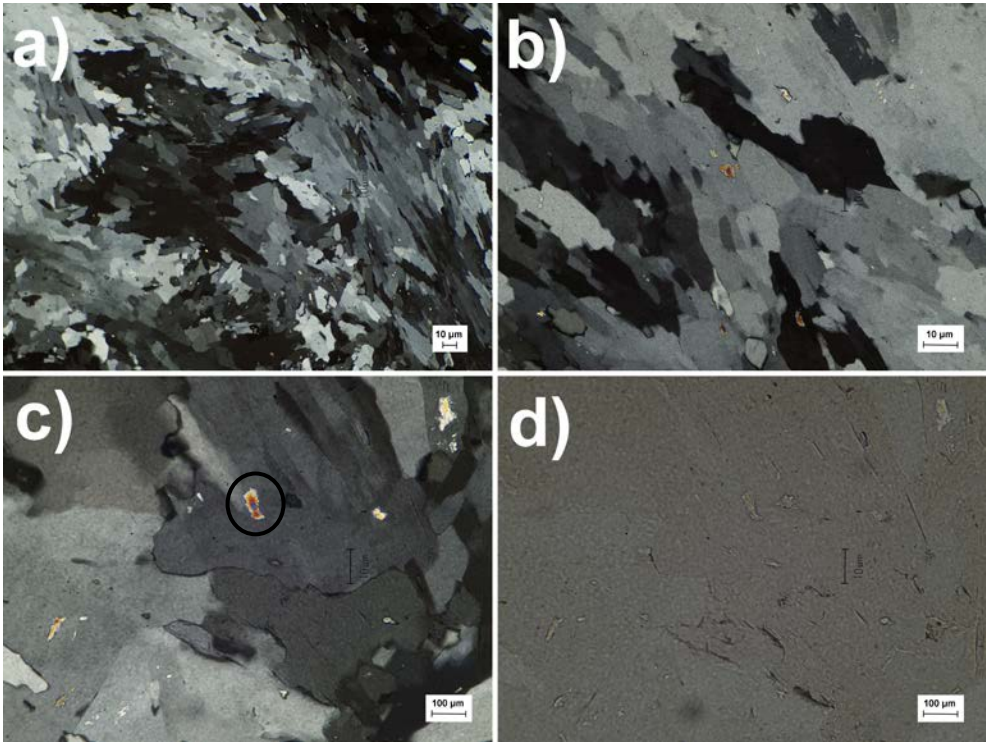
Figura 15: Mosaico alabastrino en que dominan la textura subidiomorfa y microcristalina, en las imágenes b) y c) están marcados con un círculo cristales de carbonatos. La imagen c) también muestra un detalle de los contactos suturados entre los cristales.

Cuenca de Calatayud / Fuentes de Jiloca

Blanca: Figura 16

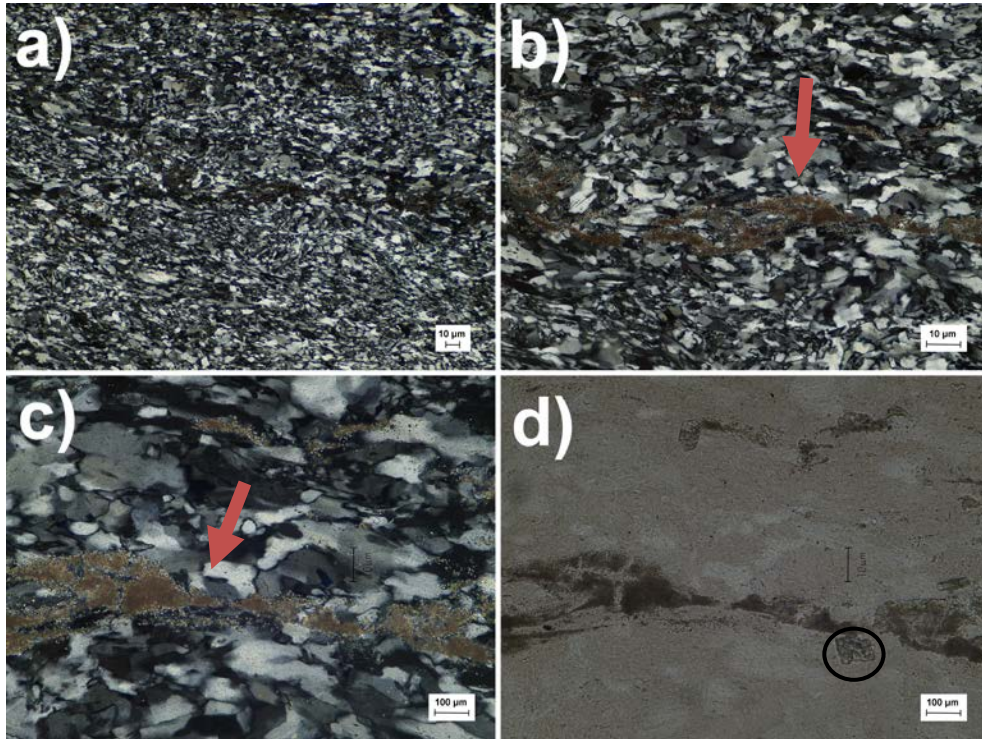


Champán: Figura 17

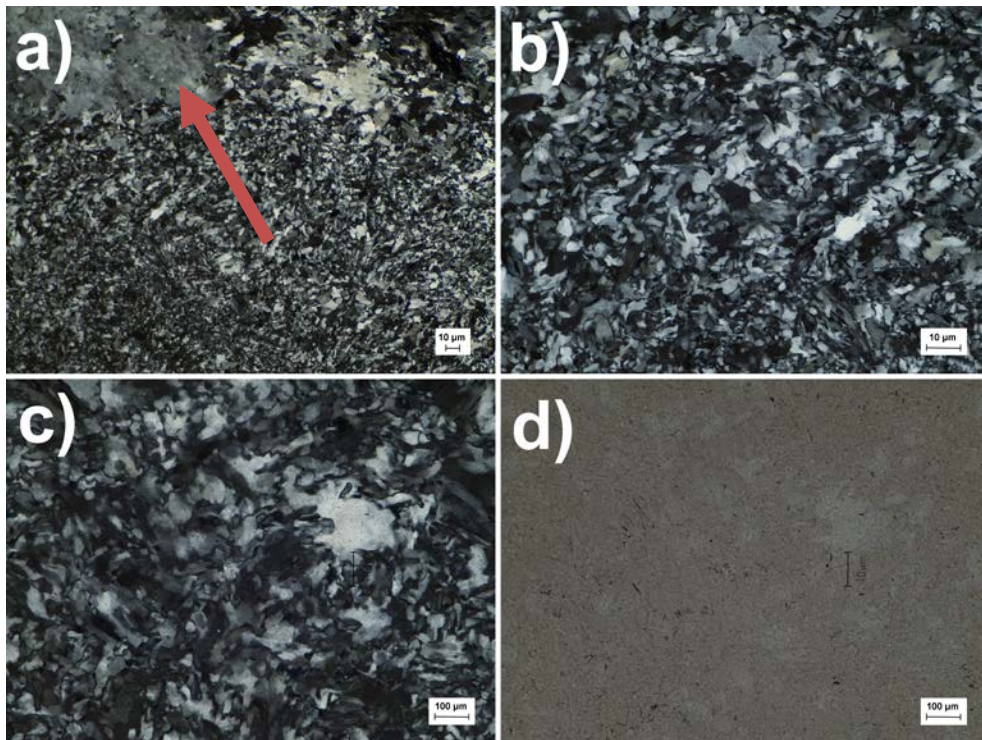




Tabaco: Figura 18



Calatayud: Figura 19



## **Cuenca de Calatayud / Fuentes de Jiloca**

### **Blanca**

Figura 16: Mosaico alabastrino en que dominan la textura subidiomorfa y microcristalina, en la imágenes a) señalado con una flecha hay un cristal de yeso megacristalino con abundantes inclusiones de anhidrita. En la imagen d) rodeado por un círculo hay un cristal de celestina esquelital.

### **Champán**

Figura 17: Mosaico alabastrino en que dominan la textura C.E.N.U. En la imagen c) rodeado por un círculo hay un cristal de anhidrita relicta dentro de un cristal tipo C.E.N.U.

### **Tabaco**

Figura 18: Mosaico alabastrino en que dominan la textura subidiomorfa y microcristalina, en la imágenes b) y c) señalado con una flecha hay una lamina de carbonatos. En la imagen d) esta lámina se aprecia mejor y rodeado por un círculo, justo bajo la lamina de carbonatos, hay un cristal de celestina esquelital.

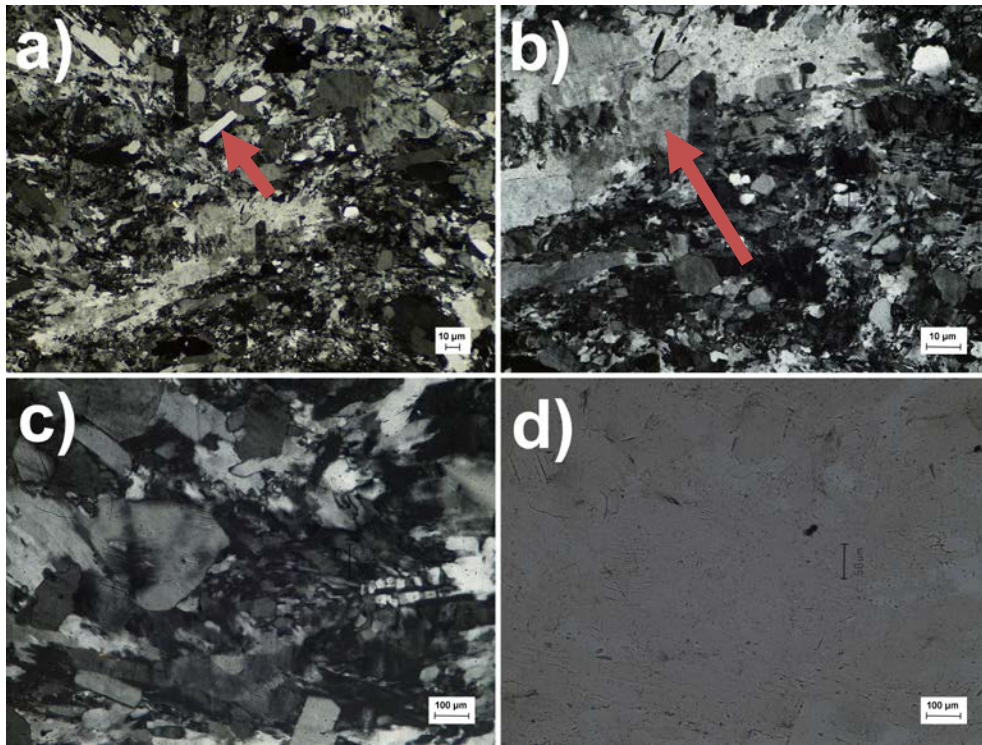
### **Calatayud**

Figura 19: Mosaico alabastrino en que dominan la textura C.E.N.U. y microcristalina, en la imágenes a) señalado con una flecha hay un cristal de yeso megacristalino con abundantes inclusiones de anhidrita.

