

ESTUDIO SOBRE LA EFICIENCIA DE CONSOLIDANTES  
ORGANOSILÍCEOS PARA LA CONSERVACIÓN IN SITU  
DE PAVIMENTOS CERÁMICOS REALIZADOS  
A BAJA COCCIÓN



Alumna:  
Olga M<sup>a</sup> Medina Lorente

Tutoras:  
Begoña Carrascosa Moliner  
Teresa Doménech Carbó

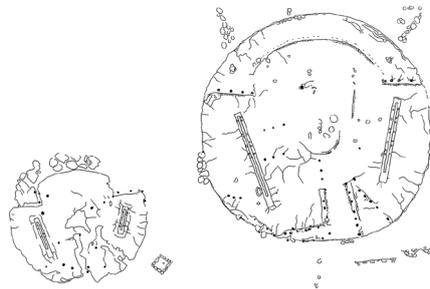


UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA





**ESTUDIO SOBRE LA EFICIENCIA DE CONSOLIDANTES  
ORGANOSILÍCEOS PARA LA CONSERVACIÓN IN SITU  
DE PAVIMENTOS CERÁMICOS REALIZADOS  
A BAJA COCCIÓN**



ALUMNA:

Olga M<sup>a</sup> Medina Lorente

TUTORAS:

Begoña Carrascosa Moliner

Teresa Doménech Carbó



## RESUMEN

En el Parque Arqueológico de Cochasquí, Ecuador se encuentra un asentamiento constructivo correspondiente a la cultura de los Quitu-Cara, anterior a la conquista Inca, este sitio está formado por 15 pirámides truncas y 21 tolas funerarias.

La presente investigación y estudio concierne en la búsqueda de productos consolidantes con el propósito de ejecutar una intervención conservativa sobre las plataformas ceremoniales de barro cocido, situadas en la cúspide de la Pirámide nº13.

Dicha investigación está enfocada tanto en la búsqueda de documentación histórica del sitio como en la indagación de productos consolidantes de naturaleza organosilicea aplicados en material cerámico y pétreo. De este estudio se seleccionaron dos consolidantes comerciales a base de silicato de etilo, para realizar un estudio comparativo entre fragmentos consolidados con los productos Estel 1100 (silicato de etilo y siloxanos oligoméricos) de la casa CTS y Silres BS OH 100 (silicato de etilo) combinado con Silres BS 290 (silano/siloxano) de la casa Wacker Chemie y fragmentos sin consolidar. Para posteriormente someterlos a una serie de estudios físico-químicos tales como Microscopía Óptica y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), realizar un estudio químico-mineralógico mediante SEM combinado con microanálisis de rayos X (SEM/EDX), Espectroscopía FT-IR, evaluación del comportamiento hídrico, para posteriormente someterlas a un envejecimiento acelerado con el fin de evaluar el cálculo de porosidad real y aparente de las muestras tratadas y sin tratar, así como la evaporación de secado de las mismas. Todo ello apoyado de estudios colorimétricos, con la finalidad de validar la eficiencia con el material cerámico y el entorno que rodea a estas manifestaciones.



## INDICE

I.- INTRODUCCIÓN.....	9
II.- OBJETIVOS.....	11
III.- METODOLOGÍA.....	13
<b>IV.- DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
1.- <u>ESTUDIO HISTÓRICO-DOCUMENTAL</u>	
1.1.- El Reino de Quito y la Cultura Quitú-Cara.....	15
1.2.- El Parque Arqueológico de Cochasquí.....	16
1.2.1.- Las plataformas cerámicas de la Pirámide nº 13.....	20
1.2.1.1.- La excavación arqueológica.....	20
1.2.1.2.- Hipótesis sobre el uso de las plataformas.....	22
cerámicas	
1.2.1.3.- Estado de conservación de las plataformas.....	22
cerámicas	
2.- <u>ESTUDIO CIENTÍFICO-DOCUMENTAL</u>	
2.1.- Geología del lugar.....	25
2.2.- Localización y extracción de muestras.....	26
2.3.- Tipos de consolidantes empleados en cerámica arqueológica.....	27
2.4.- Selección del consolidante.....	34
3.- <u>ESTUDIO FÍSICO-QUÍMICO Y COLORIMÉTRICO</u>	
3.1.- Estudios físico-químicos en laboratorio.....	36
3.1.1.- Aplicación de los tratamientos.....	36
3.1.2.- Muestras.....	37
3.1.3.- Metodología.....	39
3.1.4.- Instrumentación:.....	40
- Microscopía óptica (MO).....	40
- Análisis cualitativo de sales solubles.....	40
- Microscopía Electrónica de Barrido/ Microanálisis.....	41
de Rayos X (SEM/EDX).	
- Espectrometría Infrarroja por Transformada.....	41
de Fourier.	
- Durabilidad. Ensayos de envejecimiento acelerado.....	42

- Cálculo de la porosidad. Densidad aparente y densidad real.	42
- Ensayos de velocidad de secado.	43
3.1.5.- Resultados y discusión:	44
- Estudio morfológico mediante Microscopía Óptica y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).	44
- Análisis cualitativo de sales solubles.	47
- Estudio químico-mineralógico mediante SEM/EDX.	47
- Estudio químico-mineralógico mediante Espectroscopía FT-IR.	49
- Evaluación del comportamiento hídrico.	52
- Resistencia a la alteración. Ensayos de alteración acelerada.	55
- Cálculo de la porosidad. Densidad aparente y densidad real	56
- Ensayos de velocidad de secado.	56
3.2.- Estudios colorimétricos.	57
3.2.1.- Espacios cromáticos.	57
3.2.2.- Aspectos técnicos.	57
3.2.3.- Ensayos de las muestras M-1100 y M-S290.	58
3.2.3.1.- Valores colorimétricos.	58
3.2.3.2.- Cambios cromáticos experimentados.	58
<b>V.- CONCLUSIONES FINALES DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>60</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>63</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO - 1.2.1.4.-Hipótesis sobre la cocción de las plataformas cerámicas.</b>	<b>71</b>

## I.- INTRODUCCIÓN.

En el Parque Arqueológico de Cochasquí se encuentra una de las evidencias arqueológicas de los Quitu-cara una de las últimas culturas que luchó contra la conquista de los Incas. Considerado como el “Machu Pichu ecuatoriano”, el Parque alberga 15 pirámides trucas y 21 montículos funerarios, entre las que destaca la Pirámide n<sup>o</sup> 13 donde se hayan dos plataformas cerámicas circulares para un hipotético uso astronómico.

El estudio reflejado en esta investigación muestra la indagación y los análisis realizados sobre consolidantes empleados en material cerámico arqueológico, y de la compatibilidad de los mismos con las estructuras cerámicas de las plataformas y de su adecuación al entorno climático donde se encuentran. Iniciándonos a través del estudio histórico del sitio arqueológico e incidiendo en las plataformas circulares de la Pirámide n<sup>o</sup>13 y su estado de conservación.

Partiendo de la recopilación de publicaciones referentes al tema de la consolidación en material cerámico o material pétreo, y valorizando sus experiencias y estudios independientes. Bajo el marco del proyecto “Cooperación al desarrollo cultura y formativo para la conservación de las Pirámides preincáicas de Cochasquí, Ecuador” ha sido llevado a cabo una serie de análisis para el estudio morfológico de los fragmentos y determinación de sales. Posteriormente un estudio comparativo entre fragmentos consolidados con los productos Estel 1100 (silicato de etilo + siloxanos oligoméricos) de CTS y Silres BS OH 100 (silicato de etilo) combinado con Silres BS 290 (silano/siloxano) de Wacker Chemie, en proporción 1:10 en White Spirit y fragmentos sin consolidar. Dicho estudio fue realizado mediante Microscopía Óptica (MO) y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), así como un estudio químico-mineralógico mediante SEM combinado con microanálisis de rayos x (SEM/EDX) para determinar la penetrabilidad de los productos a seleccionar. También fue realizado un estudio de los fragmentos consolidados mediante espectroscopía FT-IR, así como la correspondiente evaluación del comportamiento hídrico de las muestras tratadas con dichos consolidantes y muestras cerámicas sin tratar. Posteriormente, los fragmentos fueron sometidos a varios estudios científicos, tales como; envejecimiento acelerado y cálculo de porosidad, tanto en densidad aparente como en densidad real de las muestras tratadas así como la estimación de velocidad de secado con la finalidad de profundizar en el conocimiento de la conservación y estabilidad de estas estructuras a largo plazo tras el tratamiento realizado.



## II.- OBJETIVOS

El objetivo fundamental de estos estudios analíticos es el de asegurar la conservación de la materia cerámica que conforman las plataformas circulares pertenecientes a la Pirámide nº13, seleccionando el consolidante más afín a su composición y situación ambiental.

Para ello se considera fundamental:

1- Los datos históricos del emplazamiento y posibles intervenciones sobre las plataformas, para ello se recopilará la mayor documentación al respecto.

2- La toma de muestras de las plataformas; fragmentos desprendidos o descontextualizados, para someterlas posteriormente a la acción de diferentes consolidantes.

3- Seleccionar el producto que aporte la mayor idoneidad con las superficies, a través de la búsqueda bibliográfica de los diferentes consolidantes utilizados en material cerámico.

4- La realización de ensayos en laboratorio y estudios colorimétricos, para evaluar en profundidad la compatibilidad del producto consolidante con el material cerámico. Con tal propósito, los fragmentos consolidados y no consolidados serán sometidos a estudios físico-químicos como Microscopía Óptica y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), SEM combinado con microanálisis de rayos X (SEM/EDX), Espectroscopía FT-IR, también se evaluará el comportamiento hídrico, para posteriormente someterlas a un envejecimiento acelerado con el fin de evaluar el cálculo de porosidad real y aparente de las muestras tratadas y sin tratar, así como la evaporación de secado de las mismas.

5.- Establecer conclusiones.



### III.- METODOLOGÍA

Los objetivos se pretenden alcanzar realizando primeramente una búsqueda bibliográfica sobre documentación existente que concierne al Parque Arqueológico de Cochasquí, en particular a las plataformas cerámicas. Así como la indagación de estudios científicos y casos prácticos referentes al uso de consolidantes empleados en materiales cerámicos, adobes u otros materiales pétreos de interés.

Con tal propósito se recurrirá a:

- La Dirección del Parque Arqueológico de Cochasquí (Gobierno Provincial de Pichincha) para la facilitación de Información referente al Parque Arqueológico.

- Búsqueda en bibliotecas y hemerotecas, así como préstamo interbibliotecario:

- Universitat Politècnica de València
- Museo Arqueológico de Alicante (MARQ)
- Museo Arqueológico de Valencia (Beneficiencia)
- Museo Arqueológico de Murcia
- Museo de América (Madrid)
- Biblioteca Nacional de España (Madrid)
- BPE Orihuela (Alicante)
- CSIC (Madrid)
- Universidad de Sevilla
- British Library

- Sitios web:

- [www.igm.gob.ec](http://www.igm.gob.ec)
- [www.iiconservation.org](http://www.iiconservation.org)
- [www.igiic.org](http://www.igiic.org)
- [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [www.quiminet.com](http://www.quiminet.com)
- [www.materialesyconstrucción.com](http://www.materialesyconstrucción.com)
- [www.csic.es](http://www.csic.es)
- [www.digital.csic.es](http://www.digital.csic.es)
- [www.revistaequim.com](http://www.revistaequim.com)

- Complementando la búsqueda con visitas a yacimientos intervenidos, correspondientes a la misma cultura: Parque Arqueológico de Rumipamba (Quito) el Parque Arqueológico de la Florida (Quito) y culturas del entorno levantino donde se encuentren manifestaciones aproximadas de suelo cerámico, así como sus respectivos tratamientos conservativos-restaurativos si los hubiese.

- De acuerdo con la información obtenida se seleccionará dos productos consolidantes, los cuales se aplicarán sobre las muestras de plataforma (no se dispone de un número elevado de probetas debido al estado de conservación), sometiéndolas a diferentes técnicas de análisis químicos.
- Extrayendo las conclusiones pertinentes de los resultados obtenidos

#### IV.- DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN:

##### 1.- ESTUDIO HISTÓRICO-DOCUMENTAL:

###### 1.1.- El Reino de Quito y la Cultura Quito-Cara:

Dentro de los estudios que tratan de esclarecer la prehistoria ecuatoriana, el Parque Arqueológico de Cochasquí ha tomado como referente la “Historia del Reino de Quito” escrito por el Padre Juan de Velasco (1727-1792) en 1789. Este jesuita recorrió casi todo el país durante años, recogiendo datos y dicciones autóctonos, conociendo manuscritos antiguos, algunos desaparecidos como las “Crónicas de Indias” de Fray Marcos Niza, considerado de gran importancia al ser el primero en dar noticia del Reino de Quito, así como fuentes primarias de la formación de los pueblos ancestrales ecuatorianos, y las crónicas de conquistadores hasta entonces publicadas<sup>1</sup>. Convirtiendo a Velasco, en el autor del único documento que relata cómo estaba conformado Ecuador antes de la llegada de los incas y españoles. En ella demarca el origen del Estado Cara en la jurisdicción territorial de las actuales provincias de Pichincha e Imbabura y destaca la importancia que tuvo este Reino en las obras monumentales entre las que se incluye Cochasquí.

Posteriormente, investigadores como Marcos Jiménez de la Espada (1831-1898), zoólogo, explorador y escritor español, Federico González Suárez (1844-1917), sacerdote, historiador y político ecuatoriano o Jacinto Jijón y Caamaño (1890-1950), hombre polifacético (éstos dos últimos, iniciadores del método científico de investigación arqueológica en Ecuador) se postularon contra Velasco, justificando sus posiciones al no encontrar evidencias arqueológicas de aquel Reino, o por lo menos de lo que ellos entendieron que debía ser un Reino.

En contrapartida, cabe mencionar la labor de Luciano Andrade Marín (1893-1971), gran defensor de Juan de Velasco, dedicó parte de su vida a corroborar los hechos narrados por el jesuita a través complejas investigaciones. También investigadores como Paul Rivet y Henri Beuchat referenciaron y basaron la invasión del norte ecuatoriano por un pueblo chibcha; los barbacoas, fundamentándose en estudios lingüísticos. Pero no es hasta 1918, con las investigaciones realizadas por el alemán Otto Von Buchwald, y su publicación sobre los estudios de toponimia de la Sierra y el Litoral ecuatorianos, en el que afirma que los nombres geográficos pertenecen a una misma lengua o a dialectos poco diferenciados, y que las piezas arqueológicas por él recogidas y estudiadas tienen características uniformes que apuntan a una procedencia cultural común. A esta masa de tribus le dio el nombre tradicional de Caras, palabra aparentemente derivada de la lengua Atacames o Esmeraldeña, que significa “colorado”<sup>2</sup>.

En la actualidad la historia de los Quito-Cara se está reinterpretando, otorgando credibilidad a la “Historia del Reino de Quito” de Velasco, afirmando que los Quito-Cara pudieron haber formado lo que se conoce como una confederación norteña, es decir, dicha cultura aglutinó a varios pueblos en forma de señoríos. Según las manifestaciones halladas, se observa una

1. **Bravomalo, Aurelia.** *Ecuador ancestral*. Ed. Guillermo Espinosa. Quito (Ecuador), 2006, pp 146 y 202.

2. **Bravomalo, Aurelia.** *Op. Cit.*, 2006, p.146.

organización social que les permitió implementar técnicas y conocimientos como si se tratara de una organización social individual, con características singulares y únicas, que ha llevado a algunos investigadores a confundir algunos hallazgos con otras culturas o pueblos. Éstos estarían entrelazados por los nexos familiares, territoriales, sociales, políticos, económicos y militares, formando núcleos urbano-arquitectónicos de entre los que se destaca Cochasquí.

## 1.2.- El Parque Arqueológico de Cochasquí:

La zona monumental de Cochasquí es un claro testimonio de un remoto pasado de formas de arquitectura prehispánica. Por su especial estructura constructiva se ha considerado como uno de los testimonios más importantes de la cultura Quitu-Cara, al disponer de un patrón de asentamiento que difiere a los conocidos en Mesoamérica y en los Alpes<sup>3</sup>. Dicho patrón se refleja por la localización, calidad de viviendas, implantación de edificios ideológicos y por la producción de bienes, ya que los estratos sociales que la habitaban alcanzaron un alto grado de desarrollo en su organización social, política y económica.



Figura 1: Vista del Parque Arqueológico desde la comuna de Cochasquí.

El Parque Arqueológico de Cochasquí (Figura 1), se encuentra ubicado en la sierra norte de Ecuador (Provincia de Pichincha), entre el bosque andino y el páramo pajonal, a unos 3.100 metros de altura sobre el nivel del mar y dispone hasta el momento de una extensión de 83'9 hectáreas, las cuales no abarcan la totalidad que se estima<sup>4</sup>, ya que parte de éste, todavía se halla en terrenos de propiedad privada. Los monumentos de Cochasquí están absolutamente integrados en su medio ambiente, para su construcción se aprovechó la ladera plana inclinada que tiene un declive natural de 10°. No existen elevaciones de terreno y se aprovechó la ligera declinación natural del mismo para asentar algunas pirámides. La extensa meseta en la que se sitúa, ofrece un dominio casi absoluto de su entorno sobre valles y montañas, por

3.Ortiz, Lenin. *El agua del frente de la mitad*. Ed. Letras. Quito, 2009, p 99.

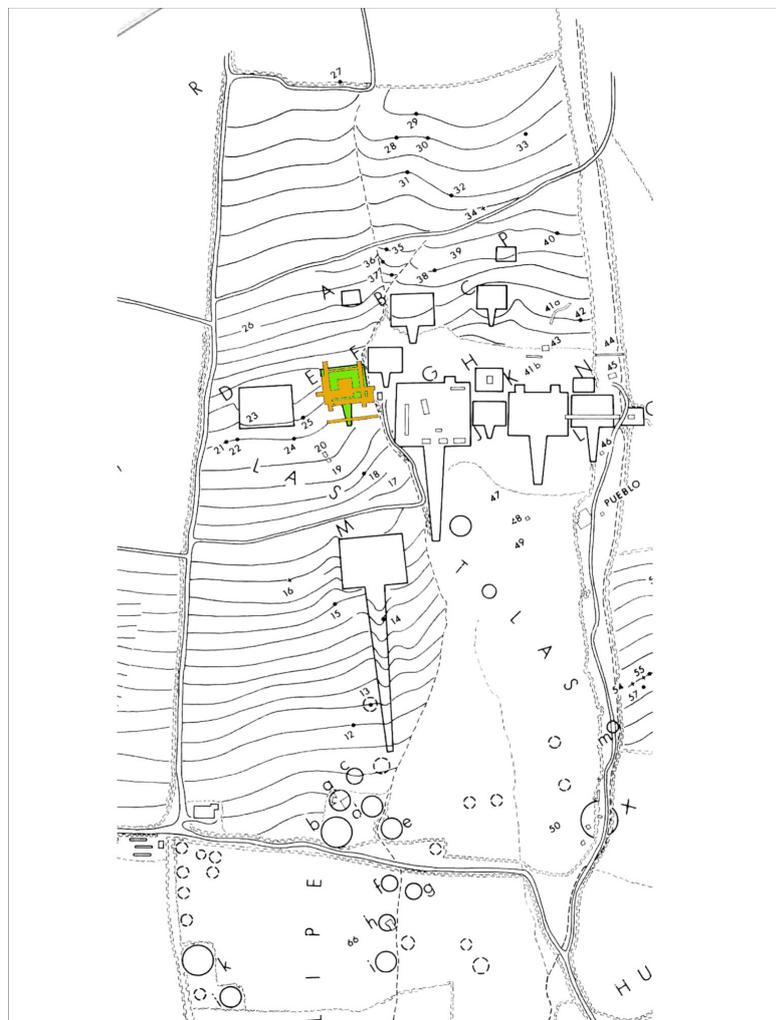
4.El Consejo Provincial de Pichincha consideró una superficie de 820.000 <sup>2</sup> para el proyecto inicial de Cochasquí.

Ortiz, Lenin. *Op. cit.*, 2009, p 62.

lo que es considerado como un emplazamiento con fines estratégicos. El espacio geográfico donde se encuentran, da cabida a este imponente y majestuoso complejo urbano, donde en la actualidad se ofrecen al visitante protegidas bajo un manto vegetal.

Estas manifestaciones arqueológicas, reflejan un gran valor histórico y cultural para el Patrimonio Nacional ecuatoriano, siendo reconocido por su valor y significancia cultural prehistórica en algunas de las reuniones de la UNESCO, así como en varios foros nacionales e internacionales.

El asentamiento (Figura 2), fue descubierto entre diciembre de 1932 y enero de 1933, con motivo de las excavaciones que en busca de tesoros comenzaron a hacer en ellas unos “huaqueros”. El Parque se halla conformado por 15 pirámides truncas<sup>5</sup> (o tolas cuadrangulares), disponiendo 9 de ellas de rampa de acceso y compartiendo el espacio con 21 montículos funerarios (o tolas de planta circular).



**Figura 2:** Mapa general del Parque Arqueológico de Cochasquí y situación de la Pirámide 13 (coloreada).

5. Según algunas hipótesis el complejo urbano de Cochasquí pudo llegar a albergar antes de su despoamiento hasta 36 pirámides. **Ortiz, Lenin.** *Op. cit.*, 2009, p.79.

Estas pirámides presentan un cuerpo cuadrangular de forma troncocónica y escalonada, albergando 9 de ellas en la cara sur de su estructura, una larga rampa que sirve como vía de acceso hacia su superficie. Como principal material de construcción, se empleó para su edificación bloques de cangagua<sup>6</sup> (material muy poroso de origen volcánico) así como rellenos de tierra y chocoto apisonado (argamasa de barro negro rico en limos y agua).

El arqueólogo alemán Udo Oberem (1964) escogió la Pirámide nº13 (Figura 3) por sus dimensiones relativamente pequeñas en comparación con el resto de pirámides del Parque, junto con el óptimo estado de conservación en el que se encontraba para la realización de una investigación sobre este tipo de construcciones.

La rampa y el terreno llano situado a ambos lados de la misma fueron cortados por una zanja de 70m de largo por 2'5m de ancho. Para analizar el propio cuerpo de la Pirámide se realizó un corte transversal que bajando por los taludes este y oeste llegó hasta el terreno colindante a las pendientes, y atravesó toda la superficie de la Pirámide. De la misma forma, pero en dirección opuesta, realizó dos cortes de norte a sur atravesando la superficie y las pendientes sur y norte. De este modo, pudo ser comprobado que en su interior toda la rampa estaba construida alternando capas de material suelto y firme, y el cuerpo de la Pirámide formado por capas de tierra dura, barro, arena guijarrosa y bloques de cangagua sin labrar, no pudiéndose observar en lo sucesivo en estos estratos sistema alguno. En el aspecto exterior excavado en varias pirámides, se observa que fueron edificadas partiendo de una base conformada por grandes bloques de cangagua tallada, conforme la construcción crecía en altura escalonada, éstos disminuían en tamaño, alternándose las gradas con rellenos de piedra. Como elemento sellador y de unión entre los distintos bloques de cangagua se empleó chocoto.



