

**ESTUDIO MINERALÓGICO Y PETROGRÁFICO DE
MORTEROS Y TAPIALES**



**MURALLAS ÁRABES DE VÉLEZ-MÁLAGA
(MÁLAGA)**

Departamento de Análisis

Febrero, 2004

<u>INDICE</u>	Página
I. INTRODUCCIÓN	3
II. MATERIAL ESTUDIADO Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS	3
III. RESULTADOS	5
III.1. Difracción de Rayos X (DRX)	5
III.2. Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)	7
III.3. Microscopio Óptico Petrográfico (MOP)	8
III.3.1. Morteros de llagas	8
III.3.2. Murallas Castillo	9
IV. CONCLUSIONES	11
V. ANEXOS	13
ANEXO I: Espectros químicos y microfotografías SEM	
ANEXO II: Microfotografías al microscopio Petrográfico.	

ESTUDIO MINERALÓGICO-PETROGRÁFICO DE MORTEROS Y TAPIALES DE LAS MURALLAS ÁRABES DE VÉLEZ-MÁLAGA

I. INTRODUCCIÓN.

El presente informe se emite como respuesta al asesoramiento solicitado por el Organismo Autónomo Local de Desarrollo Integral del Municipio de Vélez-Málaga, para la realización de análisis de caracterización de los Morteros y Tapiales de las murallas árabes que aparecen en la ciudad y el castillo de dicha localidad, con objeto de aplicar los resultados obtenidos en el proceso de rehabilitación.

Se han estudiado nueve muestras de morteros y tapial extraídas de diferentes zonas del casco urbano y del castillo. Las muestras de tapial estudiadas están referidas a la fracción más fina, ya que realmente lo interesante para el proceso de restauración es el conocimiento del aglomerante de los mismos, además de que la fracción más grosera es identificable a simple vista y puede ser muy variada en naturaleza.

II. MATERIAL ESTUDIADO Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS.

En la tabla 1 se recoge la descripción de las muestras estudiadas, agrupadas por procedencias de extracción, especificándose para cada muestra las técnicas analíticas empleadas en su estudio.

Tabla 1. Descripción de muestras estudiadas

Muestra	Descripción	Técnicas
	Centro Urbano	
VM-1	Mortero de llagas entre ladrillos. Plaza de la Constitución	DRX, MOP SEM
VM-2	Mortero llagas disgregado. Cubo de calle de las Tiendas	DRX
VM-3	Mortero más sólido y compacto, misma zona anterior.	DRX, MOP SEM
	Murallas del Castillo	
VM-4	Matriz del tapial. Esquina sureste de la Fortaleza	DRX
VM-5	Matriz del tapial del muro de entrada a Fortaleza. Disgregado	DRX
VM-6	Matriz del tapial Torre junto carretera entrada	DRX, MOP
VM-7	Matriz tapial Torre esquina noreste, parte externa más rica en cal?	DRX, MOP
VM-8	Mismo anterior, matriz tapial zona interna, menos cal?	DRX, MOP
VM-9	Matriz tapial junto a Torre del homenaje.	DRX, MOP

Las técnicas empleadas en este estudio han sido las siguientes:

1. Difracción de Rayos X (DRX)

La DRX es una técnica que permite la identificación de los compuestos cristalinos (minerales) presentes en la muestra en estudio, triturando la muestra hasta obtener un polvo muy fino sobre el que se hace incidir un haz de rayos X que se difractan a ángulos concretos, característicos de los espaciados interatómicos de cada mineral. Esta técnica facilita el conocimiento cualitativo de la composición mineralógica del total de la muestra

La intensidad de los picos diagnóstico de cada mineral es proporcional a la cantidad de ese mineral en la muestra.

En el estudio mineralógico se ha empleado un difractómetro Phillips 1410 con rejilla automática y monocromador de grafito con un tubo de anticátodo y las condiciones de excitación de 40 Kv y 20 mA, perteneciente al Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Granada.

2. Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)

Con esta técnica se consiguen imágenes a aumentos difíciles de alcanzar con otras técnicas de visualización, y a su vez se puede realizar análisis químico elemental empleando un detector (EDX) de radiaciones X. Esta técnica se ha empleado para realizar análisis químicos en determinadas zonas de forma global o puntuales sobre determinados cristales y estructuras de las muestras estudiadas en microscopia óptica.

En el estudio se ha empleado un microscopio electrónico Jeol JSM5600 LV, perteneciente al Departamento de Análisis del IAPH.

3. Microscopia Óptica de Polarización (MOP)

Este método permite identificar minerales mayoritarios y minoritarios (no detectados con DRX) mediante sus propiedades ópticas, y además se puede realizar un *estudio petrográfico textural*, analizando en detalle la naturaleza de los elementos que constituyen los materiales, las formas y tamaños (absolutos y relativos) de dichos elementos, las relaciones mutuas entre ellos y sus abundancias relativas.

Para la observación de los materiales con esta técnica se requiere la preparación de láminas delgadas obtenidas por corte y métodos de abrasión.

En el estudio se ha empleado un microscopio petrográfico LEICA DMLP, con objetivos de 2,5x, 5x, 10x, 20x y 63x y con una videocámara acoplada para la captura de imágenes, perteneciente al Departamento de Análisis del IAPH.

III. RESULTADOS.

Dado que la mayoría de las muestras corresponden a la matriz de los tapiales, y contienen material arcilloso, carecían de suficiente consistencia para la preparación de láminas delgadas y su observación al microscopio óptico. Sin embargo si se han podido estudiar todas las muestras mediante Difracción de Rayos X para su estudio mineralógico.

III.1 Difracción de Rayos X (DRX).

Los resultados obtenidos con esta técnica se recogen en la tabla 2.

Se ha realizado una estimación semicuantitativa de la proporción de cada mineral expresada de la siguiente forma:

xxx: muy abundante (30-50%).

xx: abundante (15-30%).

x: poco abundante (5-15%).

o: indicios(<5%). Reflexiones débiles.

Tabla 2. Composición Mineralógica de las muestras

	Calcita	Cuarzo	Filosil.	Feldes.	Dolom	Halita
VM-1	xxx	xx	xx	x	o	xx
VM-2	xxx	xx	xx	x	o	xx
VM-3	xxx	xx	x	x	x	x
VM-4	x	xxx	xxx	o	-	o
VM-5	xx	xx	xxx	o	x	o
VM-6	x	xx	xxx	o	o	o
VM-7	xx	xxx	xxx	o	o	o
VM-8	x	xxx	xxx	x	o	o
VM-9	xx	xx	xxx	o	o	o

Uno de los inconvenientes de esta técnica es que la identificación de sustancias que aparecen en proporciones inferiores al 5% a veces es difícil o dudosa, dado que se producen reflexiones muy débiles.

Los minerales que se han identificado han sido los siguientes:

- **Calcita:** CaCO_3
- **Cuarzo:** SiO_2
- **Filosil:** Filosilicatos. Incluye tanto minerales micáceos, como minerales arcillosos de la matriz aglomerante.
- **Feldes:** Silicatos aluminicos de Na, K, Ca
- **Dolom:** Dolomita- $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
- **Halita:** NaCl

A la vista de los resultados se observa que las muestras de morteros de llagas procedentes del centro urbano son bastante más ricas en **calcita** (cal) que todas las muestras de las murallas del castillo, siendo estas últimas más ricas en filosilicatos.

Hay que mencionar que dentro de los **filosilicatos** se incluyen tanto los *minerales arcillosos* que están mezclados con la cal, como aglomerante o matriz de los materiales, así como *minerales micáceos* (moscovita, biotita,...) de los fragmentos de rocas que constituyen el árido, tal y como se verá en el apartado de microscopia óptica.

El **cuarzo** que aparece también de forma muy abundante en todas las muestras, se atribuye también al árido, bien integrante de fragmentos de rocas, o bien como granos aislados. Igual ocurre con los feldespatos que se han detectado.

La **dolomita** aparece en cantidades escasas, y en principio se puede atribuir también a la cal o bien puede formar parte del árido.

Un aspecto importante a resaltar es la presencia en mayor o menor abundancia de **halita** (cloruro sódico). Esta sal aparece de forma muy abundante en las muestras de morteros de llagas del casco urbano, y de forma menos abundante en los tapias del Castillo.

La presencia de cloruros en estos materiales se puede atribuir principalmente a los efectos de la acción de los aerosoles marinos. También se podrían relacionar con el empleo de áridos contaminados con dichas sales, aunque las concentraciones tan elevadas en las que aparecen en determinadas muestras hacen dudar que su origen sea debido exclusivamente a la segunda posibilidad.

Los cloruros son considerados como unas de las sales más peligrosas para la conservación de materiales de construcción ya que son extremadamente solubles; en solución son muy móviles y pueden penetrar profundamente en materiales porosos. Su acción agresiva es debida fundamentalmente a su cristalización, ejerciendo presión en las paredes de los poros (especialmente si se produce de forma cíclica con cambios de humedad). Como consecuencia los materiales se disgregan, pulverizándose o arenizándose, perdiendo toda consistencia.

III.2 Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)

Las cantidades de cloruros tan elevadas que aparecen en los morteros de llagas son poco habituales, por lo que se estimó necesario el estudio de algunas muestras mediante microscopia electrónica para confirmar su presencia en cantidades tan importantes. Al microscopio óptico no es posible su observación ya que al ser tan solubles desaparecen en su mayor parte en la preparación de la lámina delgada.

Se han estudiado dos de las muestras de mortero que mayores proporciones de halita presentaban en DRX (VM-1 y VM-3). Ver **Anexo I**.

En ambos casos las observaciones y los análisis químicos realizados arrojan datos muy similares.