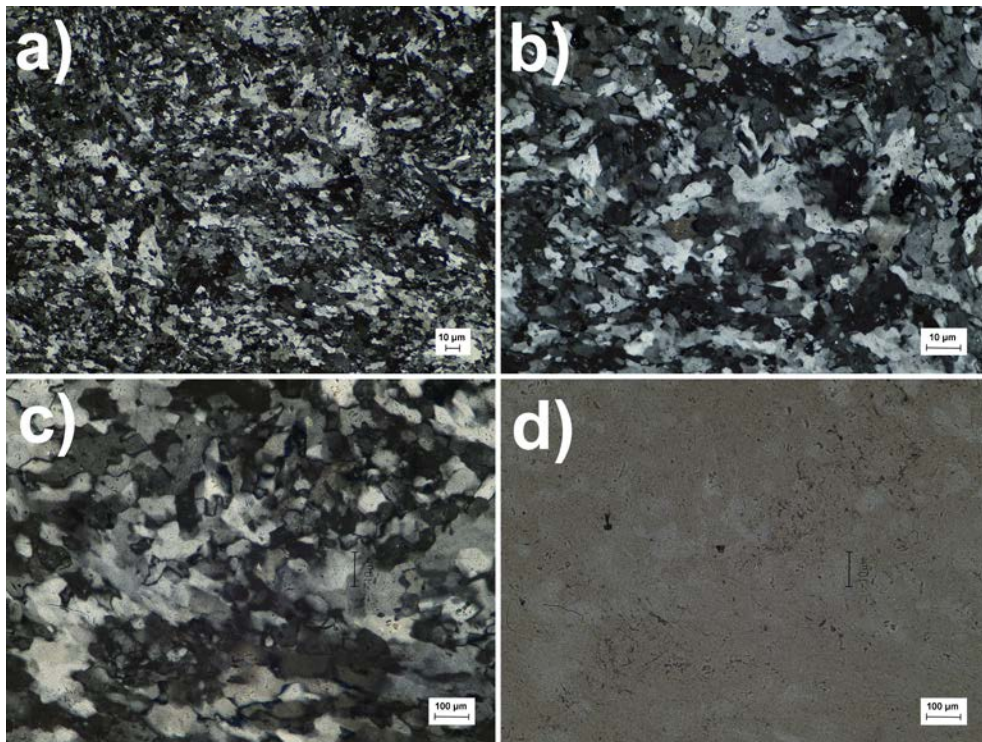


**Depresión costera valenciana**

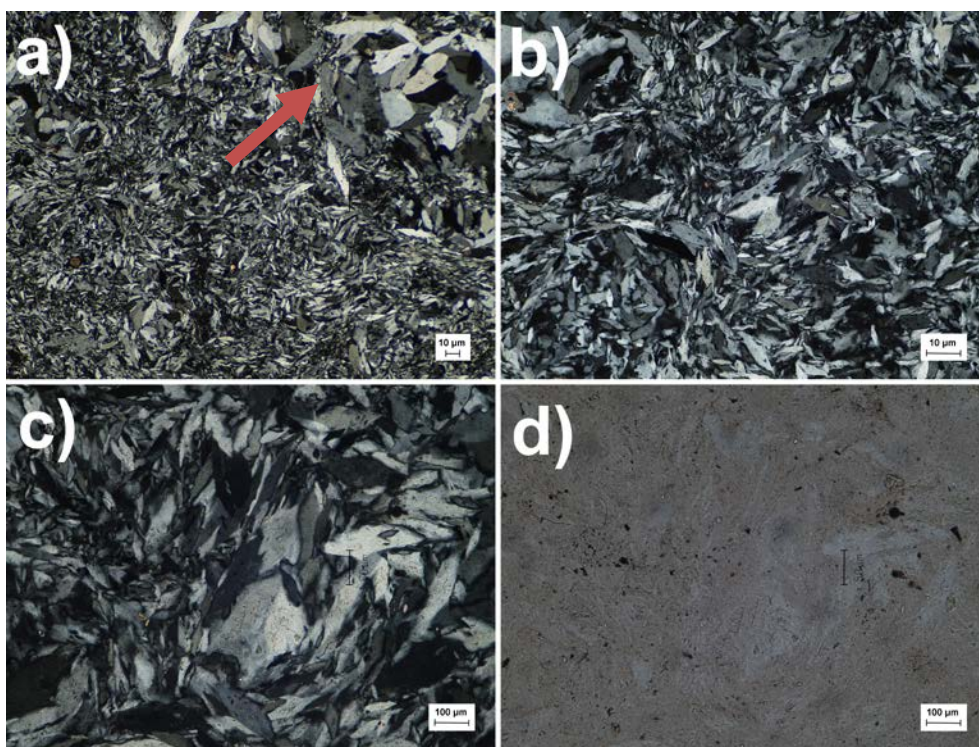
Sot de Ferrer: Figura 20



Picassent 1: Figura 21



Picassent 2 (yeso primario): Figura 22



## **Depresión costera valenciana**

### **Sot de Ferrer**

Figura 20: Mosaico alabastrino en que dominan la textura C.E.N.U. y microcristalina, como está señalado con una flecha en la imagen a) hay bastantes cristales de recristalización, que se ve como cortan al resto de cristales. En la imagen b) con una flecha se señala un cristal tipo C.E.N.U., cuyos contactos con los cristales de menor tamaño son suturados.

### **Picassent 1**

Figura 21: Mosaico alabastrino en que dominan la textura microcristalina y C.E.N.U., en la imágenes c) se ve con detalle los contactos cóncavo – convexos de los cristales del tipo microcristanos.

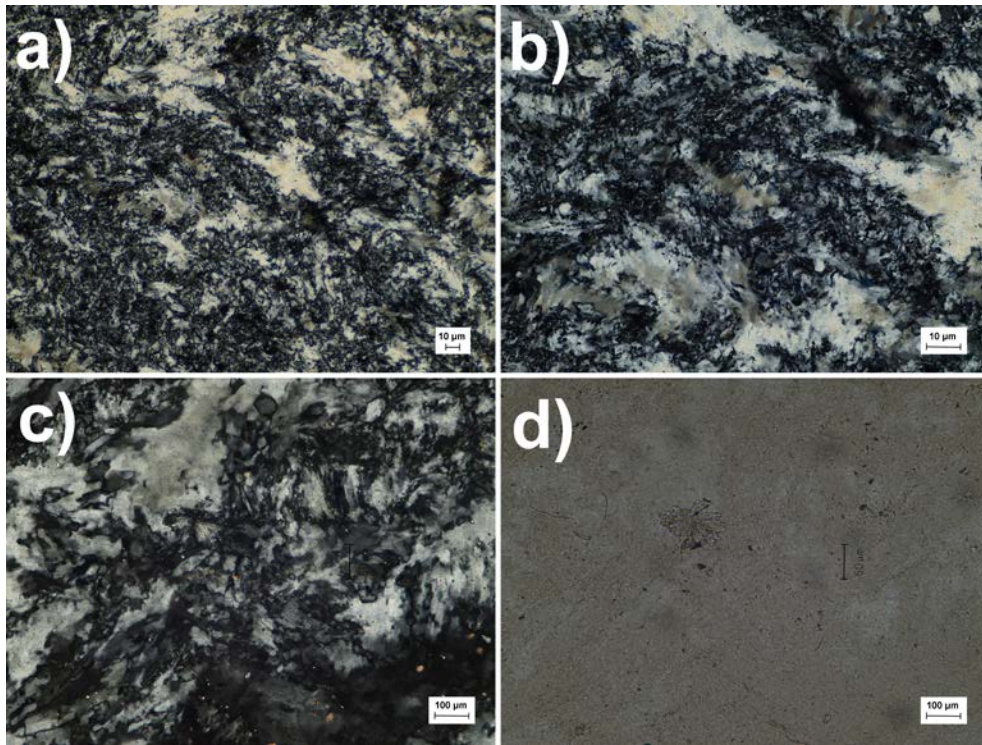
### **Picassent 2 (yeso primario)**

Figura 22: Vemos cristales de yeso lenticular englobados en cemento yesífero. En la imagen a) se diferencian dos familias de tamaños de cristales lenticulares, los de mayor tamaño, marcados con una flecha, están englobados por una matriz de cristales lenticulares de menor tamaño.



**Cuenca de Madrid**

Cogolludo: Figura 23



Aleas: Figura 24

## **Cuenca de Madrid**

### **Cogolludo**

Figura 23: Mosaico alabastrino en que dominan la textura microcristalina y C.E.N.U., en las imágenes c) se ve con detalle los suturados de los cristales. En la imagen d) rodeado por un círculo hay un cristal de celestina en forma de gavilla.

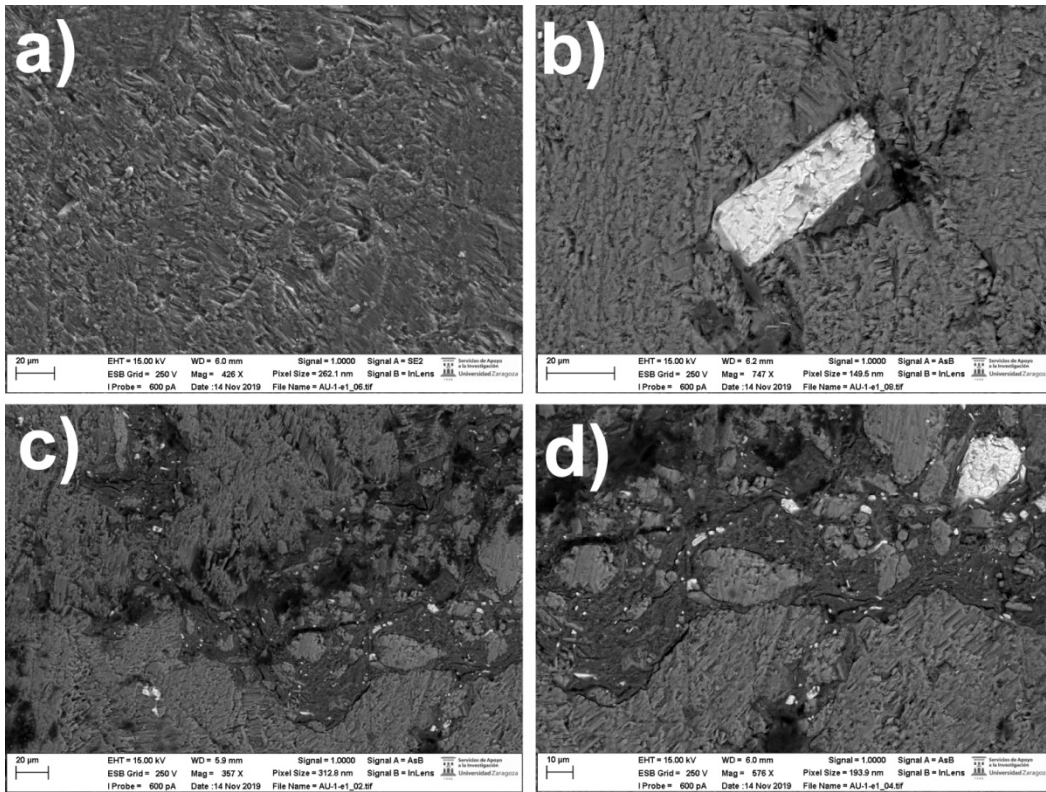
### **Aleas**

Figura 24: Mosaico alabastrino en que dominan la textura microcristalina y subidiomorfa. Los contactos suturados entre cristales se ven con más detalle en la imagen c). Como en el caso anterior, en la imagen d) hay un cristal de celestina en forma de gavilla, señalado con un círculo.

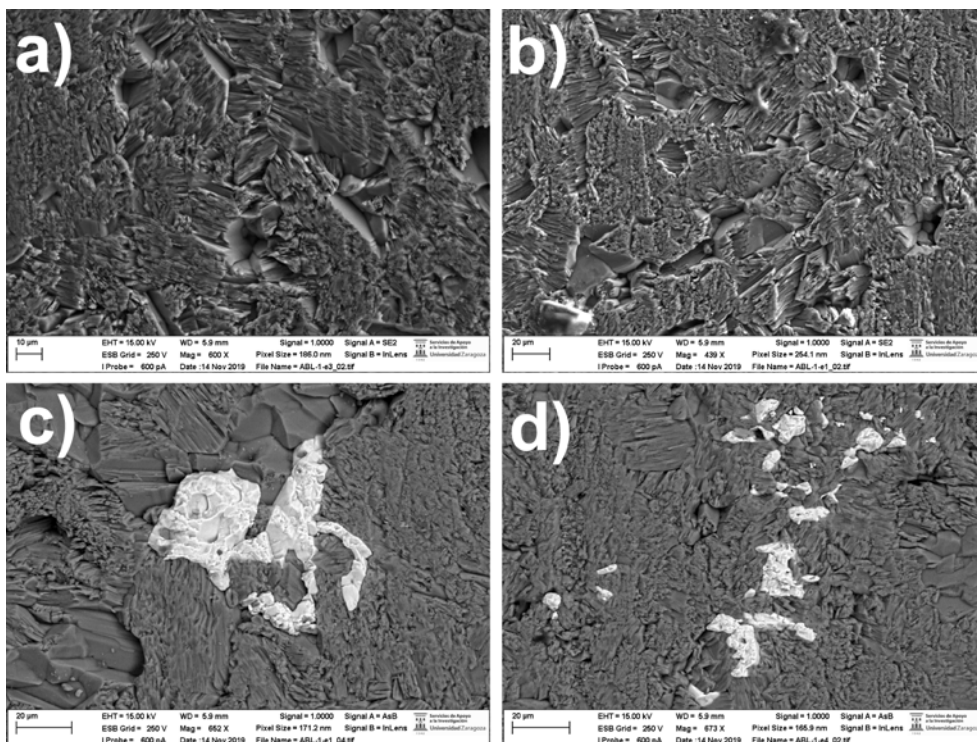
*Microscopio electrónico de barrido (FESEM)*