Figura 3: Vista noroeste de la Pirámide nº 13.

6. La cangagua consiste de ceniza volcánica re trabajada (especialmente por vientos), sedimentos fluviales, lacustres y suelos incipientes. Se trata de polvo volcánico, vidrio volcánico, pómez, cristales de minerales volcánicos y escasos fragmentos líticoica. Ver: **Ortiz, Lenin**. *Op. cit.*, 2009. p 46.

A través de fechados radiocarbónicos y a las características cerámicas de las excavaciones realizadas por Udo Oberem (Figura 4), el emplazamiento es ubicado en la última etapa de la historia antigua perteneciente al Período de Integración (500 a 1.500 d.C.), según las investigaciones realizadas por el arqueólogo alemán Albert Meyers (1975). El cual divide la cronología de Cochasquí en dos períodos: Cochasquí I: A.D. 950 –1250 y Cochasquí II: A.D. 1250-1550. Hasta el momento, no ha sido posible establecer una conclusión definitiva que nos permita conocer quiénes fueron realmente los artífices de estas manifestaciones y qué finalidad desempeñaban (Figura 5).

Actualmente se debate entre las hipótesis establecidas entre Max Uhle<sup>7</sup> y Udo Oberem; un sitio destinado a determinadas ceremonias y rituales o lugares habitacionales destinados a gobernantes y regentes.

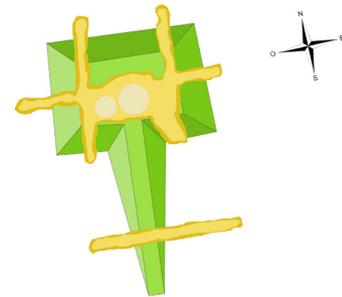


Figura 4: Vista aérea de la Pirámide 13 donde se indican las labores arqueológicas llevadas a cabo por el arqueólogo alemán Udo Oberem.



Figura 5: Reconstrucción hipotética de la Pirámide n°13.

---

7. Arqueólogo alemán considerado padre de la arqueología andina, profesor y fundador del actual Museo Andino Santiana de la Universidad Central de Ecuador. Entre 1929 y 1939 realizó investigaciones en Cochasquí. En sus escritos llegó a atribuir erróneamente las manifestaciones de Cochasquí a los incas.

**Uhle, Max.** *Boletín de la Academia Nacional de Historia. Las ruinas de Cochasquí.* Vol. XVIII. Num. 54. Quito, julio-diciembre de 1939.

## 1.2.1.- Las plataformas cerámicas de la Pirámide nº 13:

### 1.2.1.1.- La excavación arqueológica

El objeto de esta investigación se encuentra en la Pirámide excavada por Udo Oberem, donde descubrió dos plataformas circulares de barro cocido. Estas superficies cerámicas fueron excavadas y estudiadas en 1964 por el arqueólogo alemán y el 'Grupo Ecuador', un equipo formado por científicos alemanes de la Universidad de Bonn (Figura 6). Esta Pirámide, situada al noroeste del Parque, se encuentra entre las Pirámides 9 y 11. Dicha estructura presenta unas dimensiones de 76x58m en su base cuadrangular, 51x27m en su parte superior y de 67m de longitud en su rampa de acceso. Sobre la parte superior de la estructura, se encuentran dos plataformas circulares fabricadas con planchas de arcilla, que según las observaciones, fueron modeladas y cocidas in situ (Figura 7).

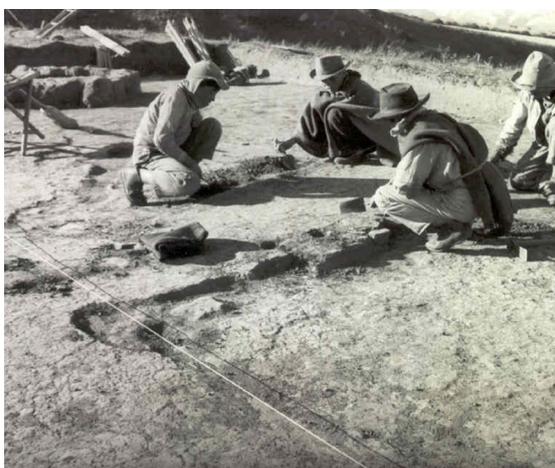
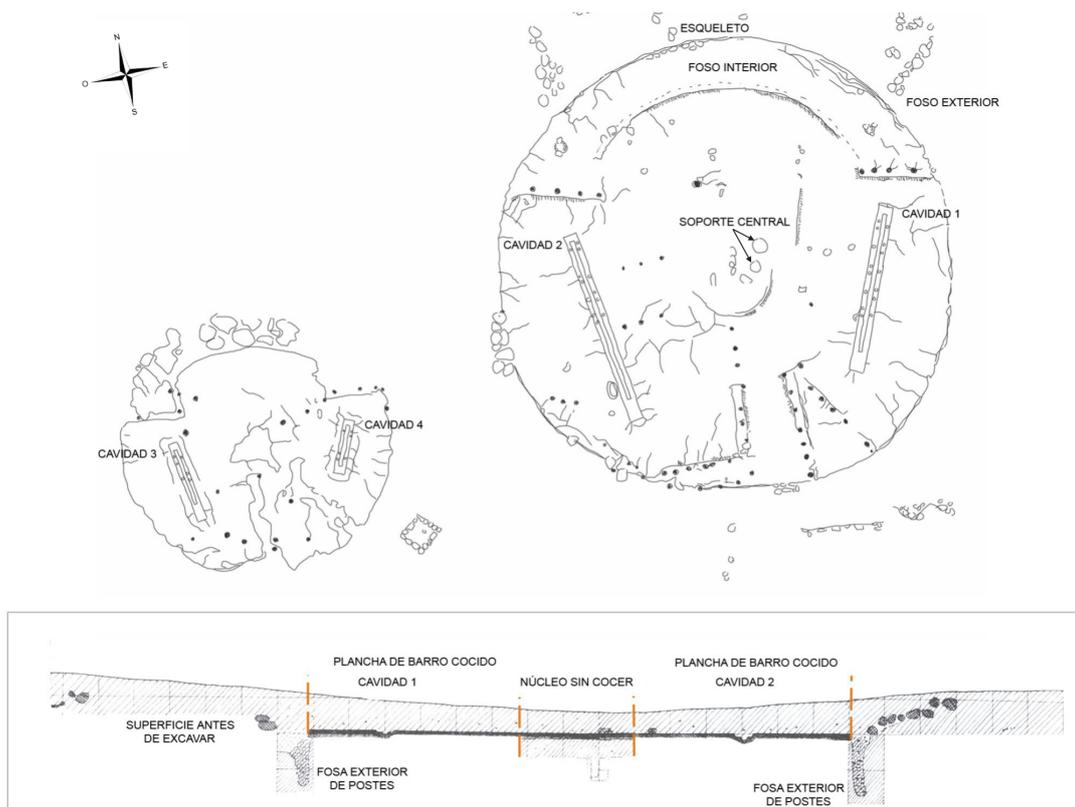


Figura 6: Instantánea durante las tareas de excavación llevadas a cabo sobre la plataforma superior.

Ambas estructuras se hallan dispuestas en alturas diferentes. La plataforma de menores dimensiones (9'75 m de diámetro) se sitúa un metro por encima de la mayor (15'78 m. de diámetro). Estas plataformas presentan un grosor que oscila entre los 15 y 20 cm. En ambas superficies encontramos prácticamente los mismos elementos. La plataforma mayor presenta dos cavidades longitudinales de poca profundidad, similares a canales que forman entre sí un ángulo agudo. Dentro de estas cavidades se encuentran seis orificios agrupados de tres en tres que conforman triángulos invertidos, y en cuyos orificios se colocaban conos de piedra andesita<sup>8</sup> de 30cm de altura denominados "plinto". Del estudio y la observación que producían las sombras proyectadas por el sol y la luna a través de estos elementos pétreos, sobre las superficies cerámicas, se concluían las estaciones y las épocas de siembra o lluvia, disponiendo de este modo, de un eficaz calendario agrícola. La plataforma menor presenta también dos canales, aunque estos con quince orificios en el canal derecho y doce en el izquierdo (tomando como punto de referencia el norte).

Sobre la Pirámide nº 9 se han encontrado restos de plataforma que presenta las mismas características que las encontradas en la Pirámide 13, por lo que se estima que en el resto de las pirámides se hallen otras. Jijón y Caamaño descubrió restos de plataforma de asombroso parecido sobre las pirámides de Urcuquí (provincia de Imbabura, norte de Ecuador). En el Parque Arqueológico de Rumipamba en Quito (Figura 8), correspondiente a la misma cultura

8. Roca volcánica de grano fino compuesta por plagioclasa, ortopiroxeno y hornblenda. Química y mineralógicamente es similar a la Dorita (roca plutónica). Extraído de: **Kröner, Stephan et al.** *Identificación y caracterización de materiales pétreos en Patrimonio Histórico-Artístico*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia, 2010. Valencia, p 16.



**Figura 7:** Representación de planta y perfil de las plataformas cerámicas realizado durante el descubrimiento por Udo Oberem.



**Figura 8:** Plataforma cerámica perteneciente a la cultura Quitu-cara hallada en el Parque Arqueológico de Rumi-pamba (Quito).

se ha encontrado una plataforma circular cerámica cocida situada a ras de suelo, pero no responde a las mismas características. Según arqueólogos del propio Parque, el uso de ésta en particular estaría vinculado al de un hogar.

#### 1.2.1.2.- Hipótesis sobre el uso de las plataformas

Gracias a estudios comparativos de construcciones similares, existe la posibilidad de tratarse de fundamentos o bases para edificios ceremoniales. A día de hoy todavía no se ha establecido una hipótesis o teoría sobre el uso que tuvieron estas superficies tan especiales, aunque la Dirección del Parque Arqueológico de Cochasquí se inclina hacia la hipótesis formada por el astrónomo ruso Valentín Yurevitch (1984), el cual establece a éstas un posible significado astronómico, significando el sitio de Cochasquí un observatorio. Relacionando de este modo, una de estas plataformas con el sol y otra con la luna, y de los elementos encontrados en ellas, como canales y conos de piedra, se obtiene como resultado de su estudio calendarios lunares y solares, que permitían establecer a los antiguos el conocimiento de los solsticios y equinoccios, fenómenos fundamentales en la repercusión de los procesos agrícolas y vida cotidiana en general de los Quito-Cara. En definitiva, instrumentos meteorológicos para predecir el tiempo, lluvias y vientos. Décadas antes, el profesor Andrade Marín (1954) señalaba que los indios las usaban (refiriéndose a las pirámides) como escenario para acercarse a las estrellas y representar el camino del sol, ya que por allí pasa la línea ecuatorial. Otras teorías como la propuesta por Oberem (1980), establece que las plataformas corresponderían al piso de las viviendas de los regentes del lugar, los cuales vivirían sobre las pirámides.

#### 1.2.1.3.- Estado de conservación de las plataformas cerámicas

Las excavaciones realizadas por Oberem y la expedición de la Universidad de Bonn (1964-65) y el posterior abandono, supuso para los bienes arqueológicos la desidia de su estabilidad por la de un ecosistema aéreo, con características completamente distintas, con el que al tomar contacto debe una serie de alteraciones intrínsecas y extrínsecas (Figuras 9, 10 y 11). Que entre otros efectos ha provocado un estado de disgregación general sobre la plataforma superior y puntual sobre la inferior. Este estado puede manifestarse por varios agentes de deterioro, producto de las condiciones ambientales y/o la química y textura del suelo. Este estado de fragilidad también puede ser debido a la técnica de manufactura en proceso de cocción; ya que una cocción incompleta va a permitir que los materiales no hayan alcanzado la vitrificación, siendo susceptibles al medio de enterramiento y posterior descubrimiento<sup>9</sup>.

El entramado repetitivo de fisuras enlazadas que presentan las plataformas puede ser atribuible a factores posiblemente relacionados con la manufactura, ya que ambas plataformas presentan la misma serie de entramados. Es sabido que las piezas relacionadas con el círculo resisten mucho más el agrietamiento que aquellas que se hacen con ángulos y planos.

---

9. GUEVARA, M<sup>a</sup> Eugenia. *Conservación preventiva de objetos cerámicos en excavaciones arqueológicas*. Renata Schneider Glantz (comp.). 2001, pp. 89-100.



Figura 9: Vista aérea del estado de conservación inicial de la plataforma superior (izq.) y plataforma inferior (der.).

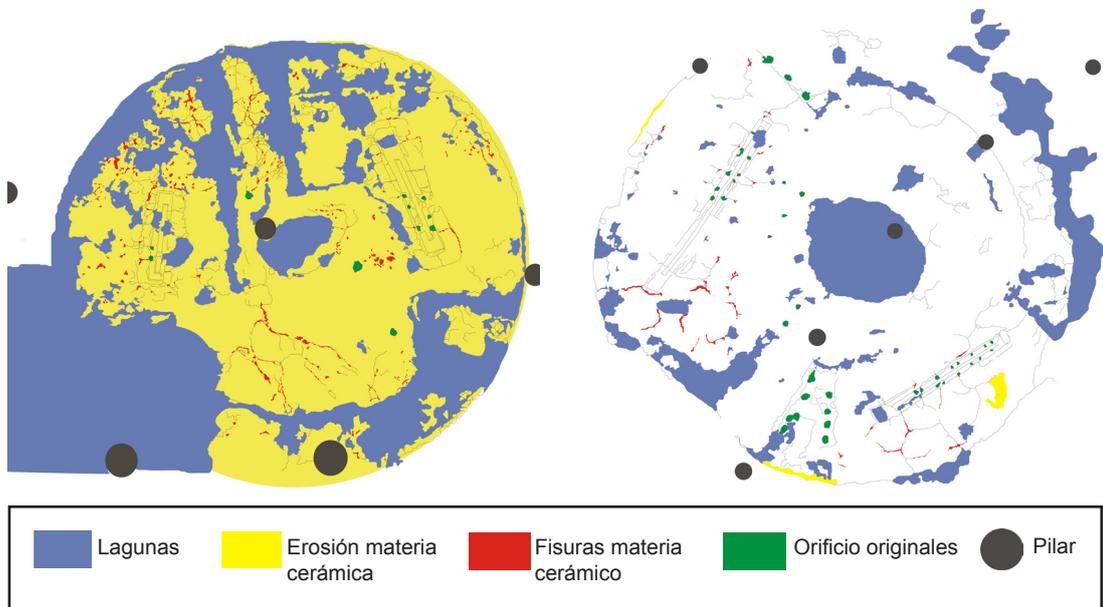


Figura 10: Mapas de daños de la plataforma superior e inferior respectivamente.



Figura 11: Varias de las patologías presentes en las plataformas cerámicas: fragmentos sueltos, fracturas, fisuras, erosión y roturas.

También la tendencia a romperse durante la cocción en hoyo (sistema estimado de cocción, ver anexo I), es, en cualquier caso elevada y debe admitirse en la cocción, independientemente de lo correcta que sea la composición de la pasta de arcilla, o de lo correctamente que haya conducido la cocción<sup>10</sup>.

Oberem puso en práctica una tecnología de excavación que destruyó buena parte del sitio arqueológico, hecho que se agravó al no preveer un proyecto de conservación de las plataformas. Con el transcurso del tiempo y en gran medida debido a las condiciones climáticas y antrópicas, estas superficies, en concreto la plataforma localizada en la zona más alta, han ido sufriendo un marcado deterioro al estar directamente expuesta a las condiciones naturales.

A principios de noviembre de 2008 hasta abril de 2010, el proyecto que ha continuado con esta investigación, ha realizado una puesta en valor de éstas superficies, dicha actuación ha quedado reflejada mediante la participación en congresos de interés científico-técnico y la publicación detallada de los procesos ejecutados in situ y en laboratorio para asegurar el mantenimiento de las mismas<sup>11</sup>.

---

10. **RHODES, Daniel.** *Hornos para ceramistas*. Ed. CEAC, 1999, Barcelona. p.19

11. Véase :

**CARRASCOSA, Begoña; MEDINA, Olga.** *Cooperación al desarrollo cultural y formativo para la puesta en valor de las Pirámides preincáicas de Cochasquí, Ecuador*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. 1ªEd. Valencia, 2010.

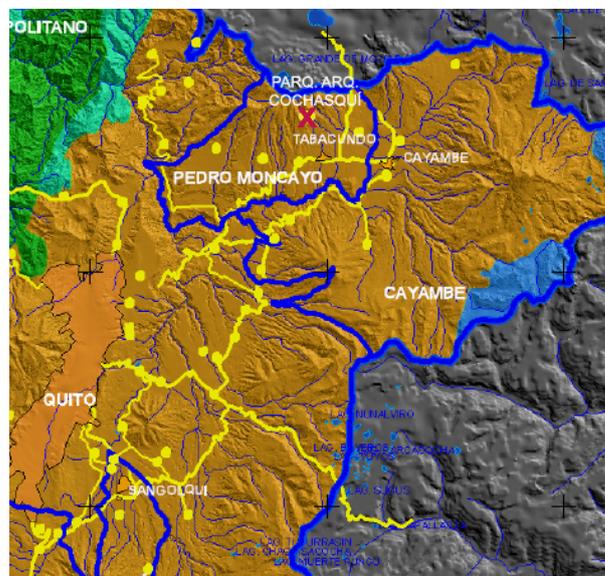
**CARRASCOSA, Begoña; MEDINA, Olga.** "La sostenibilidad en la salvaguarda del Patrimonio. Formación, conservación y restauración". En: *IV Seminario Internacional Cultural y Cooperación: Formación y capacitación en Patrimonio como alternativa de desarrollo sostenible* (Granada, del 25 al 26 de noviembre de 2010). Organizado por Restauradores Sin Fronteras y Centro Albayzín, Granada, 2010. pp.85-88.

**CARRASCOSA, Begoña; MEDINA, Olga; LASTRAS, Montserrat.** "Cooperación al Desarrollo Cultural y Formativo para la puesta en valor de las Pirámides Preincáicas de Ecuador". En: *IV Congreso Internacional. Patrimonio Cultural y Cooperación al Desarrollo* (Sevilla, del 16 al 18 de junio de 2010). Edita: Comité Científico del IV Congreso de Patrimonio Cultural y Cooperación al Desarrollo. pp.197-204.

## 2. ESTUDIO CIENTÍFICO-DOCUMENTAL

### 2.1.- Geología del lugar

A través de estudios previos se identificaron los principales componentes mineralógicos de las plataformas, que son: Montmorillonita  $((Na, Ca)_{0.3}(Al, Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2Nh_2O)$  seguido de Kaolinita  $(Al_2Si_2O_5(OH)_4)$  e Illita  $(K,H_3O)(Al, MG, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10} [(OH)_2(H_2O)]$ . Esta composición concuerda con la geología de la zona<sup>12</sup>, ya que según un estudio geológico, el tipo de suelo presente en la microárea pertenece al periodo Cuaternario, cuestión probada por algunos rasgos geomorfológicos ubicados a lo largo de la vía que sigue el río Psique hasta Cochasquí, como el microsinal<sup>13</sup>, micro fallas geológicas y diversas muestras provenientes de antiguas erupciones (Figura 12). Se señala esta particularidad por el suelo franco arcilloso de toba volcánica característica de la zona y por tanto, material fundamental para la edificación de los elementos arquitectónicos de Cochasquí<sup>14</sup>.



ROCAS VOLCANO SEDIMENTARIAS MESOZOICO (CRETÁCICO):

Formación Yuguilla: Rocas sedimentarias marinas, tipo fish-caliza, lutitas volcánicas, arenisca volcánica, conglomerados volcánicos. Formación Silante: rocas volcánico-clásticas-conglomerados, areniscas, limonitas lutitas, tobas, ocasionalmente lavas.

ROCAS VOLCANO SEDIMENTARIAS MESOZOICAS (CRETÁCICOS):

Formación Machuchi: rocas volcánico-sedimentarias marinas de composición andesita basáltica con intercalaciones de metasedimentos.

ROCAS VOLCÁNICAS DEL CENOZOICO:

Rocas volcánicas-continentales del Pleistoceno-Oleeno de composición andesita liparítico, regionalmente localizadas en el graben de Quito-Complejo volcánico inactivo, secuencias sedimentarias.

ROCAS METAMORFICAS DEL PALEOZOICO:

Metamorfismo de alta temperatura y baja presión, constituido de facies de esquistos verdes. intensamente plegados y dislocados. Regionalmente forman el anticlinorio de la Cordillera Real.

Figura 12: Mapa geológico de la sección noreste de Ecuador.

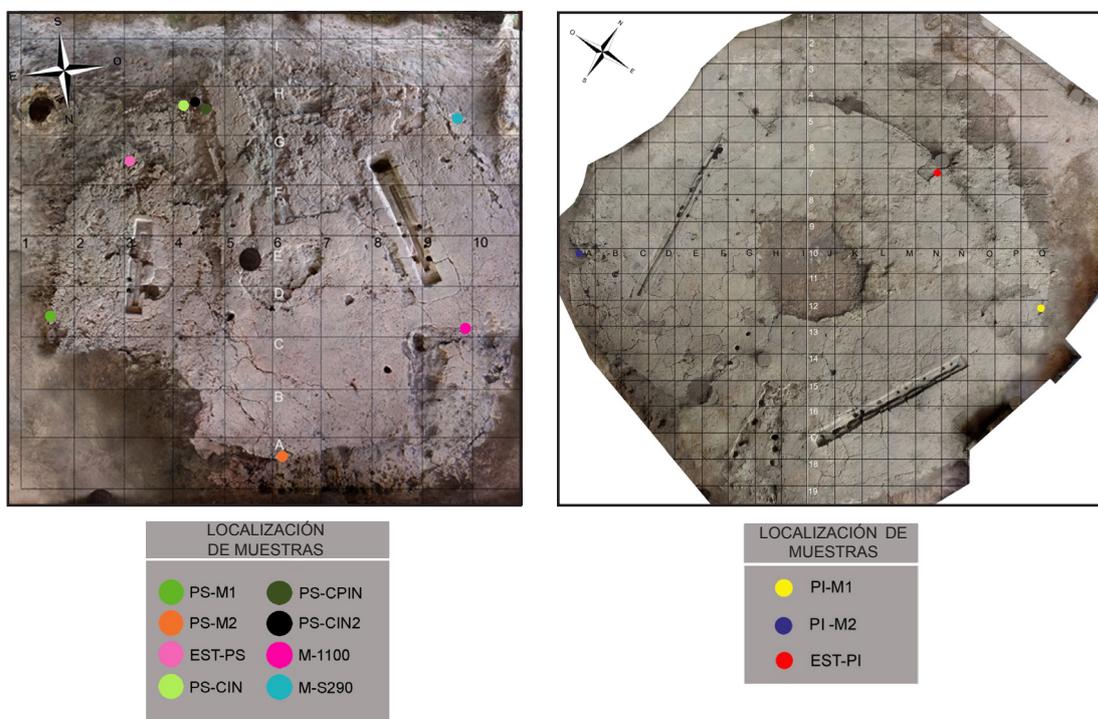
12. **Quinteros, Reinaldo.** Informe preliminar sobre aspectos morfológicos de los monumentos y vestigios arqueológicos arqueológicos de Cochasquí en Ecuador. Consejo Provincial de Pichincha. Programa Cochasquí. Quito (Ecuador), Bogotá (Colombia), Febrero 1982. pp 4-5.

