

**Análisis de los factores ambientales,  
de los litotipos y productos de  
alteración en el Cementerio Monumetal  
de Staglieno (Génova).**

**Universidad de Zaragoza, Trabajo fin de  
grado Geología**

**Autor:** Adrián Yus González

**Directora:** Laura Gaggero

**Codirectores:** Josep Gisbert Aguilar y Simona  
Scrivano

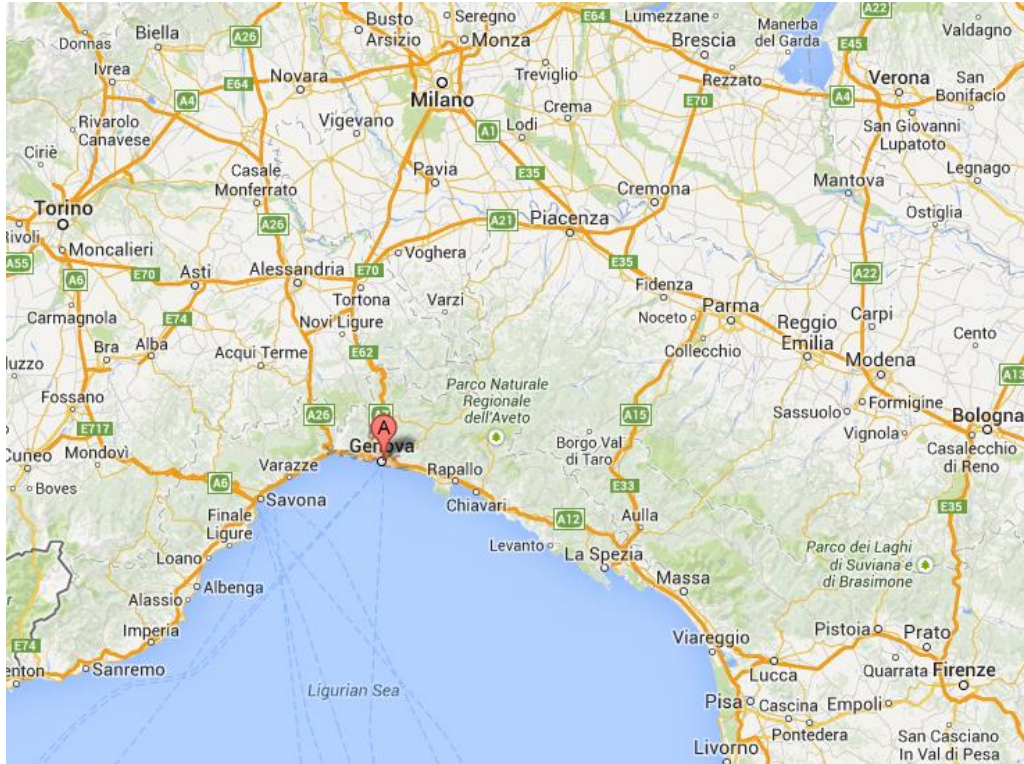
**Fecha de entrega:** 02/12/2013

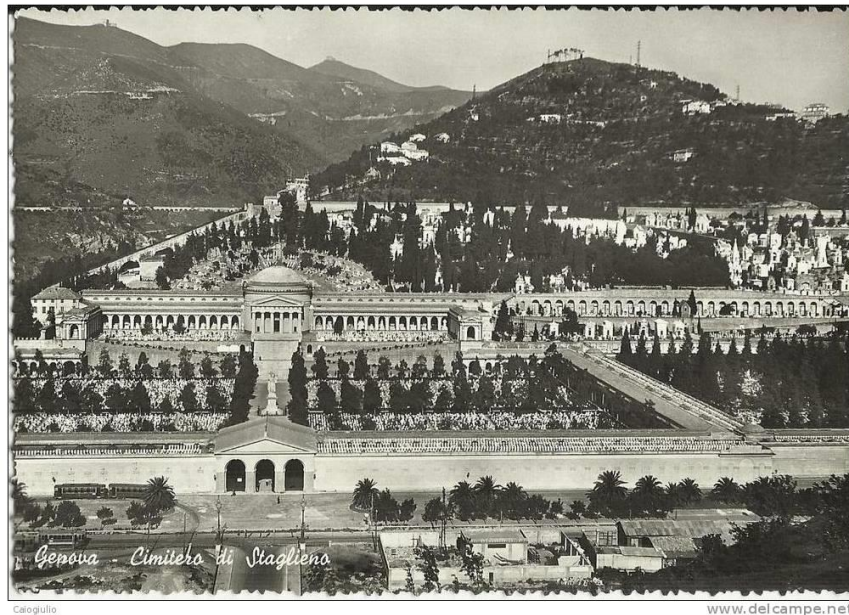
## Índice

1. Abstract .....	3
2. Planteamiento .....	4
3. Objetivos .....	4
4. Metodología.....	5
5. Antecedentes, procesos de alteración de las rocas .....	6
5.1. Factores de la alteración .....	7
6. Contexto geológico y ambiental .....	8
6.1. Análisis de los factores geológicos.....	8
6.2. Análisis de los factores hidrogeológicos.....	9
6.3. Análisis de los factores meteorológicos.....	10
6.4. Análisis de los factores biológicos .....	12
6.5. Análisis de los factores del entorno.....	12
7. Análisis constructivo.....	13
7.1. Estudio del sitio.....	13
7.2. Génesis, petrografía, composición química y propiedades físico-mecánicas del Verde Polcévera.....	16
8. Estudio de las formas de alteración .....	19
9. Estudio de la alteración mediante SEM- EDS y XRPD .....	25
9.1. Descripción de las ocurrencias .....	26
9.2. Discusión del SEM-EDS y XRPD .....	28
10. Discusión general.....	30
11. Conclusions .....	32
12. Anexos .....	33
Anexo I .....	33
Anexo II .....	35
Anexo III.....	37
Anexo IV.....	37
Anexo V.....	47
Anexo VI.....	49
13. Bibliografía .....	49

## 1. Abstract

The object studied in this work is situated in a place of high importance within the ambit of the cultural heritage of Genoa and Italy, the Staglieno Monumental Cemetery (Figure 1). The Staglieno Monumental Cemetery is the largest cemetery of Genoa , inaugurated on 1 February 1851, following the inclusion of the city to the Napoleonic Empire , is considered one of the largest and most important monumental cemeteries in Europe ( Landi 2008). With its 330,000 m<sup>2</sup> extention, it is located in the area between Cadariva and Gavette , along the SS45 road, in the part of the town known as Municipio IV -Genoa Media Val Bisagno - in the neighborhood of Staglieno . In particular, it is studied the Pontasso Gallery , a structure of the second half of the nineteenth century consisting of 25 arches, around 150 meters length. This structure is affected by a high degree of moisture, so that it is interesting to study the different intensity of weathering of ornamental stone materials that constitute it. The lithotypes analyzed in detail are the opicalcite Verde Polcevera, a serpentinite breccia and veins of sparry calcite. The study of the gallery was performed by petrographic analysis, in the scales macro, meso and micro . It has been realized a weathering map, the samples selected have a low physical impact for slabs, and the alteration products were analyzed by SEM-EDS and XRPD.





**Figura 1.** Arriba: mapa geográfico con la situación de Génova. Abajo: Cementerio Monumental de Staglieno a inicios del siglo XX (en la parte derecha de la foto se puede observar la Galería Pontasso).

## 2. Planteamiento

Este estudio se plantea como Trabajo Fin de Grado en Geología de la Universidad de Zaragoza. El trabajo se ha realizado en Génova (Italia) durante mi periodo de Erasmus en el curso académico 2012/13, como continuación del estudio realizado por las estudiantes de restauración Simona Scrivano y Raffaella Landi en el Cementerio de Staglieno. Es un trabajo dirigido en el momento inicial por Laura Gaggero (profesora asociada de la Universidad de estudios de Génova, en el departamento petrografía y petrología) y la propia Simona Scrivano (estudiante de primer año de doctorado en la Universidad de estudios de Génova), pensado para defenderlo en Génova. En un segundo momento, debido a la respuesta negativa por parte de la propia Universidad de Génova a la realización de la defensa, el trabajo ha sido terminado para su defensa en la Universidad de Zaragoza bajo la tutela de Josep Gisbert Aguilar.

## 3. Objetivos

El objetivo de este trabajo es documentar y explicar los diferentes tipos de alteración en las lastras de la oficalcita Verde Polcévera presentes en la Galería Pontasso tras un periodo de exposición de unos 110 años, a escala macroscópica y mesoscópica mediante la

realización de una cartografía alterológica y microscópica mediante SEM-EDS. Se quiere explicar esta alteración como consecuencia de la interacción del Verde Polcévera, de acuerdo a sus características composicionales y texturales, con la diferente incidencia e intensidad de las condiciones ambientales (humedad, contaminación, exposición solar, temperatura, precipitaciones...) en base a la situación de las lastras dentro de la misma galería. Además se analiza el contexto constructivo de la misma.

#### 4. Metodología

Para obtener una mayor información del lugar se ha realizado un estudio multi-escala con el objetivo de poder analizar los diferentes factores de alteración presentes e individualizar a que nivel intervienen.

En la primera fase de este estudio se ha consultado bibliografía acerca de los diferentes mecanismos de alteración y documentación sea escrita como fotográfica, perteneciente a la historia de la galería.

En una segunda fase se ha analizado el entorno de la galería y sus condiciones ambientales, a través de la cartografía técnica regional y datos de estaciones meteorológicas cercanas a la zona.

En la tercera fase, se han realizado varias campañas de campo para primero analizar el contexto constructivo de la galería y segundo obtener información a escala **macroscópica** de la estructura en cuestión, individuando la distribución de los litotipos presentes en los arcos de la misma y tomando muestras en uno de ellos (Verde Polcévera) para analizar su composición mineralógica mediante XRPD, completando la información de una lámina delgada realizada. A su vez se ha observado la exposición solar en relación a la vegetación arbórea presente delante de la galería. Posteriormente se ha analizado el gradiente de meteorización, en el conjunto de la galería se ha diferenciado la zona central de las laterales, mientras que en el interior de los arcos se ha diferenciado la zona baja de la alta. Con esta información se ha realizado una cartografía alterológica. Para cuantificar la alteración superficial se ha utilizado una técnica inspirada en la prueba de adhesión por arranque (Elcometer), para cuantificar la desagregación superficial de las lastras. En la cuarta fase, en base al modelo de la cartografía realizada se han seleccionado las lastras del Verde Polcévera dónde tomar micromuestras de bajo impacto físico para analizar mediante SEM-EDS, realizando un estudio a la escala **microscópica** para observar a esta escala cómo afectan los procesos de alteración, observando además la posible presencia de

contaminantes atmosféricos, colonización microbiológica y otros productos debido a la actuación antrópica sobre las lastras. Además se han analizado mediante XRPD algunos productos de alteración. En la quinta fase se han analizado todos los datos obtenidos y redactado las conclusiones a la vista de la bibliografía técnica consultada.

Los detalles técnicos y las condiciones de medida de las difractometrías y del SEM-EDS se encuentran en el apartado de Anexos.

Para nombrar las lastras se ha seguido la siguiente metodología:

***Arco\_número de nicho(año)***

Para nombrar las muestras tomadas para el SEM-EDS:

***Arco\_altura de la muestra(zona geográfica de la galería)***

Las alturas van de 1 a 7 en correspondencia con los 7 niveles de lastras que hay por arco, 1 es el nivel más bajo y 7 el más alto. Las zonas geográficas de la galería se clasifican como: W zona oeste, CW zona entre central y oeste, C zona central, CE zona entre central y este, E zona este.

## **5. Antecedentes, procesos de alteración de las rocas**

Del punto de vista mineralógico-petrográfico las rocas son materiales extremadamente amplios y complejos, y es precisamente esta complejidad la que se refleja en su respuesta a los agentes naturales y antrópicos de meteorización. Sin embargo, en el ámbito de estudio y conservación de bienes culturales es esencial entender todos estos factores y variables.

Es importante definir la diferencia entre alteración y meteorización, términos utilizados de manera diferente por algunos autores, en el trabajo se utilizan las definiciones de Ordaz y Esbert (1988). Según ellos la alteración es un término general referido a la modificación o cambio en la composición química o mineralógica de un material pétreo, producido por los agentes meteóricos. Mientras que la meteorización está incluida dentro de la alteración y se refiere al conjunto de procesos químicos, físicos y biológicos naturales conducentes a la disgregación mecánica y descomposición química, generalmente a largo plazo, de los materiales rocosos expuestos a los efectos de la intemperie.

En el caso de construcciones y monumentos, esta problemática se debe estudiar a todas las escalas para poder modelizar adecuadamente unos procesos complejos. A escala microscópica obtenemos información sobre la estabilidad mineral y la cinética-termodinámica de los procesos de alteración-disolución. A escalas mayores obtenemos

datos sobre el origen de los flujos hídricos, su composición química y los condicionantes de la estructura constructiva del edificio en los procesos de deterioro.

### **5.1. Factores de la alteración**

Los factores de la alteración de las rocas pueden clasificarse sustancialmente en dos grupos, que interactúan recíprocamente: factores intrínsecos y factores extrínsecos.

#### Factores intrínsecos

Son aquellos debidos a la naturaleza del litotipo, es decir debidos al tipo de material (roca, cerámica, etc.), a sus componentes mineralógicos y texturales, a sus propiedades (físicas, fisicoquímicas,) y a la tecnología de producción y elaboración (localización de la mina, técnica de extracción, stress del material, etc.).

#### Factores extrínsecos

Son aquellos referidos a la interacción de los agentes externos sobre la roca, que generalmente se pueden dividir en los relacionados con las condiciones ambientales de su entorno y los relacionados al uso del material. Por condiciones ambientales se entiende en general las características generales del clima, y en particular la distribución e intensidad de sus parámetros principales (temperatura, humedad relativa, pH, viento, precipitaciones atmosféricas y composición, concentración y reactividad de contaminantes gaseosos y aerosoles) y características microclimáticas (orientación y localización de la construcción respecto a los factores macroclimáticos, morfología de la superficie y tipo de reactividad de las precipitaciones atmosféricas). Estas condiciones microclimáticas son la clave para entender los diferentes estados de alteración del mismo material en diferentes contextos incluso pertenecientes a la misma construcción (Stavros et al. 2006).

De gran importancia es la meteorización causada por la humedad, dado que el agua actúa como vehículo para mecanismos de meteorización, sean químicos que físicos. El agua tanto en forma líquida como gaseosa (humedad) en contacto con las rocas puede interaccionar por un lado como catalizador de reacciones químicas entre la roca y los agentes contaminantes y como agente oxidante; por el otro favorece la penetración de sales y contaminantes a través de la porosidad de la roca sea por contacto directo que por capilaridad. Además de producir fenómenos de stress por ciclos hielo/deshielo ante temperaturas bajo 0°C. También es relevante el stress producido por la expansión/contracción térmica y expansión diferencial debido a la amplitud térmica diaria. Otro factor importante relacionado es la exposición solar, contra mayor exposición más ciclos

humectación/secado se producen, aumentando considerablemente la velocidad de meteorización por precipitación de sales (Chabas et al. 2006).

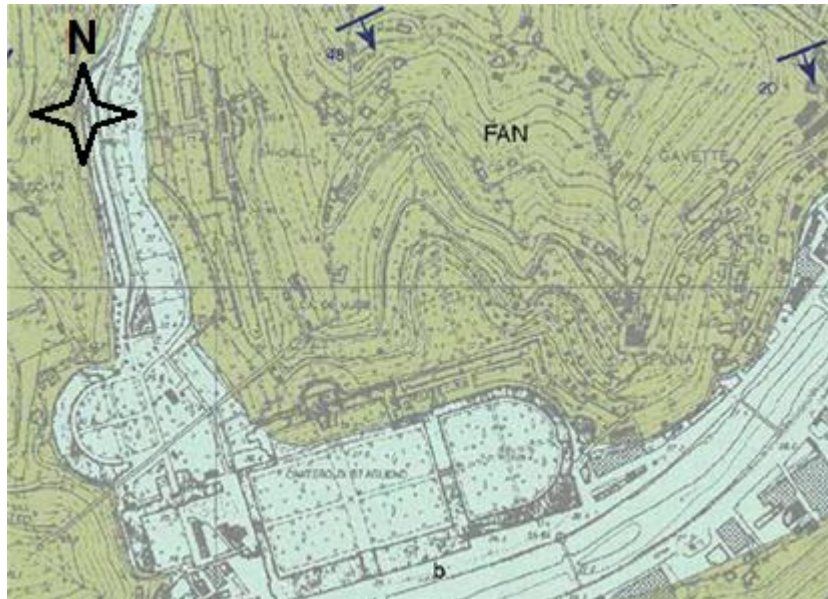
## **6. Contexto geológico y ambiental**

A continuación se estudian las características geológicas, hidrogeológicas, meteorológicas, biológicas y de entorno; el objetivo es extraer información de la incidencia del territorio (afloramientos rocosos y retículo hidrográfico), evaluando también la acción de los agentes atmosféricos y la presencia de vegetación delante de la galería.

### **6.1. Análisis de los factores geológicos**

El substrato sobre el que se apoya el área del Cementerio de Staglieno son depósitos aluviales horizontales recientes en la parte S, están compuestos por conglomerados y arena con intercalaciones de lentejones conglomeráticos, que constituyen la llanura de inundación del río Bisagno (figura 2). En la base de estos depósitos se encuentran materiales carbonáticos margosos fracturados con intercalaciones de arcilla y arenisca (Fm. Antola, 90-55 m.a.), se trata de materiales muy plegados con presencia de *drag folds*, cuya dirección preferente es 65° N y buzamiento hacia S (A.R.P.A.L. 2013). Mientras que la galería está construida sobre un aterrazamiento artificial, en el segundo de los tres niveles que lo forman a unos 10m de altura sobre los materiales de la llanura de inundación. Estos aterrazamientos están realizados con materiales detríticos de relleno, sostenidos con un muro de contención realizado en hormigón para el primer y segundo nivel, mientras que para el tercero es la propia galería que actúa como muro de contención.



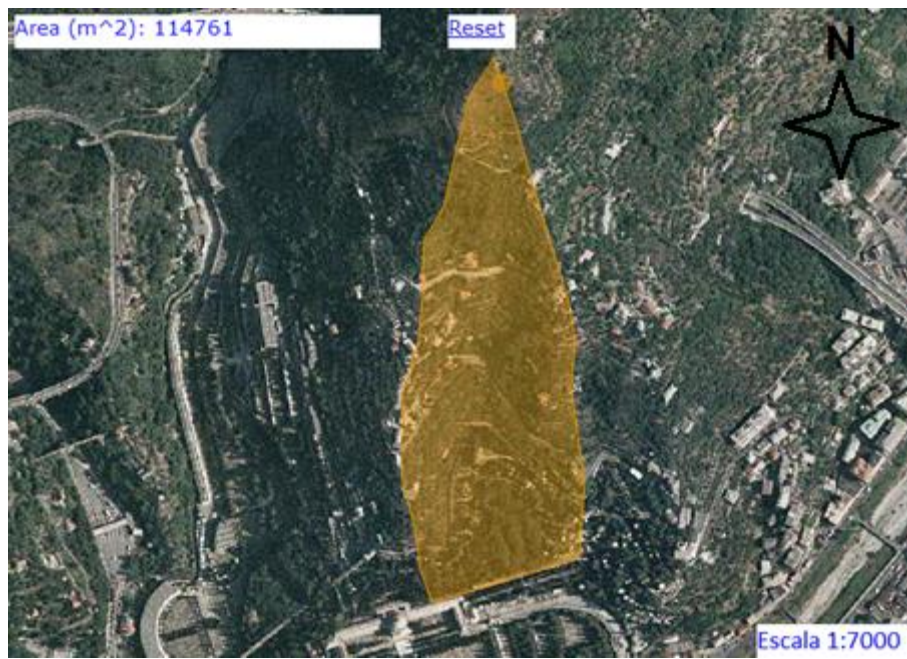


**Figura 2.** Mapa geológico de la zona de Staglieno 1:7000 (A.R.P.A.L.). En verde Fm. Antola, en azul depósitos aluviales cuaternarios (Landi 2008).