# Valle del Ebro. Sector Occidental

Autol: Figura 1

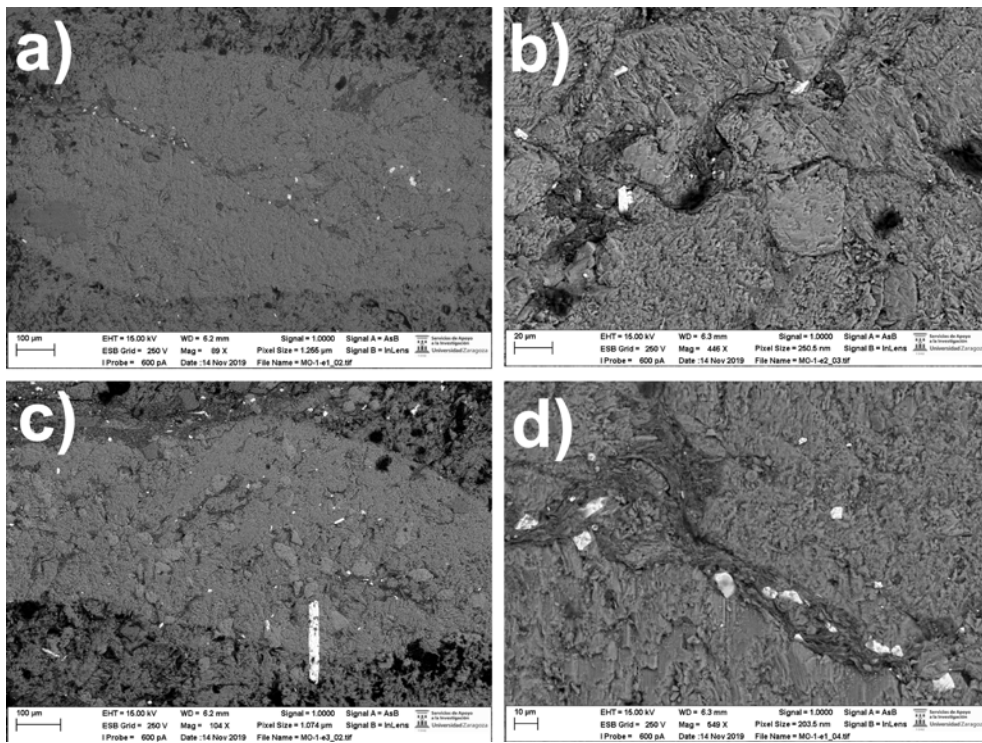


Ablitas: Figura 2

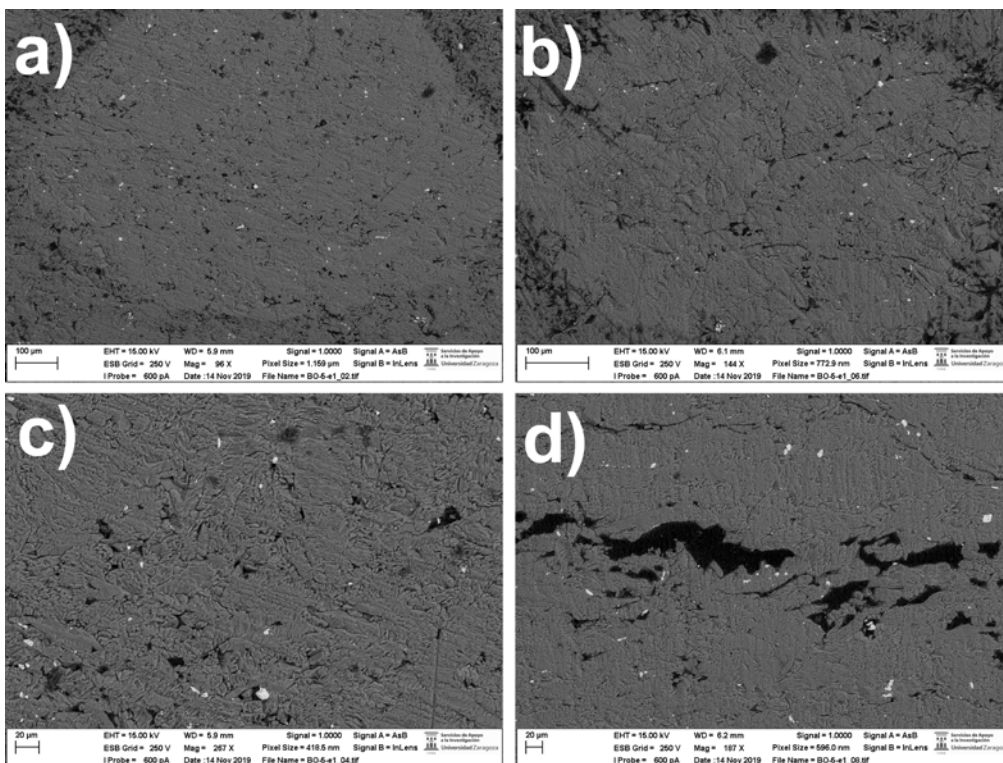




Monteagudo: Figura 3



Borja: Figura 4



*La distribución general de las imágenes de microscopio electrónico de barrido es la siguiente, se intercalan imágenes de situación o de áreas más extensas con otras de detalle. Las imágenes están tomadas tanto con reflejado como con secundarios.*

### **Valle del Ebro. Sector Occidental**

#### **Autol**

Figura 1: En la imagen a) se ve un conjunto de cristales de yeso tipo C.E.N.U., en la b) se puede observar un cristal de celestina con hábito idiomorfo. Las imágenes c y d, se aprecia que junto a los cristales de yeso y celestina, hay otros minerales en este caso calcita.

#### **Ablitas**

Figura 2: La imagen a) y b) muestran una zona de cristales tipo C.E.N.U., en los que se puede apreciar como los cristales están orientados en diferentes direcciones. En las c) y d) ocupa la imagen sendos cristales de celestina esquelética.

#### **Monteagudo**

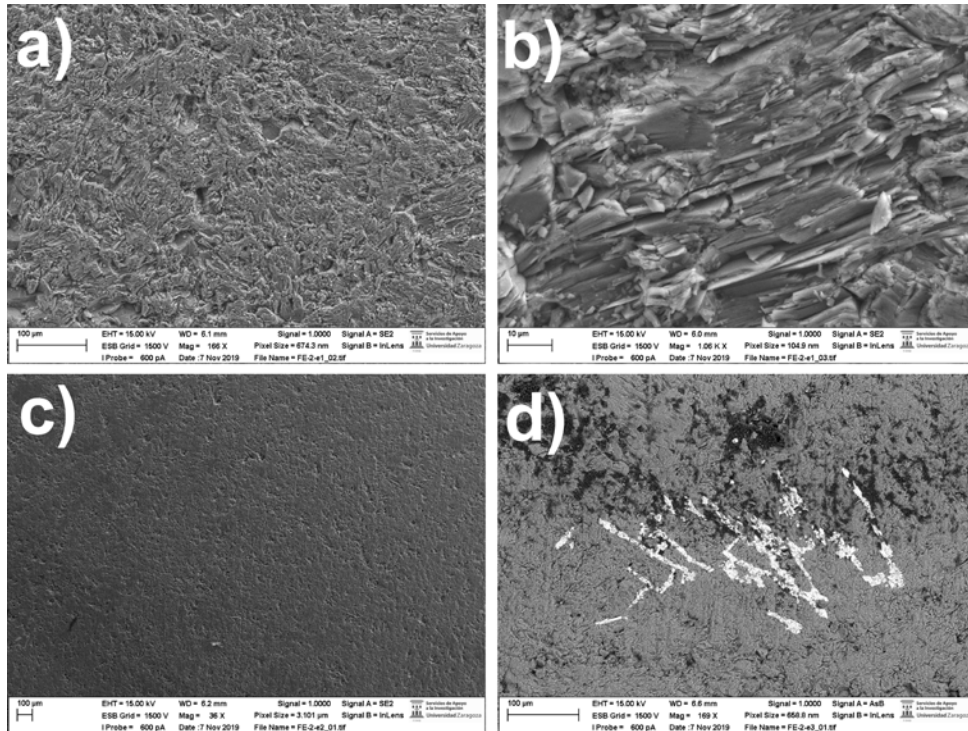
Figura 3: Imagen a) muestra en detalle un cristal lenticular de yeso. En la c) el cristal que más resalta en relación al resto es una celestina con hábito idiomorfo. En las imágenes b) y d) se aprecia que junto al yeso y la celestina hay minerales de la arcilla y carbonatos.

#### **Borja**

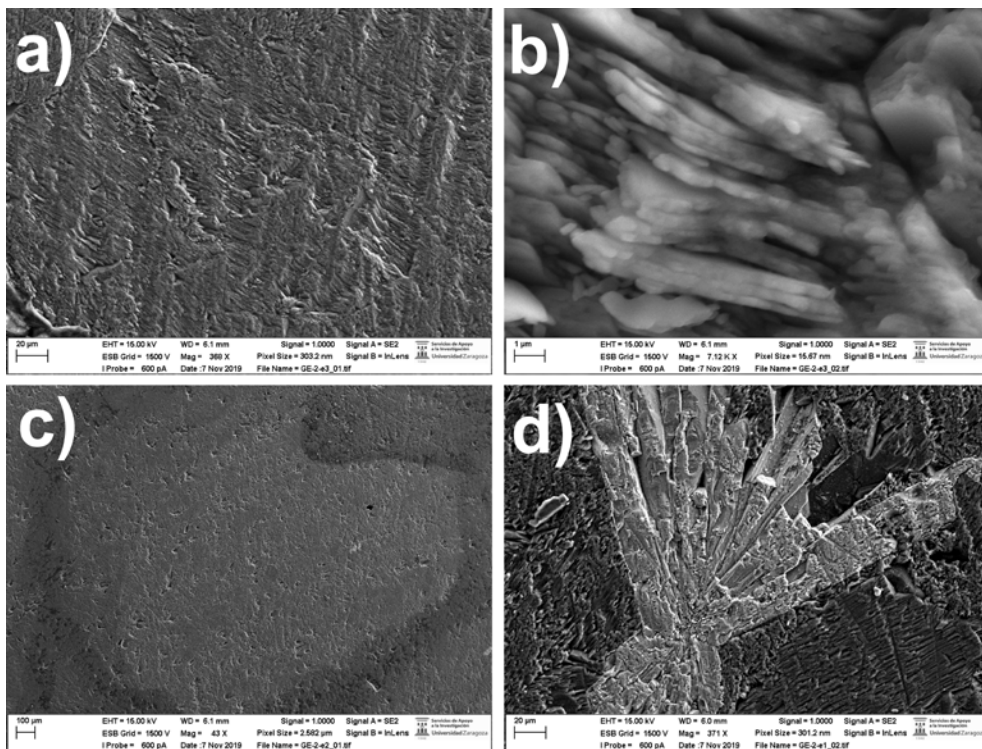
Figura 4: La imagen a) y b) muestran un cristal de yeso lenticular. En las imágenes b) y c) los cristales que más resaltan en relación al resto son de celestina con hábito subidiomorfo.

# Valle del Ebro. Sector central o Valle medio del Ebro

## Fuentes de Ebro: Figura 5

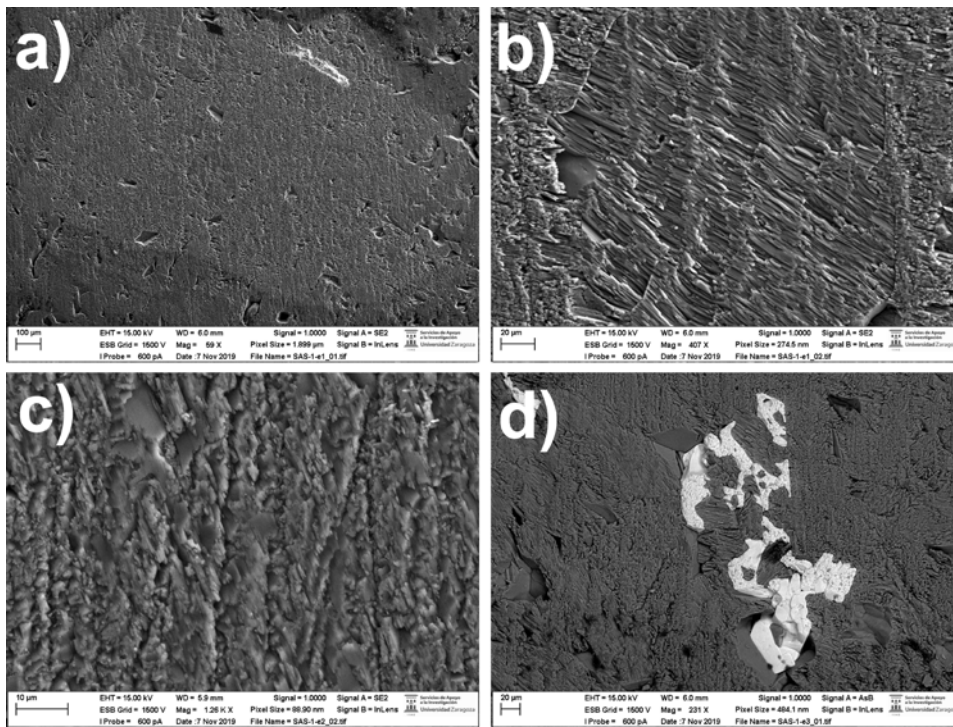


## Gelsa: Figura 6

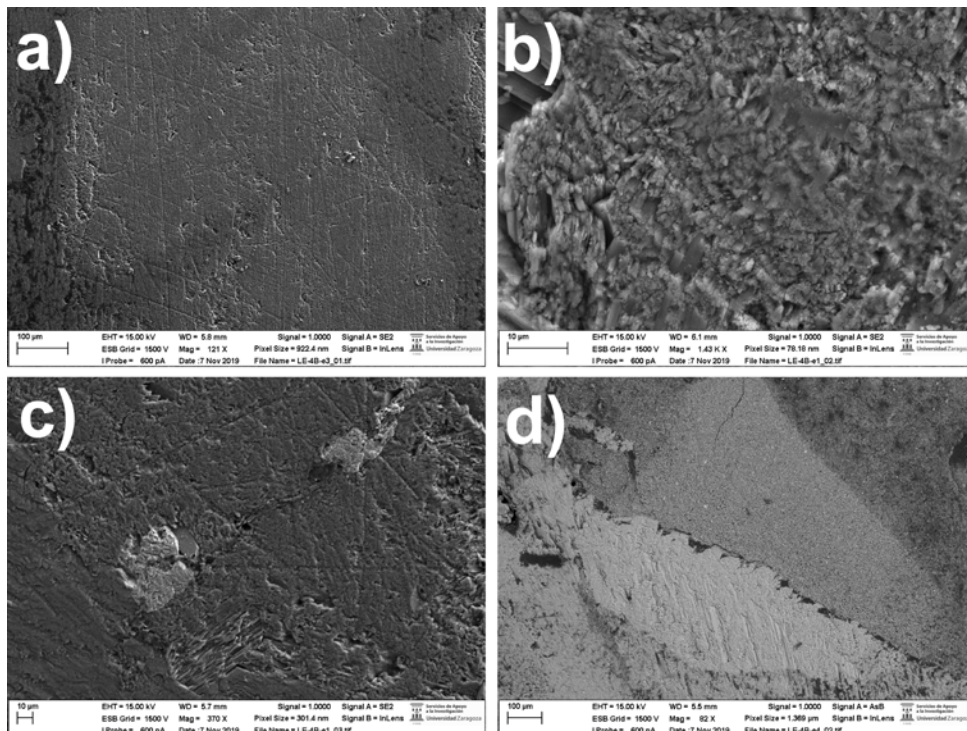




Escatron – Velilla: Figura 7



Sierra de Alcubierre: Figura 8



## **Valle del Ebro. Sector central o Valle medio del Ebro**

### **Fuentes de Ebro**

Figura 5: La imagen a) muestra cristales de yeso tipo C.E.N.U., y la b) es un detalle de este sector. Se ven los cristales dispuestos en láminas. La imagen c) es de la zona de yeso alabastro microcristalino, se aprecia que los cristales son menores que los presentes en la imagen a). En la imagen d) se puede ver una celestina esqueletal.