13. Parte cóncava de un pliegue de la corteza terrestre debido a las fuerzas de compresión de un movimiento orogénico (relativo a la formación de montañas), cuyos estratos convergen hacia abajo, es decir, en forma de cuenca.

14. **Ortiz, Lenin.** Op.cit., 2009, p 45.

## 2.2.- Localización y extracción de muestras

Antes de la selección y extracción, las plataformas fueron divididas mediante el método de Harris, con la finalidad de facilitar la localización de éstos y la realización fotográfica, a través de los cuales se obtienen los mapas fotográficos (Figura 13).



**Figura 13:** Localización de fragmentos cerámicos extraídos de la plataforma superior (izq.) e inferior (der.) para la realización de estudios en laboratorio.

Con la finalidad de realizar estudios de caracterización y ensayos con consolidantes, fueron extraídos varios fragmentos cerámicos de ambas superficies. El criterio seguido para la extracción de las muestras se basó en el estado de conservación del material de las plataformas, por lo que el elevado número de fragmentos sueltos y la gran pérdida de material que manifestaban las superficies, hizo que la búsqueda y extracción se centrara en dichos fragmentos, seleccionando entre éstos a los que ajustaban al grosor característico de las plataformas. Para la realización de los ensayos y pruebas en el laboratorio que permitieran seleccionar el consolidante más adecuado, se seleccionaron fragmentos sueltos en un estado de deterioro avanzado y que también se ajustarán al grosor característico de las superficies cerámicas.

### 2.3.- Tipos de consolidantes empleados en cerámica arqueológica

El proceso de consolidación es actualmente una de las actividades más importantes, ya que ésta es una de las etapas más determinantes del proceso de restauración de un monumento de estas características. La consolidación, según el panorama actual de las investigaciones referentes a la conservación de los materiales pétreos, es considerada como un proceso activo y según el Instituto Getty para la Conservación del Patrimonio se define como “La operación consistente en impregnar los materiales pétreos, deteriorados con sustancias químicas penetrantes a fin de restablecer la cohesión, resistencia y firmeza que con el tiempo y los factores ambientales, se han ido perdiendo entre las partículas constituyentes de dichos materiales”. Se menciona también que: “En los sitios donde las piedras están severamente debilitadas por el deterioro, pueden ser necesarias algunas formas de consolidación para restituir algo de la fuerza original perdida. Idealmente, se debería esperar que la piedra se volviera al menos tan fuerte como lo fue originalmente, para poder así resistir posteriores procesos de deterioro<sup>15</sup>”.

Los consolidantes son productos o sustancias cuya función es la de rellenar, en mayor o menor medida, los poros o los espacios vacíos de un objeto y devolver de este modo la resistencia mecánica o la estabilidad a los sólidos frágiles, impregnar capas y superficies friables o disgregadas, o reforzar un sólido pulverulento<sup>16</sup>.

Como restauradores de Bienes Culturales, debemos ser conocedores de que un buen consolidante debe ser estable respecto a los agentes atmosféricos, la humedad y a los rayos ultravioletas, así como mostrar resistencia a la actividad biológica, siendo destacable que tengan una toxicidad nula o muy baja<sup>17</sup>.

Las escasas investigaciones acerca del uso de tratamientos de consolidación y protección aplicados sobre material cerámico, junto con la gran variedad de productos de consolidación y/o hidrofugación existentes en el mercado genera incertidumbres a la hora de elegir el tratamiento más adecuado para un material. Con la observación de los años y la experiencia adquirida de la figura del restaurador, junto con el indispensable apoyo que hoy en día nos ofrecen los estudios científicos, ha dado lugar al descarte de alguno de estos productos y a la valoración de algunos de ellos, dando a conocer la complejidad de los materiales consolidantes y los aspectos negativos y positivos que les caracterizan, permitiendo trabajar al restaurador con plenas garantías.

En el área de la conservación y restauración de material cerámico, se han utilizado diferentes tipos de productos consolidantes con la finalidad de frenar el estado de degradación de las

---

15. **ZÁRRAGA, Ramón et al.** *La investigación científica en la conservación de monumentos de cantera*. Acta Universitaria, mayo-agosto, vol.16,

nº 002. Universidad de Guanajuato. Guanajuato, México. 2006, pp 42-43.

16. **CALVO, Ana.** *Conservación y Restauración. Materiales, técnicas y procedimientos. De la A a la Z*. Ed. Plaza. Madrid, 1997, p.64.

17. **GARCÍA, Salvador y FLOS, Nuria.** *Conservación y restauración de bienes arqueológicos*. Ed. Síntesis, Madrid, 2008, p. 153.

piezas. Si nos centramos en los productos más utilizados en la actualidad en área arqueológica, tanto en material cerámico inmueble y mueble destacan las resinas acrílicas (pertenecientes a la familia de las resinas orgánicas sintéticas), tanto en emulsión acuosa como en solución y los productos organosilíceos o silíco-orgánicos, en concreto los silicatos de etilo<sup>18</sup>.

NOMBRE COMERCIAL	FABRICANTE	COMPOSICIÓN
Paraloid B-72	Rohm and Haas	70% de etil metacrilato y 30% metil acrilato.
Acril 33	Rohm and Haas	Copolímero acrílico

Tabla 1: Donde se muestran las resinas acrílicas más empleadas en material cerámico.

Las resinas termoplásticas como son las acrílicas, han sido ampliamente utilizadas desde mediados del siglo XX, aunque su uso ha ido variando con los años<sup>19</sup>. Dentro del campo de los polímeros acrílicos los más empleados para la consolidación de materiales disgregados son el *Paraloid B-72* y *Acril 33* (Tabla 1); a una concentración entre el 5 y el 10%. Este tipo de resinas, aunque son capaces de resolver con gran rapidez cualquier problemática, con el tiempo se ha demostrado que presentan una estabilidad dudosa y no se asegura su eficacia a largo plazo. Aunque un estudio comparativo entre silicatos de etilo y microemulsiones acrílicas demuestra un mejor comportamiento mecánico de éstas últimas, de manera que el compuesto de silicio actúe como agente de acoplamiento entre el sustrato pétreo y el polímero produciendo una película con la flexibilidad de las resinas orgánicas y la fuerza y repelencia al agua de los alcoxisilanos, las resinas pueden modificar la porosidad del material llegando a obstaculizar la circulación interna, tanto líquida como vapor de agua<sup>20</sup>. Dicha obstaculización puede llegar a crear microcondensaciones de humedad, manifestándose con pulverulencias en el material cerámico. Su analogía con el material a tratar junto con su poca penetrabilidad son algunos de los argumentos a tener en cuenta<sup>21</sup>, considerando que se está en el caso de las plataformas, ante un material cerámico cocido de forma irregular. A consecuencia de los resultados obtenidos, Wheeler (2005) establece que es necesario un mayor desarrollo cientí-

18. **CARRASCOSA, Begoña.** *La conservación y restauración de objetos cerámicos arqueológicos*. Ed. Tecnos. 1ª Ed. Madrid, 2009, p 120.

19. **FORT, Rafael** "Polímeros sintéticos para la conservación de materiales pétreos". *Ciencia, Tecnología y Sociedad para una conservación sostenible del patrimonio pétreo*. Pérez-Monserrat, E.M., Gómez-Heras, M. Álvarez de Buergo, M., Fort, R. (eds). Dpto. Publicaciones Universidad Popular José Hierro, San Sebastián de los Reyes, 2007. pp 71-82.

20. **OSCA, J.** "El empleo de consolidantes inorgánicos y organosilíceos como alternativa a los consolidantes orgánicos. Tratamientos y metodologías de conservación de pinturas murales". *Actas del Seminario sobre restauración de pinturas murales, Aguilar del Campoo (Palencia)*, 20-22 de julio de 2005. Aguilar de Campoo, 2005. p 20.

21. **OSCA, J.** *Op.cit.* 2005, pp 18-22.

**RODRIGUEZ, J. et. al.** "Determinación de la penetrabilidad de consolidantes y protectores de rocas. Un nuevo método". *Materiales de construcción*, vol. 50, nº 216, 2000, pp 15-26.: El método empleado evalúa la penetrabilidad de productos orgánicos y silicoorgánicos en roca, permitiendo discriminar la profundidad de la zona con características hidrófugas de las exclusivamente consolidadas. Los valores obtenidos con Paraloid-B72 manifiesta una penetrabilidad escasa y prácticamente una nula hidrorrepelencia.

**HORIE, C.V.** *Materials for conservation. Organic consolidants, adhesives and coatings*. Ed. Butterworth Heinemann, Oxford, 1999. pp 31-38.

fico y tecnológico que pueda explicar los datos negativos que han causado sus aplicaciones. Por otro lado, los organosilíceos (Tabla 2), o lo que es lo mismo los silicatos de etilo y sus derivados son uno de los productos más estudiados, incluso se ha realizado un congreso entorno a las ventajas e inconvenientes de este producto<sup>22</sup>. Éstos están compuestos por ésteres etílicos del ácido silícico, que son en parte inorgánicos (silicato) y en parte orgánicos (residuo alcohólico). En función del tipo de alcohol con el que se esterifica<sup>23</sup> (alcohol etílico, metílico, propílico, etc.) da lugar a un alcoxilano distinto. Dichos consolidantes requieren normalmente la presencia de un catalizador que favorezca la vehiculización de las partículas de sílice, aunque los catalizadores<sup>24</sup> tienden a inestabilizar el producto (cuanto menos cantidad de catalizador, más estable es el consolidante), éstos son necesarios ya que las reacciones son lentas al producirse al aire libre. Pero no solo depende del tipo de catalizador, también toman partido en el tiempo de polimerización el monómero, el disolvente y la concentración del mismo<sup>25</sup>. La acción de este tipo de consolidante consiste en la precipitación de sílice amorfa en los huecos del material deteriorado, aglomerando de este modo la matriz del sustrato. Una vez evaporado el disolvente orgánico comienza la hidrólisis seguida finalmente de la polimerización.

NOMBRE COMERCIAL	FABRICANTE	COMPOSICIÓN
<b>Estel 1000</b>	CTS	Ésteres etílicos del ácido silícico disueltos en aguarrás mineral
<b>Estel 1100</b>	CTS	Éster etílico del ácido silícico y polisiloxanos oligoméricos disueltos en aguarrás mineral
<b>Bio Estel</b>	CTS	Reacción de derivados del ácido silícico con biocidas moleculares órgano-metálicos
<b>Silres OH100</b>	Wacher-Chimie	Éster etílico del ácido silícico
<b>Tegovakon V</b>	GoldSchmith	Compuestos orgánicos a base de éster de sílice y metilsiloxano
<b>Rhodorsil RC70</b>	Rhone-Poulenc	Éster etílico del ácido silícico
<b>SH 75</b>	FTB	Éster etílico del ácido silícico

**Tabla 2:** Relación de varios consolidantes comerciales a base de silicato de etilo

22. Congresso Internazionale "I silicati nella conservazione", Torino, (2002).

23. Formar un éster mediante la unión de un ácido y un alcohol o un fenol.

24. Los ácidos minerales y el amoníaco son los más comunes aunque también se usan el ácido acético, KOH, aminas, KF, HF, propionatos y naftalenatos de plomo, alcóxidos de titanio y óxidos y alcóxidos de vanadio. **ZÁRRAGA, Ramón et al.** *Op cit.* 2006, p47.

25. **OSCA, Julia.** *Op. cit.*, 2005, p 32.

Inicialmente, este tipo de compuestos fueron utilizados en el tratamiento de piedras silíceas, pero su aplicación se ha extendido a lo largo de los años con muy buenos resultados a materiales calizos y también en materiales cerámicos y construcciones de tierra<sup>26</sup>.

Dentro de la amplia gama de productos comerciales, se encuentran: *Estel 1000* de la casa CTS, *Tegovakon V* de la casa GoldSchimith, *Silres OH 100* de la casa Wachker Chemie, etc. También existen los silicatos de etilo hidrófobos (alquil-alcoxisilanos) de mayor peso molecular que los alcoxisilanos (son tres los alcoxisilanos usados comúnmente para consolidar piedras: el tetraetoxisilano, el metiltrietoxisilano y el metiltrimetoxisilano). La formación de los alquil-alcoxisilanos es debida a la sustitución de los cuatro hidrógenos de un silano por grupos alcoxilo y alquilo. Estos hidrorrepelentes forman películas flexibles alrededor del material, dotándoles de singular resistencia. También pueden ser mezclados con solventes orgánicos para garantizar una mayor penetración. Se pueden encontrar en productos comerciales como por ejemplo: *Estel 1100* de la casa CTS, *Silres BS 290* de la casa Wacker Chemie, *Tegovakon T* de la casa GoldSchimith etc.

Aunque en las fichas técnicas de este tipo de productos se indica que el periodo de reacción se completa entre las 2-4 semanas aproximadamente, Giacomo Chiari, director científico italiano, argumenta que aunque el efecto consolidante se obtiene en pocas horas, la reacción puede necesitar años para completarse<sup>27</sup>, ya que el tiempo exacto dependerá de las condiciones de temperatura y humedad ambientales. Los problemas más frecuentes que radican en que su efectividad está en parte sujeta a la climatología del lugar, ya que en climas secos, la ausencia del agua no permite la reacción y ésta se ralentiza y en climas demasiado húmedos puede provocar la deposición rápida de sílice, impidiendo que éste no penetre lo suficiente y quede en superficie, provocando emblanquecimientos.

La existencia de sales solubles en el material a tratar es un factor a tener en cuenta, ya que en los primeros estadios de la reacción los componentes activos del producto consolidante (silicato de etilo), presenta un carácter hidrófobo, el cual puede durar varios días. Durante este periodo de tiempo pueden dificultar de algún modo el transporte del vapor de agua, y si existen sales en el material tratado, éstas pueden cristalizar.

La gran ventaja que ofrecen este tipo de productos deriva sobretodo en su afinidad con el material a tratar, ya que responde a la misma naturaleza. También debe considerarse que la eficiencia del consolidante comercial dependerá no solo de su composición química, si no en mayor medida de su adecuación a las características que presenta el material a intervenir.

Una de las razones por la que los alcoxisilanos son tan útiles es porque los polímeros formados a partir de ellos están basados en una estructura tipo siloxano, la cual le confiere una serie de propiedades únicas. Primeramente, el enlace silicio-oxígeno es fuerte y estable,

26. Desde 1969 el silicato de etilo ha sido usado en la consolidación de superficies de adobe con resultados satisfactorios. En: **ÖZTÜRK, Isil**. *Alkoxysilanes consolidation of stone and earthen building materials*. University of Pennsylvania., 1992, pp. 10-11.

27. **CHIARI, Giacomo**. "Conservación in situ de frisos pintados de adobe". *Arqueología. Conservación y Restauración*. Luisa Masetti Bitelli. Ed. Nerea, 2002, p.123.

proporcionándole al polímero una considerable estabilidad térmica. El átomo de silicio sustituido y el de oxígeno no sustituido difieren enormemente en tamaño, dándole a la cadena una sección transversal bastante irregular; como resultado, las interferencias estéricas o congestiones intramoleculares se ven disminuidas proporcionándole a estos polímeros inorgánicos una extraordinaria flexibilidad<sup>28</sup>.

Aunque es un material que responde a una óptima estabilidad, se han realizado estudios en los que se ha evaluado y comprobado el estado de algunos monumentos tras su intervención con silicato de etilo hace unos 20 años, y tras los estudios físico-químicos no ha encontrado presencia alguna del producto, hecho que indica que a pesar de su estabilidad también se degradan con el paso del tiempo y la acción de los agentes medioambientales. Pero cabe resaltar que algunos de los monumentos analizados correspondían a materiales de una escasa porosidad que no permitían una penetración óptima del producto (mármol travertino) y otros se encontraban en entornos hostiles<sup>29</sup>. También se ha estudiado el efecto de los silicatos de etilo sobre adobes, donde se ha observado una buena penetrabilidad del material, alcanzando de 1 a 3 cm de profundidad<sup>30</sup>. Cabe resaltar que la acción reintegradora de este tipo de productos es bien distinta a la obtenida con las resinas acrílicas, ya que en éstas se produce un efecto aglutinante frente al efecto cementante que se aprecia con los silicatos. Dicho efecto no crea barreras que obstaculizan el transporte del vapor de agua de los materiales cerámicos poco cocidos, como es en este caso.

Es necesario conocer el papel decisivo que adquiere la distribución del tamaño de los poros del material a tratar y la resistencia de éstos a la acción de las sales, así como la presencia de un volumen elevado de microporos. En este sentido, cabe mencionar un estudio realizado sobre alterabilidad y efecto de tratamientos consolidantes en dos tipos de ladrillos muy porosos y poco cocidos<sup>31</sup>. En el estudio fue utilizado el silicato de etilo *Estel 1000* y éste mismo en combinación con el hidrofugante *FTB hydro es* (oligosiloxano modificado). En este caso los tratamientos hacen disminuir la porosidad total sin afectar de manera significativa a la distribución de tamaños de poros, pero en cambio, la dureza superficial no experimenta cambio alguno. En la combinación de silicato con hidrofugante se observa un cambio significativo tanto en velocidad de absorción como en cantidad de agua absorbida. Pero en la valoración global del estudio no se aprecia una mejoría considerable ni tampoco un empeoramiento tras la consolidación con estos productos.

Sobre la efectividad de los alcoxisilanos en adobe, se ha observado que la distribución de la composición y el tamaño de los granos que conforman el adobe son factores muy importantes a la hora de seleccionar el tipo de consolidante. Un estudio sobre la interacción de los consolidantes químicos con los adobes estableció que los que contienen caolinita tienen una

---

28. ZARRAGA, Ramón et al. *Op. Cit.* 2006. p 47.

29. OSCA, Julia. *Op.cit.* 2005, p 34.

30. CHIARI, Giacomo. *Op.cit.* 2002, p 123.

31. ALEJANDRE, Fco. Jose y VILLEGAS, Rosario. "Estudio de la alterabilidad y efecto de tratamientos de conservación para los ladrillos de la portada de la iglesia de Santa María de Jesús (Sevilla)". *Materiales de construcción*, vol. 59, nº 293, 2009, pp 85-103.

consolidación efectiva con silanos<sup>32</sup>. Por otra parte, los silanos no desarrollan un vínculo lo suficientemente fuerte como para crear uniones entre las partículas de cuarzo y montmorillonita, por lo que no se desempeñan bien en adobes con compuestos de montmorillonita, y / o capas mezcladas.

Pese a que cualquier ficha técnica indica que tras el tratamiento no se produce una modificación en el color, o el aspecto sobre la superficie del material tratado, en ciertos casos prácticos se aprecia una ligera modificación ascendente en el aspecto tonal. Como por ejemplo una investigación de consolidantes llevada a cabo sobre superficies de tierra, donde la aplicación de *Silbon 40* (silicato de etilo) provoca un oscurecimiento en la zona aplicada<sup>33</sup>. En el caso de los adobes, Chiari argumenta que los materiales tratados con estos productos conservan una gran similitud con el material no tratado en cuanto a color, brillo y aspecto general<sup>34</sup>.

El silicato es un producto que aplicado correctamente permite la retratabilidad del material en un futuro. Por otro lado, cabe señalar que en estudios realizados se han observado la aparición de microfisuras a nivel superficial a consecuencia de la aplicación de silicato de etilo<sup>35</sup>. Este hecho ha desencadenado una serie de investigaciones que han dado como resultado diferentes estudios que a día de hoy continúan en vías de investigación<sup>36</sup>.

Como es obvio, a través de los resultados de diversas investigaciones y experimentos, se genera una controversia sobre el uso en este caso de alcoxisilanos para la conservación de los materiales de construcción de barro. Por ejemplo, de acuerdo con Chiari, un consolidante

---

32. **ÖZTÜRK, Isil.** *Op.cit.* 1992, pp 71-72.

33. **FERRON, Amila.** *The consolidation of earthen surface finishes: A study of desagregating plasters of Mesa Verde National Park.* Tesis doctoral. University of Pennsylvania, 2007, p 125.

34. **CHIARI, Giacomo.** *Op.cit.*, 2002, p 122.

35. **OSCA, Julia.** *Op.cit.* 2005, p 35.

36. **STELLA, Luz.** "La consolidación de materiales pétreos mediante nanopartículas". *La Ciudad Histórica: Espacio de Encuentro de las Humanidades y las Ciencia Experimentales.* Granada. 14-17 Octubre, 2009. Resumen, p 9. Se pretende estudiar el efecto de los productos consolidantes basados en nanopartículas obtenidos por diferentes métodos de síntesis, con la finalidad de evaluar su comportamiento a nanoescala, su evolución morfológico-cristalina, su reacción en diversas superficies expuestas, así como valorar su comportamiento en diferentes condiciones ambientales.

**SALAZAR, Carmen et. al.** "TEOS-Colloidal silica-PDMS-OH hybrid formulation used for Stone consolidation." Revista virtual: *Applied Organometallic Chemistry.* Vol. 24, nº 6, pp 481-488, junio 2010. Donde se propone la síntesis de un consolidante híbrido basado en TEOS y rellenos con sílice coloidal (200 nm de diámetro) y hidroxipolidimetilsiloxano terminado (PDMS-OH). Ambos aditivos mejoran las propiedades del gel como la porosidad y elasticidad, lo que lleva a la formulación de geles no fracturados y permeables.

**AGUILERA, Alberto et. al.** "El cuerpo académico de química y tecnología del silicio." Revista virtual: *Enlace Químico.* Tomo 2, nº3. Universidad de Guanajuato, 2009. Donde pretenden mejorar la porosidad de los geles depositados y propiciar que la evaporación del disolvente no fragmente el gel, a partir de la incorporación de partículas de sílice coloidal de un tamaño entre 150-180nm.

**SALGADO, Jose et. al.** "Aplicación de mezclas de alcóxidos de silicio en la conservación de adobe". Revista virtual: *Enlace Químico.* Tomo 2, nº7. Universidad de Guanajuato, 2010. Donde proponen el uso de mezclas basadas en alcóxidos de silicio, permitiendo consolidar e hidrofugar el material en un solo tratamiento.

propicio para el adobe debe proporcionar resistencia al agua y permitir la migración de la misma tanto en fase líquida y vapor, otras vías de investigación confirman la eficacia de los alcoxisilanos, que parecen ser los materiales más prometedores para la consolidación de adobe.