## 6.2. Análisis de los factores hidrogeológicos

El cementerio presenta un retículo hidrográfico articulado por dos torrentes efímeros, el Veilino y el Pontasso (en este último se encuentra nuestra área de estudio), que desembocan en el margen derecho del río Bisagno. La galería está localizada sobre materiales detríticos de relleno y depósitos aluviales sedimentados sobre la Fm. Antola.

La galería está construida de manera que atraviesa la parte final del torrente Pontasso, que desciende hacia el sur por la ladera este de las colinas de Righi (Fm. Antola) y muere en el margen derecho del río Bisagno, es decir atraviesa el centro de la zona de descarga de las aguas de infiltración del barranco del torrente Pontasso. Este barranco supone una cuenca hidrológica de casi 115.000 m<sup>2</sup> (figura 3); si consideramos que la media de precipitación anual es de 1273,1mm/año (A.R.P.A.L.), que la evapotranspiración eficaz es de 475mm/año (Tommaselli et al. 2009) y que la infiltración en relación a la pendiente (23% en el barranco Pontasso) es media-alta, se hipotiza un dato muy aproximativo de entorno a 6000 m<sup>3</sup>/año de agua que drena el barranco. No existe monitorización de los niveles piezométricos en la zona (Di Ceglia 2013), pero se interpreta atendiendo a la situación de la galería en el barranco, a la topografía de la zona y a que se encuentra a unos 20m de altura de la zona de descarga (Río Bisagno), que el aporte de agua del barranco Pontasso hace subir el nivel piezométrico en la zona central de la galería, aumentando la humedad.

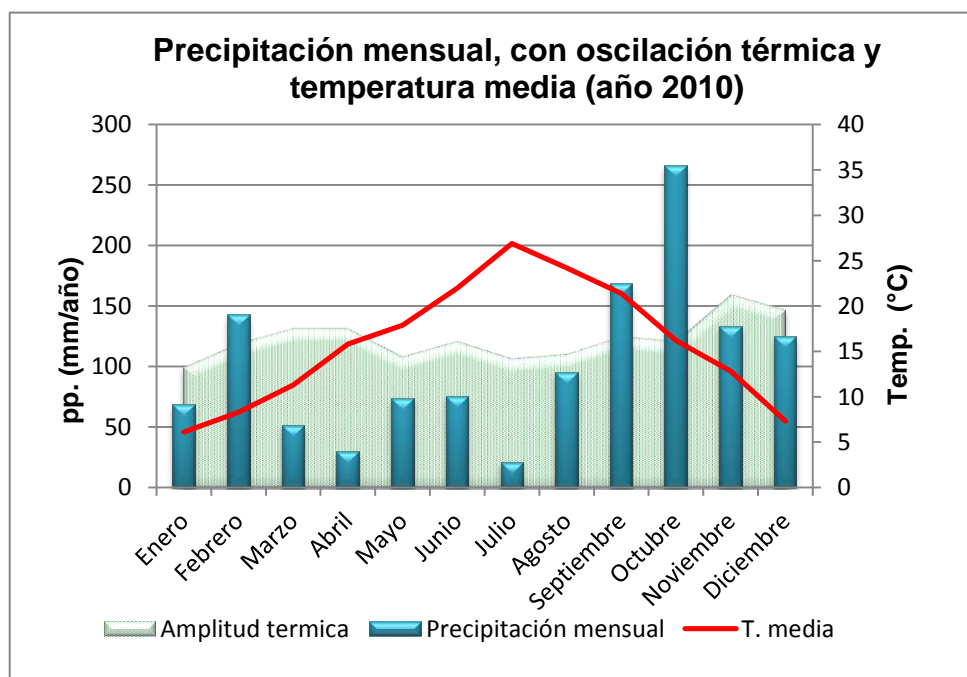
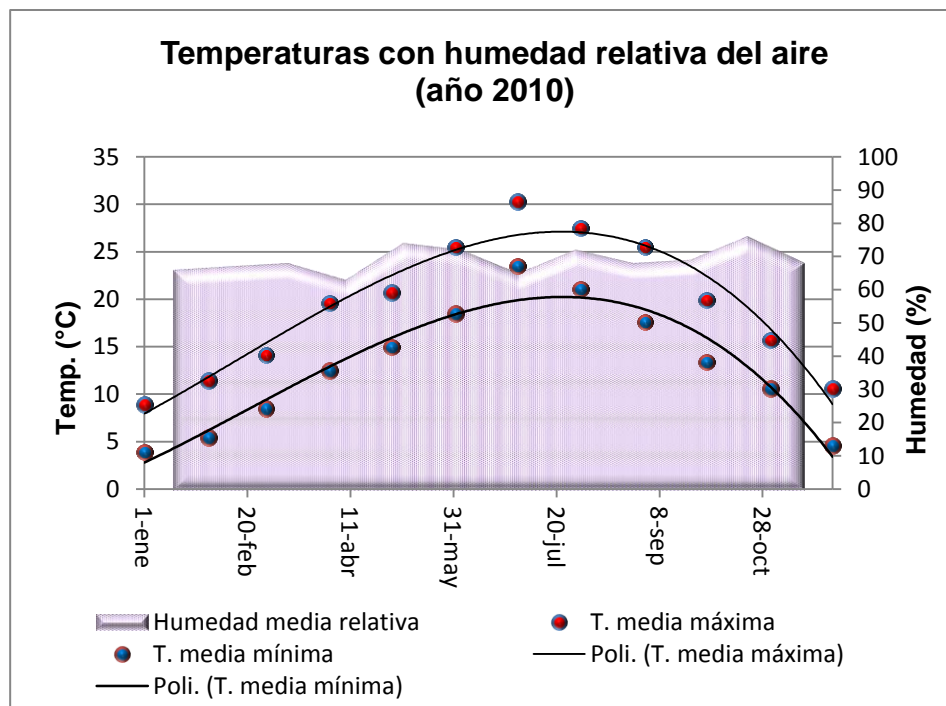


**Figura 3.** Área perteneciente al barranco del torrente Pontasso.

### 6.3. Análisis de los factores meteorológicos

Los datos meteorológicos obtenidos para los últimos 60 años (Anexo Ia) evidencian que el lugar de estudio pertenece a un clima Mediterráneo, con temperaturas medias anuales de 15,8°C. Se han contrastado estos datos con los que pone a disposición A.R.P.A.L. (Agenzia Regionale per la protezione dell'ambiente Ligure) en una estación meteorológica próxima al Cementerio de Staglieno para los últimos 10 años (Anexo Ib). Pudiendo establecer como representativo en cuanto a la media de los valores meteorológicos el año 2010.

Observando los datos obtenidos a partir de A.R.P.A.L. para el año 2010 (figura 4), la media de las temperaturas mínimas durante los meses de diciembre, enero y febrero es 6,1°C, siendo inferiores a 0°C poco habitual; mientras que las medias máximas diarias en los meses de julio y agosto alcanzan los 28,9°C, con una amplitud térmica diaria mayor en invierno superando los 20°C. Las precipitaciones son elevadas con una media de 1273,1 mm/año, concentrándose en los meses de otoño e invierno. Los niveles medios de humedad relativa del aire son superiores al 65% durante todo el año.



**Figura 4.** Gráficos obtenidos a partir de los datos meteorológicos disponibles en el sitio web de A.R.P.A.L. para el año 2010 (Anexo Ib).

#### 6.4. Análisis de los factores biológicos

Los factores biológicos a nivel macroscópico tienen incidencias muy limitadas en las lastras en cuanto a procesos de deterioro, apareciendo aisladamente algunos crecimientos de plantas de pequeño tamaño en los bordes de las lastras, con raíces poco penetrantes y débiles. Los factores microbiológicos se han estudiado en apartados posteriores mediante SEM-EDS.

#### 6.5. Análisis de los factores del entorno

Otro factor ambiental a tener en cuenta es el relacionado con la vegetación arbórea, constituida por pinos que crecen en toda la parte frontal de la Galería Pontasso (figura 5). Estos pinos son unos cinco metros más altos que la galería, se encuentran plantados formando dos filas a unos 3 metros de la misma limitando el paso de la luz del sol. Esto ha contribuido a aumentar la humedad general en la zona de la galería (al reducir la exposición solar), además dependiendo del desarrollo de los pinos existen zonas más expuestas que otras a la luz solar. Esto se ha presentado en la figura 8 (esquema izda.), en el que se observa como la parte más expuesta de la galería corresponde al arco 13, ya que en su parte frontal no hay ningún árbol sino un pequeño mausoleo.

Estas son las condiciones que podemos observar a día de hoy, es importante saber cómo era el desarrollo arbóreo desde la construcción de la galería en la segunda mitad del siglo XIX. Analizando fotos históricas del sitio sabemos que a comienzos del siglo XX delante de la galería todavía no existía ningún tipo de vegetación, fue entorno a 1950 cuando se iniciaron a plantar los pinos. Esta información está extraída analizando diferentes fotos históricas y entre ellas la correspondientes a la figura 1, en la que se ven unos tranvías pertenecientes a la línea Génova Val Bisagno-Prato inaugurada en 1897, pero los tranvías presentes comenzaron a usarse en 1950 (Pampolini 2006). De modo que podemos afirmar que el aumento de las condiciones de humedad y de la diferente intensidad de la exposición solar debido a la vegetación arbórea tiene una verdadera incidencia en los últimos 60 años.



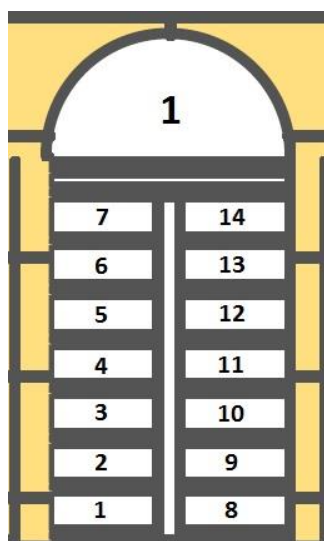
**Figura 5.** Foto de la Galería Pontasso tomada mediante fotografía aérea el 20/09/2007. Se puede observar el crecimiento arbóreo en su parte frontal.



## 7. Análisis constructivo

### 7.1. Estudio del sitio

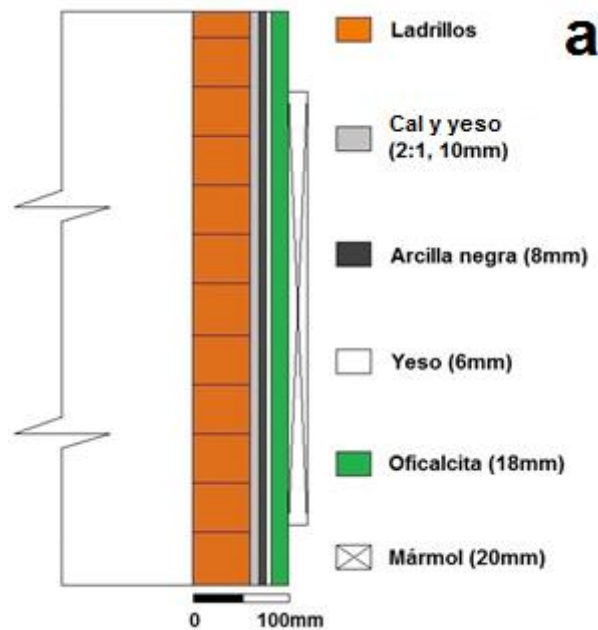
El objeto de estudio de este trabajo como ya se ha comentado es la Galería Pontasso, una estructura situada en el ala E del cuerpo central del Cementerio Monumental de Staglieno, construida en la segunda mitad del siglo XIX con una longitud de 145m y una orientación de la línea de alargamiento 067N, de forma que sus fachadas miran al SSE. La galería actúa como muro de contención para el terraplen artificial del barranco Pontasso, consta de 25 arcos constituidos a su vez por 14 nichos cada uno (figura 6), con un total de 350 nichos. Éstos están cubiertos con oficalcitas de la variedad Verde Polcévera y Rosso Levanto, además del Rosso Ammonitico (origen sedimentario), siendo el primero en mayor presencia y por lo tanto material sobre el que se estudia la meteorización en este trabajo al ser más representativo. Se trata de un material típicamente usado como roca ornamental en la Liguria (Cimmino et al. 2003).



**Figura 6.** Esquema del arco 1 de la galería en el que se observa el orden de numeración de las lastras, además de la clasificación por alturas 1,2,3,4,5,6 y 7.

Las lastras se encuentran atornilladas y pegadas con morteros, desde la parte interna hacia la parte externa se han encontrado (figura 7b y 7c): pared de ladrillos, mortero de cal y yeso (2 partes de árido homométrico de 0.6mm y una de yeso), capa de arcilla negra, mortero de yeso sin árido procesado industrialmente (sin impurezas), lastra de

oficalcita y placa de mármol blanco. Este perfil está esquematizado a partir de observaciones directas realizadas por el autor en la galería (figura 7a).

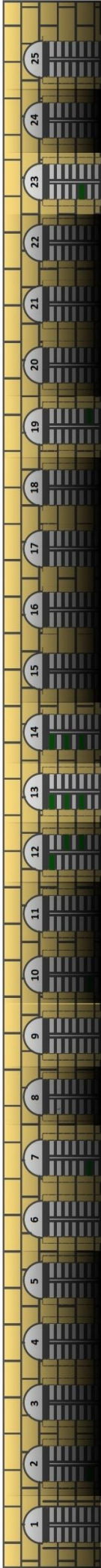


**Figura 7.** a) Perfil con los morteros utilizados detrás de las lastras. b) Pared de ladrillos con restos de un revoco superficial formado por mortero de cal y yeso (9\_125(/)). c) Hueco en la lastra de oficalcita 7\_97(1907) en el que se observa el mortero de cal y yeso que cubre los ladrillos, la capa de arcilla y el mortero de yeso detrás de la oficalcita.

Se han elaborado esquemas conceptuales de la Galería Pontasso tomando como modelo los realizados por Scrivano (2011), como base a fases posteriores del estudio (figura 8).

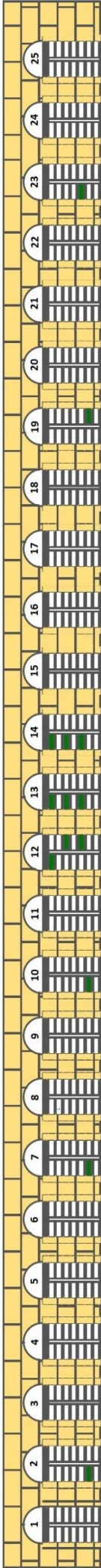
W

E



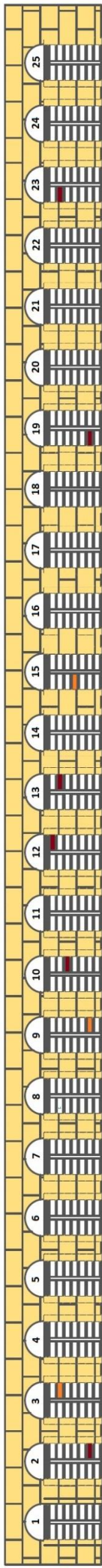
W

E



W

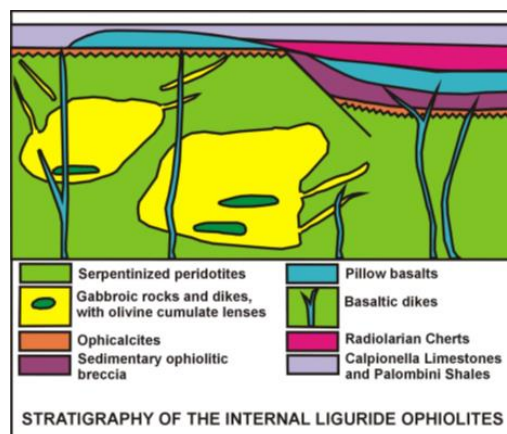
E



**Figura 8.** Esquema derecho, materiales presentes en la galería: Verde Polcevera (blanco), Rosso Levante (rojo) y Rosso Ammonitico (naranja). Esquema central, localización de las muestras obtenidas en el Verde Polcévera para analizar en el SEM-EDS. Esquema izquierdo, exposición solar en relación a la vegetación arbórea presente delante de la galería: se clasifica en baja, media y alta.

## 7.2. Génesis, petrografía, composición química y propiedades físico-mecánicas del Verde Polcévera

La oficalcita Verde Polcévera es una roca metabásica que se encuentra dentro de la secuencia ofiolítica *Ligure di Interne*, en el grupo Volti y Sestri-Voltaggio (Allasinaz et al., 1971) en la parte superior de las peridotitas serpentinizadas que forman la base de la secuencia volcánica (figura 9), sin incluirse en la secuencia volcánico-sedimentaria inmediatamente superior, a la que pertenece el Rosso Levante. Se trata de una brecha tectónica derivada de las peridotitas serpentinizadas (roca ultrabásica) sometidas a intensa fracturación y procesos hidrotermales debido a la actividad asociada a la apertura de la dorsal oceánica relacionada a las primeras fases de apertura del Tetis Alpino en fases previas al Jurásico Superior), pero sin aflorar en el fondo oceánico del Tetis Alpino, a diferencia del Rosso Levante. De modo que de una originaria lherzolita serpentinizada con filones de gabro se pasa a una oficalcita muy fracturada en la que parte de la serpentina es sustituida por calcita espática en el proceso hidrotérmal rellenando las fracturas en forma de venas. Si después de este proceso hubo un exceso de sílice, ésta pudo precipitar junto al Mg para formar talco en las fracturas más tardías. Finalmente con la evolución del Ciclo Alpino la secuencia ofiolítica es replegada, compuesta por diferentes unidades tectónicas sobrepuestas unas sobre las otras debido a importantes cabalgamientos a causa del cierre del Tetis Alpino en el Mioceno (Allasinaz et al., 1971). Esta actividad tectónica produce metamorfismo de baja temperatura, haciendo que la oficalcita pase a ser una roca metabásica.