### **Gelsa**

Figura 6: La imagen a) muestra cristales de yeso tipo C.E.N.U., y la b) es un detalle de este sector. Se ven los cristales dispuestos en láminas. La imagen c) es de la zona de yeso alabastro microcristalino. En la imagen d) se puede ver una celestina en forma de gavilla, que aunque no es la forma más común de que aparezca la celestina en esta canteras, en algunas muestras hay cristales con este hábito cristalino.

### **Escatrón – Velilla**

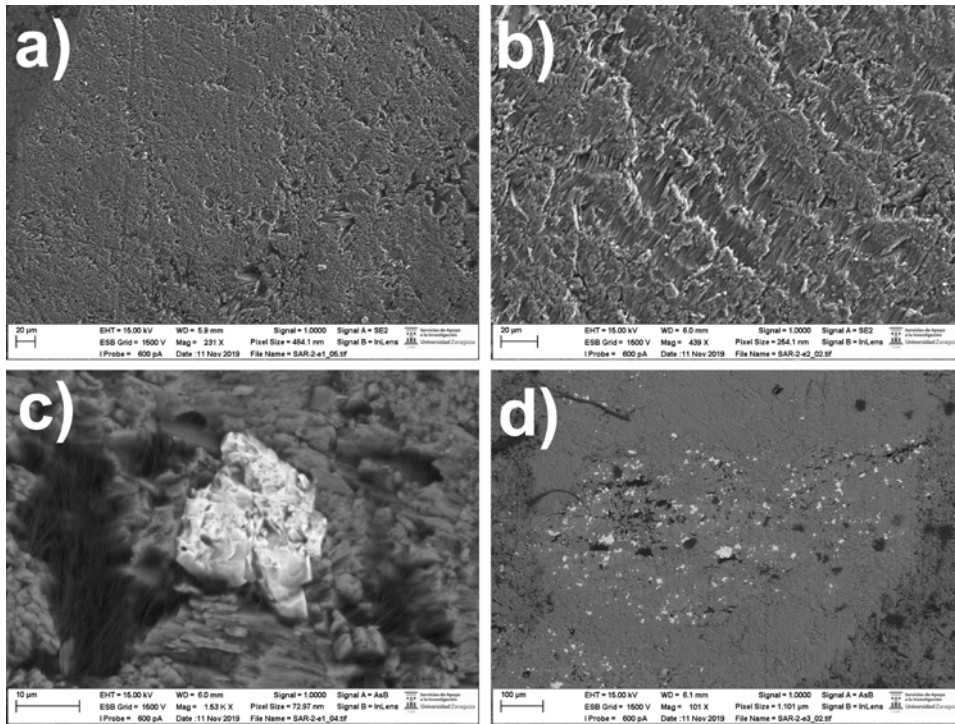
Figura 7: La imagen a) muestra cristales de yeso tipo microcristalino y la b) es un detalle de cristales tipo C.E.N.U. los cuales están dispuestos en láminas. La imagen c) es un detalle de la zona de yeso alabastro microcristalino a). En la imagen d) se puede ver una celestina esqueletal.

### **Sierra de Alcubierre**

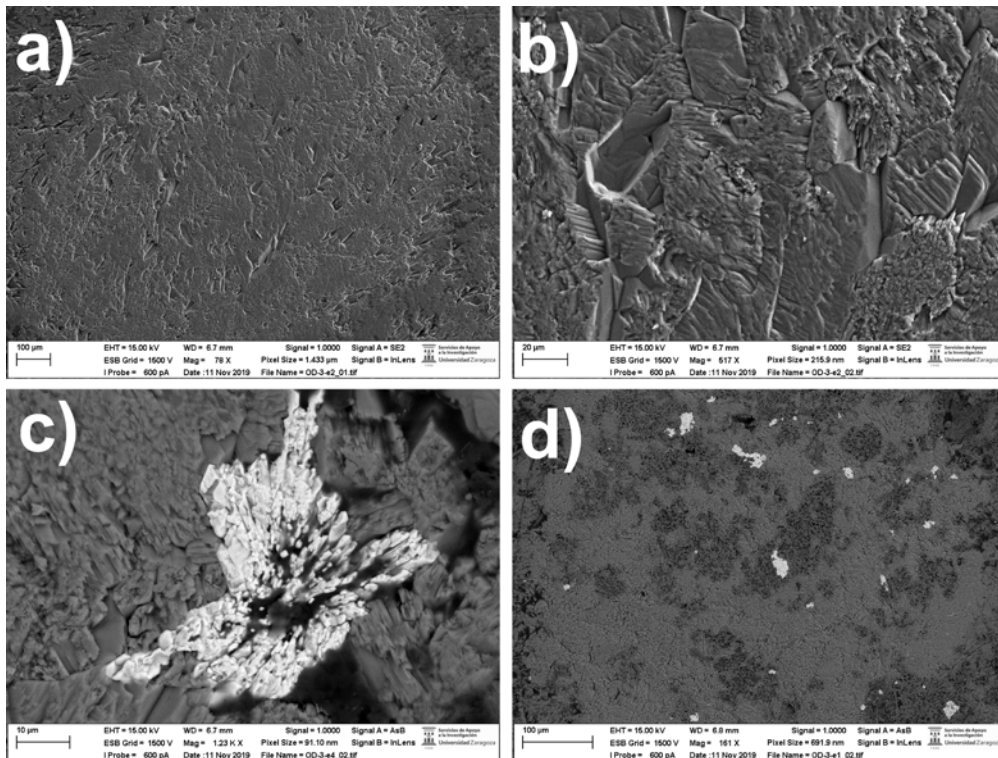
Figura 8: La imagen a) muestra cristales de yeso tipo microcristalino y la b) es un detalle de cristales de este tipo. La imagen c) muestra cristales de celestina subidiomorfa. En la imagen d) se puede ver como los cristales de yeso están en contacto con minerales de la arcilla.

# Valle del Ebro. Sector oriental

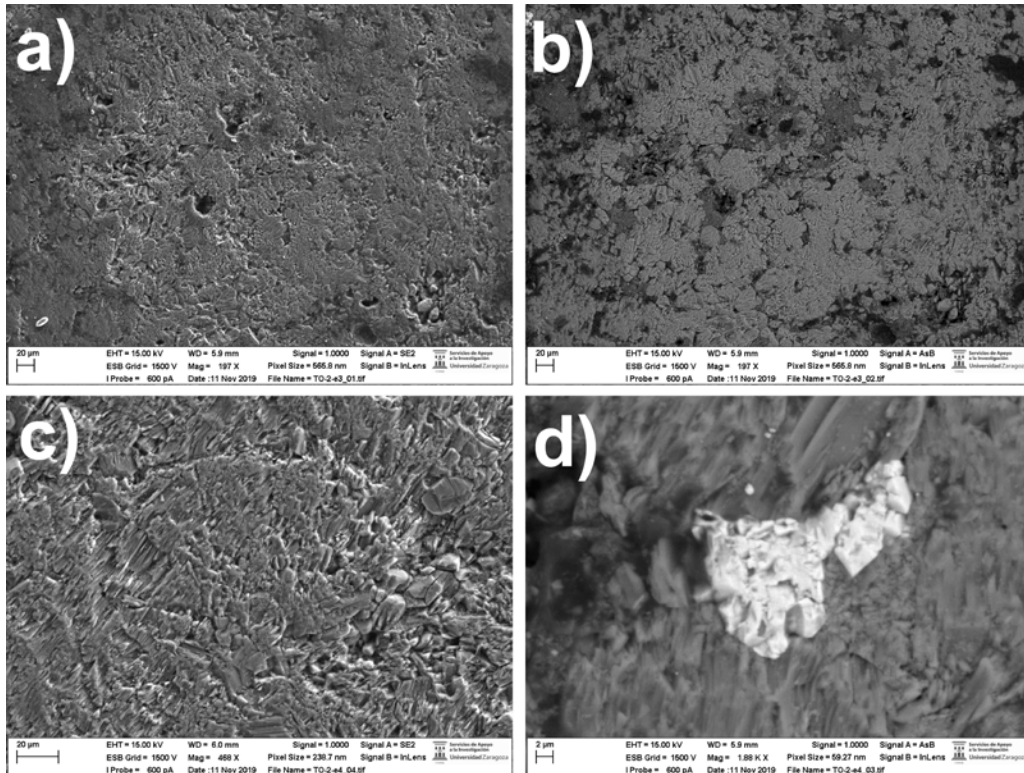
Sarral: Figura 9



Odena: Figura 10



Tona: Figura 11



## Valle del Ebro. Sector oriental

### Sarral

Figura 9: La imagen a) muestra cristales de yeso tipo C.E.N.U., y la b) es un detalle de este sector. Se ven los cristales dispuestos en láminas. En la imagen c) es un primer plano de un cristal de celestina subidiomorfo. En la imagen d) vemos como dentro de la matriz microcristalina hay una zona en la que se concentran cristales de celestina y los huecos de lo que posiblemente fueran carbonatos.

### Odena

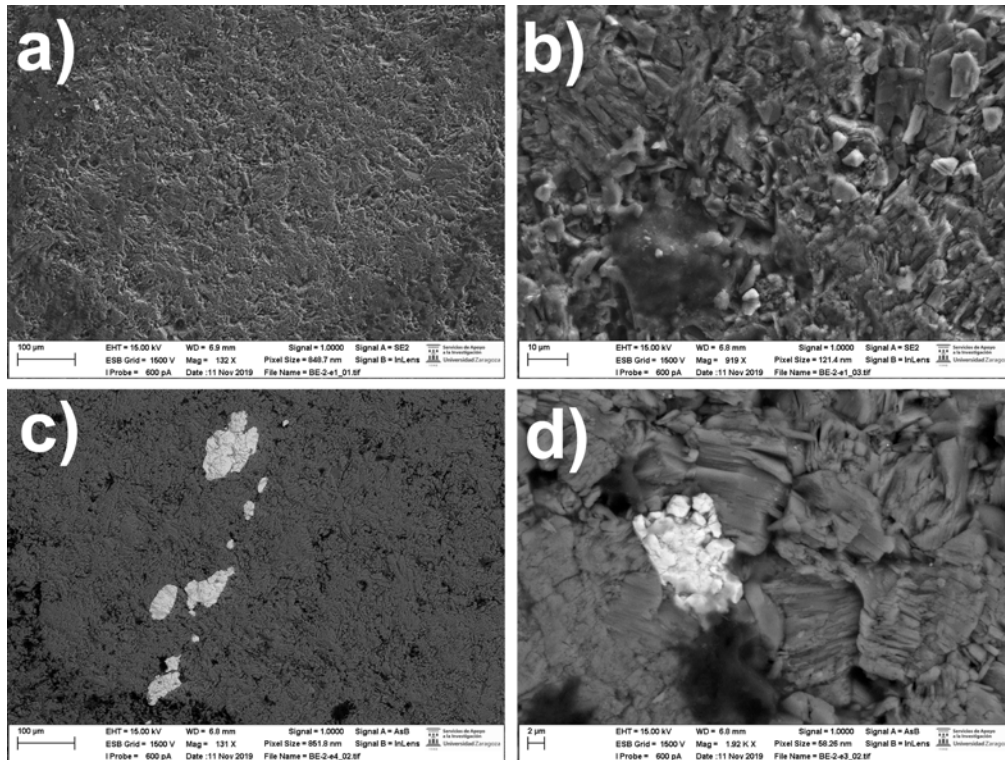
Figura 10: La imagen a) muestra cristales de yeso tipo C.E.N.U., y la b) es un detalle de este sector. Se ven los cristales dispuestos en láminas. En la imagen c) es un primer plano de un cristal de celestina subidiomorfo dispuesto en forma de gavilla. En la imagen d) se distinguen cristales de celestina junto con minerales de la arcilla.

### Tona

Figura 11: La imagen a) muestra cristales de yeso tipo C.E.N.U., y la c) es un detalle de este sector. En la imagen b) se distingue una zona en la que aparecen minerales carbonatos junto con los cristales de yeso. En la imagen d) tenemos un cristal subidiomorfo de celestina.