De igual manera, los estudios al respecto realizados en la Universidad de Guanajuato, han producido resultados tanto positivos (la mayoría) como negativos en cuanto a su efectividad. En algunos tratamientos se ha aumentado la resistencia del material mejorando considerablemente su cohesión, mientras que en otros casos, el desempeño del consolidante se ha considerado pobre. Ante este problema, se ha visto la necesidad de restringir en algunos casos la aplicación de estos compuestos en los monumentos de piedra, y los expertos en el campo de la ciencia de los materiales han concluido que son varios los factores que requieren ser evaluados para poder diagnosticar correctamente el tipo de tratamiento que precisa cada monumento u objeto en particular. En este sentido la realización de pruebas in situ con diferentes tratamientos previa la intervención, y la realización de ensayos y pruebas en el laboratorio proporcionan una información muy útil a la hora de seleccionar el tratamiento más adecuado en cuanto a efectividad y durabilidad en cada caso particular. Por lo que la continuidad en los estudios de investigación sobre consolidación en este tipo de material o cerámica (en esta última a día de hoy resulta escasa) debe continuar y profundizar no solo en los materiales y productos, sino también en las técnicas de aplicación, siendo también fundamental que los tratamientos anteriores continúen siendo controlados, aportando así información muy valiosa para los investigadores.

## 2.4.- Selección del consolidante

A partir de los datos bibliográficos recopilados a lo largo de esta investigación, se ha comparado las ventajas e inconvenientes de cada tipo de consolidante, adecuándolo a las características correspondientes del material cerámico y del sitio.

En esta selección han primado los siguientes aspectos:

1. El efecto reintegrador del material empleado. Examinando previamente qué nivel de consolidación exige el material cerámico.
2. Si el nivel de consolidación obtenido es o será apreciable a simple vista, en comparación con las muestras sin tratar.
3. Si provocará una modificación muy acusada en la porosidad del material que pueda llevar a provocar una seria alteración en la transpiración de la cerámica (transporte del agua y vapor del agua a través del soporte)
4. Que el producto sea compatible con la naturaleza del soporte. Evitando de este modo posibles reacciones del productos con los componentes de la cerámica y tensiones entre las zonas tratadas y sin tratar.
5. Que las plataformas no sufran cambios tonales y/o brillos de forma significativa. Y con que con el paso del tiempo y la acusación de los agente ambientales (como por ejemplo la radiación UV) no altere su aspecto cromático.
6. Que la intervención con el producto seleccionado no interfiera en la retratabilidad cuando sea necesario.
7. Que responda con la situación climática del emplazamiento del monumento<sup>37</sup>.

Por esta razón se ha descartado las resinas acrílicas, por su baja resistencia mecánica, el rápido envejecimiento que ofrece por su alta sensibilidad al oxígeno y a las radiaciones ultravioleta, así como a las radiaciones térmicas y al agua<sup>38</sup>. Además, de la biodegradación a la

37. El clima de la microárea es del tipo andino frío por ubicarse entre 3.000 y 3.700 metros sobre el nivel del mar. En el nicho ecológico de Cochasquí existen dos temporadas muy diferenciadas, la de lluvias que comienzan en octubre y terminan en mayo, y la época seca comprendida entre los meses de junio a septiembre, con sol radiante y vientos casi huracanados. **Ortiz, Lenin.** *Op.cit.*, 1999, p.48.

38. Estos comportamientos quedan evidenciados gracias a la realización de investigaciones científicas, véase algunos ejemplos:

**CAVICCHIOLI, A. et al.** "Automatic devices for monitoring environmentally induced auto-oxidative degradation of artistic materials in conservation sites". Revista virtual: *Sensors and Actuators B*, vol.131, nº2, 2008. Enlace: [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925400507010052](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925400507010052).

Se estudia cómo afecta la luz a la resina acrílica Paraloid-B72.

**FAVARO, M. et al.** "Evaluation of polymers for conservation treatments of outdoor exposed stone monuments. Part II: Photo-oxidative and salt-induced weathering of acrylic-silicone mixtures". Revista virtual: *Polymer Degradation and Stability*, 92, 2007. pp 335-351. Enlace: [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014139100600351X](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014139100600351X). Donde se estudia el comportamiento del cocktail de Bolonia en el exterior, compuesto con resina acrílica Paraloid-B72 y siliconas.

**CESARE, Giulio et. al.** "Hydrophobic treatments for Stone conservation. Influence of the application method on penetration, distribution and efficiency. *Studies in conservation*, 48, 2003, pp 217-226. En él se ha comparado el efecto hidrorrepelente de Paraloid B72 y Silrain 50 (polimetilsiloxano oligomérico al 5% en White Spirit) destacando mejores

que se ven sometidos con el tiempo, también sufren dilataciones térmicas que pueden generar tensiones llegando a fracturar el material cerámico<sup>39</sup>. Su cierta reversibilidad, en la mayor parte de los casos garantizada a un corto plazo, se vuelve mucho más complicada con el paso de los años, ya que las moléculas de polímero tienden a unirse unas a otras mediante la formación de puentes debidos a una oxidación fotolocalizada<sup>40</sup>.

También cabe considerar el efecto que tienen estos productos sobre adobes o cerámicas cocidas a muy bajas temperaturas como es el caso de estas plataformas. En adobes tienden a formar una capa superficial, a oscurecer el color, aumentar el brillo y cambiar la textura, además poseen un coeficiente de dilatación térmica de mayor volumen respecto al adobe, apreciándose la separación de las áreas intervenidas de las no tratadas, formando una costra que suele ser dura<sup>41</sup>.

Los alcoxilanos son considerados por la mayoría de los restauradores de monumentos como los consolidantes más promisorios para las piedras areniscas, igualmente para tobas como son las canterías rosas utilizadas en monumentos de la ciudad de Guanajuato, y en general, de materiales pétreos de composición silícica<sup>42</sup>. Por consiguiente, la inclinación por el uso de productos de origen organosilíceo parece ser la más apropiada por las características que poseen, viéndose reflejado en diversos artículos de investigación. Uno de ellos, consistía en el seguimiento mediante SEM, donde llevaba a cabo un seguimiento de la evolución temporal de una superficie de adobe consolidada mediante silicato de etilo con óptimos resultados<sup>43</sup>. También ha sido empleado en adobes de Sudamérica como los sitios de Garagay y Chan Chan (Perú) con resultados muy satisfactorios<sup>44</sup>.

En rocas areniscas, la aplicación de estos tratamientos también ha dado óptimos resultados, proporcionando al soporte una mejora de un 200% en sus características mecánicas, sin generar cambios significativos en su estructura porosa y sin perjudicar el comportamiento hídrico de la roca, añadiéndose también a estos resultados los productos hidrofugantes<sup>45</sup>.

---

resultados este último.

39. Se han realizado estudios sobre la eficacia de las resinas acrílicas en el exterior (sobre piedra) que han dejado constancia del comienzo de la pérdida de eficacia y estabilidad a partir de los 12 meses de exposición al exterior: Véase: **Osca, J.** *Op.cit.*, 2005. p. 22.

Algunas industrias fabricantes aportan garantías de durabilidad de alrededor de 10 años, los cuales no son suficientes para justificar su uso. Véase: **CHIARI, Giacomo.** *Op.cit.*, 2002. p. 121

40. Véase: **CHIARI, Giacomo.** *Op.cit.*, 2002, p. 121.

41. Véase: **CHIARI, Giacomo.** *Op. cit.* 2002, p.122.

42. **ZARRAGA, Ramón et al.** *Op. cit.*, 2006, p.45.

43. Véase: **CHIARI, Giacomo.** *Op. cit.* 2002, p 122.

44. **ÖZTÜRK, Isil.** *Op.cit.* 1992, pp. 67-69.

45. **ZOGLAMI, Karima.** *Las areniscas miocénicas de la formación Fortuna utilizadas en la construcción del acueducto romano de Zaghuan-Cartago. Caracterización petrofísica, alterabilidad y ensayos de control sobre la idoneidad de los tratamientos de restauración.* Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona, 2003, pp 162-237.

Véase también: **GARCÍA, Garmilla, et. al.** "Aplicaciones de la microscopía electrónica de barrido al estudio del deterioro y la restauración de edificios históricos: La Casa de Oquendo (s.XVI) y EL Palacio de la Diputación (s.XIX) (San Sebastián, País Vasco)". *Geogaceta*, 28, 2000, pp 59-62. En él se busca el consolidante más adecuado para una piedra de tipo arenisca, siendo éstos consolidantes hidrófugos a base de silicatos de etilo.

### **3.- ESTUDIOS FÍSICO-QUÍMICOS Y COLORIMÉTRICOS**

#### **3.1.- ESTUDIOS FÍSICO-QUÍMICOS:**

##### **3.1.1- APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN LABORATORIO**

Los productos de tratamiento elegidos han sido dos consolidantes-hidrofugantes; *Estel 1100* de la casa CTS y *Silres OH100* + el hidrorrepelente *Silres BS290*, éste último en *White Spirit* en proporción 1:10, según las recomendaciones indicadas en las correspondientes fichas técnicas del fabricante (Wacker) reflejadas en la Tabla 3.

Aunque la metodología de aplicación ha sido mediante impregnación con brocha del producto sobre material cerámico (Figura 14), ya que es el método más viable según las circunstancias que envuelven el monumento, se han realizado consolidaciones del fragmento por inmersión con la finalidad de comparar el efecto consolidante.

<b>Producto</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Dilución (%)</b>	<b>Composición</b>
<b>Estel 1100</b>	C.T.S., S.r.l.	Consolidante + hidrofugante	Incluye disolvente	Ester etílico del ácido silícico y polisiloxanos oligoméricos
<b>Silres OH 100</b>	Wacher Chemie	Consolidante	Incluye disolvente	Éster del ácido silícico
<b>Silres BS 290</b>	Wacher Chemie	Hidrofugante	1:10 (White Spirit)	Micro-emulsión a base de silano-siloxano

Tabla 3: Características de los productos aplicados sobre las muestras M1100 y MS290.



Figura 14: Consolidación mediante pincel de las muestras M-S290 y M-1100 mediante los productos *Silres* y *Estel 1100* respectivamente.

**LUQUE, A. et. al.** Evaluación de la eficacia de tratamientos en el incremento de la durabilidad de una calcarenita bioclástica (Granada, España). *Materiales de construcción*, vol. 58, 2008, pp. 115-128. Se evalúan diversos consolidantes e hidrofugantes de naturaleza silíceo como: *Tegosivin HL100*, *Silo 111*, *Estel 1100* y *Tegovakon V*.

Los tiempos de espera una vez aplicado el tratamiento consolidante fueron los recomendados por cada fabricante, siendo 2 semanas para *Silres OH 100* (transcurridos los primeros 7 días se aplica el hidrofugante *Silres BS 290*) y 3 semanas para *Estel 1100*. Una vez cumplido el tiempo estimado, se llevaron a cabo los análisis y ensayos en el laboratorio que se exponen a continuación:

### 3.1.2.- MUESTRAS

Las muestras estudiadas (Tabla 4 y Figura 15) extraídas de ambas superficies cerámicas (véase apartado 2.2.) se pueden clasificar por su textura en tres grupos:

Muestra	Ubicación del fragmento	Metodología de aplicación	Consolidante empleado
PI-M1	Plataforma inferior	-	Sin consolidar
PI-M2	Plataforma inferior	-	Sin consolidar
PS-M1	Plataforma superior	-	Sin consolidar
PS-M2	Plataforma superior	-	Sin consolidar
EST.PI	Plataforma inferior	-	Sin consolidar
EST.PS	Plataforma superior	-	Sin consolidar
PS C-IN	Plataforma superior	Inmersión 2 h.	Estel 1100 al 75%
PS C-IN2	Plataforma superior	Inmersión 2 h.	Estel 1100 al 75%
PS C PIN	Plataforma superior	Pincel	1 <sup>a</sup> mano Estel 1100 al 75% 2 <sup>a</sup> mano Estel 1100 al 100%
M 1100	Plataforma superior	Pincel	1 <sup>a</sup> mano Estel 1100 al 75% 2 <sup>a</sup> mano Estel 1100 al 100%
MS 290	Plataforma superior	Pincel	1 <sup>a</sup> mano Silres Oh 100 2 <sup>a</sup> mano Silres BS 290 en White Spirit (1:10)

**Tabla 4:** Número de muestras estudiadas así como la metodología empleada y el tipo de consolidantes aplicados en cada una de ellas.

Un primer grupo integrado por los fragmentos sin consolidar como EST.PI y EST.PS en los que se aprecia una tonalidad marrón tanto en superficie como en el interior del fragmento. En estas muestras se observa una baja cohesión interna, incluso durante su manipulación se producen pérdidas de material. Únicamente puede apreciarse una mayor compactación del material en superficie.

Un segundo grupo formado por las muestras tratadas con *Estel 1100* y *Silres* (M-1100 y M-S290 respectivamente), caracterizadas por presentar una baja cohesión en la zona más interna, de la misma forma que en las muestras sin tratamiento, pero que en las zonas próximas a la superficie presentan una mayor compactación.



**Figura 15:** Aspecto de las muestras a estudio: A) Vista de la muestra EST-PI, sección transversal (izq.) y vista superior (der.). B) Vista de la muestra EST-PS, sección transversal (izq.) y vista superior (der.). C) Vista de la muestra M-1100, sección transversal (izq.) y vista superior (der.). D) Vista de la muestra M-S290, sección transversal (izq.) y vista superior (der.). E) Vista de la muestra PS-PIN, sección transversal (izq.) y vista superior (der.). F) Vista de la muestra PS-CIN, sección transversal (izq.) y vista superior (der.). G) Vista de la muestra PS-CIN2, sección transversal (izq.) y vista superior (der.). H) Vista de la muestra PS.M2, sección transversal (izq.) y vista superior (der.).

El tercer grupo lo forman los fragmentos PSM2, PS.PIN, PS.C.IN y PS.C.IN2 que presentan tonalidades rojizas en superficie y marrón en el interior en los fragmentos. En estos se observa una mayor cohesión interna respecto a las anteriores por lo que durante su manipulación la disgregación es menor. En el fragmento PSM2 sin tratamiento, también se aprecia un nivel de compactación superior al resto.

### 3.1.3.- METODOLOGÍA

Con la finalidad de conocer la composición químico-mineralógica de las plataformas, así como el comportamiento de las mismas ante la incorporación de dos productos consolidantes, se ha realizado un estudio analítico con diferentes muestras extraídas de la plataforma, que comprende:

- **Estudio morfológico** de las muestras extraídas de las plataformas cerámicas. Dicho estudio fue llevado a cabo mediante Microscopía Óptica y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). Facilitando la observación microtextural de los fragmentos cerámicos y el grado de cohesión que presentan antes del tratamiento. Este estudio ha sido realizado en las muestras PI-M1, PI-M2, PS-M1 y PS-M2.

- **Análisis cualitativo de sales solubles**; Con la finalidad de determinar la presencia de sales solubles (carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y cloruros ( $\text{Cl}^-$ )) en el material cerámico. Dicho análisis fue realizado sobre cerámica pulverizada perteneciente a los fragmentos PI-M1, PI-M2, PS-M1 y PS-M2.

- **Estudio morfológico comparativo** entre los fragmentos no consolidados y los fragmentos consolidados mediante Microscopía Óptica y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). Mediante esta combinación se pretende realizar una comparación de la microtextura presente en los fragmentos, antes y después de la aplicación del tratamiento consolidante comprobando el grado/efecto reintegrador de los consolidantes empleados.

- **Estudio químico-mineralógico** mediante SEM-EDX (combinación mediante SEM combinado con microanálisis de Rayos X) de los fragmentos consolidados. Mediante esta técnica será posible confirmar el aumento en la proporción de silicio (Si) asociado a la adición del consolidante en el interior de los fragmentos así como determinar el nivel de penetración alcanzado.

- **Estudio químico-mineralógico** mediante espectroscopía FT-IR de los fragmentos consolidados. Dicha técnica permite confirmar la presencia de materia orgánica asociada al consolidante tras el tratamiento, y determinar el nivel de penetración alcanzado en el interior del material cerámico.

- Estimación del **comportamiento hídrico** de los fragmentos cerámicos consolidados y sin consolidar mediante los ensayos de absorción de la gota y el ensayo de absorción de agua por capilaridad.

- Evaluación de la durabilidad de los tratamientos mediante **ensayos de envejecimiento acelerado en el laboratorio**, sometiendo a las muestras consolidadas y sin tratamiento a variaciones extremas en las condiciones de temperatura y humedad relativa que aceleren los mecanismos de alteración de los tratamientos aplicados, con la finalidad de obtener resultados a corto plazo de su estabilidad, para ello, se ha tenido en cuenta los factores climáticos y ambientales registrados en el emplazamiento de las plataformas. Los ensayos del enveje-

cimiento elegidos han sido la humedad relativa y temperatura, utilizando en cada uno de los ensayos las muestras expuestas a continuación: EST-PS (muestra cerámica sin tratamiento), M-1100 (muestra tratada con *Estel 1100*) y M-S290 (muestra tratada con *Silres OH-100* y el hidrorrepelente *Silres BS-290*).

- **Cálculo de la porosidad**, densidad aparente y densidad real. Este estudio es realizado sobre las muestras de plataforma: M-1100 (muestra tratada con *Estel 1100*), M-S290 (muestra tratada con *Silres*) y EST-PS (muestra sin tratamiento). Con la realización del cálculo de porosidad es posible diferenciar la porosidad abierta y la relación de la misma con el volumen de los poros donde puede acceder el agua y el volumen donde no es posible el acceso. Se comprobará en qué medida el tratamiento conservativo produce cambios en la porosidad del material.

- **Ensayos de velocidad de secado**: Permite conocer qué muestra (tratada y sin tratar) evapora más rápidamente el agua absorbida.

#### 3.1.4.- INSTRUMENTACIÓN

##### -Microscopía óptica (MO):

Se trata de una técnica muy empleada en el campo de la conservación y restauración, aunque evidentemente no aporta información analítica acerca del material examinado, en cambio sí nos permite acercarnos al fragmento cerámico en este caso para conocer su aspecto, color y la forma de las partículas individuales que lo conforman, sin realizar necesariamente un tratamiento previo. En el caso específico de este estudio, las muestras fueron englobadas en resina con la finalidad de observar detenidamente secciones de corte transversal mediante el sistema de luz incidente. A través de la observación estratigráfica, se puede examinar la morfología que conforman las muestras de material cerámico (textura, grado de cohesión, etc...)

Para el examen morfológico de las muestras se llevó a cabo mediante una lupa binocular Leica S8AP0, X10-X80, con sistema fotográfico digital acoplado Leica MSP 60.

Las secciones transversales de las muestras han sido preparadas mediante el uso de desbastadoras mecánicas Struers Knuth-Rotor 2 y Struers DAP 6.

##### - Análisis cualitativo de sales solubles:

El objetivo de este análisis consiste en identificar las posibles sales solubles presentes en el material, dicho ensayo está basado en reacciones de elevada sensibilidad. Comienza con la pulverización de una pequeña cantidad de las muestras mediante mortero de piedra de ágata, para posteriormente aplicar los diferentes reactivos y determinar la presencia de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y cloruros ( $\text{Cl}^-$ ):

Para la detección de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) a la cantidad pulverizada de muestra le es añadido dos gotas de HLC concentrado. La aparición de efervescencia identificaría la presencia de carbonatos.

Para la detección de sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), a la cantidad pulverizada de muestra le es añadido una gota de agua desionizada, para posteriormente aplicar 1 gota de HCl 2M y 1 gota de  $\text{BaCl}_2$  al 2 %. La presencia de sulfatos dará lugar a un precipitado blanco insoluble en ácido nítrico.

Para la detección de cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), es añadido una gota de agua, incorporando posteriormente una gota de ácido nítrico 2M y dos gotas de nitrato de plata 0,1M. En el caso de presencia de cloruros se produce un precipitado blanco gelatinoso de cloruro de plata.

#### **- Microscopía Electrónica de Barrido/ Microanálisis de rayos X (SEM/EDX):**

Esta técnica resulta de gran interés para el examen de materiales inorgánicos. Mediante la microscopía electrónica es posible obtener imágenes de mayor resolución y profundidad que el obtenido mediante la microscopía óptica. La muestra es situada en el Microscopio Electrónico de Barrido, donde los átomos de ésta interaccionan con los electrones de alta energía, produciendo electrones secundarios y electrones retrodispersados, así como efectos de relajación atómica productores de electrones Auger y rayos X característicos. La radiación X aporta información acerca de los elementos químicos que conforman las muestras, esa información es recogida por un detector de rayos X por dispersor de energías. O lo que es lo mismo, un análisis esclarecedor de los componentes químicos elementales que conforma cada capa o zona puntual analizada de las muestras originales antes y después de las intervenciones consolidativas a estudio. El resultado obtenido mediante esta técnica se ve reflejado en forma de espectros de rayos-X, donde es representado por líneas de emisión cada elemento característico de la muestra o de zonas puntuales o áreas de ésta.

Para ello ha sido empleado un microscopio modelo Jeol JSM 6300 con sistema de microanálisis de rayos X Link-Oxford-Isis, operando con un voltaje de 20kV, una corriente de haz de  $2 \cdot 10^{-9}$  A y una distancia de trabajo de 15mm. Las muestras fueron recubiertas previamente con carbono.

#### **- Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier:**

Mediante esta técnica es posible la identificación de compuestos orgánicos e inorgánicos. Es una técnica espectrométrica no dispersiva. Se trata de la absorción de energía de la región infrarroja (2,5-25 micras) del espectro electromagnético por las moléculas de la sustancia analizada. El espectro que se obtiene proporciona información acerca de los grupos funcionales de la molécula, y en general, de los enlaces químicos que existen en el compuesto analizado. Esta técnica, por su sencillez se considera indispensable para el conocimiento de la composición química de las sustancias orgánicas e inorgánicas que caractericen los fragmentos.

Se empleó un equipo Vertex 70 (Bruker Optics) con detector FR-DTG-S (sulfato de triglicina deuterado) con sistema estabilizador de temperatura. Los espectro de absorción IR son adquiridos en modo de reflectancia total atenuada (ATR). Número DE scans, 32; Resolución, 4cm<sup>-1</sup>. Los espectros IR son procesados mediante el programa informático OPUS/IR.

**- Durabilidad. Ensayos de envejecimiento acelerado:**

La simulación de las condiciones medioambientales (T y HR) características del emplazamiento del monumento se llevó a cabo en una cámara climática Dycometal. Las condiciones del ensayo aplicadas han sido: Ciclo 1: T: 21°C y 98% de H.R y Ciclo 2: T: 6°C y H.R de 22% de mínima, establecidas según los valores máximos y mínimos registrados por el termohigrómetro ubicado sobre las plataformas durante la vigencia del Proyecto (ver Figura 16). Los ciclos se van alternado hasta completar un total de 10 ciclos (5 ciclos 1 y 5 ciclos 2).