Se han realizado **análisis químicos globales** en varias zonas de las muestras, detectándose en todos ellos cantidades variables de iones de cloro y de sodio, junto a otros elementos químicos pertenecientes a los componentes de los morteros (aglomerante y áridos). Las proporciones de cloruros varían dentro de una misma muestra, existiendo zonas más ricas que otras, pero presentes en todos los análisis globales realizados. Dado que los cloruros son muy solubles y móviles generalmente aparecen mayores concentraciones en zonas próximas al entramado poroso de los morteros, aunque también se observan diseminados en la matriz.

Por otro lado se han observado y analizado de **forma más puntual** ciertas aglomeraciones masivas de apariencia costrosa bien adheridas y cuya composición es de cloro y sodio (halita). En menor abundancia también se han observado aglomeraciones de cristales de cloruros de escaso desarrollo cristalino de hábito cúbico, y aristas parcialmente disueltas.

De todo esto se deduce la existencia en concentraciones considerables de cloruros en los morteros, tanto de forma diseminada por la matriz, como en aglomeraciones masivas o cristalinas en determinadas zonas, normalmente cercanas a los poros.

Al realizar los análisis globales en determinadas zonas también se ha obtenido información del quimismo del aglomerante y áridos de los morteros, en concordancia a lo relatado en el apartado de Difracción de rayos X y lo que se expondrá en el apartado de microscopia óptica.

En general el elemento mayoritario en los análisis globales es el silicio, que se atribuye al cuarzo, feldespatos y filosilicatos (tanto arcillas como micas).

El calcio que aparece corresponde fundamentalmente a la cal del aglomerante. El Mg y K detectado correspondería también en parte a los feldespatos, y a los filosilicatos.

Es de destacar la importante presencia en determinados análisis globales, y de forma exclusiva en algunos puntuales, de Ti y Fe, que le confieren el color oscuro a los áridos y a las arcillas de los morteros. Estos elementos son atribuibles bien a óxidos de Fe y/o Ti (hematites, ilmenita, rutilo) de coloraciones oscuras, o bien a micas y minerales de la arcilla que también son de colores oscuros.

III.3 Microscopia Óptica de Polarización (MOP).

Con esta técnica se han estudiado cinco muestras ya que una gran parte de las muestras de la matriz del tapial, por su naturaleza arcillosa, carecían de suficiente consistencia para preparar la lámina delgada.

Algunas de las imágenes al microscopio petrográfico de estos materiales se recogen en el **Anexo II**

III.3.1. Morteros de llagas

VM-1

Esta muestra corresponde a un mortero de cal con importantes pérdidas de masa por disolución del carbonato cálcico, junto a la desagregación provocada por la presencia de cloruros, que apenas se pueden observar ya que se han perdido en la preparación de la muestra. Por el color de la matriz, más oscura que morteros de cal puros, es probable que exista una pequeña proporción de arcillas mezclada con la cal.

El árido se constituye fundamentalmente por fragmentos de rocas metamórficas foliadas de formas poco redondeadas, sino más bien de formas elongadas y planares, reflejo de la estructura original de las rocas que las constituyen. Se han identificado fragmentos de equistos, micaesquistos, pizarras y filitas. Muchos de estos fragmentos de rocas contienen elevadas proporciones de minerales opacos (menas metálicas: óxidos de Fe y/o Ti), que confieren al árido y al mortero coloraciones muy oscuras).

Los minerales de Fe son sensibles a alterarse por oxidación, y algunos áridos aparecen en avanzado estado de alteración. Esto, junto a la importante presencia de cloruros, hace posible también la formación de cloruros de Fe, que son también muy solubles y agresivos.

El tamaño de los áridos de este mortero es variable, variando desde tamaño grava (hasta 6-7 mm de diámetro) a arena fina (hasta 0,1 mm). Predominan los tamaños groseros (1,5 a 5 mm): arena gruesa-grava fina.

También se ha identificado como constituyente del árido granos de cuarzo aislados de formas subangulosas y una granulometría dentro de la fracción más fina (en torno a 0,1-0,5 mm de diámetro).

Un rasgo destacable en esta muestra y la siguiente es la importante porosidad que presentan por la pérdida de matriz y la descohesión originada por cristalización y disolución de sales.

La muestra VM-2 al encontrarse muy disgregada no se pudo preparar lámina delgada, pero los resultados de DRX apuntan a que es muy similar a la VM-3, pero más alterada.

VM-3

En líneas generales esta muestra se encuentra en mejor estado de conservación que la anterior, aunque también se encuentra bastante alterada y afectada por los cloruros detectados en DRX y SEM.

Igual que la anterior se trata de un mortero que contiene como aglomerante cal, que en determinadas zonas aparece en forma de nódulos mal carbonatados. Probablemente también contenga algo de material arcilloso fino mezclado que le confiere la coloración oscura a la matriz del mortero.

El árido, al igual que la muestra anterior, es bastante heterogéneo en granulometría y naturaleza. Respecto al tamaño existen desde 7-8 mm de diámetro hasta granos tamaño arena fina (0,1 mm). Las formas de los áridos siguen siendo elongado-planares, condicionadas por la estructura natural de las rocas que lo constituyen.

En esta muestra se identifican los mismos fragmentos de rocas foliadas que en la anterior, siendo más abundantes las pizarras, pero existiendo también filitas y micaesquistos de grano fino.

La mayoría de estos áridos son también muy ricos en minerales ricos en Fe y/o Ti, que hacen que las coloraciones del árido sean muy oscuras, casi negras.

También se observan granos de cuarzo de similar granulometría a la muestra anterior.

III.3.2 Muestras de Tapial del Castillo

Todas las muestras de tapial estudiadas corresponden a la fracción más fina, es decir se incluye en el estudio la matriz o aglomerante y la fracción más fina del árido del tapial. La fracción más grosera de los áridos del tapial no ha sido estudiada, ya que requeriría el estudio de muchas muestras; por su tamaño cada fragmento sería una muestra. Además son identificables a simple vista. Es muy probable que esta se correspondan a los mismos tipos de rocas que aparecen en la fracción más fina aquí estudiada.

VM-6

Esta muestra presenta tanto de forma macroscópica como microscópica una coloración más clara que las muestras anteriores, apareciendo la matriz de color pardo más claro. La proporción en cal de este mortero no es mayor, al contrario, la matriz parece contener más arcilla ya que se observan zonas de birrefringencia más grisácea atribuible a las arcillas.

Sin embargo el contenido en minerales opacos ferruginosos es bastante menor, tanto en la arcilla como en los fragmentos de roca del árido, lo cual le confiere en general un color más claro al material.

El árido también está constituido fundamentalmente de fragmentos de rocas metamórficas foliadas, pero con menores contenidos en óxidos de Fe y/o Ti. Predominan sobre todo fragmentos de micaesquistos y pizarras, ambas ricas en minerales micáceos como moscovita y biotita.

También se observan fragmentos de rocas areniscas o metacuarcitas, que no se habían visto en los morteros de llagas.

Los áridos que se observan en la muestra también aparecen con formas preferentemente elongado-planares y tamaños que oscilan desde grava media (8-10mm) hasta arena fina, predominando los tamaños mayores.

De forma aislada se han observado fragmentos de lamelibranquios (bivalvos) y granos de cuarzo aislados de variados tamaños.

VM-7

El rasgo más significativo de esta muestra es que el porcentaje en árido es mucho más elevado que en el resto de muestras. Se puede estimar de forma visual que su proporción respecto al aglomerante está en torno al 65%.

El aglomerante es bastante rico en cal, pero contienen arcilla mezclada.

La naturaleza del árido, al igual que en muestras anteriores, se constituye de fragmentos de rocas metamórficas foliadas: micaesquistos de grano fino,

pizarras y filitas, que en esta muestra son más ricos en minerales ferruginosos. Predominan los micaesquistos de grano fino.

Al igual que en muestras anteriores también existen granos de cuarzo de granulometrías más finas.

VM-8

Como característica principal que la distingue respecto a la anterior (ambas fueron extraídas de la misma zona) señalar el mayor contenido en material arcilloso y menor en cal. Por tanto se puede establecer que las caras más externas de las construcciones aparecen enriquecidas en cal, y hacia el interior en material arcilloso.

El árido sigue siendo de la misma naturaleza que en la anterior (pizarras, filitas, esquistos), aunque se han visto rocas metamórficas no observadas en otras como son gneises, con mayores tamaño de cristal, muy ricos en biotita. De lo que se observa en esta muestra la granulometría es similar, con algunos fragmentos de rocas muy groseros (> 1cm). La fracción más fina sigue siendo muy similar a los anteriores.

VM-9

Esta muestra se caracteriza por presentar muy elevado contenido en cal y menos arcilla que los anteriores. Además, el árido, a menos en la muestra estudiada, es muy escaso y compuesto exclusivo de granos de cuarzo de pequeño tamaño. Estos datos no concuerdan con los obtenidos en DRX, que apuntan composiciones similares a muestras anteriores. Es posible que la lámina delgada fuera preparada de una zona enriquecida en cal, y poco representativa de la globalidad.

IV. CONCLUSIONES

En base a los resultados se puede establecer que todos los materiales estudiados presentan como material aglomerante cal y material arcilloso en distintas proporciones dependiendo de la procedencia de la muestra.

Los *morteros de llagas* se componen casi exclusivamente de cal, con muy poca arcilla y *áridos* de granulometría bastante grosera constituidos por fragmentos de rocas metamórficas foliadas (filitas, pizarras, esquistos), procedentes de yacimientos próximos, ya que son constituyentes de la geología local. Es probable que sean áridos de río, aunque también podrían proceder de playa. Se han encontrado, asociados a estos morteros, elevados contenidos de cloruros.