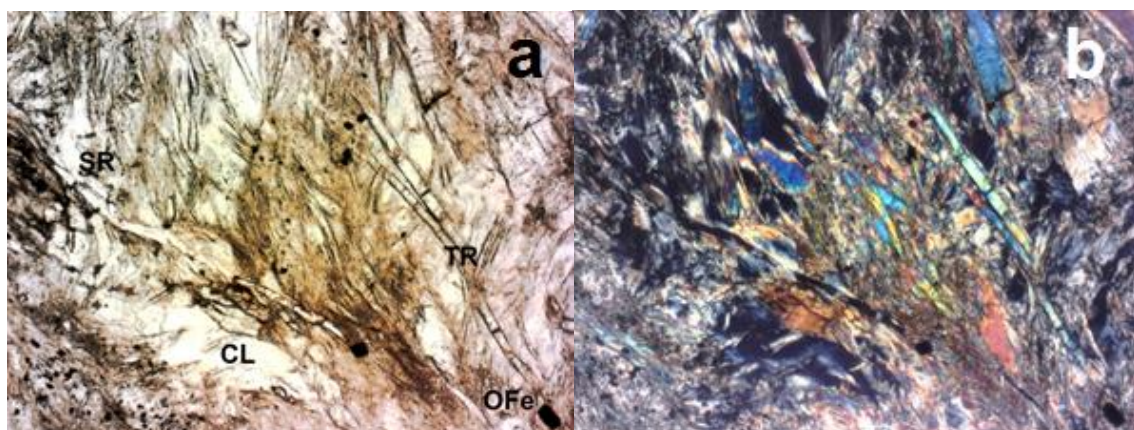


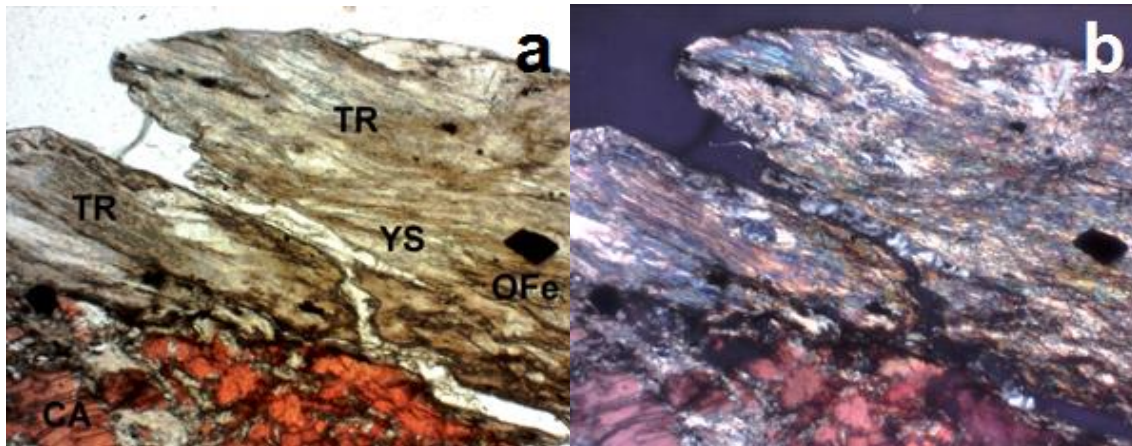
**Figura 9.** Estratigrafía de la secuencia ofiolítica correspondiente a zona Liguride Interne, con la oficalcita en el techo de las serpentinitas.

El resultado de todo este proceso es una serpentinita brechificada con fracturación de espesor milimétrico a decimétrico, paralela y no paralela, rellena por venas de calcita espática y en ocasiones talco, con clastos angulosos serpentiniticos que pueden variar de milimétricos a centimétricos (Gaggero 2007). En la Liguria los afloramientos explotados más importantes de Verde Polcévera se encuentran en la provincia de Génova, en las localidades Pietralavezzara, Pegli y Campomorone.

Para determinar su composición mineral y textural, se ha realizado una lámina delgada (figura 10) aprovechando un fragmento fracturado de lastra 7\_92(/) que se encontraba en posición. De este fragmento se ha cortado una sección transversal a la lastra, describiendo su mineralógica (Anexo IIa), mientras que para concretar las fases minerales presentes se ha realizado una difracción de la lastra de Verde Polcévera 12\_164(1902) (Anexo IIb). De este modo se ha obtenido que mineralogía del Verde Polcévera está formada por tremolita, lizardita por proceso de serpentización a baja temperatura de la tremolita (DeFelipe 2012), clinoclorita por alteración hidrotermal de los anfíboles, piroxenos y biotitas (de estos dos últimos no se encuentran restos ya que son más fáciles de serpentizar que los anfíboles) y calcita, también por alteración hidrotermal. Mientras que el yeso es resultado de los procesos de alteración.

En la lámina delgada, en la parte que corresponde con la cara expuesta de la lastra no se observa alteración posiblemente porque la muestra se encuentra en la base de una zona de baja capilaridad, mientras que en la parte que corresponde con la cara no expuesta de la lastra se observan diversas fracturas rellenas de yeso atravesando gran parte del espesor de la lastra, además algunas pequeñas fracturas también rellenas de yeso que terminan en forma de cuña (figura 10 abajo).





**Figura 10.** Mineralogía del Verde Polcévera a) Nícoles paralelos b) Nícoles cruzados. **TR** Tremolita, **SR** Serpentino, **CL** Clinoclora, **CA** Calcita (teñida), **OFe** Óxido de hierro, **YS** Yeso.

Las oficalcitas son rocas con una variabilidad composicional y textural ciertamente amplia, de la que además existen pocos datos acerca de su composición química. Se han tomado como modelo los análisis realizados por Pieri (1964)(figura 11) para el Verde Polcévera, según los cuales se trata de una roca hidratada ultrabásica ( $\text{SiO}_2$  24,4%), muy rica en Mg, Ca y  $\text{CO}_2$ , estos dos últimos incorporados en proceso hidrotermal, y con bajas concentraciones de Al. El hierro se presenta tanto en la forma divalente como trivalente con un porcentaje total del 5,6% que se puede considerar bajo. En cuanto a sus propiedades físico-mecánicas se puede decir que el Verde Polcévera presenta una densidad media, un coeficiente de absorción bajo y un coeficiente de expansión térmica muy bajo.

%	Verde Polcévera		
$\text{SiO}_2$	24,4	Densidad bulk ( $\text{KN/m}^3$ )	27,30-28,80
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1,4	Densidad ( $\text{gr/cm}^3$ )	2,666
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	4,2	Coeficiente de absorción (%)	0,415
FeO	2,12	Resistencia a la compresión (MPa)	172
MgO	16,17	Resistencia a la compresión 0°C (MPa)	137
CaO	23,4	Resistencia a la flesi3n (MPa)	12,2
$\text{CO}_2$	20,05	Resistencia al impacto (cm)	38
$\text{H}_2\text{O}^-$	7,75	Coeficiente de expansi3n térmica (mm/m °C)	0,0061
Totale	99	Coeficiente de abrasión relativo	0,64

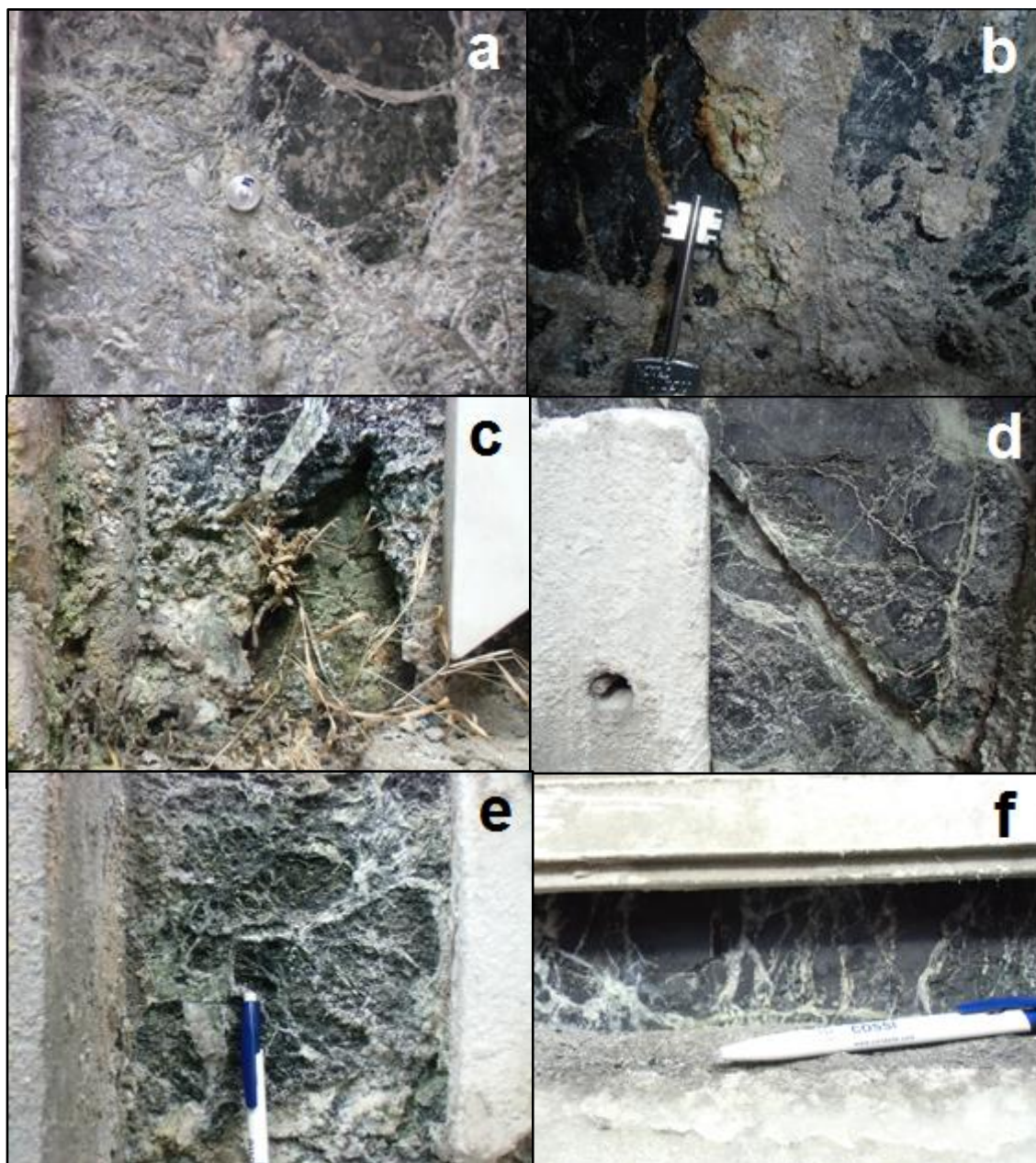
**Figura 11.** Valores de composici3n química del Verde Polcévera obtenidos por Pieri (1964) y sus valores físico-mecánicas obtenidos a partir de los datos del Stituto Commercio Estero (I.C.E.) 1982 (Cimmino 2003).



## 8. Estudio de las formas de alteración

Después del análisis geológico, ambiental y contexto constructivo de la galería, se ha pasado a catalogar con macrofotografías cada arco para observar los diferentes tipos de alteración (figura 12) en referencia a la Recomendación NORMAL 1/85 publicada por el Consejo Nacional de la Investigación y el Instituto Central para la Restauración ,Roma 1985 (Buggini et al.) según la cual los tipos de alteración se reagrupan en base a cómo afectan al material lapídeo, aplicando la terminología de Ordaz y Esbert 1988.

Se observa como la alteración es más intensa en la parte central izquierda de la galería, concretamente se acentúa en los arcos 6, 7, 10, 11, 12, 13 y 14, siendo los mayormente alterados el número 7 y 13.





**Figura 12.** a) Depósito/formación de productos secundarios: costra de yeso, crecimiento de cristales de yeso blanco con importante aumento de tamaño, lastra 7\_86(1901) b) Costra de yeso mamelonar en la lastra 13\_181(/). c) Colonización biológica: crecimiento de plantas superiores en el contorno de las lastras, lastra 13\_189(/), además hueco asociado a las costras de yeso. d) Reducción de la resistencia mecánica, fractura a favor de una vena de calcita en la lastra 13\_181(/). e) Pérdida de material de la superficie: erosión diferencial debido a subeflorescencias de yeso, lastra 12\_164(1902). f) Pérdida de la morfología del material ornamental: disgregación con caída del material en forma de polvo o pequeños fragmentos, lastra 13\_175(1907). g) Sin alteración visible/apreciable: depósito superficial, lastra 21\_284(/).

Para caracterizar correctamente esta alteración se ha realizado la cartografía altereológica de la galería siguiendo criterios que son ya comunes en este tipo de trabajos (Heinrichs 2010 y Marín 2001). Con esta metodología podemos confrontar la intensidad de las patologías que se presentan en el centro de la galería respecto a los laterales y en base a la posición vertical de las lastras (figura 13). Se ha tomado el arco 13 (perteneciente al sector central) como modelo frente a los laterales 2 y 21. Esta cartografía altereológica se ha realizado tanto en las lastras de oficalcita como a la columna central de los arcos (de ladrillo y mortero), ya que esta última aporta información visual de la intensidad de la capilaridad e infiltración que afecta a las lastras. La capilaridad o agua que asciende desde el terreno la indentificamos por la alteración que presentan las columnas en su base y su intensidad, en relación a la intensidad y altura que alcanza dicha alteración. La infiltración o agua que viene desde la parte superior o posterior de la galería, se identifica por la alteración que presentan las columnas en su parte alta y su intensidad, en relación a la intensidad y altura, en este caso hacia abajo, que alcanza dicha alteración.

De acuerdo con la cartografía de las columnas se observa como los procesos de capilaridad e infiltración en la parte central son muy importantes, en el caso de la capilaridad llegando a superar 1,5 m de altura en el arco 13. La alta capilaridad nos indica una elevada

humedad en el subsuelo, mientras que la infiltración presente indica una elevada humedad en la parte superior del arco. Estas condiciones se encuentran empeoradas a su vez por ser la zona de la galería con una mayor exposición (figura 8 izda.), por lo tanto mayor acción del spray marino (recordamos que la galería tiene orientación E-W, paralela a la línea de costa) y más ciclos de humectación/secado. En los arcos laterales atendiendo también al estado de las columnas podemos confirmar que la capilaridad es menor, siendo ligeramente mayor en el arco 2 respecto al 21, sin superar en ningún caso la altura de 70cm, y por lo tanto la humedad en el subsuelo es menor. Lo mismo sucede con la infiltración, que es prácticamente inexistente por lo cual la humedad de las zonas laterales de la galería es considerablemente inferior.

En cuanto a la alteración de las lastras, en correspondencia con el caso de las columnas se encuentran siempre mucho más alteradas en la zona central de la galería. En el conjunto de la galería, es el yeso el mineral de alteración con mayor presencia, estando la inmensa mayoría de las venas de calcita de las oficalcitas afectadas por cristalizaciones de yeso. No sucede lo mismo con la matriz silicatada que siempre posee un nivel de afectación inferior al de las venas. Partiendo del hecho de que la intensidad de la meteorización de las lastras es mayor en la zona central de la galería respecto a las zonas laterales, observando las patologías presentes de acuerdo con la posición vertical de las lastras, es posible diferenciar claramente una zona baja (zona que alcanza una mayor altura en la zona central de la galería respecto a las zonas laterales) y una zona alta (zona que también alcanza una mayor altura en la zona central de la galería respecto a las zonas laterales). Entre estas dos zonas existen una zona de transición estando bien diferenciada sólo en el caso del arco 13.


La zona baja sería la zona afectada por capilaridad, llegando hasta la altura 3 en el arco 13, hasta la altura 2 en el arco 2 y hasta la altura 1 en el arco 21. En esta zona se observan crecimientos de costras duras de yeso (figura 12a), mucho más desarrolladas a su vez en el arco 13 que en los arcos 2 y 21. Asociado a estas costras, sólo en la altura 2 del arco 13, donde esta patología presenta mayor intensidad en toda la galería, se encuentra una lastra que ha perdido parte de su material, quedando expuesto el mortero (figura 12c). Además sólo en la base de la zona central de la galería existe una fracturación de las lastras a favor de las venas existentes de calcita, debido a que han sido totalmente recrystalizadas a yeso (figura 12d).

La zona de transición se situaría en el fin de la zona de capilaridad, actuando también la infiltración sólo en el arco 13, actuando conjuntamente las patologías de la zona baja y de la zona alta. Correspondería a la altura 3-4 en el arco 13, a la altura 1-2 en el arco 2 y a la altura 1 en el arco 21.

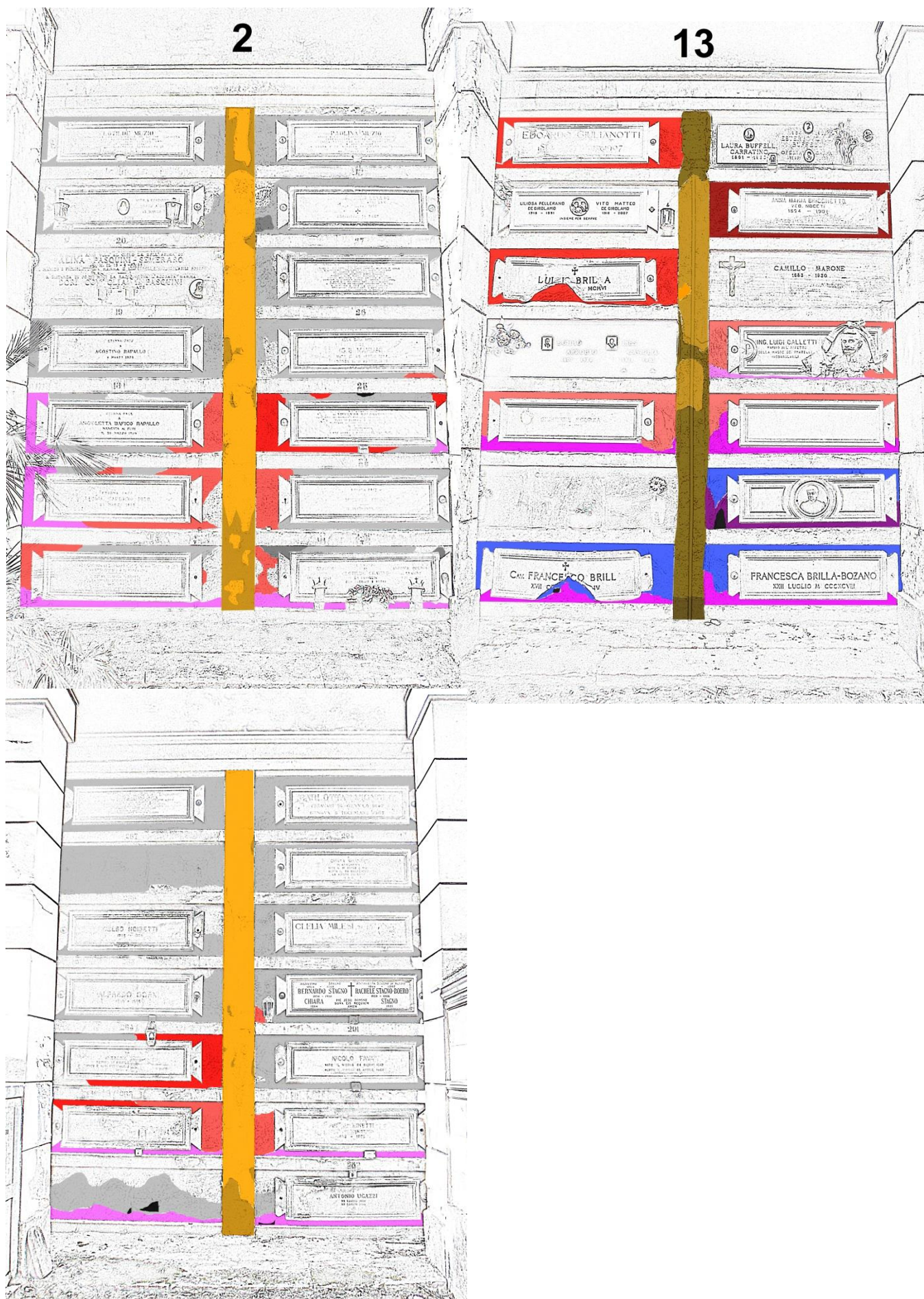
La zona alta correspondería con la zona fuera de la capilaridad, situándose por encima de ella. Se trataría de la altura 5 a 7 en el arco 13, de la altura 2 a la 3 en el arco 2 y de la altura 2 a 3 en el arco 21. En esta zona la pérdida de material superficial de las lastras (figura 12e), debido a la precipitación de yeso en su interior, es la patología que se presenta en los tres arcos estudiados, pero cambiando su intensidad y las alturas en las que se presenta. Su máximo de intensidad absoluta se encuentra en el arco 13, situándose en la altura 6, mientras que en el arco 2 y 21 la máxima intensidad es menor, situándose en la altura 3 en el primer caso y en la altura 2 en el segundo. En el caso de la zona central su mayor intensidad se interpreta como resultado de un mayor aporte de agua por capilaridad e infiltración, pero siendo menor este aporte que la tasa de evaporación superficial. En las zonas laterales el aporte de agua es sólo por capilaridad, siendo además mucho menor que en la zona central, por eso las subeflorescencias son menos intensas y sus máximos se encuentran a menor altura.