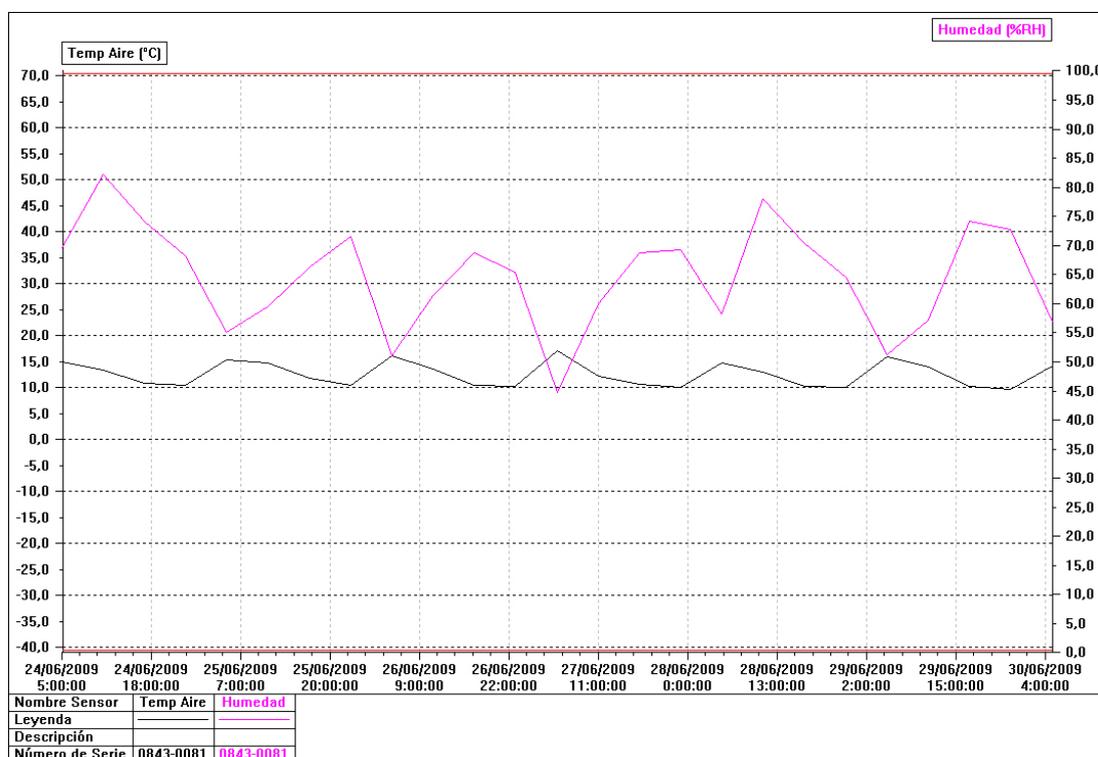


Figura 16: Uno de los registros de temperatura y humedad obtenidos sobre las plataformas cerámicas.

**- Cálculo de la porosidad. Densidad aparente y densidad real**

Dicho ensayo fue desarrollado teniendo en cuenta el método descrito por las recomendaciones RILEM. Con la finalidad de que las muestras alcancen su peso constante (M<sub>1</sub>), éstas son desecadas a unas temperaturas que no causen un cambio en su composición mineralógica, éstas oscilan los 40-70°C.

Las muestras sometidas a estudio son introducidas en un desecador que se encuentra conectados a una bomba de vacío permaneciendo 24 horas. Una vez transcurrido dicho periodo, en el mismo desecador es incorporado agua hasta cubrir por completo las muestras (siempre

a vacío) durante 24 horas, posteriormente y una reestablecida la presión las muestras continúan sumergidas otras 24 horas. Una vez finalizado el tiempo de espera, las muestras saturadas son pesadas en agua ( $M_2$ ) y al aire ( $M_3$ ). La totalidad de los poros permeables al agua se encuentran representados en %, determinándose mediante la expresión:

$$PA = \frac{M_3 - M_1}{M_3 - M_2} \times 100$$

En ella, " $M_1$ " representa la masa de la muestra seca; " $M_2$ " será la masa de la muestra saturada al vacío pesada sumergida (peso hidrostático de la muestra saturada al vacío) y, " $M_3$ " representa la masa de la muestra saturada al vacío pesada a presión atmosférica.

La densidad aparente se relaciona la masa y el volumen aparente determinada por la superficie exterior de la muestra. Se determina en  $g/cm^3$ .

$$\rho_a = \frac{M_1}{M_3 - M_2}$$

La densidad real determina el resultado entre la masa y el volumen que impide el paso del agua. Dicho de otro modo, el volumen correspondiente de la densidad de la muestra y el volumen de los poros impermeables al agua. Se expresa en  $g/cm^3$ .

$$\rho_r = \frac{M_1}{M_1 - M_2}$$

#### - Ensayos de velocidad de secado:

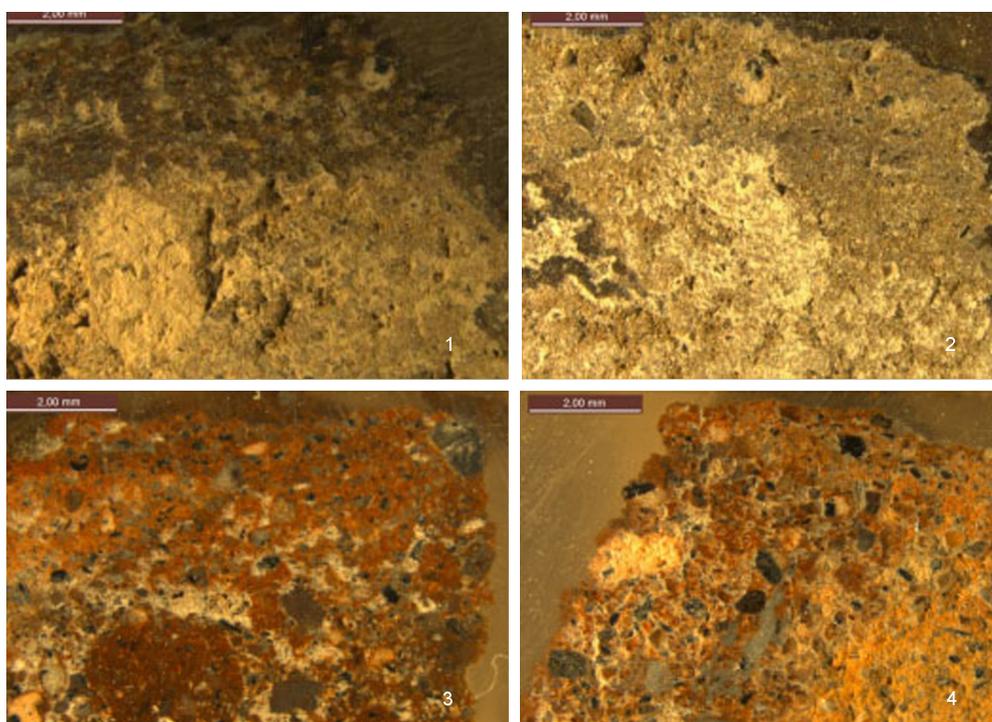
Dicho estudio ha sido llevado a cabo sobre las muestras M-1100 (muestra tratada con Estel 1100), M-S290 (muestra tratada con Silres) y EST-PS (muestra sin tratamiento) cubriéndolas previamente tras la saturación en agua por inmersión con parfilm exceptuando la cara superficial por la que ha de evaporarse el agua absorbida. Cada cierto tiempo se van pesando las probetas hasta que éstas alcanzan su peso inicial seco, momento en el que finaliza el ensayo, y los resultados se representan en una gráfica.

### 3.1.5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

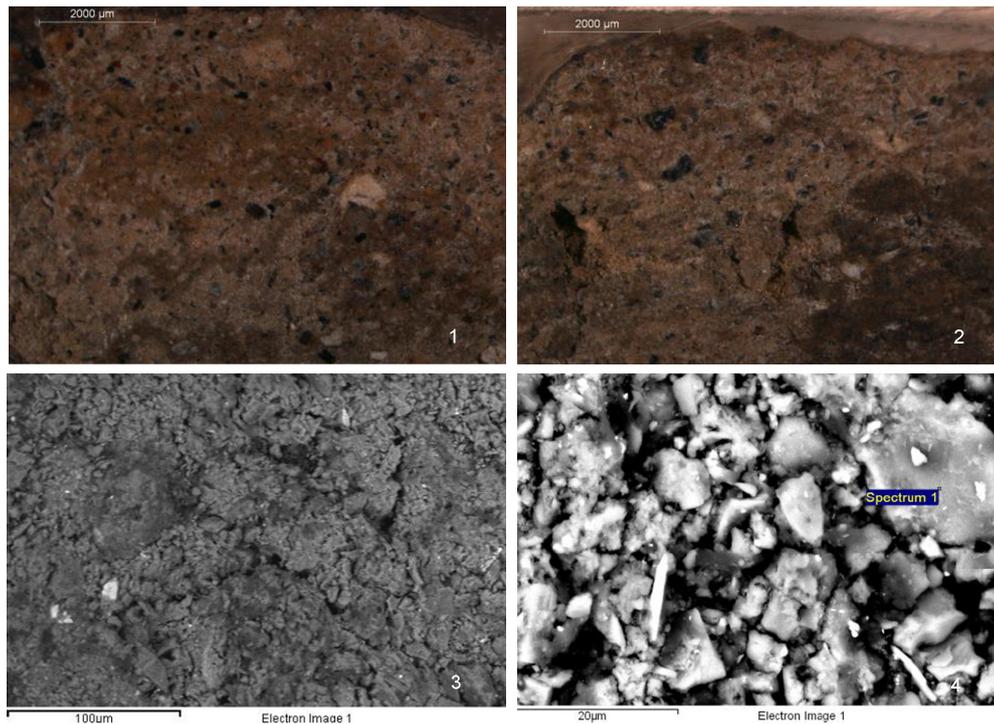
-Estudio morfológico mediante Microscopía Óptica y SEM:

En los estudios comparativos entre muestras sin consolidar y consolidadas, cabe destacar que en las fotografías realizadas mediante microscopio óptico, podemos observar como en los fragmentos EST.PS y EST.PI sin consolidar se aprecia un estado de conservación poco compacto y pulverulento. En las imágenes pueden observarse numerosos poros presentes mayormente en la zona de la sección transversal. Sin embargo, en las áreas próximas a la superficie de las muestras se distingue un mayor grado de compactación, producto posiblemente de la técnica de modelado empleada y /o por el tipo de tratamiento sufrido durante la cocción de las cerámicas.

Por el contrario, en los fragmentos consolidados reflejados en las Figuras 17 y 18 se aprecia una textura más compacta. Destacándose mucho más en las muestras consolidadas por inmersión (PSC-IN2). Sin embargo, en los fragmentos consolidados a pincel se aprecian algunas zonas donde existe una cohesión menor. En las imágenes de electrones retrodispersados (fot.12) obtenidas a grandes aumentos, se aprecia que en la muestra sin tratar EST-PI existe una discontinuidad entre los granos que conforman el material, manifestando una baja cohesión y consecuentemente una pérdida de material cerámico, hecho comprobado al manipular la muestra. Del mismo modo también se aprecia una microtextura muy semejante en la muestra sin tratar PS-M2 en imágenes de electrones secundarios (X2000).



**Figura 17:** Microfotografías de las secciones transversales de las muestras: 1) EST-PS, 2) EST-PI, 3) PS-CIN2 y 4) PS-CPIN.

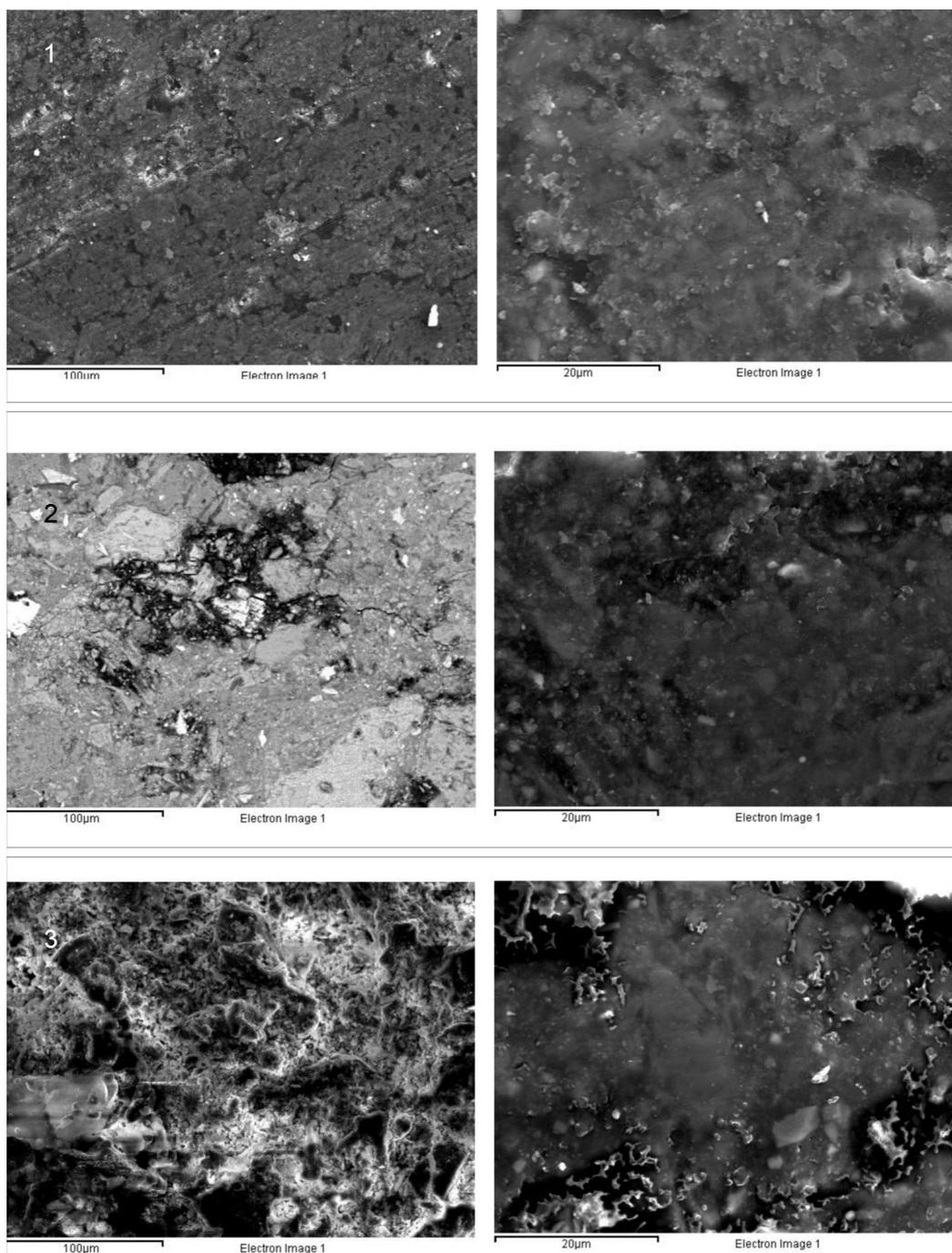


**Figura 18:** Microfotografías de las secciones transversales de las muestras: 1) M-1100 y 2) M-S290. Microfotografías de electrones retrodispersados de las muestras: 3) EST-PI a X20 y 4) EST-PI a X2000.

En el fragmento sin consolidar EST-PS, las imágenes de electrones secundarios (Figura 19) muestran una microtextura ciertamente más compacta en superficie, mientras que en las zonas interiores se observa una disgregación más acusada.

Por otro lado, cabe destacar las muestras consolidadas mediante pincel (PS-CPIN, M-1100 y M-S290), las cuales, como puede verse en las imágenes de electrones retrodispersados y secundarios, en las zonas cercanas a la superficie cerámica existe una mayor compactación del material, ya que se aprecia una cierta continuidad entre los granos debido a un mayor grado de agregación de los mismos. Estas observaciones confirman los resultados obtenidos a nivel macroscópico de las muestras, en las cuales se manifestaba una menor tendencia a la disgregación en comparación con el fragmento EST.PI. no tratado.

En las zonas correspondientes a la parte inferior de las muestras, como en el caso de la muestra PS-CPIN a X400 (a una profundidad de 1-2 cm de la superficie para los dos productos aplicados) el efecto consolidativo comienza a disminuir, apreciándose una cierta discontinuidad o separación de los granos. El alto nivel de compactación en las zonas próximas a la superficie pueden ser asociadas a dos factores: al proceso de sinterización del material durante el proceso de cocción, en la cual en nivel de temperatura es superior en superficie, y/o a la metodología empleada para realizar la consolidación (a pincel), resultando más efectivo en las zonas superiores. En la muestra PS.C.IN2, consolidada mediante *Estel 1100* por inmersión se observa una mayor conglomeración entre las partículas cerámicas, que en comparación con los fragmentos no tratados se observa una menor cantidad de espacios vacíos. Del mismo modo, en las zonas localizadas a 1-2 cm de la superficie del fragmento se observa una mayor compactación que en los fragmentos no consolidados.



**Figura 19:** 1) Microfotografías de electrones secundarios de la muestra EST-PS. Superficie: X400 (izq.) y X2000 (der.). 2) Microfotografías de la muestra M-1100. Superficie: X400 (izq., retrodispersados) y X2000 (der. electrones secundarios). 3) Microfotografías de electrones secundarios de la muestra M-S290. Superficie: X400 (izq.) y X2000 (der.).

- Análisis cualitativo de sales solubles

Los resultados obtenidos mediante los ensayos en cada una de las muestras (PI-M1, PI-M2, PS-M1 y PS-M2) fueron negativos. No obteniendo la reacción característica que justifique la presencia de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) en las muestras analizadas en proporción significativa. Una elevada proporción de sales solubles en las muestras es un factor contraproducente frente a la aplicación de cualquier tratamiento conservativo, por lo que sería necesaria su eliminación previa para evitar efectos indeseados (aparición de manchas salinas en superficie).

-Estudio químico-mineralógico mediante SEM/EDX

Mediante este estudio se ha obtenido la composición química cuantitativa porcentual entre fragmentos tratados y no tratados con la finalidad de estimar si ciertamente existen diferencias relevantes en cuanto a la proporción de silicio (Si), consecuencia de la incorporación del tratamiento consolidante basado en silicato de etilo. Además, entre los mismos fragmentos

FRAGMENTO	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	FeO
<b>MUESTRAS SIN CONSOLIDAR</b>									
EST.PI	1.73	1.01	18.27	66.61	-	1.75	3.09	0.86	6.69
EST.PS	2.40	1.17	16.65	65.97	-	1.76	4.79	0.86	5.86
PS.M2	2.35	1.37	16.71	62.17	-	3.54	3.74	0.97	9.16
<b>MUESTRAS CONSOLIDADAS</b>									
PS.C.IN2	2.34	2.86	12.93	67.10	0.84	1.69	4.61	0.93	6.70
PS.C.PIN	2.49	1.69	15.04	68.63	-	1.78	4.71	0.57	5.10
M1100	2.45	1.28	16.34	66.22	-	1.70	4.61	0.64	6.77
M.S.290	2.48	1.58	15.56	65.86	0.95	1.58	4.53	0.84	6.63

Tabla 5: Composición química (porcentual en peso) de los fragmentos que han sido sometidos a estudio.

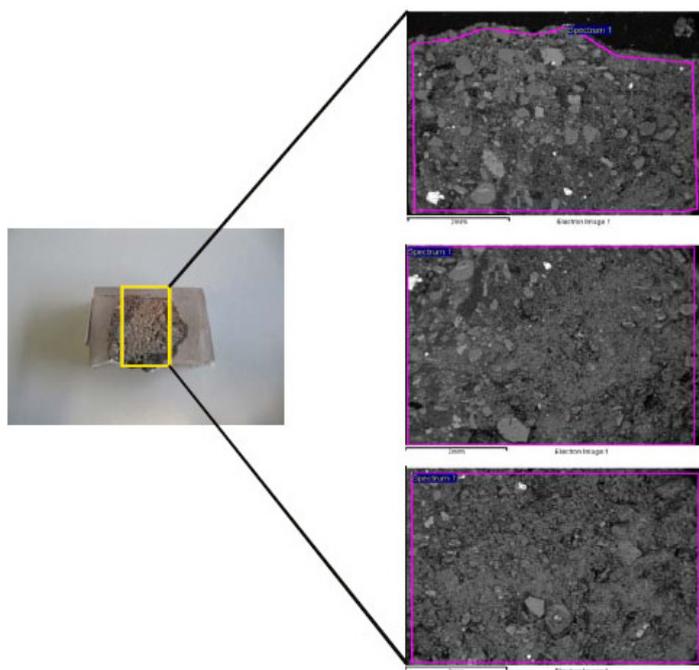
consolidados mediante *Estel 1100* y *Silres* fue realizado un estudio comparativo con la finalidad de evaluar el nivel de penetrabilidad alcanzado en ambos. Como queda representado en la tabla 5, la composición química porcentual queda reflejada en forma de óxidos a través de los análisis de área realizados sobre las secciones transversales correspondientes de los fragmentos a estudio.

En estos datos se aprecia un pequeño aumento del porcentaje de la cantidad de  $\text{SiO}_2$  en los fragmentos donde se ha aplicado el material consolidante. Siendo de un 66-69% en las muestra consolidadas frente a un 62-65% en los fragmentos no tratados. Este ligero aumento de sílice puede ser asociado a la acción consolidativa, ya que los productos incorporan a los fragmentos silicato de etilo y polisiloxanos.

Del mismo modo, fue determinada la composición química porcentual a diferente profundidad (superficie, 0,5cm y 1cm). En los fragmentos consolidados a pincel (PS-CPIN, M-1100 y M-S290) no se aprecia una variación en cuanto al contenido de SiO<sub>2</sub> en las muestras PS-CPIN y M-S290, en cambio, en la muestras PS-CIN2 y M-1100 se aprecia una disminución gradual de Si a un centímetro de la superficie del fragmento, en las zonas más internas. Los resultados de los datos de composición en forma de porcentaje en peso de óxidos a diferente profundidad de la superficie de las muestras PSC.PIN, PSC.IN2, M1100 y MS.290, quedan reflejados en la tabla 6 a continuación.