Los materiales de las *murallas del Castillo* son bastante más ricos en arcilla, aunque en todas las muestras estudiadas aparecen mezclados con cal en distintas proporciones dependiendo de las zonas.

Se ha observado cierto enriquecimiento en cal hacia la cara externa de los muros en muestras extraídas de una misma zona. Otra diferencia que existe entre las distintas muestras de las murallas del castillo es la *proporción en*

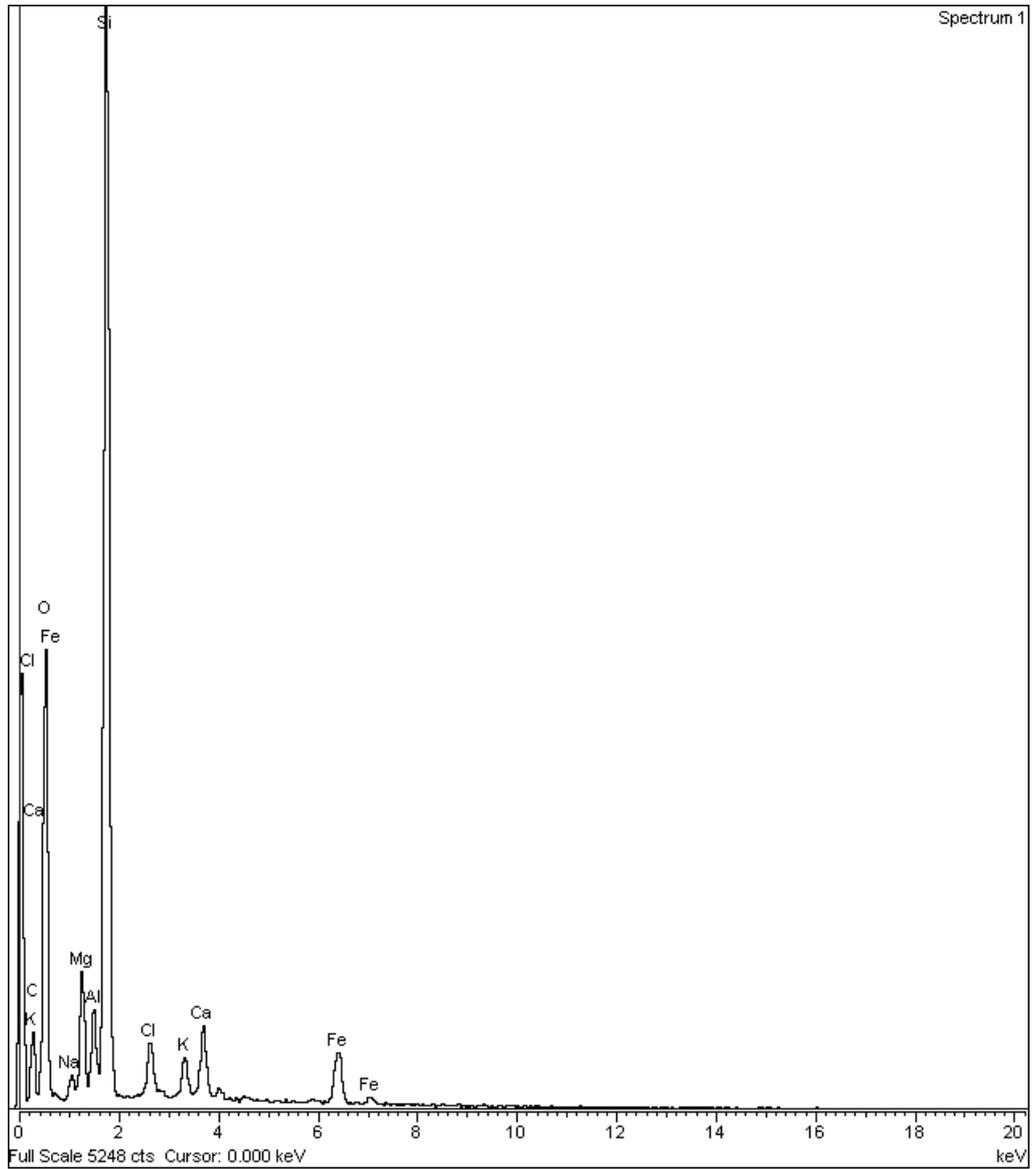
árido, estando en algunas muestras en proporciones muy elevadas. La naturaleza del *árido* es similar a la de los morteros de llagas, aunque con ciertas diferencias en la mineralogía que indica un yacimiento de origen distinto.

Es probable que para la construcción de los muros se abastecieran de yacimientos de arcillas locales que contuvieran estos fragmentos de rocas y posteriormente se le adicionara cal en distintas proporciones dependiendo de los requerimientos constructivos en cada zona.

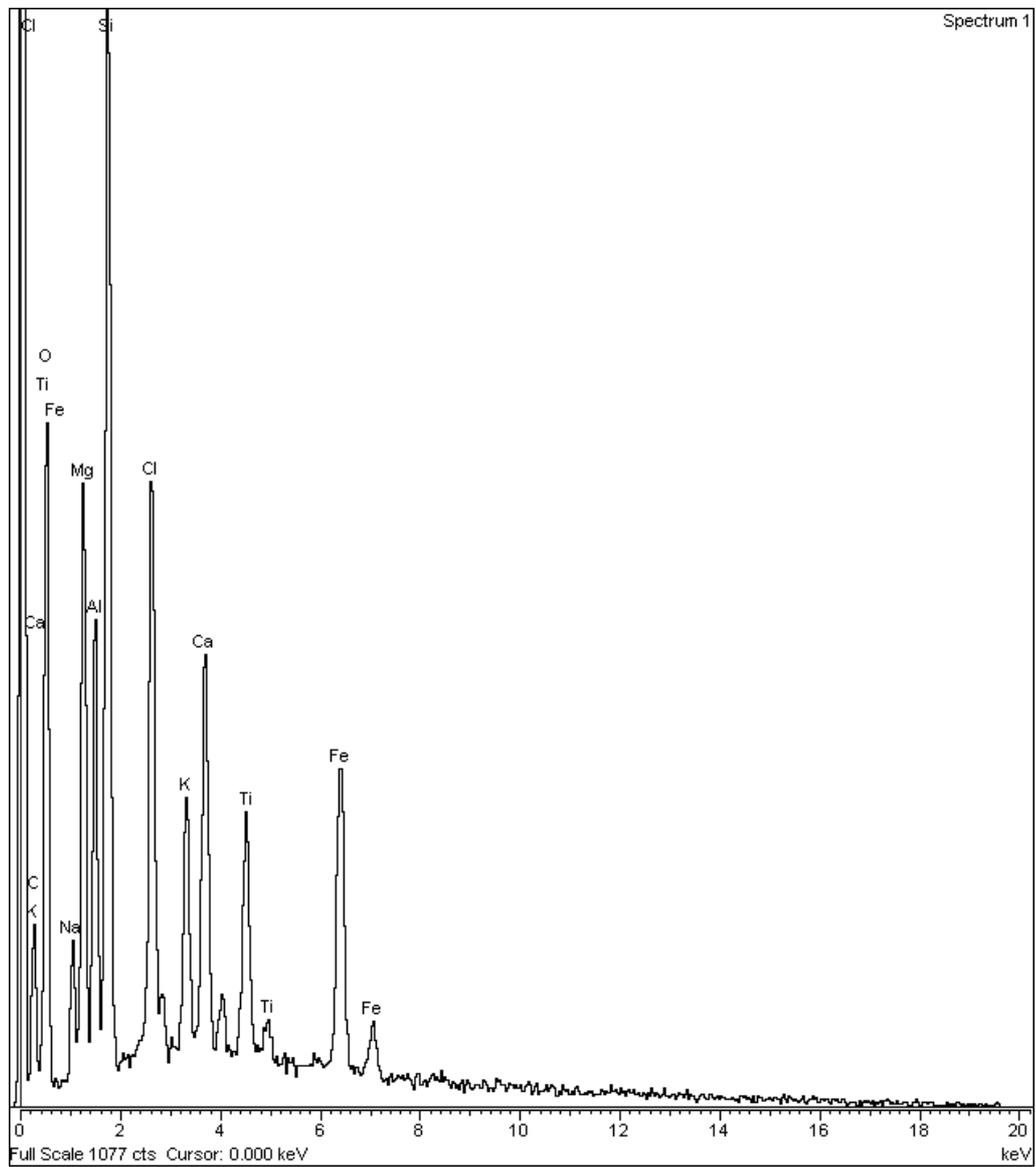
Por último resaltar que el hecho de la presencia de cloruros en tan elevadas proporciones, especialmente en los morteros de llagas, se puede considerar uno de los principales factores de degradación con el que se han encontrado estos materiales.

Sería recomendable, antes de aplicar nuevos materiales y dentro de lo posible, buscar la forma de disminuir la afección de estos cloruros a los nuevos materiales. Y por supuesto, se debe evitar utilizar materiales que puedan contener este tipo de sales, u otras sales solubles, bien en el *árido* o en el aglomerante.