## Pirineo catalán

Beuda: Figura 12



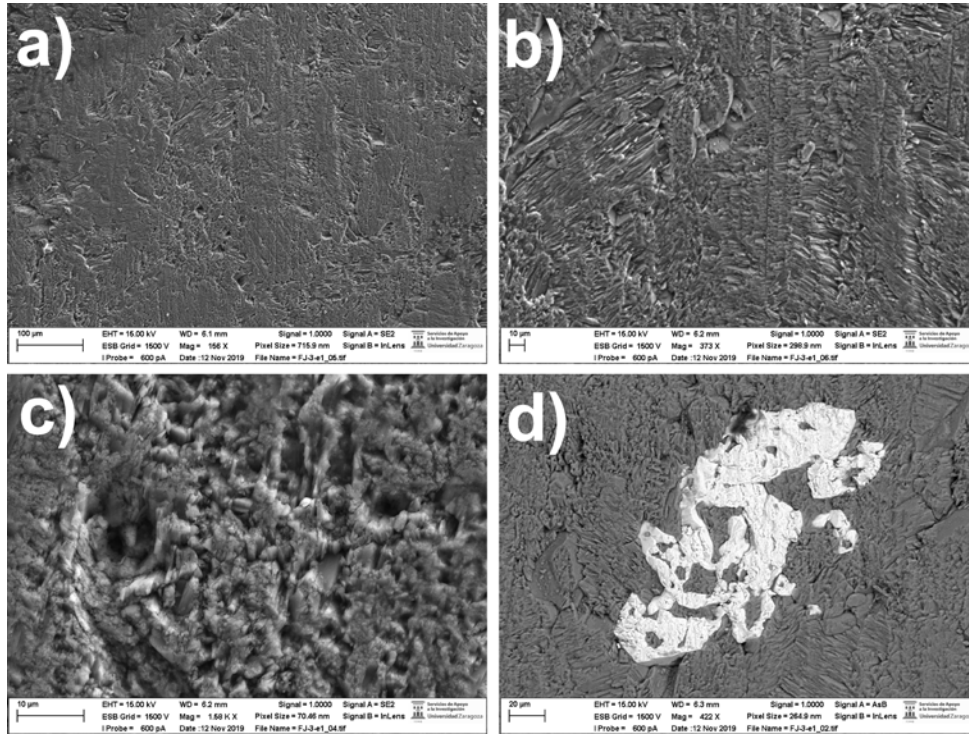
## Pirineo catalán

### Beuda

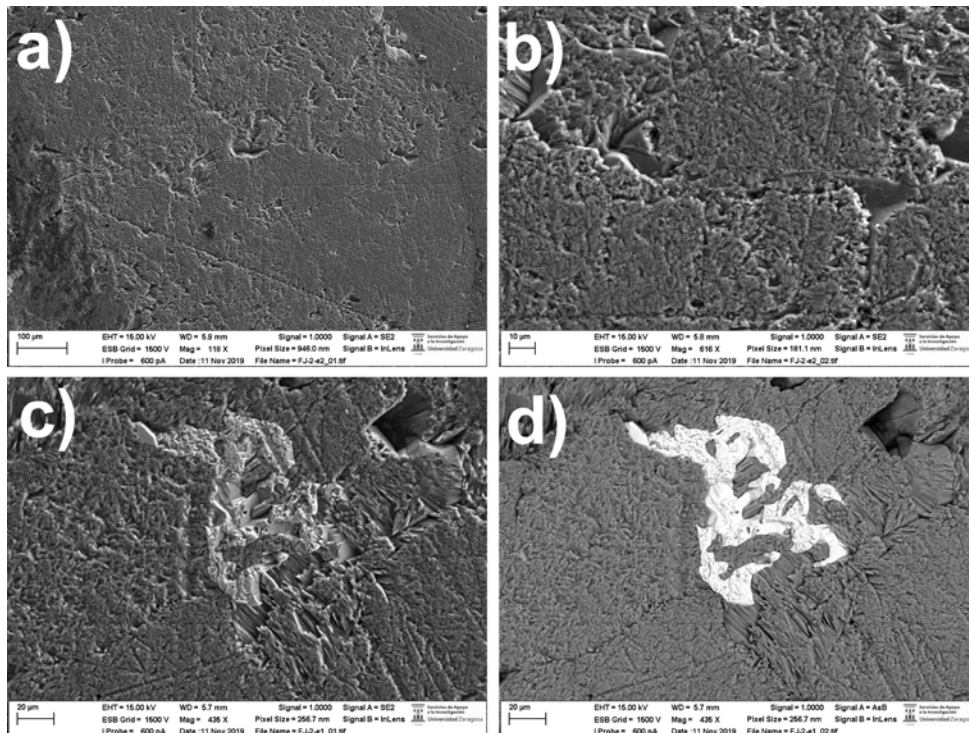
Figura 12: La imagen a) muestra cristales de yeso tipo microcristalino y la b) es un detalle de la misma, en la que se puede ver el hábito pinacoidal del yeso. La imagen c) muestra varios cristales de celestina subidiomorfa, y en la d) hay un detalle de uno de estos cristales.

# Cuenca de Calatayud / Fuentes de Jiloca

Blanca: Figura 13

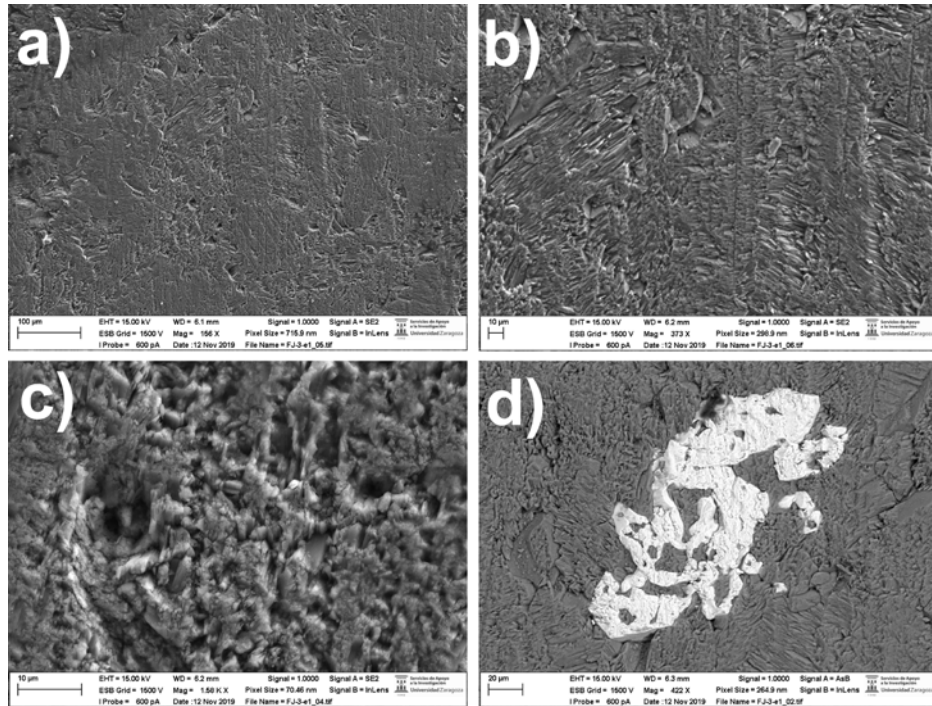


Champán: Figura 14

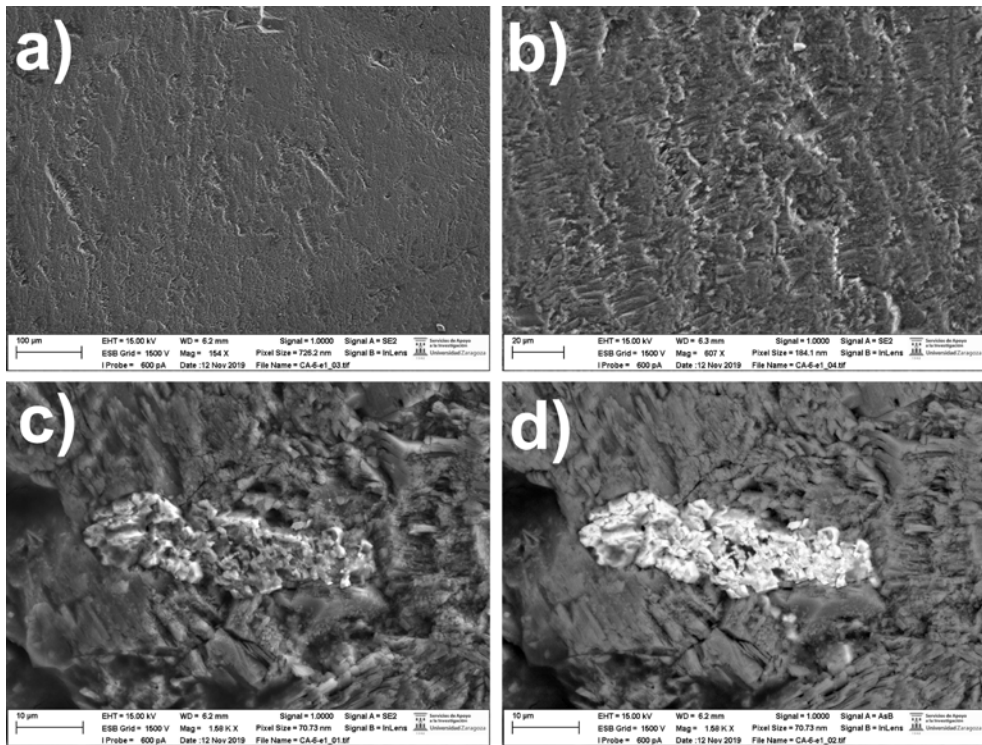




Tabaco: Figura 15



Calatayud: Figura 16





## **Cuenca de Calatayud / Fuentes de Jiloca**

### **Blanca**

Figura 13: La imagen a) muestra cristales de yeso tipo C.E.N.U., y la b) es un detalle de este sector, en que vemos como los cristales de yeso dispuestos en láminas tienen diferentes orientaciones dentro del mismo cristal C.E.N.U. En la imagen c) corresponde a la zona en la que domina la textura microcristalina, y la d) presenta un cristal de celestina esqueletal.

### **Champán**

Figura 14: La imagen a) es un plano con mayores aumentos de cristales de yeso tipo C.E.N.U., y la b) se ven los mismos cristales con más aumentos. En la imagen c) y d) corresponde al mismo cristal de celestina esqueletal, pero la imagen en el caso c) se tomó con reflejado y en el d) con secundarios.

### **Tabaco**

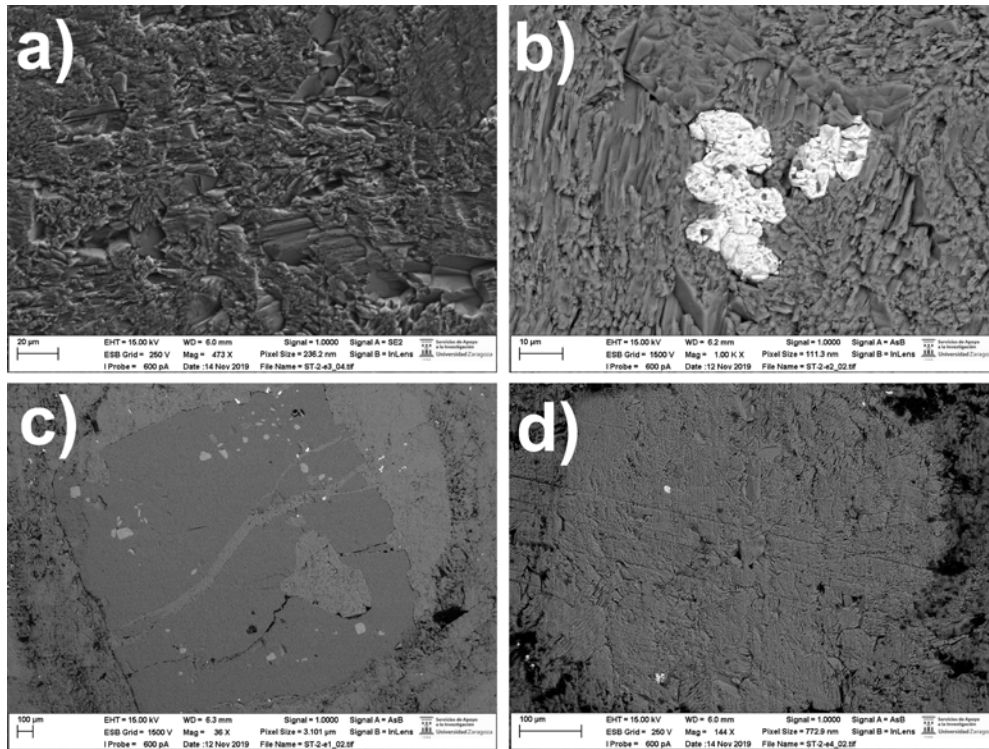
Figura 15: La imagen a) muestra cristales de yeso tipo C.E.N.U., con menos aumentos y la b) es la misma zona con mayores aumentos, vemos como los cristales de yeso con hábito planar dispuestos en diferentes orientaciones dentro del mismo cristal. En la imagen c) corresponde a la zona en la que domina la textura microcristalina, y la d) presenta un cristal de celestina esqueletal.