Además de estas patologías, existe otra cuya causa principal es la contaminación del aire, que provoca corrosión directa de la superficie de las lastras y la formación de depósitos superficiales (Gisbert et al. 2001). Sólo en las zonas medias-altas de los laterales de la galería se presentan estos depósitos bien desarrollados, en las zonas donde las demás patologías no se presentan. Estos depósitos son de tonos grises oscuros, formando películas que se desprenden con facilidad con un espesor que varía desde 1mm para los de menor intensidad, hasta los 3mm que alcanzan los más intensos. Están formados por una fina capa de yeso en la superficie de la lastra, sobre la que se adhieren partículas suspendidas en la atmósfera de polvo, hollín, contaminantes... produciendo el oscurecimiento de la superficie (figura 12g).

**Figura 13.** Leyenda y cartografía alterológica en la que se ha tomado como modelo para la alteración de la zona central al arco 13 y como modelo de la alteración para las zonas laterales a los arcos 2 y 21.

Alteración oficalcita		Alteración columna	
	Costra de yeso (intensidad 1)		Sin alteración
	Costra de yeso (intensidad 2)		Pérdida pintura
	Costra de yeso (intensidad 3)		Erosión mortero
	Dep. superficial (intensidad 1)		Alteración ladrillo
	Dep. superficial (intensidad 2)		
	Subeflorescencia (intensidad 1)		
	Subeflorescencia (intensidad 2)		
	Subeflorescencia (intensidad 3)		
	Fracturación		
	Hueco		

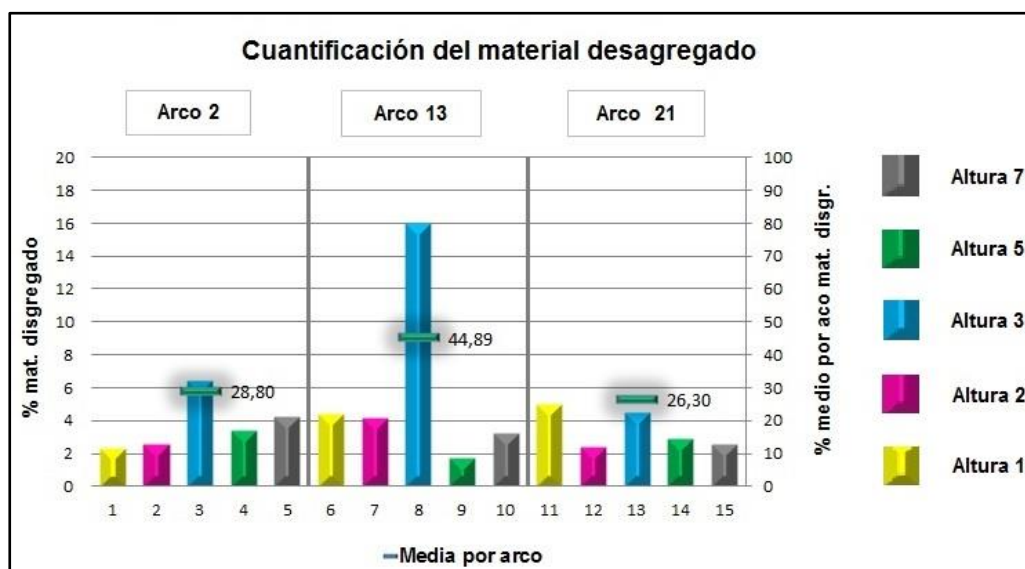




Para intentar cuantificar la meteorización superficial sobre los mismos arcos en los que se ha realizado la cartografía se ha utilizado un penetrómetro de tierra (figura 14) al que se le ha colocado un film adhesivo, pudiendo ejercer siempre la misma presión en cada lastra, en nuestro caso de 2kg. Esto se ha hecho tomando como modelo la prueba de adhesión por arranque (Elcometer). De este modo se ha cuantificado la desagregación de las venas del Verde Polcévera para las alturas 1, 2, 3, 5 y 7, pesando mediante una báscula de precisión modelo Metler AE 163 la cantidad de material adherido en cada adhesivo (Anexo III) se ha obteniendo el porcentaje de material desagregado en cada lastra respecto al total de los tres arcos y el porcentaje de material desagregado en cada uno de los tres arcos (figura 15).



**Figura 14.** Penetrómetro adaptado para tomar muestras por arranque.



**Figura 15.** Porcentajes de material arrancado en las lastras de los arcos 2,13 y 21. Se han tomado 5 muestras por arco, se observa como norma general una mayor desagregación en la tercera muestra de cada arco (correspondiente a una altura de 1-1,5m) y como el arco central en su conjunto presenta una mayor desagregación que los laterales.



## 9. Estudio de la alteración mediante SEM- EDS y XRPD

Para analizar la meteorización mediante SEM-EDS se ha decidido tomar un total de 14 muestras para el conjunto de la galería. Para los arcos 12, 13, 14 se han tomado tres muestras en cada uno de ellos situadas en la altura 3, 5 y 7, además de un total de cuatro muestras en la altura 2 de los arcos laterales 2, 7, 10 y 19, y una en la altura 3 del 23 (figura 8, esquema central). Estas micromuestras están obtenidas con el mínimo deterioro físico posible mediante los portamuestras del SEM-EDS colocándolos sobre las venas de calcita espática del Verde Polcévera como en el caso de la cuantificación de la desagregación. Estos portamuestras están constituidos por una película de “carbon tape” adhesivo, de manera que se queda pegada a él la capa superficial de la vena, siendo su meteorización superficial la que podemos analizar mediante el SEM-EDS. Con la realización de esta toma de muestras se han obtenido a su vez resultados semicuantitativos del grado de desagregación superficial (figura 17) que concuerdan los resultados obtenidos previamente con el penetrómetro.



**Figura 17.** Muestras tomadas para analizar en el SEM-EDS. La numeración corresponde al arco en el que han sido tomadas, se observa como en los arcos centrales la cantidad de material adherido es mayor que en los laterales.

Se ha estudiado el conjunto de las 14 muestras tomadas, observando los estados de alteración de la calcita, la morfología de los cristales de yeso, la presencia de sales, contaminantes, organismos microbiológicos y sustancias ajenas a la roca (fichas Anexo IV). Interpretando los resultados en base al modelo de la cartografía alterológica realizado.

Además, se ha realizado la difracción de una eflorescencia presente en los ladrillos de la lastra 9\_125(/) (figura 7b, Anexo Va), de la capa de arcilla negra usada como impermeabilizante detrás de las lastras, cogida en la lastra 7\_97(1907) (figura 7c, Anexo Vb) y de una costra mamelonar de yeso cogida en la lastra 21\_281(/) (Anexo Vc).

### 9.1. Descripción de las ocurrencias

La mayor alteración de la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) se encuentra en los arcos 10, 12, 13 y 14. En las zonas altas (altura 7) la fracturación es muy intensa predominando frente a la disolución (Anexo IV, Arco 14\_7(C) dcha.), encontrando cristales muy fracturados con la superficie corroída (figura 18a) (Anexo IV, Arco 13\_7(C) izda.). Mientras que en la parte media (altura 5) y baja (altura 3) la fracturación es menor, predominando la disolución (Anexo IV, Arco 13\_5(C) dcha. y Arco 10\_2(CW) izda.).

Los cristales de sulfato de calcio presenta ángulos diferentes de  $90^\circ$  entre sus caras, además la temperatura en la zona no sobrepasa nunca los  $35^\circ\text{C}$  y la humedad relativa media del aire es siempre superior al 65%. Todos estos datos nos confirman que se trata de yeso y no de anhidrita. El yeso se presenta en todas las muestras tomadas generalmente en cúmulos de cristales tabulares idiomorfos-subidiomorfos con una media de  $20\text{-}25\mu\text{m}$ , en ocasiones asociados a la calcita (Anexo IV, Arco 13\_5(C) dcha.). También se han encontrado casos con crecimientos aplanados, siempre hacia los límites de los cúmulos de cristales de yeso tabulares. En la parte alta del arco 13 encontramos esta morfología con cristales de tamaños que alcanzan los  $150\mu\text{m}$ , mientras que en las zonas bajas de los arcos 7, 10 y 14 presentan tamaños entorno a  $30\text{-}40\mu\text{m}$  (Anexo IV, Arco 14\_3(C) dcha.). Sólo en la base del arco 7 se llega a desarrollar al 100% crecimiento de tipo rosa del desierto (figura 18c) (Anexo IV, Arco 7\_2(CW) dcha.).

En la parte media (altura 5) de los arcos 12 y 13 se encuentran cristales subidiomorfos de hálita ( $\text{NaCl}$ ) con tamaños entorno a  $20\mu\text{m}$  e importante estado de disolución (Anexo IV, Arco 12\_5(C) dcha.), pero también aparece como cristales tabulares idiomorfos de  $6\mu\text{m}$  (figura 18b) (Anexo IV, Arco 12\_5(C) izda.).

La thenardita ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) se encuentra sólo en las partes altas de los arcos centrales, en forma de agregados de cristales aciculares de  $1\mu\text{m}$ , solo en el arco 13 presenta una disolución importante (figura 18a) (Anexo IV, Arco 13\_7(C) izda.).

Aisladamente, aparecen en la parte media y baja del arco 13 cristales de  $\text{SrSO}_4$  aciculares de unos  $10\mu\text{m}$ . Asociado a ellos aparece una sustancia silicatada rica en K también de forma aislada (Anexo IV, Arco 13\_5(C) izda.). En la parte alta del arco 12 y 14, y en la base del 19 aparecen cristales subidiomorfos de  $\text{BaSO}_4$  (baritina) de entre  $25$  y  $5\mu\text{m}$  (Anexo IV, Arco 14\_7(C) inferior dcha.). En la parte baja de los arcos 2 y 12 se observa una sustancia amorfa silicatada rica en Na (figura 18d) (Anexo IV, Arco 12\_3(C) izda.).

En las lastras afectadas por depósitos superficiales, que corresponden con las zonas laterales de la galería principalmente, encontramos partículas esféricas de diversas

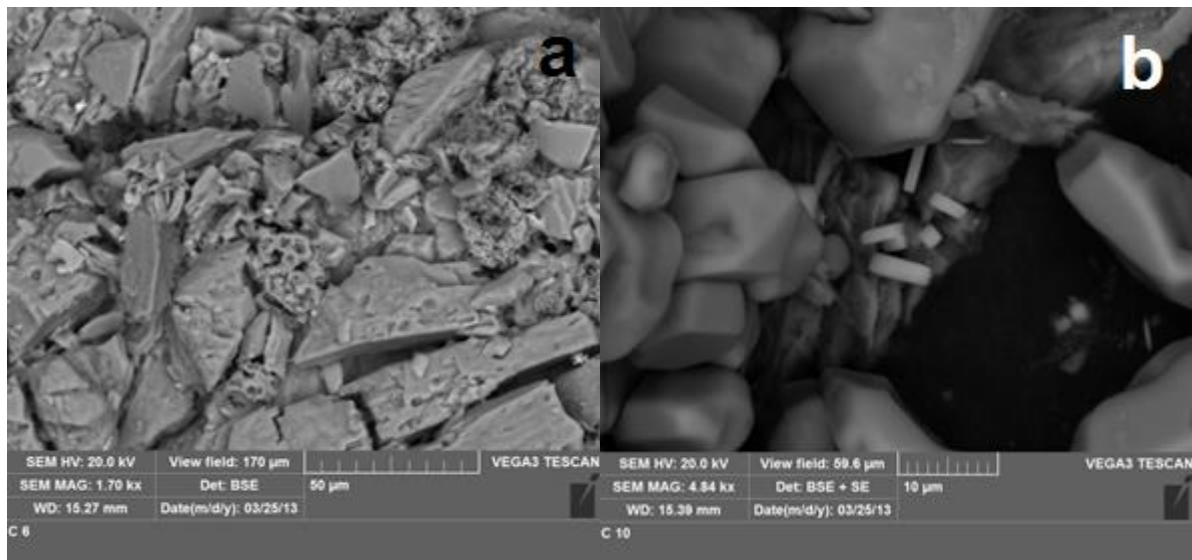
composiciones. Las partículas aluminosilicatadas son las que aparecen con una mayor frecuencia, se encuentran diferentes tipos:

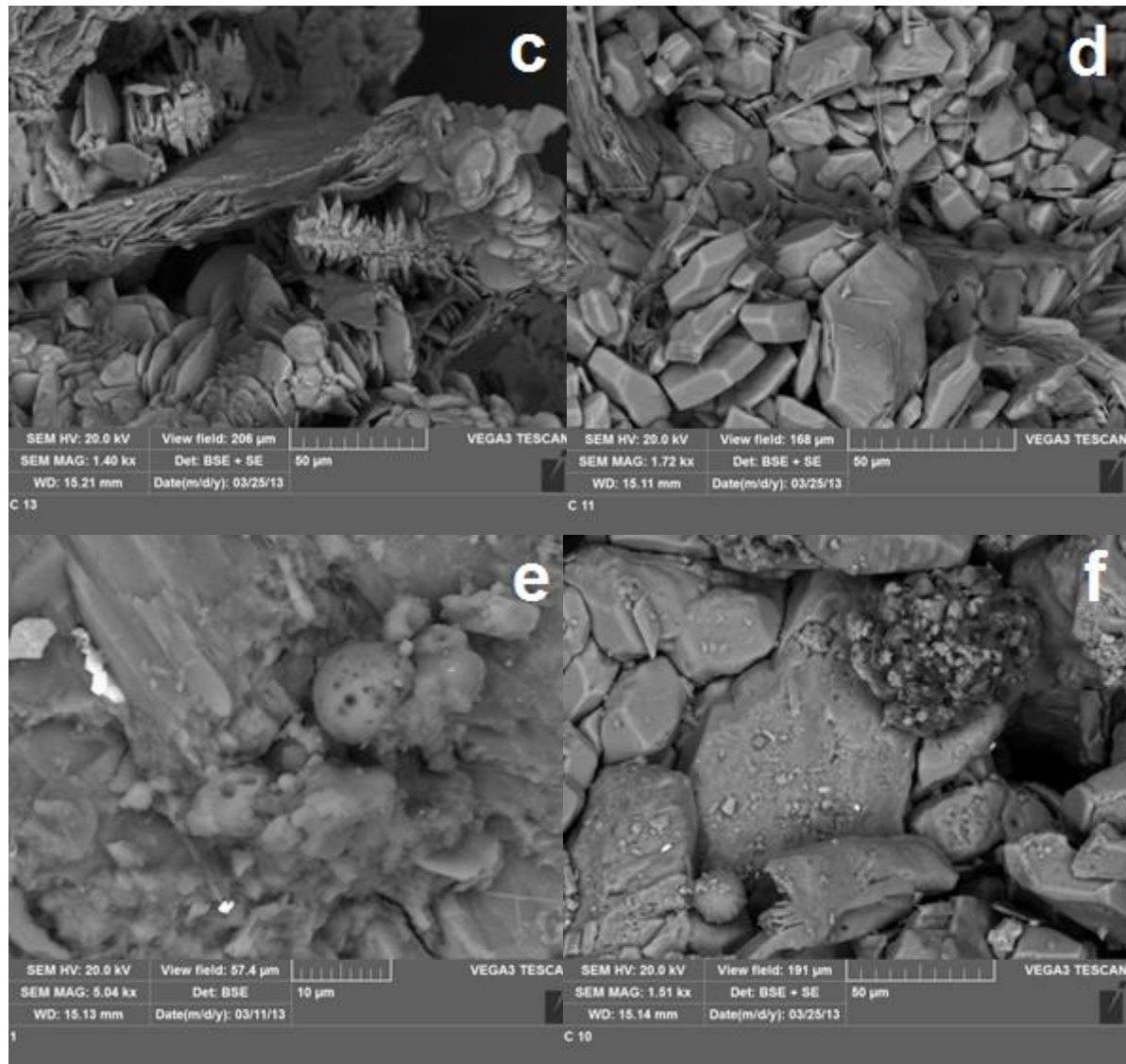
- 11 no porosas esféricas entre 2 y 5 $\mu$ m (figura 18f) (Anexo IV, Arco 23\_3(E) dcha.) y una excepción de 17 $\mu$ m.
- 7 porosas esféricas entre 7 y 15 $\mu$ m (figura 18e) (Anexo IV, Arco 23\_3(E) izda.).
- 2 porosas redondeadas de 40 $\mu$ m.
- 2 agregados porosos de 40-50 $\mu$ m (Anexo IV, Arco 19\_2(CE), izda).

También en relación a los depósitos superficiales sólo en el arco 19 se observan pequeños agregados de partículas de óxido de Pb-P y otras ricas en Cr de unos 10 $\mu$ m.

Se encuentran 3 aglomerados esféricos porosos carbonáceos de 50-40 $\mu$ m (figura 18f) (Anexo IV, Arco 12\_5(C) inferior dcha.).

La actividad microbiológica (Remón et. al 2001) es minoritaria, se presenta en forma de filamentos fúngicos y bacterias en las partes inferiores de los arcos 10, 12 y 19 (Anexo IV, Arco 10\_2(CW) dcha., Arco 12\_3(C) dcha. y Arco 19\_2(CE) dcha.).





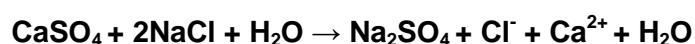
**Figura 18.** a) Calcita fracturada con la superficie corroída y en fondo thenardita parcialmente disuelta. b) Cristales idiomorfos de hálita. c) Yeso creciendo en forma de rosa del desierto. d) Gel de silicato de sodio. e) Partícula esférica porosa aluminosilicada. f) Partícula esférica rica en carbono y debajo partícula esférica no porosa aluminosilicada.