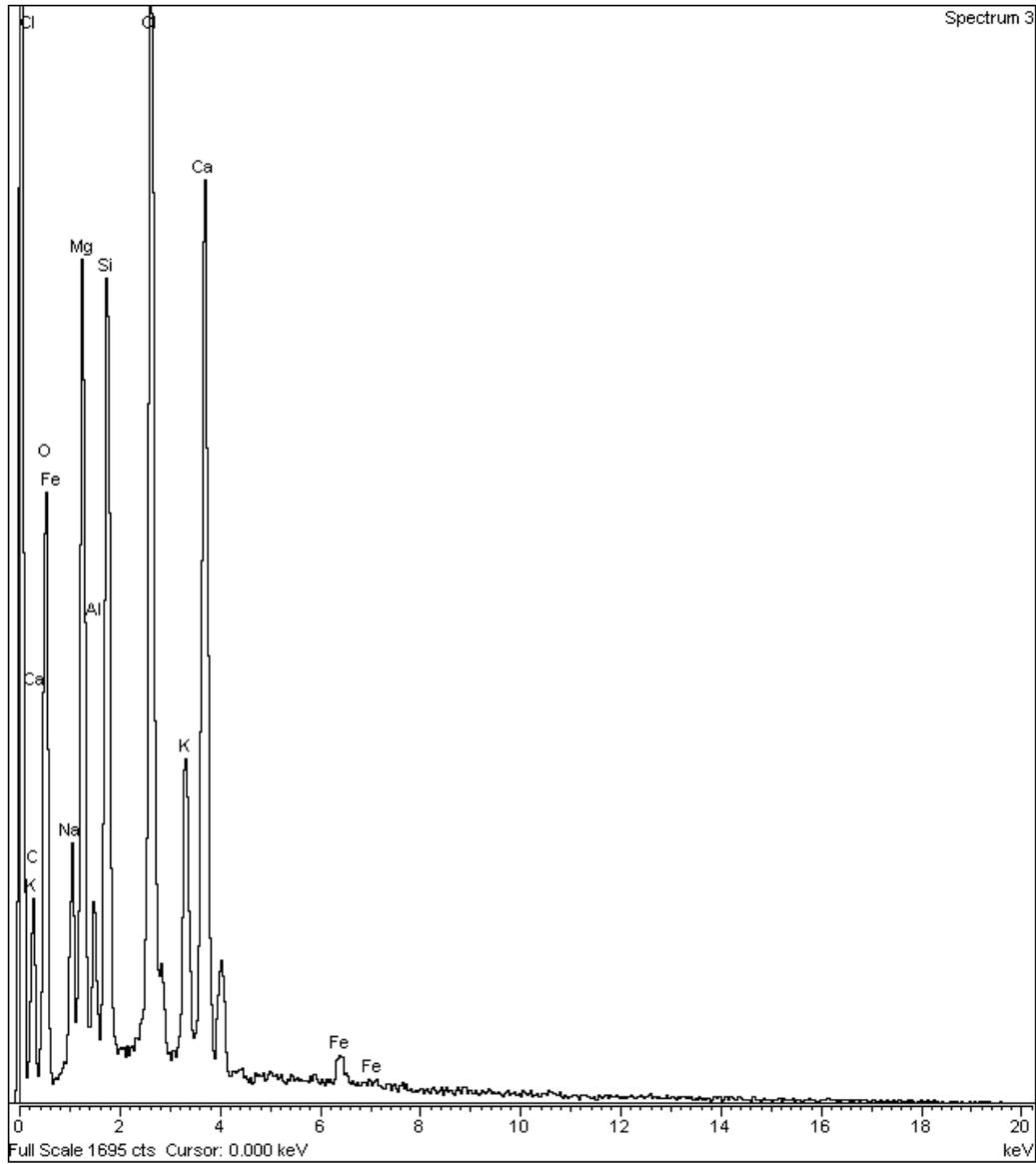
ANEXO I: Espectros y Microfotografías Microscopia Electrónica de Barrido (SEM-EDX)



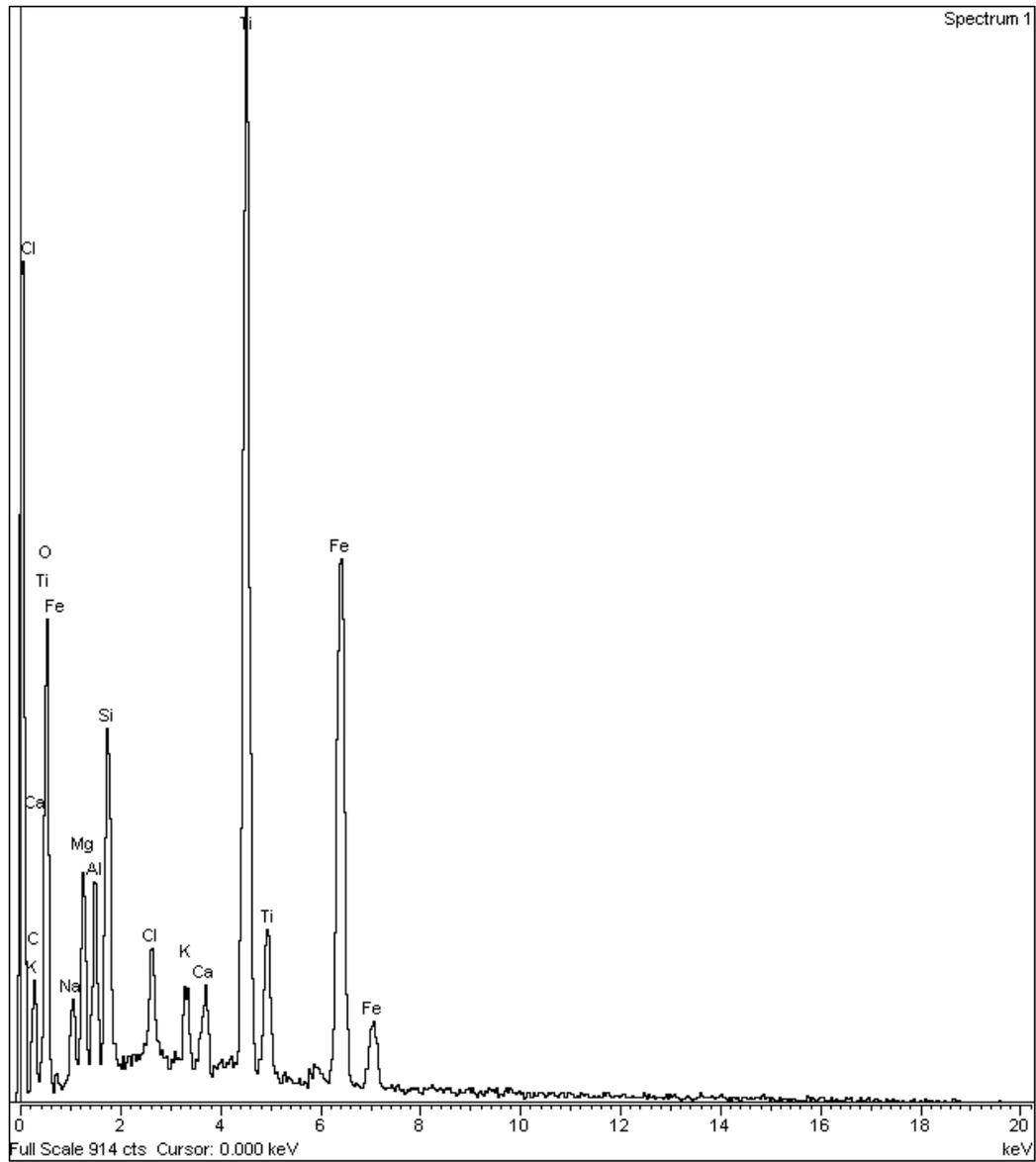
VM-1: Espectro de análisis global en una zona que no es muy rica en cloruros



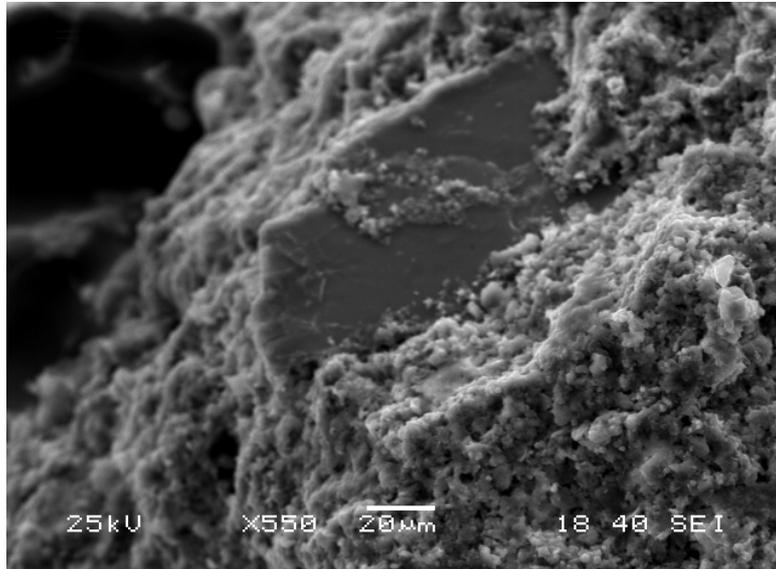
VM-1: Espectro de análisis global en una zona rica en cloruros y áridos ricos en minerales opacos ferruginosos y titaníferos.