### **Calatayud**

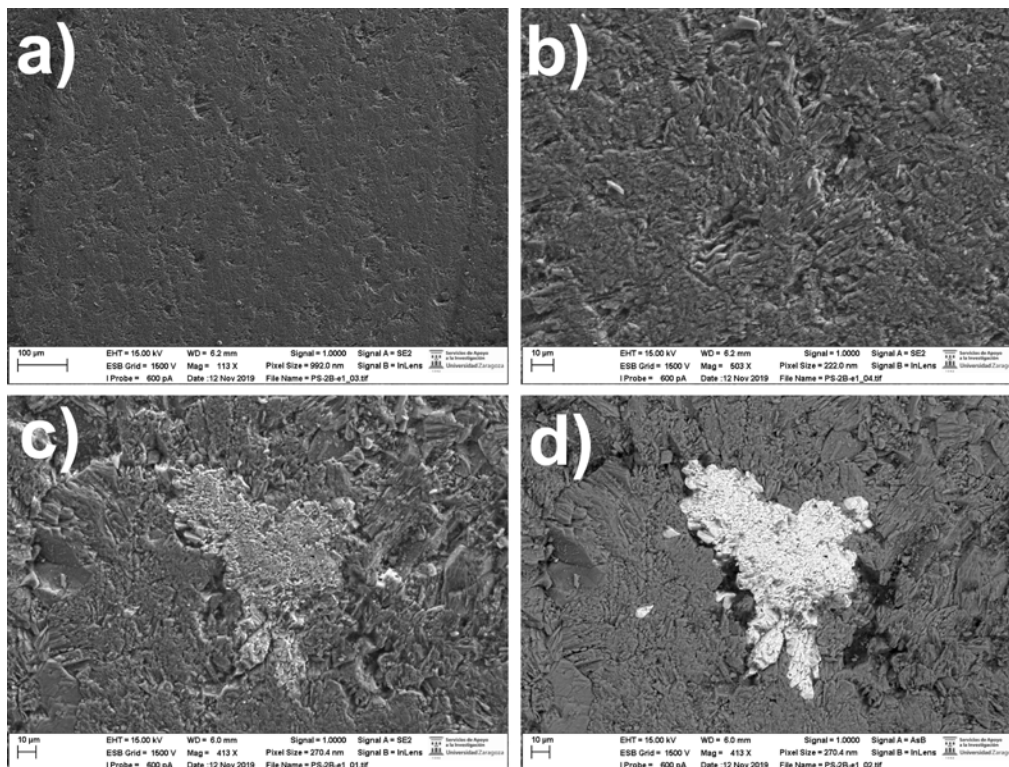
Figura 16: a) y b) muestran cristales de C.E.N.U., en el primer caso es con menos detalle, y en el segundo con mayores aumentos se distinguen los cristales planares de yeso que conforman el cristal tipo C.E.N.U. En las imágenes c) y d) vemos el mismo cristal de celestina subidiomorfa, una de las veces se tomó la imagen con retrodispersados y otra con secundarios.

# Depresión costera valenciana

Sot de Terror: Figura 17



Picassent: Figura 18



## **Depresión costera valenciana**

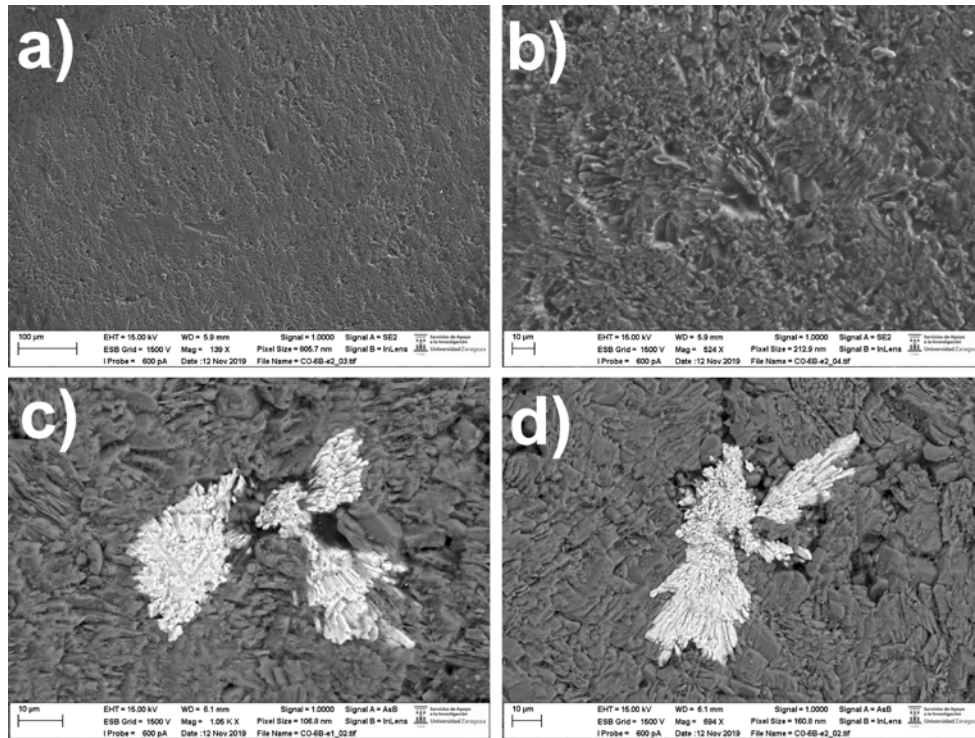
### **Sot de Terror**

Figura 17: En la imagen a) se ve un cristal de yeso tipo C.E.N.U., en la b) podemos ver un cristal de celestina esquelética. En el c) se puede apreciar un cristal de calcita, con morfología cúbica englobado por una matriz de yeso microcristalino. En la d) es una imagen de la matriz microcristalina, en la que destacan algunos cristales subidiomorfos de celestina.

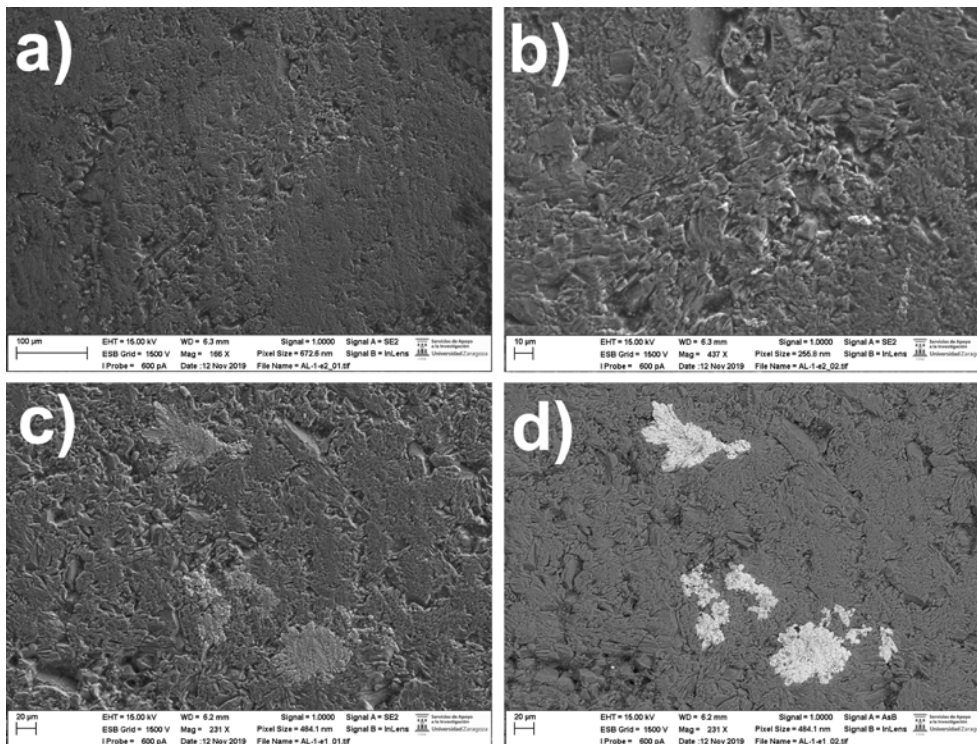
### **Picassent**

Figura 18: La imagen a) muestra cristales de yeso tipo C.E.N.U., y la b) es el mismo sector con más aumentos, en que vemos como los cristales de yeso dispuestos en láminas. En la imagen c) y d) a un mismo cristal de celestina cuya imagen se ha tomado tanto con retrodispersados como con secundarios.

Cogolludo: Figura 19



Aleas: Figura 20



## **Cuenca de Madrid**

### **Cogolludo**

Figura 19: La imagen a) y b) muestran el mismo cristal de yeso tipo C.E.N.U., en la b) vemos como los cristales organizados en láminas con diferentes orientaciones. En la imagen c) y d) podemos observar cristales de celestina en gavilla, que son típicos de esta facies.

### **Aleas**

Figura 20: La imagen a) muestra cristales de yeso tipo C.E.N.U., y la b) es el mismo sector con más aumentos. En la imagen c) y d) varios cristales de celestina en gavilla tanto con retrodispersados como con secundarios.



## **ANEXO III. Tablas de geoquímica**



## Análisis EDS

### Valores de yeso alabastrino

Muestra	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	Ca	Mn	Fe	Zn	Sr	Ba	Total
<b>Valle Medio del Ebro (Gelsa, Fuentes de Ebro, Sástago)</b>															
FE-2	5,68	52,02	0,04	0,01	0	0,16	18,55	0	23,25	0,02	0	0	0,2	0,07	100
FE-2	5,08	51,55	0,04	0	0,01	0,07	19,05	0,01	23,82	0,02	0,04	0,25	0,06	0,01	100
FE-2	5,16	51,45	0	0,06	0,02	0,09	19,05	0,02	23,91	0,05	0,09	0,07	0,04	0	100
FE-2	6,81	51,19	0,06	0	0,02	0,05	18,56	0,04	22,98	0	0,14	0,1	0,04	0	100
FE-2	5,71	48,27	0,06	0,01	0,01	0,04	20,09	0	25,73	0	0	0	0,07	0	100
GE-2	6,19	51,61	0,11	0	0,03	0,03	18,64	0	23,14	0	0	0,11	0,14	0	100
GE-2	6,89	51,79	0	0	0	0,01	18,27	0,01	22,87	0	0,06	0,04	0,05	0	100
GE-2	6,4	50,05	0,05	0,03	0,02	0,05	19,2	0	23,65	0	0,1	0,35	0,09	0,01	100
SAS-1	5	52,48	0,05	0	0,01	0,06	18,84	0,05	23,26	0	0	0	0,09	0,17	100
SAS-1	5,25	52,49	0,03	0,02	0,01	0,05	18,69	0,03	22,97	0,04	0	0,31	0,11	0	100
SAS-1	6,17	51,81	0	0,02	0	0,03	18,74	0	23,19	0	0	0	0,06	0	100
SAS-1	4,61	52,33	0,08	0,03	0	0,05	19,2	0	23,32	0,03	0	0,18	0,15	0,02	100
<b>Valle Medio del Ebro – Sierra de Alcurbierre</b>															
LE-4B	6,56	51,17	0,17	0	0,01	0,08	18,36	0,05	23,02	0,09	0	0,33	0,07	0,08	100
LE-4B	6,71	49,85	0,1	0	0	0	19,3	0,05	23,8	0	0	0,2	0	0,01	100
LE-4B	6,21	51,29	0,13	0,04	0	0,09	18,74	0,05	23,02	0,06	0	0,2	0,15	0,02	100
LE-4B	5,8	48,51	0,05	0,04	0,03	0,08	20,07	0,06	25,12	0,03	0	0,06	0,12	0,02	100
LE-4B	6,68	51,6	0,04	0,02	0,03	0,11	18,3	0	23,04	0	0	0,01	0,08	0,09	100
<b>Tona</b>															
TO-2	8,88	48,33	0,03	0,04	0	0,04	19,08	0	23,29	0,06	0	0,16	0,08	0	100
TO-2	13,84	47,43	0,04	0,02	0	0,07	17,12	0	21,12	0	0,03	0	0,18	0,15	100
TO-2	6,39	51,38	0	0,04	0	0	18,78	0,02	23,29	0,01	0	0	0,08	0	100
<b>Sarral</b>															
SAR-2	13,69	47,07	0,13	0,01	0	0,07	17,45	0	21,51	0	0	0,04	0,01	0	100
SAR-2	8,25	49,37	0,17	0	0,02	0,05	18,59	0,08	23,28	0	0,05	0	0,07	0,06	100
<b>Benda</b>															
BE-2	13,61	39,32	0	0	0	0,06	20,48	0	26,33	0	0	0	0,13	0,06	100
BE-2	15,51	46,52	0	0,02	0	0,05	16,83	0,02	20,9	0	0	0	0,09	0,06	100
BE-2	18,72	46,3	0,01	0	0	0,06	15,72	0	18,88	0,01	0	0,14	0,06	0,1	100
<b>Odena</b>															
OD-3	7,68	49,93	0,09	0	0	0,08	18,7	0	23,35	0,06	0	0,01	0,09	0,01	100
OD-3	11,19	48,83	0,14	0,03	0	0,03	17,57	0,05	22,05	0,07	0	0,04	0,01	0	100
<b>Fuentes de Jiloca / Calatayud</b>															
FJ-1	8,35	50	0,18	0	0	0,03	17,76	0	23,23	0	0,09	0,02	0,21	0,14	100
FJ-1	6,59	53,87	0	0,01	0,02	0,05	17,54	0,1	21,12	0	0	0	0,31	0,4	100
FJ-1	5,67	55,81	0,05	0	0,03	0,05	17,12	0,02	20,76	0,02	0	0,08	0,13	0,27	100
FJ-1	3,83	41,41	0	0,06	0	0,06	24,28	0,02	29,58	0,3	0	0,3	0,16	0	100
FJ-1	5,74	51,83	0,03	0	0,02	0,06	18,86	0,01	23,29	0,04	0	0	0,09	0,02	100
FJ-2	9,72	49,84	0,06	0,02	0	0,03	17,92	0,01	22,13	0	0,03	0,19	0,04	0	100
FJ-3	9,62	49,35	0	0	0	0,09	17,97	0,09	22,5	0,01	0	0,24	0,13	0	100
FJ-3	8,86	50,4	0,07	0	0	0,06	17,98	0,07	22,41	0	0	0	0,15	0	100