## 9.2. Discusión del SEM-EDS y XRPD

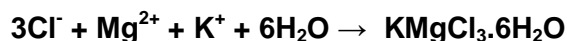
El estado de alteración de la calcita es diferente según donde se encuentra la lastra en la que ha sido cogida la muestra. Se puede confirmar como en las zonas laterales su alteración es mucho menor que en las zonas centrales de la galería. Atendiendo a su posición en la vertical en la zona central, se observa como la mayor fracturación de la calcita se encuentra en la parte alta de la galería disminuyendo hacia las partes más bajas, mientras que su disolución es importante en todas las alturas, con corrosión de la superficie o disolución de los cristales de calcita.

El origen del yeso que altera las lastras estaría relacionado con la disolución de la capa de yeso que se encuentra detrás de las mismas. Este yeso en presencia de agua es disuelto y posteriormente transportado en disolución hacia el interior de las lastras por capilaridad, precipitando en su interior o en su superficie. El crecimiento en forma de rosa del desierto estaría relacionado a una alta capilaridad que hace que habra una cantidad importante de yeso disuelto en el agua, cristalizando en momentos de máxima evaporación. El hecho de que encontremos este crecimiento sólo en el arco 7 parcialmente disuelto, se debe a que estos crecimientos se disuelven con facilidad en condiciones húmedas, y estas muestras fueron tomadas en febrero, que es uno de los meses más húmedos del año.

El origen de la hálita estaría relacionado con el spray marino (Chabas et al. 2001), ya que el cementerio se encuentra a menos de 5km de la línea de costa. La presencia de la thenardita se hipotiza por el intercambio catiónico que se produce cuando existe yeso y hálita en disolución:



Los resultados de la difracción indican que la sal de los ladrillos es epsomita ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) mayoritariamente y en menor concentración hexaedrita ( $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Se interpreta que el  $\text{Mg}^{2+}$  proviene de la serpentina de la oficalcita intercambiándose por el  $\text{Ca}^{2+}$  del yeso en presencia de agua, dado que su estado de hidratación es muy alto. Este catión de calcio que sobra se incorporaría a la calcita. La epsomita presenta delicuescencia cuando la humedad relativa del aire es superior al 87% a 10°C (Gisbert 2001), pero no se ha encontrado este dato en la bibliografía para la hexaedrita (Cardell 2003). La hexaedrita dada su baja presencia se podría incluso haber formado después de tomar la muestra o en la preparación para analizarla. También se ha encontrado calamita ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) en pequeña cantidad, que explicaría a dónde van los aniones cloro de la hálita al transformarse en thenardita, el  $\text{Cl}^-$  se uniría a los cationes de magnesio procedentes de la oficalcita y cationes potasio presentes en las lastras para formar la calamita.



La capa de arcilla negra contiene una gran cantidad de calcita, por lo que se considera una arcilla calcárea, también contiene cuarzo y minerales del grupo de las arcillas: caolinita, clorita e illita, mientras que la plagioclasa, dolomita y hematites son accesorios. No arde en presencia de fuego, de modo que no contiene asfalto que la haría más impermeable. En cuanto a la costra esférica mamelonar analizada está constituida por yeso mayoritariamente, ya que sólo se encuentran en fracturas de las lastras y donde el contacto

con la capa de yeso con el exterior es directo. Además presenta thenardita, cuarzo y hexaedrita en baja proporción.

Las partículas esféricas encontradas se interpretan como productos de combustión del carbón y combustión de motores transportadas por el aire (Del Monte et al. 1984). Éstas partículas se concentran principalmente en las lastras afectadas por depósitos superficiales.

La sustancia silicatada rica en Na tiene aspecto de gel, rellenando los huecos entre los cristales se podría interpretar como restos de un consolidante o una capa potrectora (el silicato de sodio fue de uso muy frecuente a principios del S. XX) que se aplicó en la época citada.

En cuanto a los cristales alotriomorfos ricos en K, en base a su composición sólo puede ser hidróxido sódico, sustancia que esta documentada en limpiezas, aún actualmente (Gisbert 2013).

La actividad microbiológica tiene una incidencia muy limitada en los procesos de deterioro, afectando sólo a la parte baja de los arcos en forma de filamentos fúngicos y bacterias.

## **10. Discusión general**

A la vista de los datos obtenidos, observando la alteración de las columnas y las lastras se puede confirmar que bajo la parte central de la galería, concretamente del arco 9 hasta el 13 el subsuelo presenta una mayor humedad que en resto de zonas, situándose en la parte central del barranco Pontasso. Mientras que la mayor infiltración se encuentra en los arcos 6 y 7 situándose en su parte trasera el inicio de la lareda este del barranco Pontasso y los 10,11,12,13 y 14 que corresponde con la parte central del barranco. Esta mayor humedad en las zonas bajas y altas provoca una alteración muy intensa en las lastras, introduciéndose inicialmente agua en los morteros que son menos impermeables que las oficalcitas, aunque existe una capa de arcilla impermeable detrás de las lastras, entre ésta y la oficalcita existe una capa de yeso. De modo que la arcilla sólo limita el paso del agua desde la parte trasera de los nichos, no impermeabiliza las zonas laterales, inferiores y superiores de los mismos. Esto hace que el agua entre en contacto con la capa de yeso provocando su disolución y por lo tanto haciendo que exista una cantidad importante de yeso disuelto en el agua, de modo que esta disolución entra por capilaridad dentro de las lastras de oficalcita, a través de las fracturas y microfracturas existentes, provocando su apertura cuando el yeso cristaliza dentro de ellas. Ello provoca la disminución de la

impermeabilidad de las lastras, favoreciendo la entrada de yeso en ellas y como consecuencia acelerando su alteración.

Los factores meteorológicos juegan un papel importante a la hora de mantener unas condiciones de humedad muy altas en la galería debido a las intensas precipitaciones que se registran. Las temperaturas sin embargo, presentan una amplitud térmica máxima que no supera los 20°C, hecho que unido al bajo coeficiente de expansión térmica de la oficalcita hace que los contrastes de temperatura no tenga efectos significativos sobre las lastras. Además las temperaturas mínimas no suelen que de los 0°C en los meses de invierno, por lo que la acción del hielo-deshielo del agua en las fracturas de las oficalcitas es muy limitado.

La plantación de los pinos delante de la galería ha contribuido a aumentar el tiempo en que las lastras y morteros permanecen húmedos, debido a la menor exposición solar. Esto tiene un impacto doblemente negativo, por un lado aumenta el tiempo en el que las lastras y morteros permanecen húmedos haciendo que la disolución del yeso aumente y por otro, sólo en las zonas de la galería más expuestas a la luz del sol, se produce un mayor secado de las lastras permitiendo el crecimiento de cristales de yeso (Chabas et al. 2001). Cuando la tasa de migración de la solución cargada en yeso es mayor que la tasa de evaporación superficial se produce su precipitación en la superficie de las lastras, mientras que si la tasa de migración de la solución cargada en yeso es menor que la tasa de evaporación superficial se produce su precipitación en el interior de las lastras. Este fenómeno es considerado uno de los casos de alteración más crítico de las rocas, ya que se produce un aumento de presión en las paredes internas de la roca provocando su fracturación (López et al. 1997),

En cuanto a los depósitos superficiales, estos presentan una fina capa de yeso en la superficie de la lastras, el origen de este yeso sí que se considera que puede estar producido por la reacción de sulfatación del  $\text{SO}_2$  que se encuentra en el aire con la superficie de la lastra. Estos depósitos superficiales sólo se encuentran en lastras muy poco alteradas donde los procesos de capilaridad e infiltración son muy limitados debido a la baja humedad, sobre esta fina capa de yeso se adhieren las partículas transportadas por el aire (Anexo VI). Las partículas esféricas aluminosilicatadas son producidas por la combustión de carbón (Del Monte 1984), de modo que se interpreta que su origen estaría relacionado con una planta de combustión de carbón situada a unos 5km del cementerio, mientras que las partículas ricas en carbono se interpretan como restos de combustión incompleta de motores diesel (Gisbert et al. 2001).

## 11. Conclusions

- ✓ In the area where the gallery is located, the high humidity in relation to hydrogeology is the main factor of weathering, since the capillary from underground is the principal mechanism by which the water is transported to the mortar and slabs.
- ✓ The tree vegetation planted around 1950 in front of this gallery has caused an increase in the humidity in the air in the whole area of the gallery and has increased the number of cycles of wetting / drying in the last 60 years.
- ✓ The use of gypsum as mortar behind the slabs is the main contribution of gypsum. This material is also the main and most important causes of weathering of the gallery.
- ✓ In local areas where the migration rate of the gypsum-laden solution is greater than the rate of surface evaporation, gypsum crusts form. These areas where the precipitation take place correspond to low levels of the gallery and areas where insolation is low. In areas where the migration rate of the gypsum -laden solution is less than the rate of surface evaporation , subeflorescence plaster occure. These structure are located eather in the central part of the gallery at medium to high levels, and in the lateral arcs at low to medium levels. These local areas correspond to where insolation is greatest.
- ✓ The capillary action is more intense toward the central arcs of the gallery , while infiltration is more intense in the central west and central area. It is the second type in importance of weathering of the gallery.
- ✓ Salts , halite , thenardite , epsomite, hexaedrita and lodestone found, precipitate and dissolve continually, changing their state of hydration or eather becoming other species, as the humidity condition change. This is the thirst type in importance of the weathering of the gallery.
- ✓ SO<sub>2</sub> present in air is responsible for the formation of the thin layer of plaster on the surface of the slabs , resulting in the development of superficial deposits where are attached airborne particles. It is the fourth type of weathering in importance , affecting mainly the lateral areas of the gallery.



- ✓ The microbiological activity has a very limited influence on the whole gallery. It is the fifth of type of weathering and less important.
- ✓ In order to better understand the main causes of the high humidity in the subsoil of the gallery, it would be necessary to undertake a more detailed hydrogeologic study in the Pontasso gorge related to the hydrogeologic system of the entire area of the Bisagno valley.

## 12. Anexos

### Anexo I

- a. Datos meteorológicos desde el año 1947 hasta el 2007 (Landi 2008).

Anno	Temperatura (°C)			Gelo	Precipitazioni mm	
	massima	minima	media	mesi sotto 0 °C (probabili)	n° gg piovosi	totale pioggia annua
1947	32,8	-6,8	15,8	dic-gen-feb	107,0	1464,8
1948	34,2	-4,0	16,1	dic-feb	99,0	1287,8
1949	37,0	-1,0	16,8	feb	100,0	1247,6
1950						
1951	31,4	1,3	15,9	(gen)	117,0	1988,2
1952	37,0	-1,0	15,9	gen-feb-(mar)	98,0	723,0
1953	32,4	-2,0	15,8	(gen)-feb	110,0	1207,8
1954	29,8	-3,6	14,7	gen-feb	98,0	1314,4
1955	31,0	-1,0	15,5	gen-(mar)	89,0	995,2
1956	33,2	-5,8	14,1	dic-gen-feb-mar	91,0	923,0
1957	33,6	0,2	15,6	(gen)	93,0	1316,6
1958	33,0	0,0	15,6	(dic-gen-mar)	92,0	1043,4
1959	28,8	2,2	16,1		108,0	1531,8
1960	29,6	-2,8	15,5	gen-feb-(mar)	121,0	1734,8
1961	33,4	-2,4	16,2	dic-gen	94,0	1508,4
1962	31,2	2,2	15,0	dic-gen-(feb)-mar	94,0	1066,8
1963	32,6	-5,2	14,8	dic-gen-feb-mar	126,0	1809,4
1964	33,6	0,0	16,2	(gen)-(mar)	104,0	1267,2
1965	33,1	-0,2	15,1	(feb)-mar	103,0	1057,0
1966	32,0	-2,0	15,7	gen	117,0	1442,6
1967	32,2	-2,4	16,0	dic-gen-feb	77,0	1012,0
1968	33,5	-1,8	15,5	dic-ge	112,0	1104,6
1969	32,0	-1,0	15,2	dic-(gen)-feb	94,0	921,6

1970	32,6	-3,7	15,5	dic-(gen)-(feb)-(mar)	84,0	1625,0
1971	33,5	-5,3	15,6	(nov)-(dic)-gen-(feb)- mar	93,0	1302,6
1972	32,4	-2,8	15,0	dic-gen-(feb)-(mar)	131,0	1876,8
1973	33,7	-0,4	16,0	dic-(gen)-(feb)	82,0	839,4
1974	33,0	3,3	15,8		118,0	1091,2
1975	32,0	3,6	16,0		106,0	1399,0
1976	32,5	0,0	15,7	(dic)-(gen)-(feb)- (mar)	102,0	1308,4
1977	29,6	1,2	15,7	(dic)-(gen)	118,0	2185,6
1978	31,3	-0,3	15,3	(dic)-(feb)	116,0	1316,4
1979	33,0	-3,2	15,5	(dic)-(gen)-(feb)- (mar)	111,0	1977,0
1980	31,2	0,0	14,9	(dic)-(gen)	102,0	1307,2
1981	34,6	-1,6	15,6	dic-gen-(feb)	89,0	1332,8
1982	32,9	0,4	16,1	(gen)-(feb)	102,0	1085,4
1983	35,2	-0,1	15,9	dic-(feb)	84,0	1234,6
1984	30,0	0,0	15,0	(dic)-(gen)-(feb)	102,0	1600,0
1985	31,9	-6,0	15,5	gen-(feb)	94,0	1218,2
1986	32,6	-4,0	15,9	(dic)-gen-feb-(mar)	82,0	1294,4
1987	32,7	-3,6	15,8	gen-(feb)-(mar)	95,0	1647,6
1988	31,5	2,1	16,4		87,0	1154,0
1989	33,3	1,3	16,7		82,0	900,4
1990	34,6	3,1	16,7		98	1512,0
1991	32,6	-5,0	15,8	dic-gen-feb	87,0	1318,4
1992	33,9	0,3	16,5	(dic)-(gen)-(feb)	98,0	1690,0
1993	32,6	-2,2	16,3	(dic)-gen-(feb)	89,0	1159,6
1994	32,7	-1,9	16,5	(gen)-feb		1397,8
1995	33,1	0,4	15,6	(dic)-(gen)		1274,2
1996	31,6	-4,7	15,2	dic-(gen)-feb		1245,2
1997	30,3	-2,5	16,2	(dic)-gen		1385,0
1998	33,5	0,9	15,9	(nov)-(dic)-(gen)		992,2
1999	31,3	0,3	16,1	(dic)-gen-feb		1066,2
2000	30,9	-0,4	16,4	(dic)- gen		1270,0
2001	31,6	-1,3	16,1	dic-gen-feb		916,4
2002	32,2	2,1	16,2	(dic)-(gen)		1623,2
2003	34,8	0,8	16,5	(dic)-(gen)-(feb)		992,4
2004	33,5	1,2	15,8	(feb)-(mar)		697,8
2005	33,6	-2,3	15,4	(nov)-dic-gen-feb-mar		771,8
2006	33,5	-3,0	16,4	gen-(mar)		836,2
2007	32,1	2,4	16,5			570,8

b. Datos meteorológicos obtenidos en el sitio web de A.R.P.A.L. para el año 2010.

ESTACIÓN GÉNOVA - CENTRO FUNZIONALE (CFUNZ) 30 m.s.l.m.							Longitud: 8° 56' 45.276"		
							Latitud: 44° 24' 1.26"		
Año 2010	Temperatura (°C)						Precipit. (mm/año)	Humedad relativa aire (%)	
	Media máx.	Media mín.	Media	Máxima	Mínima	Ampl. térmica		Máxima	Media
Enero	8,9	3,9	6,1	13,6	0,3	13,3	68,6	100	66
Febrero	11,4	5,4	8,3	17,4	1,5	15,9	143	100	67
Marzo	14,1	8,5	11,3	19,7	2,1	17,6	51,8	100	68
Abril	19,6	12,5	15,8	26,3	8,7	17,6	29,6	97	63
Mayo	20,7	15	17,9	25,8	11,3	14,5	74	100	74
Junio	25,5	18,5	22	31,2	15	16,2	75,8	100	72
Julio	30,3	23,5	26,9	33,7	19,4	14,3	21,2	100	65
Agosto	27,5	21,1	24,2	32,7	17,9	14,8	95	100	72
Septiembre	25,5	17,6	21,4	29,4	12,7	16,7	169	100	68
Octubre	19,9	13,4	16,2	25,7	9,5	16,2	266,6	100	69
Noviembre	15,7	10,6	12,8	23,1	1,8	21,3	133,4	100	76
Diciembre	10,6	4,6	7,3	17,8	-1,8	19,6	124,8	100	68

## Anexo II

### a.

**Calcita:** cristales de grano muy fino o como cristales subidiomorfos de hasta 0.3mm en posición intergranular, crecen siempre en forma de grandes agregados. Formados durante el proceso hidrotermal.

**Clinocloro:** cristales alotriomorfos con colores de interferencia de 1º orden azulados y extinción ondulante. Producto de alteración de la serpentina por entrada de Al, en una etapa coetanea o posterior a la serpentiniación.

**Oxidos de hierro:** cristales subidiomorfos por oxidación del hierro de los minerales ferromagnesianos primarios.

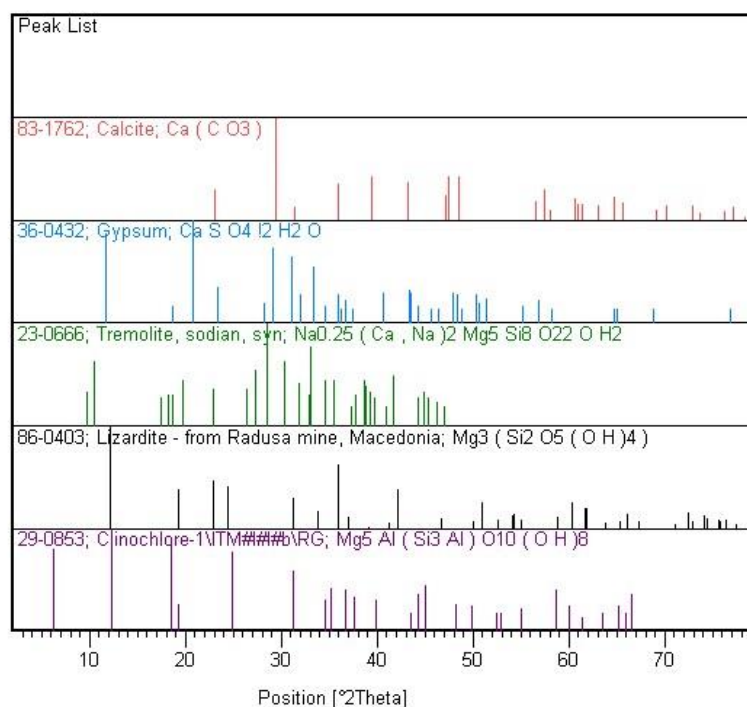
**Serpentina:** producto de serpentización de los piroxenos y olivinos preferentemente, mientras que el anfíbol es más resistente a este proceso y en ocasiones se encuentra serpentizado parcialmente. Se presenta en forma de agregados fibrosos (crisotilo) y como pseudomorfos de hasta 3mm (bastita, variedad de la antigorita). Presenta colores de interferencia de 1º orden.