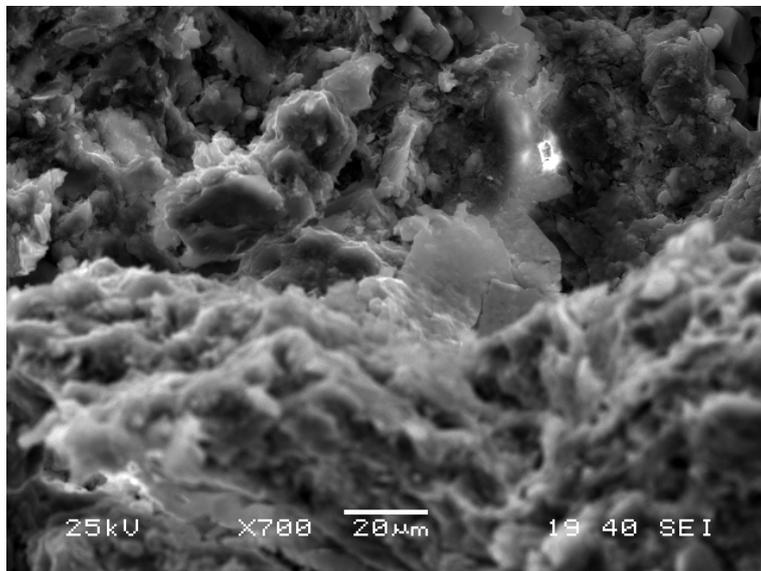
VM-1: Espectro de análisis puntual en una zona costrosa de cloruros. Al ser de fino espesor aparecen elementos químicos del resto de componentes.



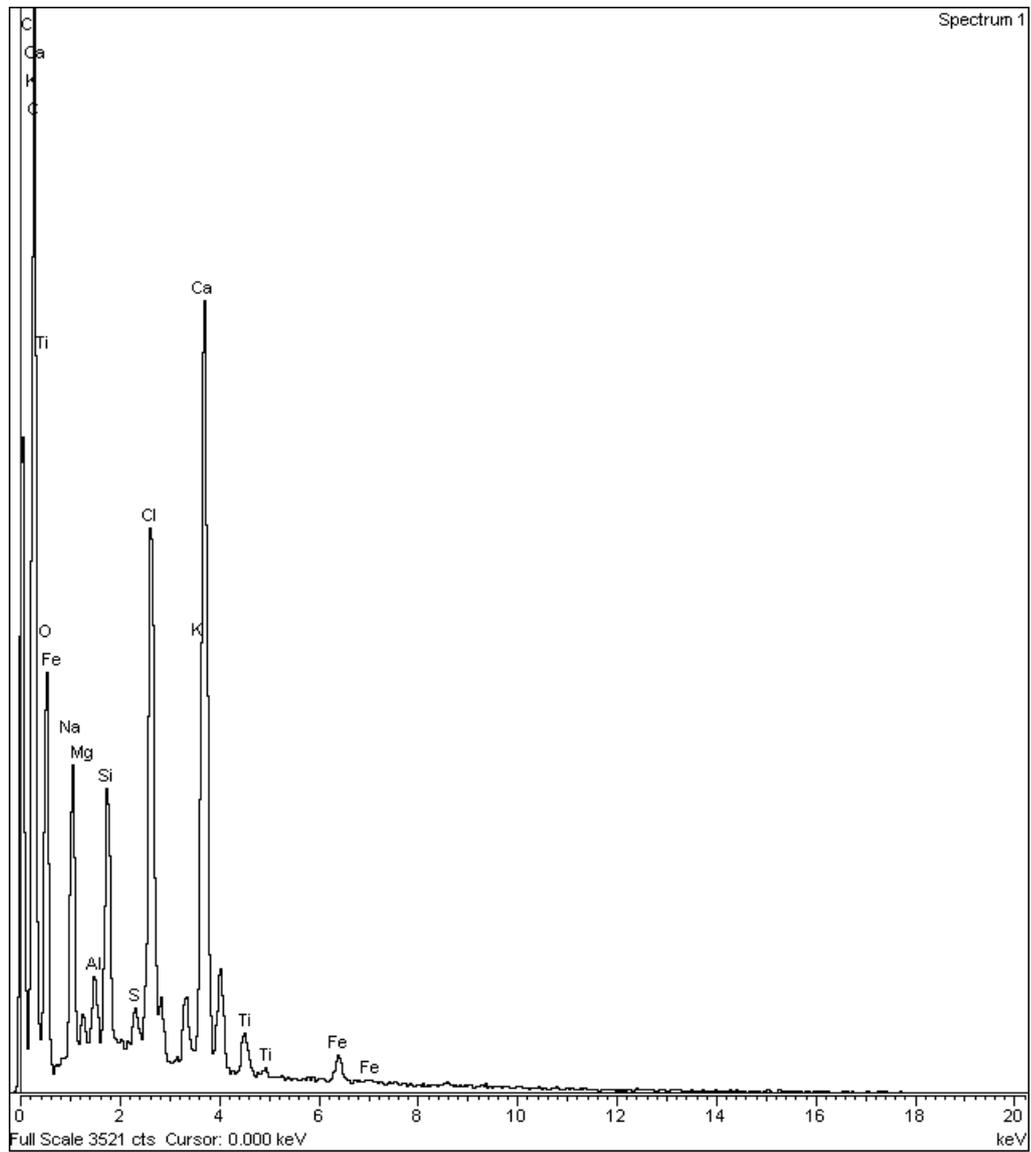
VM-1: Espectro de análisis puntual en un árido de roca metamórfica muy rico en Fe y Ti.



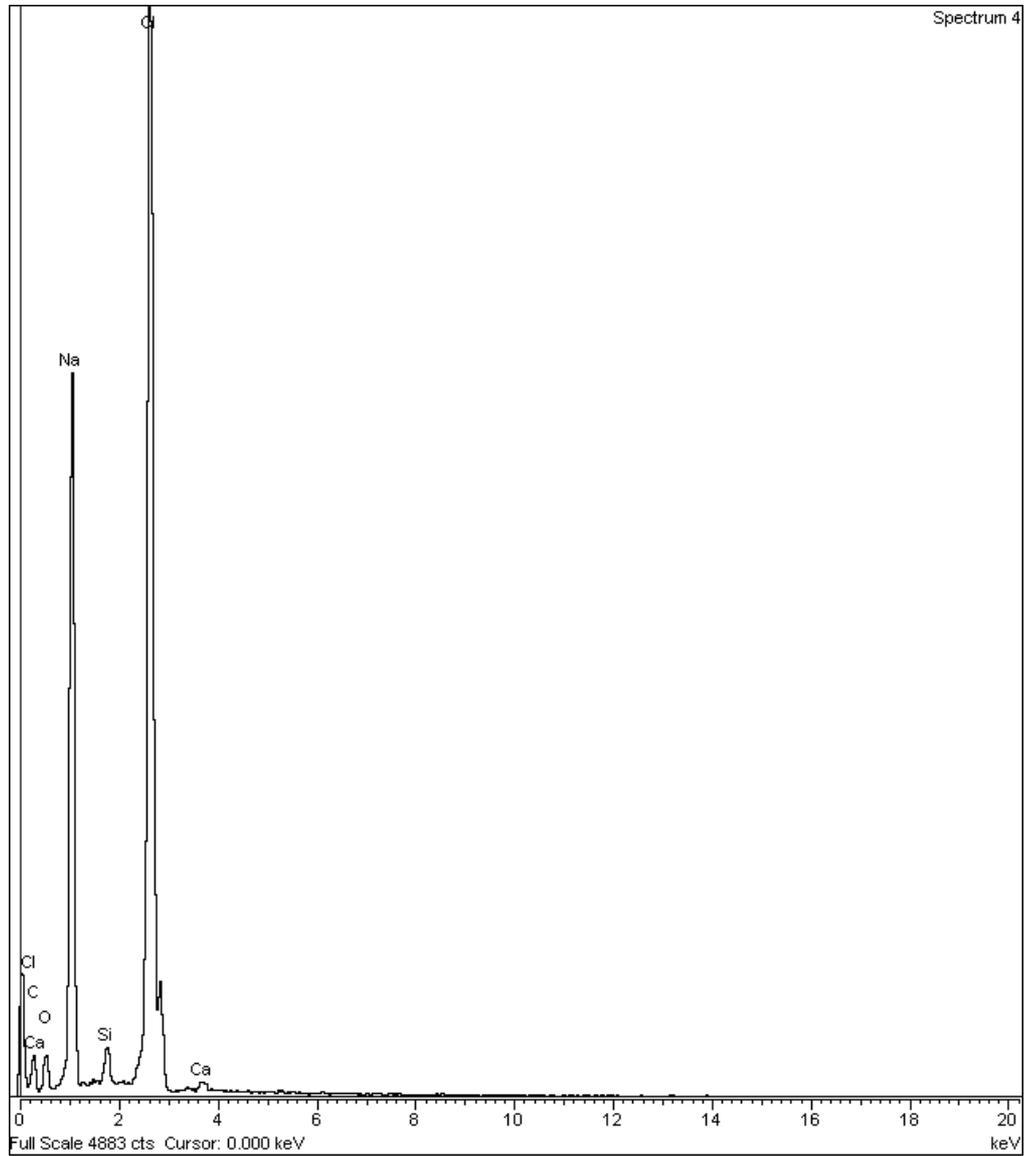
VM-1: Aspecto microtextura del mortero. Árido fragmento de roca.



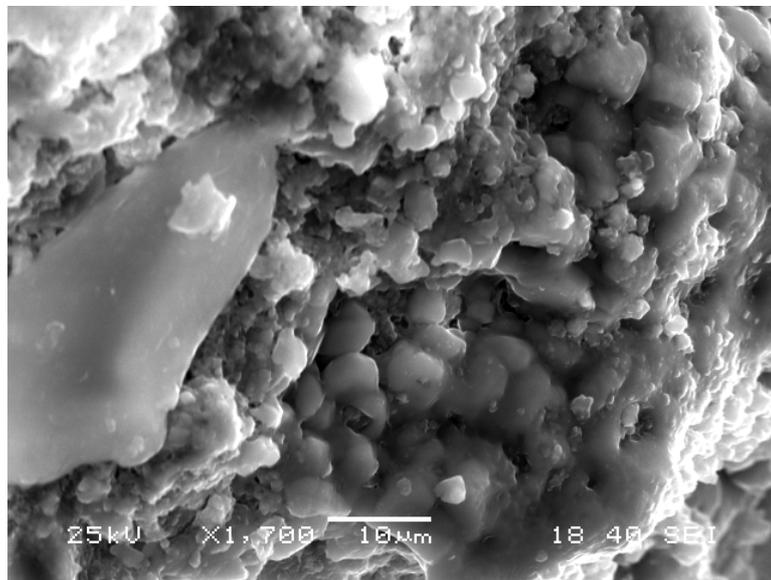
VM-1: Aspecto de una zona muy rica en cloruros de aspecto costroso.