Muestra	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	Ca	Mn	Fe	Zn	Sr	Ba	Total
CA-6	10,04	50,15	0,05	0	0	0,01	17,61	0	22,05	0	0	0	0,09	0	100
<b>Picassent</b>															
PS-2B	6,43	51,5	0,09	0	0,03	0,08	18,59	0	23,16	0,03	0	0	0,08	0	100
PS-2B	5,48	51,9	0,04	0,04	0	0,1	18,71	0,03	23,48	0	0,17	0	0,04	0	100
<b>Cogolludo / Aleas</b>															
CO-6B	6,24	52,13	0,03	0,01	0,03	0,04	18,49	0	22,89	0,05	0	0	0,09	0	100
CO-6B	30,28	37,58	0,08	0	0,02	0,05	14,15	0	17,64	0	0	0,08	0,12	0	100
AL-1	8,37	51,33	0,04	0	0,03	0,06	17,98	0,01	22,05	0,07	0	0,02	0,01	0,04	100
AL-1	14,12	47,8	0,04	0	0,01	0,02	16,96	0	20,91	0	0	0,13	0,03	0	100
<b>Sot de Terrer</b>															
ST-2	6,71	41,65	0,07	0,04	0,01	0,1	22,75	0,04	27,85	0	0	0,17	0,61	0	100
ST-2	6,3	51,91	0,04	0,02	0	0,05	18,58	0	22,95	0	0,02	0	0,12	0	100
ST-2	4,88	52,18	0,03	0,01	0	0,05	18,82	0	23,61	0	0,03	0,27	0,02	0,11	100
ST-2	13,11	47,77	0,14	0,06	0,02	0,02	17,17	0	21,5	0	0,01	0,09	0,09	0	100
<b>Ablitas</b>															
ABL-1	8,54	50,08	0,1	0,04	0,02	0,11	18,2	0,01	22,84	0,04	0	0	0,02	0	100
ABL-1	6,53	51,74	0,07	0	0,04	0,06	18,3	0	23,07	0	0,06	0	0,12	0	100
<b>Autol</b>															
AU-1	6,39	51,07	0,01	0,13	0	0,16	18,75	0,13	23,05	0,05	0,09	0,17	0	0	100
AU-1	5,91	51,66	0,07	0,06	0,02	0,2	18,65	0	23,21	0,1	0,13	0	0	0	100
<b>Borja / Monteagudo</b>															
BO-5	7,64	50,36	0,05	0,08	0	0,07	18,45	0,07	23,05	0	0	0,01	0,23	0	100
BO-5	8,98	50,18	0,04	0,01	0,12	0,29	17,87	0	22,26	0,01	0,01	0	0,23	0	100
MO-1	9,87	49,22	0,14	0,29	0,69	1,11	17,21	0,03	21,08	0	0,2	0,07	0,1	0	100
MO-1	8,66	49,29	0,09	0,09	0,21	0,44	18,38	0,01	22,57	0	0,03	0	0,23	0	100

### Valores de celestina

Muestra	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	Ca	Mn	Fe	Zn	Sr	Ba	Total
<b>Valle medio del Ebro (Fuentes de Ebro, Gelsa, Sierra de Alcubierre, Sástago)</b>															
FE-2	32,3	21,21	0,11	0,01	0	0,09	11,54	0,06	0,51	0	0	0	34,05	0,1	100
GE-2	14,14	28,89	0,03	0,01	0	0	15,08	0	0,91	0	0	0,04	40,9	0	100
LE-4B	11,04	29,31	0	0,05	0,24	0,31	15,77	0,03	0,39	0	0,09	0	42,78	0	100
SAS-1	12,65	29,17	0,01	0	0,02	0	15,39	0	0,15	0,02	0	0,17	42,43	0,01	100
<b>Tona</b>															
TO-2	37,03	19,3	0,03	0,02	0,04	0	11,11	0	0,51	0	0	0	31,84	0,13	100
TO-2	28,03	28,55	0	0,16	0,01	0,02	11,58	0	0,54	0	0,03	0	30,91	0,15	100
TO-2	23,51	23,97	0	0,02	0,03	0,02	13,56	0,03	0,67	0,12	0,04	0,07	37,97	0	100
<b>Sarral</b>															
SAR-2	43,1	16,32	0,02	0,02	0,02	0	10,08	0,02	0,39	0	0,06	0,05	29,92	0	100
SAR-2	18,94	25,8	0,07	0	0,02	0,14	14,19	0	0,45	0	0,15	0,07	40,1	0,06	100
<b>Beuda</b>															
BE-2	31,82	12,77	0,01	0	0,01	0,01	13,28	0,04	0,46	0,13	0,09	0,13	41,18	0,07	100
BE-2	20,51	25,19	0,05	0	0,06	0,01	14,11	0	0,42	0,13	0	0	39,38	0,13	100
BE-2	22,45	30,66	0,03	0	0,03	0,02	12,52	0	0,62	0,01	0,07	0,08	33,11	0,41	100
BE-2	15,84	27,8	0	0,04	0,02	0,13	14,38	0	0,66	0,09	0	0,13	40,71	0,21	100

Muestra	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	Ca	Mn	Fe	Zn	Sr	Ba	Total
<b>Odena</b>															
OD-3	15,02	27,5	0	0,07	0,07	0,04	14,87	0,02	0,37	0	0,02	0	41,48	0,53	100
OD-3	24,24	25,9	0,07	0,01	0,01	0,03	12,99	0,06	0,29	0	0	0	36,41	0	100
<b>Fuentes de Jiloca / Calatayud</b>															
FJ-1	14,48	27,92	0,04	0,03	0,02	0	15,39	0	0,83	0,06	0,03	0	41,18	0,02	100
FJ-2	18,89	28,73	0,02	0	0	0	13,7	0,01	0,47	0	0	0,16	37,95	0,08	100
FJ-3	12,22	27,81	0,03	0	0,05	0,04	15,59	0	0,21	0	0	0,1	43,94	0	100
CA-6	20,56	27,79	0,06	0,01	0,01	0	13,49	0,04	1,36	0,11	0	0,23	36,35	0	100
<b>Picassent</b>															
PS-2B	11,72	28,6	0,06	0,05	0,01	0	15,73	0	0,53	0,04	0	0,09	43,18	0	100
<b>Cogolludo / Aleas</b>															
CO-6B	11,65	28,24	0,09	0	0,02	0	15,94	0,01	0,44	0	0	0	43,53	0,09	100
CO-6B	14,93	27,85	0,08	0	0,03	0,03	15,11	0,08	0,57	0,01	0,08	0	41,21	0,02	100
AL-1	22,31	26,33	0,13	0	0,03	0,07	13,38	0,1	0,45	0	0,13	0	37,07	0	100
<b>Sot de Terrer</b>															
ST-2	9,96	28,84	0	0,01	0,03	0,1	16,42	0	0,56	0	0	0,11	43,98	0	100
ST-2	11,91	8,44	0,09	0,02	0,09	0	36,52	0	0,27	0	26,1	0,02	16,55	0	100
ST-2	9,91	29,56	0,02	0	0	0,05	16,14	0	0,33	0,02	0	0	43,96	0	100
ST-2	12,31	28,15	0,12	0	0,04	0,06	15,55	0,02	0,1	0,14	0	0,42	42,56	0,52	100
ST-2	11,52	25,28	0,07	0,02	0,06	0	16,57	0,08	0,48	0	0	0,21	45,71	0	100
<b>Ablitas</b>															
ABL-1	12,93	28,38	0,06	0,02	0,06	0	14,9	0	0,33	0	0,09	0,15	43,03	0,03	100
ABL-1	8,88	49,94	0,08	0	0,03	0,04	18,36	0	22,61	0	0	0	0,06	0	100
ABL-1	10,22	27,08	0,02	0,04	0,04	0	15,87	0	0,95	0,04	0	0	45,44	0,31	100
<b>Autol</b>															
AU-1	9,66	29,46	0	0,07	0	0,1	16	0,07	1,31	0,06	0	0	42,18	1,1	100
AU-1	11,31	28,34	0,04	0,04	0,03	0,07	15,71	0,03	0,92	0,11	0,06	0	42,39	0,94	100
<b>Borja / Monteagudo</b>															
BO-5	11,13	30,66	0,15	0	0	0,05	15,34	0,01	0,51	0,01	0	0,29	41,7	0,15	100
BO-5	11,7	27,89	0,02	0	0,08	0	16,02	0	0,43	0	0	0,29	43,23	0,33	100
MO-1	13,04	22,34	0,04	0,04	0,06	0,13	16,4	0	1,19	0	0,06	0	46,49	0,19	100
MO-1	13,13	28,73	0	0,01	0,07	0	15,57	0,01	0,53	0,15	0	0,09	41,7	0	100
Muestra	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	Ca	Mn	Fe	Zn	Sr	Ba	Total

### Datos obtenidos de R.I., H<sub>2</sub>O, M.O. y CO<sub>2</sub>

Procedencia	Muestras	% RI	% H <sub>2</sub> O	% M.O	% CO <sub>2</sub>	% CaCO <sub>3</sub>
<b>Fuentes de Jiloca</b>	BL-1	0,040	15,42	4,98	0,48	1,10
	BL-2	0,000	15,16	5,23	0,52	1,19
	TA-1	0,226	19,33	1,16	0,41	0,94
	TA-2	0,355	19,54	0,92	0,41	0,92
	CH-1	0,199	15,32	5,05	0,59	1,34
	CH-2	0,796	15,41	5,00	0,52	1,19
	FJ-1	0,317	19,25	1,15	0,45	1,02
	FJ-2	0,433	19,55	0,88	0,46	1,05
	FJ-3	0,434	15,62	4,83	0,58	1,32

	Muestras	% RI	% H <sub>2</sub> O	% M.O	% CO <sub>2</sub>	% CaCO <sub>3</sub>
	FJ-18	0,228	15,58	4,69	0,45	1,03
	FJ-19	0,357	15,73	4,63	0,58	1,31
Valle medio del Ebro	SAGE-1	0,998	18,64	1,87	0,43	0,99
	SAGE-2	0,734	18,65	1,77	0,50	1,13
	SALO-1	0,554	19,16	1,41	0,32	0,72
	SALO-2	0,713	19,31	1,24	0,35	0,80
	FE-2	1,070	19,42	1,03	0,60	1,37
	SAS-1	0,277	19,48	1,10	0,36	0,82
	SAS-2	0,320	19,40	1,14	0,39	0,89
	E-2	0,153	19,60	1,00	0,29	0,67
	E-4	0,434	19,31	1,27	0,32	0,74
	ALBA-1	0,000	19,51	0,99	0,39	0,89
	ALBA-3	0,000	19,09	1,33	0,45	1,02
	ALBA-5	0,282	18,89	1,59	0,43	0,97
Leciñena/Alcubierre	LE-4	0,18504811	19,83	0,60	0,38	0,87
	LE-5	0,18903592	19,93	0,56	0,38	0,86
Cogolludo/Jadraque	CO-1	0,315	19,65	0,68	0,63	1,44
	CO-4	1,196	19,43	0,37	0,98	2,22
	JA-3	0,719	19,37	0,99	0,77	1,76
	JA-4	1,326	19,28	0,42	1,37	3,10
	JA-5	0,308	19,95	0,30	0,71	1,62
	AL-1	0,277	19,84	0,59	0,59	1,34
	AL-2	0,510	19,82	0,52	0,55	1,26
	AL-3	0,497	19,55	0,85	0,67	1,53
Ablitas	ABL-1	0,35657686	20,02	0,28	0,57	1,30
	ABL-2	0,4494382	20,02	0,32	0,51	1,16
	ABL-3	0,44444444	19,88	0,43	0,54	1,22
	ABL-4	0,31987205	20,00	0,26	0,61	1,40
Calatayud	CA-5	0,40770941	20,09	0,37	0,47	1,07
	CA-6	0,33482143	19,94	0,45	0,39	0,89
Borja	BO-4	0,36334275	15,75	1,93	6,47	14,72
	BO-5	0,59760956	18,16	1,65	2,07	4,72
	BO-1	0,917	18,67	1,70	1,12	2,54
	BO-2	1,261	18,89	1,74	0,26	0,60
	BO-3	2,442	17,04	1,96	3,62	8,23
	BO-6	0,846	18,55	2,14	0,33	0,74
	BO-7	0,964	16,79	1,68	4,48	10,19
Monteagudo	MO-1	5,946	15,59	1,96	4,84	11,01
	MO-2	7,493	16,26	1,87	2,89	6,57
Picassent	PS-1	0,27333073	18,99	1,67	0,66	1,50
	PS-2	0,20008003	15,51	4,96	0,51	1,15
	PS-3	0,16025641	16,18	4,27	0,45	1,03
	PS-4	0,27855153	15,81	4,60	0,68	1,54
	PS-6	0,44123546	15,17	5,27	0,46	1,05
	PS-7	0,31384857	15,37	5,04	0,59	1,34
Sot de Terrer	ST-1	0,521251	18,80	1,87	0,36	0,83