Modo de aplicación	Fragmento	P	NA <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	FeO
Pincel	PS-CPIN	0	2,49	1,69	15,04	68,63	-	1,78	4,71	0,57	5,10
		0,5	2,65	1,55	15,03	68,35	-	1,72	4,44	0,57	5,67
		1	2,24	1,51	15,80	67,34	-	2,06	4,34	0,64	6,08
Pincel	M-1100	0	2,38	1,75	15,16	67,22	-	1,79	4,74	0,66	5,59
		0,5	1,81	1,18	16,75	65,27	-	1,83	3,69	1,14	8,34
		1	2,04	1,03	18,45	63,92	-	1,50	3,66	1,07	8,32
Pincel	M-S290	0	2,48	1,58	15,56	65,86	0,95	1,58	4,53	0,84	6,63
		0,5	2,08	1,42	16,07	65,81	0,79	1,78	4,07	0,97	7,81
		1	2,01	1,31	17,85	64,18	-	1,59	3,27	0,89	8,11
Inmersión	PS-CIN2	0	2,34	2,86	12,93	67,10	0,84	1,69	4,61	0,93	6,70
		1	3,37	2,16	17,56	64,01	-	1,31	6,27	0,54	4,77

**Tabla 6:** Composición química (porcentual en peso) de los fragmentos PS-CPIN, PS-CPIN2, M-1100 y M-S290 a diferente profundidad (P: profundidad en cm de la superficie).



**Figura 20:** Detalle de la sección transversal de la muestra PS-CPIN y de las áreas de adquisición química porcentual.

Los resultados indican que en los fragmentos tratados con el consolidante por impregnación a pincel la profundidad de penetración del consolidante ha sido superior que en aquellos que se han sumergido en el consolidante. Este resultado se explica de acuerdo a las características particulares de cada fragmento (porosidad, disgregación, etc.) y a la concentración del consolidante aplicado (ver Figura 20).

#### -Estudio químico-mineralógico mediante Espectroscopía FT-IR

Mediante la Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR) en primera instancia, fue caracterizado el producto comercial en estado puro (*Estel 1100*) con la finalidad de constituir las bandas asociadas a los modos de vibración característicos de los silicatos de etilo y polisiloxanos, presentes estos en los tratamientos consolidantes aplicados, con la finalidad de ser detectados en las muestras. Dicho espectro muestra la presencia de bandas sobresalientes entorno a  $1100\text{ cm}^{-1}$ , vinculadas a vibraciones del enlace Si-O característico del silicato de etilo y de los polisiloxanos. También son relevantes las bandas a  $2900\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ , relacionadas con las vibraciones de tensión de enlaces C-H que se encuentran en la materia orgánica. Como se ha determinado gracias al estudio realizado mediante SEM/EDX, en los fragmentos cerámicos sometidos a estudio se encuentra un alto contenido en silicio, es por ello que en el presente estudio sólo será conveniente con fines identificativos las bandas a  $2900\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ , ya que las bandas a  $1100\text{ cm}^{-1}$  (asociadas al silicato de etilo y los polisiloxanos) ocultarían las concernientes a los minerales silíceos característicos del material sometido a estudio.

El análisis realizado mediante Espectroscopía F-TIR en los fragmentos con tratamiento consolidativo revelan la presencia de bandas de baja intensidad ( $2900\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ ), las cuales son asociadas a la propia incorporación del consolidante, como queda reflejado en los espectros de absorción IR en los fragmentos PS-CPIN y M-S290. Cabe indicar que en las muestras sin tratamiento no fueron detectadas estas bandas.

Los espectros infrarrojos obtenidos en las muestras a diferente profundidad de la superficie (Figura 21) revelan que los fragmentos tratados con *Estel 1100* con diferentes metodologías de aplicación (inmersión y pincel) muestran una disminución de intensidad de las bandas a  $2900\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$  a 1-2 cm de la superficie de las muestras PS-CPIN, PS-CIN2, M-1100 y M-S290, mientras que el fragmento tratado a pincel PS-CPIN continúa detectándose a 1-2 cm de la superficie. Dichos resultados confirman los obtenidos anteriormente con SEM/EDX (Figura 22).

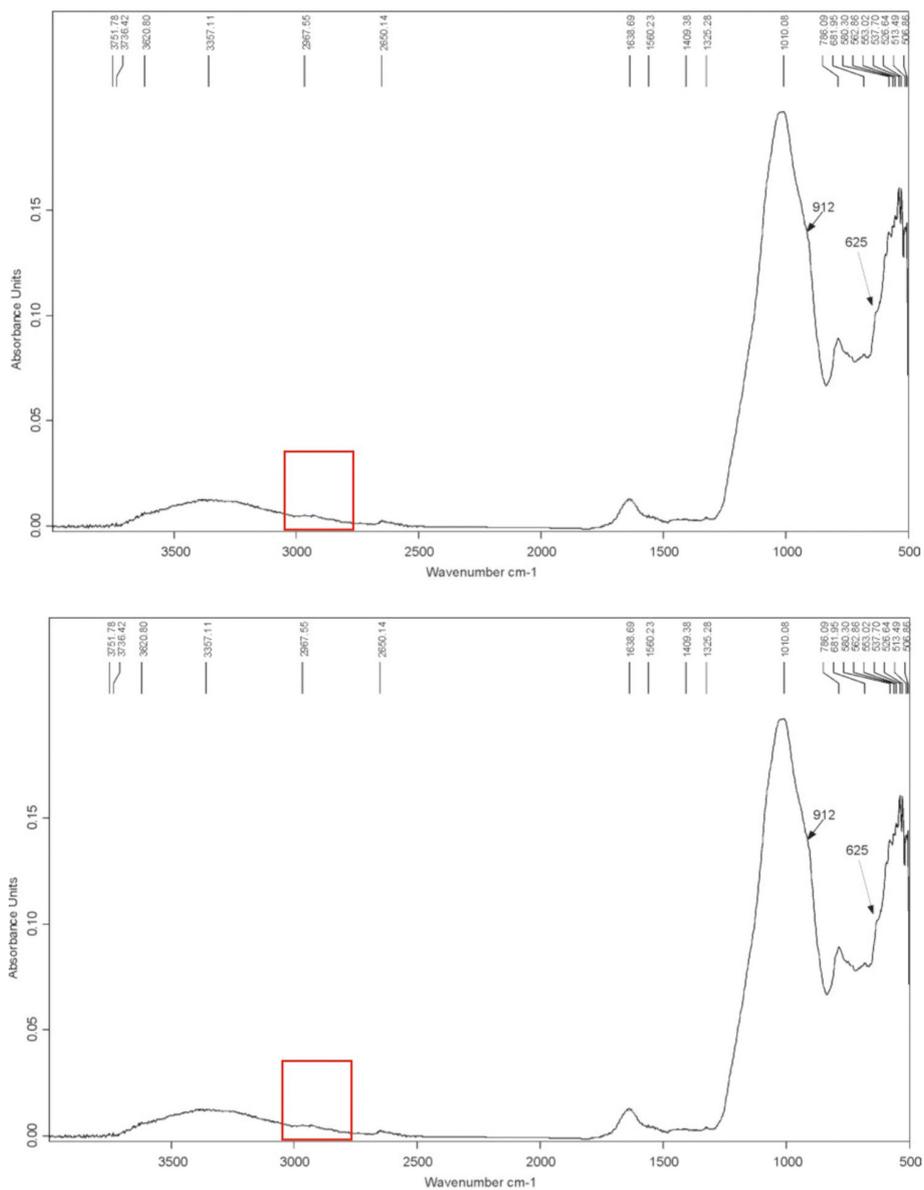
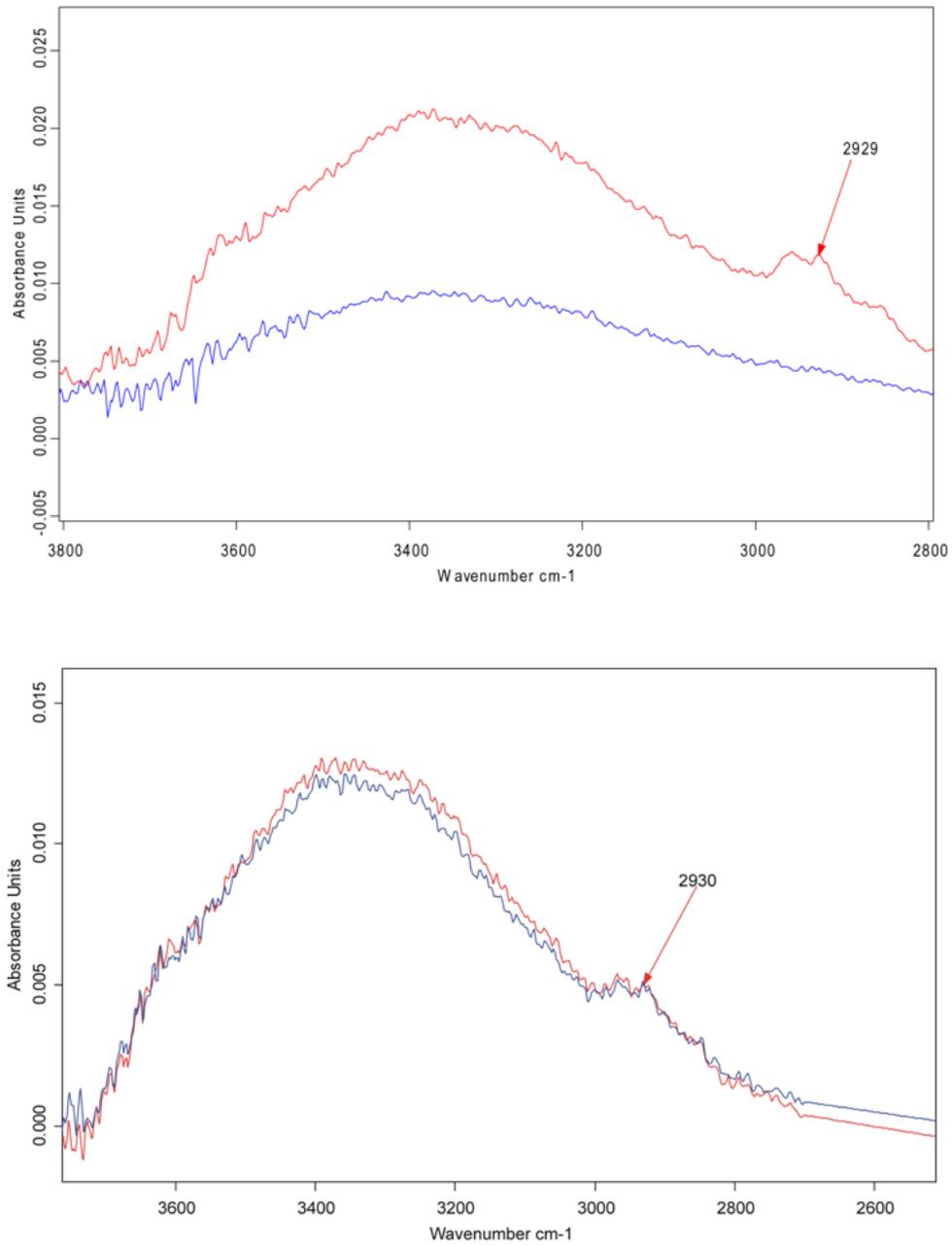


Figura 21: Espectro infrarrojo de la superficie de la muestra PS-CPIN (arriba) y Espectro infrarrojo de la superficie de la muestra M-S290 (abajo).



**Figura 22:** Espectros infrarrojos de la muestra M-S290 (arriba) y PS-CPIN (abajo) obtenidos de la superficie (rojo) y a una profundidad de 1cm (azul).

-Evaluación del comportamiento hídrico:

Ensayo de absorción de la gota

Este tipo de ensayo ha sido realizado teniendo en cuenta el carácter hidrorrepelente de los productos aplicados (silicatos de etilo en combinación con silanos/siloxanos). Con la finalidad de determinar el grado de hidrorrepelencia que manifiesta cada una de las muestras consolidadas y sin consolidar, éstas fueron sometidas al ensayo de la gota de agua. Se trata de un ensayo muy simple, donde se aplica una gota de agua sobre la superficie de las muestras y se observa el tiempo en el que tarda en ser absorbida por la muestra. Este ensayo fue realizado sobre los fragmentos: EST-PS, PS-CPIN, M-1100, M-S290 y PS-CIN2.

MODO DE APLICACIÓN	FRAGMENTO	TIEMPO DE ABSORCIÓN
-	EST-PS	Inmediato
Pincel	PS-CPIN	18 min
	M-1100	>45 min
	M-S290	>45 min
Inmersión	PS-CIN2	>45 min

Tabla 7: Tiempos de absorción obtenidos en las aplicaciones a pincel y por inmersión.

Los resultados obtenidos tras el ensayo quedan reflejados en la tabla 7, donde puede observarse el tiempo transcurrido hasta la completa absorción de la gota en cada una de las muestras. Queda de manifiesto el carácter hidrófugo de los tratamientos aplicados tanto a pincel como mediante inmersión, ya que en los ensayos se superan los 45 minutos hasta la completa absorción de la gota. Cabe destacar la muestra PS-CPIN, consolidada con Estel 1100 mediante pincel, donde se muestra un valor inferior respecto a los otros fragmentos tratados, esto posiblemente sea debido al carácter irregular de la superficie del fragmento o a una aplicación irregular del consolidante mediante el pincel. Por el contrario, como queda reflejado en la tabla, en la muestra no tratada (EST-PS) la gota es absorbida inmediatamente.

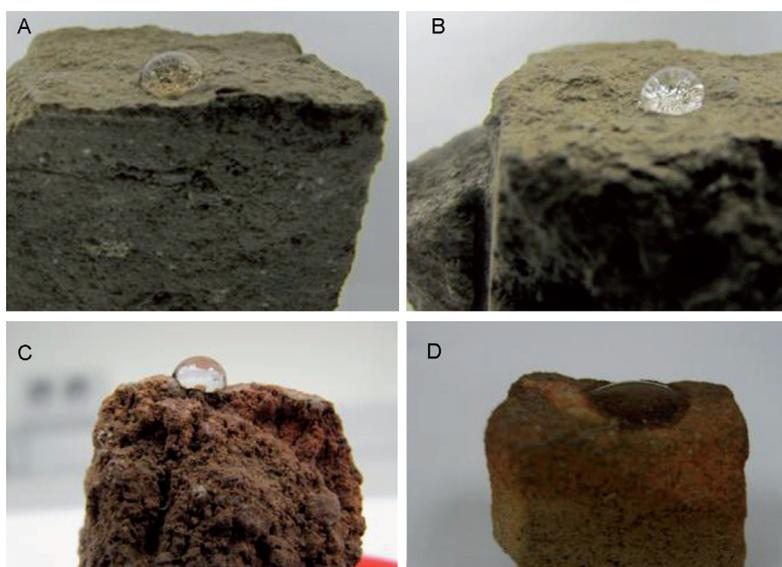


Figura 23: Detalles del ensayo de la gota. A) fragmento M-1100, B) fragmento M-S290, C) fragmento PS-CIN2 y D) fragmento PS-M2.

Son de destacar los fragmentos PS-CPIN, M-1100, M-S290 y PS-CIN2 donde la gota aplicada presenta una forma altamente esférica, ocurre todo lo contrario en la muestra sin consolidar PS-M2 donde la superficie de contacto de la gota es mucho mayor (Figura 23).

Ensayo de absorción de agua por capilaridad.

Este ensayo consiste en la capacidad de succión de agua de cada una de las muestras por capilaridad. Las muestras, inicialmente secas son puestas sobre su base en una lámina de agua de unos 2mm de altura, manteniéndose ésta invariable, pesando las muestras en intervalos de tiempo determinados. Mediante esta metodología, descrita en el Documento Normal 11/85, se obtiene el coeficiente de capilaridad ( $C_c$ ) en función de la masa de agua absorbida por los fragmentos (M) por unidad de superficie (S) y la raíz cuadrada del tiempo (t), viene expresado en ( $g/cm^2 \cdot s^{0.5}$ ). Trazándose de este modo curvas de absorción capilar del tanto por ciento de agua en función del transcurrido.

$$C_c = \frac{M}{S t^{1/2}}$$

El comportamiento de las muestras tras el ensayo queda reflejado en la Figura 24, donde se muestran las diferentes curvas de absorción de agua por capilaridad.

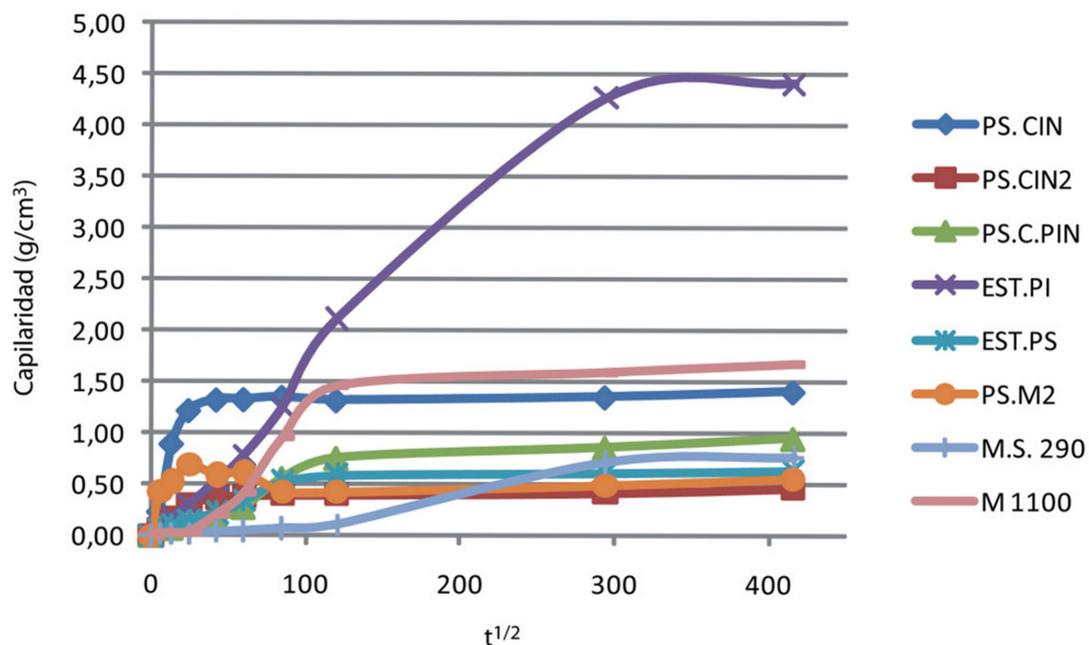


Figura 24: Curvas de absorción de agua por capilaridad obtenidas para los diferentes fragmentos estudiados.

Cabe destacar el comportamiento hídrico exhibido por fragmento EST.PI, el cual no está consolidado. Dicha muestra ha sido la que ha absorbido más cantidad de agua durante el ensayo, aunque la velocidad de absorción es media, ya que tarda entre 24-48 horas en alcanzar la saturación completa. En cambio, los fragmentos sin consolidar EST-PS y PS-M2 absorben una menor cantidad de agua en tiempos más cortos (Figura 25), este hecho puede deberse a una porosidad menor de los fragmentos, al sufrir una mayor temperatura durante la cocción y/o al presentar un mejor estado de conservación.

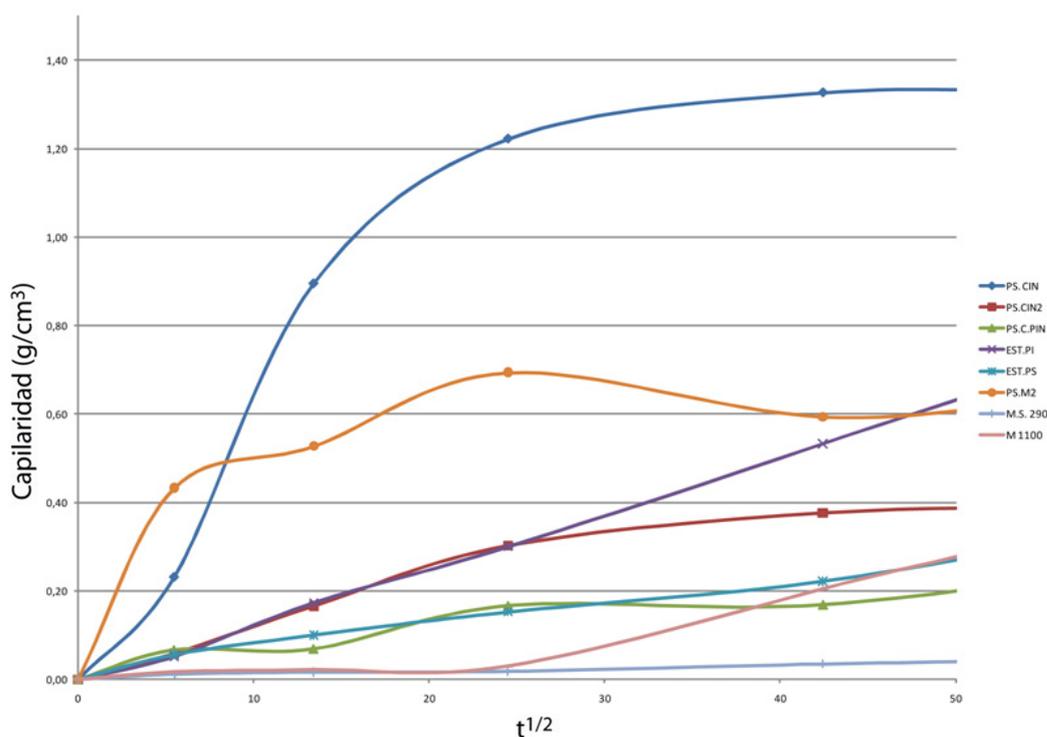


Figura 25: Curvas de absorción de agua por capilaridad a tiempos cortos del ensayo.

Los resultados obtenidos en el caso de los fragmentos consolidados (PS-CIN, PS-CIN2 y PS-CPIN, M-1100 y M-S290) se observa una absorción de agua menor, esto puede asociarse al carácter hidrorrepelente de los consolidantes por su contenido en polisiloxanos, los cuales pueden producir una disminución de la porosidad en los fragmentos.

Por otro lado cabe mencionar las muestras consolidadas con Estel 1100 mediante inmersión (PS-CIN y PS-CIN2), donde se ha encontrado una diferencia del comportamiento hídrico, absorbiendo PS-CIN2 menos cantidad de agua que PS-CIN. Este resultado podría ser debido a que proceden de áreas diferentes de plataforma o a sus diferentes estados de conservación.

Pese a ello cabe destacar, que los fragmentos consolidados mediante pincel, como son PS-CPIN, M-1100, y M-S290 han obtenido óptimos resultados al manifestar el menor grado de absorción.

Se puede concluir que los fragmentos PSC.PIN y MS.290, así como PSC.IN y M1100 han presentado un comportamiento similar. Estos resultados coinciden con las conclusiones ex-

traídas tras el análisis mediante SEM/EDX, donde se estimó el grado de penetración del consolidante según el cambio cuantitativo de contenido de sílice a diferente profundidad del material.

- Resistencia a la alteración. Ensayos de alteración acelerada.