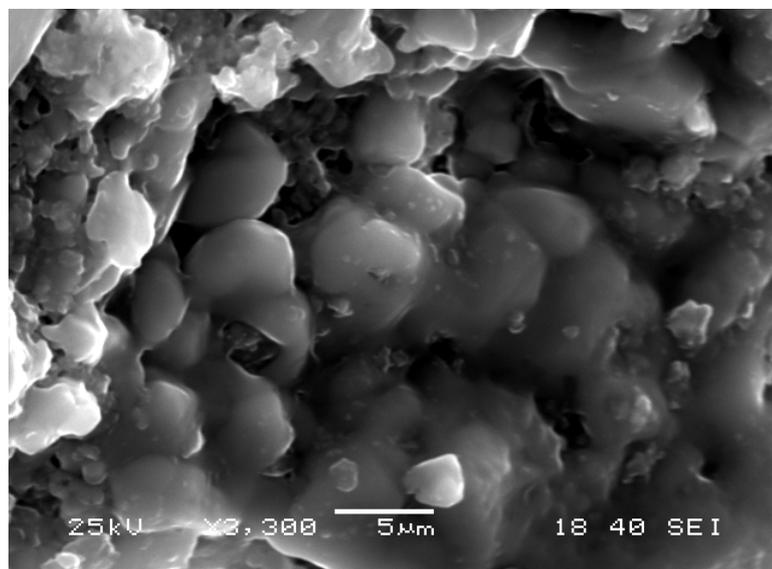
VM-3: Espectro global de una zona en la que aparecen los compuestos del mortero. Se observa el elevado contenido en cloro.



VM-3: Análisis químico puntual de una zona rica en cristales de halita (cloruro sódico) bien desarrollados.



VM-3: Zona rica en cristales de cloruros desarrollados en los poros del mortero

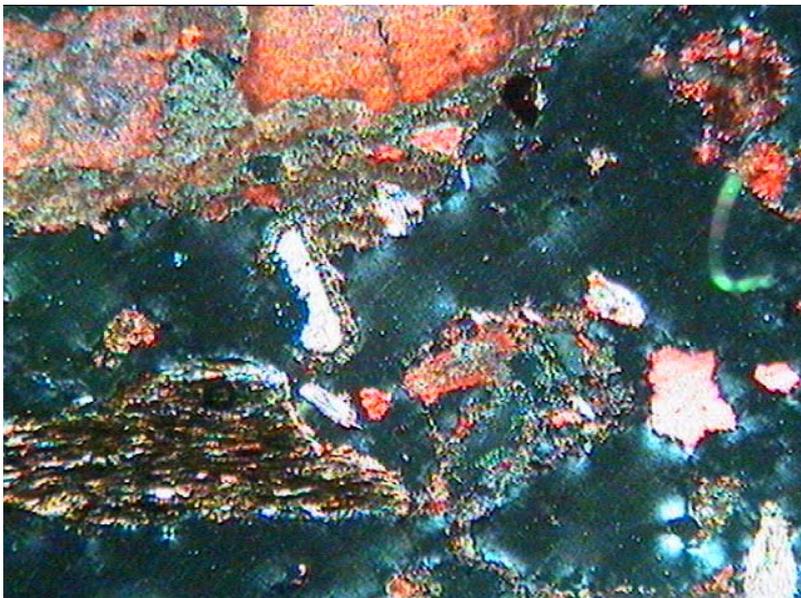


VM-3: Detalle de la anterior dónde se observan los cristales de halita, de hábito cúbico, con aristas disueltas

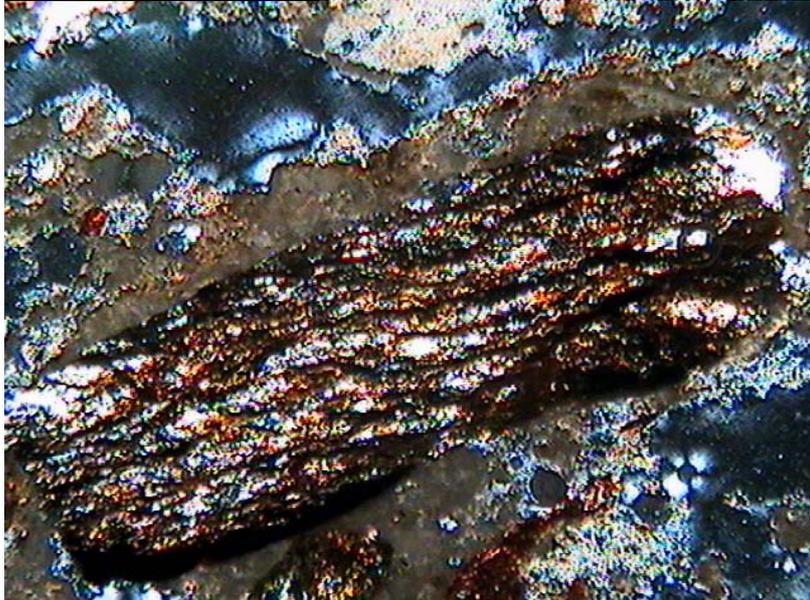
ANEXO II: Microfotografías Microscopia Óptica de Polarización



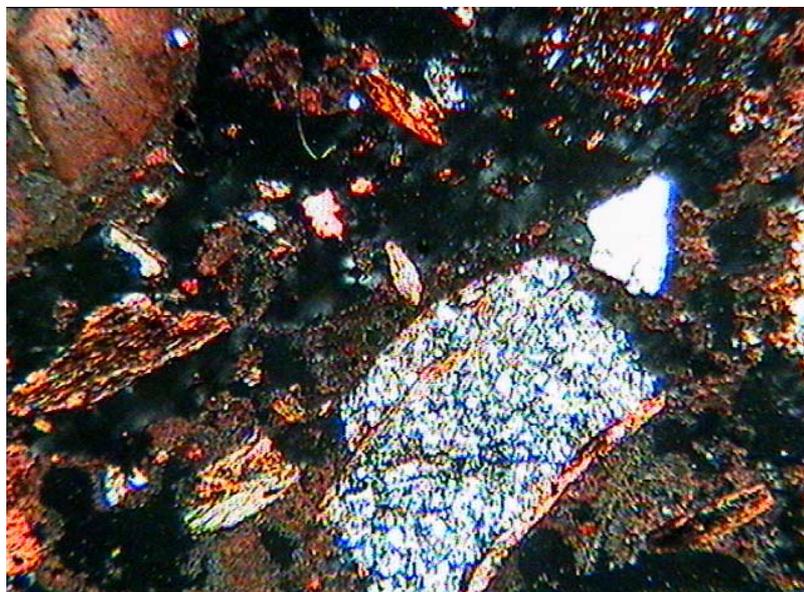
VM-1: Aspecto con nícoles paralelos. Cloruros en poros de mortero. 10x



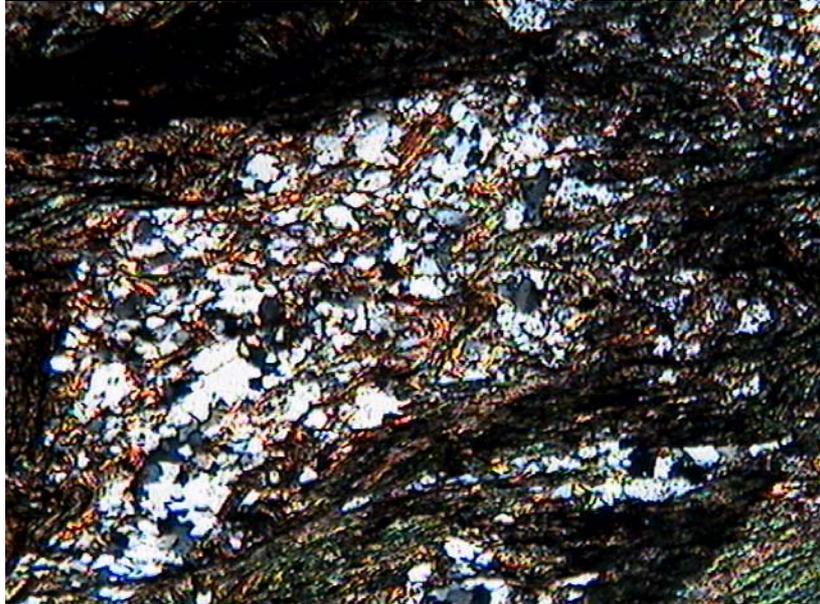
VM-1: aspecto global nícoles cruzados. Se observa la elevada porosidad. 5x