**Tremolita:** agregados en forma de abanico de cristales tabulares idiomorfos de hasta 0,2mm, también se presenta como cristales criptocristalinos. Con colores de interferencia de 2º orden.

**Yeso:** en forma de agregados aparece rellenando fracturas, en ocasiones con forma de cuña. Presenta una extinción ondulante.

#### b. Análisis del Verde Polcévera mediante XRPD.

El difractómetro utilizado es un difractómetro de polvo modelo PW3710 del Departamento de Ciencias de la Tierra, del Ambiente y de la Vida (DISTAV) de la Universidad de Estudios de Génova, laboratorio de Ciencias Geológicas. Condiciones de medida: muestras desorientadas de polvo (53µm), ánodo Cu; potencia 40KV, 20mA; amplitud del paso [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] 0,0200; posición inicial [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] 2,0100; posición final [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] 79,9900; tiempo entre cada medida [s] 1,0000; software utilizado X'Pert High Score de Panalytical.



### Anexo III

Tabla con los pesos y porcentajes correspondientes a las 15 muestras tomadas mediante el penetrómetro con el adhesivo, posteriormente pesadas con una bascula de precisión modelo Metler AE 163 del Departamento de Ciencias de la Tierra, del Ambiente y de la Vida (DISTAV) de la Universidad de Estudio de Génova, laboratorio de Ciencias Geológicas.

Nº bolsa	Peso llena	Peso vacia	Peso adhes.	P. mat. disgr.	%	% arco
1	1,2810	1,1824	0,0954	0,0032	2,28	28,80
2	1,2424	1,1478	0,0910	0,0036	2,57	
3	1,2322	1,1303	0,0929	0,0090	6,41	
4	1,2456	1,1470	0,0938	0,0048	3,42	
5	1,2762	1,1779	0,0924	0,0059	4,21	
6	1,2373	1,1387	0,0924	0,0062	4,42	44,89
7	1,2667	1,1697	0,0912	0,0058	4,13	
8	1,2510	1,1402	0,0884	0,0224	15,97	
9	1,2128	1,1274	0,0830	0,0024	1,71	
10	1,2428	1,1475	0,0908	0,0045	3,21	
11	1,2455	1,1511	0,0874	0,0070	4,99	26,30
12	1,2368	1,1412	0,0923	0,0033	2,35	
13	1,2681	1,1794	0,0824	0,0063	4,49	
14	1,2378	1,1395	0,0943	0,0040	2,85	
15	1,2348	1,1384	0,0928	0,0036	2,57	

### Anexo IV

#### Fichas descripción fotos y composición SEM-EDS

El SEM-EDS utilizado es el modelo Tescan Vega 3 LM del Departamento de Ciencias de la Tierra, del Ambiente y de la Vida (DISTAV) de la Universidad de Estudio de Génova, laboratorio de Ciencias Geológicas. Condiciones de medida: potencia 20Kv, SEM MAG 1,20kx; WD 15,40mm; view field 241µm; det BSE+SE.

#### Arco 23\_3(E)

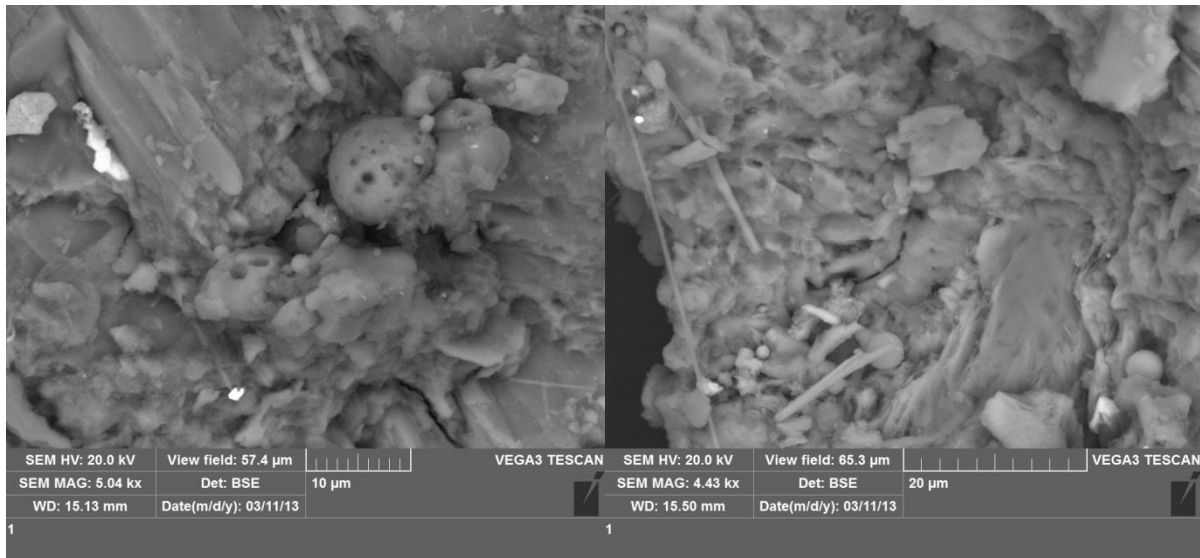
4 partículas esféricas porosas aluminiosilicatadas de 7 a 10µm (foto izda.).

11 partículas esféricas no porosas aluminiosilicatadas de 2µm y 2 de 5µm (foto dcha.).

1 partícula subesférica redondeada porosa aluminiosilicatada de 30µm.

Calcita con escamación en la superficie.

Cristales de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) tabulares subidiomorfos-idiomorfos de hasta 20µm y media 15µm.



### Arco 19\_2(CE)

1 partícula esférica compuesta por muchos cristales agregados aluminosilicatados, con presencia de K de 50  $\mu\text{m}$  (foto izda.).

1 partícula esférica porosa silicatada de 25 $\mu\text{m}$ .

1 agregado poroso de partículas, óxido Pb-P-Ca de 10 $\mu\text{m}$ .

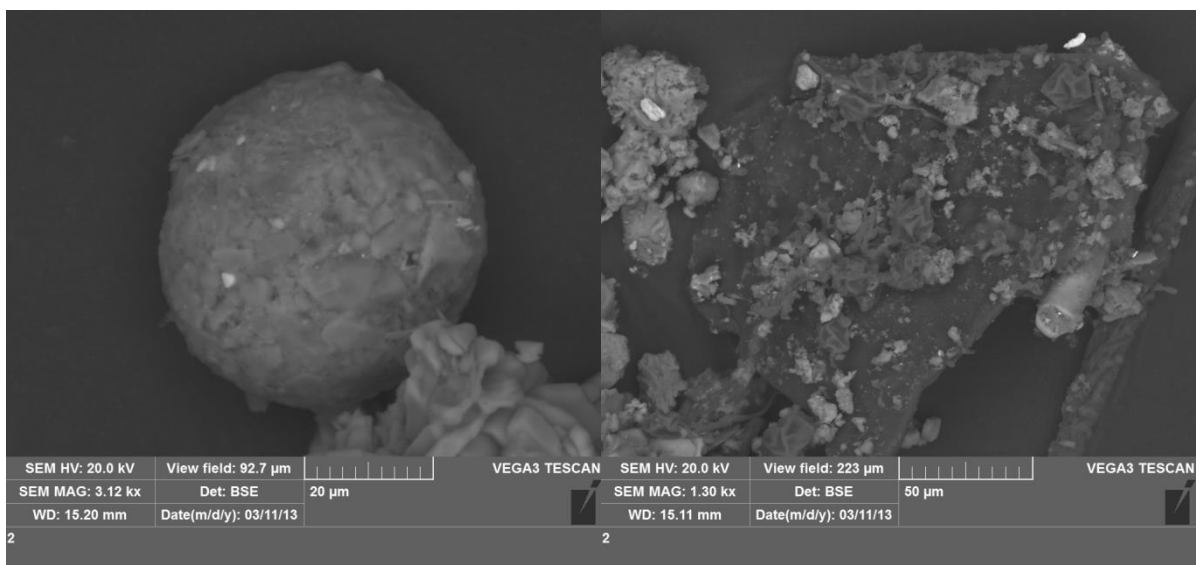
1 agregado poroso de partículas muy rico en Cr de 6 $\mu\text{m}$ .

1 agregado de cristales subidiomorfos de sulfato de bario de 10 $\mu\text{m}$ .

Cristales de yeso tabulares subidiomorfos-idiomorfos de hasta 20 $\mu\text{m}$  y media 15 $\mu\text{m}$ . También con morfología amorfa rellenando huecos.

2 óxidos de hierro subidiomorfos de entre 10 y 20 $\mu\text{m}$ .

Restos microbiológicos y bacterias de 5 $\mu\text{m}$  (foto dcha.).



**Arco 14\_7(C)**

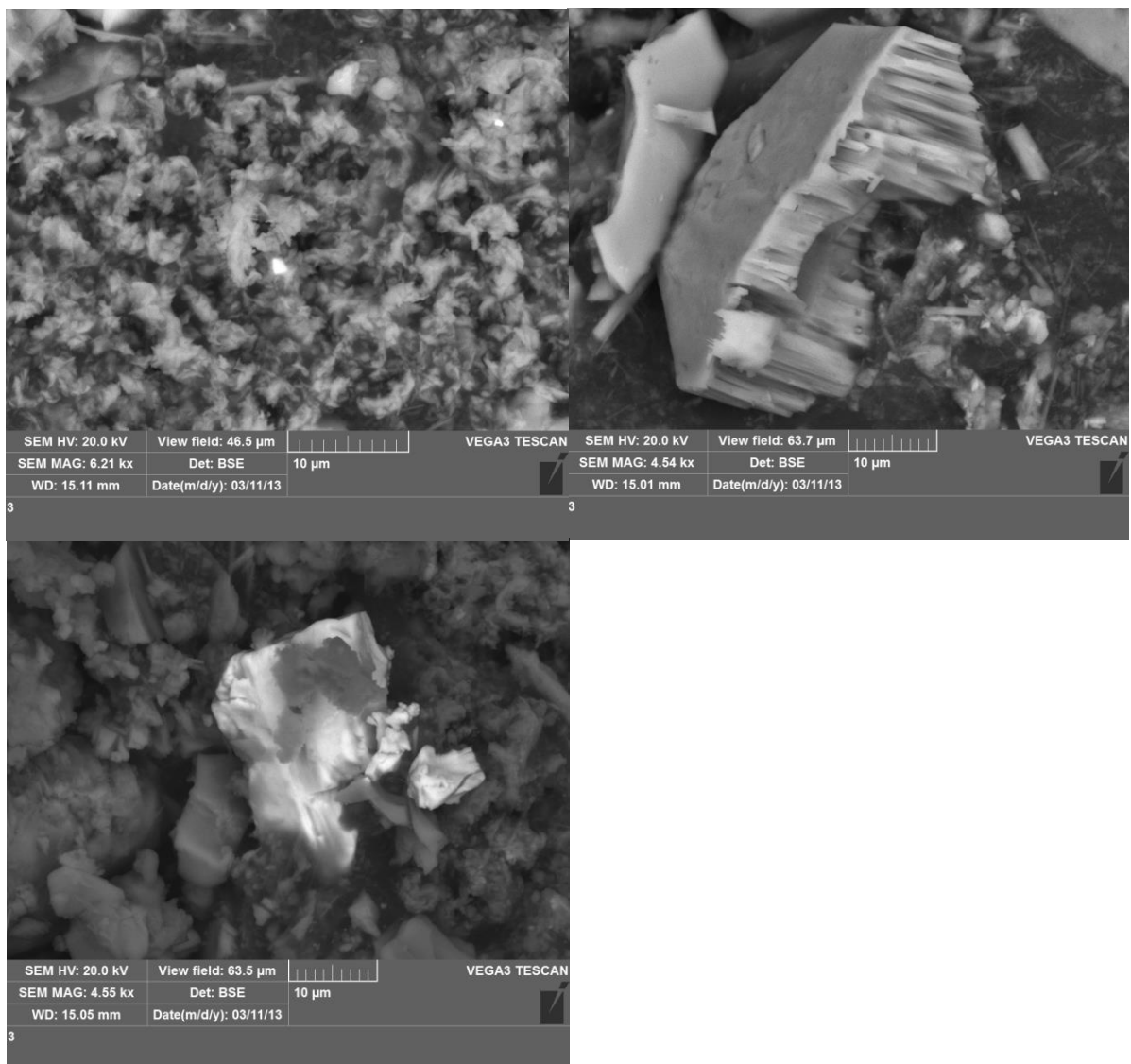
Cristal idiomorfo de calcita fracturado y afectado por disolución, con un tamaño de 45  $\mu\text{m}$  (foto dcha.).

Cristal subidiomorfo fracturado de sulfato de bario de 25  $\mu\text{m}$  (foto inferior dcha.).

Óxido de hierro alotriomorfo de 80  $\mu\text{m}$ .

Agregados cristalinos aciculares de Thenardita ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Cristales de 1  $\mu\text{m}$ , sin disolución importante (foto izda.).

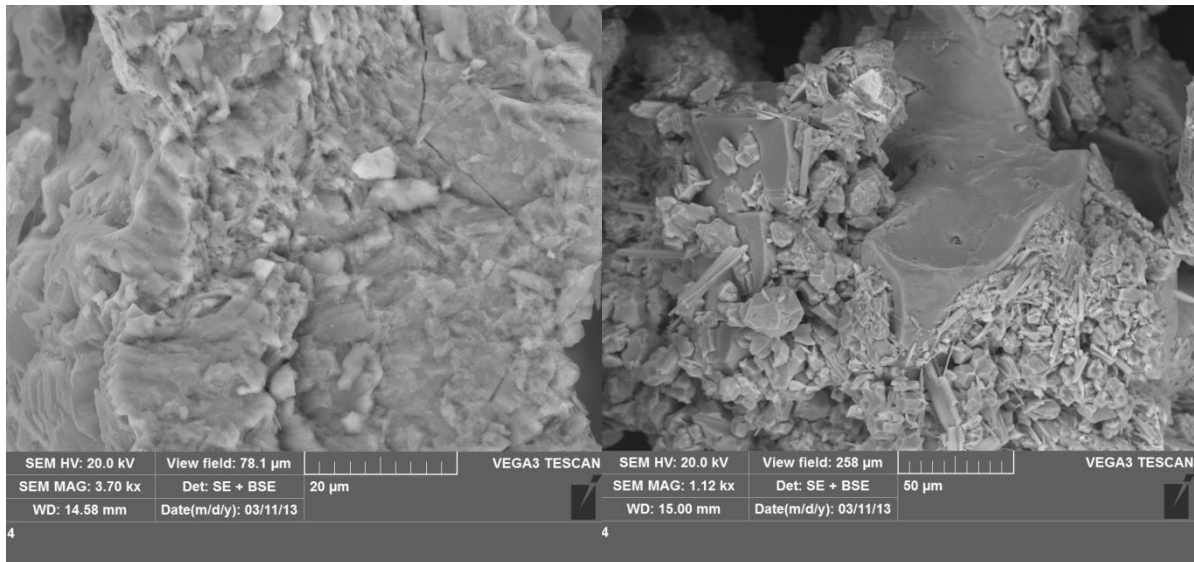
Cristales de yeso tabulares subidiomorfos-idiomorfos de hasta 20  $\mu\text{m}$  y media 15  $\mu\text{m}$ .



### Arco 14\_5(C)

Calcita con importantes signos de corrosión y escamación (foto izda.).

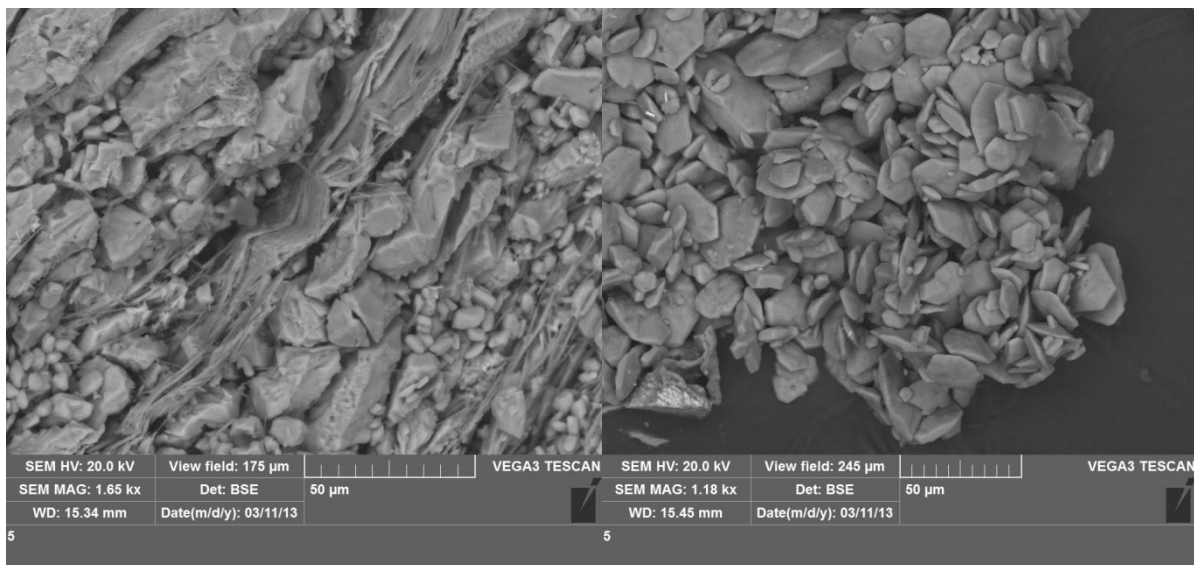
Cristales de yeso subidiomorfos-idiomorfos de hasta 40  $\mu\text{m}$  y media 25 $\mu\text{m}$ . También formando masas alotriomorfas de casi 200 $\mu\text{m}$  (foto dcha.).



### Arco 14\_3(C)

Calcita con elevado grado de fracturación y signos de corrosión (foto izda.).

Cristales de yeso subidiomorfos de hasta 10 $\mu\text{m}$ . También creciendo hacia las zonas externas de los cristales de yeso anteriores en forma de rosa del desierto con cristales aplanados de hasta 30 $\mu\text{m}$  (foto dcha.).