Una vez finalizado el proceso de envejecimiento acelerado, han aparecido tanto en las muestras tratadas como en la muestra sin tratar (M-1100, M-S290 y EST-PS): sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) en una cantidad de 2,06 gr. por kilo de muestra, nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en una cantidad entre 50-100 mg por kilo de muestra y cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) en una cantidad de 278 mg por kilo de muestra.



**Figura 26:** Aspecto tras el envejecimiento acelerado. A) Muestra M-S290, vista superior (arriba izq.) y vista perfil (arriba der.). B) Muestra M-1100, vista superior (abajo izq.) y vista perfil (abajo der.).

Cabe destacar que el análisis cualitativo de sales solubles realizado con las muestras antes del ensayo dio resultados negativos, aunque fue realizado en otras muestras (PI-M1, PI-M2, PS-M1y PS-M2), por lo que existen varias posibilidades como que esta aparición de sales sea producto de su incorporación a través del agua durante los ensayos de comportamiento hídrico o por otra parte, que justamente estas muestras contenían sales en un inicio y que además se incrementaron tras dicha evaluación.

- Cálculo de la porosidad, densidad aparente y densidad real

Mediante este estudio queda constatado que la porosidad abierta (PA) es superior en las muestras no consolidadas respecto a los fragmentos tratados con consolidantes (Tabla 8). Se destaca la acción del consolidante *Estel 1100* respecto al resultado obtenido con *Silres*, ya que el primero no produce una reducción importante de la porosidad del material, en cambio, el fragmento tratado con *Silres* muestra una reducción de la porosidad abierta en torno al 3%.

MUESTRA	PA (%)	$p_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$p_r$ (g/cm <sup>3</sup> )
Fragmento tratado con Silres	35.21	1.542	2.380
Fragmentos tratado con Estel	38.68	1.741	2.839
Fragmento sin tratamiento	38.80	1.606	2.621

Tabla 8: Resultados obtenidos en las muestras estudiadas.

-Ensayos de velocidad de secado

Los resultados obtenidos tras este ensayo indican que evidentemente la muestra sin tratamiento (ST) manifiesta una evaporación más rápida del agua absorbida, debido a su mayor porosidad en comparación con las muestras tratadas. Respecto a estas últimas, cabe destacar con un óptimo resultado el fragmento tratado con *Estel 1100*. Produciéndose en el fragmento tratado con *Silres* una reducción significativa de la evaporación del agua contenida, y por lo tanto, prolongando mucho más el tiempo hasta alcanzar el valor de peso inicial que corresponde al fragmento previamente seco (Figura 27). Este comportamiento es desfavorable ya que el tiempo durante el cual el agua absorbida en el material es más prolongado, favoreciendo el deterioro del material (Figura 28).

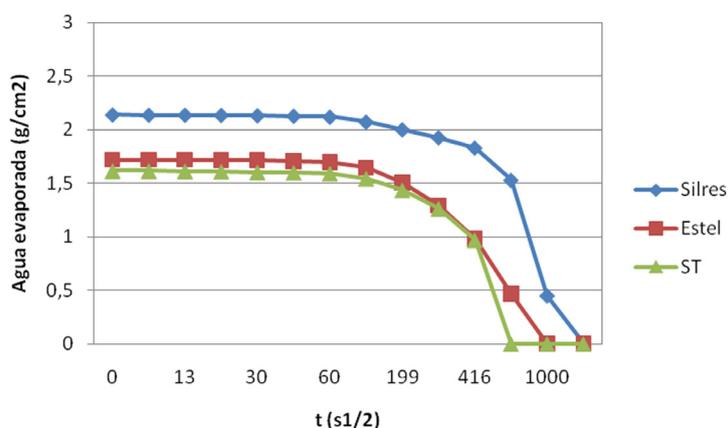


Figura 27: Evaporación de agua de las 3 muestras sometidas a estudio.



Figura 28: Vista de la muestra M-S290 cubierta con parafilm para su ensayo de velocidad de secado.

### 3.1.- ESTUDIOS COLORIMÉTRICOS.

La colorimetría se trata de un importante método de análisis en el mundo de la conservación y restauración, ya que gracias a ella es posible comprobar la estabilidad cromática y prevenir los cambios antes de que estos sean visibles al ojo humano. Por lo tanto, se ha considerado imprescindible en este estudio, ya que va a advertir sobre los posibles cambios que pueden llegar a provocar los consolidantes testados, no solo durante su aplicación inmediata si no también cómo va afectar visualmente el consolidante en el futuro.

#### 3.1.1.- Espacios cromáticos

En este estudio se ha utilizado el espacio CIELAB, ya que es el idóneo para las fuentes secundarias, como es el caso. Además permite calcular la variación del color total ( $\Delta E_{ab}^*$ ), valorando los cambios de color producidos en conjunto y saber si el cambio producido es perceptivo.

En el sistema CIELAB la  $L^*$ , que está relacionada con la Y del sistema CIEYxy pero referido a fuentes secundarias, también tienen como límites el 0 (negro) y el 100 (blanco).

Las coordenadas  $a^*$   $b^*$  definen el grado de amarillo ( $+b^*$ ), rojo ( $+a^*$ ), azul ( $-b^*$ ) o verde ( $-a^*$ ). En los colores neutros (blanco, gris o negro)  $a^*=b^*=0$ . (El color neutro-acromático está situado en el centro del diagrama). El aumento de los valores absolutos (positivo o negativo) de la  $a^*$  o de la  $b^*$ , indica una mayor pureza del color.

#### 3.1.2.- Aspectos técnicos

Dicho cometido fue realizado mediante la utilización de un espectrofotómetro Minolta CM-2600d. Seleccionando como condiciones de medidas el iluminante estándar CIE tipo  $D_{65}$  (luz día, temperatura de color 6500° K) y el observador estándar 10°.

Los datos se han tomado como componente especular incluida (SCI) y con componente especular excluida (SCE). Estas dos formas de medida: sin brillo y con brillo respectivamente se incluyeron con la finalidad de valorar la existencia de variaciones de brillo sobre las muestras consolidadas. Siempre y cuando ambas condiciones (SCI y SCE) sean similares, entonces SCE será obviado.

El medidor utilizado corresponde al área de medida grande de 8 mm de diámetro, con la finalidad de obtener el valor de un área lo más extensa posible. Dichas áreas fueron registradas mediante la realización de plantillas de acetatos, utilizando el color negro para la representación de la forma de la muestra, resaltando sus características, resaltando con rotulador verde el punto exacto a medir.

### 3.1.3.- Ensayos de las muestras M-1100 y M-S290

Para la cuantificación de los cambios en la cromaticidad y la luminosidad de las muestras: M-1100 y M-S290, han sido registradas tres tomas en tres estadios diferentes: un registro de las muestras antes de la aplicación de los productos consolidantes, otro registro tras la consolidación, respetando los tiempos de espera recomendados en sus fichas técnicas y un último registro tras los ensayos de envejecimiento acelerado.

#### 3.1.3.1.- Valores colorimétricos

Cabe mencionar que tras la consolidación de los fragmentos de plataforma no se aprecia una diferencia entre SCI y SCE, esto quiere decir que ninguno de los consolidantes empleados añade brillo a las muestras. Por esta razón solo se verán representados los valores SCI.

#### 3.1.3.2.- Cambios cromáticos experimentados

La diferencia de color tras la consolidación es muy semejante entre los fragmentos, siendo algo inferior en el caso de M1100, aunque solo se trata de 2 unidades de CIELAB:  $\Delta E_{ab}^* \approx 6$  frente al resultado obtenido en la muestra M-S290, de  $\Delta E_{ab}^* \approx 8$  (Tabla 9). En las muestras ya consolidadas no se aprecia la incorporación de brillo alguno, en cambio, tras el envejeci-

Muestra			
<b>M1100</b>	<b>L* (SCI)</b>	<b>a*(SCI)</b>	<b>b*(SCI)</b>
Sin consolidar	42,06	5,3	14,5
Consolidado	48,1	5,3	16,2
Envejecido	41,11	5,31	17,42
<b>MS290</b>	<b>L* (SCI)</b>	<b>a*(SCI)</b>	<b>b*(SCI)</b>
Sin consolidar	39,3	4,7	14,6
Consolidado	47,19	4,12	13,15
Envejecido	32,60	7,39	22,37

Tabla 9: Cambios cromáticos experimentados de las muestras M-1100 y M-S290 en varios estados: sin consolidar, consolidados y envejecidos (datos en SCI).

SCE-SCI	DL*	Da*	Db*SCI-SCE	DC*
M-1100	0,47	-0,08	-0,41	-0,4
M-S290	0,71	-0,21	-0,95	-0,97

Tabla 10: Diferencia entre SCI-SCE de las muestras envejecidas.

miento, como puede apreciarse en la Tabla 10, queda reflejada la diferencia entre SCI y SCE en las muestra M-1100 y M-S290, donde claramente se aprecia una diferencia entre los dos consolidantes, aportando la muestra tratada con el consolidante Silres un ligero aumento de brillo (ver también Tabla 11 y 12 donde se expone la comparativa entre los datos obtenidos tras los diferentes estadios).

En el siguiente diagrama (Figura 29) puede observarse en las coordenadas  $a^* b^*$  como la muestra M-S290 adquiere unos desplazamientos más desordenados. Especialmente en la muestra envejecida, donde llama la atención la distancia entre M-S290 consolidado y M-S290 envejecido, adquiriendo este último una tonalidad anaranjada respecto al resto. Por otro lado, los resultados reflejados sobre la muestra M-1100 revelan una oscilación hacia el amarilleamiento que comienza desde su consolidación y aumenta ligeramente tras su envejecimiento.

Muestra	Comparativa entre:	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$
M-1100	Consolidado-Sin consolidar	6,04	0,03	1,71	6,28
	Envejecido - Consolidado	-6,99	0,01	1,22	7,09635891
	Envejecido - Sin consolidar	-0,95	0,01	2,92	3,06706511

Tabla 11: Comparativa entre los datos obtenidos de la muestra M-S290.

Muestra	Comparativa entre:	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$
M-S290	Consolidado-Sin consolidar	7,89	-0,6	-1,44	8,04
	Envejecido - Consolidado	-14,59	3,27	9,22	17,564196
	Envejecido - Sin consolidar	-6,70	2,69	7,77	10,6055889

Tabla 12: Comparativa entre los datos obtenidos de la muestra M-S290.

En cuanto a  $L^*$  cabe destacar como aumenta la luminosidad prácticamente por igual en ambos fragmentos consolidados y como difiere el comportamiento de cada consolidante tras el envejecimiento, ya que M-S290 envejecido se oscurece considerablemente respecto al resto. En cambio M-1100 adquiere prácticamente el mismo nivel de luminosidad que adquiriría la muestra antes del tratamiento reintegrador.

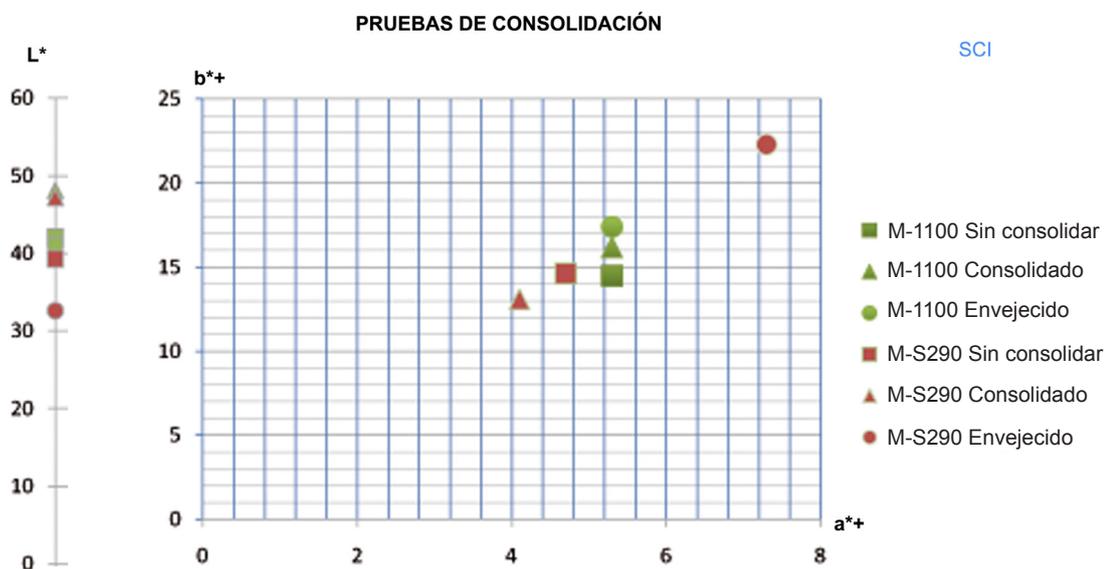


Figura 29: Diagrama donde queda reflejado cada uno de los registros antes de la consolidación, después de la consolidación y tras el envejecimiento.

## V.- CONCLUSIONES FINALES DE LA INVESTIGACIÓN

A partir del estudio realizado sobre los fragmentos pertenecientes a las plataformas cerámicas de la Pirámide nº13, se desprenden las siguientes conclusiones finales:

1.- Resulta conveniente continuar las investigaciones en torno al sistema empleado para la cocción in situ de las plataformas. Desde nuestra posición como restauradores de materiales arqueológicos, consideramos apropiado la realización de una simulación de la cocción de superficies que respondan a las mismas características que las plataformas halladas, con la finalidad de establecer parámetros que puedan determinar cómo pudo realizarse dicha cocción.

2.- Según los fragmentos estudiados, ambos consolidantes (ESTEL 1100 y SILRES BS OH 100 + SILRES BS 290 (1:10) en White Spirit) aplicados a pincel, proporcionan un significativo retardo en cuanto a la penetración del agua en los fragmentos cerámicos. Pero por otro lado cabe tener en cuenta otros factores que pueden intervenir de cierto modo en el resultado final ya sea la textura y composición inicial, así como el estado de conservación de cada fragmento y el modo de aplicación.

3.- Dichos consolidantes presentan una composición a base de silicato de etilo y polisiloxanos. Mediante un estudio para determinar la penetración de los productos mediante SEM/EDX (silicatos y cambio de textura) y FT-IR (siloxanos, vibraciones C-H). Mediante los espectros infrarrojos se sugiere que ESTEL 1100 penetra más que el producto SILRES, detectándose siloxanos a una profundidad de 1cm que a diferencia de éstos últimos, el espectrofotómetro no halló restos a esa misma distancia.

4.- Del mismo modo cabe destacar que tras los resultados del ensayo de capilaridad del producto SILRES podría tapar más los poros cerámicos. Por lo que el tratamiento mediante ESTEL 1100 podría resultar más óptimo, debido a que permite una mayor penetración del producto, por lo tanto un mayor afianzamiento de la materia reflejándose en una mayor resistencia a los agentes externos.

5.- Los espectros infrarrojos extraídos de las muestras de ESTEL 1100 y SILRES antes y después de su envejecimiento mediante cámara climática (en las condiciones expuestas en el apartado 3.1.4.) no revelan alteraciones significativas en la composición de ambos productos.

6.- Tras el ensayo de envejecimiento, los resultados obtenidos tras los cálculos de porosidad real y aparente y velocidad de secado se inclinan a favor de ESTEL 1100. Respondiendo a una reducción de la porosidad del material inferior a la obtenida por SILRES y un tiempo de evaporación de vapor de agua en un periodo de tiempo más corto.

7.- El última instancia, las conclusiones que se extraen del estudio colorimétrico, establecen que en ambas muestras consolidadas se produce un ligero ascenso en cuanto a la claridad.

Mientras que en la muestra M-1100 consolidada se produce un amarilleamiento mínimo, en la muestra M-S290 se produce una pérdida de saturación. El resultado obtenido en las muestras consolidadas tras el envejecimiento muestran un aporte de brillo en M-S290, así como un ligero cambio cromático con tendencia al anaranjado. Por otro lado, en el caso de M-1100, el amarilleamiento aumenta mínimamente en cuanto a claridad, adquiriendo prácticamente la de la muestra antes del tratamiento de consolidación. Finalmente, cabe mencionar que los datos obtenidos mediante este estudio no son visualmente apreciables pero no por ello dejan de considerarse en esta investigación.



## BIBLIOGRAFÍA

**ABAD, Lorenzo; SALA, Feliciano.** *Poblamiento ibérico en el Bajo Segura: El Oral (II) y la Escuera*. Real Academia de la Historia, Madrid, 2010. p.277, ISBN-9788489512979.

**AGUILERA, Alberto et. al.** “El cuerpo académico de química y tecnología del silicio”. Revista virtual: *Enlace Químico*. Tomo 2, nº3. Universidad de Guanajuato, 2009.

Enlace: [www.revisequim.com/números/13/index.html](http://www.revisequim.com/números/13/index.html).

[Consulta: 7 febrero de 2010]

**ALMAGRO, Martín y MONEO, Teresa.** *Santuarios urbanos en el mundo ibérico*. Real Academia de la Historia, Madrid 1999. pp. 53-54. ISBN 84-89512-58-2.

**ALEJANDRE, F; VILLEGAS, R.** “Estudio de la alterabilidad y efecto de tratamiento de conservación para los ladrillos de la portada de la iglesia de Santa María de Jesús (Sevilla)”. *Materiales de Construcción*. Vol.59, 293, Enero-marzo 2009. pp. 85-103. ISSN-0465-2746.

**ALVAREZ, A. et. al.** “Evaluación de tratamientos de consolidación e hidrofugación aplicados a la arenisca miocénica utilizada en el Patrimonio Monumental de Túnez”. *Materiales de construcción*, nº277, 2005, pp. 25-39. ISSN 0465-2746.

Enlace: [www.dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1122283](http://www.dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1122283).

[Consulta: 20 de febrero de 2009]

**ALVAREZ, M. et. al.** “Monitoring the polymerization of Silicon-based products for stone conservation”. *Progress in Organic Coatings*. Vol 63. 1ªEd.2008. Resumen.

Enlace: [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944008000581](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944008000581).

[Consulta: 20 de febrero de 2009].

**ANDRADE, Luciano.** *El Reino de Quito*. Ed. Los Andes, Llanganati 317. Quito, Ecuador, 1954. p.260.

**BORGIA, Giulio et al.** “Hydrophobic treatments for stone conservation. Influence of the application method on penetration, distribution and efficiency”. *Studies in conservation*, 48, 2003. pp. 217-226.

Enlace: [www.iiconservation.org/publications/pubs\\_search.php?pub\\_id=50](http://www.iiconservation.org/publications/pubs_search.php?pub_id=50)

[Consulta: 14 de octubre de 2008]

**BRAVOMALO, Aurelia.** *Ecuador ancestral*. Ed. Guillermo Espinosa. 2ªEd. Quito, Ecuador, 2006. 259 p. ISBN-10-9978-45-023-8.

**BUENDÍA, Milagros.** “Proceso de restauración del Ataífor de la nave (S. XI). Procedente de Escombreras (Cartagena, Murcia)” Laboratorio de conservación y restauración. Museo Nacional de Arqueología Subacuática. *Restauo, Revista Internacional del Patrimonio Histórico*. ISSN: 1889-0628. Nº6. 2010, pp.42-47.

**BUYS, Susan y Oakley, Victoria.** *The conservation and restoration of ceramics*. Ed. Butterworth-Heinemann. Ludlow., A. United Kingdom, 1996. pp. 3-5 y 100-105. ISBN-100750632194

**CALVO, Ana.** *Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos. De la A a la Z*. Ed. Plaza, 1º Ed. Madrid, 1997.p 64. ISBN-9788476281949

**CARRASCOSA, Begoña.** *La conservación y restauración de objetos cerámicos arqueológicos*. Ed. Tecnos. 1ªEd. Madrid, 2009. pp. 113-122. ISBN-9788430949397

**CARRASCOSA, Begoña; MEDINA, Olga.** *Cooperación al desarrollo cultural y formativo para la puesta en valor de las Pirámides preincáicas de Cochasquí, Ecuador*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. 1ªEd. Valencia, 2010. 182p. ISBN-978-84-8363-595-7.

**CARRASCOSA, Begoña; MEDINA, Olga.** “La sostenibilidad en la salvaguarda del Patrimonio. Formación, conservación y restauración”. En: *IV Seminario Internacional Cultural y Cooperación: Formación y capacitación en Patrimonio como alternativa de desarrollo sostenible* (Granada, del 25 al 26 de noviembre de 2010). Organizado por Restauradores Sin Fronteras y Centro Albayzín, Granada, 2010. pp.85-88. ISBN 978-84-693-8215-8

**CARRASCOSA, Begoña; MEDINA, Olga; LASTRAS, Montserrat.** “Cooperación al Desarrollo Cultural y Formativo para la puesta en valor de las Pirámides Preincáicas de Ecuador”. En: *IV Congreso Internacional. Patrimonio Cultural y Cooperación al Desarrollo* (Sevilla, del 16 al 18 de junio de 2010). Edita: Comité Científico del IV Congreso de Patrimonio Cultural y Cooperación al Desarrollo. pp. 197-204. ISBN 978-84-482-4011-0

**CARRASCOSA, Begoña; PASIES, Trinidad.** *La conservación y restauración del mosaico*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. 2004 pp. 80-82 ISBN- 8497056736

**CAVICCHIOLI, A. et al.** “Automatic devices for monitoring environmentally induced auto-oxidative degradation of artistic materials in conservation sites”.  
Revista virtual: *Sensors and ActuatorsB*, vol.131, nº2, 2008. pp 462-469.  
Enlace: [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925400507010052](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925400507010052). [Consulta: 20 de febrero de 2009]

**CHIARI, Giacomo.** “Conservación in situ de frisos pintados de adobe”. *Arqueología. Conservación y Restauración*. Luisa Masetti Bitelli. Ed. Nerea. 2002, Guipuzcoa. pp. 117-126. ISBN-9788489569751

**CORPORACIÓN PROCULTUR.** *Cochasquí y la huella de Quilago*  
Enlace:[www.procultur-ecuador.blogspot.com/2010/01/la-huella-de-quilago-en-cochasqui.html](http://www.procultur-ecuador.blogspot.com/2010/01/la-huella-de-quilago-en-cochasqui.html)  
[Consulta: 2 de febrero de 2011]

**COSCOLLANO, José.** *Restauración y rehabilitación de edificios*. Ed. Thomson, Paraninfo, S.A. Madrid, 2003, pp.42-51. ISBN-84-283-2854-4

**DIETER, Karl.** *Las huellas del jaguar. Culturas antiguas en el Ecuador*. Ed. TRAMA. 2ªed. Quito, Ecuador. 2006, pp.338-341. ISBN-9978-300-34-1.

**DOHENE, Eric y PRICE, Clifford.** *Stone Conservation. An Overview of Current Research. Research in Conservation*. The Getty Conservation Institute. 2ª Ed. Los Ángeles, California. 2010, pp 38-41. ISBN-978-1-60606-046-9.