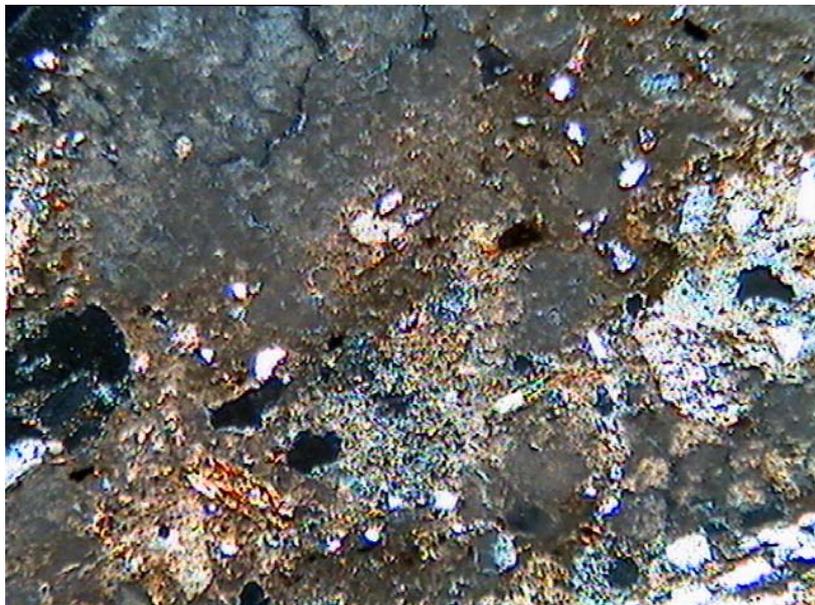
VM-1: Detalle árido de mortero. Fragmento de filita rico en minerales ferruginosos. 5x



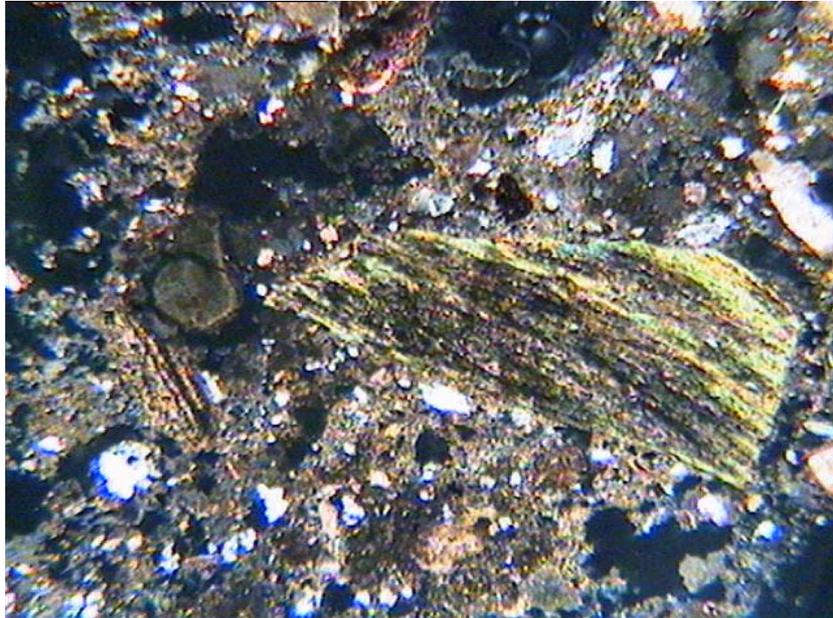
VM-1: Aspecto global del mortero dónde se observa la diversidad de áridos. 2,5x



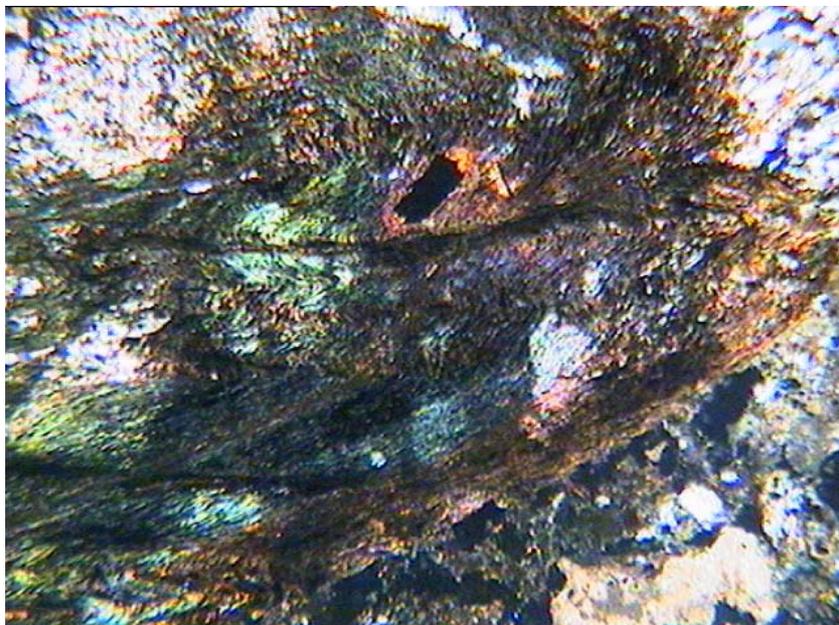
VM-3: Aspecto de un fragmento de micaesquisto del árido del mortero. 5x



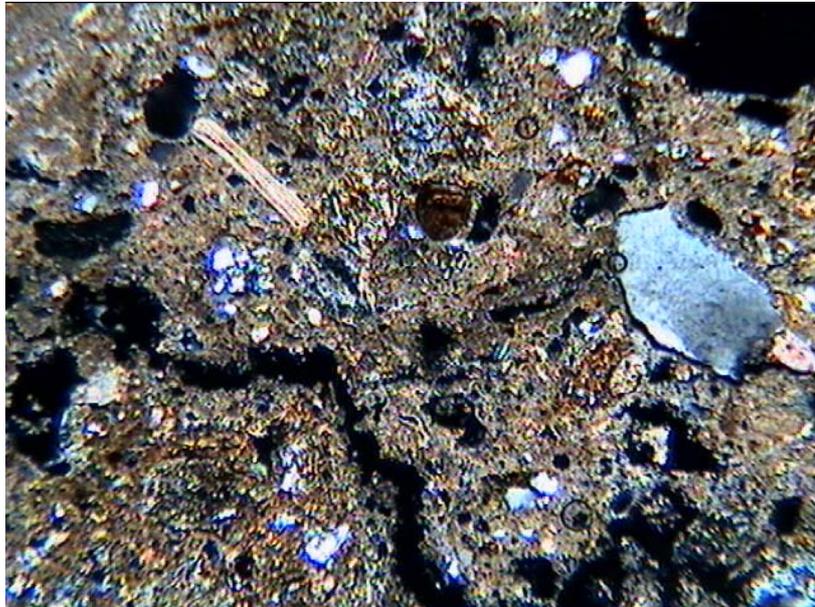
VM-3: Aspecto de la matriz del mortero rica en cal. 2,5x



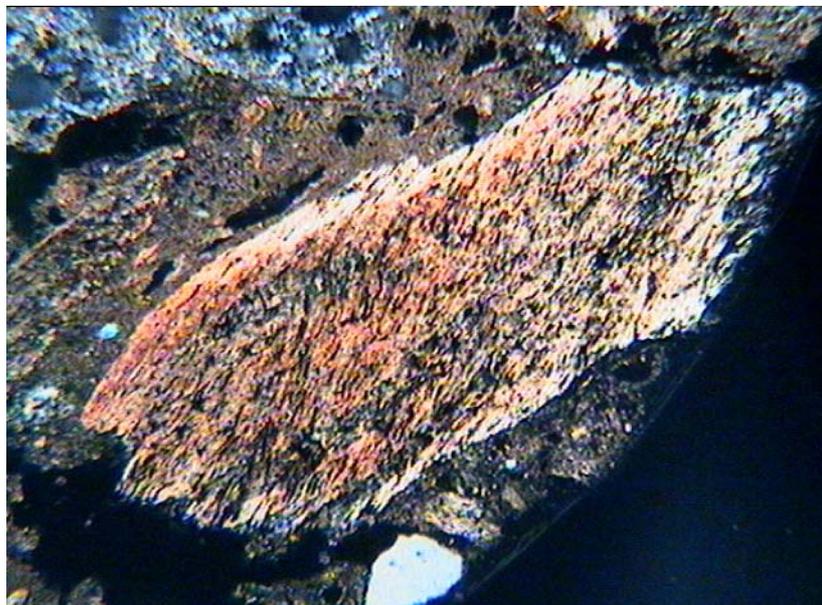
VM-3: Detalle de un árido del mortero de pizarra. 2,5x



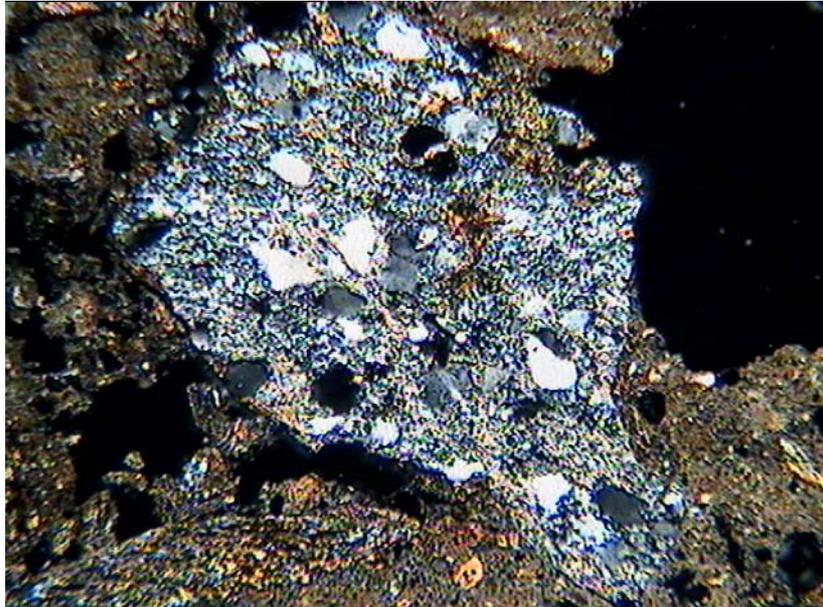
VM-3: Aspecto de otro árido de gran tamaño también de pizarra. 2,5x