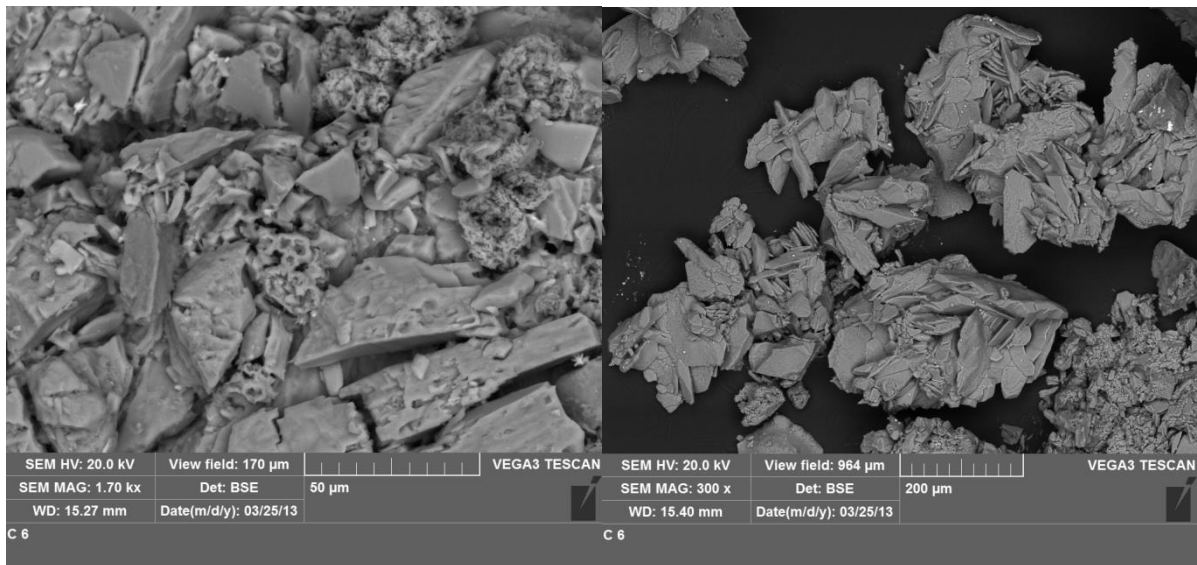


### Arco 13\_7(C)

Calcita con elevado grado de fracturación y signos importantes de corrosión (foto izda)

Agregados concéntricos cristalinos de thenardita con elevado grado de disolución. Tamaño de los agregados entre 10 y 20µm (foto izda.).

Cristales de yeso subidiomorfos de hasta 10µm. También con morfología aplanada sin llegar a ser rosa del desierto, tamaño hasta 150µm, media 100µm (foto dcha.).



### Arco 13\_5(C)

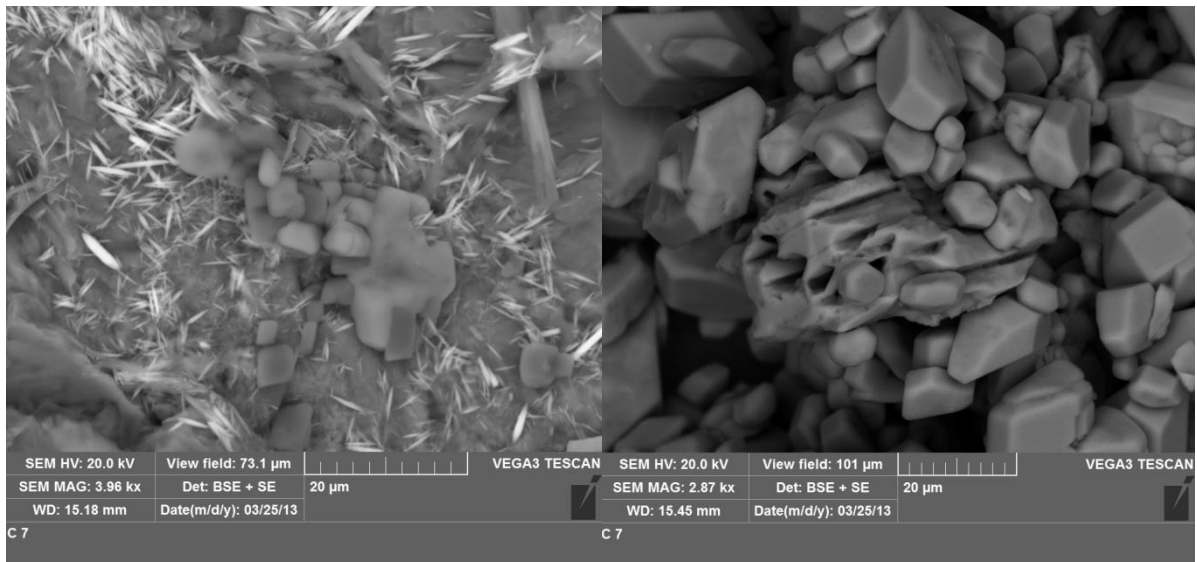
Agregados de cristales alotriomorfos silicatados ricos en K. Tamaño 6µm. Los bordes se encuentran redondeados debido aparentemente a disolución (foto izda).

Aglomerado de cristales de hálita (NaCl) parcialmente disueltos. Tamaño 20µm.

Agregado de cristales aciculares de sulfato de estroncio de 6 a 10µm (foto izda.).

Cristales de yeso tabulares subidiomorfos-idiomorfos de hasta 20µm y media 15µm (foto dcha.).

Calcita fracturada a favor de los planos cristalográficos XY, con importantes signos de disolución (foto dcha.).



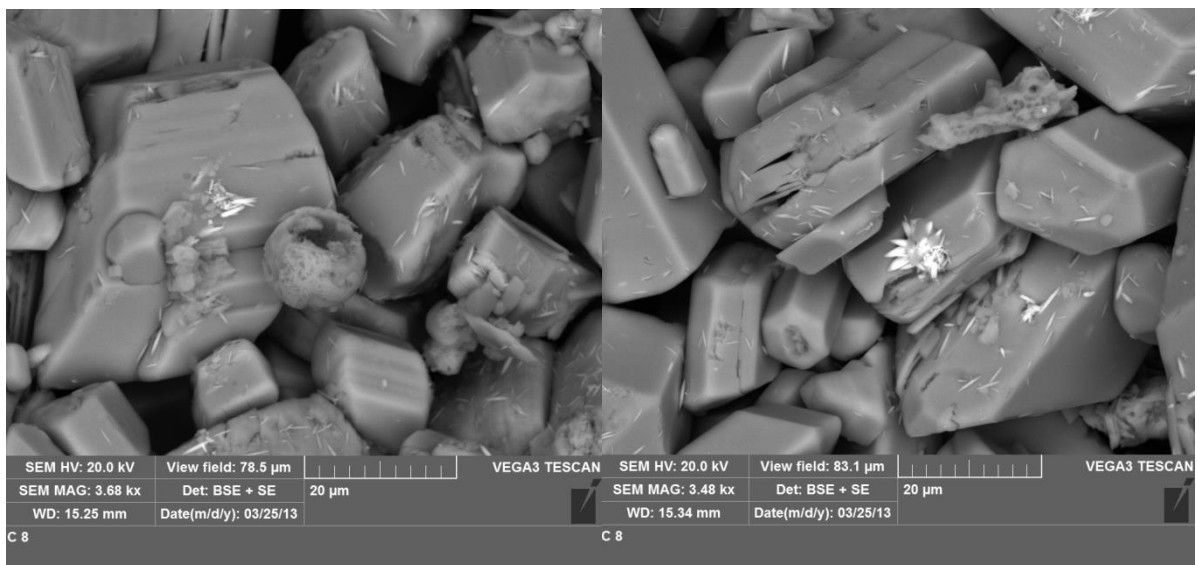
### Arco 13\_3(C)

1 partícula esférica porosa aluminosilicatada de  $12\mu\text{m}$ . Presenta disolución importante. También un resto seguramente de otra esfera casi totalmente disuelta (foto izda.).

Agregado estrellado de cristales aciculares de sulfato de estroncio de  $10\mu\text{m}$  (foto dcha.).

Calcita fracturada a favor de los planos cristalográficos XY y disolución (foto dcha.).

Cristales de yeso tabulares subidiomorfos-idiomorfos de  $40\mu\text{m}$  de media.



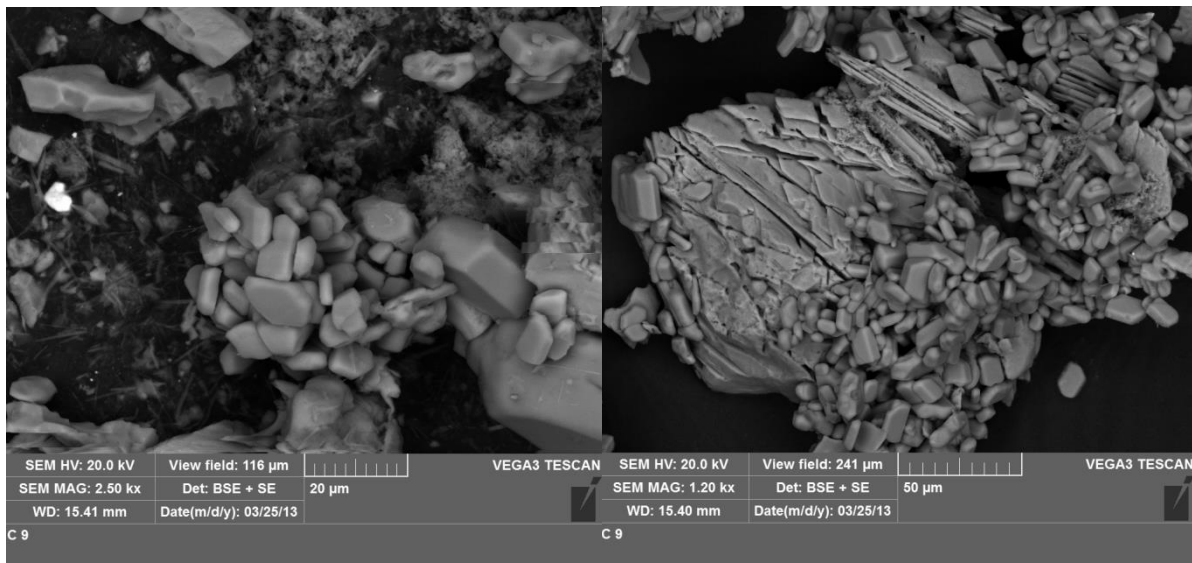
### Arco 12\_7(C)

Partícula subidiomorfa de sulfato de bario de 5µm.

Agregados de cristales alotriomorfos de thenardita, cristales de 1µm, con baja disolución (foto izda.).

Calcita fracturada en forma de escamas rombohédricas a favor de sus planos cristalográficos con una disolución incipiente (foto dcha.).

Cristales de yeso tabulares subidiomorfos-idiomorfos de hasta 20µm y media 15µm. En asociación a la calcita.



### Arco 12\_5(C)

Óxido de hierro alotriomorfo de 150µm.

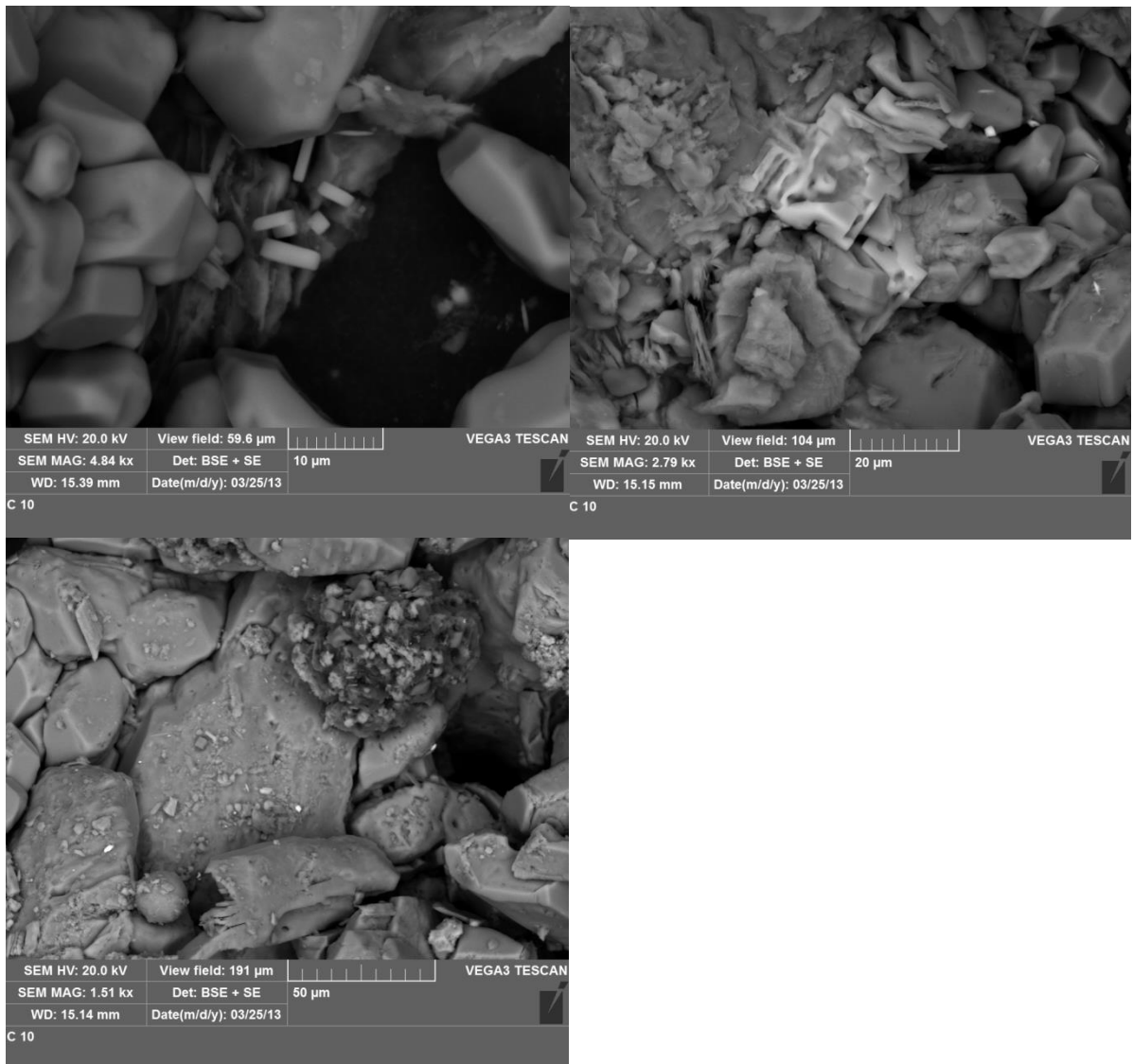
Cristales de hálita (NaCl) tabulares idiomorfos de 6µm (foto izda.), también formando cristales de hasta 25µm con importante disolución (foto dcha.).

2 agregados esféricos porosos ricos en C recubierto por sales de 60µm (foto inferior dcha.).

Partícula esférica no porosa aluminosilicatada de 17µm (foto dcha.).

Calcita fracturada con síntomas de corrosión.

Cristales de yeso tabulares subidiomorfos de 20µm.



### Arco 12\_3(C)

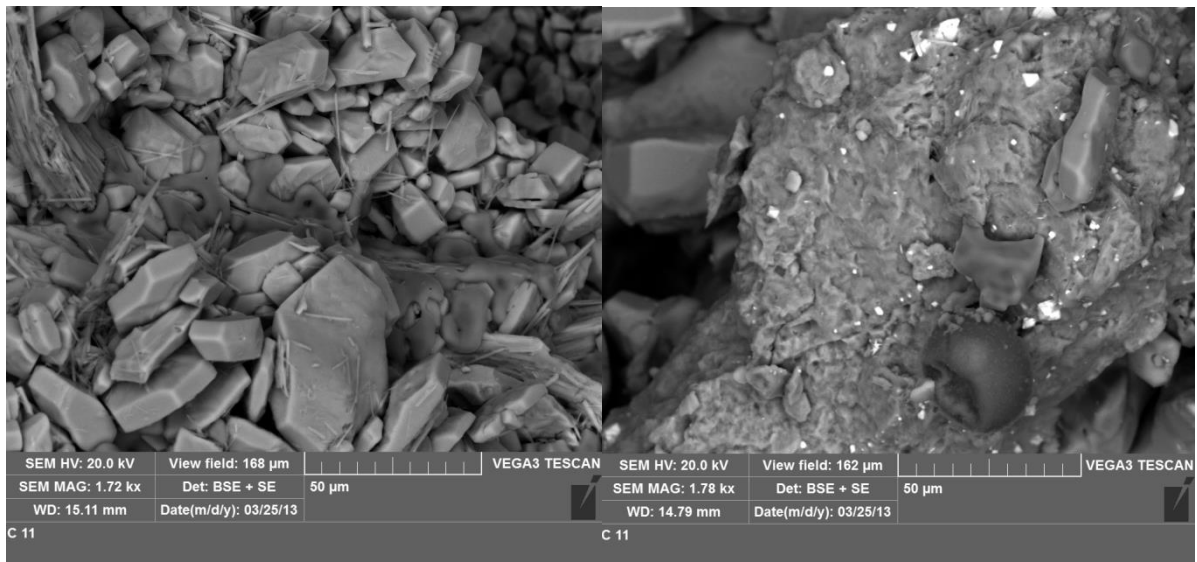
Sustancia amorfa silicatada en forma de gel rica en Na que rellena los espacios intergranulares (foto izda.).

2 partículas esféricas porosas aluminiosilicatadas de 40 $\mu\text{m}$  y otra con elevado grado de disolución de 25 $\mu\text{m}$ .

Partícula esférica no porosa rica en Fe-Mn de 8 $\mu\text{m}$ .

Cristales de yeso tabulares suidiomorfo-idiomorfo de 25 $\mu\text{m}$ .

Resto microbiológico, que podría ser una bacteria muerta de 30 $\mu\text{m}$  (foto dcha.).

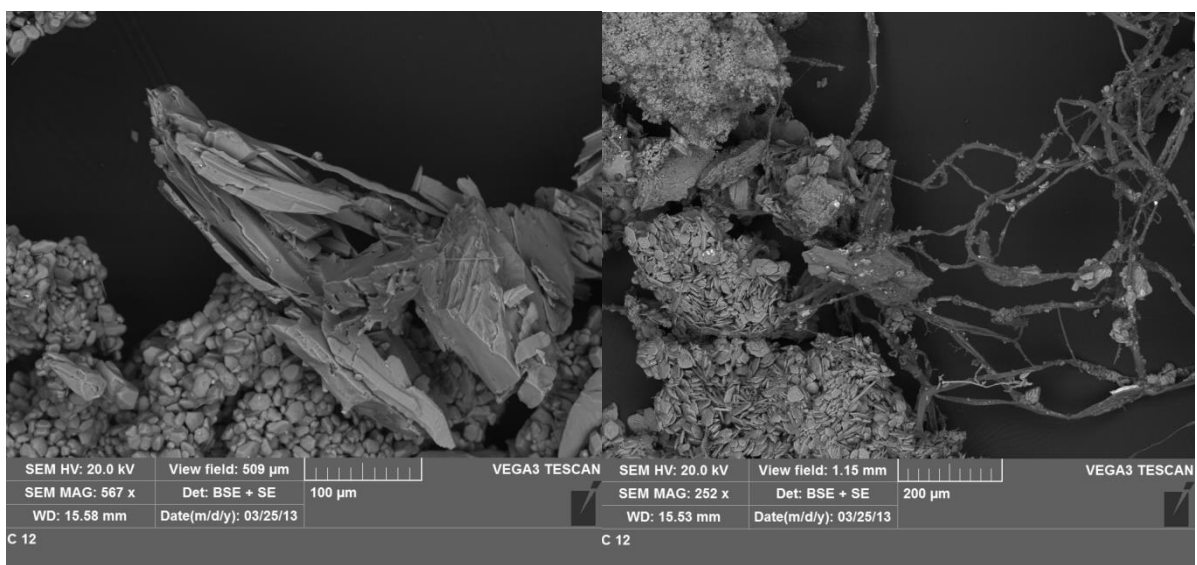


### Arco 10\_2(CW)

Calcita con importante estado de disolución (foto izda.).

Cristales de yeso tabulares idiomorfos-subidiomorfos de 20 $\mu$ m, que hacia las partes laterales inician a desarrollar un crecimiento tipo rosa del desierto con cristales aplanados de hasta 40 $\mu$ m (foto dcha.).