	Muestras	% RI	% H <sub>2</sub> O	% M.O	% CO <sub>2</sub>	% CaCO <sub>3</sub>
	ST-2	0,23103581	19,01	1,35	0,53	1,20
Sarral	SAR-1	1,975	16,51	1,08	6,75	15,36
	SAR-2	1,923	18,02	1,12	3,46	7,86
	SAR-3	0,723	19,86	0,62	0,46	1,04
	SAR -5a	0,640	19,97	0,48	0,44	0,99
	SAR -5b	0,876	16,82	1,50	5,16	11,73
	SAR-6	1,345	19,27	0,99	0,66	1,51
	Beuda	BE-1	0,1973165	18,65	1,91	0,28
BE-2		0,21459227	19,44	1,04	0,37	0,84
BE-3		0,68493151	18,18	1,02	2,97	6,75
BE-4		1,4847512	15,36	1,11	9,29	21,13
BE-5		0,23428348	19,74	0,76	0,44	1,01
BE-6		0,85533656	18,19	1,03	2,99	6,80
Tona	TO-1	0,232	20,00	0,49	0,47	1,07
	TO-2	0,114	20,29	0,23	0,42	0,95
	TO-3	0,230	19,98	0,44	0,48	1,09
Odena	OD-1	1,044	20,24	0,22	0,64	1,46
	OD-3	1,032	19,74	0,45	1,13	2,58
	OD-4	1,123	19,23	0,30	2,38	5,42
Autol	AU-1	0,993	19,63	0,71	0,52	1,18
	AU-2	3,416	19,89	0,66	0,31	0,71
	AU-3	1,448	19,81	0,76	0,32	0,74
	AU-4	0,39432177	19,96	0,54	0,32	0,72
	AU-5a	0,37067545	19,99	0,56	0,32	0,73
	AU-5b	0,67114094	19,28	0,64	0,71	1,62
Fuentes de Jiloca	BL-1	0,040	15,42	4,98	0,48	1,10
	BL-2	0,000	15,16	5,23	0,52	1,19
	TA-1	0,226	19,33	1,16	0,41	0,94
	TA-2	0,355	19,54	0,92	0,41	0,92
	CH-1	0,199	15,32	5,05	0,59	1,34
	CH-2	0,796	15,41	5,00	0,52	1,19
	FJ-1	0,317	19,25	1,15	0,45	1,02
	FJ-2	0,433	19,55	0,88	0,46	1,05
	FJ-3	0,434	15,62	4,83	0,58	1,32
	FJ-18	0,228	15,58	4,69	0,45	1,03
	FJ-19	0,357	15,73	4,63	0,58	1,31
Valle medio del Ebro	SAGE-1	0,998	18,64	1,87	0,43	0,99
	SAGE-2	0,734	18,65	1,77	0,50	1,13
	SALO-1	0,554	19,16	1,41	0,32	0,72
	SALO-2	0,713	19,31	1,24	0,35	0,80
	FE-2	1,070	19,42	1,03	0,60	1,37
	SAS-1	0,277	19,48	1,10	0,36	0,82
	SAS-2	0,320	19,40	1,14	0,39	0,89
	E-2	0,153	19,60	1,00	0,29	0,67
	E-4	0,434	19,31	1,27	0,32	0,74
	ALBA-1	0,000	19,51	0,99	0,39	0,89

	Muestras	% RI	% H <sub>2</sub> O	% M.O	% CO <sub>2</sub>	% CaCO <sub>3</sub>
	ALBA-3	0,000	19,09	1,33	0,45	1,02
	ALBA-5	0,282	18,89	1,59	0,43	0,97
Leciñena/Alcubierre	LE-4	0,18504811	19,83	0,60	0,38	0,87
	LE-5	0,18903592	19,93	0,56	0,38	0,86
Cogolludo/Jadraque	CO-1	0,315	19,65	0,68	0,63	1,44
	CO-4	1,196	19,43	0,37	0,98	2,22
	JA-3	0,719	19,37	0,99	0,77	1,76
	JA-4	1,326	19,28	0,42	1,37	3,10
	JA-5	0,308	19,95	0,30	0,71	1,62
	AL-1	0,277	19,84	0,59	0,59	1,34
	AL-2	0,510	19,82	0,52	0,55	1,26
	AL-3	0,497	19,55	0,85	0,67	1,53
Ablitas	ABL-1	0,35657686	20,02	0,28	0,57	1,30
	ABL-2	0,4494382	20,02	0,32	0,51	1,16
	ABL-3	0,44444444	19,88	0,43	0,54	1,22
	ABL-4	0,31987205	20,00	0,26	0,61	1,40
Calatayud	CA-5	0,40770941	20,09	0,37	0,47	1,07
	CA-6	0,33482143	19,94	0,45	0,39	0,89
Borja	BO-4	0,36334275	15,75	1,93	6,47	14,72
	BO-5	0,59760956	18,16	1,65	2,07	4,72
	BO-1	0,917	18,67	1,70	1,12	2,54
	BO-2	1,261	18,89	1,74	0,26	0,60
	BO-3	2,442	17,04	1,96	3,62	8,23
	BO-6	0,846	18,55	2,14	0,33	0,74
	BO-7	0,964	16,79	1,68	4,48	10,19
Monteagudo	MO-1	5,946	15,59	1,96	4,84	11,01
	MO-2	7,493	16,26	1,87	2,89	6,57
Picassent	PS-1	0,27333073	18,99	1,67	0,66	1,50
	PS-2	0,20008003	15,51	4,96	0,51	1,15
	PS-3	0,16025641	16,18	4,27	0,45	1,03
	PS-4	0,27855153	15,81	4,60	0,68	1,54
	PS-6	0,44123546	15,17	5,27	0,46	1,05
	PS-7	0,31384857	15,37	5,04	0,59	1,34
Sot de Terrer	ST-1	0,521251	18,80	1,87	0,36	0,83
	ST-2	0,23103581	19,01	1,35	0,53	1,20
Sarral	SAR-1	1,975	16,51	1,08	6,75	15,36
	SAR-2	1,923	18,02	1,12	3,46	7,86
	SAR-3	0,723	19,86	0,62	0,46	1,04
	SAR -5a	0,640	19,97	0,48	0,44	0,99
	SAR -5b	0,876	16,82	1,50	5,16	11,73
	SAR-6	1,345	19,27	0,99	0,66	1,51
Beuda	BE-1	0,1973165	18,65	1,91	0,28	0,64
	BE-2	0,21459227	19,44	1,04	0,37	0,84
	BE-3	0,68493151	18,18	1,02	2,97	6,75
	BE-4	1,4847512	15,36	1,11	9,29	21,13
	BE-5	0,23428348	19,74	0,76	0,44	1,01

	Muestras	% RI	% H <sub>2</sub> O	% M.O	% CO <sub>2</sub>	% CaCO <sub>3</sub>
	BE-6	0,85533656	18,19	1,03	2,99	6,80
Tona	TO-1	0,232	20,00	0,49	0,47	1,07
	TO-2	0,114	20,29	0,23	0,42	0,95
	TO-3	0,230	19,98	0,44	0,48	1,09
Odena	OD-1	1,044	20,24	0,22	0,64	1,46
	OD-3	1,032	19,74	0,45	1,13	2,58
	OD-4	1,123	19,23	0,30	2,38	5,42
Autol	AU-1	0,993	19,63	0,71	0,52	1,18
	AU-2	3,416	19,89	0,66	0,31	0,71
	AU-3	1,448	19,81	0,76	0,32	0,74
	AU-4	0,39432177	19,96	0,54	0,32	0,72
	AU-5a	0,37067545	19,99	0,56	0,32	0,73
	AU-5b	0,67114094	19,28	0,64	0,71	1,62

#### 4.3.5.3. Datos obtenidos por espectrofotometría de emisión atómica (ICP-OES)

Procedencia	Muestras	% RI	Ba ppm	Sr ppm
Fuentes de Jiloca	BL-1	0,040	0,00	908,18
	BL-2	0,000	0,00	935,23
	BL-3	0,307	9,88	926,75
	TA-1	0,226	0,00	726,38
	TA-2	0,355	0,00	634,61
	TA-3	0,318	0,00	668,12
	CH-1	0,199	0,00	965,32
	CH-2	0,796	0,00	930,76
	CH-3	0,313	0,00	906,96
	BA-1	0,374	0,00	737,61
	BA-2	1,116	12,35	1178,09
	FJ-1	0,317	0,00	730,59
	FJ-2	0,433	0,00	890,05
	FJ-3	0,434	0,00	1134,12
	FJ-12	0,158	17,00	950,57
	FJ-13	0,112	2,24	863,45
	FJ-14	0,198	1,19	441,93
	FJ-17	0,278	0,00	1125,15
	FJ-18	0,228	0,00	1063,14
FJ-19	0,357	0,00	830,60	
Valle medio del Ebro	G4-1	0,786	0,00	534,96
	G4-2	0,198	2,77	873,66
	G5-1	0,000	0,00	1168,05
	G5-2	0,382	0,00	1010,30
	G6-1	0,728	3,83	747,51
	G6-2	0,750	2,37	1818,72
	GE-NDCH	0,267	0,00	431,84
	GE-NIZQ	0,742	14,83	3042,54
	GE-NCEN	0,768	3,84	1414,14
	SAGE-1	0,998	0,00	1132,19
	SAGE-2	0,734	0,00	1064,89
	SAGE-3	0,989	0,00	1117,09
	SAGE-4	0,634	0,00	1097,90
	SAGE-5	0,630	21,65	1241,24
	SAGE-6	0,656	0,00	975,94
	SAGE-7	0,827	0,00	1005,91
	SALO-1	0,554	2,42	1078,60
	SALO-2	0,713	0,00	1127,23
	SALO-3	0,554	13,46	1079,18
	SALO-4	0,542	0,00	1126,21
SALO-5	1,071	0,00	1071,03	
SALO-6	0,798	0,00	1113,28	
SALO-7	0,174	0,00	1006,27	



	<b>Muestras</b>	<b>% RI</b>	<b>Ba ppm</b>	<b>Sr ppm</b>
	FE-2	1,070	0,00	1329,64
	SAS-1	0,277	0,00	975,89
	SAS-2	0,320	0,00	944,44
	E-2	0,153	0,00	1055,13
	E-4	0,434	2,37	1305,17
	ALBA-1	0,000	2,74	1068,05
	ALBA-2	0,119	1,58	1040,30
	ALBA-3	0,000	0,00	903,52
	ALBA-4	0,259	1,48	1046,28
	ALBA-5	0,282	1,41	1001,76
	ALBA-6	1,203	37,25	2436,94
	LE-1C	0,511	20,84	866,69
	LE-1N	0,313	0,00	1395,37
	LE-2	0,412	0,00	1331,40
	LE-3	0,238	0,00	1215,36
	LE-4	0,185	0,00	1091,78
	LE-5	0,189	0,00	1203,78
	RU-1	0,506	0,00	1320,21
	RU-2	0,723	0,00	1856,10
	CO-1	0,315	0,00	1092,59
	CO-4	1,196	12,36	2897,13
	JA-3	0,719	0,00	1129,90
	JA-4	1,326	33,35	4232,66
	JA-5	0,308	0,00	1235,45
	AL-1	0,277	0,00	829,64
	AL-2	0,510	0,00	2394,58
	AL-3	0,497	2,68	1649,96
	ABL-1	0,356	0,00	1621,63
	ABL-2	0,449	0,00	1509,73
	ABL-3	0,444	0,00	1644,84
	ABL-4	0,319	1,19	1395,84
	CA-5	0,407	2,59	1729,79
	CA-6	0,334	0,00	1710,19
	CA-7	0,317	0,00	1452,81
	CA-8	0,318	0,00	1690,02
	BO-4	0,363	11,70	4981,83
	BO-5	0,597	14,34	4637,45
	BO-1	0,917	11,96	5693,78
	BO-2	1,261	14,58	4495,67
	BO-3	2,442	6,30	2943,28
	BO-6	0,846	5,64	2693,11
	BO-7	0,964	7,79	5931,01
	MO-1	5,946	12,86	3639,21
	MO-2	7,493	12,61	3735,99
	PS-1	0,273	9,37	2846,93
	PS-2	0,200	0,00	1136,45
	PS-3	0,160	0,00	514,42
	PS-4	0,278	0,00	897,73
	PS-6	0,441	0,00	898,11
	PS-7	0,313	0,00	1026,28
	ST-1	0,521	51,32	3480,35
	ST-2	0,231	29,64	3585,29
	SAR-1	1,975	4,65	1560,42
	SAR-2	1,923	10,20	1775,90
	SAR-3	0,723	2,01	1160,31
	SAR -5a	0,640	2,40	861,60
	SAR -5b	0,876	57,37	5804,78
	SAR-6	1,345	3,56	1549,45
	BE-1	0,197	1,97	942,38
	BE-2	0,214	13,94	2347,99
	BE-3	0,684	12,48	2708,29
	BE-4	1,484	7,62	2431,38
	BE-5	0,234	0,00	1108,16
	BE-6	0,855	5,57	1889,55
	TO-1	0,232	0	3539,09
	TO-2	0,114	1,52	1075,93
	TO-3	0,230	0,00	199,92
	OD-1	1,044	0,00	835,59
	OD-3	1,032	1,98	791,58
	OD-4	1,123	8,61	2362,79

	<b>Muestras</b>	<b>% RI</b>	<b>Ba ppm</b>	<b>Sr ppm</b>
Autol	<b>AU-1</b>	0,993	2,38	1430,50
	<b>AU-2</b>	3,416	6,91	2799,11
	<b>AU-3</b>	1,448	7,03	2300,37
	<b>AU-4</b>	0,394	0,00	1718,84
	<b>AU-5a</b>	0,370	0,00	995,88
	<b>AU-5b</b>	0,671	3,55	1298,06
Volterra	<b>VO-1</b>	0,722	4,41	1044,92
	<b>VO-2</b>	1,054	16,63	1080,73