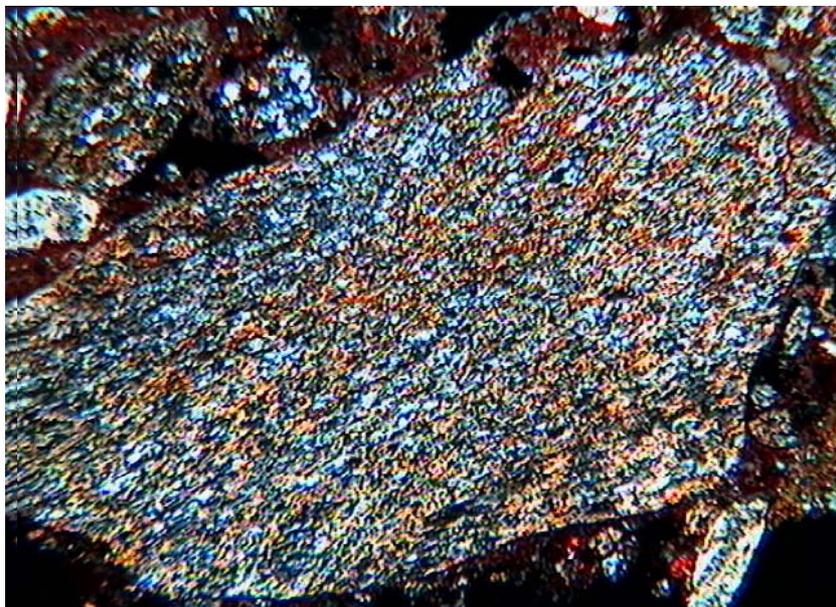
VM-6: Aspecto de la matriz del mortero de coloración clara y áridos de pequeño tamaño. 2,5x



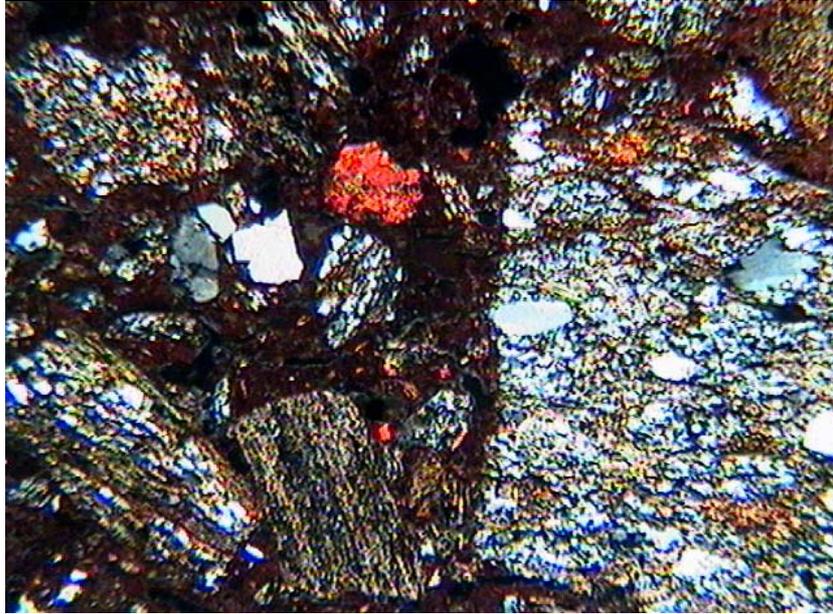
VM-6: Aspecto de uno de los áridos del mortero correspondiente a una pizarra rica en micas. 2,5x



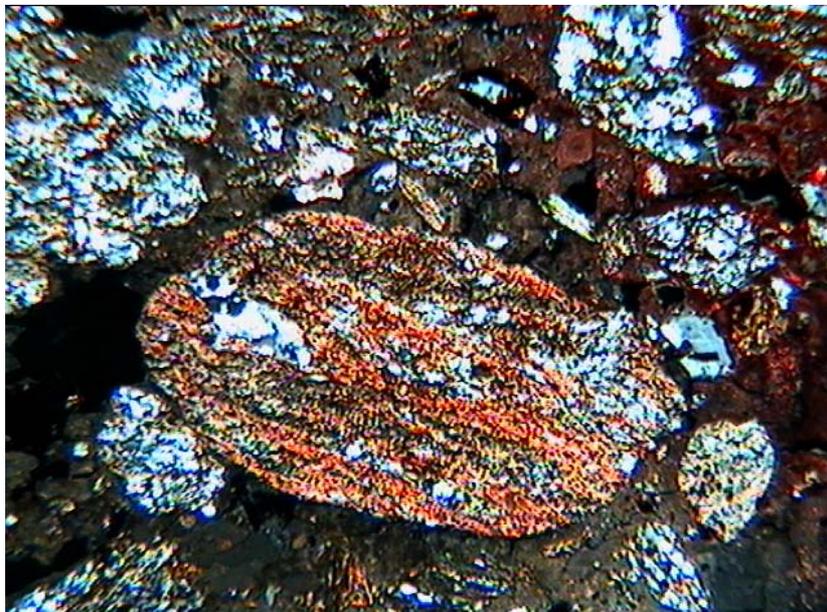
VM-6: Aspecto de un árido de arenisca. 2,5x



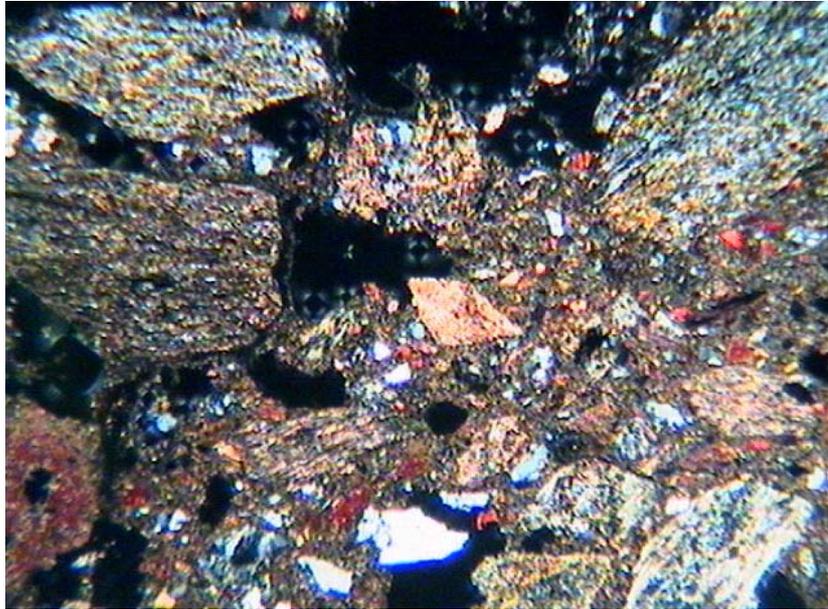
VM-6: Aspecto de un árido de micaesquisto de grano fino. 2,5x



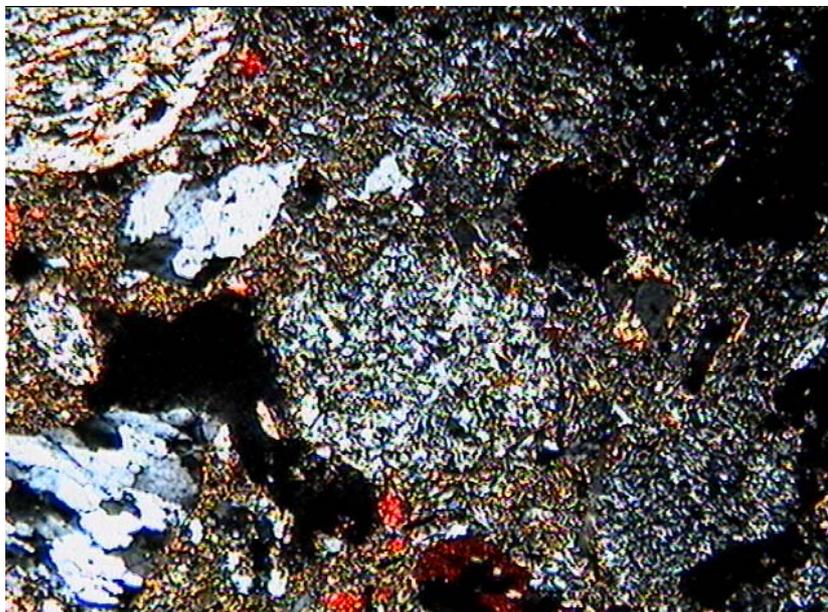
VM-7: Aspecto del mortero dónde se observa la abundancia de árido. 2,5x



VM-7: Aspecto de un árido de micaesquisto. Matriz más arcillosa 2,5x



VM-8. Aspecto global. Gran abundancia de árido. 2,5x



VM-8. Aspecto de matriz bastante arcillosa. 2,5x

EQUIPO TÉCNICO:

Estudio Petrográfico

Jesús Espinosa Gaitán

Geólogo.

Empresa Pública de Gestión de Programas Culturales

Sevilla, 12 de Febrero de 2004

Vº Bº JEFE DEL CENTRO DE INTERVENCIÓN
EN EL PATRIMONIO HISTÓRICO



Lorenzo Pérez del Campo