**DOMÉNECH, M<sup>a</sup> Teresa; YUSÁ, Dolores.** *Aspectos físico-químicos de la pintura mural y su limpieza*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. 1ª Ed. Valencia, 2006, pp. 39-42 y 53-55. ISBN-84-9705-941-7.

**DOMÉNECH, M<sup>a</sup> Teresa; YUSÁ, Dolores.** *Compendio de principios físico-químicos de materiales no pictóricos. Practicum*. Dep. Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. pp. 52-54, Ref.2006.634.

**DOMÍNGUEZ, José Manuel y SCHIFTER, Isaac.** *Las arcillas: El barro noble*. 1ªEdición, Mexico, 1992. ISBN-968-16-3743-7.

**ELÍAS, Xavier.** “La fabricación de los materiales cerámicos: secado y cocción”. *Optimización de procesos cerámicos industriales*. 2001.

Enlace: [www.es.scribd.com/doc/46292533/Ceramicos-MARE](http://www.es.scribd.com/doc/46292533/Ceramicos-MARE).

[Consulta: 6 de septiembre de 2008].

**FAVARO, M. et al.** “Evaluation of polymers for conservation treatments of outdoor exposed stone monuments. Part II: Photo-oxidative and salt-induced weathering of acrylic-silicone mixtures”. *Polymer Degradation and Stability*, 92, 2007. pp 335-351.

Enlace: [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014139100600351X](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014139100600351X).

[Consulta: 20 de septiembre de 2008].

**FORT, Rafael.** “Polímeros sintéticos para la conservación de materiales pétreos”. *Ciencia, Tecnología y Sociedad para una conservación sostenible del patrimonio pétreo*. Pérez-Monserrat, E.M., Gómez-Heras, M. Álvarez de Buergo, M., Fort, R. (eds). Dpto. Publicaciones Universidad Popular José Hierro, San Sebastián de los Reyes. 2007. pp 71-82. ISBN: 84-95710-41-2.

**FORT, Rafael.** “Modificación de propiedades petrofísicas de las rocas con la utilización de consolidantes e hidrofugantes”. *Degradación y conservación del Patrimonio Arquitectónico*. (Ed. F. Mingarro). Editorial Complutense, 1992, pp. 492-505. ISBN-9788489365841.

**GARCÍA, F.** “Comparación analítica de dos consolidantes comerciales aplicados en areniscas eocenas de monumentos de los siglos XVI y XIX en San Sebastián (norte de España)” *Materiales de Construcción*, vol. 52, nº 266, abril/mayo/junio 2002. pp. 6-18.

Enlace: [www.materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/download/331/379](http://www.materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/download/331/379).

[Consulta: 20 de febrero de 2008]

**GARCÍA, Garmilla, et. al.** “Aplicaciones de la microscopía electrónica de barrido al estudio del deterioro y la restauración de edificios históricos: La Casa de Oquendo (s.XVI) y EL Palacio de la Diputación (s.XIX) (San Sebastián, País Vasco)”. *Geogaceta*, 28, 2000, pp 59-62.

**GARCÍA, Salvador; FLOS, Nuria.** *Conservación y restauración de bienes arqueológicos*. Ed. Síntesis. 1ª Ed. Madrid, 2008. pp 38-47 y 170-171. ISBN- 9788497565769.

**GÓMEZ-VILLALBA L.S. et. al.** “La aportación de la nanociencia a la conservación de bienes del patrimonio cultural”. Patrimonio Cultural de España”, nº4. *Monográfico Patrimonio e innovación*, 2010, pp.43-55. ISSN-1889-3104.

**GUERRERO, Luís.** “Deterioro del patrimonio edificado en adobe”. *Diseño y Sociedad* Nº13,2002.pp.4-11. Enlace:[http://148.206.107.10/biblioteca\\_digital/estadistica.php?id\\_host=6&tipo=ARTICULO&id=4634&archivo=11-291-4634jbf.pdf&titulo=Deterioro del patrimonio edificado en adobe](http://148.206.107.10/biblioteca_digital/estadistica.php?id_host=6&tipo=ARTICULO&id=4634&archivo=11-291-4634jbf.pdf&titulo=Deterioro%20del%20patrimonio%20edificado%20en%20adobe). [Consulta: 20 de febrero de 2008].

**GUEVARA, Mª Eugenia.** *Conservación preventiva de objetos cerámicos en excavaciones arqueológicas: Un manual*. Renata Schneider Glantz (comp.), Mexico, 2001, pp. 89-100. ISBN 970-18-5075-0.

**GUINEA, Mercedes.** *Los Andes antes de los Incas*. Tomo 10. Arqueología IV. Ed. Akal, S.A. Madrid, 1991. p. 59. ISBN-84-7600-751-5

**HORIE, C.V.** *Materials for conservation. Organic consolidants, adhesives and coatings*. Ed. B.H., Oxford, 1999. pp.6-8 y 103-112. ISBN- 9780750608817.

**KARATASIOS, I. et. al.** “Evaluation of consolidation treatments of marly limestones used in archaeological monuments”. *Construction and Building Materials*. Vol. 23, 8ªEd., 2009, pp. 2803-2812.

Enlace: [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061809000828](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061809000828).

[Consulta: 20 de febrero de 2010].

**KRÖNER, Stephan et al.** *Identificación y caracterización de materiales pétreos en Patrimonio Histórico-Artístico*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia, 2010. Valencia, p. 16. ISBN- 9788483635827.

**LEACH, Bernard.** *Manual del ceramista*. (traductor: Sala, E.). Ed. Blume, 1ªEd. Barcelona, 1981, p.415. ISBN-84-7031-282-0.

**LUQUE, A. et. al.** "Evaluación de la eficacia de tratamientos en el incremento de la durabilidad de una calcarenita bioclástica (Granada, España)". *Materiales de construcción*, vol. 58, 2008, pp. 115-128.

**MALDONADO, Luis; VELA, Fernando.** *De arquitectura y arqueología. Cap 3º: Régimen legal de la intervención arquitectónica en los yacimientos arqueológicos.* (colabora: Maldonado, Jaime). Ed. Munilla-Lería, Madrid, 1998. 25-34p ISBN-84-89150-21-4.

**MÁS, Xavier.** *Conservación y restauración de materiales pétreos. Diagnóstico y tratamiento.* Ed. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2010. pp.122-132. ISBN- 9788483635834.

**MATTENI, Mauro y MOLES, Arcangelo.** *La Química en la Restauración.* Ed Nerea. Arte y Restauración. 2ª Ed. 2008, pp 299-324 y 465-466. ISBN-978-84-89569-54-6.

**ORTIZ, Lenin.** *Cochasquí, el agua del frente de la mitad.* Ed. Letras, 1ª Ed. Quito, Ecuador, 2009. p.195. ISBN-978-9942-02-463-3.

**ORTON, Clive et al.** *La cerámica en arqueología.* Ed. Crítica. Barcelona, 1997. pp. 84 y 133-147. ISBN- 978-84-7423-745-0.

**OSCA, Julia.** "El empleo de consolidantes inorgánicos y organosilíceos como alternativa a los consolidantes orgánicos". *Tratamientos y metodologías de conservación de pinturas murales. Actas del Seminario sobre restauración de pinturas murales. Aguilar del Campoo* (Palencia, 20-22 de julio de 2005). 1ªEd. Aguilar del Campoo. Diciembre, 2005 pp. 13-34. ISBN-84-89483-97-3

**ÖZTÜRK, Isil.** *Alkoxysilanes consolidation of stone and earthen building materials.* Directores: Teutonico, Jeanne Marie; Matero, Frank G. y De Long, David G. University of Pennsylvania, 1992, pp. 67-69. Enlace: [www.archive.org/details/alkoxysilanescon00zt](http://www.archive.org/details/alkoxysilanescon00zt). [Consulta: 3 de abril de 2009].

**QUINTEROS, Reinaldo.** *Informe preliminar sobre aspectos morfológicos de los monumentos y vestigios arqueológicos de Cochasquí en Ecuador.* Consejo Provincial de Pichincha: Programa Cochasquí. Quito, Ecuador/ Bogotá, Colombia. Febrero, 1982.

**RHODES, Daniel.** *Hornos para ceramistas.* Ed. CEAC, S.L. Barcelona, 1999, pp 13-32. ISBN-84-329-8555-4

**RHODES, Daniel.** *Arcilla y vidriado para ceramistas.* Ed. CEAC, S.L. 1ª Ed. Barcelona, 1990. pp. 15-32. ISBN-84-329-8557-0

**SALGADO, Jose et. al.** "Aplicación de mezclas de alcóxidos de silicio en la conservación de adobe". *Enlace Químico.* Tomo 2, nº7. Universidad de Guanajuato, 2010. Enlace: [www.revisequim.com/números/17/index.html](http://www.revisequim.com/números/17/index.html). [Consulta: 20 de febrero de 2010]

**UHLE, Max.** *Boletín de la Academia Nacional de la Historia. Vol. XVIII: Las ruinas de Cochasquí.* N°54, Quito, julio-diciembre, 1939.

**VACCHIANO, Chiara et al.** "Conservation of tuff-stone with polymeric resins". *Construction and Building Materials*, 22 (2008) pp. 855-865.

Enlace: [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061806003679](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061806003679).

[Consulta: 20 de febrero de 2009]

**WHEELER, George.** *Alkoxysilanes and the Consolidation of Stone.* Research in Conservation. The Getty Conservation Institute. 1ªEd. Getty Publications, 2005. ISBN-13-978-0-89236-815-0

**ZÁRRAGA, Ramón et al.** "La investigación científica en la conservación de monumentos de cantera". *Acta Universitaria*, mayo-agosto, 2006, vol.16, n° 002. Universidad de Guanajuato. Guanajuato. México. ISSN-0188-6266. pp 43-49.

Enlace: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/416/41616205.pdf>.

[Consulta: 12 noviembre de 2008]

**ZOGLAMI, Karima.** *Las areniscas miocénicas de la formación Fortuna utilizadas en la construcción del acueducto romano de Zaghuan-Cartago. Caracterización petrofísica, alterabilidad y ensayos de control sobre la idoneidad de los tratamientos de restauración.* Directores: Álvarez Pérez, Aurelio; Gómez Gras, David; Prada Pérez, José Luis; Gueddari, Fadila. Departamento de Geología. Universidad Autónoma de Barcelona, 2003, pp 162-237.

ISBN 8468841889

## AGRADECIMIENTOS

Debo agradecer de manera especial y sincera a la Dra. Begoña Carrascosa Moliner por aceptarme para realizar esta Tesis Final de Máster bajo su dirección y su apoyo y confianza en mí. La Dra. Carrascosa ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de este trabajo de investigación, sino también en mi formación. Le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Cdca. Teresa Doménech Carbó por su importante aporte y participación en el desarrollo de esta tesis como codirectora, su participación ha enriquecido el trabajo realizado.

También quiero agradecer a Fritz Reinthaller, Director del Parque Arqueológico de Cochasquí, todo su apoyo, facilitándome la documentación necesaria relacionada con el Parque Arqueológico y su entorno.

Agradezco de manera especial a la Dra. Laura Osete Cortina del Laboratorio Físico-Químico y Medio Ambiental de Análisis de Obras de Arte del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio (IRP) de la UPV, por su amabilidad y disponibilidad tanto durante los ensayos en laboratorio como posteriormente, resultando ser un soporte profesional y logístico para alcanzar los objetivos perseguidos por esta Tesis Final de Máster. También a Núria Guasch Ferré, por sus importantes consejos.

Quiero extender mi agradecimiento a la Dra. Marisa Martínez Bazán, del Laboratorio de Colorimetría del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio (IRP) de la UPV. Por su disponibilidad y generosidad para compartir su experiencia y conocimientos. Los cuales han sido imprescindibles para llevar a cabo el estudio colorimétrico expuesto en esta investigación.

Y por supuesto también a mi familia y a mi pareja, por ser un apoyo y ayuda constante en todo momento.



**ANEXO**



#### 1.2.1.4.- Hipótesis sobre la cocción de las plataformas

Cabe mencionar que el objetivo de la exposición de esta pequeña hipótesis, producto de la búsqueda bibliográfica, pretende dar un paso más en cuanto al sistema de horneado empleado, ya que el sistema de cocción a “cielo abierto” tiene una evolución en el tiempo, hasta acabar convirtiéndose, gracias a las mejoras incorporadas, en el horno que conocemos. Por esta razón, se pretende amoldar en la medida de lo posible, los conocimientos arquitectónicos empleados por los indígenas y que se han manifestado en el área arqueológica, así como la adaptación de los mismos a las condiciones ambientales del lugar.

A día de hoy no existen datos relevantes acerca de cómo fue llevado a cabo la cocción de las plataformas. El arqueólogo alemán Wurster en el informe del “Grupo Ecuador” organizado por la Universidad de Bonn y dirigido por Udo Oberem (el mismo que realizó estudios en la zona entre 1964 y 1965), afirma que “Las estructuras de la parte superior de las pirámides correspondía a casas con piso de tierra apisonada, bahareque y techo cónico de paja y que debido a la destrucción de estas casas por el fuego resultaron estas plataformas o planchones de barro cocido<sup>46</sup>”. Por lo que establece que las plataformas de barro cocido y canales son un resultado fortuito producto de un accidente. Tal confirmación posiblemente pueda radicar en el convencimiento de Oberem por atribuir estas plataformas a los suelos de casas construidas sobre las pirámides. La información encontrada acerca del suelo de las casas (bohios) hace referencia al empleo de tierra suelta, al igual que las casas incaicas, donde los suelos se constituían de tierra y eran cubiertos con pieles y esteras<sup>47</sup>.

Investigaciones realizadas por la Corporación “Procultur” en la que estuvo presente uno de los directores del Parque Arqueológico de Cochasquí, Lenin Ortíz, determinan mediante la utilización de técnicas de registro y comprobación arqueológica y antropológica, que tanto en los restos de las plataformas localizadas sobre las Pirámide 9 y 13 existió barro cocido cuyo color corresponde a “5YR 6-8 reddish yellow”, con variaciones de tonalidad en los canales y agujeros presentes en las plataformas.

46. Aunque las plataformas encontradas en Rumipamba (yacimiento Quitú-Cara localizado en la inmediaciones de Quito) no responden a la misma funcionalidad empleada en Cochasquí (no se encuentran sobre pirámides, ni siquiera reúnen las características de canales y orificios), sí se observan tonalidades muy cercanas y un empleo de manufactura similar. Hecho que posibilita que Oberem no esté en lo cierto, y que hayan sido sometidas a un horneado premeditadamente.

En la búsqueda de hallazgos significativos en el ámbito español, cabe destacar como ejemplo el poblado ibérico de la edad del Hierro localizado en Cerro de las Cabezas (Valdepeñas, Ciudad Real), el cual se trata de un tipo de santuario documentado por el Mediterráneo siempre en relación con el mundo fenicio-púnico. En este caso ha sido hallado en el interior de uno de los santuarios un pavimento realizado mediante arcillas apisonadas (no cocidas) compuestas por arcillas del entorno, degreasantes pequeños generalmente de cuarzo, nódulos calcáreos y en algunos casos fragmentos cerámicos. La cronología de estas manifestaciones abarca desde el s. VIII a.C. al 250 a.C. Ver: **ALMAGRO, Martín y MONEO, Teresa.** *Santuarios urbanos en el mundo ibérico.* Real Academia de la Historia, Madrid 1999. pp 53-54.

47. *Enciclopedia del arte, los Incas.* p.127 y p.136. Ed. Tikal. N<sup>o</sup>1, Madrid.

Aunque dicha corporación no aporta información detallada sobre el tipo o los tipos de técnica empleados, la Corporación "Procultur"<sup>48</sup> sostiene que los antiguos aplicaron técnicas cerámicas complejas para la época, tanto en el diseño, la construcción de las plataformas y los canales que se encuentran en ellas, así como su posterior quema a cielo abierto donde sostienen que fueron sometidas a temperaturas que oscilarían entre los 200 a 300C°.

La hipótesis de una cocción mediante el sistema de hogueras abiertas parece ser el método más razonable, pero no consta mayores indagaciones sobre cómo pudo ser el sistema de horneado. Observando las habitaciones donde se sitúan las plataformas y las mismas superficies, se observa que pudo haber existido un sistema quizás algo más avanzado que una hoguera al aire libre. Se conoce que la cocción a cielo abierto también es posible en hoyos poco profundos o ficticios (en este caso posiblemente ficticios) un sistema que puede realizarse en cualquier parte. El cual pudo llevarse a cabo mediante una serie de perfeccionamientos en el horneado mediante la realización de posibles estructuras intermedias entre la cocción abierta y el horno<sup>49</sup>. Las razones que llevan a pensar en esta hipotética posibilidad son las siguientes:



Figura 30: Las variaciones cromáticas son mucho más acusadas en la plataforma superior.

- Porque pese a tener una serie de perfeccionamientos, se continúa obteniendo una limitación de temperatura, por lo que influye en la dureza de la cerámica. Se estima que no excedería

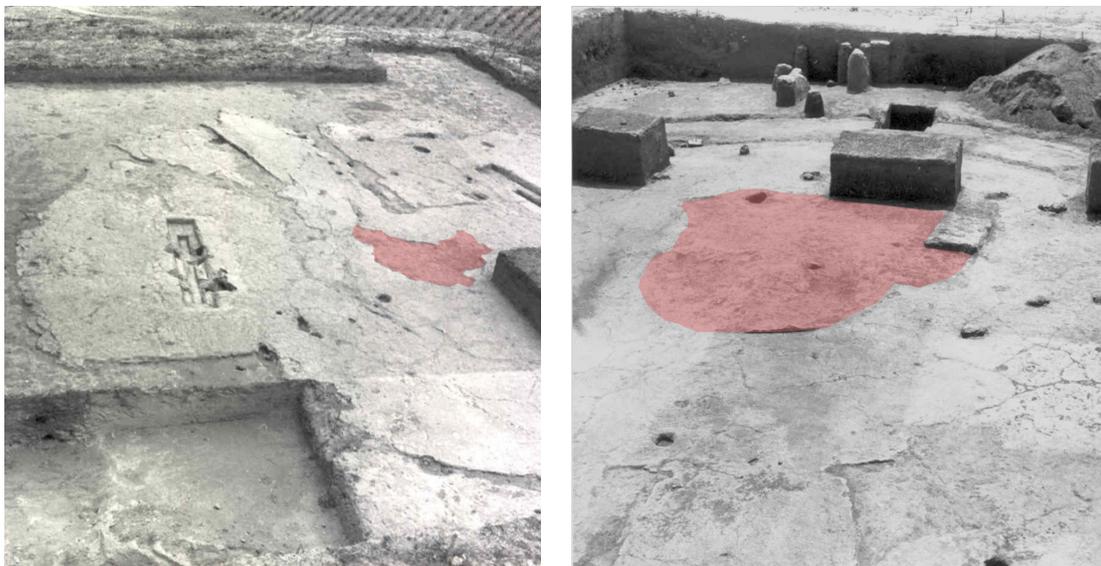
48. Véase: <http://procultur-ecuador.blogspot.com/2010/01/la-huella-de-quilago-en-cochasqui.html>

49. En Musazi (Paquistán) pervive el uso de estructuras intermedias entre la cocción abierta y los hornos. Consiste en cerrar por tres lados el área de cocción (de 3 x 10 m) mediante una pared de 2m de alto. Para cocerlas se rodeaba las vasijas con estiércol de burro. El resultado tras la cocción es la desaparición de tales estructuras, por lo que resulta difícil identificar estas estructuras como partes de un taller de manufactura de cerámica. **CLIVE, Orton; TYERS, Paul y VINCE, Alan.** *La cerámica en arqueología*. Ed. Crítica. Barcelona, 1997, p 149.

de los 750 o 900°C<sup>50</sup> como sostiene la Corporación “Procultur”. Además cabe mencionar que según algunos autores, el tiempo establecido para este sistema de cocción no superaría la hora.

- No existe un control del fuego. Hecho que consta en la superficies irregularmente cocidas de las plataformas. También se refleja en las tonalidades presentes en las plataformas, pero sobre todo en la plataforma de dimensiones más reducidas, donde es mucho más acusado. Se pueden encontrar una variedad de zonas rojas, anaranjadas, blanquecinas y negras (véase Figura 30). Considerando en primer lugar la composición mineralógica heterogénea de las cerámicas.

- La climatología de la zona, acusada por fuertes vientos casi huracanados, incita a determinar la construcción temporal de unos muros protectores que permitan la cocción de las superficies, permitiendo llegar a una temperatura estable.



**Figura 31:** En ambas imágenes (izq.: plataforma superior y der.: plataforma inferior), realizadas durante el descubrimiento de las superficies, puede apreciarse (resaltado en rojo) la existencia de lagunas centrales.

Según Rhodes (1999) el primer perfeccionamiento del sistema de hoyo fue utilizar un muro bajo de barro para mantener el fuego a los lados, disminuyendo el enfriamiento y por tanto graves agrietamientos. El segundo perfeccionamiento correspondería a la incorporación de un rudimentario techado fabricado a base de maderas y barro. Evidentemente, no se percibe el techado sin ninguna evidencia de marcas correspondientes a las huellas de elementos sustentantes del supuesto techo. Pero en ambas plataformas existe una laguna en común de proporciones “ajustables” a las dimensiones de cada superficie, se trata de las lagunas centrales. Oberem se refiere a ellas como dos agujeros grandes que atribuye como bases para los soportes centrales del techo de la casa de los señorías (ver Figura 31). Haciendo mención a los bohíos o casas indígenas típicas de la región. A día de hoy, estas lagunas han

50. Varios autores sostienen que mediante el método de cocción al aire libre no se alcanzarían temperaturas superiores a las expuestas. **RHODES, Daniel.** *Op.cit.* 1999, p. 20, **LEACH, Bernard.** *Manual del ceramista.* Ed. Blume, 1976, Barcelona. p. 272.

sido aprovechadas para incorporar uno de los elementos sustentantes del techado actual que protege las plataformas.

A cerca de la realización de techados de casas u otras estructuras indígenas del sector, en el Parque Arqueológico de Cochasquí se encuentran varias reconstrucciones de casas indígenas propias de la zona. Entre ellas destaca un bohío cuyo suelo es de planta circular, estas chozas existentes en lugares altos como los páramos, donde el frío y el viento son fuertes, guardan el calor en su interior. En ella se encuentra un árbol en la zona central como sustentante del techado que actúa como pilar central que sostiene la cubierta. Para la fabricación de dicha cubierta se empleaba la paja de páramo tejida mediante bejucos y venas de páramo, resultando un tejido resistente a los fuertes vientos y a la filtración del agua.

Es por ello que, sabedores de estas técnicas que se toman como herencia de los antiguos, existiera la posibilidad de que hubieran sido empleadas no solo para la realización de bohíos, si no que además, este sistema de cubierta hubiera sido aplicado para la cocción de las plataformas, no solo en época seca, sino además, por el carácter hidrorrepelente del techado, hubiera facilitado su cocción guardando el calor durante cualquier época del año.