Filamentos fúngicos y bacterias de 30 $\mu$ m (foto decha.).





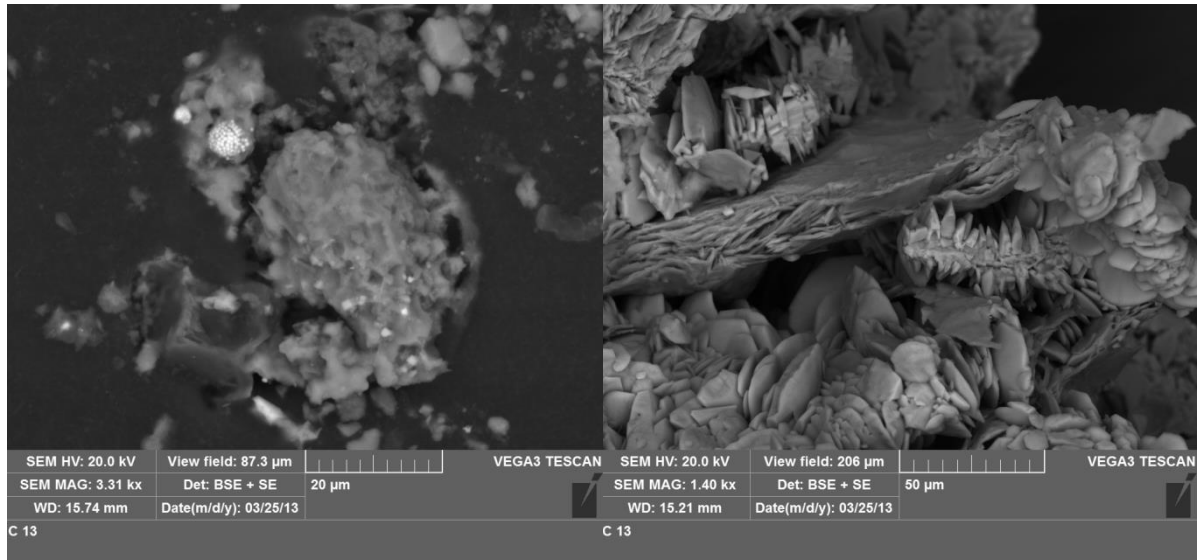
### Arco 7\_2(CW)

Partículas esféricas porosas aluminosilicatadas de  $7\mu\text{m}$ .

Agregado esférico poroso rico en C de  $40\mu\text{m}$ .

Partícula esférica aluminosilicatada rica en S y Fe de  $7\mu\text{m}$  (foto izda.).

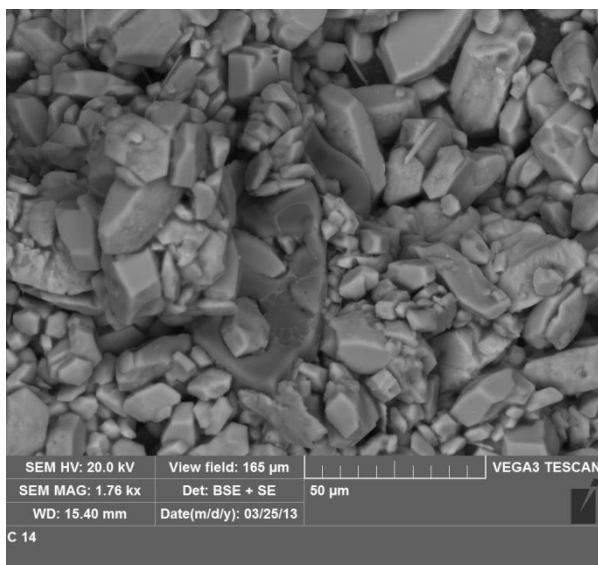
Cristales de yeso aplanados de  $40\mu\text{m}$  con un crecimiento tipo rosa del desierto muy bien desarrollado. Los cristales presentan importante estado de disolución (foto dcha.).



### Arco 2\_2(W)

Sustancia amorfa silicatada en forma de gel rica en Na que rellena los espacios intergranulares.

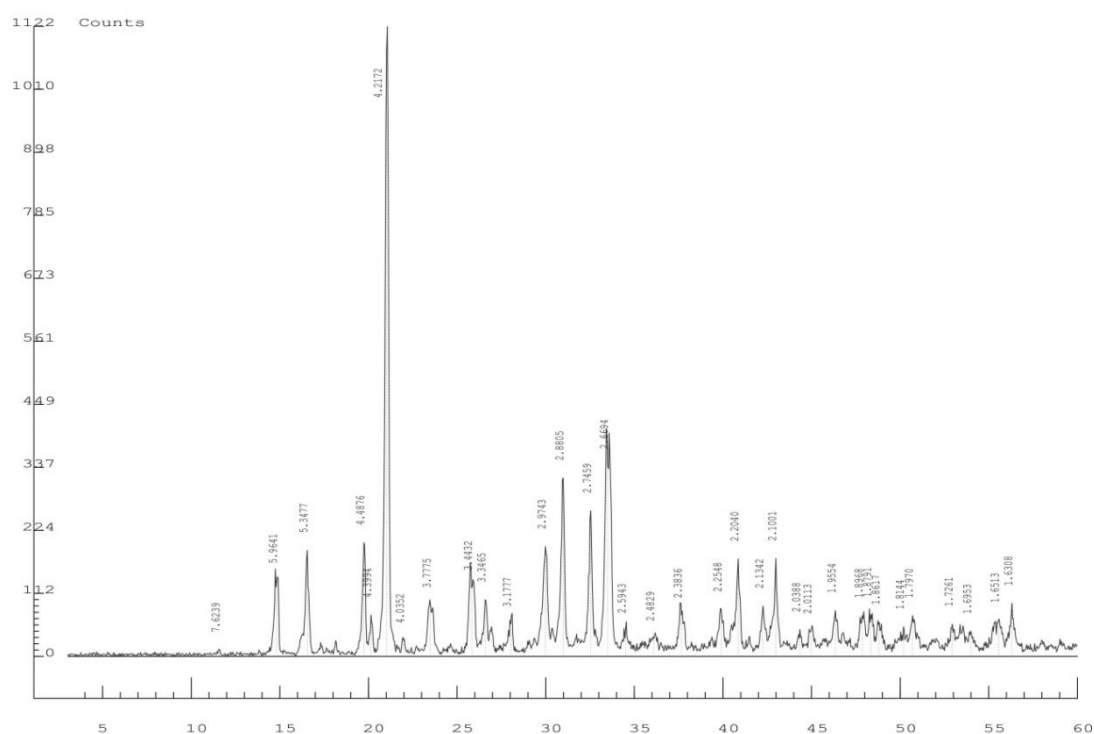
Cristales de yeso tabulares subidiomorfos-idiomorfos de hasta  $20\mu\text{m}$  y media  $15\mu\text{m}$ .



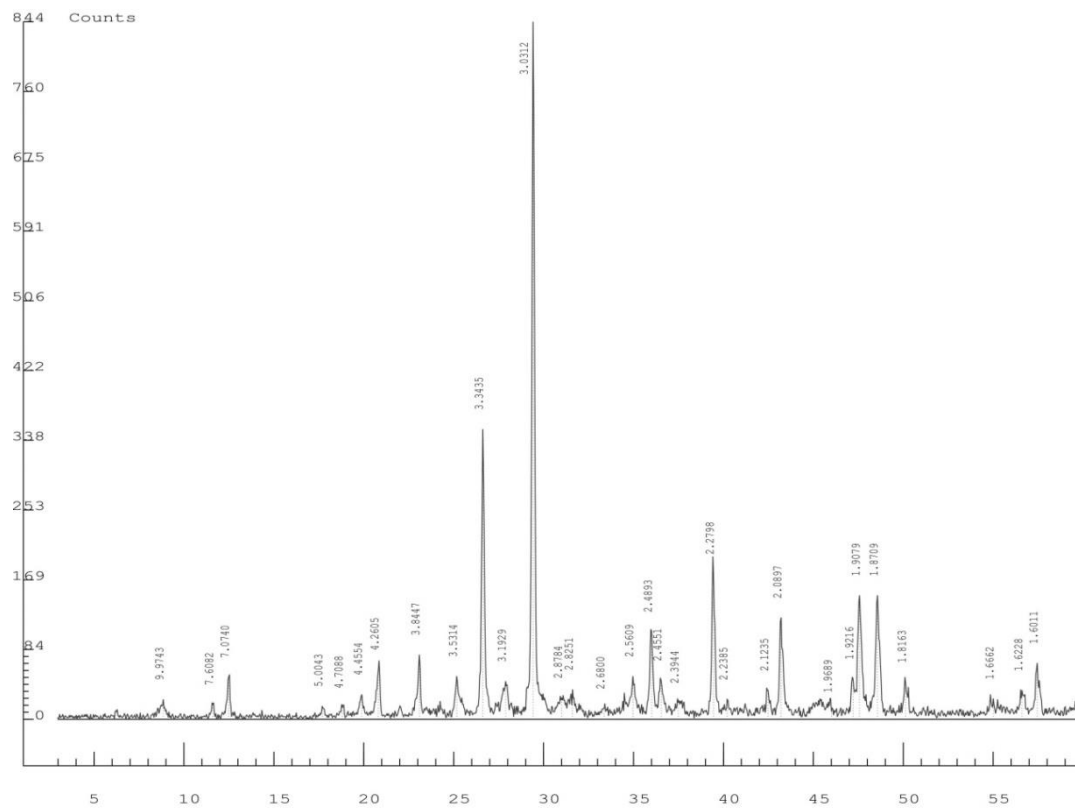
## Anexo V

El difractómetro utilizado es un difractómetro de polvo modelo Philips PN1729 del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza, laboratorio de mineralogía. Condiciones de medida: muestras desorientadas de polvo (53µm), ánodo Cu; potencia 40KV, 20mA; posición inicial [ $^{\circ}$ 2Th.] 3°; posición final [ $^{\circ}$ 2Th.] 60°; tiempo de paso [s] 0,5000; velocidad barrido [ $^{\circ}$ 2Th/s] 0,08; software utilizado X'Powder. Para interpretar los resultados se ha utilizado el libro Selected powder diffraction data for Minerals (Smith et al. 1974).

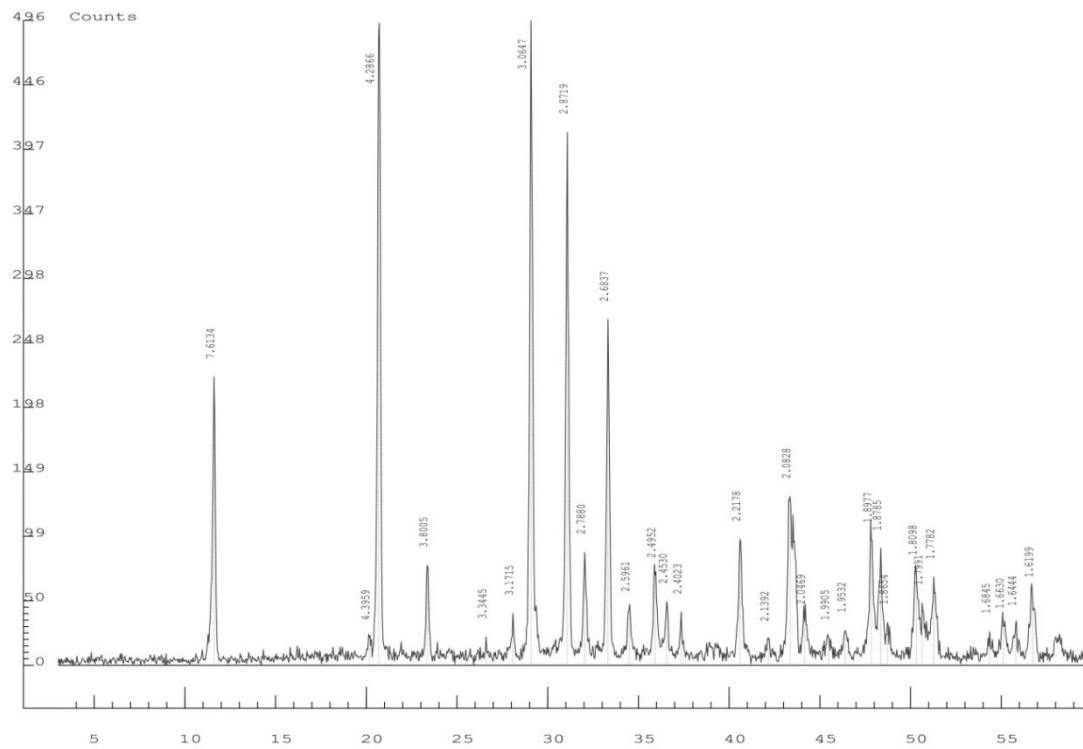
### a. Subeflorescencia salina en los ladrillos de la lastra 9\_125(/).



**b.** Capa de arcilla negra usada como mortero, tomada en la lastra 7\_97(1907).



**c.** Costra esférica de yeso tomada en la lastra 21\_281(/).



## Anexo VI

Datos tomados de la publicación Valutazione annuale della qualità dell'aria 2011 (A.R.P.A.L.), para la ciudad de Génova.

Contaminantes en el aire (2011)	µg/m3
NO <sub>2</sub>	74
SO <sub>2</sub>	11
CO	3,1
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	4
PM10	24
PM2,5	22
As	0,5
Cd	0,4
Ni	8,2
Pb	0,01

## 13. Bibliografía

ALLASINAZ A., GELATI R., GNACCOLINI M., MARTINIS B., OROMBELLI G., PASQUARÈ G., ROSSI P.M. (1971). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 92 - Genova. *Servizio Geologico d'Italia, Roma*, pp. 134.

A.R.P.A.L. Datos meteorológicos:

<http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraQualMeteo/script/PubAccessoDatiMeteo.asp>

A.R.P.A.L. (2013). Carte Geologiche sc. 1:10000 riferite al Foglio 213 Genova.

[http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraWebGis/IndiceCarte.asp?idCanale=Geologia:%20Carte%20geologiche&cod\\_repertorio=03&modalita=LIGHT&ambiente=I&utente=&ruolo=](http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraWebGis/IndiceCarte.asp?idCanale=Geologia:%20Carte%20geologiche&cod_repertorio=03&modalita=LIGHT&ambiente=I&utente=&ruolo=)

A.R.P.A.L. (2011). Dipartimento Ambiente, Settore Valutazione di Impatto Ambientale, Aria e Clima. Valutazione annuale della qualità dell'aria, anno 2011.

BUGINI R., FOLLI L.(2008). Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei. *Lezioni di petrografia applicata*. Consulta 16/07/2013.

<http://www.icvbc.cnr.it/didattica/petrografia/11.htm>

- CARDELL FERNÁNDEZ C. (2003). Cristalización de sales en calcarenitas: aplicación al monasterio de San Jerónimo. *Tesis doctoral, Dpto. de Petrología y Mineralogía Univ. de Granada*.
- CIMMINO F., FACCINI F. ED ROBBIANO A. (2003) Stones and coloured marbles of Liguria in historical monuments. *Periodico di Mineralogia*, **73**, pp. 71-84.
- CHABAS A., JEANNETTE D. (2001) Weathering of marbles and granites in marine environment: petrophysical properties and special role of atmospheric salts. *Environmental Geology* **40 (3)**, pp. 359-368.
- DEL MONTE M, SABBIONI C. (1984) Gypsum Crusts and Fly Ash Particles on Carbonatic Outcrops. *Arch. Met. Geoph. Bioc., Ser. B* **35**, pp. 105-111.
- DI CEGLIA F. (2013). Comunicación personal. Departamento de geología Agenzia Regionale per la protezione dell'ambiente Ligure (A.R.P.A.L.).
- ELCOMETER. Prueba de adhesión por arranque, estándares internacionales ISO 16276-1, ISO 4624, ASTM D 4541, and NF T30-606.  
<http://www.mli.com.mx/catalogo/Adherencia.pdf> y <http://www.paint-test-equipment.co.uk/index.php?id=7>
- GAGGERO L. (2007). Materiali litici e metalli in Liguria: natura, impieghi e storia. *La Berio*, pp. 50-55.
- GISBERT J., MARÍN C. (2001). Contaminación atmosférica y deterioro de monumentos. *I Jornadas de Caracterización y Restauración de Materiales Pétreos en Arquitectura, Escultura y Restauración.. Bloque V*, pp. 275-285.
- GISBERT J. (2001). Las humedades y el deterioro de la fábrica petrea. *I Jornadas de Caracterización y Restauración de Materiales Pétreos en Arquitectura, Escultura y Restauración. Bolque V*, pp. 207-226.
- GISBERT J. (2013). Comunicación personal. Profesor de la Univerdad de Zaragoza, departamento de petrografía.
- HEINRICHS K., FITZNER B. (2010). Assessment of weathering damage on the Petroglyphs of Cheonjeon-ri, Ulsan, Republic of Korea. *Springer-Verlag Vol. 63*, pp. 1747-1751.



LANDI D. (2008). Fattori di alterazione dei materiali lapidei nel sito del Cimitero Monumentale di Staglieno. *Tesi di laurea magistrale in metodologie per la conservazione ed il restauro dei beni culturali*.

LÓPEZ V., VIEDMA C., GONZÁLEZ A., LA IGLESIA A. (1997). Salt crystallization in porous materials II. Mass transport and crystallization processes. *Journal of Crystal Growth*. **182**, pp. 103-110.

MARÍN C. (2001). Estudios Integrales del Monumento. *I Jornadas de Caracterización y Restauración de Materiales Pétreos en Arquitectura, Escultura y Restauración..* Bloque **VI**, pp. 289-295.

ORDAZ J., ESBERT R.M. (1988) Glosario de términos relacionados con el deterioro de las piedras de construcción. *Materiales de construcción* Vol. **38**, nº **209**.

PAMPOLINI F. (2006). Breve istoria del tram a Genova. Genova in tram. *De Ferrari*. Consulta 17/10/2013. [http://www.mondotram.it/un\\_tram\\_per\\_genova/13.htm](http://www.mondotram.it/un_tram_per_genova/13.htm)

PIERI (1964). Petrografía, análisis químico y propiedades físico-mecánicas Verde Polcévera. Consulta: 10/04/2013. Webmaster: GRUPPINO A. <http://www.italithos.uniroma3.it/scheda1.php?ID=8>

REMÓN A., MATEOS I., FRANCO B., GRACIA M. P. (2001). Biodeterioro. *I Jornadas de Caracterización y Restauración de Materiales Pétreos en Arquitectura, Escultura y Restauración*. Bloque **VI**, pp. 265-274.

SCRIVANO S. (2011). Fenomeni di degrado delle pietre naturali: casi di studio da differenti contesti di esposizione ambientale e conservazione. *Tesi di laurea magistrale in metodologie per la conservazione ed il restauro dei beni culturali*.

SMITH D. K., MROSE M. E., BERRY L.G., BAYLISS P. (1974). Selected powder diffraction data for Minerals. *Data book*, 1º edición.

STAVROS, KOURKOULIS K.(2006) Fracture and Failure of Natural Building Stones, *Springer*, pp. 291-295.

TOMASELLI A., SPINETTI L., DE ANTONI F., ET AL. (2009). Piano di bacino stralcio sul bilancio idrico, Il bacino del Torrente Bisagno.